

## پایش جابجایی ریگ و برخان‌های غرب لوت (پشوئیه)

مهران مقصودی\* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.  
ابوطالب محمدی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.  
زهرا خانباغی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.  
صدیقه محبوبی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.  
مهدی بهاروند - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.  
عبدالحسین حاجی‌زاده - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۱۱/۰۹

### چکیده

مهم‌ترین ویژگی تپه‌های ماسه‌ای، پویایی و حرکت جانبی آن‌ها است که بخشی از آن‌ها کانون های بحران و تهدیدکننده حریم مراکز مسکونی، شهری، روستایی، اقتصادی، نظامی و شریان‌های ارتباطی هستند. در منطقه مورد مطالعه که در روستای پشوئیه از توابع بخش شهداد، در شرق شهر کرمان و در بیابانی در ضلع غربی گسل نایبند قرار گرفته است، ریگی نسبتاً متحرک و تعدادی برخان منفرد قرار دارد که در حدفاصل آن‌ها بر اثر سیلاب در دوره‌های مختلف سله‌هایی بسته شده و ریگ و برخان‌ها نسبت به آن‌ها در حال حرکت و جابجایی‌اند. در این تحقیق با استفاده از این سله‌ها و مقایسه آن‌ها با عکس‌های هوایی سال‌های مختلف، میزان حرکت ریگ و برخان‌ها نسبت به سله‌ها اندازه‌گیری و مقایسه شده است. با استفاده از عکس‌های هوایی (مقیاس ۱:۵۵۰۰۰، سال ۱۳۳۴، مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۸ و مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ سال ۱۳۷۴) و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت مربوط به سال ۲۰۰۵، میزان جابجایی ریگ و برخان‌ها، با در نظر گرفتن شاخص سله و نیز با بررسی گلبادهای منطقه در دوره‌های زمانی مختلف، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. از این پژوهش نتیجه حاصل گردید که ریگ مورد نظر به سمت جنوب و جنوب شرق در حال جابجایی است و بر اساس مطالعات میدانی به عمل آمده میزان حرکت برخان دوم ۹۶ متر و برخان اول ۱۳۵ متر محاسبه شد. نتایج حاصل از مطالعه‌ی زمان ایجاد سله و میزان جابجایی برخان‌ها نسبت به آن، یافته‌های فوق را تأیید کرده است. ضمناً نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سله‌های ناشی از سیلاب‌ها در منطقه به‌غیر از محاسبه میزان حرکت ما سه می‌توانند زمان ایجاد سیل در منطقه را نیز مشخص نمایند که با توجه به جابجایی سالانه برخان‌های منطقه، سال بارش و سیلابی شدن منطقه، مربوط به سال ۱۹۹۴ می‌باشد.

واژگان کلیدی: برخان، سله، پشوئیه، ریگ، بیابان لوت، شاخص باد.

## مقدمه

۳۶در صد سطح کره زمین به صورت دشت‌های بی‌آب و مناطق خشک و نیمه‌خشک و ۱۹در صد از این سطوح کاملاً خشک و فاقد زندگی گیاهی است که از این مقدار یک‌چهارم تا یک سوم با ماسه متحرک پوشانده شده است (وارن و کوک<sup>۱</sup>، ۱۹۷۳). یکی از انواع مخاطرات طبیعی که هر ساله سبب وارد آمدن خسارات زیادی به ویژه در مناطق خشک و بیابانی دنیا می‌شود، طوفان‌های ماسه‌ای و حرکت ماسه‌های روان در نتیجه جابجایی و حرکت ریگ‌زارهاست (امیدوار، ۱۳۸۵). پدیده فرسایش بادی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک عمل می‌کند و با توجه به این که دو سوم از سطح ایران در این اقلیم‌ها قرار گرفته است (احمدی، ۱۳۹۱) فرسایش بادی به‌عنوان عامل مؤثر در تخریب و ایجاد خسارت در این مناطق می‌باشد. مهم‌ترین ویژگی‌های تپه‌های ماسه‌ای، پویایی و تحرکات جانبی آن‌ها است که بخشی از آن‌ها کانون‌های بحران و تهدیدکننده حریم مراکز مسکونی شهری و روستایی، مراکز اقتصادی، نظامی و شریان‌های ارتباطی هستند. تپه‌های ماسه‌ای از کنش متقابل جریان باد و بستر ماسه نشئت می‌گیرند. بر اساس ویژگی‌های باد و قابلیت دسترسی به ماسه، آن‌ها می‌توانند به اشکال متفاوتی درآیند (هرسن<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴).

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد ۱۴ استان کشور تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند که استان کرمان دارای شرایط حادثه‌تری در این زمینه است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱). در ایران بیش از ۲۰ ریگ نسبتاً بزرگ و همچنین ریگ‌های کوچک متعددی با مساحت تقریبی ۳۶۰۰۰ کیلومتر مربع وجود دارد (محمودی، ۱۳۷۰).

