Geography and Environmental Sustainability
Homepage: http://ges.razi.ac.ir/

Identification of the Origin and Route of Sand Transfer to the Area of Sand Dunes of Yazd Darvazeh Quran

Ali Shahriar[1]| Ahmad Mazidi[2]| Mohammad Sharifi Pichoun[3]| Fatemeh Zare[4]

1. Corresponding Author, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: A.shahriar@yazd.ac.ir
2. Department of Geography, Faculty of Humanities and Social, Yazd University, Yazd, Iran.
3. Department of Geography, Faculty of Humanities and Social, Yazd University, Yazd, Iran.
4. Department of Geography, Faculty of Humanities and Social, Yazd University, Yazd, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 02 May 2023
Received in revised form: 05 Jul 2023
Accepted: 09 Jul 2023
Available online: 23 Sept 2023

Keywords:
Geomorphology,
Wind erosion,
Darvazeh Quran Erg,
Sand dunes,
Yazd.

ABSTRACT

Investigating and understanding Sand dunes is of great importance in the management of natural resources and the control of risks caused by them. The purpose of this research is to investigate the sand dunes of Darvazeh Quran, in the north of Yazd city, which is of great importance due to its proximity to Yazd city and its use for the development of tourism. In this research, in order to determine the origin of Sand dunes, from the wind data of Yazd synoptic station, during a period of 20 years (2001-2021), topographic maps 1:50000, geological maps 1:100000, TM satellite images of 1993, ETM+ year 2008 and 2017 and field studies have been used for sampling. The research method is also based on the analysis of wind characteristics (direction and speed), the mineralogy of sedimentary grains, and the use of satellite images. The results of the wind survey in the studied area showed that strong winds in the dry seasons along the northwest play an important role in the formation, development, and movement of sand. Mineralogical investigation and XRF analysis indicate that quartz minerals and then carbonates with an average of 45 and 33% are the most abundant among the sediments of the studied area and the classification based on spectral reflection of satellite images of loose sands showed that the band ratios are 4.5, 3.4 and 3.5 in TM images can be used to identify the mentioned minerals. Finally, the results showed that the alluvial and flood plains, along with alluvial deposits located in the northwestern and western part of this reservoir, are the main sources of nutrition for the sandy dunes of Darvazeh Quran.

Cite this article: Shahriar, A., Mazidi, A., Sharifi Pichoun, M., Zare, F. (2023). Identification of the Origin and Route of Sand Transfer to the Area of Sand Dunes of Yazd Darvazeh Quran. *Geography and Environmental Sustainability*, *13* (3), 29-45. DOI: 10.22126/GES.2023.9063.2652

© The Author(s).
Publisher: Razi University
DOI: 10.22126/GES.2023.9063.2652

جغرافیا و پایداری محیط
وبگاه نشریه: http://ges.razi.ac.ir/

شناسایی منشأ و مسیر انتقال ماسه به محدوده تپه‌های ماسه‌ای دروازه‌قرآن یزد

علی شهریار[۱]| احمد مزیدی[۲]| محمد شریفی پیچون[۳]| فاطمه زارع[۴]

۱. نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: A.shahriar@yazd.ac.ir
۲. گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۳. گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ژئومورفولوژی،
فرسایش بادی،
ریگ دروازه‌قرآن،
تپه‌های ماسه‌ای،
یزد.

چکیده

بررسی و شناخت ماسه‌های روان در مدیریت منابع طبیعی و کنترل مخاطرات ناشی از آن‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف این پژوهش، بررسی ریگزار دروازه‌قرآن، در شمال شهر یزد است که به دلیل مجاورت با شهر یزد و استفاده ازآن‌جهت توسعه گردشگری، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش، به‌منظور منشأیابی ماسه‌های روان، از داده‌های باد ایستگاه سینوپتیک یزد، طی یک دوره ۲۰ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۱)، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای TM سال ۱۹۹۳ ،ETM+ سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ و مطالعات میدانی، جهت نمونه‌برداری استفاده شده است. روش تحقیق نیز بر اساس تحلیل ویژگی‌های باد (جهت و سرعت)، کانی‌شناسی دانه‌های رسوبی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. نتایج حاصل از بررسی باد در منطقه موردمطالعه نشان داد که بادهای شدید در فصول خشک با امتداد شمال غربی، نقش مهمی در شکل‌گیری، توسعه و جابه‌جایی ماسه‌ها ایفا می‌کنند. بررسی کانی‌شناسی و آنالیز XRF حاکی از آن است که کانی‌های کوارتز و سپس کربنات‌ها با میانگین ۴۵ و ۳۳ درصد بیشترین فراوانی را در بین رسوبات منطقه موردمطالعه داشته و طبقه‌بندی مبتنی بر انعکاس طیفی تصاویر ماهواره‌ای ماسه‌های روان نشان داد که نسبت‌های باندی ۴/۵، ۳/۴ و ۳/۵ در تصاویر TM، می‌تواند در شناسایی کانی‌های مذکور استفاده شود. در نهایت نتایج نشان داد که دشت‌های آبرفتی و سیلابی، همراه با مخروط‌افکنه‌های واقع در بخش شمال غربی و غرب محدوده این ریگزار، منشأ اصلی تغذیه تپه‌های ماسه‌ای ریگ دروازه‌قرآن به شمار می‌آیند.

استناد: شهریار، علی؛ مزیدی، احمد؛ شریفی پیچون، محمد؛ زارع، فاطمه (۱۴۰۲). شناسایی منشأ و مسیر انتقال ماسه به محدوده تپه‌های ماسه‌ای دروازه‌قرآن یزد. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۳ (۳)، ۲۹-۴۵. DOI: 10.22126/GES.2023.9063.2652

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

فرسایش بادی یکی از جنبه‌های مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود به‌طوری‌که حدود یک‌ششم مساحت اراضی دنیا را تحت‌تأثیر خود قرار داده است (Coinger et al., 1991). بیش از یک‌سوم اراضی کره زمین دارای اقلیمی خشک بوده و پدیده بیابان‌زایی در این مناطق در دهه‌های اخیر شدت یافته است. تپه‌های ماسه‌ای در تمام نواحی کره زمین از سواحل و دریاچه‌های شور تا نواحی بیابانی خشک پراکنده هستند و در حدود ۱۰ درصد عرض‌های ۳۰ درجه شمالی تا ۳۰ درجه جنوبی را اشغال نموده‌اند (Sarnthein, 1978). براین‌اساس، شناخت مقادیر جابه‌جایی، نحوه تحول و عوامل مؤثر در این جابه‌جایی و تحول آن‌ها از مهم‌ترین ارکان مطالعات در زمینه تپه‌های ماسه‌ای محسوب شده و در این راستا، مطالعات نسبتاً گسترده‌ای در کشورهای مختلف دنیا در ارتباط با منشأ، تغییرات و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای انجام شده است.

بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، رسوب‌شناسی و منشأیابی ماسه‌های بادی با استفاده از روش‌های متداول XRD، XRF، دانه‌بندی و نیز سنجش‌ازدور می‌تواند در مدیریت و کنترل مسئله بیابان‌زایی و همچنین مخاطرات حاصل از فرسایش بادی حائز اهمیت باشد. انعکاس طیفی عوارض زمینی در سنجنده‌های ماهواره‌ای، حاوی اطلاعات با ارزشی برای مطالعه کانی‌های موجود در تپه‌ها و بررسی تغییرات به وجود آمده در یک بازده زمانی هستند. این طیف‌های انعکاسی به عواملی مانند ویژگی سطوح و نحوه قرارگرفتن آن‌ها بین خورشید و سنجنده، چگالی اتمسفر، درصد پوشش گیاهی، نوع کانی، بافت و مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها بستگی دارد (Ben-Dor et al., 2006).

می‌توان گفت که اولین مطالعات در خصوص حرکت تپه‌های ماسه‌ای در سال ۱۹۴۱ توسط Bagnold انجام‌شده است. وی در مورد منشأ ماسه‌های بادی عقیده داشت که انرژی باد نمی‌تواند ذرات ماسه‌های بادی را در یک سطح سنگی متراکم تولید نماید. به نظر او، سنگ‌ها از ذرات مختلف کانی‌ها تشکیل‌شده‌اند و تنها زمانی هوازدگی آن‌ها می‌تواند منشأ رسوبات بادی شود که رسوبات متشکله سنگ‌ها قبلاً به‌اندازه ابعاد ماسه‌های بادی در آید. همدان و همکاران در سال ۲۰۱۶ میزان جابه‌جایی و حرکت برخان‌ها را در جنوب شرقی بیابان غربی مصر بررسی و مشاهده نمودند که جابه‌جایی این تپه‌ها بین حدود ۳ تا ۱۱ متر در سال متغیر است (Hamdan et al., 2016).

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ به تغییرپذیری فرسایش بادی و مقادیر تخریب دینامیکی ناشی از آن در مناطقی از شمال چین را مطالعه و به این نتیجه دست یافتند که سرعت باد نزدیک سطح زمین در سال‌های اخیر کاهش داشته است (Zhang et al., 2019). سان و جاو در سال ۲۰۲۲ با تحلیل داده‌های ERA5، طی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹، به بررسی منشأ تپه‌های ماسه‌ای و همچنین تنوع اشکال ژئومورفولوژیکی این عارضه‌ها در بیابان تکله مکان پرداختند (Sun & Gao, 2022). در این مطالعه، با تحلیل داده‌های باد در ارتفاع ۱۰ متری، رژیم باد حاکم بر این منطقه و همچنین شرایط برداشت ماسه بررسی شد. نتایج نشان داد که فعالیت بادها در برداشت ماسه، در بخش‌های شرقی این بیابان از شدت بیشتری برخوردار است و در نتیجه توسعه تپه‌های ماسه‌ای مرکب در بخش‌های مرکزی این بیابان مشاهده شده و پیش‌بینی می‌شود به علت شرایط ناپایداری حاکم بر اقلیم این منطقه و برداشت ماسه از آن، تپه‌های ماسه‌ای ثانویه، در مناطق مجاور تشکیل شوند.

در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه انجام شده است. به‌عنوان‌مثال، سلیمانی و همکاران (۱۳۹۱) به منشأیابی رسوبات بادی با استفاده از کانی‌شناسی در اهواز پرداختند. در این زمینه از تصاویر ماهواره‌ای جهت ارزیابی بیابان‌زایی منطقه استفاده شد. نتایج نشان داد که بررسی کانی‌های کائولینیت نشان‌دهنده افزایش بیابان‌زایی در منطقه است. شهریار و طاهری‌نژاد (۱۳۹۸) به بررسی شرایط مکان‌گزینی و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در ریگ صادق‌آباد بافق با استفاده از تحلیل باد و مطالعات آب‌های زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان داد که وجود آب‌های زیر سطحی و همچنین بادهای همگرا، نقش مؤثری در مکان‌گزینی و مورفولوژی غالب تپه‌های ماسه‌ای به‌صورت هرم‌های ماسه‌ای، ایفا می‌کنند.

