

مقاله پژوهشی

ارزیابی دینامیک برخان‌های بند ریگ کاشان در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹

قاسم لرستانی^۱، علی شهریار^{۲*}

۱- استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه بابلسر

۲- استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳)

چکیده:

برخان‌ها از فعال‌ترین لندفرم‌های تراکمی در مناطق خشک می‌باشند و با توجه به میزان جابجایی آن‌ها، می‌توانند سهم بسزایی در زندگی ساکنان مناطق خشک و خلق مخاطرات محیطی داشته باشد. بنابراین با توجه به نقش برخان‌ها در انتقال ماسه‌های روان به سکونتگاه‌ها، هدف این تحقیق شناخت میزان حرکت برخان‌های واقع در جنوب غربی کاروانسرای تاریخی مرنجاب می‌باشد چرا که حرکت این برخان‌ها می‌تواند دسترسی به این منطقه را برای گردشگران مشکل سازد. جهت انجام این پژوهش، ۱۱ برخان از شمال بند ریگ کاشان انتخاب و با انجام بازدیدهای میدانی، استفاده از آرشیو تصاویر گوگل ارث و روش میله کوبی در سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹، فاکتورهای مربوط به جابجایی برخان‌ها، در دوره‌های زمانی مختلف بررسی و اندازه‌گیری شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد سرعت متوسط جابجایی برخان‌های منتخب ۷/۶ متر در سال با دامنه تغییرات بین ۵/۵ تا ۸/۵ متر می‌باشد و نرخ جابجایی در سه مقطع زمانی، بیانگر افزایش میزان جابجایی در دوره زمانی جدیدتر نسبت به دو دوره قبل از آن می‌باشد. بررسی و تحلیل ارتباط حجم با میزان حرکت برخان‌ها در آزمون همبستگی پیرسون از وجود همبستگی بسیار ضعیف منفی بین حجم و میزان حرکت برخان‌های منتخب حکایت دارد و شاخص پایایی نیز بیانگر ناپایداری و حرکت برخان‌های مورد مطالعه می‌باشد. در نهایت با توجه به دینامیک نسبتاً بالای برخان‌های این منطقه مهم گردشگری، پیشنهاد می‌شود در مباحث مربوط به تثبیت ماسه‌های روان، به برخان‌ها توجه ویژه‌ای شود به خصوص که با توجه به شکل خاص برخان‌ها می‌توان جهت حرکت آن‌ها را به راحتی مشخص نمود.

واژگان کلیدی: تپه‌های ماسه‌ای، ماسه‌های روان، برخان، شاخص ناپایداری، بند ریگ کاشان

فرسایش بادی و پیدایش تپه‌های ماسه‌ای از پدیده‌های متداول بسیاری از نواحی خشک در سرتاسر دنیا می‌باشد. بیش از ۱۰۰ نوع تپه ماسه‌ای توسط ژنومورفولوژیست‌ها بر اساس معیارهای شکل و اندازه، طبقه‌بندی شده‌اند (لنکستر، ۱۹۹۵:۲). تپه‌های ماسه‌ای از عوارضی هستند که در نواحی خشک و بیابانی، خطوط ساحلی، اعماق دریاها و حتی در سیاره مریخ قابل مشاهده می‌باشند (برن و همکاران، ۱۹۸۹:۱۲ و توماس و همکاران، ۱۹۹۹:۳). یکی از انواع رایج و ساده تپه‌های ماسه‌ای، در نواحی با بادهای تک جهتی در طول سال و عدم توانایی ماسه در پوشاندن تمام سطح منطقه، تپه‌های هلالی شکل با نام برخان می‌باشد (سوئرمن و همکاران، ۲۰۰۰:۲). برخان تپه منفرد هلالی شکلی است که بر روی سطح زمین منسجم و محکمی همچون سبزا، پدیمنت یا سنگفرش بیابان ایجاد می‌شود (کوک و همکاران، ۱۳۹۳:۱۵). از برخان‌ها در مناطق مختلف دنیا با نام‌های متعددی همچون برکن^۱، برخانه^۲، برکان^۳ و برکهن^۴ یاد شده است (گلن^۵، ۱۹۷۹:۴۰۲). انواع و اشکال مختلفی از برخان‌ها در مناطق خشک دنیا، تحت تاثیر عوامل و فاکتورهایی همچون سرعت و جهت باد، میزان جابجایی ماسه، توپوگرافی و پوشش گیاهی قرار دارند. این عوارض ماسه‌ای در نواحی ساحلی و بیابانی رخ می‌دهند و امکان دارد از ماسه، برف و یا هر دو تشکیل شوند و فاقد پوشش گیاهی هستند (بیدنل ۱۹۱۰، لیندسی ۱۹۷۳، والکر و ماتسوکورا ۱۹۷۹، لنکستر ۱۹۸۹، پیه و تزور ۱۹۹۰). اشکال مختلف برخان می‌تواند تحت تاثیر وجود بادهای ثانویه و مایل به وجود آیند. مثلاً با توسعه بازوها، برخان‌های خطی شکل می‌گیرند (بگنولد ۱۹۵۴، لنکستر ۱۹۸۰ و تزور ۱۹۸۴).

حرکت و جابجایی ماسه‌های روان به صورت تپه‌های ماسه‌ای برخانی در دراز مدت یک معضل و عامل تهدید کننده طبیعی برای انسان‌ها و سازه‌های انسانی موجود در سر راه خود محسوب می‌گردد که عدم توجه به آن می‌تواند موجب نابودی و یا مدفون شدن بسیاری از این سازه‌ها شود. تحلیل‌های آماری مشخصه‌های مورفومتری و مورفودینامیک برخان، با تکیه بر نگرش سیستمی، در مشخص نمودن رفتار و شیوه عملکرد این عارضه و شناسایی روند تحرکات جانبی سالیانه آن به منظور کاهش خسارات ناشی از جابجایی این عارضه، کمک شایانی به پژوهشگران می‌کند (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹:۱۰۲). تحقیقات متعددی در ایران و جهان در زمینه میزان جابجایی برخان‌ها صورت گرفته است که می‌توان به برخی از آنها اشاره نمود. گای^۶ (۱۹۹۳) با مطالعه جابجایی تپه‌های برخانی جنوب پرو و با توجه به ویژگی‌های مورفومتری آنها بیان نموده است که

1- Barcan
2- Barchane
3- Barkan
4- Barkhan
5- Gelen
6- Gay

سرعت حرکت برخان با اندازه آن نسبت معکوس دارد. دانیل و هوگز (۲۰۰۷)، با شکل شناسی برخان‌های استرالیا و ارتباط آنها با بررسی نوع رژیم فصلی باد منطقه رابرسی و بیان داشتند که برخان‌ها سالانه ۱۰ تا ۱۵ متر به سمت غرب جابجا می‌شوند. گومز و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی حرکت تپه‌های ماسه‌ای، از شاخص SDEVI استفاده کردند. نتایج نشان داد که کم‌ترین آسیب‌پذیری در بخش شمالی و بیشترین آسیب‌پذیری در بخش شمال شرقی نواکشات واقع شده است. همدان و همکاران (۲۰۱۹) متوسط سرعت حرکت برخان در چهار منطقه منتخب در مرکز و غرب توشکا در کشور مصر را بین ۳ تا ۱۱ متر و نرخ متوسط حرکت برخان‌ها در حدود ۶ متر در سال برآورد نمودند.

