

تأثیر مؤلفه‌های مورفومتری برخان بر میزان جابه‌جایی آن (مطالعه موردی: ریگ چاه جام)

سیدحجت موسوی، دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، ایران*
عباسعلی ولعی، استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه داراب، شِـراز، ایران
مسعود معیـری، استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، ایران

چکیده

تپه‌های ماسه‌ای، از کنش متقابل جریان باد و بستر ماسه سرچشمه می‌گیرند. برخان‌ها، یکی از اشکال تراکمی‌بادی هستند و در نواحی که ماسه برای پوشاندن کامل سطح وجود نداشته باشد و باد در اغلب طول سال از جهت یکسانی برخوردار باشد، تشکیل می‌شوند. این عوارض، از ماسه متحرک تشکیل شده، از مهمترین ویژگی آنها پویایی و تحرکات جانبی است که بخشی از آنها، کانون‌های بحران و تهدید کننده مراکز مسکونی شهری و روستایی، مراکز اقتصادی و نظامی و شریان‌های ارتباطی محسوب می‌گردند. به طور کلی، برخان‌ها متناسب با شدت باد و به طور معکوس متناسب با ارتفاع خود جابه‌جا می‌شوند. میزان جابه‌جایی آنها تابعی از شدت باد، مورفولوژی سه بعدی برخان و تعاملات بین آنهاست. یکی از رایجترین ناهمواری‌های بادی جنوب کویر حاج علیقلی تپه‌های برخانی هستند. در این پژوهش، پارامترهای مورفومتری برخان و میزان جابه‌جایی سالیانه آن (از ۱۳۸۷/۱/۱۰ تا ۱۳۸۸/۱/۱۰) از طریق پیکه کوبی اندازه‌گیری شده است. سپس با استفاده از روش آنالیز رگرسیون، نوع و شدت ارتباط بین میزان جابه‌جایی و مؤلفه‌های مورفومتری برخان بررسی و به منظور برآورد میزان جابه‌جایی مدل‌هایی ارائه شده است. با استفاده از این مدل‌ها، می‌توان میزان جابه‌جایی سالیانه برخان‌های محدوده مطالعاتی را به آسانی محاسبه نمود. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، که ارتباط بین میزان جابه‌جایی و مؤلفه‌های مورفومتری برخان از روابط ساده خطی، توانی و نمایی پیروی می‌کند. ارتباطات حاصل از رابطه سنجی بین میزان جابه‌جایی با مؤلفه‌های مورفومتری برخان، حاکی از حداکثر ارتباط معکوس معنی دار نمایی میزان جابه‌جایی با مؤلفه ارتفاع با ضریب تعیین ۰/۹۱۵ و انحراف معیار برآورد ۰/۱۳۳ است. شناخت مؤلفه‌های مورفودینامیک برخان می‌تواند به عنوان شاخصی برای تعیین وضعیت سیستم برخان عمل کرده، مبین روندهای آن نیز باشد. علاوه بر این، شناسایی و برآورد دقیق این مؤلفه‌ها برآیندی از میزان تهدید و تخریب را در اختیار مدیران محیطی قرار می‌دهد که بررسی آنها، مناطق گوناگون را از نظر مدیریت محیطی تعیین و اولویت بندی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: برخان، ریگ چاه جام، جابه‌جایی، مورفومتری، مدل رگرسیونی.

مقدمه

در حال حاضر، ۳۶ درصد سطح خشکی‌های زمین را مناطق خشک و نیمه خشک در بر گرفته اند که ۱۹ درصد این سطوح، کاملاً خشک و در پاره‌ای موارد فاقد پوشش گیاهی هستند. در این اراضی، به دلیل شرایط خاص محیطی، از قبیل: بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر، کمبود پوشش گیاهی، وزش بادهایی با سرعت و شدت بالا شرایط را برای وقوع فرسایش بادی فراهم کرده است (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۷: ۴۴). ۶۵ درصد از فلات ایران، در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و در حدود ۸۰ میلیون هکتار از مساحت آن را مناطق کویری با تپه‌های ماسه‌ای و پوشش گیاهی ناچیز تشکیل می‌دهند. از این وسعت، حدود ۱۲ میلیون هکتار را ماسه‌های روان اشغال کرده که در حدود ۶ میلیون هکتار آن، تپه‌های ماسه‌ای فعال هستند (رفاهی، ۱۳۸۳: ۸). از مهمترین ویژگی‌های تپه‌های ماسه‌ای، پویایی و تحرکات جانبی آنها است که بخشی از آنها کانون‌های بحران و تهدید کننده حریم مراکز مسکونی شهری و روستایی، مراکز اقتصادی، نظامی و شریان‌های ارتباطی هستند. یکی از فراوانترین و مشخص‌ترین نوع تپه‌های ماسه‌ای که حاصل تراکم ماسه در نواحی بیابانی هستند، تپه‌های هلالی شکلی هستند که به برخان شهرت دارند. این عوارض، در نواحی تشکیل می‌شوند که ماسه برای پوشاندن کامل سطح وجود نداشته باشد و باد در اغلب طول سال از جهت یکسانی برخوردار باشد (سایرمان و

همکاران^۱ ۲۰۰۳، ۲۴۵). جایگاه اصلی تپه‌های برخانی حد فاصل بین خاستگاه باد و محل اصلی تمرکز اِراگ قرار دارد (محمودی، ۱۳۸۳: ۹۱). شکل هندسی این عارضه شبیه به هلال است و از دو بازوی کشیده در امتداد باد تشکیل شده و دارای دو دامنه با شیب‌های متفاوت است. حد فاصل و جدا کننده این دو دامنه خط الراس نامیده می‌شود که ممکن است گاهی با حداکثر ارتفاع برخان مقارن شده، یا از آن فاصله بگیرد (سایرمان و همکاران^۲ ۲۰۰۰: ۴۷).

عوارض برخانی از ماسه متحرک تشکیل شده، در امتداد باد غالب، با حفظ شکل هلالی و سه بعدی خود جابجا می‌شوند. بنابراین، از مهمترین ویژگی این عارضه، پویایی و تحرکات جانبی آن با روند مشخص سالیانه است. حرکات و جابه‌جایی این عارضه در دراز مدت یک معضل و عامل تهدید کننده طبیعی برای سازه‌های انسانی موجود در سر راه خود محسوب می‌گردد، که عدم توجه به آن موجب نابودی و یا مدفون شدن بسیاری از این سازه‌ها می‌گردد. تحلیل‌های آماری مشخصه‌های مورفومتری و مورفودینامیک برخان، با تکیه بر نگرش سیستمی در شناسایی رفتار و شیوه عملکرد این عارضه و شناسایی روند تحرکات جانبی سالیانه آن به منظور کاهش خسارات ناشی از جابه‌جایی این عارضه، کمک شایانی به پژوهشگران می‌کند.

1 _ Sauermann et al (2003)

2 _ Sauermann et al (2000)

در ارتباط با مورفولوژی آن و ویژگی‌های باد غالب منطقه بررسی کرده و در نهایت، روابط بین پارامترهای مورفولوژی برخان و میزان جابه‌جایی آن را شناسایی و گزارش کرده است.

سایرمان و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۳: ۲۴۵)، سرعت باد و میزان حمل ماسه را بر روی تپه‌های برخانی بررسی و اختلافات عمده بین جریانهای بادی اشباع شده و نشده از ماسه را بیان کرده اند و اثبات نموده اند که تپه‌های برخانی بدون تغییر پذیری در شکل‌شان حرکت می‌کنند. دانیل و هوگز^{۱۲} (۲۰۰۷: ۶۳۸)، شکل شناسی برخان‌های استرالیا و ارتباط آنها با نوع رژیم فصلی باد در منطقه را بررسی کرده و بیان نموده اند که این تپه‌ها متحرک بوده و سالیانه ۱۰ تا ۱۵ متر در جهت غرب جابه‌جا می‌شوند. هاگن هلنز و همکاران^{۱۳} (۲۰۰۸: ۱۳)، ضمن مطالعه الگوهای موقت و فضایی حمل رسوبات بادی بر روی تپه‌های سهمی‌شکل، میزان ورودی و خروجی و نرخ انتقال مقدار ماسه را با توجه به متغیرهای اقلیمی منطقه بر روی تپه‌های برخانی برای شناسایی پویایی‌های آنها بررسی کرده‌اند.