ریگ‌های مناطق مذکور، به‌ویژه ریگ‌های کوچک، دارای دینامیک پویا و فعالی هستند. ماسه‌های روان ناشی از حرکت این ریگ‌زارها هر ساله خسارات زیادی را به سکونتگاه‌های انسانی و تأسیسات مختلف که در حاشیه آن‌ها قرار دارند، وارد می‌نمایند. با توجه به فعال بودن سیستم شکل‌زایی بادی در این مناطق و همچنین با توجه به این که باد و لندفرم‌های حاصل از آن به‌صورت یک محدودیت جدی در توسعه جوامع انسانی این‌گونه مناطق مطرح می‌شوند، شناسایی چگونگی شکل‌گیری و تحول این لندفرم‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. همان‌طور که مشخص است سرعت باد در زمان‌های مختلف تغییر می‌یابد، به تبع آن باید میزان اثر باد بر روی ماسه‌ها و تغییر شکل آن‌ها نیز متفاوت باشد. از طرفی ماسه‌های بادی در مناطق خشک بسته به شرایط محیطی منطقه باعث ایجاد اشکال ژئومورفولوژیکی متفاوتی می‌گردند که یکی از این اشکال ژئومورفولوژیکی مهم برخان‌ها می‌باشند. برخان از بدنه‌ای هلالی شکل با شیب ملایم در جبهه رو به باد تشکیل شده و در دو انتهای هلال دو بازوی مشخص دارد که در امتداد باد کشیده شده‌اند (محمودی، ۱۳۶۸). پویایی برخان‌ها موجب می‌شود، سالانه مقادیر زیادی ماسه‌ی روان، اراضی کشاورزی، مراکز سکونت و شریان‌های ارتباطی را در کام خود فرو برده و سبب نابودی آن‌ها، مهاجرت روستاییان و خسارات اقتصادی فراوانی شود (رامشت و همکاران، ۱۳۹۲). تاکنون روش‌های متفاوتی برای بررسی و ثبت میزان حرکت تپه‌های ماسه‌ای و مخصوصاً برخان‌ها که از پرتحرک‌ترین تپه‌های ماسه‌ای هستند، انجام شده است. در این پژوهش سعی شده است تا روش جدیدی برای برآورد حرکت برخان‌ها استفاده شود. در منطقه مورد مطالعه که در روستای پشوتیه در شرق شهر کرمان و در بیابانی در ضلع غربی گسل نایبند قرار گرفته است، ریگی متحرک و تعدادی برخان منفرد قرار دارد که در حدفاصل آن‌ها بر اثر سیلاب در دوره‌های مختلف سله‌هایی بسته‌شده و ریگ و برخان‌ها نسبت به آن‌ها در حال حرکت و جابجایی‌اند. در این تحقیق بر آن شدیم تا با استفاده از این سله‌ها و مقایسه آن‌ها با عکس‌های هوایی سال‌های مختلف، میزان حرکت ریگ و برخان‌ها نسبت به سله‌ها اندازه‌گیری و مقایسه شود.

<sup>۱</sup> - Warren & Cooke

<sup>۲</sup> - Hersen

هرمان و سورمان<sup>۱)</sup> (۲۰۰۰) با مطالعه تپه‌های مراکش مدل‌هایی را برای تحرکات و پویایی سطح بستر آن‌ها ارائه داده‌اند که این مدل‌ها بر مبنای معادلات دیفرانسیل می‌توانند مراحل تشکیل و دگرگونی‌های تپه‌های ماسه‌ای را تشریح کنند. آل هارتی<sup>۲)</sup> (۲۰۰۲) ضمن مطالعه تپه‌های برخانی منطقه جده در غرب عربستان، در ارتباط با خطرهای محیطی جابجایی ماسه میزان سرعت و جهت حرکت این عارضه را 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. در مطالعات دانگ<sup>۳)</sup> و همکاران که پیشروی برخان‌های بیابان تکه‌مکان را مورد ارزیابی قرار دادند، میزان جابجایی ۷/۲۹ و ۵/۵۶ متر در سال به دست آمد و همچنین جهت جابجایی با جهت بادهای محلی همخوانی داشت که حدود ۷ متر در ثانیه بود. در مطالعه‌ای دیگر لیو<sup>۴)</sup> (۲۰۰۵) به بررسی روابط بین تپه‌های ماسه‌ای و پارامترهای مؤثر در حرکت آن‌ها پرداخته است. آن‌ها دریافتند که همبستگی‌های خطی مثبتی بین ارتفاع، پهنا و طول اکثر برخان‌ها و نرخ جابجایی آن‌ها وجود دارد و دریافتند در مواردی که باد متغیر باشد سرعت جابجایی برخان کم‌تر است. سورمان و همکاران (۲۰۰۰)، شکل برخان‌ها را در مراکش مورد بررسی قرار دادند و حرکت برخان‌ها را متناسب با سرعت باد و در رابطه معکوس با ارتفاع آن‌ها می‌دانند. سورمان (۲۰۰۰) و بله‌ایتی<sup>۵)</sup> (۲۰۱۱) دریافتند که سرعت جابجایی برخان به‌طور معکوس به اندازه برخان بستگی دارد، به‌طوری که برخان‌های کوچک سریع‌تر از برخان‌های بزرگ حرکت می‌کنند. جابجایی ماسه‌های بادی تحت تأثیر متغیرهای مختلفی است که در مکان‌های مختلف تأثیرات متغیری دارند که عمده‌ی آن‌ها عبارتند از توزیع اندازه دانه‌ها، رژیم بادی، پوشش گیاهی و رطوبت سطحی (لیو، ۲۰۰۵). بله‌ایتی و همکاران (۲۰۱۱) توازن و عدم توازن برخان‌ها و نحوه جابجایی آن‌ها را در صحرای مراکش بررسی کردند. در کل مطالعات انجام‌شده در مورد حرکت برخان‌ها، نرخ حرکت سالیانه ۵ تا ۶۰ متر در سال گزارش کرده‌اند (باروق<sup>۶)</sup>، ۲۰۱۲). الدابی و همکاران<sup>۷)</sup> (۱۹۹۸) با استفاده از تصاویر چند زمانه به بررسی و کنترل تغییرات تپه‌های ماسه‌ای شمال غرب کویت از نظر شکل و حرکت پرداخته‌اند. دانیل و هوگز<sup>۸)</sup> (۲۰۰۷) شکل شناسی برخان‌های استرالیا و ارتباط آن‌ها را با نوع رژیم فصلی باد منطقه بررسی و بیان داشتند که این تپه‌ها سالانه ۱۰ تا ۱۵ متر به سمت غرب جابجا می‌شوند. ابوالمجد<sup>۹)</sup> و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله‌ای حرکت تپه‌های ماسه‌ای و برخان‌ها را در جنوب غربی مصر با استفاده از GIS و سنجش‌ازدور بررسی نمودند. در این پژوهش ۱۴۹ تپه ماسه‌ای برخانی بررسی گردید و سرعت‌های متفاوتی را از ۱/۳ تا ۱۹/۳ my ثبت نمودند. زانگ<sup>۱۰)</sup> و همکاران (۲۰۱۴)، میانگین زمانی استقرار رسوب را در تپه‌های متحرک برخانی بررسی نمودند و به این نتیجه دست یافتند که برای بررسی‌های رسوبی در برخان‌ها، مناسب‌ترین قسمت، برش طولی مرکز آن‌ها است که بیشترین اطلاعات را درباره مورفودینامیک برخان‌ها به دست می‌دهد. بولگوبرا<sup>۱۱)</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی در ریگ مرکزی الجزایر که با مدل‌سازی توسط GIS انجام