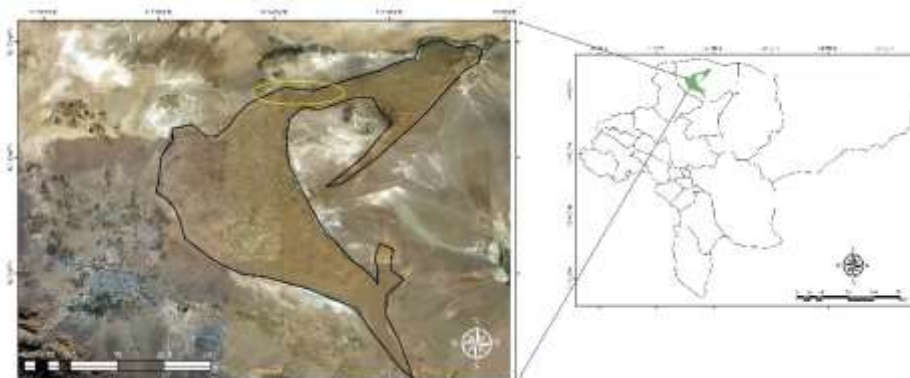
در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است. به عنوان مثال، موسوی و همکاران (۱۳۸۹) به تاثیر مولفه‌های مورفومتری برخان بر میزان سرعت برخان‌ها در ریگ چاه جم پرداخته و بیان نمودند که ارتباط میزان جابجایی و مولفه‌های مورفومتری برخان‌ها از روابط ساده خطی، توانی و نمایی پیروی می‌نماید و حداکثر میزان جابجایی برخان‌ها در این تحقیق ۱۶/۸۰ متر گزارش شد. سیف و موسوی (۱۳۹۱) با ارزیابی شاخص‌های مورفودینامیک تپه‌های برخانی در ریگ چاه جم، میزان پایایی برخان‌ها را مورد ارزیابی قرار داده و حداکثر سرعت برخان‌های مورد مطالعه را ۱۷ متر برآورد نمودند. شهریار و همکاران (۱۳۹۲) در منطقه مرنجاب به عنوان نمونه چاله‌های داخلی، به بررسی نمونه‌های ماسه‌ای اخذ شده از تپه‌های ماسه‌ای و مقایسه آن‌ها با نمونه ماسه‌های اخذ شده در جاسک به عنوان نمونه ماسه‌های منطقه ساحلی در مطالعات آزمایشگاهی پرداختند. نتایج مرفوسکوپی نمونه‌های اخذ شده، از چهره خشن و مات‌تر نمونه ماسه‌های موجود در تپه‌های ماسه‌ای مرنجاب نسبت به نمونه‌های جاسک حکایت داشت. مقصودی و همکاران (۱۳۹۳) با انجام مطالعات میدانی و آزمایشگاهی، به بررسی و تحلیل مورفومتری پیکان‌های ماسه‌ای در غرب لوت پرداختند. نتایج گرانولومتری نشان داد که در تمام نمونه‌های مورد مطالعه، رسوبات درشت دانه، بیشتر در قاعده پیکان‌های ماسه‌ای متمرکز می‌باشند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۶) ضمن پایش جابجایی ریگ و برخان‌های غرب لوت (پشوئیه) با بررسی سله‌ها و برخان‌ها در عکس‌های هوایی سال‌های مختلف، میزان حرکت برخان‌ها را نسبت به سله‌ها اندازه‌گیری نمودند که در این بررسی، میزان نرخ سالانه حرکت برخان را ۱۲/۵ متر در سال محاسبه نمودند. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تداخل‌سنجی راداری در روی تصاویر سنتینل، به بررسی جابجایی مسطحاتی تپه‌های ماسه‌ای ریگ اردستان پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که سمت حرکت کلی تپه‌های ماسه‌ای در بازه زمانی ۲۰۱۸/۰۴/۱۰ تا ۲۰۱۸/۰۵/۲۰ از شمال شرقی به جنوب غربی می‌باشد، از طرفی اندازه جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در ابعاد مسطحاتی و ارتفاعی، به حجم آن‌ها بستگی دارد. شریفی پیچون و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در ریگ زرین با توجه به رژیم بادی ایستگاه‌های هواشناسی آن منطقه پرداختند. نتیجه پژوهش نشان دهنده تنوع تپه‌های ماسه‌ای از نوع برخان، سیف و به خصوص تپه‌های ستاره‌ای در جنوب

شرق این ریگزار است. از آنجا که محدوده مرنجاب همواره به عنوان یکی از مناطق مورد توجه گردشگران و علاقمندان به ژئومورفوتوریست مناطق خشک محسوب می‌شود، اهمیت بررسی و حرکت ماسه‌های روان به خصوص در حجم برخان‌ها، می‌تواند همواره در بازدید گردشگران و زندگی ساکنان این منطقه، اختلال ایجاد کند. بنابراین جهت حفظ موقعیت گردشگری و بالا بردن کیفیت دسترسی گردشگران به این منطقه، هدف این پژوهش بر مطالعه میدانی و رصد دوره‌ای میزان حرکت برخان‌ها (در روی تصاویر گوگل ارث)، به عنوان یکی از پویاترین اشکال تپه‌های ماسه‌ای این منطقه استوار است تا ضمن بررسی میزان سرعت حرکت برخان‌ها، بتوان درک درستی از رفتار آن‌ها جهت برنامه‌ریزی‌های درازمدت به ویژه در زمینه گردشگری یا مخاطرات مربوط به ماسه‌های روان کسب نمود.

داده‌ها و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه:

قلمرو مورد مطالعه در طول جغرافیایی $51^{\circ}40'39''$ تا $51^{\circ}41'21''$ درجه شرقی و عرض $34^{\circ}16'14''$ تا $34^{\circ}16'57''$ درجه شمالی در جنوب دریاچه نمک و در فاصله ۳۰ کیلومتری از شهر آران و بیدگل قرار دارد. این منطقه به صورت پهنه‌ای ماسه‌ای، بخشی از بند ریگ کاشان (ریگ بلند کاشان)، به مساحت تقریبی ۸۳۰ کیلومتر مربع می‌باشد که شهرهایی چون کاشان، آران و بیدگل، راوند و تعدادی آبادی‌های کوچک و بزرگ همراه با اراضی زراعی در قسمت‌های غرب و جنوبی این پهنه ماسه‌ای بزرگ تمرکز نموده‌اند. میانگین حداکثر درجه حرارت از $10/2$ درجه سانتیگراد در دی‌ماه تا $40/8$ درجه سانتیگراد در تیرماه متغیر است درحالی‌که میانگین حداقل درجه حرارت در دی‌ماه با $0/3-$ درجه سانتیگراد و در تیرماه $24/8$ درجه سانتیگراد می‌باشد (لرستانی و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (کادر زرد رنگ) در شمال بند ریگ کاشان در استان اصفهان