هس^{۱۴} (۲۰۰۸: ۶)، حرکت دسته جمعی تپه‌های برخانی را در جنوب پرو مطالعه کرده و بیان نموده است که از طریق خصوصیات چینه شناسی این تپه‌ها می‌توان تغییرات پالئو زیست- محیطی منطقه را باز سازی کرد. نگارش و لطیفی (۱۳۸۷: ۴۳) خصوصیات

نخستین اندازه گیری‌ها در رابطه به تپه‌های برخانی و روابط شکل شناسی میان آنها، توسط بگنولد^۱ (۱۹۴۱)، (۱۲۶) و فینکل^۲ (۱۹۵۹، ۶۱۴) در جنوب پرو انجام شد. مطالعات در مورد شبیه سازی‌های رقمی برای پیش بینی تحرکات و دگرگونی‌های تپه‌های برخانی و شکل دقیق آنها، توسط هووارد و مورتن^۳ (۱۹۷۸، ۳۰۷)، وایپرمن و گراس^۴ (۱۹۸۶، ۳۱۹)، آنتون و وین سنت^۵ (۱۹۸۶، ۱۸۷) و آنتنسن و همکاران^۶ (۱۹۹۶: ۶۳) انجام شد. هسپ و هاستینگز^۷ (۱۹۹۸: ۱۹۳)، با بررسی روابط بین ارتفاع و عرض برخان، این روابط را به عنوان عوامل کنترل کننده شکل سه بعدی برخان معرفی کرده اند. گی^۸ (۱۹۹۹)، (۲۷۳) با مطالعه جابه‌جایی‌های تپه‌های برخانی جنوب پرو بیان نموده است که سرعت حرکت برخان با اندازه آن نسبت معکوس دارد. هرمان و سایرمان^۹ (۲۰۰۰: ۲۴)، با مطالعه تپه‌های مراکش مدل‌هایی را برای تحرکات و پویایی سطح بستر آنها ارائه داده اند که این مدلها بر مبنای معادلات دیفرانسیل می‌توانند مراحل تشکیل و دگرگونی‌های تپه‌های ماسه‌ای را تشریح کنند. آل‌هارتی^{۱۰} (۲۰۰۲، ۳۶۰) ضمن مطالعه تپه‌های برخانی منطقه جده در غرب عربستان، در ارتباط با خطرهای محیطی جابه‌جایی ماسه میزان سرعت و جهت حرکت این عارضه را

1 - Bagnold (1941)

2 - Finkel (1959)

3 - Howard & Morton (1978)

4 - Wippermann & Gross (1986)

5 - Anton & Vincent (1986)

6 - Anthonson et al. (1996)

7 - Hesp & Hastings (1998)

8 - Gay (1999)

9 - Herrmann & Sauer mann (2000)

10 - Al-Harhi (2002)

11 - Sauer mann et al (2003)

12 - Daniell & Hughes (2007)

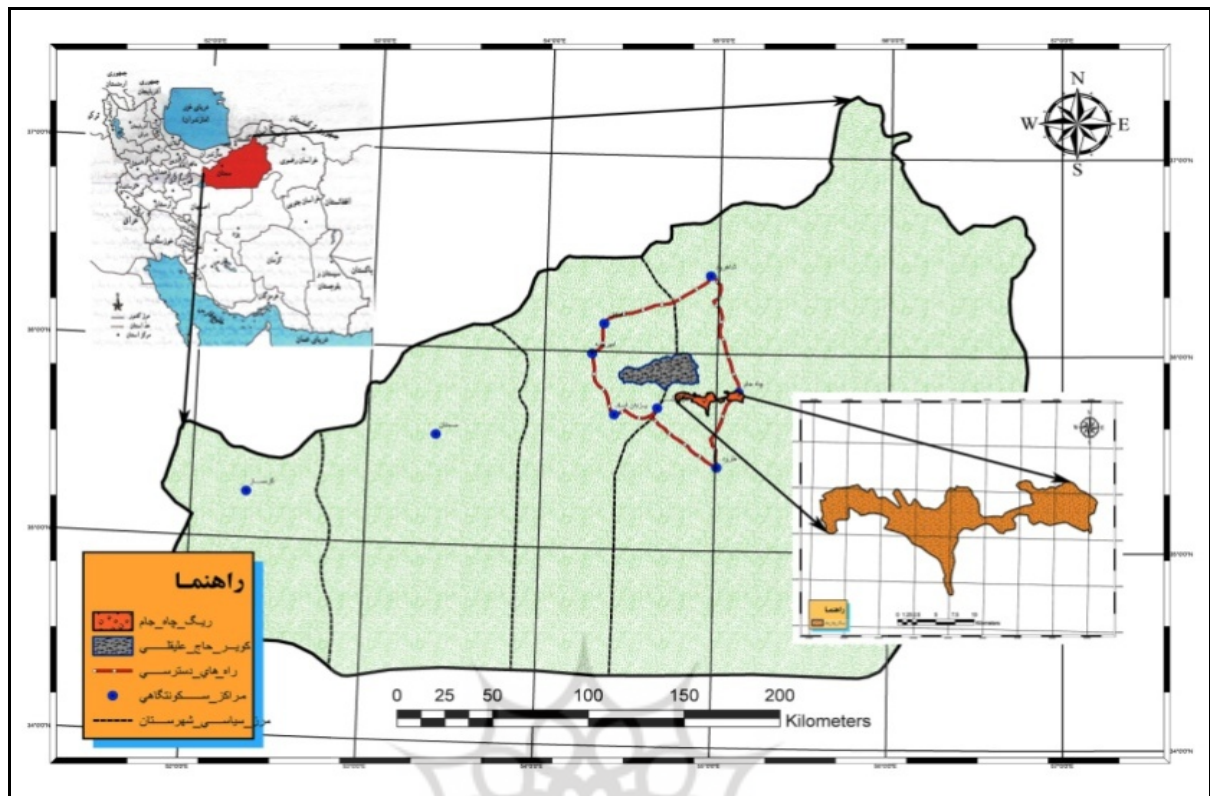
13 - Hugenholtz et al (2008)

14 - Hesse (2008)

ژئومورفولوژیک تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان را ارزیابی کرده و با ارایه داده‌هایی در رابطه با خصوصیات مورفومتری برخان‌ها، به مدل سازی روابط آنها پرداخته‌اند و با بیان مقدار جابه‌جایی فصلی و سالیانه تپه‌ها، عوامل موثر بر تحرکات آنها را نیز بررسی کرده‌اند. در این پژوهش، با تکیه بر روشهای اندازه‌گیری کمی و کمک گرفتن از مدل سازی آماری، به شناسایی روابط بین مؤلفه‌های مورفومتری و مورفودینامیک تپه‌های برخانی منطقه مطالعاتی پرداخته شده است و هدف از آن ارائه معادلات آماری برآورد میزان جابه‌جایی برخان‌ها از طریق مؤلفه‌های مورفومتری برخان برای شناسایی هر چه بهتر رفتارها و عملکردهای این ناهمواری‌ها در طبیعت است که ضمن این جریان ارتباط بین پارامترهای مورفومتری تشکیل دهنده برخان با مشخصه‌های مورفودینامیک آن مورد آزمون قرار گرفته و میزان تأثیر هر یک از این پارامترها بر روی مشخصه میزان جابجایی برخان ارزیابی شده است: به طوری که با بهره‌گیری از روش‌های رایج مدل سازی آماری، نوع رابطه و شدت آنها با ارایه مشخصات پارامترهای ارزیابی مدل، اندازه‌گیری و ارائه شده و نتایج حاصل از جریان مدل سازی با تأکید بر تحلیل نتایج آماری به بحث و نتیجه‌گیری نهایی منجر گردیده است.

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، ریگ چاه جام از توابع شهرستان شاهرود در استان سمنان است، که در قسمت جنوب شرقی تا جنوبی کویر حاج علی قلی گسترده شده است. کویر حاج علیقلی، مهمترین کویر استان سمنان است که در جنوب غربی شاهرود و جنوب دامغان واقع شده است این کویر، چاله‌ای رسوبی - ساختمانی است که در حال حاضر تحت تأثیر فرآیندهای شکل‌زایی مختلف قرار دارد. به دلیل کمبود پوشش گیاهی و ریزش‌های جوی در اطراف این کویر سیستم‌های شکل‌زایی بادی بر دیگر فرایندها حاکمیت دارند و می‌توان انواع رخساره‌های فرسایشی بادی را در این منطقه مشاهده نمود. ریگ چاه جام، با وسعت حدود ۲۵۲۶۰ هکتار، یکی از مهمترین ریگ‌های موجود در حاشیه کویر حاج علی قلی است که به صورت نواری نامنظم در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی در طول ۱۰ تا ۱۲ کیلومتر کشیده شده است (احمدی، ۱۳۸۷: ۳۲۸). این ریگ، در محدوده‌ای به عرض ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه و طول ۵۴ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه جغرافیایی واقع شده است (شکل ۱).