<sup>۱)</sup> - Herrmann & Sauermann

<sup>۲)</sup> - Al Harti

<sup>۳)</sup> - Dong

<sup>۴)</sup> - Liu

<sup>۵)</sup> - Belrhiti

<sup>۶)</sup> - Burrough

<sup>۷)</sup> - Al-Dabi et al

<sup>۸)</sup> - Daniell & Hughes

<sup>۹)</sup> - Abou El-Magd

<sup>۱۰)</sup> - Zhang

<sup>۱۱)</sup> - Boulghobra

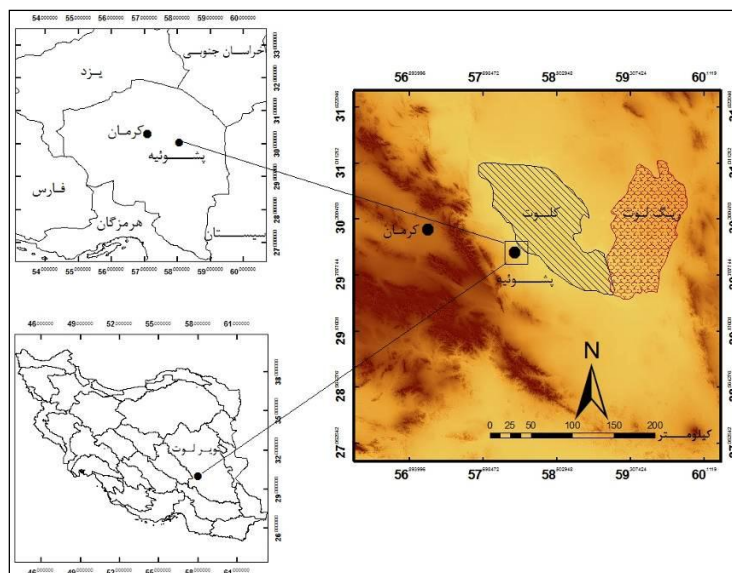
گرفت، ۱۲ برخان را در سایزهای مختلف بزرگ، متوسط و کوچک بررسی نمودند و به این نتیجه دست یافتند که حرکت برخان‌ها با اندازه آن‌ها نسبتی معکوس دارد. در پژوهشی دیگر که توسط پوتر و وگاند<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) انجام گرفت، حرکت تپه‌های ماسه‌ای از جمله برخان‌ها به وسیله تصاویر لندست در دوره‌های زمانی مختلف از ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۰ و ۱۹۹۵ و ۲۰۱۴، در بیابان جنوبی کالیفرنیا مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش به بررسی حرکت تپه‌های ماسه‌ای منطقه برای مکان‌یابی تأسیسات انرژی خورشیدی پرداخته است. اولین تحقیق در ایران در این زمینه توسط ملکوتی (۱۳۵۳) بر روی تپه‌های ماسه‌ای در سیستان و بلوچستان انجام گرفته که با استفاده از تفسیر و مقایسه‌ی عکس‌های هوایی در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۴۳ جهت توسعه‌ی تپه‌های ماسه‌ای و ارتباط آن را با باد غالب مورد بررسی قرارداد. نگارش و لطیفی (۱۳۸۷) ویژگی‌های ژئومورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان را ارزیابی کرده و با ارائه‌ی داده‌هایی در رابطه با ویژگی‌های مورفومتری برخان‌ها، به مدل‌سازی روابط آن‌ها پرداخته و با بیان میزان جابه‌جایی فصلی و سالانه‌ی تپه‌ها، عوامل مؤثر بر حرکت‌های آن‌ها را نیز بررسی کرده‌اند. رامشت و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی میزان جابجایی تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه زمانی (۱۳۶۹-۱۳۸۳) با استفاده از سنجش‌ازدور پرداخته‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی مخاطرات ناشی از حرکت برخان‌ها در روستای پشوئی پدراخته و مشخص شد که حرکت برخان‌ها باعث ایجاد مخاطرات انسانی بر روی ساکنین و مسیرهای ارتباطی می‌گردد. اصغری لقمجانی و نادریان فر (۱۳۹۴) در پژوهشی به تحلیل فضایی اثرات ماسه‌های روان در روستاهای شهرستان هیرمند پرداختند و این اثرات را ناشی از توقف و یا کاهش جریان آب ورودی رودخانه هیرمند به سیستان و خشک شدن تالاب هامون دانستند که اثرات حرکت ماسه‌ها ۵۶ روستا از ۳۰۳ روستای منطقه را درگیر کرده است.

در پژوهشی دیگر توکلی فرد و همکاران (۱۳۹۳) میزان حرکت و فعالیت‌های تپه‌های ماسه‌ای بند ریگ کاشان را با استفاده از شاخص لن کستر بررسی نمودند. یمانی (۱۳۹۴) در مقاله‌ای ورزش همگرایی بادها را در مورفولوژی و استقرار و جابجایی ریگ‌های پیرامون دشت کویر مؤثر دانستند و به بررسی این بادهای همگرا و تبعات آن پرداختند. ثروتی و یوسفی روشن (۱۳۹۴) مسائل مربوط به جابجایی شن و ماسه به وسیله باد در سرزمین‌های خشک و کم‌آب را بررسی نمودند تا بتوانند مدلی را برای شناسایی و مشاهده جابجایی شن و ماسه و برآورد خطرات ناشی از آن و اندازه‌گیری‌های دقیق این جابجایی‌ها تهیه کنند. در پژوهش پیش رو که در اطراف منطقه پشوئی کرمان صورت گرفت، اهدافی دنبال شد که از جمله آن‌ها می‌توان به بررسی جابجایی‌های ریگ و برخان‌های منطقه، میزان جابجایی برخان، رابطه بین زمان سله‌گذاری و میزان جابجایی آن‌ها و همچنین محاسبه زمان آخرین سیلاب در منطقه، اشاره نمود.