روش و داده ها

برخان‌ها به عنوان یکی از اشکال ماسه‌ای، با جابجایی محسوس و قابل اندازه‌گیری، همواره یکی از شگفت‌انگیزترین نوع تپه‌های ماسه‌ای به شمار می‌روند. از این رو در این پژوهش، میزان جابجایی و پویایی برخان‌های واقع در بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی بند ریگ کاشان جهت پژوهش حاضر انتخاب شد. برای این منظور، ابتدا با کمک تصاویر آرشیو نرم افزار گوگل ارث، منطقه مورد مطالعه تعیین گردید و سپس با انجام بازدیدهای میدانی در منطقه مورد مطالعه، اندازه‌گیری برخان‌ها صورت پذیرفت. طی مشاهدات میدانی ۱۱ برخان در مجاورت هم انتخاب شده و موقعیت آنها با استفاده از GPS ثبت شدند تا در نرم افزار گوگل ارث برای بررسی و ثبت میزان جابجایی برخان‌ها طی دوره‌های زمانی مابین ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ بهره گرفته شود. همچنین با استفاده از روش میله کوبی در سال ۲۰۱۳ و برآورد میزان جابجایی برخان‌ها نسبت به میله‌های مستقر و ثابت در سال ۲۰۱۹، اندازه‌گیری میزان حرکت برخان‌ها مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت (شکل ۲). در آغاز، سعی بر اندازه‌گیری میزان حرکت برخان از قسمت انتهایی (دم برخان)، نسبت به میله‌های ثابت بوده است اما به دلیل ورود گردشگران به منطقه و احتمال حذف یا جابجایی میله‌ها، تعداد ۳ میله در ناحیه پیشانی و اطراف برخان علاوه بر قسمت انتهایی (دم برخان) نصب شدند. همچنین مساحت، حجم، ارتفاع، میزان تراکم، درصد تغییرات دوره‌ای و نسبت طول به عرض نیز در برخان‌های منتخب اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که بسیاری از پارامترهای مذکور طی بازدیدهای میدانی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ با کمک متر و یک دستگاه GPS، عملیات مورفومتری روی آن‌ها انجام شد و استفاده از تصاویر گوگل ارث صرفاً برای بررسی تغییرات بین سال‌های مورد مطالعه بوده است. در ادامه جهت بررسی باد، از داده‌های ایستگاه سینوپتیک کاشان طی دوره ۳۱ ساله ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵، استفاده شد. همچنین با استفاده از داده‌های متوسط بارندگی سالانه، طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹ ایستگاه کاشان، ارتباط بارش با میزان جابجایی برخان‌ها ارزیابی شده و جهت بررسی ارتباط حجم و تعداد برخان‌ها و همچنین بررسی رابطه بین نسبت طول به عرض با حرکت برخان‌ها، از ضریب همبستگی پیرسون بهره گرفته شد. در ادامه جهت محاسبه حجم برخان، با پیروی حجم برخان از نصف حجم هرم (هس، ۲۰۰۸، ۳)، ابتدا مساحت برخان‌ها اندازه‌گیری گردید و سپس حجم رسوبات با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۳).

$$V=0/1666S * H \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در این رابطه، V ، حجم برخان، S مساحت برخان و H ارتفاع پیشانی برخان‌های منتخب می‌باشد. در نهایت برای بیان شاخص پایداری برخان از مقایسه میزان جابجایی سالانه برخان و وضعیت پایایی بهره گرفته شد (شکل ۳).



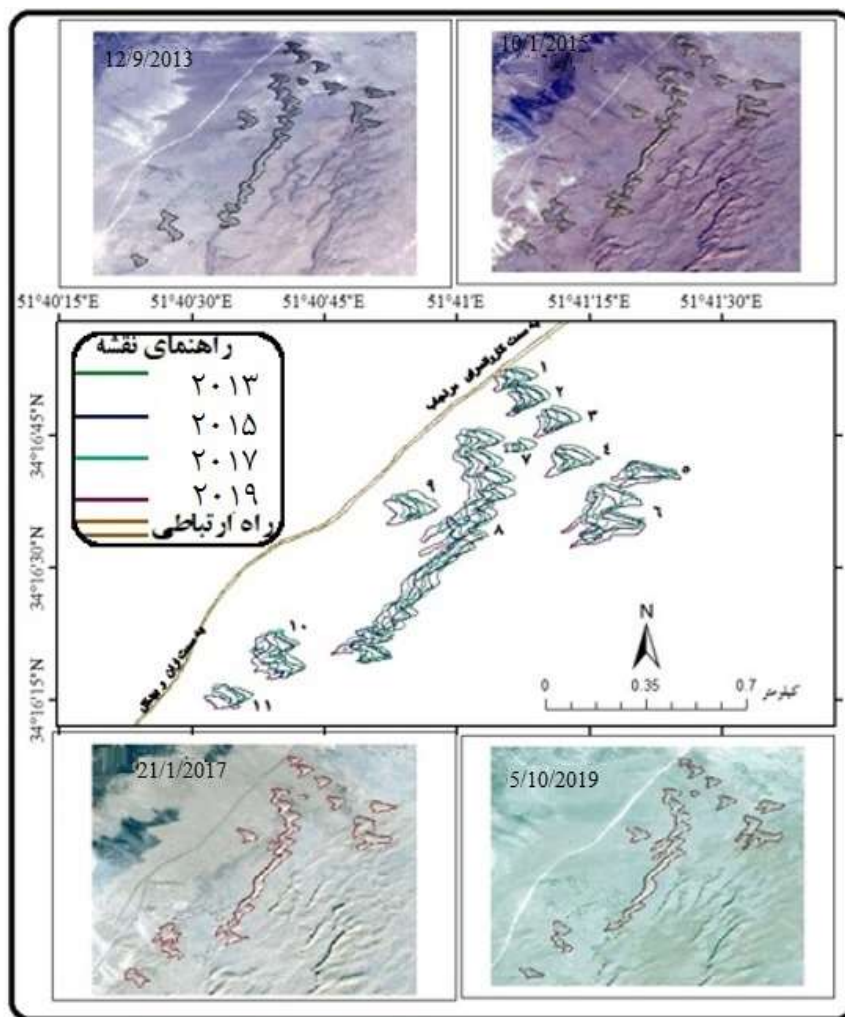
شکل ۲: موقعیت میله‌ها و اندازه‌گیری میزان جابجایی برخان نسبت به آن‌ها (طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹)



شکل ۳: چارچوب مواد و روش تحقیق

نتایج و بحث:

-میزان جابجایی برخان‌ها: به منظور بالا بردن میزان دقت و اطمینان از اندازه‌گیری‌های محاسباتی، علاوه بر مطالعه دوره‌ای تصاویر گوگل ارث طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹، جهت بررسی و ثبت میزان جابجایی، تنها به بررسی تصاویر گوگل ارث اکتفا نشده و با انجام مطالعات میدانی و بازدید مستقیم از منطقه مورد مطالعه، جابجایی برخان‌ها نسبت به برخی عوارض ثابت سطح زمین، محاسبه گردید. در بازدیدهای میدانی انجام شده طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹، با استفاده از GPS (به منظور ثبت موقعیت نقاط زمینی) و مبنا قراردادن شاخص‌های ثابت و اندازه‌گیری میزان جابجایی برخان‌ها نسبت به شاخص‌ها، میزان دقت محاسباتی در تصاویر گوگل ارث مورد تأیید قرار گرفت.