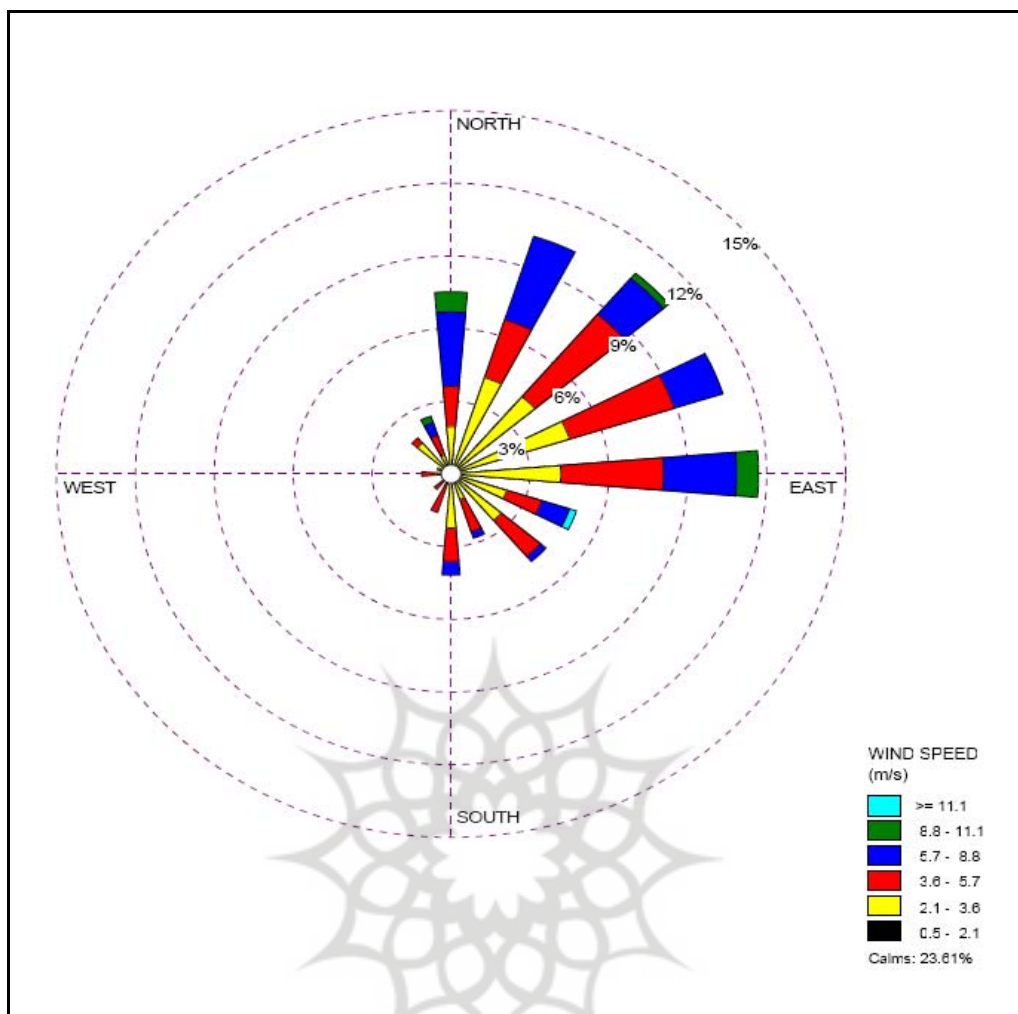
شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

اقليمی است. موقعیت منطقه مطالعاتی در جنوب رشته کوه البرز و همجواری با دشت‌های خشک ایران مرکزی، دوری از مراکز رطوبتی، عدم نفوذ توده‌های باران زا، جهت و امتداد رشته کوه‌های مجاور و بادهای خشک محلی، این منطقه را در ردیف نواحی با اقلیم خشک قرار داده است.

موقعیت جغرافیایی خاص منطقه، شرایط متضاد اقلیمی را در فصول مختلف سال، هم از نظر منشأ توده‌های هوای بارانزا و هم در ارتباط با شرایط حرارتی و بروندی به وجود آورده است. علاوه بر این، عوامل تشدید کننده شرایط بیابان زایی حاصل از عوامل انسانی و طبیعی خود مزید بر علت و سبب ایجاد شرایط متضاد

جدول (۱) مقادیر عناصر اقلیمی منطقه مطالعاتی (میانگین یک دوره آماری سی ساله)

سالنامه	پاییز	تابستان	بهار	زمستان	دوره زمانی
					عناصر اقلیمی
۹/۳۲	۳/۵۳	۱۹/۹۸	۱۴/۵۶	-۰/۷۵	مانگین حداقل دما به سانتی گراد
۲۶/۳۴	۲۰/۰۱	۳۹/۰۲	۳۲/۵۴	۱۳/۷۳	میانگین حداکثر دما به سانتی گراد
۳۲/۳۳	۳۷/۷۳	۲۹/۸۱	۲۶/۳۳	۴۱/۰۱	میانگین حداقل رطوبت نسبی به درصد
۵۰/۴۹	۵۵/۴۲	۴۳/۶۶	۴۲/۱۰	۶۵/۰۳	میانگین حداکثر رطوبت نسبی به درصد
۸۵/۸۱	۱۶/۳۳	۲/۵۵	۲۰/۷۶	۴۶/۱۶	میانگین بارندگی به میلی متر
۴/۹۵	۲/۵	۷/۵	۶/۳	۳/۳	میانگین سرعت باد به نات



شکل (۲): گلباد سالیانه منطقه مطالعاتی

مواد و روش‌ها

برخان‌ها، اندازه‌گیری شد. حجم نمونه مطالعاتی به موقعیت برخان‌ها نسبت به محل ترانسکت‌های مستقر شده بستگی دارد که در مجموع ۵۲ برخان مورد اندازه‌گیری و ارزیابی گردید. به عبارت دیگر، در نمونه برداری میدانی، ۵۲ برخان با ۱۰ ترانسکت مزبور برخورد نموده و اندازه‌گیری شدند.

ابتدا به کمک تصاویر ماهواره ای گوگل ارتس^۱، محدوده مطالعاتی بررسی شد و سپس با مراجعات میدانی به منطقه، مبادرت به نمونه برداری و اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتری برخان شد. نمونه برداری از برخان‌ها در طول ۱۰ ترانسکت^۲ (رأستا یا امتداد) که تقریباً کل مساحت ریگ را پوشش داده، صورت گرفت و در طول هر ترانسکت خصوصیات مورفومتری

1- Google Earth

2 - Transect



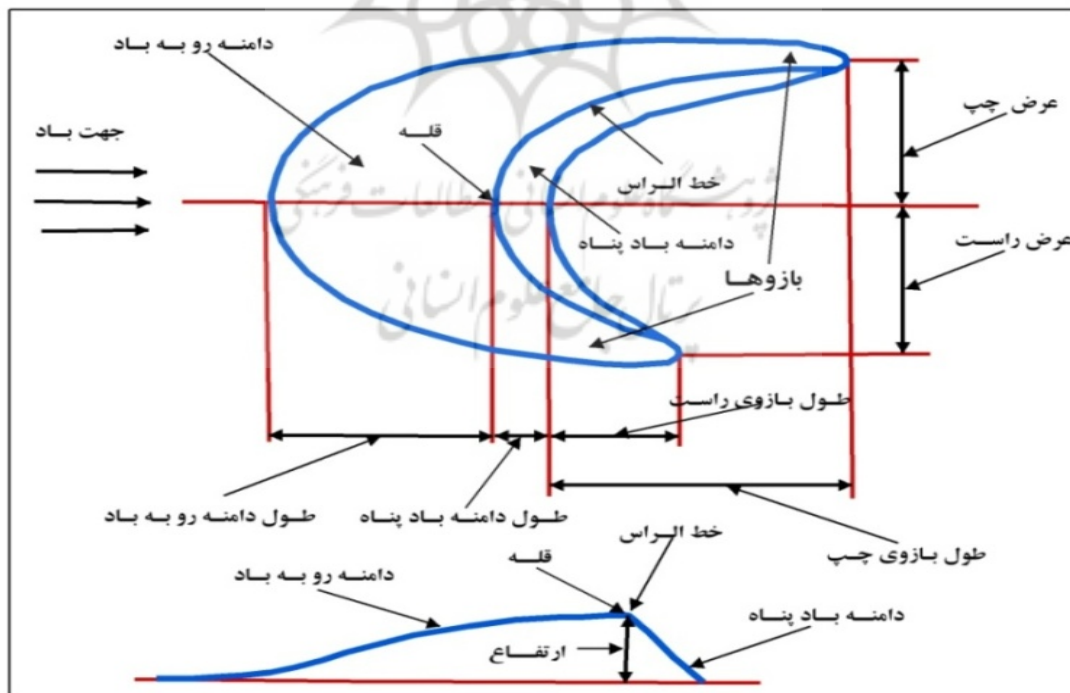
شکل (۳) تصویری از یک تپه برخانی که در آن جهت باد و خط الرأس به تصویر کشیده شده است

رابطه (۱) محاسبه طول: $L = L_0 + L_s + (L_a + L_b)/2$

رابطه (۲) محاسبه عرض: $W = W_a + W_b$

در این روابط W : عرض برخان؛ W_a : عرض راست؛ W_b : عرض چپ؛ L : طول برخان؛ L_a : طول بازوی راست؛ L_b : طول بازوی چپ؛ L_0 : طول دامنه رو به باد و L_s طول دامنه باد پناه هستند.