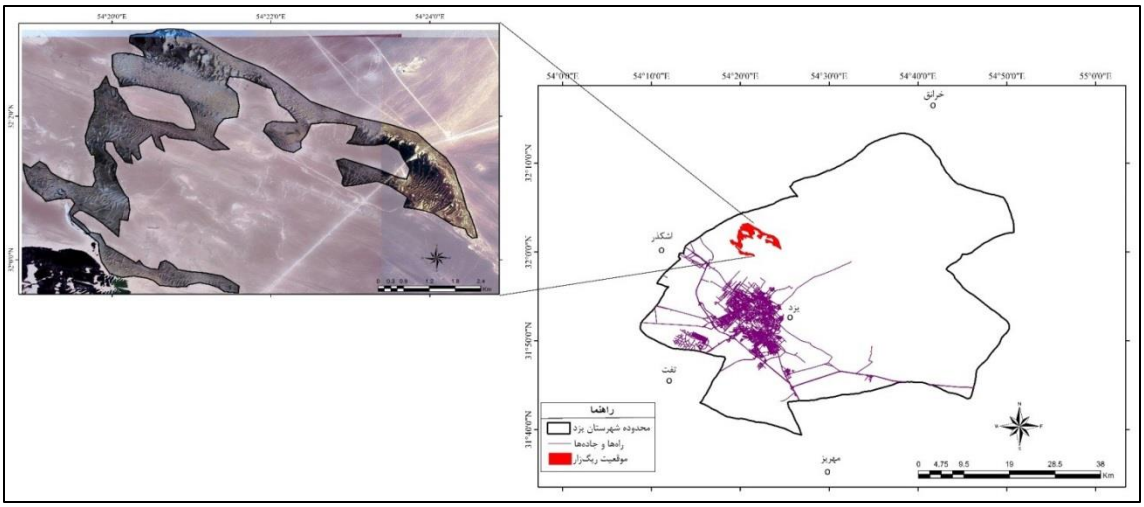
ممقانی بنایی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از کانی‌شناسی و مورفوسکوپی دانه‌های ماسه، به منشأیابی ماسه‌های بادی قوم تپه صوفیان در شمال دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد وجود ذرات ماسه‌ای زیر ۲۵۰ و ضعف پوشش گیاهی، سبب افزایش فرسایش توسط بادهای محلی شده است. شریفی پیچون و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی تغییرات زمانی - مکانی ریگزارها با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره لندست در ریگ زرین پرداختند و نشان دادند که در دوره‌های خشک میزان جابه‌جایی و توسعه ریگزارهای بسیار قابل‌توجه می‌باشد. لرستانی و شهریار (۱۴۰۱) با انجام مطالعات میدانی، بررسی رژیم باد حاکم بر منطقه بند ریگ کاشان و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به ارزیابی دینامیک برخان‌های بند ریگ کاشان پرداختند و نشان دادند که میزان جابه‌جایی آن‌ها در سال به بیش از ۷ متر می‌رسد که میزان این جابه‌جایی، علاوه بر سرعت باد و توپوگرافی، تا حدود زیادی به ابعاد و مورفولوژی برخان‌ها بستگی داشت.

در این پژوهش نیز، به دلیل نزدیکی ریگزار دروازه‌قرآن به شهر یزد، چند کمپ گردشگری در این منطقه احداث شده و مردم شهر یزد و همچنین گردشگران داخلی و خارجی نسبتاً زیادی در بیشتر ایام سال، به‌خصوص در ماه‌های سرد سال، برای تفریح و تفرج به این ریگزار مراجعه کرده و این منطقه از نظر گردشگری، اهمیت ویژه‌ای برای ساکنان یزد دارد. همچنین، به دلیل انتقال ریزگردها و بخصوص ماسه‌های روان از این منطقه به بخش‌های شمالی شهر یزد، این ریگزار نقش پررنگی در اختلال زندگی ساکنان مناطق شمالی شهر یزد به‌خصوص در ایام گرم و خشک سال ایفا می‌کند؛ بنابراین علاوه بر جنبه گردشگری این توده‌های ماسه‌ای، شناخت میزان جابه‌جایی، حرکت و رفتار این توده ماسه‌ای در شمال یزد، می‌تواند از اهمیت این پهنه ماسه‌ای در خلق مخاطرات طبیعی شهر یزد حکایت داشته باشد؛ بنابراین هدف این پژوهش، مطالعه تپه‌های ماسه‌ای محدوده دروازه‌قرآن یزد با استفاده از تحلیل کانی‌شناسی، تحلیل باد و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای است که بخشی از شهر یزد و کاربری‌های خاصی از جمله آرامگاه خلدبرین، در سال‌های اخیر در محدوده این تپه‌ها گسترش پیدا کرده که همواره می‌تواند از تحولات و جابه‌جایی این ماسه‌های روان، آسیب‌پذیر باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده موردمطالعه

محدوده دروازه‌قرآن یزد از دیدگاه حوضه‌ای بخشی از حوضه آبخیز دشت یزد – اردکان در ایران مرکزی بوده که دروازه‌قرآن یزد در مرکز استان یزد و در شمال غربی شهر یزد قرار دارد. این حوزه از نظر جغرافیایی در طول شرقی ۵۳° ۶۸ تا ۵۴° ۳۶ و عرض شمالی ۳۱° ۲۵ تا ۳۲° ۶۱ قرار گرفته و حدود ۱۵۵۱۰ کیلومترمربع وسعت دارد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت ریگزار دروازه‌قرآن در شهرستان یزد

انجام هر پژوهشی، نیازمند استفاده از برخی داده‌ها و ابزار مرتبط با آن موضوع است. در انجام این پژوهش که مرتبط با منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد، ازآنجاکه حرکت این توده‌های ماسه‌ای تحت‌تأثیر بادهای حاکم بر مناطق خشک انجام می‌گیرد، لازم است تا شناخت کافی از رژیم بادی حاکم بر منطقه حاصل گردد. برای این منظور، داده‌های باد مربوط به ایستگاه سینوپتیک یزد، طی یک دوره آماری ۲۰ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۱) تهیه و با استفاده از نرم‌افزار Wrplot.5.0 اقدام به‌رسم گلباد و گل‌طوفان گردید. علاوه بر مطالعه رژیم باد حاکم بر منطقه، داده‌های دیگری که در موضوع منشأیابی ماسه‌های روان لازم است، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی می‌باشد و به این خاطر، از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰) و زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰)، استفاده گردید. همچنین به‌منظور انجام عمل کانی‌شناسی رسوبات و تعیین محل انتقال آن‌ها، از تصاویر ماهواره‌ای TM سال ۱۹۹۳ و تصاویر ETM+ سال ۲۰۱۷، استفاده شده که تحلیل و تهیه نقشه‌های مرتبط با این تصاویر، در نرم‌افزار ENVI و ArcGIS انجام شده است. علاوه بر داده‌های ذکر شده، برخی از داده‌های به‌منظور انجام مطالعات آزمایشگاهی، به‌صورت مطالعات میدانی از منطقه موردمطالعه تهیه گردید که استفاده از این داده‌ها در آزمایشگاه، و با استفاده از ابزار آزمایشگاهی از قبیل تهیه مقاطع نازک و بهره‌گرفتن از میکروسکوپ پلاریزان انجام شده است.

به‌منظور شناخت رژیم باد حاکم بر یک منطقه می‌توان از گلباد استفاده نمود تا میزان فراوانی، جهت و سرعت باد غالب منطقه را مشخص نمود. از طرفی، در مبحث فرسایش و انتقال ماسه‌های روان، به دلیل آنکه تمام بادها قابلیت فرسایش نداشته و تنها بادهای نیرومند توانایی فرسایش و انتقال ماسه‌های بادی را دارند؛ لذا در مورد فرسایش بادی، سرعت باد بیش‌تر از فراوانی آن اهمیت دارد؛ بنابراین در مبحث منشأیابی ماسه‌های روان و کنترل فرسایش بادی، به‌غیراز شناسایی بادهای غالب، شناسایی شدیدترین و درعین‌حال فرساینده‌ترین بادها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (رفاهی، ۱۳۸۰: ۲۳). ازاین‌رو می‌توان اقدام به رسم نمودارهای گل‌طوفان نمود. گل‌طوفان همان گلبادی است که تنها بادهایی با سرعت بیش از آستانه فرسایش بادی را نشان می‌دهد. ازاین‌رو، با استفاده از آمار ۲۰ساله مربوط به جهت و سرعت باد در ایستگاه سینوپتیک یزد، در نرم‌افزار Wrplot.5.0 اقدام به رسم گل‌طوفان‌های فصلی و سالانه گردید تا بتوان بر حسب جهت بادهای طوفانی حامل ماسه، عرصه‌های برداشت ماسه‌های روان حاصل از فرسایش بادی شناسایی گردد.

در زمینه کانی‌شناسی توده‌های ماسه‌ای ریگزار دروازه‌قرآن یزد، در ابتدا تعداد ۲۱ مقطع نازک تهیه شده از ماسه‌های بادی توسط میکروسکوپ پلاریزان مورد تحلیل قرار گرفت. تهیه مقاطع نازک به این صورت انجام می‌شود که برای تهیه هر یک از این مقاطع در نمونه‌های ماسه‌ای، ابتدا در حد استاندارد موردنیاز این روش، از نمونه‌های موردمطالعه ماسه برداشته شده و بر روی سطح شیشه‌ای لام میکروسکوپی که جهت تهیه مقاطع نازک در آزمایشگاه استفاده می‌شود، نمونه ماسه‌ها چسبانده و با میکروسکوپ پلاریزان مورد مشاهده و بررسی قرار گرفت. باتوجه‌به اینکه XRF یک روش تجزیه غیرمخرب به‌وسیله اشعه X می‌باشد و اطلاعات جامعی درباره ترکیبات شیمیایی نمونه‌ها ارائه می‌دهد، تعداد دو نمونه ترکیب شده از کل ۲۱ نمونه ماسه‌ها تهیه گردیده و از طریق روش XRF در آزمایشگاه مورد آنالیز قرار گرفت.

در نهایت به‌منظور کانی‌شناسی نمونه‌ها با روش سنجش‌ازدور، نسبت‌گیری باندی از تصاویر ماهواره‌ای توسط نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام گرفت. بنابراین، جهت تحلیل بهتر تپه‌های ماسه‌ای هم از نظر شناسایی منشأ مناطق برداشت و تغذیه آن‌ها و مهم‌تر از آن، از نظر تغییر و تحولات (جابه‌جایی‌شان) در طول زمان، از تصاویر ETM+ ماهواره لندست در سال ۲۰۱۷ استفاده شد. در این زمینه جهت آنالیز تصاویر ماهواره‌ای، اعمال فیلترهای مربوطه و نمایش مکان‌های برداشت ماسه انجام شد. برای این منظور در مرحله اول باتوجه‌به اینکه تصاویر ماهواره‌ای خام دارای خطاهای هندسی و ژئومتری هستند، به‌منظور رفع خطاهای مذکور و اصلاح میزان مختصات جغرافیایی داده‌های تصویری و نقشه‌ها، تصاویر موجود بر حسب نقشه‌های دقیق و به‌روز شده از منطقه موردمطالعه زمین مرجع گردید.

برای انجام این کار، ابتدا نقشه‌های توپوگرافی با ۲۰ نقطه کنترل زمینی و با حداقل میزان RMSE زمین مرجع شده و با نقاط کنترل زمینی خطای جابه‌جایی مقایسه و بررسی گردید. سپس در تصویر ETM+ سال ۲۰۱۷ با استفاده از روش نقشه به تصویر و همچنین روش FLAASH تصحیح هندسی انجام گردید.