شکل ۴: ژئومورفولوژی و موقعیت برخان‌های مورد مطالعه، طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹

به دلیل وجود راستای غالب وزش باد از جهت شمال شرق، جابجایی کلی برخان‌ها به سمت جنوب غرب مشاهده می‌شود. بیشینه مجموع کل جابجایی طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹ در برخان شماره ۹ به میزان ۶۸ متر با نرخ متوسط سالانه جابجایی به میزان ۸/۵ در سال محاسبه شده است. کمینه مجموع کل جابجایی طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹، در برخان شماره ۷ به میزان ۴۳/۹ متر با نرخ متوسط سالانه ۵/۵ متر محاسبه شده است. نتایج تفصیلی میزان جابجایی برخان‌های مورد بررسی در جدول ۱ مشخص شده است.

جدول ۱: مقدار جابجایی برخان‌های منتخب به متر طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹

شماره برخان	جابجایی ۲۰۱۳-۲۰۱۵	جابجایی ۲۰۱۵-۲۰۱۷	جابجایی ۲۰۱۷-۲۰۱۹	جمع کل جابجایی	نرخ جابجایی سالانه
۱	۲۵/۲	۱۴/۲	۲۶/۸	۶۶/۲	۸/۳
۲	۲۲/۶	۱۰/۴	۱۸/۶	۵۱/۶	۶/۵
۳	۲۴	۱۰/۸	۲۲/۶	۵۷/۴	۷/۲

۸/۲	۶۵/۵	۲۴/۱	۱۷/۷	۲۳/۷	۴
۷/۹	۶۳/۴	۲۳/۵	۲۴/۳	۱۵/۶	۵
۸	۶۴/۲	۲۴/۱	۱۷	۲۳/۱	۶
۵/۵	۴۳/۹	۴/۵	۱۸/۱	۲۱/۳	۷
۸	۶۴/۱	۲۴/۱	۱۸/۳	۲۱/۷	۸
۸/۵	۶۸	۲۴	۲۰/۷	۲۳/۳	۹
۷	۵۶/۲	۱۵/۹	۱۹/۵	۲۰/۸	۱۰
۸/۴	۶۶/۹	۳۷/۱	۷/۴	۲۲/۴	۱۱

سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ شاهد تغییرات زیادی در مساحت برخان‌های منتخب بوده است (جدول ۲). برخان شماره ۸ بزرگترین برخان مورد مطالعه، نمونه‌ای از برخان‌های عرضی بوده که بیشترین مساحت ثبت شده مربوط به آن می‌باشد. برخان شماره ۷، کوچکترین برخان در محدوده مورد بررسی بوده است. بررسی درصد تغییرات نشان می‌دهد که مجموع تغییرات رخ داده در مساحت برخان‌ها با تفاضل درصد تغییرات مثبت (به میزان ۱۰۳/۵ درصد) نسبت به درصد تغییرات منفی (به میزان ۹۳/۳۴ درصد)، نرخ خالص تغییرات (به میزان ۱۰/۱۶ درصد) را مثبت نشان می‌دهد. به عبارتی طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹، میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای در محدوده مورد بررسی روند افزایشی را نشان می‌دهد (جدول ۲).

جدول ۲: مساحت و درصد تغییر برخان‌های بخش شمال غربی، طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹

شماره برخان	مساحت ۲۰۱۳	مساحت ۲۰۱۵	درصد تغییرات ۲۰۱۳-۲۰۱۵	مساحت ۲۰۱۷	درصد تغییرات ۲۰۱۷-۲۰۱۵	مساحت ۲۰۱۹	درصد تغییرات ۲۰۱۹-۲۰۱۷	درصد تغییرات ۲۰۱۹-۲۰۱۳
۱	۳۱۵۷/۶	۲۷۵۲/۱	-۱۲/۸	۲۲۱۱	-۱۹/۶	۲۲۳۸/۲	۱/۲	-۲۹/۱
۲	۳۷۸۲/۴	۳۸۲۰	۱	۳۵۶۴/۴	-۶/۷	۳۵۵۸/۲	-۰/۲	-۵/۹
۳	۳۸۳۹/۲	۳۵۶۶/۳	-۷/۶	۳۶۳۰/۷	۲/۴	۳۴۳۰/۲	-۵/۵	-۱۰/۷
۴	۴۸۴۷/۲	۴۵۸۶/۳	-۵/۴	۴۰۴۱	-۱۱/۹	۴۳۴۴/۷	۷/۵	-۱۰/۴
۵	۴۸۸۵/۲	۵۰۶۸/۱	۳/۷	۴۸۷۵/۴	-۳/۸	۵۹۴۸	۲۲	۲۱/۷
۶	۱۰۹۷۱/۲	۱۶۳۵۷/۲	۴۹/۱	۱۵۶۲۷/۵	-۴/۵	۱۵۴۶۲/۷	-۱/۱	۴۰/۹
۷	۱۵۱۵/۹	۹۲۶/۱	-۳۸/۹	۷۱۱/۴	-۲۳/۲	۹۵۲/۶	۳۳/۹	-۳۷/۲
۸	۴۱۳۴۴/۲	۴۴۰۸۰/۳	۶/۶	۴۱۵۰۶/۸	-۵/۸	۴۳۳۴۱/۲	۴/۴	۴/۸
۹	۴۹۲۳/۱	۴۰۸۰/۱	-۱۷/۳	۳۷۰۰/۲	-۹/۳	۴۹۳۱/۲	۳۳/۳	-۰/۰۴
۱۰	۵۸۰۲	۸۱۶/۵	۵۲	۸۲۱۸	-۶/۸	۶۰۲۲	-۲۶/۷	۳/۸
۱۱	۱۷۳۵/۵	۲۶۷۸/۹	۵۴/۳	۳۳۷۴/۶	۲۶	۲۲۹۷	-۳۱/۹	۳۲/۳
جمع کل	۸۶۸۱۳/۵	۵۷۰۳۹/۹	-۳۴/۳	۹۱۴۶۱	۳۷/۶	۷۳۵۲۶	-۱۹/۶	-۱۵/۳

ماسه‌های روان واقع در برخان‌ها در جهت باد غالب به سمت جنوب غرب جابجا شده و با عبور از جاده اصلی ارتباطی بین کاروانسری مرنجاب و شهر آران بیدگل، ضمن ایجاد مشکلاتی در عبور و مرور، به سمت بوت‌ها و درختچه‌های بیابانی اطراف هدایت می‌شوند. از طرفی، پهنه ماسه‌ای ایجاد شده طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹

دارای نوسانات مساحتی زیادی بوده است که در جدول ۳ میزان مساحت هر دوره و درصد تغییرات مثبت و منفی آن‌ها ثبت شده است.

جدول ۳: میزان گسترش پهنه ماسه‌ای به سمت شمالغرب طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹

دوره زمانی	مساحت (متر مربع)	درصد تغییرات
۲۰۱۳	۲۲۰۳۵۰	----
۲۰۱۵	۲۲۵۱۷۵	+ ۲/۱۹
۲۰۱۷	۴۹۰۱۳۶	+ ۱۱۷/۶
۲۰۱۹	۳۶۱۵۹۴	- ۲۶/۲

با احتساب مساحت کل محدوده مورد بررسی به میزان ۶۳۵۵۲۱ متر مربع طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹، تراکم برخان‌های مورد مطالعه در سال ۲۰۱۳ به میزان ۷/۳۲ درصد محاسبه شده است. به عبارتی ۷/۳۲ درصد از مجموع ۶۳۵۵۲۱ متر مربع منطقه مورد مطالعه را تپه‌های برخانی به خود اختصاص داده است. این رقم در سال ۲۰۱۵ به میزان ۶/۵۷ درصد و در سال ۲۰۱۷ معادل ۶/۹۵ درصد و در نهایت در سال ۲۰۱۹ به میزان ۶/۸۷ درصد برآورد شده است (جدول ۴).