به منظور بررسی آماری خصوصیات مورفولوژی برخان‌ها، مؤلفه‌های مورفومتری آنها اندازه‌گیری شد. مبنای اندازه‌گیری شکل (۴) است که انواع پارامترهای مورفومتری برخان و شیوه اندازه‌گیری آنها را نشان می‌دهد. شیوه محاسبه طول و عرض به شرح معادلات زیر است:



شکل (۴) توضیح تصویری مؤلفه‌های مورفومتری برخان

شیوه محاسبه محیط و مساحت برخان بدین گونه است، که ابتدا بر روی زمین برای هر برخان یک دستگاه مختصات فرضی در نظر گرفته شده است. سپس بر روی محیط آن، تعداد ۲۱ نقطه تعیین مختصات گردید. نقاط برداشت شده در عرصه با توجه به مقیاس ۱/۲۰۰ بر روی کاغذ ترسیم گردید. سپس برای هر برخان، مساحت به کمک پلانن متر و محیط با استفاده از کرومتر محاسبه شد. بنابراین، در مجموع برای ۵۲ برخان ابعاد طول و جزئیات آن، عرض و جزئیات آن، محیط و مساحت محاسبه و ماتریس داده‌ها برای مدل سازی تهیه شد.

با توجه به تبعیت نمودن حجم برخان از نصف حجم هرم (هس^۱، ۲۰۰۸، ۳) پس از محاسبه سطح برخان، حجم رسوبات با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$\text{رابطه (۳) محاسبه حجم: } V = 0.1666S \times H$$

S: مساحت برخان و H: ارتفاع برخان است.



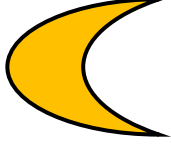
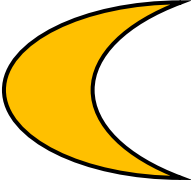
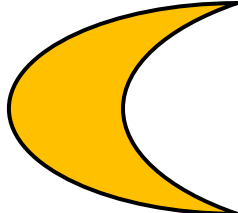
به کمک رابطه فوق، حجم تک تک برخان‌ها محاسبه و در نهایت، بردار حجم برخان تشکیل گردید. بنابراین، در مجموع برای ۵۲ برخان ابعاد ارتفاع، طول و جزئیات آن، عرض و جزئیات آن، محیط، مساحت و حجم رسوبات بادی محاسبه گردید و ماتریس داده‌ها برای مدل سازی تهیه شد.

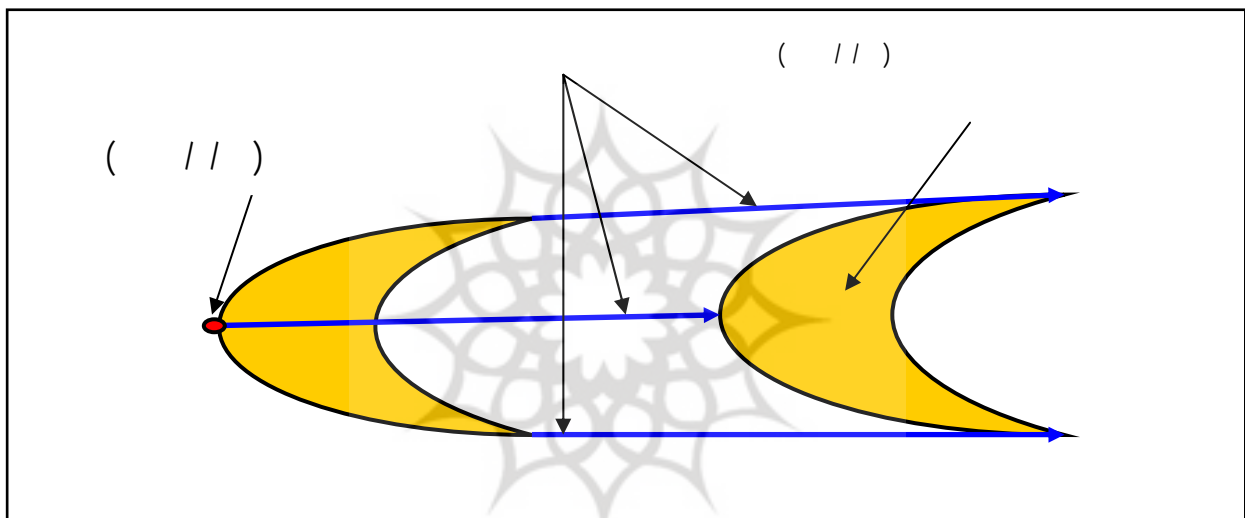
میزان جابه‌جایی تپه‌های برخانی محدوده مطالعاتی، از طریق پیکه کوبی با پیکه‌های چوبی به ارتفاع ۷۰ سانتیمتر در بررسی‌های میدانی و در یک بازه زمانی یک ساله (از ۱۳۸۷/۱/۱۰ تا ۱۳۸۸/۱/۱۰) صورت گرفته است: بدین گونه که در ابتدا، این عارضه به واسطه مؤلفه ارتفاع به

پنج گروه عمده تقسیم گردید که هر گروه دامنه ارتفاعی خاصی را شامل می‌شود و این گروه‌ها تقریباً تمام اندازه برخان‌های موجود در محدوده مطالعاتی را پوشش می‌دهند. سپس برای هر گروه، سه برخان به عنوان برخان کلیدی برای اندازه‌گیری خصوصیات مورفومتری و مورفودینامیک از طریق پیکه کوبی انتخاب شد که در مجموع یک جامعه آماری ۱۵ عضوی را شامل می‌شود (جدول ۲). سپس با مراجعات میدانی، ۱۵ برخان از تپیک ترین تپه‌های برخانی منطقه شناسایی و در تاریخ ۱۳۸۷/۱/۱۰ پیکه کوبی شدند. جهت انجام این عمل برای هر برخان یک پیکه و در قسمت ابتدایی دامنه رو به باد آن نصب گردید. برای شناسایی دقیق پیکه‌های چوبی در مراجعات بعدی، موقعیت ریاضی آنها از طریق دستگاه G.P.S تعیین مختصات و ثبت شد تا برخان‌ها و پیکه‌های مورد نظر در اثنای دوره اندازه‌گیری به آسانی ردیابی و شناسایی شدند. در نهایت، در تاریخ ۱۳۸۸/۱/۱۰، موقعیت برخان‌های مورد نظر نسبت به پیکه‌های کار گذاشته شده، مشخص گردید و میزان جابه‌جایی آنها در بازه زمانی یک ساله در عرصه مطالعاتی، مستقیماً اندازه‌گیری شد (شکل ۵).

¹ - Hesse (2008)

جدول (۲) مشخصات گروه بندی برخان‌ها به پنج گروه کلیدی بر اساس مؤلفه ارتفاع

					برخان
۱	۲	۳	۴	۵	شماره گروه
کمتر از ۳ متر	۳ تا ۶ متر	۶ تا ۹ متر	۹ تا ۱۲ متر	بیشتر از ۱۲ متر	دامنه ارتفاعی
۳	۳	۳	۳	۳	نمونه



شکل (۵) میزان جابه‌جایی برخان و نحوه اندازه‌گیری آن

روابط رگرسیون ساده، روابطی با ارزش رجحانی بالاتر انتخاب گردید. به طوری که در این روش، بهترین ارتباطات از توابع خطی، توانی و نمایی پیروی می‌کند. بنابراین، در قسمت نتایج فقط به ذکر این روابط اکتفا شده است و در نهایت، برای شناسایی نوع رابطه و میزان تأثیر آنها ضریب همبستگی، ضریب تعیین، ضریب تعیین تعدیل شده، انحراف معیار برآورد و سطح معنی‌داری روابط نیز ارایه شده و بهترین روابط با ارجحیت بالا گزارش شده است.