همچنین جهت بهبود وضعیت ظاهری تصویر موردنظر جهت بالابردن قدرت تحلیل چشمی و رایانه‌ای، از الگوریتم‌های بارزسازی و اعمال دستورهای فیلتر و تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای افزایش قابلیت تفسیر چشمی تصاویر در محیط ENVI 5.3 استفاده گردید. بنابراین یکی از امکاناتی که هنگام تفسیر رقومی اطلاعات ماهواره‌ای و استفاده از رایانه در اختیار مفسر قرار می‌گیرد، اختصاص ارزش‌های جدید بر اساس ارزش پیکسل‌های مجاور برای ایجاد تصویر جدید، تحت عنوان فیلترکردن است. در این تحقیق از فیلتر Laplacian< Convolution با ابعاد ماتریس ۳×۳ برای آشکارسازی عوارض خطی و به‌خصوص خط الراس تپه‌های ماسه‌ای و پراکندگی آن‌ها استفاده شد. زیرا کاربرد این نوع فیلتر قابلیت بالایی در شناسایی عوارض خطی دارد. بعد از مرحله پیش‌پردازش، در مرحله پردازش تصاویر ماهواره‌ای اقدام به طبقه‌بندی نظارت نشده از منطقه موردمطالعه گردید. چرا که اصولاً در روش طبقه‌بندی نظارت نشده، کلاس‌های حاصل بر اساس تشابه طیفی پیکسل‌ها ایجاد می‌شود.

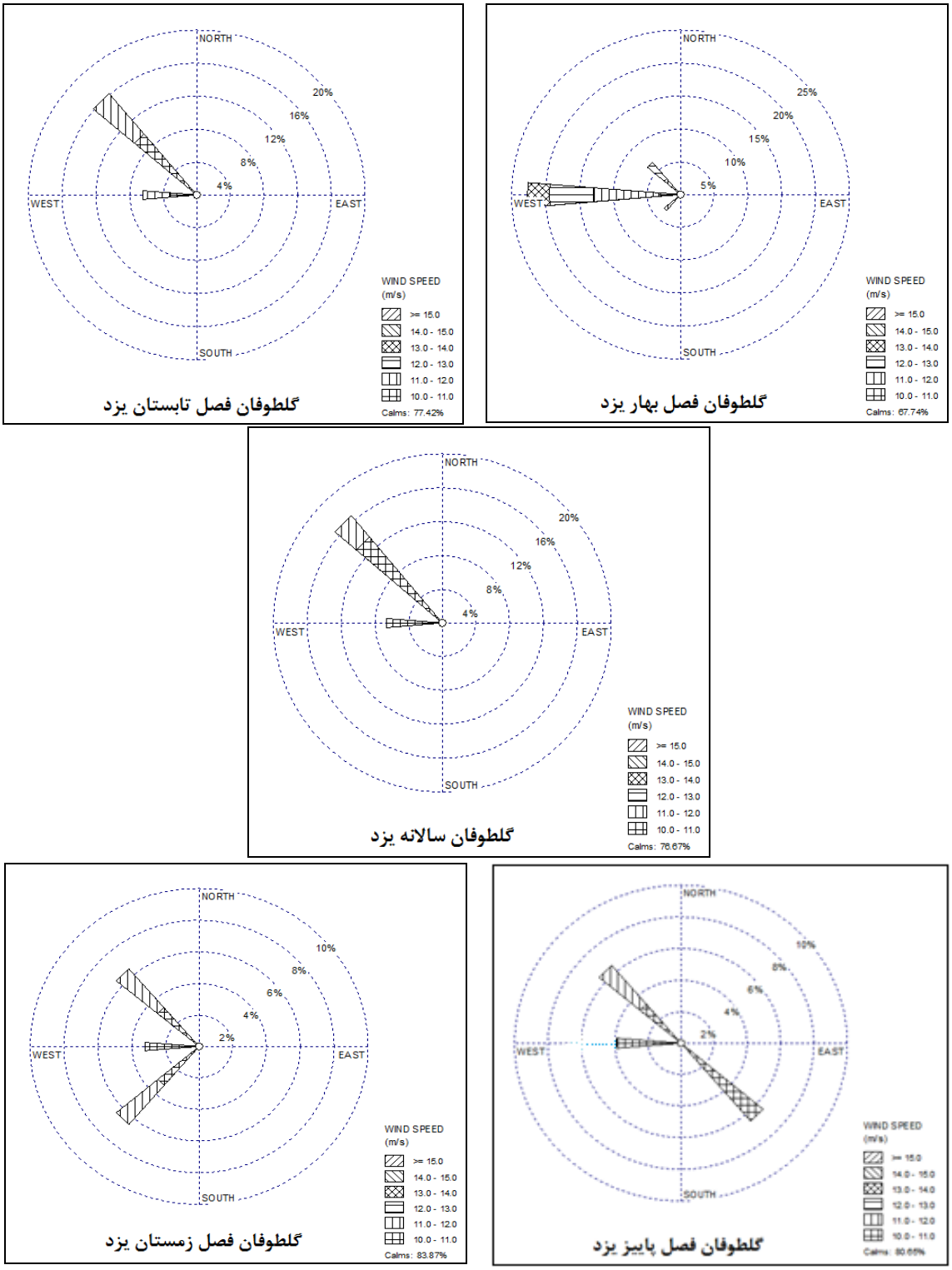
بنابراین، نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت نشده، نیاز به استفاده از اطلاعات جانبی، تکمیلی، تفسیر و شناسایی دارد (علوی پناه، ۲۰۰۷). در این مرحله تعداد کلاس‌های طیفی از اهمیت خاصی برخوردار است که این امر بستگی به شناخت مفسر از منطقه موردمطالعه، میزان تجربه محقق و وضعیت بازتاب‌های طیفی دارد. در این پژوهش برای شناخت منشأ ماسه‌های روان بر روی تصاویر ETM+ سال ۲۰۱۷، چندین طبقه‌بندی نظارت نشده انجام گرفت و در نهایت طبقه‌بندی با هفت کلاس، مناسب تشخیص داده شد.

نتایج

۱- تحلیل بادهای منطقه

باد دارای سه ویژگی اصلی یعنی جهت، سرعت و فراوانی بوده که تعیین‌کننده میزان جابه‌جایی و نقل‌وانتقال ماسه و مواد ریزدانه می‌باشد. اگرچه بادهای بسیار قوی از تداوم کم‌تری برخوردارند؛ اما نقش مؤثرتری در حمل ماسه‌ها ایفا می‌کنند (Lio et al., 2005). ازآنجاکه در مناطق ژئومورفیک متفاوت، نوع فرسایش‌پذیری سطوح زمین تفاوت‌های زیادی را نشان می‌دهد؛ بنابراین یکسان بودن شرایط وزش باد در یک پهنه نمی‌تواند نشانگر یکسان بودن رفت‌وروب در تمامی آن منطقه باشد و اغلب تفاوت‌های مکانی خاصی را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها ناشی از تغییرات فاکتورهای غالب فرسایش‌پذیری چون ویژگی‌های خاک، زبری سطح، توپوگرافی، پوشش گیاهی و مدیریت خاک‌های سطح زمین می‌باشد (Suskia et al., 2004). بنابراین، ازآنجاکه هر بادی قادر به حمل ماسه نبوده و هدف این تحقیق، بررسی میزان جابه‌جایی ماسه‌های روان است، لذا در این پژوهش سعی شده تا گل‌طوفان منطقه در فصول مختلف بررسی شود تا تنها شرایط وزش بادهای حامل ماسه در منطقه موردمطالعه شناسایی شود و به همین خاطر گل‌طوفان نسبت به گلباد، در تحقیقات مربوط به ماسه‌های روان، نتایج مطلوب‌تری را به محققان ارائه می‌دهد.

در پژوهش حاضر، در رسم گل‌طوفان‌ها، فقط بادهایی با سرعت حداقل ۱۰ متر در ثانیه به بالا لحاظ شده‌اند. نتایج حاصل از بررسی گل‌طوفان‌های مربوط به ایستگاه سینوپتیک یزد نشان داد که به‌استثنای فصل بهار، گل‌طوفان سالانه به همراه فصول دیگر، نشان‌دهنده آن است که جهت اصلی حمل ماسه، بادهای غالب شدید شمال غربی می‌باشد. هر چند ممکن است هم‌زمان با بادهای غالب شمال غربی، در برخی فصول بادهای درجه دو با جهات جنوب شرقی، جنوب غربی یا شرقی مشاهده گردد. اگر چه باید در نظر داشت که بادهای فصول خشک نقش تعیین‌کننده‌تری در زمینه برداشت و انتقال ماسه‌های بادی ایفا می‌کند که در این زمینه نتایج حاصل از گل‌طوفان تابستانه در کنار گل‌طوفان سالانه می‌تواند کمک بیشتری به درک منشأ بادهای حامل ماسه در منطقه موردمطالعه نماید (شکل ۲).

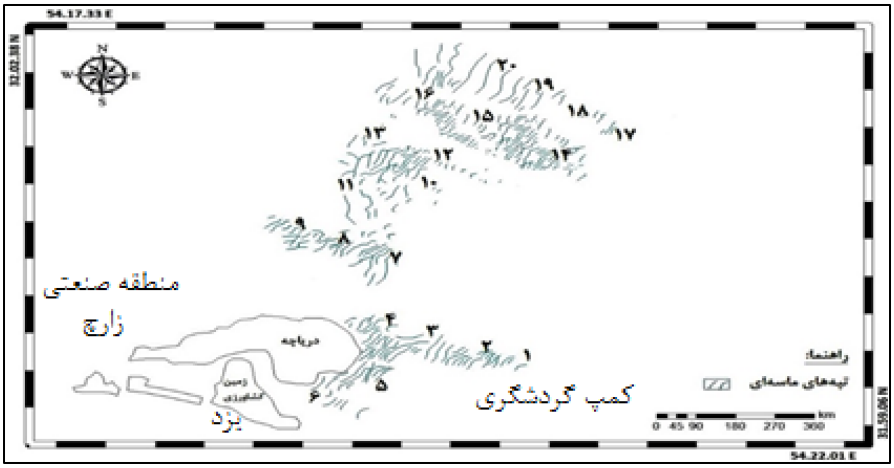


شکل ۲. گل‌طوفان سالانه و فصلی ایستگاه یزد

۲- تحلیل کانی‌شناسی رسوبات

کانی‌شناسی (Mineralogy) یک موضوع زمین‌شناسی به شمار می‌رود که متخصص در مطالعه علمی شیمی، ساختار بلورین و خواص فیزیکی (از جمله نوری) کانی‌ها و مصنوعات معدنی است. مطالعات خاص در کانی‌شناسی شامل فرایندهای منشأ و تشکیل کانی‌ها، طبقه‌بندی کانی‌ها، پراکندگی جغرافیایی آنها و همچنین استفاده از آنها می‌باشد (آشفته و دوستی، ۱۳۹۵:

۹). کانی‌شناسی را می‌توان یکی از راه‌های شناخت منشأ تپه‌های ماسه‌ای و ماسه‌های روان تشکیل‌دهنده آن‌ها در نظر گرفت. در این پژوهش، طی عملیات نمونه‌برداری، ۲۱ نمونه انتخابی ماسه، از محدوده مورد مطالعاتی به‌صورت روش نمونه‌برداری انتخابی برداشت از عمق حدود ۳۰ سانتیمتری انجام شد. جهت سهولت تحقیق، ریگزار دروازه‌قرآن یزد به سه قسمت محدوده جنوبی (نمونه‌های ۱ تا ۶)، محدوده میانی (نمونه‌های ۷ تا ۱۳) و محدوده شمالی (نمونه‌های ۱۴ تا ۲۰) تقسیم شده و موقعیت نقاط نمونه‌برداری نیز مشخص گردید (شکل ۳).