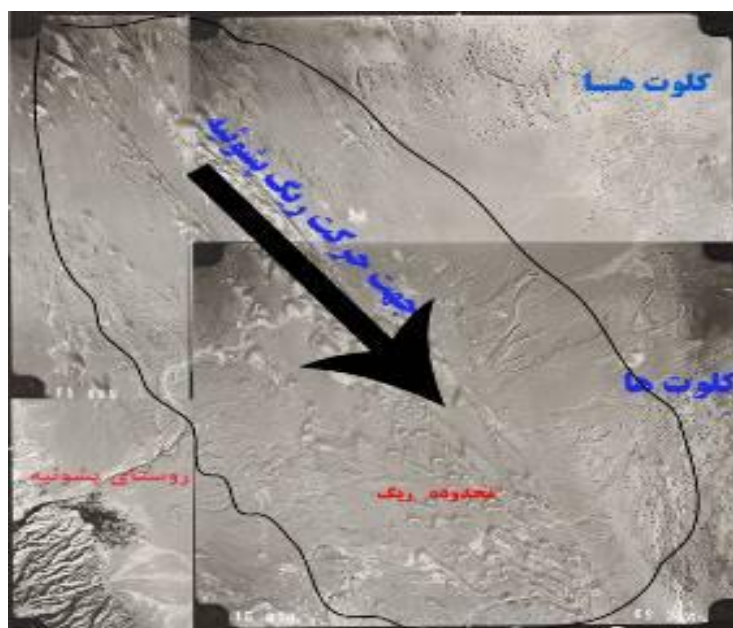
### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در روستای پشوئی از توابع بخش شهداد با طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲ دقیقه و عرض ۳۰ درجه و ۳ دقیقه در مرکز استان کرمان و در شرق شهر کرمان از توابع شهر شهداد قرار دارد شکل (۱). روستای پشوئی در بیابانی در ضلع غربی گسل نایبند واقع شده است. ارتفاع این روستا از سطح دریا حدود ۳۶۰ متر می‌باشد. در جنوب آن روستای کشیت، شمال غربی آن شهرستان اندوهجرد، در غرب آن کلوت‌ها، در شرق آن شهرستان ماهان قرار دارد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ شرکت نفت، در شرق پشوئی رسوبات کواترنری شامل کلوت‌ها و برخان‌ها و در غرب آن رسوبات دوران میوسن قرار دارد. روستای پشوئی در دامنه رشته‌کوه (با امتداد شمالی- جنوبی) قرار دارد. در منطقه مورد مطالعه، ریگی نسبتاً متحرک و تعدادی برخان منفرد قرار گرفته است که حداقل آن‌ها در اثر سیلاب دوره‌های مختلف سله‌هایی بسته شده است که ریگ و برخان‌ها نسبت به آن‌ها در حال حرکت و جابجایی‌اند شکل (۲).

ابعاد ریگ پشوئی با طول تقریبی ۲۵ کیلومتر و عرض ۴ کیلومتر در غرب کلات های لوت قرار گرفته که در این ریگ انواع گوناگون برخان ها با ابعاد مختلف واقع شده‌اند.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: محدوده ریگ پشوئی و جهت حرکت آن (شمال غربی به جنوب شرقی)، با استفاده از موزائیک عکس‌های هوایی

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در چند مرحله انجام گرفت:

- ۱- استفاده از مدارک و منابع کتابخانه‌ای: این بخش شامل تمام منابع نوشتاری از قبیل: کتاب‌ها، مقالات فارسی و انگلیسی، پایان‌نامه‌ها می‌گردد که طی مراحل مختلف تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.
- ۲- استفاده از ابزارهای تحقیق:

گروه اول شامل ابزارهای فیزیکی: شامل انواع نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، ابزارهای میدانی و آزمایشگاهی و GPS است.

گروه دوم شامل ابزارهای مفهومی یا غیر فیزیکی: شامل مدل‌های مفهومی آماری، فرمول‌ها و نرم‌افزارها (نرم‌افزارهای کامپیوتری مانند: Google earth، ArcGIS، Gradistat).

۳- استفاده از داده‌های تصویری: در این مرحله، از نقشه‌های مقیاس ۱:۵۵۰۰۰، سال ۱۳۳۴، مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۸ و مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، سال ۱۳۷۴ و نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی مربوط به منطقه و همچنین تصاویر Google Earth استفاده گردید. در این مرحله از پژوهش، ابتدا محدوده مورد نظر از روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد.

۴- بررسی‌های میدانی شامل بررسی ریگ و برخان‌های منطقه که در دو مرحله صورت گرفت: در مرحله اول ابتدا منطقه مورد مطالعه از نظر ریگ، برخان‌ها و عوارض دیگر موجود در منطقه شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله دوم، در طی سه روز عملیات میدانی به شناسایی برخان‌ها و تعیین محدوده ریگ مورد مطالعه اقدام شد و همچنین سله‌ها، بررسی ضخامت آن‌ها و میزان نفوذپذیری سطح زیرین آن مورد ارزیابی و مشاهده قرار گرفت. در این مرحله منشأ رسوبات سله‌ها بررسی گردید و این کار از طریق بررسی رسوب ارتفاعات اطراف منطقه مورد نظر از نظر سختی و سستی و نوع آن‌ها صورت گرفت.

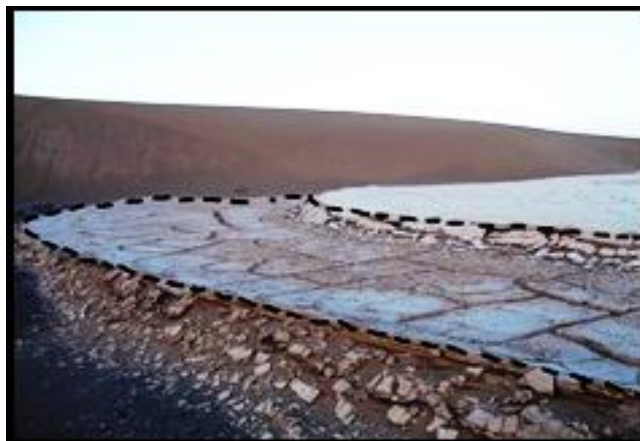
۵- روش تجزیه و تحلیل: روش تجزیه و تحلیل عمدتاً بر پایه روش تحلیلی است که طی آن متغیرهای تأثیرگذار دوجه‌دو با یکدیگر مقایسه و تحلیل و ارتباط داده می‌شوند. برای برخی موارد نیز از روش تغییرات متقارن داده‌ها استفاده شد. برای این منظور کارهای زیر انجام گرفت:

با استفاده از عکس‌های هوایی (مقیاس ۱:۵۵۰۰۰، سال ۱۳۳۴، مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۸ و مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، سال ۱۳۷۴) و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث مربوط به سال ۲۰۰۵، میزان جابجایی ریگ و برخان‌ها، با در نظر گرفتن شاخص سله و نیز با بررسی گلبادهای منطقه در دوره‌های زمانی مختلف، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. سپس موقعیت برخان‌های مربوطه در هر موقعیت زمانی در عکس‌ها و بر روی تصاویر گوگل ارث مربوط به سال ۲۰۰۵ نیز مشخص گردید. با مقایسه موقعیت جغرافیایی اقدام به محاسبه فاصله جابجایی برخان‌ها در بازه زمانی مورد نظر شد. به علت اسکن نمودن عکس‌های هوایی و مقیاس کم آن‌ها و عدم وجود نقاط ثابت و دقیق بنچ مارک، نمی‌توان به‌طور دقیق فاصله‌ها آن‌ها را به دست آورد و باید با در صدی از خطا آن‌ها را برآورد نمود. بعد از بارش‌های سنگین و وقوع سیلاب در پشت برخان‌ها، آب‌های حاصل از آن‌ها به علت عدم نفوذ کامل درون خاک‌های رسی و سیلتی در پشت برخان‌ها به صورت مانداب‌هایی تجمع پیدا می‌کنند که از طریق بازدید میدانی و تصاویر گوگل ارث این مناطق شناسایی شدند.

### یافته‌ها و بحث

بر اساس مطالعات انجام شده و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب عمومی منطقه به سمت شرق یعنی به سمت کله‌ت‌ها می‌باشد. همچنین بر اساس مشاهدات میدانی، ارتفاعات غربی که توسط گسل نایبند از بیابان لوت جدا می‌شود، سست‌تر بوده و با هر بارندگی (که عمدتاً فصلی و سیلابی هستند)، مقدار زیادی از رسوبات ریزدانه به صورت بار معلق از این ارتفاعات همراه سیلاب به سمت شرق و در مسیرهای منطقه جاری می‌شوند. این بار رسوبی چنانچه با مانعی برخورد نماید به صورت مانداب‌های کوچک ظاهر می‌گردند و مدت‌زمانی به طول می‌انجامد تا از طریق تبخیر و یا نفوذ، آب خود را از دست دهند و در نتیجه رسوب‌های موجود در پشت سد موجود (که در منطقه این موانع، اغلب تپه‌های ماسه‌ای هستند) رسوب کرده و خشک می‌شوند و شکل خاصی به خود می‌گیرند که منطبق بر شکل مانع موجود می‌باشد.

بر اساس مشاهدات میدانی و عکس‌های هوایی به‌ویژه عکس‌های گوگل ارث در تمام نقاطی که ریگ و برخان‌ها در بستر مسیل‌ها قرار گرفته‌اند، اشکال متنوعی از سله‌های مواد رسوبی مشاهده می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳: نمونه‌ای از سله‌ی تشکیل‌شده در منطقه مورد مطالعه

میزان سله بستن در محدوده ریگ‌ها که عموماً متشکل از برخان‌های عرضی است، بیشتر است. زیرا عمده ریگ‌ها در مسیر نهر و مسیل روستای پوشویه قرار گرفته و همچنین سیلاب پس از رسیدن به ریگ‌ها که مانع جریان آب می‌شوند، پخش می‌گردند و تا پیدا نمودن راهی به‌سوی شیب بستر به صورت مانداب‌هایی باقی می‌مانند. در پشت برخان‌های منفرد، سله‌ها محدودترند، زیرا این برخان‌ها در مواقع سیلاب کمتر در مسیر مسیل‌ها قرار می‌گیرند. انواع سله‌هایی که در منطقه مشاهده می‌شوند:

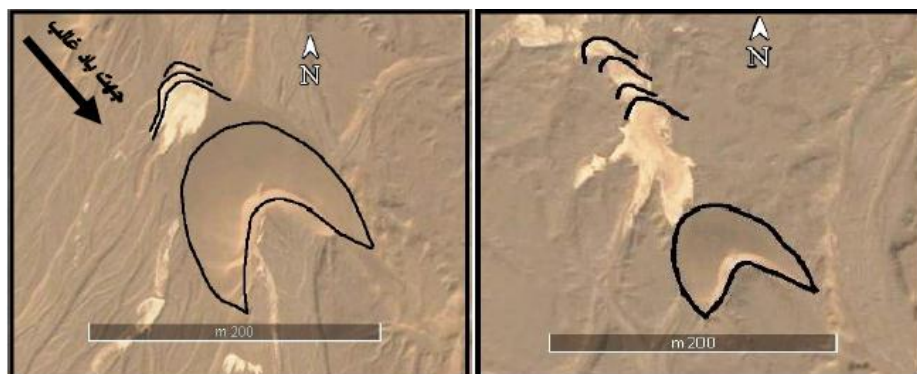
(۱) سله بستن مواد رسوبی پشت برخان‌های منفرد

با توجه به نوع قرارگیری برخان در مسیل و در مسیر سیلاب اشکال متنوعی از سله بستن پدید می‌آید. اگر قسمت پشت به باد برخان مانعی در برابر جریان مسیل گردد شکل سله به صورت مقعر خواهد بود. شکل (۴) الف - سمت چپ).

همان‌طور که در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ مشخص شده است، خطوط بسته و ممتد محدوده برخان، خطوط باز و منقطع، سله‌ها و تناوب آن‌ها و فلش، جهت باد غالب منطقه را که شمال غربی است نشان می‌دهد.