پس از تعیین میزان جابه‌جایی سالانه برخان‌های مطالعاتی برای شناسایی نوع روابط و میزان تأثیر پارامترهای مورفومتری بر میزان جابه‌جایی، مبادرت به رابطه سنجی بین این مؤلفه‌ها گردید. این روش، به کمک نرم افزار SPSS و با استفاده از تکنیک آنالیز رگرسیون انجام شد. برای این منظور، ابتدا روش‌های رگرسیون ساده خطی و غیر خطی آزموده شد. در روش رگرسیون ساده، روابط گوناگون خطی، توانی، لگاریتمی، مکعبی، نمایی و غیره بین مؤلفه‌های گوناگون محاسبه و از بین

جدول (۳) مشخصات آماری مؤلفه‌های مورفومتریک و مورفودینامیک برخان‌های منطقه مطالعاتی

مؤلفه	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی
ارتفاع*	۱۶۷۰	۱/۲۰	۱۷/۹۰	۵/۸۰۲	۳/۷۶۸	۱/۲۴۴
عرض*	۱۵۹/۳۰	۶/۳۰	۱۶۵/۶۰	۶۰/۱۰۷	۳۷/۹۳۰	۰/۹۶۶
طول*	۲۸۸/۸۰	۱۹/۵۰	۳۰۷/۸۵	۹۴/۶۷۰	۶۵/۱۴۱	۱/۱۳۴
محیط*	۲/۹۹E۴	۸۱/۲۰	۳۰۸۲۴/۵۱	۵/۰۸۱۳E۳	۵۹۰۷/۲۱۵	۲/۱۲۱
مساحت*	۹/۲۵E۴	۷۵/۱۵	۱۰۳۸/۱۵	۳/۲۷۲۵E۳	۲۰۶/۵۷۱	۱/۲۴۳
حجم*	۶/۴۴E۴	۷/۹۴	۶۴۳۷۹/۳۰	۷/۸۵۲۴E۳	۱۲۸۰۸/۶۰۳	۲/۵۳۹
جابجایی*	۱۴/۵۰	۲/۳۰	۱۶/۸۰	۹/۹۴۶	۳/۷۵	-۰/۱۴۳

* واحد ارتفاع، طول، عرض محیط و جابجایی به متر، واحد مساحت به متر مربع و واحد حجم به متر مکعب است

بحث و نتایج

امتداد آنها جهت باد را نشان می‌دهند، نمایان می‌گردد. لبه تیز برخان، آن را به دو دامنه تقسیم می‌کند: یکی دامنه رو به باد و دیگری دامنه باد پناه، که ریزش‌ها و بهمن‌های ماسه‌ای در دامنه باد پناه بر اثر شیب زیاد دامنه و دخالت نیروی جاذبه اتفاق می‌افتد. به علت وجود لایه‌های جریان هوا در طول خط الرأس، سلول بزرگی از جریان باد در پای دامنه باد پناه تشکیل شده و سرعت باد به طور شگرفی در این ناحیه کاهش می‌یابد. بنابراین، ورودی ماسه تقریباً از خط الرأس به طرف دامنه باد پناه کاهش می‌یابد. این، در حالی است که تپه برخانی، به عنوان یک تله ماسه‌ای شناخته شده است. اگر ارتفاع تپه به حد بحرانی برسد، بر روی دامنه باد پناه تپه ریزش‌های ماسه‌ای اتفاق می‌افتد و دانه‌ها بر اثر نیروی جاذبه به طرف پایین دامنه جابه‌جا می‌شوند. به عبارت دیگر، دانه‌های ماسه به وسیله نیروی باد از شیب متعادل و ملایم دامنه باد پناه تا خط الرأس به شکل دانه به دانه و حالات جهشی و غلتان بالا رفته، سپس بر اثر نیروی

تپه‌های ماسه‌ای از کنش متقابل جریان باد و بستر ماسه نشأت می‌گیرند. بر اساس ویژگی‌های باد و قابلیت دسترسی به ماسه، آنها می‌توانند به اشکال متفاوتی درآیند. گستره‌ای از تپه‌های ستاره‌ای شکل بزرگ و کم تحرک تا تپه‌های برخانی پرتحرک و کوچک. نوع دوم، هلالی شکل هستند و تحت بادهای مستقیم و با منبع ماسه‌ای کم و اندک پدیدار می‌شوند. برخان، به موجب شکل هلالی و هواگرد، خود منجر به انحراف جریان باد منجر می‌شود که این جریان ممکن است از ماسه اشباع شده و یا اشباع نشده باشد. به طور کلی، برخان شکل هلالی خود را از فرآیندهای غیر خطی به دست می‌آورد (هرسن^۱، ۲۰۰۴، ۵۰۷).

نمای جانبی برخان، یک ساختار آیرودینامیکی نسبتاً هموار و هواگرد، را نشان می‌دهد، اما وقتی از بالا به برخان نگریسته شود، به شکل هلالی با دو بازویی که

¹ - Hersen (2004)

اقليمی منطقه و موانع طبیعی و انسانی موجود در سر راه آن است.

تغییرات در جهت باد و برخورد برخان‌ها با یکدیگر، سبب ناپایداری در اندازه و شکل آنها می‌شود. برخان‌های کوچکتر عموماً به دلیل حرکت سریعتر با برخان‌های بزرگتر برخورد کرده، یا بر روی آنها سوار می‌شوند. این عامل سبب ناپایداری در سیستم برخان‌ها شده، به دنبال آن جریان‌های رسوبی بین برخان‌ها تغییر می‌کند و در نهایت مکانیسم برداشت سطحی ماسه بر دیگر فرآیندهای بادی غلبه کرده، موجب پخش دوباره رسوبات بادی و یا ایجاد یک برخان جدید می‌گردد (دانیل و هوگر^۱، ۲۰۰۷: ۶۴۰).

جابه‌جایی و تحرکات تپه‌های ماسه‌ای، خصوصاً برخان‌ها، یکی از خطرات ژئومورفولوژیک بالقوه‌ای به شمار می‌رود که ممکن است مناطق سکونتگاهی و تاسیسات زیربنایی و شریان‌های ارتباطی مناطق بیابانی را تهدید کند و معضلی برای این زیرساخت‌های بنیادی محسوب گردد. میزان جابه‌جایی تپه‌های برخانی، بر اساس الگوهای، زمانی و مکانی، متفاوت و گوناگون است. این الگوها بینش جدیدی در رابطه با مورفودینامیک برخان‌ها روشن می‌سازند.

به منظور تعیین نوع و شدت ارتباط بین مؤلفه‌های مورفودینامیک و مورفومتری برخان، انواع روش‌های رگرسیون ساده خطی و غیر خطی و رگرسیون چند متغیره آزموده و از بین روابط رگرسیونی، روابطی با

جاذبه به پایین دامنه باد پناه سقوط می‌کنند. این، در حالی صورت می‌گیرد که میزان شیب محلی دامنه باد پناه باید از یک ارزش بحرانی فراتر رود و نیروی جاذبه قادر باشد بر نیروی حاصل از وزن و ثبات دانه غلبه کند. در مجموع، این عمل باعث تحرک و جابه‌جایی تپه می‌گردد. ساختار سه بعدی برخان همراه با تحرکات جانبی، ضمن حفظ شکل هلالی و افزایش حجم و اندازه حاکی از نوعی جریان متناوب ماده و انرژی است که در بردارنده نوعی روند و جریان انتقال ماده و انرژی درون سیستم برخان است.

پویایی تپه‌های ماسه‌ای، تابعی است از جریان باد، مورفولوژی تپه، انتقال رسوبات بادی و تعاملاتی که بین آنها صورت می‌گیرد. تغییرات زمانی و مکانی در میزان انتقال ماسه توسط باد، یک عمل کنترل کننده بنیادی برای مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای محسوب می‌شود (لنکاستر^۱، ۱۹۹۴: ۴۸۳). جابه‌جایی تپه‌های برخانی، از طریق عمل فرسایش تخریبی در دامنه رو به باد و رسوب‌گذاری همزمان در دامنه باد پناه اتفاق می‌افتد (آل‌هارتی^۲، ۲۰۰۲: ۳۶۱). مهمترین عواملی که در میزان انتقال ماسه و مقدار جابه‌جایی برخان‌ها نقش عمده و اساسی دارند، عبارتند از: سرعت و شدت برشی باد، خصوصیات ذرات ماسه، میزان رطوبت، درصد و نوع پوشش گیاهی و ناهمواری‌های سطح زمین (هس و سیمپسون^۳، ۲۰۰۶: ۲۸۶). به طور کلی، میزان سرعت و جابه‌جایی تپه‌های برخانی تابعی از مورفولوژی سه بعدی برخان، عناصر

1 - Lancaster (1994)

2 - Al-Harhi (2002)

3 - Hesse & Simpson (2006)

(۴) و (۵) ارایه شده است. خلاصه مدل‌های به‌دست آمده از تحلیل‌های آماری بین مؤلفه‌های مورفودینامیک و مورفومتری برخان‌های محدوده مطالعاتی به شرح جدول (۴) است که در آن ضریب همبستگی، ضریب تعیین، ضریب تعیین تعدیل شده و انحراف معیار برآورد، محاسبه و ارایه شده است.