شکل ۳. موقعیت نقاط برداشت نمونه‌های آزمایشگاهی در سطح سه ناحیه مطالعاتی در ریگزار دروازه‌قرآن یزد

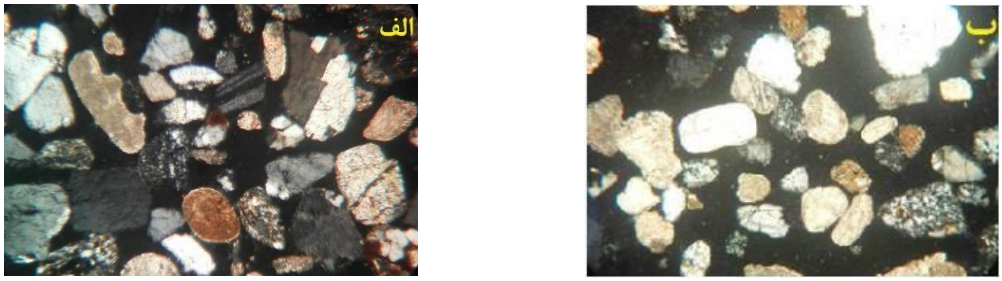
در بررسی اندازه ذرات ماسه، طبقه‌بندی و شناسایی فراوانی اندازه ذرات ماسه، بسیاری از تحقیقات نشان داد که با وجود اختلاف اندازه ذرات ماسه در هر نمونه، به‌طورکلی دانه‌های ماسه‌ای با قطر ۲۵۰ میکرون، از بیشترین فراوانی برخوردار بوده و مطالعه این طبقه رسوبی، شناخت بهتری از شرایط مورفوسکوپی و کانی‌شناسی هر نمونه را نشان می‌دهد (یمانی، ۱۳۷۹؛ شهریار و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین اگر دانه‌های ماسه ۲۵۰ میکرونی از بیشترین فراوانی ممکن در بین ماسه‌های روان برخوردار باشد، می‌توان گفت که با وجود ذرات درشت‌تر و یا ریزتر از این مقدار، دانه‌های ۲۵۰ میکرون، می‌تواند شناخت بهتری از رابطه بین باد و حمل ماسه در منطقه را نشان دهد. در این تحقیق نیز به‌منظور مطالعات پتروگرافی، بعد از عمل دانه‌بندی نمونه‌ها در آزمایشگاه و تفکیک قطر دانه‌های ماسه، دو نمونه به‌صورت ترکیب شده از نمونه‌های برداشت شده از منطقه موردمطالعه با قطر ۲۵۰ میکرون از سه محدوده موردمطالعه به‌عنوان شاخص انتخاب گردید؛ به‌طوری‌که برای نمونه اول انتخابی، از ترکیب نمونه‌های ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۷، ۲۰ و برای نمونه دوم انتخابی، از ترکیب نمونه‌های ۲، ۳، ۵، ۷، ۸ جهت بررسی پتروگرافی توسط میکروسکوپ پلاریزان استفاده گردید. در این بررسی، نمونه‌ها از دو جنبه موردمطالعه قرار گرفتند: یکی از نظر ساییدگی، به‌گونه‌ای که هر نمونه بیش‌تر در معرض فرسایش آب و باد قرار گرفته و بیش‌تر ساییده شده باشد، گردتر شده است و می‌توان علاوه بر حمل، مسافت طی شده را نیز تعیین کرد. جنبه دیگر مطالعه، بررسی کانی‌شناسی است که در این مطالعه، کانی‌های موجود در نمونه‌های موردمطالعه شناسایی و با استفاده از چارت مقایسه‌ای (Flugel, 2014) درصد تقریبی آن‌ها تخمین زده شده است (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج حاصل از پتروگرافی دو نمونه منتخب ترکیبی

کانی	درصد نمونه ترکیبی اول	درصد نمونه ترکیبی دوم
کوارتز	۴۷	۴۳
کلسیت و دولومیت	۳۰	۳۷
فلدسپات	۲۰	۱۴
کانی‌های سنگین	۳	۶

به‌منظور شناخت منشأ انتقال ماسه‌های روان، باید درصد کانی‌های تشکیل‌دهنده نمونه‌های منتخب مشخص گردد تا به‌واسطه آن بتوان فهمید که باتوجه‌به فراوان‌ترین کانی موجود در نمونه‌ها، پراکندگی این کانی، در کدام بخش از منطقه

موردمطالعه بیشتر است. پس ابتدا باید درصد فراوانی کانی منتقل شده به منطقه مشخص گردد و سپس در ارتباط با جهت بادهای حامل ماسه، مشخص شود کانی‌هایی که بخش عمده نمونه‌های ماسه‌ای را شامل می‌شوند، از چه منطقه‌ای منشأ می‌گیرند؛ بنابراین، در مرحله اول درصد کانی‌های نمونه‌های رسوبی تعیین گردید که این نتایج نشان داد کانی‌های کوارتز، کلسیت، دولومیت، فلدسپات و کانی‌های سنگین (اکسید آهن) در نمونه‌های برداشت شده وجود داشته و از نظر فراوانی، کوارتز در دو نمونه بررسی شده دارای بیش‌ترین فراوانی با مقدار ۴۳ تا ۴۷ درصد (میانگین ۴۵درصد)، کلسیت و دولومیت ۳۰ تا ۳۷ درصد (میانگین ۳۳/۵ درصد) و فلدسپات ۱۴ تا ۲۰ درصد (میانگین ۱۷ درصد) و در نهایت کانی‌های سنگین ۳ تا ۶ درصد می‌باشد (جدول ۱). همچنین در مطالعات مورفوسکوپی نمونه‌های مورد بررسی، از شاخص گردشدگی و فاصله حمل ذرات استفاده شده است و باتوجه‌به این که این شاخص در نمونه اول نیمه زاویه‌دار بوده، این امر نشان‌دهنده حمل این ذرات از فاصله نه‌چندان دور است. درحالی‌که این شاخص در نمونه دوم که بیش‌تر در بخش‌های جنوبی متمرکز بوده، به‌صورت نیمه گرد است و حکایت از حمل‌شدن ذرات این نمونه از فاصله دورتری نسبت به ذرات نمونه اول دارد (شکل ۴).



شکل ۴: مورفوسکوپی مقاطع نازک تهیه شده از رسوبات بادی نمونه اول (الف) و نمونه دوم (ب) با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان (مقیاس ۲ میلیمتر)

۳- نتایج حاصل از آنالیز XRF

به‌منظور مقایسه و اخذ نتایج بهتر به آنالیز ژئو شیمیایی نمونه ماسه‌های رسوبی پرداخته شد. اولین قدم در تحلیل‌های ژئوشیمیایی، انتخاب روش تجزیه‌ای مناسب است. چرا که در مطالعات ژئوشیمیایی روش‌های مختلفی وجود دارد که هر کدام به‌منظور خاصی شکل‌گرفته و به کار می‌روند. در این پژوهش، به‌منظور بررسی ترکیب اکسیدی نمونه‌ها، از روش XRF استفاده شد. برای این منظور و تحلیل مقایسه‌ای، همان نمونه‌هایی که برای پتروگرافی انتخاب شده بودند به‌عنوان شاخص انتخاب گردیدند و در نهایت در آزمایشگاه، آنالیز XRF جهت شناسایی ترکیب اکسیدی نمونه‌ها انجام شد و نتایج آن به شرح جدول ۲ قابل‌مشاهده است.

جدول ۲. ترکیب شیمیایی دانه‌های تشکیل‌دهنده ماسه بر اساس آنالیز XRF

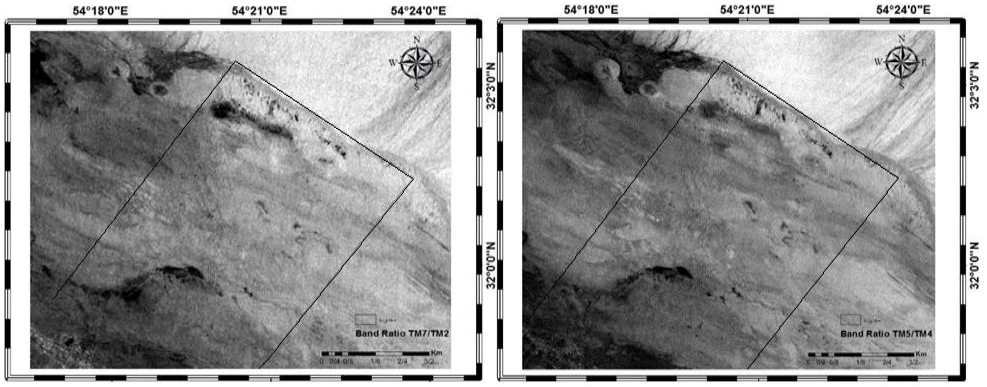
ردیف	فرمول ترکیب	غلظت برحسب درصد نمونه اول	غلظت برحسب درصد نمونه دوم
۱	اکسید سیلیس (SiO_2)	۴۰/۳	۴۰/۵
۳	اکسید کلسیم (CaO)	۱۷/۷۷	۱۶/۹
۴	اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)	۷/۳۹	۹/۰۹
۵	اکسید منیزیوم (MgO)	۲/۵۴	۳/۷۸
۶	اکسید پتاسیم (K_2O)	۱/۸۲	۱/۹۰
۷	اکسید سدیم (Na_2O)	۱/۷۸	۲/۲۱
۸	اکسید آهن (Fe_2O_3)	۰/۹۹	۱/۱۹
۹	اکسید تیتانیوم (TiO_2)	۰/۳۱۵	۰/۳۵۹
۱۰	کلر (Cl)	۰/۱۹	۰/۳۲۸
۱۱	گوگرد (SO_3)	۰/۲۲	۰/۵۰۲
۱۲	فسفر (P_2O_5)	۰/۰۹۳	۰/۰۹۷
۱۳	منگنز (MnO)	۰/۰۲۸	۰/۰۳۰
۱۴	استرانسیم (SrO)	۰/۰۲۰۶	۰/۰۲۸۰

باتوجه‌به جدول (۲)، نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی (XRF)، حاکی از تنوع عنصری ماسه‌های موردمطالعه است. به‌نحوی‌که این رسوبات شامل اکسید سیلیس، اکسید کلسیم، اکسید آلومینیوم، اکسید سدیم، اکسید پتاسیم، اکسید منیزیوم، اکسید آهن و اکسید تیتانیوم است که دراین‌بین اکسید سیلیس (از ۴۰/۳ تا ۴۰/۵ درصد با میانگین ۴۰/۴) و اکسید کلسیم (از ۱۷/۷۷ تا ۱۶/۹ درصد با میانگین ۱۷/۳) بیش‌ترین فراوانی را در مقایسه با سایر اکسیدها در نمونه‌های موردمطالعه دارند. باتوجه‌به اینکه اکسید سیلیس سازنده اصلی کوارتز و اکسید کلسیم سازنده اصلی کلسیت و دولومیت است، لذا نتایج حاصل از بررسی پتروگرافی (جدول ۱) و آنالیز XRF (جدول ۲) الگوی مشابهی را در فراوانی نشان می‌دهند.