جدول ۴: محاسبه درصد تراکم برخان‌ها در محدوده مورد مطالعه

سال	مساحت کل محدوده	مساحت مجموع برخان‌ها	تراکم به درصد
۲۰۱۳	۶۳۵۵۲۱	۸۶۸۱۴	۷/۳۲
۲۰۱۵		۹۶۷۱۱	۶/۵۷
۲۰۱۷		۹۱۴۶۱	۶/۹۵
۲۰۱۹		۹۲۵۲۵	۶/۸۷

جهت محاسبه حجم برخان‌های مورد مطالعه، در بازدید میدانی سال ۲۰۱۹، ارتفاع پیشانی برخان‌ها اندازه‌گیری شدند تا با استفاده از رابطه ۱، حجم برخان‌ها برآورد و در جدول ۵ ارائه شوند. برخان شماره ۶ به عنوان حجیم‌ترین برخان با حجم ۱۲۶۲۲/۸۲ متر مکعب و برخان شماره ۷ با حجم ۳۳۴/۸۶ متر مکعب، کم حجم‌ترین برخان از بین ۱۱ برخان مورد مطالعه می‌باشد. هدف از برآورد حجم برخان‌ها، بررسی و تحلیل ارتباط حجم با میزان حرکت برخان‌ها بوده است. با انجام آزمون همبستگی، یافته‌ها حاکی از وجود همبستگی بسیار ضعیف منفی بین حجم و میزان حرکت برخان‌های منتخب می‌باشد (رابطه عکس بین حجم برخان و میزان جابجایی آن‌ها). به عبارتی با افزایش اندازه و حجم برخان، نرخ جابجایی برخان‌ها تا حدودی کاهش می‌یابد و این ارتباط به صورت همبستگی کامل خطی نیست. میزان همبستگی پیرسون بین حجم و میزان جابجایی برخان‌ها معادل ۰/۱۹۹ محاسبه شده است و sig بدست آمده معادل ۰/۵۵۸ می‌باشد که حاکی از عدم تفاوت معناداری در ارتباط بین میزان جابجایی با حجم برخان‌های منتخب می‌باشد.

جدول ۵: برآورد حجم برخان به متر مکعب در سال ۲۰۱۹

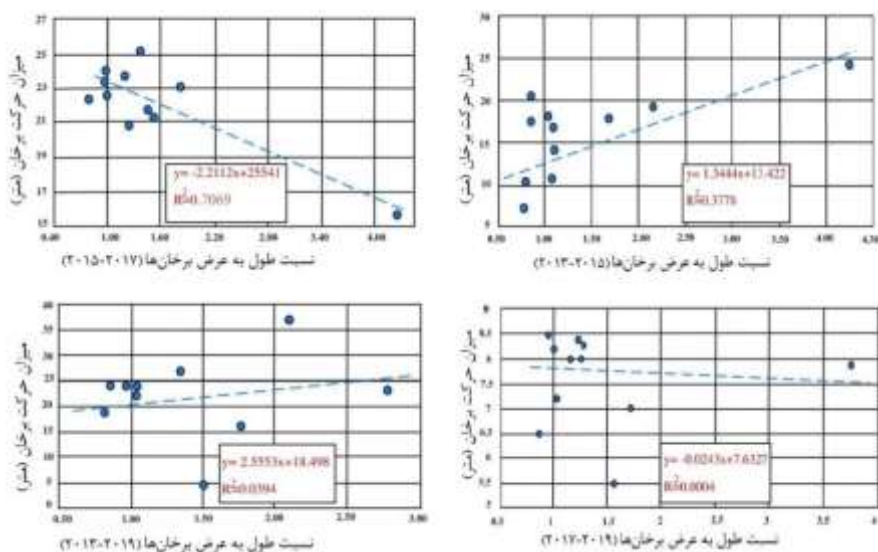
شماره برخان	مساحت برخان‌ها	ارتفاع پیشانی	حجم برخان	نرخ جابجایی سالانه
۱	۲۲۳۸/۲	۲/۴۰	۸۹۴/۹۲	۸/۳
۲	۳۵۵۸/۲	۲/۴۴	۱۴۴۶/۴۲	۶/۵
۳	۳۴۳۰/۲	۲/۹۰	۱۶۵۷/۲۷	۷/۲
۴	۴۳۴۴/۷	۳/۲۰	۳۳۱۶/۲۵	۸/۲
۵	۵۹۴۸	۳/۳۵	۳۳۱۹/۶۴	۷/۹
۶	۱۵۴۶۲/۷	۴/۹۰	۱۲۶۲۲/۸۲	۸
۷	۹۵۲/۶	۲/۱۱	۳۳۴/۸۶	۵/۵
۸	۴۳۴۱/۲	۵/۱۰	۳۶۸۲۶/۲۸	۸
۹	۴۹۳۱/۲	۳	۲۴۶۴/۶۱	۸/۵
۱۰	۶۰۲۲	۳/۴۰	۳۴۱۱/۱۰	۷
۱۱	۲۲۹۷	۲/۲۷	۸۶۸/۶۸	۸/۴

در ادامه با محاسبه نسبت طول به عرض در برخان‌های منتخب، به بررسی ارتباط بین پارامتر مذکور و میزان جابجایی برخان‌های منتخب پرداخته شده است محاسبات نسبت طول به عرض (جدول ۶) طی سال‌های آماری مذکور، در ارتباط با میزان جابجایی و حرکت برخان‌های منتخب بر نقش نسبت طول و عرض در افزایش یا کاهش میزان حرکت برخان‌ها دلالت دارد.

جدول ۶: نسبت طول به عرض برخان‌های منتخب طی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۳

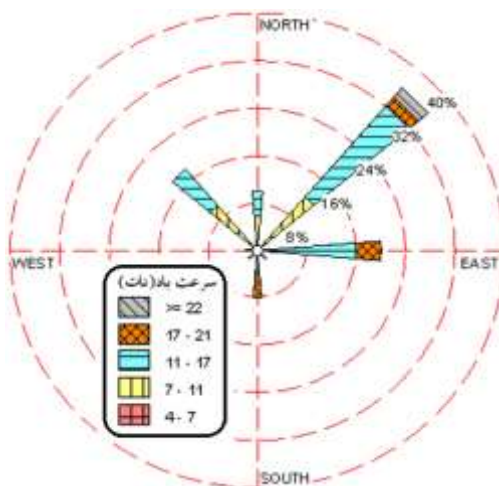
شماره برخان	۲۰۱۳	۲۰۱۵	۲۰۱۷	۲۰۱۹	شماره برخان	۲۰۱۳	۲۰۱۵	۲۰۱۷	۲۰۱۹
۱	۱۳.۱	۳۶.۱	۱۰.۱	۳۴.۱	۷	۲۴.۱	۵۲.۱	۶۹.۱	۵۰.۱
۲	۷۲.۰	۹۹.۰	۸۰.۰	۸۲.۰	۸	۲۰.۱	۴۶.۱	۰۳.۱	۹۷.۰
۳	۰۳.۱	۹۷.۰	۰۸.۱	۰۲.۱	۹	۷۵.۰	۹۷.۰	۸۷.۰	۰۳.۱
۴	۹۳.۱	۱۹.۱	۸۵.۰	۹۶.۰	۱۰	۰۴.۱	۲۴.۱	۱۵.۲	۷۷.۱
۵	۰۸.۲	۲۲.۴	۲۶.۴	۷۸.۲	۱۱	۷۳.۰	۸۰.۰	۷۷.۰	۱۰.۲
۶	۱۳.۱	۸۲.۱	۰۹.۱	۸۶.۰					