ارزش رجحانی بالاتر انتخاب گردید: به طوری که در این پژوهش، بهترین روابط از توابع ساده خطی، توانی و نمایی پیروی می‌کند. بنابراین، در این پژوهش فقط به ذکر روابط ساده خطی، نمایی و توانی اکتفا شده است. نتایج حاصل از بررسی ارتباطات و مدل سازی آماری که به روش آنالیز رگرسیون صورت گرفته، در جداول

جدول شماره (۴) نتایج حاصل از روابط رگرسیونی بین مؤلفه‌های مورفومتری و میزان جابجایی برخان‌های محدوده مطالعاتی

مؤلفه	نوع رابطه	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R ^۲)	ضریب تعیین تعدیل شده (Adjusted R Square)	انحراف معیار برآورد (Std. Error of the Estimation)	سطح معنی داری (Sig)
جابجایی و ارتفاع	خطی	۰/۹۰۳	۰/۸۱۶	۰/۸۱۳	۱/۶۲۱	۰/۰۰۰
	توانی	۰/۹۲۱	۰/۸۴۸	۰/۸۴۵	۰/۱۷۸	۰/۰۰۰
	نمایی	۰/۹۵۶	۰/۹۱۵	۰/۹۱۳	۰/۱۳۳	۰/۰۰۰
جابجایی و عرض	خطی	۰/۸۵۴	۰/۷۳۰	۰/۷۲۴	۱/۹۶۷	۰/۰۰۰
	توانی	۰/۸۲۲	۰/۶۷۶	۰/۶۶۹	۰/۲۶۱	۰/۰۰۰
	نمایی	۰/۸۵۳	۰/۷۲۹	۰/۷۲۳	۰/۲۳۸	۰/۰۰۰
جابجایی و طول	خطی	۰/۸۷۸	۰/۷۷۱	۰/۷۶۶	۱/۸۱۲	۰/۰۰۰
	توانی	۰/۸۶۷	۰/۷۵۱	۰/۷۴۶	۰/۲۲۸	۰/۰۰۰
	نمایی	۰/۹۳۲	۰/۸۶۹	۰/۸۶۶	۰/۱۶۵	۰/۰۰۰
جابجایی و محیط	خطی	۰/۸۹۷	۰/۸۰۴	۰/۸۰۰	۱/۶۷۳	۰/۰۰۰
	توانی	۰/۸۶۷	۰/۷۶۷	۰/۷۶۲	۰/۲۲۱	۰/۰۰۰
	نمایی	۰/۹۳۲	۰/۸۶۹	۰/۸۶۶	۰/۱۶۵	۰/۰۰۰
جابجایی و مساحت	خطی	۰/۸۲۵	۰/۶۸۲	۰/۶۷۵	۲/۱۳۵	۰/۰۰۰
	توانی	۰/۸۶۹	۰/۷۵۶	۰/۷۵۱	۰/۲۲۶	۰/۰۰۰
	نمایی	۰/۸۹۹	۰/۸۰۹	۰/۸۰۵	۰/۲۰۰	۰/۰۰۰
جابجایی و حجم	خطی	۰/۸۴۲	۰/۷۰۹	۰/۷۰۳	۲/۰۴۲	۰/۰۰۰
	توانی	۰/۸۷۵	۰/۷۶۶	۰/۷۹۲	۰/۲۲۱	۰/۰۰۰
	نمایی	۰/۹۱۵	۰/۸۳۸	۰/۸۳۵	۰/۱۸۴	۰/۰۰۰

روابط نمایی با حداکثر ضریب تعیین است، به طوری که روابط نمایی، بیشترین مقدار ضریب تعیین و کمترین

ارتباطات به‌دست آمده از روابط بین میزان جابه‌جایی و مؤلفه‌های مورفومتری برخان، حاکی از تبعیت ارتباط از

وسیله مؤلفه ارتفاع در قالب رابطه‌ی نمایی توجیه می‌گردد، در حالی که ۸/۵ درصد باقی مانده سهم دیگر متغیرهاست. وجود ارتباطات بین میزان جابه‌جایی با سایر مؤلفه‌های مورفومتری برخان نیز به شرح جدول (۴) است.

مقدار انحراف معیار برآورد را دارا هستند. ارتباطات حاصل از رابطه‌ی سنجی بین میزان جابه‌جایی با مؤلفه‌های مورفومتری برخان، حاکی از حداکثر ارتباط معنی دار نمایی میزان جابه‌جایی با مؤلفه ارتفاع با ضریب تعیین ۰/۹۱۵ و انحراف معیار برآورد ۰/۱۳۳ است؛ بدین معنی که ۹۱/۵ درصد تغییرات میزان جابه‌جایی برخان، به

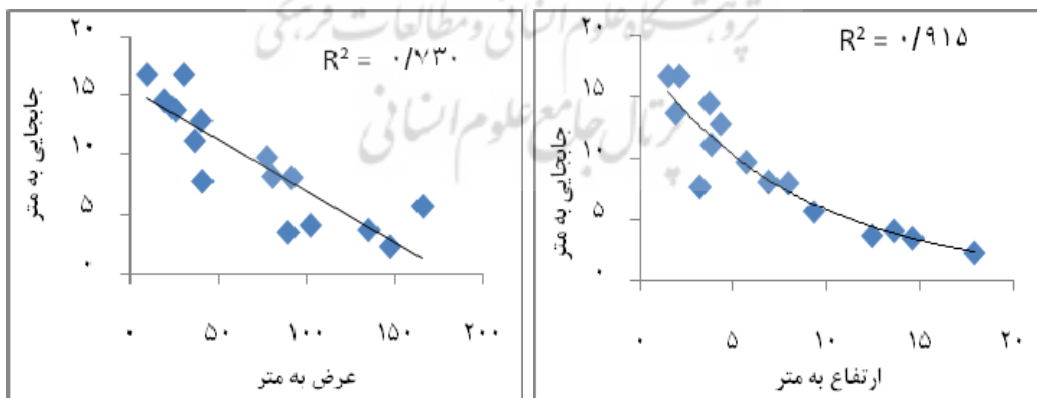
جدول (۵) ضرایب روابط و معادلات موجود بین مؤلفه‌های مورفومتری و میزان جابه‌جایی برخان‌های منطقه مطالعاتی

مؤلفه	نوع رابطه	پارامترهای معادله	ضرایب معادله	انحراف معیار	مقدار t	سطح معنی دار	معادلات*
جابه‌جایی و ارتفاع	خطی	عرض از مبدا	۱۵/۱۶۵	۰/۴۱۵	۳۶/۴۹۵	۰/۰۰۰	$+ ۱۵/۱۶۵$
		شیب خط	-۰/۸۹۹	۰/۰۶۰	-۱۴/۹۳۴	۰/۰۰۰	$D = -۰/۸۹۹H$
	توانی	مقدار ثابت	۲۶/۱۶۸	۱/۷۷۱	۱۴/۷۷۵	۰/۰۰۰	$H^{-۰/۷۷۳}$
		توان	-۰/۶۷۳	۰/۰۴۰	-۱۶/۷۴۷	۰/۰۰۰	$D = ۲۶/۱۶۸$
	نمایی	مقدار ثابت	۱۷/۷۸۶	۰/۶۰۸	۲۹/۲۴۲	۰/۰۰۰	$e^{-۰/۱۱۵H}$
		توان	-۰/۱۱۵	۰/۰۰۴	-۲۳/۲۶۰	۰/۰۰۰	$D = ۱۷/۷۸۶$
جابه‌جایی و عرض	خطی	عرض از مبدا	۱۵/۰۲۵	۰/۵۱۴	۲۹/۱۸۲	۰/۰۰۰	$+ ۱۵/۰۲۵$
		شیب خط	-۰/۰۸۴	۰/۰۰۷	-۱۱/۶۳۲	۰/۰۰۰	$D = -۰/۰۸۴W$
	توانی	مقدار ثابت	۷۷/۴۶۰	۱۶/۴۶۸	۴/۷۰۴	۰/۰۰۰	$W^{-۰/۰۵۵}$
		توان	-۰/۵۵۰	۰/۰۵۳	-۱۰/۲۱۶	۰/۰۰۰	$D = ۷۷/۴۶$
	نمایی	مقدار ثابت	۱۶/۸۴۳	۱/۰۵۲	۱۶/۰۰۶	۰/۰۰۰	$e^{-۰/۰۱W}$
		توان	-۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	-۱۱/۵۹۸	۰/۰۰۰	$D = ۱۶/۸۴۳$
جابه‌جایی و طول	خطی	عرض از مبدا	۱۴/۷۳۲	۰/۴۴۶	۳۳/۰۰۳	۰/۰۰۰	$+ ۱۴/۷۳۲$
		شیب خط	-۰/۰۵۰	۰/۰۰۳	-۱۲/۹۷۵	۰/۰۰۰	$D = -۰/۰۵L$
	توانی	مقدار ثابت	۱۰۵/۵۳۳	۲۱/۲۷۲	۴/۹۶۱	۰/۰۰۰	$۱۰۵/۵۳۳ L^{-۰/۰۶۶}$
		توان	-۰/۵۶۶	۰/۰۴۶	-۱۲/۳۰۵	۰/۰۰۰	$D =$
	نمایی	مقدار ثابت	۱۶/۸۵۸	۰/۶۸۸	۲۴/۴۹۷	۰/۰۰۰	$e^{-۰/۰۰۶L}$
		توان	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۰	-۱۸/۲۴۳	۰/۰۰۰	$D = ۱۶/۸۵۸$
جابه‌جایی و محیط	خطی	عرض از مبدا	۱۵/۱۶۰	۰/۴۳۰	۳۵/۱۸۵	۰/۰۰۰	$+ ۱۵/۱۶$
		شیب خط	-۰/۰۱۶	۰/۰۰۱	-۱۴/۳۶۲	۰/۰۰۰	$D = -۰/۰۱۶P$