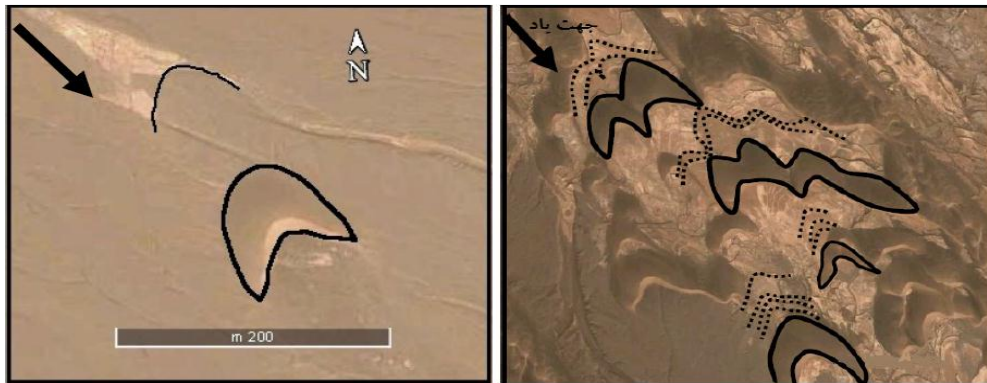
(۲) سله بستن مواد رسوبی پشت ریگ و برخان‌های عرضی

سله بستن مواد رسوبی پشت ریگ و برخان‌های عرضی تابعی از شکل و نوع قرارگیری آن‌ها بر بستر مسیل‌ها می‌باشد که اشکال خطی و W و هلالی را شامل می‌شود (شکل ۵).



شکل ۴: نمونه‌هایی از برخان‌های منفرد به همراه سله‌های تشکیل‌شده آن‌ها

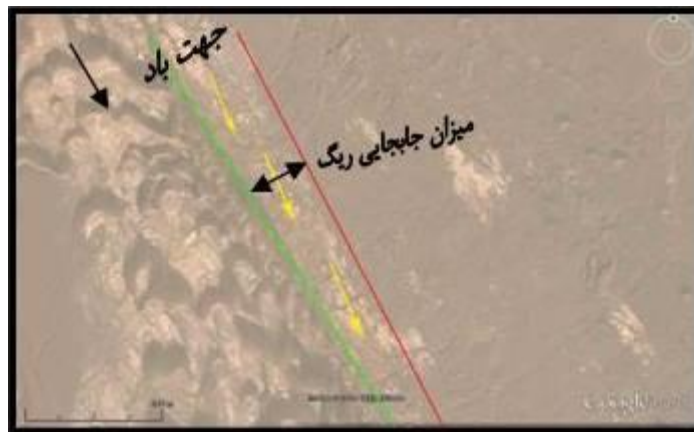




شکل ۵: سمت راست: برخانهای عرضی و ریگ منطقه به همراه سله های تشکیل شده آن و شکل سمت چپ: سله محدب\* (چنانچه قسمت پشت به باد برخان در مسیر قرار گیرد شکل سله بستن به صورت محدب و عمود بر عرض مسیل خواهد بود)

### میزان حرکت ریگ و برخان

همان‌گونه که شکل (۵) نشان می‌دهد میزان سله‌ها در محدوده ریگ به فراوانی یافت می‌شود. امکان نمونه‌برداری جهت تعیین میزان حرکت روبه‌جلوی ریگ به دلیل صعب‌العبور بودن و نیز احتمال وجود خطر به جهت وجود میداین مین (برای جلوگیری از اشراق و قاچاق مواد) میسر نبود. همان‌گونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، جابجایی عرضی ریگ پوششیده با توجه به آثار باقی‌مانده از سله‌ها قابل‌رؤیت است، به این صورت که قبلاً ریگ مورد نظر در جلوی سله‌ها قرار داشته و سیلاب در پشت آن رسوب نموده که حرکت ریگ به سمت غرب باعث رخنمون سله‌ها شده است. موقعیت و روند سله‌ها نشان‌گر حرکت ریگ به سمت غرب می‌باشد اما سنجش نرخ حرکت آن به دلایل فوق میسر نگردید.



شکل ۶: میزان جابجایی ریگ در جهت عرضی و سله‌های باقی‌مانده

روند مطالعه برخان‌های جنوب رو ستای پوشیده بدین صورت انجام پذیرفت که ابتدا با انجام پیمایش‌های میدانی، موقعیت برخان‌ها در سال ۲۰۱۳ با استفاده از GPS ثبت و شناسایی گردید. سپس با انجام مصاحبه با اهالی روستا، زمان سیلاب‌های اخیر مورد پرسش‌گری قرار گرفت که به دلیل عدم قطعیت و تناقض گفته‌های ساکنین، این امر میسر نشد. لذا به منظور تعیین میزان حرکت برخان و زمان تقریبی آخرین سیلاب از تصاویر گوگل ارث موجود از منطقه در سال ۲۰۰۵ استفاده گردید. همان‌گونه که در شکل (۷- سمت راست) در تصویر سال ۲۰۰۵ مشاهده می‌شود، دو برخان به فاصله مشخص از یکدیگر و از سله میانی آن‌ها قرار گرفته‌اند، لیکن طبق مطالعات میدانی در سال ۲۰۱۳ ضمن شناسایی مجدد موقعیت برخان‌ها، مشاهده گردید که برخان دوم با حرکتی حدود ۹۶ متر به