با نگاهی به شکل ۴ و صرف نظر از وجود استثنائاتی، ارتباط نسبت طول به عرض و میزان حرکت برخان‌ها قابل توجه می‌باشد. با افزایش و کاهش نسبت طول به عرض از مقدار عددی یک، میزان حرکت برخان‌ها کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر بیشترین میزان حرکت برخان‌های منتخب زمانی خواهد بود که طول و عرض برخان‌ها با هم برابر باشند یعنی نسبت بین آنها عدد یک را نشان دهد. طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹، هرگاه نسبت طول به عرض حدود یک می‌باشد که بیشترین میزان حرکت برخان‌ها رخ داده است.



شکل ۵: ارتباط بین نسبت طول به عرض برخان‌ها با میزان حرکت آن‌ها

باد نقش بسزایی در پیدایش، سرعت و جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای دارد. جهت درک ویژگی‌های باد، با اخذ داده‌های دوره ۳۱ ساله باد ایستگاه سینوپتیک کاشان طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ از سازمان هواشناسی کشور به تحلیل نقش باد در میزان سرعت و جهت حرکت برخان‌ها پرداخته شد. باد غالب منطقه در فصول زمستان و بهار با راستای غربی است. در حالیکه باد غالب منطقه در فصول پائیز و تابستان از نیمه شرقی و شمال شرق منشأ می‌گیرد و نسبت به فصول زمستان و بهار از فراوانی کمتری برخوردار است. گلباد سالانه ایستگاه کاشان نیز شمال شرقی بودن حاکمیت جهت وزش باد در طی دوره آماری مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ۸۴/۹ درصد بادهای ثبت شده در رده بادهای آرام قرار می‌گیرد. در تجزیه و تحلیل داده‌ها، بادهای با سرعت کمتر از ۴ نات به دلیل تاثیر ناچیز آن در جابه‌جایی ماسه‌ها و ایجاد حرکت در برخان‌ها در نظر گرفته نشده است. وجود برخان‌های متعدد نامتقارن، طولی و عرضی در محدوده مورد مطالعه با جهت‌های وزش اصلی و فرعی باد توجیه می‌شوند. از میانگین کل ۲۲۷۷ دفعه باد مشاهده شده سالیانه ۱۵/۱ درصد معادل ۳۴۴ دفعه باد مشاهده شده در رده بادهای با سرعت بالای ۵ نات قرار می‌گیرند. حداکثر سرعت بادهای غالب ماهیانه در اسفند ماه با ۱۰/۲ نات و حداقل آن در مهرماه ۵ نات با میانگین سالیانه ۶.۵ نات گزارش شده است. میانگین سالیانه جهت باد غالب شمال شرقی (۴۵) می‌باشد که طی مدت ۷ ماه از سال در خرداد ماه تا آذر ماه با میانگین سرعت باد غالب ۶ نات در جهت شمال‌شرقی می‌وزد. جهت باد غالب در ماه‌های دی و اردیبهشت شمالی (۳۶۰) با میانگین سرعت ۶/۱ نات می‌باشد و طی سه ماه بهمن تا فروردین جهت باد غالب غربی (۲۷۰) با حداکثر سرعت باد ۱۰/۲ نات و میانگین فراوانی مشاهده شده ۱۹۳ بار در اسفندماه رصد شده است.



شکل ۶: گلباد سالانه ایستگاه سینوپتیک کاشان طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵

بارندگی و رطوبت حاصل از آن نیز نقش بسیار مهمی در میزان حرکت برخان دارد هر چه میزان بارش طی سال‌های آماری بیشتر باشد پائین آمدن نرخ حرکت برخان مورد انتظار خواهد بود. با توجه به تصاویر در دسترس مربوط به سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹، تلاش شده است تحلیل داده‌های ماهانه و سالانه بارش مرتبط با تصاویر مذکور صورت پذیرد. از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۱۹ در مجموع روند بارش ایستگاه سینوپتیک کاشان کاهش یافته است. به نحوی که متوسط بارندگی بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۵ معادل ۱۳۷/۸ میلیمتر به میزان ۸۵/۹ میلیمتر طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۹ کاهش یافته است. نکته حائز اهمیت آن است که از دوره ۲۰۱۵-۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹-۲۰۱۷، با کاهش میزان بارندگی از ۱۲۱/۷ میلیمتر به ۸۵/۹ میلیمتر، متوسط حرکت برخان‌های مورد مطالعه از ۱۶/۲ متر در سال به ۲۲/۳ متر در سال افزایش یافته است (جدول ۷).

جدول ۷: متوسط بارندگی ایستگاه کاشان و جابجایی سالانه برخان‌های منتخب

طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۹

میانگین جابجایی سالانه (متر)	میانگین بارندگی ۲۰۱۹-۲۰۱۷(mm)	میانگین جابجایی سالانه (متر)	میانگین بارندگی ۲۰۱۷-۲۰۱۵ (mm)	میانگین جابجایی سالانه (متر)	میانگین بارندگی ۲۰۱۵-۲۰۱۳ (mm)
۲۰۱۹-۲۰۱۷	۸۵/۹	۲۰۱۷-۲۰۱۵	۱۲۱/۷	۲۰۱۵-۲۰۱۳	۱۳۷/۸
۲۲/۳		۱۶/۲		۲۲/۲	

بر اساس شاخص پایایی، هر چه میزان جابجایی سالانه برخان‌ها بیشتر باشد شاخص پایایی وضعیت نامطلوب‌تری خواهد داشت. با توجه به جدول ۸، اکثر برخان‌های منطقه مورد مطالعه با جابجایی بین ۶ تا ۹ متر در رده وضعیت ناپایایی قرار دارند و تنها یک برخان در رده پایایی خیلی کمی می‌باشد.