P ^{-۰/۰۵۹۸} D=۲۵۴/۴۱۸	۰/۰۰۰	۳/۸۳۲	۶۶/۳۸۴	۲۵۴/۴۱۸	مقدار ثابت	توانی	جابجایی و مساحت	
	۰/۰۰۰	-۱۲/۸۴۹	۰/۰۴۶	-۰/۵۹۸	توان			
e ^{-۰/۰۰۲P} D=۱۷/۵۵۹	۰/۰۰۰	۲۳/۴۱۴	۰/۷۴۹	۱۷/۵۵۹	مقدار ثابت	نمایی		
	۰/۰۰۰	-۱۸/۲۳۲	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۲	توان			
+ ۱۲/۵۱۳ -۰/۰۰۰۵۲۲A D=	۰/۰۰۰	۳۲/۴۰۳	۰/۳۸۶	۱۲/۵۱۳	عرض از مبدا	خطی		
	۰/۰۰۰	-۱۰/۳۵۹	۰/۰۳۷	-۰/۰۰۰۵۲۲	شیب خط			
۹۰/۴۱۱ A ^{-۰/۲۹۶} D=	۰/۰۰۰	۵/۳۵۴	۱۶/۸۸۷	۹۰/۴۱۱	مقدار ثابت	توانی		
	۰/۰۰۰	-۱۲/۴۶۳	۰/۰۲۳	-۰/۲۹۶	توان			
e ^{-۷/۸۸۱ A} D=۱۲/۷۸۱	۰/۰۰۰	۲۷/۵۹۰	۰/۴۶۳	۱۲/۷۸۱	مقدار ثابت	نمایی		
	۰/۰۰۰	-۱۴/۵۵۳	۴/۷۲۸	-۶/۸۸۱	توان			
+ ۱۲/۵۶۹ -۰/۰۰۰۳۴۳V D=	۰/۰۰۰	۳۴/۰۱۳	۰/۳۶۹	۱۲/۵۶۹	عرض از مبدا	خطی		جابجایی و مساحت
	۰/۰۰۰	-۱۱/۰۴۸	۳/۱۰۱	-۰/۰۰۰۳۴۳	شیب خط			
V ^{-۰/۲۹۲} D=۹۹/۷۲۱	۰/۰۰۰	۵/۲۹۰	۱۸/۸۵۱	۹۹/۷۲۱	مقدار ثابت	توانی		
	۰/۰۰۰	-۱۲/۸۲۸	۰/۰۲۲	-۰/۲۹۲	توان			
e ^{-۴/۵۱۱ V} D=۱۲/۸۶۹	۰/۰۰۰	۳۰/۰۱۹	۰/۴۲۸	۱۲/۸۶۹	مقدار ثابت	نمایی		
	۰/۰۰۰	-۱۶/۱۳۸	۲/۷۹۵	-۴/۵۱۱	توان			

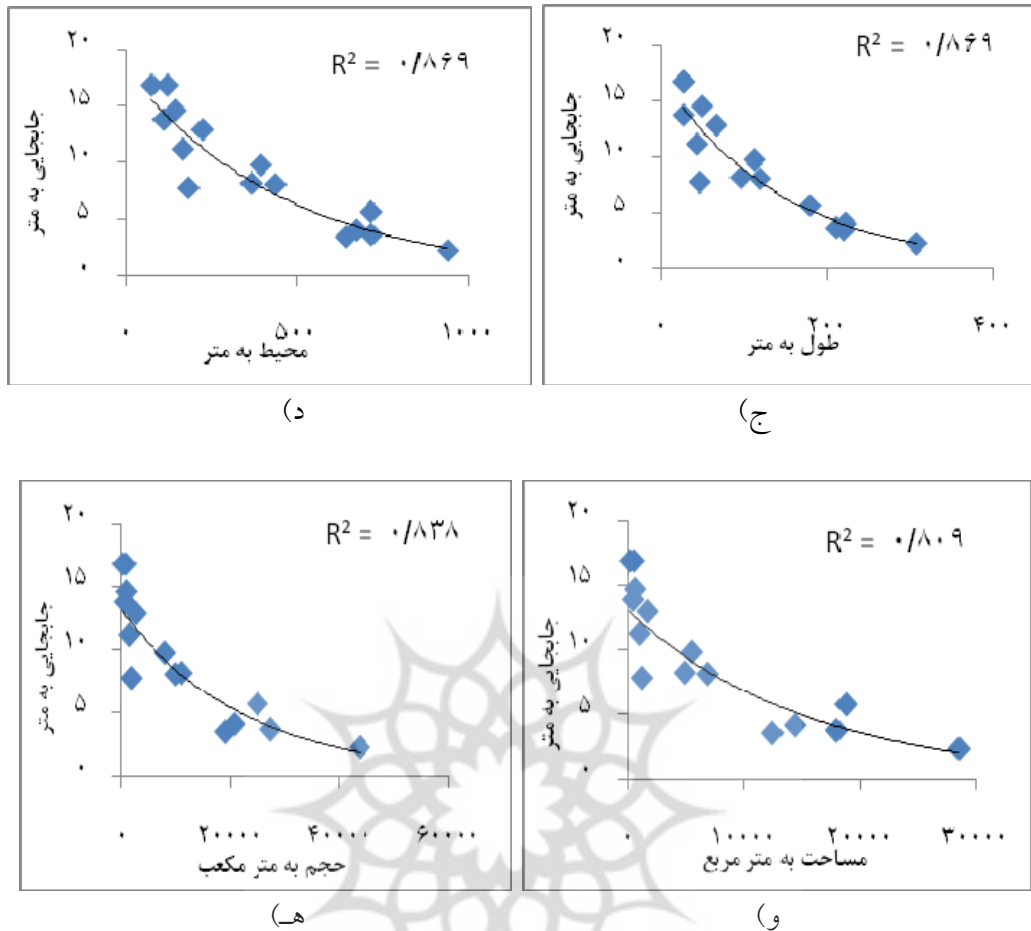
* مشخصات علائم اختصاری؛ D: میزان جابجایی یک ساله به متر؛ W: عرض به متر؛ L: طول به متر؛ H: ارتفاع به متر؛ A:

مساحت به متر مربع؛ P: محیط به متر، V: حجم به متر مکعب و e: عدد نپر و برابر ۲/۷۱ است.



(ب)

(الف)



شکل (۶) روابط بین میزان جابه‌جایی و مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های منطقه مطالعاتی: الف) رابطه معکوس نمایی بین میزان جابه‌جایی و ارتفاع؛ ب) رابطه معکوس خطی بین میزان جابه‌جایی و عرض؛ ج) رابطه معکوس نمایی بین میزان جابه‌جایی و طول؛ د) رابطه معکوس نمایی بین میزان جابه‌جایی و محیط؛ و) رابطه معکوس نمایی بین میزان جابه‌جایی و مساحت؛ ه) رابطه معکوس نمایی بین میزان جابه‌جایی و حجم برخان

بر اساس ارزش رجحانی فاکتورهای سنجی دقت مدل
ارایه گردیده است.