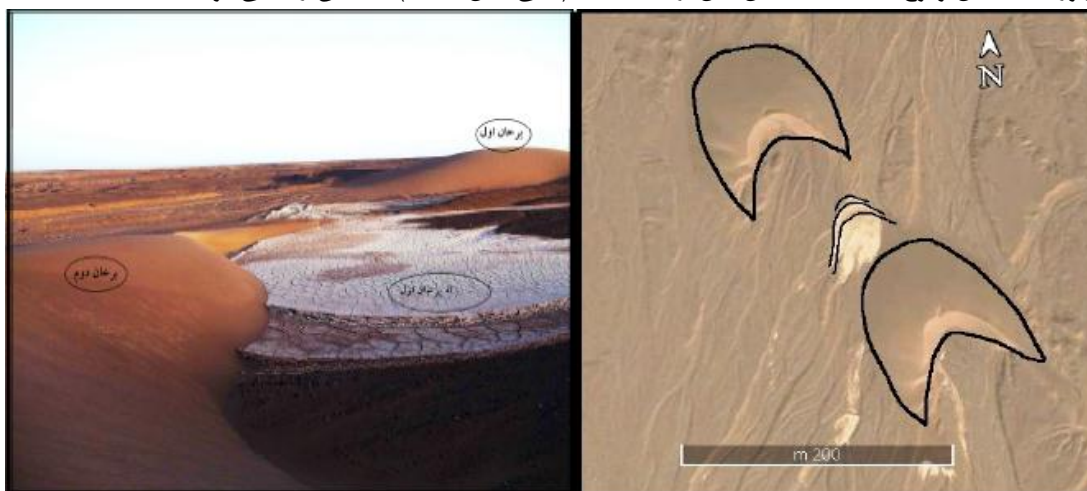


موقعیت سله‌های میانی ناشی از رسوب سیلاب در برخان اول منتقل شده است. از این رو مقایسه نتایج بازدید میدانی و تصاویر گوگل ارث سال ۲۰۰۵ نشان می‌دهد که برخان موجود در هر سال حدود ۱۲/۲۵ متر حرکت داشته است (جدول ۱).

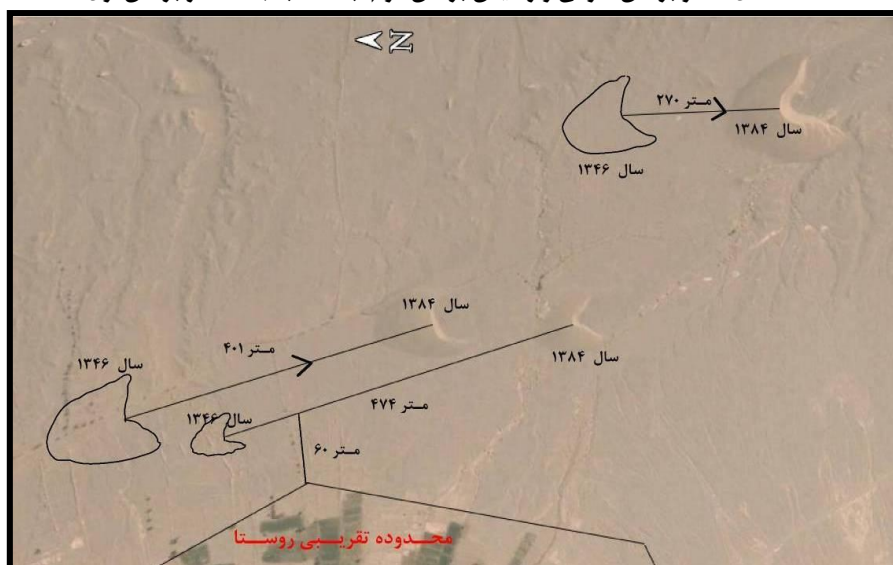
جدول ۱: نتایج مطالعات میدانی از حرکت برخان‌های پیشوئیه

سال ۲۰۰۵	تصاویر گوگل ارث منطقه
سال ۲۰۱۳	زمان بازدید میدانی
۹۶ متر	میزان حرکت برخان دوم
۱۲/۲۵ متر هر سال	نرخ سالیانه حرکت برخان

با تطبیق یافته‌ها در ارتباط با برخان اول می‌توان به سال وقوع سیلاب پی برد. موقعیت کنونی برخان اول تا سله ای که در سال ۲۰۰۵ ایجاد شده، حدود ۱۳۵ متر اندازه‌گیری شده است. از آنجاکه میزان حرکت سالانه برخان ۱۲/۲۵ برآورد شد، سال وقوع سیلاب ۱۱ سال قبل از ایجاد سله (یعنی سال ۱۹۹۴)، تخمین زده می‌شود.



شکل ۷: دو برخان متوالی و رسیدن برخان دوم به سله به‌جامانده از برخان اول



شکل ۸: میزان جابجایی برخان‌ها با استفاده از عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای (۱۳۸۴-۱۳۴۶)

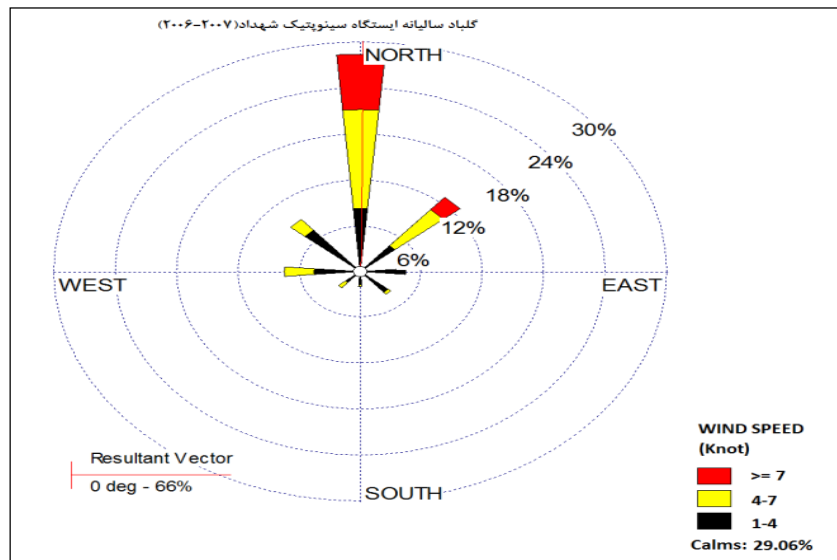
همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود با مقایسه موقعیت برخان‌ها در سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۸۴ میزان جابجایی و نرخ جابجایی آن‌ها در جدول (۲) آورده شده است. برخان ۱ و ۲ تقریباً در جهت جنوب غربی و برخان ۳ در جهت جنوب جابجا شده است.