جدول ۸: بررسی میزان پایایی برخان‌های مورد مطالعه

شماره گروه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
دامنه جابجایی	بدون جابجایی	کمتر از ۳ متر	۳ تا ۶ متر	۶ تا ۹ متر	۹ تا ۱۲ متر	بیشتر از ۱۲ متر
وضعیت پایایی	پایایی کامل	پایایی متوسط	پایایی خیلی کم	ناپایایی	ناپایایی زیاد	ناپایایی کامل
تعداد برخان	۰	۰	۱	۱۰	۰	۰

شاخص پایایی بیانگر ناپایایی برخان‌های مورد مطالعه می‌باشد به نحوی که با توجه به میزان حرکت محاسبه شده برخان‌های منتخب، این شاخص بیانگر حرکت متوسط برخان‌های منطقه نسبت به میزان حرکت ثبت شده در مطالعات پیشین ایران و جهان دارد. شایان ذکر است که عدم تداوم وزش باد از یک راستا در طول سال و برهم خوردن مورفولوژی برخان‌ها در برهه‌های زمانی چند ماهه، سبب عدم ثبات حرکتی برخان‌ها به راستای ثابت می‌شود. همین مساله موجب می‌شود تا نتوان به طور دقیق روابطی بین ارتفاع، حجم، نسبت طول به عرض و مواردی از این قبیل را مشابه پیشینه تحقیق پیدا نمود. در تمام بند ریگ کاشان به مساحت تقریبی ۸۳۱ کیلومتر مربع، منحصراً در منتهی الیه شمال بندریگ و در حاشیه چاله مسیله، برخان‌های متعددی قابل مشاهده می‌باشد. به نظر می‌رسد دلیل وجود این برخان‌ها در حاشیه شمالی و تا حدودی شمال غربی بندریگ، به کانالیزه شدن باد با راستای شمالی در حدفاصل پادگانه مرتفع گردنه قصب شکن مرتبط باشد. شاهد این امر وجود برخان‌های متعدد در این بخش می‌باشد که راستای وزش باد را دقیقاً از سوی شمال و شمال شرقی نشان می‌دهند (یمانی، ۱۳۷۹).

نتیجه گیری:

برخان‌ها از فعال ترین لندفرم های تراکمی ماسه در مناطق خشک می‌باشند و سهم بسزایی در تغییرات محیط طبیعی به عهده دارند. در این پژوهش به بررسی میزان حرکت برخان‌ها در بخش‌های شمالی و شمال غربی بند ریگ کاشان در فاصله حدود ۴۳ کیلومتری کاشان پرداخته شده است. نتایج حاصل از بررسی میزان جابجایی ۱۱ برخان منتخب بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد که سرعت متوسط جابجایی برخان‌های جنوب غرب مرنجاب ۷/۶ متر در سال می‌باشد و دامنه تغییرات آن بین ۵/۵ تا ۸/۵ متر در سال می‌باشد. نرخ جابجایی در سه مقطع زمانی بیانگر افزایش میزان جابجایی در دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۱۹ نسبت به دو دوره قبل از آن می‌باشد. با مطالعه جهت حرکت برخان‌ها تحت تاثیر دو باد متقابل در ۳ ماهه خرداد تا مرداد از سمت شرق شمالشرق و همچنین در راستای غالب غربی در ۴ ماهه بهمن تا اردیبهشت سبب می‌شود تغییرات زیادی در

لندفرم برخان‌های منطقه ایجاد گردد و به نوعی سبب برهم خوردن شکل برخان در اثنای حرکت آن شود. جهت بررسی و تحلیل ارتباط حجم با میزان حرکت برخان‌ها از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شده است. میزان همبستگی پیرسون بین دو متغیر مذکور معادل ۰.۱۹۹ - محاسبه شده است و sig بدست آمده معادل ۰.۰۵۵۸ می‌باشد که حاکی از وجود همبستگی بسیار ضعیف منفی بین حجم و میزان حرکت برخان‌های منتخب می‌باشد به عبارتی با توجه به رابطه عکس بین اندازه و حجم برخان با میزان جابجایی آن، با افزایش حجم برخان، نرخ جابجایی برخان‌ها کاهش می‌یابد و این ارتباط به صورت همبستگی کامل خطی نیست. اما بررسی ارتباط نسبت طول به عرض با میزان حرکت برخان‌ها نشان می‌دهد که با افزایش و کاهش نسبت طول به عرض از مقدار عددی یک، میزان حرکت برخان‌ها کاهش چشمگیری دارد. به عبارت دیگر بیشترین میزان جابجایی برخان‌های منتخب زمانی خواهد بود که تناسب در نسبت طول و عرض برخان‌ها وجود داشته باشد. با نگاهی به دوره‌های مورد بررسی می‌توان دریافت که طی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۳، هرگاه نسبت طول به عرض حول و حوش عدد یک می‌باشد بیشترین میزان حرکت برخان‌ها رخ داده است. بارش نیز سهم بسیار مهمی در میزان جابجایی برخان‌ها دارد. داده‌های بارش سالانه ایستگاه کاشان طی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۳ بر تاثیر مستقیم بارندگی در میزان جابجایی برخان‌ها دلالت دارد به نحوی که با افزایش میزان بارندگی، شاهد کاهش حرکت برخان‌های منتخب بوده ایم.

References

- Ahmadiabadi, A., Karam, A., Saffari, A. and Yazdanpanah, M. (2020). Estimation of surface and elevation displacement of Ardestan sand dunes using radar interferometry and spectral indexing. Quantitative Geomorphological Research, Year 8 , No. 4, pp. 1-17. (in Persian)
- Arab Ameri, A., Jalal. Shayan, S. and Klorajan, A. (2014). Simulation of Barchans movements for management planning using artificial neural network (Case study: Haj Ali Gholi Desert), Journal of Planning and Planning of space, Article 7, Volume 18, Number 4, Winter 2014, pp. 149-175. (in Persian)
- Bagnold, R. A., 1954. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. Chapman and Hall, London, 265 pp.
- Beadnell, H. J. L. (1910). The sand-dunes of the Libyan desert. Geogr. J. 35, 379-395.
- Cooke, R. , Warren, A. , Goudie, A. (1993). Desert Geomorphology. UCL Press, London, 526 pp.
- Daniell, J. , Hughes, M. (2007). The Morphology of Barchan-shaped Sand Banks from Western Torres Strait, Northern Australia, Sedimentary Geology, Vol. 202, PP. 638-652.

- Gay, S. P. (1999). Observations Regarding the Movement of Barchan Sand Dunes in the Nazca to Tanaca Area of Southern Peru, *Geomorphology*, Vol. 27, PP. 279-293.
- Glenn, M. , (1979). Glossary In McKee, E. D. (Ed.), A Study of Global Sand Seas. *Geol. Surv. Prof. Pap.* 1052, pp. 399-407.
- Gomez, D., Salvador, P., Sanz, J., Casanova, C., L.(2018). “Detecting Areas Vulnerable to Sand Encroachment Using Remote Sensing and GIS Techniques in Nouakchott”, Mauritania, MDPI, 25 September.
- Hamdan, M. A ., Refaat, A. A., Abdel Wahed, M. (2019). Morphologic characteristics and migration rate assessment of barchan dunes in the Southeastern Western Desert of Egypt. *Geomorphology*, Volume 257, pp. 57-74.
- Hesse, R. (2008). Do swarms of migrating barchan dunes record pale environmental changes? — A case study spanning the middle to late Holocene in the Pampa de Jaguay, southern Peru, *Geomorphology*,47: 1-6.
- Lancaster, N. (1980). The formation of seif dunes from Barchans-supporting evidence for Bagnold’s model from the Namib Desert. *Z. Geomorphol. N. F.* 24 (21), pp.160-167.
- Lancaster, N. (1989). *The Namib Sand Sea: Dune Forms, Processes, and Sediments.* A. A. Balkema, Rotterdam.
- Lancaster, N. (1995). *Geomorphology of Desert Dunes*, Routledge, London.
- Lindsay, J. F. (1973). Reversing Barchan dunes in Lower Victoria Valley, Antarctica. *Geol. Sot. Am. Bull.* 84, 1799-1805.
- Lorestani, Gh., Shahriar, A., Maghsoudi, M. (2011). The effect of diameter distribution and frequency of sand particles on the deformation of the main components of Barchan (Case study: Maranjab Barchans), *Journal of Geography and Development*, Volume 9, Number 25, Winter 2011, pp. 179-196. (in Persian)
- Maghsoudi, M., Mohammadi, A., Khanabaei, Z., Mahboubi, S. Baharvand, M. and Hajizadeh, A. (2017), Monitoring the movement of gravel and Barchans in the west of Lut (Psouyeh), *Quantitative Geomorphological Research*, Fifth Year, No. 4, pp. 176-189.(in Persian)
- Maghsoudi, M., Neghaban, S., Bagheri, S. (2014), Morphometric analysis of sand arrows from Alhagi maurorum in the west of Lut plain (east of Shahdad), *Journal of Geographical Research on Desert Areas*, Volume 2, Number 3, pp. 1-20. (in Persian)
- Mousavi, H., Wali, A. and Moayeri, M. (2010). The effect of Barchan morphometric components on its displacement (Case study: Jam Chah Rig). *Journal of Geography and Environmental Planning*, Volume 21, Number 38, Issue 2, Summer 2010. pp. 101-118. (in Persian)