۴- نتایج حاصل از کانی‌شناسی با استفاده از سنجش‌ازدور

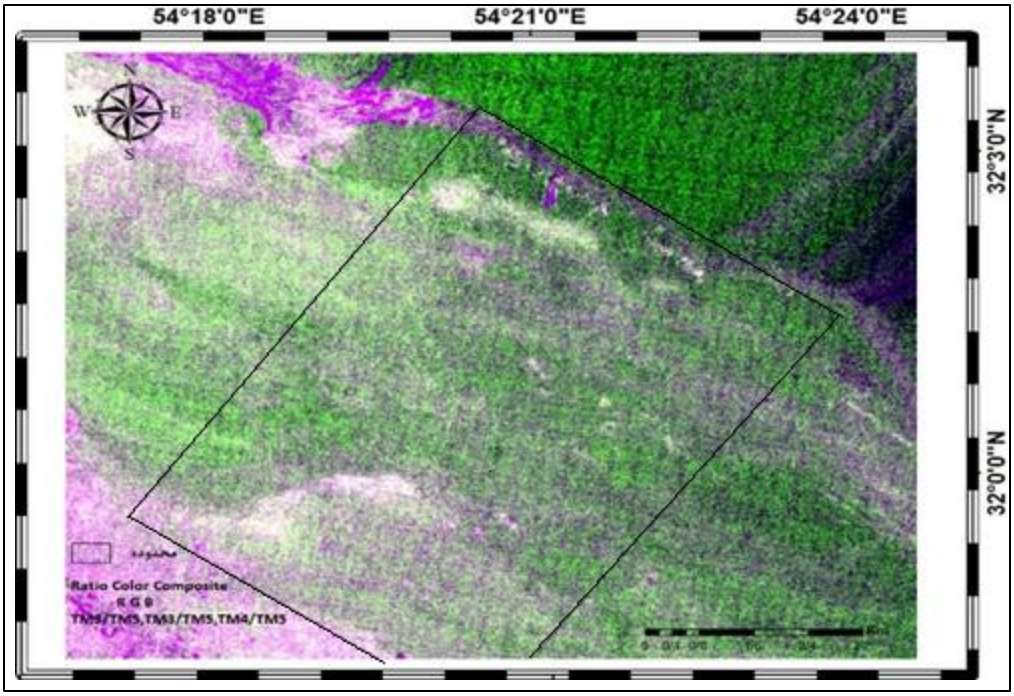
برخلاف بسیاری از رسوبات کواترنری مانند آبرفت‌ها، یخ‌رفت‌ها و رسوبات ساحلی، از نظر کانی‌شناسی و به‌خصوص دانه‌بندی، رسوبات بادی دارای ترکیبی همگن و درعین‌حال ساده هستند (Muhs & Holliday, 2001) براین‌اساس، در این پژوهش برای بررسی کانی‌شناسی و تفکیک تپه‌های ماسه‌ای از سایر کاربری‌های منطقه موردمطالعه از نسبت‌گیری طیفی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای دو سنجنده TM و ETM+ استفاده گردید. بر اساس جدول ۲ (XRF)، کانی‌های کوارتز و کربناته (کلسیت و دولومیت) بیش‌ترین مقدار را در بین سایر کانی‌ها در منطقه به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس آنالیز XRF در نمونه‌های مورد آزمایش، مشخص گردید که کوارتز موجود در تپه‌های ماسه‌ای منطقه دارای Sio2 بالا و مقدار K2o+ Na2o+Al2o3 پایین می‌باشد. باتوجه‌به این‌که منشأ تپه‌های ماسه‌ای منطقه موردمطالعه، سازندهای زمین‌شناسی مجاور آن‌ها می‌باشد و این سازندها متشکل از دانه‌های حاوی کوارتز فراوان بوده که توسط سیمانی از جنس کربنات‌ها به هم متصل شده‌اند؛ لذا در اثر فرسایش و هوازدگی آن‌ها، رسوبات حاصله توسط باد به منطقه حمل شده و تجمع ماسه‌ای را سبب شده است. در نتیجه این امر، بیش‌ترین ترکیبات تشکیل‌دهنده نمونه‌های موردمطالعه، شامل کانی‌های کوارتز و کربنات است.

این مسئله، همچنین با استفاده از تجزیه‌وتحلیل‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌های اشعه X نیز به اثبات رسید. بعلاوه، به‌منظور مطالعه کانی‌شناسی تپه‌های ماسه‌ای از طریق سنجش‌ازدور، از نسبت‌گیری باندی و تکنیک‌های محاسبات تصاویر TM استفاده‌شده است. از طرفی از نظر بازتاب طیفی باید توجه داشت که کانی‌های کوارتز و کربنات (کلسیت و دولومیت) در محدوده طیفی باند ۵ (۱/۷۵-۱/۵۵ میکرومتر) و باند ۷ (۲/۳۵ -۲/۰۸ میکرومتر) سنجنده TM، بازتاب بالایی دارند (علوی پناه، ۱۳۹۵: ۳۶). بنابراین باتوجه‌به نتایج پتروگرافی و XRF به‌منظور شناسایی کانی‌های سازندهای مجاور که بیشترین نقش را در انتقال به منطقه دارند (کانی‌های کوارتز و کربنات‌ها)، چندین نسبت‌گیری طیفی مورد آزمایش قرار گرفت و درنهایت دو نسبت باندی (Ratio TM5/TM4) و (Ratio TM7/TM2) تصاویر TM1993 برای تفکیک اراضی پوشیده از ماسه (تپه‌های ماسه‌ای) از سایر اراضی منطقه مناسب‌تر در نظر گرفته شد. سپس در تصاویر حاصله از این نسبت‌های طیفی، تپه‌های ماسه‌ای منطقه با طیف روشن ظاهر شدند و هر پیکسل آن‌ها در این تصاویر، ارزش رقومی (DN) بالاتری نسبت به سایر واحدهای ارضی موجود در منطقه داشتند. در واقع برای تشخیص مناطق پوشیده شده از تپه‌های ماسه‌ای که کانی غالب آن‌ها دارای ترکیبات کانی کوارتز و کربنات هستند، این دو نسبت باندی پیشنهاد می‌گردد (شکل ۵).



شکل ۵. تپه‌های ماسه‌ای با تن رنگ خاکستری حاصل از نسبت طیفی باند ۵ به باند ۴ (تصویر سمت راست) و نسبت طیفی باند ۷ به باند ۲ در سنجنده TM1993 (تصویر سمت چپ)

همچنین، نسبت‌های باندی ۴/۵، ۳/۴، ۳/۵ در تصاویر TM1993 برای منطقه موردنظر تهیه گردید و با ترکیب این تصاویر مشاهده شد که تپه‌های ماسه‌ای با کانی‌های غالب کوارتز و کربنات‌ها (کلسیت و دولومیت)، به رنگ سبز کم‌رنگ قابل‌شناسایی می‌باشد (شکل ۶).



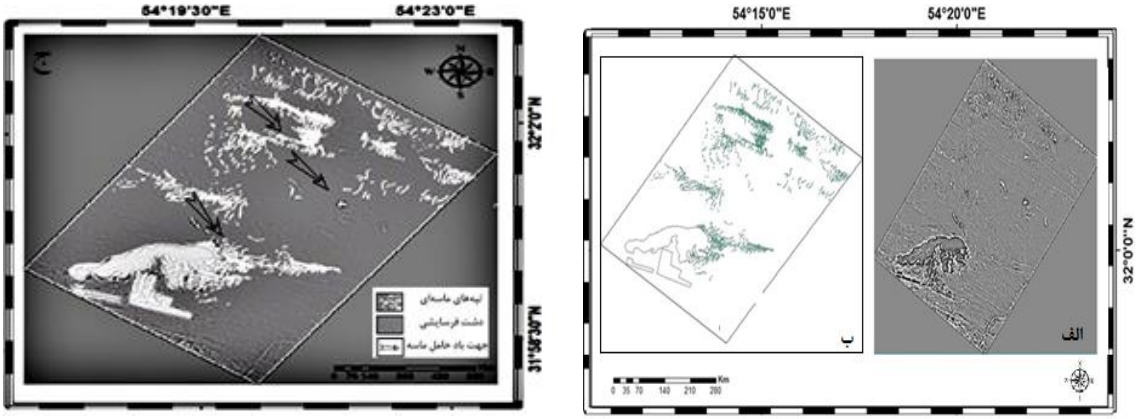
شکل ۶. ترکیب رنگی نسبت طیفی (R:3/5,G:3/4,B:4/5) در سنجنده TM1993 (تپه‌های ماسه‌ای حاوی کوارتز و کلسیت و دولومیت به رنگ سبز کم‌رنگ)

۵- بررسی منشأ تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

بررسی منشأ ماسه‌های روان در یک منطقه، بدون درنظرگرفتن رژیم بادی یک منطقه، کاری بیهوده به شمار می‌رود؛ زیرا بادهای طوفانی یک منطقه مشخص می‌کنند که ماسه‌های روان از منطقه برداشت، به چه سمتی جریان پیدا کنند. از طرفی در ماه‌ها و فصول خشک، باد قادر است ماسه‌ها و ریزگردها را راحت‌تر جابه‌جا و منتقل نماید؛ بنابراین بررسی گل‌طوفان تابستانه و همچنین سالانه ایستگاه یزد نشان‌دهنده غلبه بادهای شدید شمال غربی در این منطقه است. به‌عبارت‌دیگر، در دوره‌های خشک که شرایط منطقه مساعد حمل ماسه‌ها توسط باد می‌باشد، بیشتر بادهای شمال غربی هستند که در منطقه جریان داشته و می‌توانند ریزگردها و ماسه‌های روان را به منطقه منتقل نمایند (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۶ نیز مشخص می‌باشد، پهنه‌های سبز کم‌رنگ که موید تپه‌های ماسه‌ای هستند، در همین راستای شمال غربی - جنوب شرقی کشیده و پراکنده شده‌اند.