رابطه (۴) برآورد میزان جابه‌جایی برخان بر اساس
ارتفاع: $D = 17/786 e^{-0/115H}$

رابطه (۵) برآورد میزان جابه‌جایی برخان با استفاده از
عرض: $D = -0/084 W + 15/025$

رابطه (۶) برآورد میزان جابه‌جایی برخان از طریق طول:
 $D = 16/858 e^{-0/006L}$

از مقایسه نتایج آنالیز رگرسیون خطی و غیر خطی
بین مشخصه مورفودینامیک و خصوصیات مورفومتری
برخان و روابط جدول (۵)، بهترین روابط برای مدل
سازی آماری میزان جابه‌جایی سالیانه برخان‌های محدوده
مطالعاتی به شرح روابط زیر است: در ابتدا بین
پارامترهای مشترک، مناسبترین مدل بر اساس ضریب
تعیین، مشخص شده و سپس از بین آنها، بهترین روابط

آنها توسط برنامه ریزان محیطی و مدیریت محیط مورد توجه قرار گرفته، از طریق اقدامات لازم کنترل شود و یا حتی المقدور از ساختن تأسیسات در مسیر حرکت آنها جلوگیری شود.

روابط بین میزان جابه‌جایی و مشخصه‌های مورفومتری برخان در محدوده مطالعاتی، یک ارتباط معکوس معنی دار خطی، توانی و نمایی را نشان می‌دهد، و میزان سرعتشان به اندازه و مورفولوژی سه بعدی آنها بستگی دارد؛ بدین معنی که برای بادهایی با سرعت و شدت مشابه، میزان و سرعت جابه‌جایی برخان‌ها با مورفولوژی سه بعدی آنها رابطه عکس دارد و هر چه ارتفاع و حجم برخان کوچکتر باشد، در مقابل، برخان‌های بزرگتر از سرعت سالیانه بیشتری برخوردار است. اندازه بزرگتر تپه، مقدار بیشتری از ماسه را شامل می‌شود، بنابراین، حجم زیاد رسوبات باعث کندی سرعت می‌گردد. در نتیجه، در شرایط برابر، برخانی که از اندازه کوچکتر و حجم کمتری برخوردار است، سریعتر جابه‌جا می‌شود.

در این پژوهش، برای محاسبه میزان جابه‌جایی برخان‌های محدوده مطالعاتی، روابطی ارائه شده است که با استفاده از این مدل‌ها می‌توان از طریق پارامترهای مورفومتری برخان جابه‌جایی میزان جابه‌جایی سالیانه آنها را به سادگی محاسبه نمود. این روابط برای منطقه مورد مطالعه با تغییرات غیر معنی دار خصوصیات محیطی با سال نمونه برداری کارایی دارد و در صورت تغییرات معنی دار در خصوصیات محیطی منطقه مطالعاتی، باید روابط و معادلات جدیدی برای تعیین میزان جابه‌جایی آنها طراحی گردد.

رابطه (۷) برآورد میزان جابه‌جایی برخان با استفاده از محیط:

$$D=17/559 e^{-0/002 P}$$

رابطه (۸) برآورد میزان جابه‌جایی برخان از طریق مساحت:

$$D=12/781 e^{-6/881 A}$$

رابطه (۹) برآورد میزان جابه‌جایی برخان بر اساس حجم:

$$D=12/869 e^{-4/511 V}$$

در این روابط D: میزان جابه‌جایی یک ساله به متر؛ W: عرض به متر؛ L: طول به متر؛ H: ارتفاع به متر؛ A: مساحت به متر مربع؛ P: محیط به متر، V: حجم به متر مکعب و e: عدد نپر و برابر ۲/۷۱ است.

با مقایسه نتایج جدول (۵) و روابط (۴) تا (۹) برای محاسبه میزان جابه‌جایی سالیانه برخان‌های محدوده مطالعاتی بر اساس مشخصه‌های مورفومتری برخان، معادلات (۴)، (۶) و (۷) به ترتیب اهمیت، به علت دارا بودن حداکثر ضریب تعیین نسبت به دیگر روابط ارجحیت ارزشی دارند و مناسبترین مدل‌های برآورد میزان جابه‌جایی سالیانه برخان‌های محدوده مطالعاتی هستند.

نتیجه‌گیری

تعامل بین فرایندهای اقلیمی، موانع سطح زمین و نوع و جنس رسوبات، سبب ایجاد تپه‌های برخانی در منطقه مطالعاتی شده است. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که این عوارض متحرک می‌توانند سالیانه تا ۲۰ متر جابجا شوند. با توجه به جهت باد غالب در منطقه - که شرقی و شمال شرقی است - روند حرکت آنها در جهت غرب و جنوب غرب می‌باشد. این تپه‌ها به علت تحرک و پویایی خود یکی از مهمترین خطرهای محیطی تهدید کننده برای سازه‌های انسانی منطقه، خصوصاً معضل بیابانزایی به شمار می‌روند. بنابراین، باید مسأله مربوط به تحرک

منابع

- 11- Forman, S.L., Pierson, J, (2003), Formation of linear and parabolic dunes on the eastern Snake River Plain, Idaho in the nineteenth century. *Geomorphology* 56: 189–200.
- 12- Gay, S.P, (1999), Observations regarding the movement of barchan sand dunes in the Nazca to Tanaca area of southern Peru. *Geomorphology* 27: 279–293.
- 13- Herrmann, H.J., Sauerman, G, (2000), The shape of dunes. *Physical A* 283: 24–30.
- 14- Hersen, P, (2004), On the crescentic shape of barchan dunes. *The European Physical Journal B* 37: 507–514.
- 15- Hesp, P., Hastings, K, (1998), Width, height and slope relationships and aerodynamic maintenance of barchans. *Geomorphology* 22: 193–204.
- 16- 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.
- 17- Hesse, P.P., Simpson, R.L, (2006), Variable vegetation cover and episodic sand movment on longitudinal desert sand dunes, *Geomorphology* 81: 276–291.
- 18- Howard, A.D., Morton, J.B., Gad-El-H& M., Pierce, D.B, (1978), Sand transport model of barchan dune equilibrium. *Sedimentology* 25: 307-338.
- 19- Hugenholtz, C.H., et al, (2008), Spatial and temporal patterns of aeolian sediment transport on an inland parabolic dune, Bigstick Sand Hills, Saskatchewan, Canada, *Geomorphology* 77: 1-13.
- 20- Lancaster, N, (1994), Dune morphology and dynamics. In: Abrahams, Parsons _Eds., *Geomorphology of Desert Environments*. Chapman & Hall, London, pp. 474–505.
- 21- Sauermann, G., Rognon, P., Poliakov, A., Herrmann, H.J, (2000), The shape of the barchan dunes of Southern Morocco. *Geomorphology* 36: 47–62.
- ۱- احمدی، حسن، (۱۳۸۷)، ژئومورفولوژی کاربردی (بیابان- فرسایش بادی)، جلد دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.
- ۲- رفاهی، حسینقلی، (۱۳۸۳)، فرسایش بادی و کنترل آن، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.
- ۳- محمودی، فرج الله، (۱۳۸۳)، ژئومورفولوژی اقلیمی، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ سوم.
- ۴- نگارش، حسین؛ لطیفی، لیلا؛ (۱۳۸۷)، تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشکسالی‌های اخیر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، صص ۶۰-۴۳.
- 5- Al-Harhi. A, A, (2002), Geohazard assessment of sand dunes between Jeddah and Al-Lith, western Saudi Arabia, *Environmental Geology* 42: 360-369.
- 6- Anthonsen, K.L., Clemmensen, L.B., Jensen, J.H, (1996), Evolution of a dune from crescentic to parabolic form in response to short-term climatic changes — Rabjerg- Mile, Skagen-Odde, Denmark. *Geomorphology* 17: 63–77.
- 7- Anton, D., Vincent, P, (1986), Parabolic dunes of the Jafurah Desert, Eastern Province, Saudi Arabia. *Journal of Arid Environments* 11: 187–198.
- 8- Bagnold, R.A, (1941), *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen, London.
- 9- Daniell, J., Hughes, M, (2007), The morphology of barchan-shaped sand banks from western Torres Strait, northern Australia, *Sedimentary Geology* 202: 638-652.
- 10- Finkel, H.J, (1959), The barchans of southern Peru. *Journal of Geology* 67: 614–647.

- 22- Sauermann, G., Andrade, J. S., Maia, L. P., Costa, U. M. S., Araujo, A. D., Herrmann, H.J, (2003), Wind velocity and sand transport on a barchan dune. *Geomorphology* 54: 245 – 255.
- 23- Wippermann, F.K., Gross, G, (1986), The wind-induced shaping and migration of an isolated dune: A numerical experiment. *Boundary-Layer Meteorol.* 36: 319–334.