- Pye, K. , Tsoar, H. (1990). Aeolian Sand and Sand Dunes. Unwin Hyman, London, 396 p.
- Saif, A. and Mousavi, H. (2012). Evaluation morphodynamic index of the Barchan Hills (Case Study: Jam Chah Sand), Quantitative Geomorphological Research, No. 1, pp. 1-18. (in Persian)
- Sauermann, G. , Rognon, P. , Poliakov, A. , Herrmann, H. J. (2000). The shape of the barchans dunes of Southern Morocco. Geomorph. 36, 47-62.
- Shahriar, A., Lorestani, Gh., Maghsoudi, M. (2013). Investigation of sand particle shape and granulometry in inland and coastal areas of Iran (Case study: Marnjab sand - Jask beach), Journal of Geographical Research on Desert Areas, First Year, Second Issue, pp. 17-35. (in Persian)
- Sharifi Pichun, M.,omidvar, k., Miri, Z. (2020) Investigation of the morphology of sand dunes and its adaptation to wind data in the Rig-e-Zarrin region, Journal of Geographical Research on Desert Areas, Year 8, Number 1, pp. 1-27. (in Persian)
- Tsoar, H. (1984). The formation of seif dunes from Barchan-a discussion. Z. Geomorphol. N. F. 28 (11), 99-103.
- Walker, H. J. , Matsukura, Y. (1979). Barchans and Barchan-like dunes as developed in two contrastin areas with restricted source regions. Annu. Rept. Inst. Geosci. , Univ. Tsukuba 5, 43-46.
- Yamani, M. (2000). The relationship between sand particle diameter and frequency of wind threshold velocities in bande Rig Kashan area, Geographical Research, No. 38, pp. 115-132. (in Persian)
- Zhengcai,z., Zhibao, d., Guangyin, H., Eric, J. (2018). Migration and Morphology of Asymmetric Barchans in the Central Hexi Corridor of Northwest China. Geosciences. 2018,8, 204; doi:10. 3390p. 1-17.

Original Research Article

**Dynamic Evaluation of Barchans in Band-e-Rig Kashan in the
Period of 2013-2019**

Ghasem Iorestani¹, Ali Shahriar^{2*}

1- Associate Prof., Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran

2- Assistant Professor of Geography, Yazd University.

Received: 2021 September 22

Accepted: 2022 January 9

Introduction:

Wind erosion and the formation of sand dunes are common phenomena in many arid regions around the world. More than 100 types of sand dunes have been classified by geomorphologists based on their shape and size (Lancaster, 1995). One of the most common and simple types of sand dunes, in areas with one-way winds throughout the year and the inability of sand to cover the entire surface of the area, is the crescent-shaped hills called Barchan (Suerman et al., 2000). A Barchan is a single crescent-shaped hill that forms a cohesive and solid surface on the ground, such as a ridge, pediment, or desert pavement (Cook et al., 1993).

Methodology:

To do this research, 11 barchans from the southwest of Mariana Rig were selected, 30 km from the city of Aranbidgol. Using the images of the Google Earth software archive, the size of the studied area was determined, and then the barchans were measured with field observations. The Google Earth was used to check and record the amount of displaced barchans from 2013 to 2019. Also, by the bar method in 2013 and the estimation of the amount of displacement versus the fixed bars in 2019, the speed of the barchans was measured along with such parameters as area, volume, height, density, periodic variation and length-to-width ratio. Also, in order to investigate the role of wind in the movement of Aeolian sand and Barchans, the 31-year statistics of Kashan meteorological station were used. For this purpose, the desired data were processed with the Wrplot 5.0 software, and the annual flower of Kashan station was drawn. The wind at Kashan station proved to be mainly northeast.

Findings:

The maximum total displacement in Barchan No. 9 during the years 2019-2013 has been found to be 68 meters with an average displacement rate of 8.5 per year. The minimum total displacement in Barchan No. 7 during the years 2019-2013 was at the rate of 43.9 meters with an average annual rate of 5.5 meters. The rate of 103.5 percent, compared to the percentage of the negative changes of 93.34, shows the net rate of 10.16% positive change. In other words, during the years 2013 to 2019, the rate of expansion of sand dunes in the study area had an increasing trend. Also, the area of the sand zone created during the years 2013 to 2019 had a lot of fluctuation. According to the reliability index, the higher the annual displacement of the Barchans, the more unfavorable the reliability index will be. According to Table 8, most of the brooches in the study area with a displacement of 6 to 9 meters are in the category of instability, and only one brook is in the category of very low reliability.

Conclusion:

The results show that the average displacement speed of the selected Barchans is 7.6 meters per year with a change of 5.5 to 8.5 meters per year. The displacement rate in the period of 2019-2017 indicates an increase compared to the two periods before that. Pearson's correlation test was used to investigate the relationship between volume and cell movement. The correlation between the two variables was -19.19, and the level of significance was 0.558, which indicates a very weak negative correlation between the volume and the amount of movement of the selected braces. The correlation is somewhat reduced and is not completely linear. The study of the relationship between the length-to-width ratio and the amount of cell movement shows that, the increasing and decreasing of the length-to-width ratio from a numerical value of one makes the amount of cell movement decrease significantly. In other words, the maximum displacement of the selected Barchans occurs when the ratio of length to width of Barchans reaches a certain value. As the periods under study suggest, during the years 2019-2013, when the length-to-width ratio was around one, the highest amount of Barchans movement occurred. Precipitation also plays a very important role in the rate of cell displacement. The annual precipitation data of Kashan station during the years 2019-2013 indicate the direct effect of rainfall on the displacement of the Barchans. So, in the years with increased rainfall, the movement of the studied Barchans increased, and in the years with decreased rainfall, the movement of the Barchans was significantly reduced. The reliability index also indicates the instability of the studied Barchans' According to the calculated movement of this selected Barchans, this index indicates the average movement of regional Barchans compared to the amount of movement recorded in previous studies in Iran and the world.

Keywords: Sand dunes, Blowing sand, Barchans, Instability index, Band-e-Rig Kashan