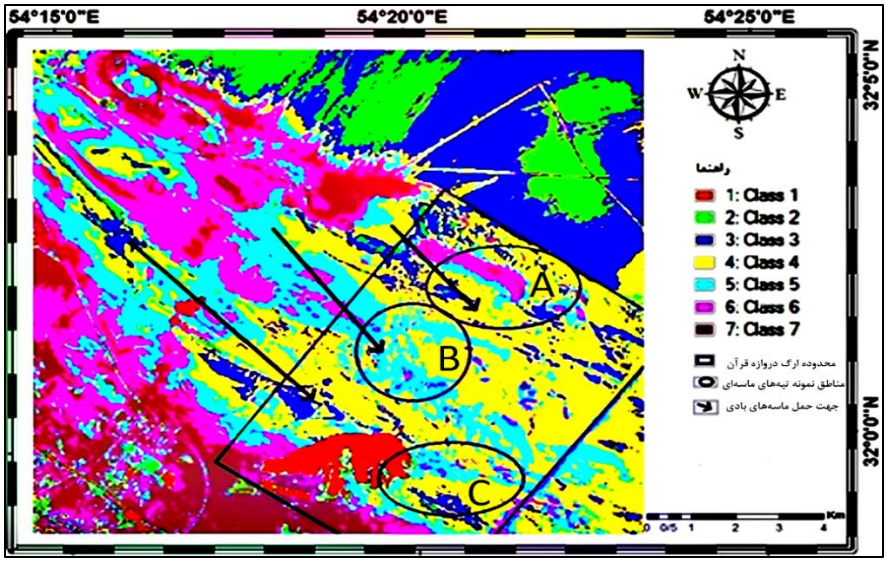
بنابراین، انطباق این پهنه‌های ماسه‌ای و جریان بادهای شدید، می‌تواند نقش پر رنگ پهنه‌ها و سازندهای بخش شمال غربی در تأمین ماسه‌ها برای هجوم به شهر را فراهم سازد. بعد از مطالعه رژیم بادهای طوفانی و تحلیل‌های رسوب‌شناسی و کانی‌شناسی، به بررسی و شناسایی ویژگی‌های تپه‌های ماسه‌ای ریگزار دروازه‌قرآن در شمال شهر یزد، جابه‌جایی و تغییرات آن‌ها پرداخته شد. از مهم‌ترین ویژگی ژئومورفولوژیکی نهشته‌های بادی می‌توان به لبه‌ها، خط‌الرأس و حواشی‌ها آن‌ها اشاره نمود. از طرفی این تپه‌های ماسه‌ای معمولاً همراه با خود سایه‌ای ایجاد می‌کنند که از مهم‌ترین ایده‌های پردازش تصاویر در ارتباط با این لندفرم‌های بیابانی، فیلتر آشکارساز غیرخطی لبه‌ها است. به‌طورکلی، در جایی که نیاز به آنالیز خصوصیات مکانی پدیده‌ای در تصویر است، می‌توان از فیلترها بهره جست که در این پژوهش به‌منظور مطالعه مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای ابتدا با اعمال فیلتر خطی Laplacian بر روی تصاویر +ETM (لندست ۸) پدیده‌های مکانی موجود در محدوده

مکانی دروازه‌قرآن یزد نمایش داده شد. در تصویر به‌دست‌آمده مورفولوژی و برخی دیگر از ویژگی‌های تپه‌های ماسه‌ای به‌خوبی قابل‌تشخیص است که راس‌الخط آن‌ها نمایش‌دهنده جهت وزش باد غالب منطقه می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷. نمایش پراکندگی تپه‌های ماسه‌ای در تصویر ETM+ 2017 (الف) و استخراج مدل رقومی پراکندگی تپه‌های ماسه‌ای در گوگل ارث (ب) و نمایش تپه‌های ماسه‌ای حاصل از تلفیق تصویر فیلتر شده و تصویر ترسیم‌شده در گوگل ارث (ج)

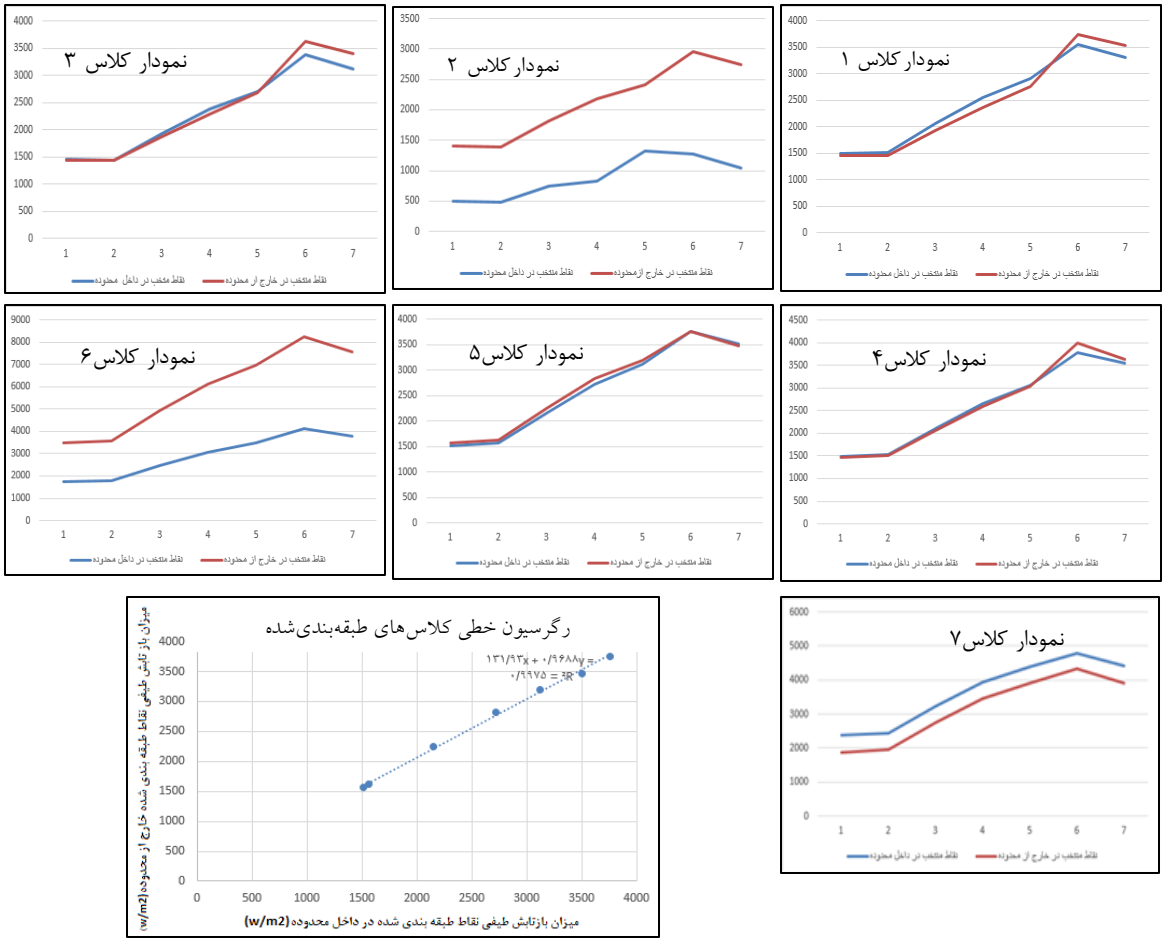
برای انجام عملیات منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای در منطقه موردمطالعه، تصاویر و پردازش‌های لازم اعمال و تحلیل باد انجام گردید که به‌منظور تفکیک مناطق برداشت و همچنین مناطق حمل و انباشت، از طبقه‌بندی نظارت نشده استفاده گردیده و در ۷ کلاس طبقه‌بندی شد. باتوجه‌به آنکه نهشته‌های بادی مختلف متأثر از جهت باد فرساینده منطقه هستند، با بررسی گل‌طوفان‌ها، جهت باد فرساینده شمال غرب لحاظ گردید. ازاین‌رو، باتوجه‌به جهت غالب بادهای فرساینده شمال غربی، مناطقی که در شمال غرب نهشته‌های ماسه‌ای قرار دارند، می‌توانند منشأ تپه‌های ماسه‌ای موردنظر باشند. در تصویر به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی نظارت نشده در منطقه موردمطالعه، مناطق آبی‌رنگ (کلاس ۵) پهنه‌های ماسه‌ای هستند که هم در منطقه انباشت و هم در منطقه برداشت قابل‌مشاهده بوده و منشأ رسوبات را باتوجه‌به جهت باد غالب منطقه نشان می‌دهد (شکل ۸).



شکل ۸: طبقه‌بندی نظارت نشده از ریگزار دروازه‌قرآن و محدوده مجاور بر روی تصویر ETM 2017

تنها شباهت رنگ را نمی‌توان تشابه ماهیت دانست. به همین خاطر برای اثبات ماهیت یکسان کلاس‌ها، از هر کلاس چند نقطه به‌عنوان نمونه در داخل محدوده و چند نقطه خارج از محدوده برداشت شده و سپس نمودار خطی آن‌ها ترسیم گردید که شباهت این نمودارها یکی بودن جنس رسوبات را تأیید می‌کند (شکل ۱۰). در نهایت همبستگی هر کلاس مشخص

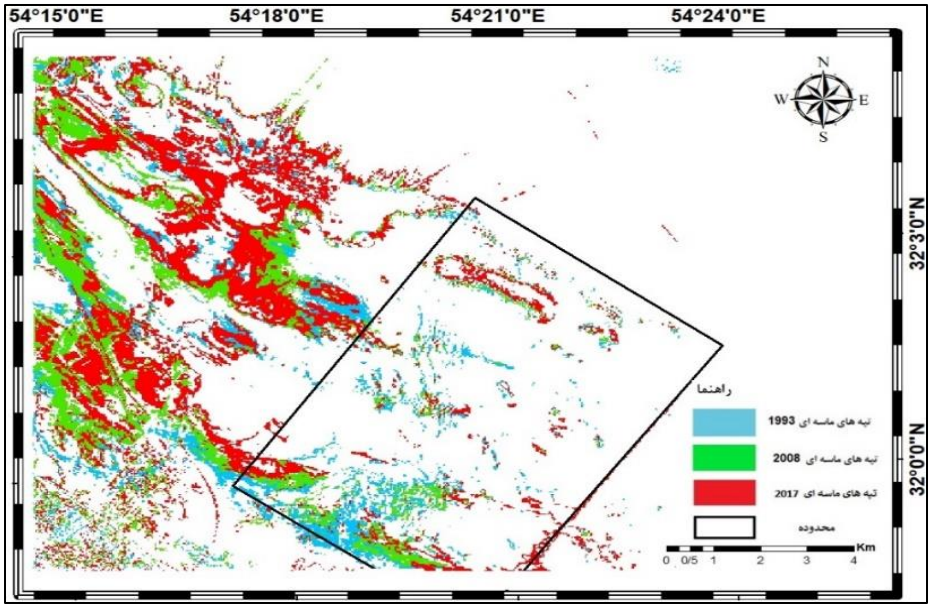
گردید. این همبستگی بین نقاط برداشت شده در داخل و خارج از محدوده موردمطالعه به‌دست‌آمده است که در این جا فقط به آوردن نمودار همبستگی کلاس ۵ که همان منشأ رسوبات ماسه‌ای هستند، بسنده شده است. همبستگی به‌دست‌آمده بین نقاط برداشت شده در سه محدوده A، B و C در داخل محدوده ارگ دروازه‌قرآن و مناطق در مسیر وزش بادهای طوفانی در خارج از محدوده موردمطالعه، در کلاس ۵ که موید عارضه تپه‌های ماسه‌ای است، حدود ۹۹ درصد می‌باشد؛ بنابراین با اطمینان ۹۹٪ می‌توان بیان نمود که منشأ رسوبات بادی کلاس ۵ می‌باشند که بیشتر در محدوده شمال غربی منطقه موردمطالعه پراکنده شده است (شکل ۹).



شکل ۹. همبستگی بین نقاط منتخب در داخل محدوده و نقاط منتخب در خارج از محدوده مطالعاتی و همچنین رگرسیون خطی کلاس‌های طبقه‌بندی شده حاصل از آن‌ها

بعد از کسب نتایج مناسب جهت شناسایی پهنه‌های پوشیده از تپه‌های ماسه‌ای در سال ۲۰۱۷، اقدام به مطالعه گسترش تپه‌های ماسه‌ای و سطوح ماسه‌های روان در سال ۲۰۱۷ در مقایسه با میزان گسترش پهنه‌های ماسه‌ای طی سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۰۸ گردید. نتایج حاصل از بررسی این سه دوره زمانی نشان داد که در سال ۱۹۹۳ عمده ماسه‌های روان در بخش غربی منطقه قرار داشته است به‌گونه‌ای که این پهنه‌های ماسه‌ای در سال ۲۰۰۸ به سمت جنوب توسعه پیدا کرده‌اند. اما، در محدوده دریاچه پساب یزد، قبل از پیدایش دریاچه در سال ۱۹۹۳، این محدوده تماماً پوشیده از ماسه‌های روان بوده که به‌تدریج تا سال ۲۰۰۸ با ظهور و تمرکز پهنه‌های آبی توسط فعالیت‌های انسانی در بخش جنوبی ارگ دروازه‌قرآن، از حجم این سطوح کاسته و توسط آب پوشیده شده است. پس، در سال ۲۰۱۷ در قسمت میانی و شمالی محدوده مطالعاتی در مقایسه با دوره‌های قبل، حمل ماسه افزایش‌یافته است؛ ولی در بخش جنوبی منطقه موردمطالعه همراه با افزایش آب دریاچه، از سطح پهنه‌های ماسه‌ای نسبت به سال ۱۹۹۳ کاسته شده است. در زمینه امکان تأمین ماسه‌های روان توسط بادهای

شمال غربی در منطقه موردمطالعه، بر اساس سطوح برداشت می‌توان به این امر پی برد که ماسه‌های روان در بیرون از منطقه موردمطالعه و در شمال غرب آن افزایش سطح پیدا نموده است که این شرایط می‌تواند ماسه موردنیاز جهت انتقال به ارگ دروازه‌قرآن توسط بادهای شدید شمال غربی را تأمین نماید (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. مقایسه روند تغییرات موقعیت تپه‌های ماسه‌ای منطقه موردمطالعه در سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۸-۲۰۱۷

بحث

بررسی و شناخت تپه‌های ماسه‌ای از نظر خاستگاه، جابه‌جایی، تحول و حتی تغییر ابعاد و مورفولوژی سطح ریگزار اهمیت بسیار بالایی برای مدیریت و همچنین کاهش ریسک مخاطرات ناشی از جابه‌جایی آن‌ها دارد. بررسی و مطالعه ریگ دروازه‌قرآن واقع در شمال شهر یزد و چسبیده به آن، به دلیل مجاورت با شهر یزد، قرارگیری برخی از ساخت‌های شهری از جمله آرامگاه اصلی شهر (خلدبرین) و همچنین استفاده از آن برای ایجاد و توسعه کمپ‌های گردشگری اهمیت و ضرورت بسیاری دارد. جابه‌جایی و حرکت تپه‌های ماسه‌ای از مهم‌ترین ویژگی‌های آن به شمار رفته و شاخص بنیادینی در ارزیابی بیابان‌زایی، ریسک مخاطرات محیطی ناشی از پوشیدگی راه‌های ارتباطی، اراضی کشاورزی و سکونتگاه‌های انسانی به شمار می‌رود.

ازاین‌رو، ویژگی و همچنین منشأ شکل‌گیری و منبع تغذیه آن‌ها در مدیریت محیطی حائز اهمیت است. در زمینه منشأیابی و منبع تغذیه تپه‌های ماسه‌ای روش‌های متعددی وجود دارد که در این تحقیق از روش تحلیل ویژگی‌های باد (جهت و سرعت)، کانی‌شناسی دانه‌های رسوبی و همچنین روش سنجش‌ازدور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بهره گرفته شده است؛ بنابراین باتوجه‌به نتایج ژئوشیمی و کانی‌شناسی منطقه اقدام به بررسی رابطه بین این کانی‌ها و سازندهای مناطق پیرامون ریگزار با استفاده از سنجش‌ازدور اقدام گردید. پس در مرحله اول با مطالعات آزمایشگاهی ابتدا کانی‌های غالب منتقل شده در منطقه شناسایی شدند و سپس با شناسایی این کانی‌ها، نسبت‌گیری طیفی آنها در باندهای تصاویر ماهواره‌ای شناسایی و سپس با استفاده از این نسبت‌گیری طیفی که مناسب شناخت کانی‌های شناخته شد، پیرامون منطقه مورد بررسی واقع گردید و مکان‌های تحت سلطه این کانی‌ها که می‌تواند به منطقه موردمطالعه منتقل شود، شناسایی گردید. در نهایت با استفاده از رسم گل‌طوفان، جهت بادهای شدید بررسی شد که مشخص گردید مسیر حرکت بادهای شدید از سمت شمال غربی، ارتباط بسیار نزدیکی با نوع کانی‌های منتقل شده به ریگزار دروازه‌قرآن دارد و عمده ماسه‌ها، از سازندهای شمال

غربی، تحت‌تأثیر این بادهای شدید به منطقه موردمطالعه انتقال پیدا می‌کنند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل بادهای منطقه نشان داد که بادها، به‌ویژه بادهای شدید فصل خشک، نقش اصلی را در شکل‌گیری، توسعه و جابه‌جایی رسوبات ماسه‌ای تپه‌های ریگزار دارد. بر اساس تحلیل گل‌طوفان‌های فصلی و سالانه می‌توان اظهار داشت که بادهای شمال غربی نقش اصلی را در جابه‌جایی رسوبات ماسه‌ای ریگزار دروازه‌قرآن دارند. هر چند که بادهای جنوب شرقی فصل پاییز و جنوب غربی فصل زمستان نیز در تجمع و تمرکز بیشتر تپه‌ها اثرگذار بوده است. نتایج بررسی پتروگرافی در تپه‌های ماسه‌ای منطقه موردمطالعه نشان داد که کوارتز در نمونه‌های آنالیز شده رسوبی دارای بیش‌ترین فراوانی با مقدار ۴۳ تا ۴۷ درصد (میانگین ۴۵درصد)، کربنات‌ها (کلسیت و دولومیت) ۳۰ تا ۳۷ درصد (میانگین ۳۳/۵ درصد)، فلدسپات ۱۴ تا ۲۰ درصد (میانگین ۱۷ درصد) و در نهایت کانی‌های سنگین ۳ تا ۶ درصد می‌باشد. بررسی آنالیز XRF تنوع اکسیدی در ماسه‌های موردمطالعه را نشان می‌دهد که دراین‌بین مقدار Sio2 با میانگین ۴۰/۴ و Cao با میانگین ۱۷/۳ بیش‌ترین فراوانی را در مقایسه با سایر اکسیدها دارند و باتوجه‌به اینکه Sio2 سازنده اصلی کوارتز است و Cao معدل اکسید کربنات بوده، لذا نتایج حاصل از بررسی پتروگرافی و آنالیز XRF الگوی مشابهی را در فراوانی نشان می‌دهند.

از طرفی نسبت طیفی مناسب برای شناسایی این نوع کانی‌ها که بخش عمده ماسه‌های روان را تشکیل می‌دهند، نشان داد که این کانی‌ها در روی تصاویر ماهواره‌ای، بیشتر در بخش شمال غربی شهر یزد و در مسیر بادهای شدید متمرکز شده و از این طریق می‌توان نتیجه گرفت که مخروط‌افکنه‌ها و سازندهای شمال و شمال غرب شهر یزد که در مسیر بادهای شمال غربی هستند، تأمین‌کننده اصلی ماسه‌های روان ریگزار دروازه‌قرآن شناخته می‌شوند. این مسئله نشان‌دهنده انطباق نسبی بین مطالعات آزمایشگاهی پتروگرافی و آنالیزهای ژئوشیمیایی با استفاده از روش XRF می‌باشد. همچنین کانی‌شناسی با استفاده از روش سنجش‌ازدور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای نیز نشان داد که می‌توان مناطق پوشیده از تپه‌های ماسه‌ای با کانی غالب کوارتز را از طریق نسبت‌های باندی آن‌ها تشخیص داد.

ازاین‌رو، باتوجه‌به محدوده انعکاسی طیفی کانی‌های کوارتز و کربنات‌ها، دو نسبت طیفی ۵/۴ و ۷/۲ برای تشخیص تپه‌های ماسه‌ای منطقه، مناسب تشخیص داده شدند که در این نسبت‌های طیفی، تپه‌های ماسه‌ای منطقه با طیف روشن مشخص شدند. همچنین نسبت‌های باندی ۴/۵، ۳/۴، ۳/۵ در تصاویر TM1993 در منطقه موردمطالعه انجام شده و با ترکیب این تصاویر مشاهده شد که تپه‌های ماسه‌ای با کانی‌های غالب کوارتز و کربنات‌ها (کلسیت و دولومیت)، به رنگ سبز کم‌رنگ دیده می‌شوند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با انجام مطالعه آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های ماسه‌های انتخابی، ترکیب غالب کانی‌شناسی تپه‌های ماسه‌ای ریگ دروازه‌قرآن یزد، شامل کانی‌های کوارتز و کربنات (کلسیت و دولومیت) بوده که بررسی نسبت‌های طیفی ۵/۴ و ۷/۲ تصاویر سنجنده TM نیز نشان‌دهنده آن است که می‌توان بر اساس روش‌های سنجش‌ازدور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، به شناسایی و مطالعه پراکندگی تپه‌های ماسه‌ای به‌عنوان یکی از اشکال ژئومورفولوژیکی غالب فرسایش بادی در مناطق بیابانی اقدام نمود.

نقشه‌های تهیه شده در این پژوهش نشان می‌دهد که تکنولوژی سنجش‌ازدور در بارزسازی ارتباط طیفی بین مناطق برداشت فرسایش بادی و رسوب‌گذاری به‌صورت تپه‌های ماسه‌ای کارایی بالایی دارد. به‌طوری‌که در نقشه طبقه‌بندی شده همبستگی هر کلاس بین نقاط برداشت شده در داخل و خارج از محدوده موردمطالعه، انجام گردید. همبستگی به‌دست‌آمده بین نقاط برداشت شده از مناطق تحت سلطه تپه‌های ماسه‌ای در داخل محدوده ارگ دروازه‌قرآن از بازتاب طیفی مشترکی نسبت به محدوده‌های برداشت این رسوبات بادی از شمال غرب ارگ دروازه‌قرآن بوده که دقیقاً در مسیر بادهای طوفانی شمال غربی ارگ دروازه‌قرآن قرار گرفته‌اند. براین‌اساس، همبستگی حاصله بین سه منطقه پوشیده از تپه‌های ماسه‌ای در داخل محدوده ارگ دروازه‌قرآن و مناطق با بازتاب طیفی مشترک در شمال غربی ارگ دروازه‌قرآن که در تهیه نقشه طبقه‌بندی شده کلاس ۵ را شامل می‌شود، از همبستگی نسبتاً بالا و در حدود ۹۹ درصد برخوردار است. نتایج این تحقیق نشان داد که دشت‌های آبرفتی و سیلابی، مخروط‌افکنه‌ها، سازندهای حساس به فرسایش و دشت‌های ریگی واقع در قطاع

شمال غربی و غرب محدوده ارگ دروازه‌قرآن به‌عنوان منشأ رسوبات بادی شناخته شده که توسط بادهای شدید شمال غربی به ارگ دروازه‌قرآن منتقل شده‌اند.

بر حسب درنظرگرفتن مجموع این شرایط مشخص می‌گردد که سطوح آبرفتی کویر حاجی‌آباد و به‌خصوص مخروط‌افکنه گسترده کوه دم هفت در ۹ کیلومتر شمال غرب ریگزار و همچنین پهنه ماسه‌ای اشکذر در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال غربی منطقه موردمطالعه، مهم‌ترین منابع انتقال ماسه به محدوده ریگزار دریاچه دروازه‌قرآن یزد، به‌خصوص تحت‌تأثیر بادهای شمال غربی شناخته می‌شود؛ بنابراین در این تحقیق در کنار نتایج میدانی و آزمایشگاهی، مشخص شد که می‌توان با مطالعات سنجش‌ازدور، پهنه‌های برداشت ماسه و منشأیابی ماسه‌های روان را تعیین نمود به‌گونه‌ای که نسبت به تحقیقات گذشته که بیشتر متکی بر مطالعه باد و مطالعات کانی‌شناسی یا مطالعات میدانی دشوار بودند، می‌توان به نتایج حاصل از سنجش‌ازدور در مبحث منشأیابی نیز اعتماد نمود.

مشارکت نویسندگان

علی شهریار: به‌عنوان استاد راهنما در تمام مراحل تحقیق؛ احمد مزیدی: به‌عنوان استاد مشاور در نگارش مقاله؛ محمد شریفی پیچون: در انتخاب و معرفی عنوان تحقیق، طراحی چارچوب تحقیق از نحوه جمع‌آوری تا تجزیه و تحلیل داده‌ها، اعتبارسنجی دقت و کفایت داده‌ها، تجزیه و تحلیل و نگارش مقاله؛ فاطمه زارع: در طراحی چارچوب تحقیق از نحوه جمع‌آوری تا تجزیه و تحلیل داده‌ها، جمع‌آوری داده‌ها، نگارش مقاله و مطالعات آزمایشگاهی همکاری داشته‌اند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در مورد انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این، موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر توسط نویسندگان رعایت شده است.

منابع

آشفته، علیرضا؛ دوستی، علی (۱۳۹۵). *کانی‌شناسی تصویری*. تهران: انتشارات فرهیختگان.

رامشت، محمدحسین؛ سیف، عبدالله؛ محمودی، شبنم (۱۳۹۱). بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه زمانی (۱۳۶۹-۱۳۸۳) با استفاده از GIS و RS. *جغرافیا و توسعه، ۱۱ (۳۱)، ۱۲۱-۱۳۶*. doi: 10.22111/GDIJ.2013.798

رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۰). *فرسایش بادی و کنترل آن*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.

سلیمانی، بهمن؛ رنگزن، کاظم؛ سرسنگی، علیرضا (۱۳۹۱). کانی‌شناسی، منشأ رسوبات بادی - ماسه‌ای و ارزیابی بیابان‌زایی در ناحیه شرق و شمال شرق اهواز. *نشریه پژوهش‌های دانش زمین، ۳ (۱۱)، ۷۱-۸۴*. https://esrj.sbu.ac.ir/article_94882.html

شریفی پیچون، محمد؛ غفاریان، حمیدرضا؛ میری، زینب (۱۳۹۹). ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی ریگزارها با استفاده از سری های زمانی تصاویر ماهواره لندست منطقه مورد مطالعه: ریگ زرین. *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۱۸ (۵۸)، ۴۵-۵۸. doi: 10.22111/GDIJ.2020.5175

شهریار، علی؛ لرستانی، قاسم؛ مقصودی، مهران (۱۳۹۲). بررسی شکل و دانه سنجی ذرات ماسه در مناطق داخلی و ساحلی ایران (مطالعه موردی: ریگ مرنجاب- ساحل جاسک). *نشریه کاوش‌های جغرافیایی مناطق خشک*، ۱ (۲)، ۱۷-۳۵. ۲۰. doi: 20.1001.1.2345332.1392.1.2.2.0

شهریار، علی؛ طاهری، کاظم (۱۳۹۸). تحلیل نقش باد و آب‌های زیر زمینی در مکان‌گزینی و استقرار ریگزارهای چاله‌های‌ساختمانی(مطالعه موردی: ریگ صادق آباد-بافق). *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۱ (۳)، ۴۱۷-۴۳۰. doi: 10.22059/JPHGR.2019.261572.1007251

علوی‌پناه، کاظم (۱۳۹۵). *کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم.

لرستانی، قاسم؛ شهریار علی (۱۴۰۱)، ارزیابی دینامیک برخان‌های بند ریگ کاشان در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۱۹، نشریه کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۱۰ (۱)، ۱-۱۸. doi: 20.1001.1.2345332.1401.10.1.1.0

ممقانی بنایی، عباس؛ زارع احمدآباد، محسن؛ مقصودی، مهران (۱۳۹۸)، منشاءیابی ماسه‌های بادی با استفاده از کانی‌شناسی و

مورفوسکوپی دانه‌های ماسه (مطالعه موردی: قوم تپه صوفیان - شمال دریاچه ارومیه). *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۸* (۳۱)، ۷۷-۹۵. doi: 10.22067/GEO.V8I3.81703

یمانی، مجتبی (۱۳۷۹). ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت‌های آستانه باد در منطقه بندریگ کاشان. *فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۸، ۱۱۵-۱۳۲. https://jrg.ut.ac.ir/article_17247.html

References

Alavi-Panah, K. (2015). *Alication of Remote Sensing in Earth Sciences*, Tehran, Tehran University Press (in Persian).

Ashofteh, A., & Dousti, A. (2016). *Visual Mineralogy, Tehran, Farhikhtegan Publications* (in Persian).

Bagnold, R. A. (1941). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, 265, *London: Methuen*.

Ben-Dor, E., Levin, N., Singer, A., Karnieli, A., Braun, O., & Kidron, G. J. (2006). Quantitative maingof the soil rubification process on sand dunes using an airborne hyperspectral sensor. *Geoderma Journal, 131* (1-2), 1-21. doi: 10.1016/j.geoderma.2005.02.011

Cierniewski, J., & Karnieli, A. (2002). Virtual surface simulating the bidirectional reflectance of simi-arid soil. *International Journal of remote sensing. 23 (19),* 4019- 4038. doi: 10.1080/ 01431160110117382.

Coinger, K. D., Reiners, W. A., Burke, I. C. , & Olson, R. K. (1991). Net erosion on a sagebrush stee landscape as determined by cesium 137 distribution. *Soil Science society of America Journal, 55* (1), 254-258. doi: 10.2136/sssaj1991.03615995005500010043x.

Flugel, E. (2010). *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and alication. Springer,* Berlin. 3, 921-934.

Hamdan, M.A., Refaat, A.A., & Abdel Wahed, M. (2016). Morphologic characteristics and migration rate assessment of barchans dunes in the SoutheasternWestern Desert of Egypt, *Geomorphology Journal*. 257, 57- 74. doi*:* 10.1016/j.geomorph.2015.12.026

Liu, L. Y., Skidmore. E., Hasi, E., Wagner, L. & Tatarko, J. (2005). Dune sand transport as influenced by wind directions , speed and frequencies in the Ordos Plateau, China, *Geomorphology Journal, 67 (3-4),* 283-297. doi: 10.1016/j.geomorph.2004.10.005

Lorestani, Q., & Shahriar, A. (2022). evaluation of the dynamics of Barchans of the Rig Band of Kashan in the period of 2013-2019, *Geographical Explorations of Desert Regions, 10 (1),* 1-18. doi: 20.1001.1.2345332.1401.10.1.1.0 (in Persian).

Mamqani Banai, A., Zare, A., & Maghsoudi, M. (2018). Origin of wind sands using mineralogy and morphoscopy of sand grains (Case study: Sufian Hill tribe - north of Lake Urumia). *Journal of Geography and Environmental Hazards, 8 (31),* 77-95. doi: 10.22067/GEO.V8I3.81703.

Muhs D. R., & Holliday, V. T. (2001). Origin of late Quaternary dune fields on the Southern High Plains of Texas and New Mexico. *Geological Society of America Bulletin 113(2),* 75-87. doi: 10.1130/0016-7606 (2001)113<0075:oolqdf>2.0.co;2

Ramesht, M.H., Seif, A., & Mahmoudi, Sh. (2019). Investigating the extent of expansion of sand dunes in the east of Jask in the period (2013-2014) using GIS and RS. *Geography and Development, 11*(31), 121-136. doi: 10.22111/GDIJ.2013.798 (in Persian).

Refahi, H.Q. (2008). *Wind erosion and its control*, Tehran. Tehran University Press, second edition (in Persian).

Sarnthein, M. (1978). Sand deserts during glacial maximum and climatic optimum. *Nature. 272* (2), 43-46. doi: 10.1038/272043a0

Shahriar, A., Lorestani, Q., & Maghsoudi, M. (2012). Investigating the shape and grain size of sand particles in the interior and coastal areas of Iran (Case study: Maranjab sand - Jask beach) *Journal of Geographical Explorations of Dry Areas. 1* (2), 17-35. doi: 20.1001.1.2345332. 1392.1.2.2.0 (in Persian).

Shahriar, A., & Taheri, K. (2018). Analysis of the role of wind and underground water in the location selection and placement of construction pits (case study: Rig Sadegh Abad-Bafiq), *Natural Geography Research Quarterly, 51* (3), 417-430. doi: 10.22059/JPHGR.2019. 261572.100725 (in Persian).

Sharifi Pichon, M., Ghafarian, H., & Miri, Z. (2019). evaluation of time-spatial changes of the ridges using time series of Landsat satellite images of the study area: Rig Zarin, *Geography and Development Journal, 18* (58), 45-58. doi: 10.22111/GDIJ.2020.5175 (in Persian).

Soleimani, B., Rangzan, K., & Sarsangi, A. (2012). Mineralogy, origin of wind-sand sediments and assessment of desertification in the east and northeast of Ahvaz. Earth Science Research Journal, 3 (11), 71-84. https://esrj.sbu.ac.ir/article_94882.html (in Persian).

Sun, W., & Gao, X. (2022). Geomorphology of sand dunes in the Taklamakan Desert based on ERA5 reanalysis data. *Journal of Arid Environments, 207* (1), 77-99. doi:10.1016/j.jaridenv. 2022.104848

Suskia, M., Sterk, V. G., Judith, J., & Snepuangeres, J. C. (2004). Spatial variation in windblown sediment transport in geomorphic units in northern Burkina faso using geo statistical mapping, *Geoderma Journal, 120* (1-2), 95-107. doi: 10.1016/j.geoderma.2003.09.003

Watson, A. (1989). Wind flow characteristics and Aeolian entrainment. In: *Arid zone geomorphology. 115* (5), 35-51.

Yamani, M. (2000). The relationship between the diameter of sand particles and the frequency of threshold wind speeds in the Kashan Bande-Rig, *Geographical Research Journal*, 38, 115-132. https://jrg.ut.ac.ir/article_17247.html (in Persian).

Zhang, G.F., Molina, C.A., Shi, P., Lin, D., Jose A., Feng Kong, G., & Chen, D. (2019). Impact of near surface wind speed variability on wind erosion in the eastern agro-pastoral transitional zone of Northern China .(1982–2016), *Agricultural and Forest Meteorology, 271, 102- 115*. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.039