جدول ۲: میزان جابجایی و نرخ حرکت برخان‌ها

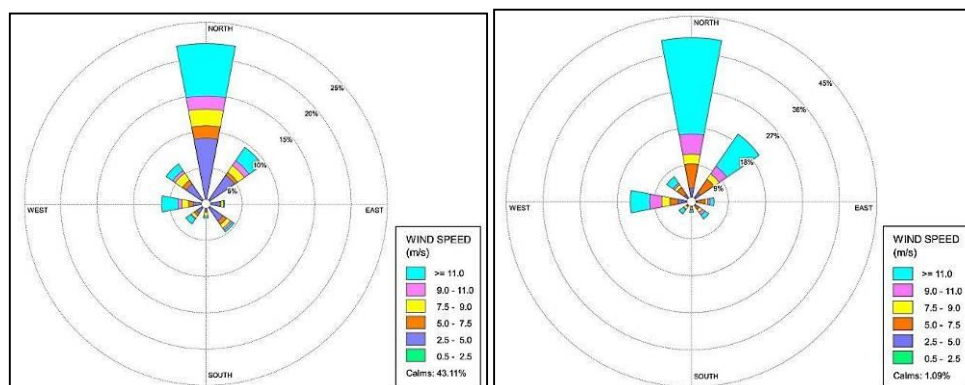
برخان	میزان جابجایی	نرخ حرکت سالانه (متر)
برخان ۱	۴۰۱	۱۰/۳
برخان ۲	۴۷۵	۱۲/۲
برخان ۳	۲۷۰	۷

### گلباد منطقه مورد مطالعه

جهت ترسیم گلباد منطقه مورد مطالعه از آمار ایستگاه سینوپتیک شهرداد واقع در ۱۵ کیلومتری شرق منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. گلباد منطقه نشان می‌دهد بیشترین فراوانی بادها دارای جهت شمالی هستند و جهت‌های شمال غرب و شمال شرق در مقام‌های بعدی قرار دارند (شکل ۹). با توجه به این موارد، حرکت و جابجایی ریگ مورد مطالعه به سمت جنوب و جنوب شرق کاملاً توجیه‌پذیر است، زیرا ما سه‌های روان که اغلب اشکال پویایی مانند برخان‌ها را در منطقه مورد مطالعه ساخته‌اند، تحت تأثیر بادها حرکت کرده و موجب جابجایی ریگ در طی سال‌های متمادی می‌شوند. همان‌طور که مشاهده شد، ریگ مورد بررسی در طی سال‌های مختلف به سمت شرق و جنوب شرق در حال جابجایی و گسترش است که این مورد با بررسی بادهای منطقه، مورد تأیید قرار می‌گیرد.



شکل ۹: گلباد سالیانه سینوپتیک ایستگاه شهرداد (۲۰۰۶-۲۰۰۷) (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱)



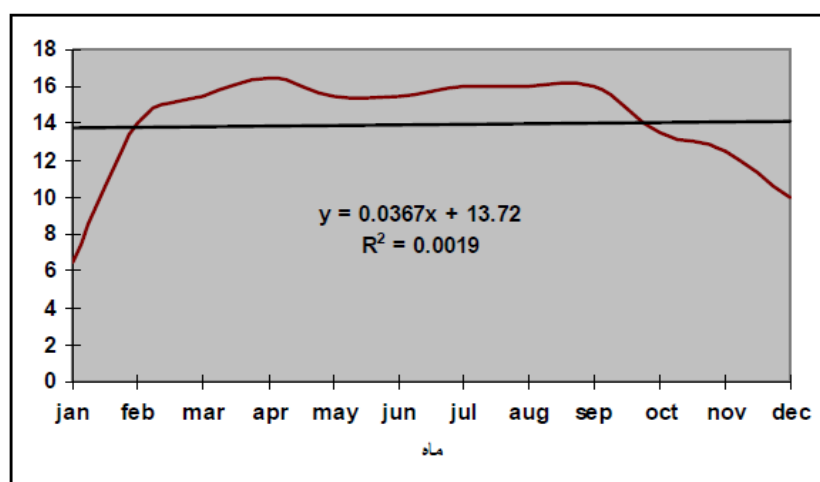
شکل ۱۰: سمت راست: میانگین حداکثر باد در ایستگاه شهرداد- سمت چپ: میانگین گلباد ساعت ۱۵ در ایستگاه شهرداد

### تحلیل فراوانی سرعت بادها

مشاهده و تحلیل آمار بادها نشان می‌دهد بیشترین فراوانی بادها مربوط به بادهای شمالی و شمال غربی در منطقه است و پر سرعت‌ترین بادها در ماه‌های آوریل تا سپتامبر می‌وزند (جدول ۳ و شکل ۱۰). شایان ذکر است ایستگاه شهرداد اخیراً احداث شده و فقط آمار سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ در دسترس محققان قرار گرفت.

جدول ۳: فراوانی سرعت بادها در ماه‌های مختلف سال با جهت‌های مربوطه (۲۰۰۶-۲۰۰۷)

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
سرعت	۶/۵	۱۴	۱۵/۵	۱۶/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۳/۵	۱۲/۵	۱۰
جهت	جنوب-غربی	شمال-غربی	شمالی	غربی	شمال-غربی	شمالی	شمالی	شمالی	شمالی	شمالی	شمالی	شمالی



شکل ۱۱: فراوانی سرعت بادهای منطقه مورد مطالعه نسبت به ماه‌های مختلف سال (۲۰۰۶-۲۰۰۷) (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱)

همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود، پر سرعت‌ترین بادها در تابستان و در ماه‌های آوریل تا سپتامبر می‌وزند و بر اساس گلبادهای ارائه شده از منطقه و با توجه به این‌که بادهای غالب منطقه بیشتر شمالی-جنوبی هستند اما در منطقه، ما بادهای شمال غربی-جنوبی شرقی را به صورت غالب مشاهده نمودیم و گواهِ آن نیز حرکت و جابجایی ریگ و

برخان‌ها به سمت جنوب شرق است. دلیل این امر را نیز می‌توان به وجود رشته‌کوهی سراسری در قسمت غرب منطقه مربوط دانست که موجب انحراف باد غالب منطقه به سمت جنوب شرقی می‌گردد. در واقع موجب می‌شود باد غالب منطقه شمال غربی - جنوب شرقی شود و تمامی برخان‌ها و ریگ در منطقه مورد مطالعه انحرافی به سمت راست و پایین مسیر خود داشته باشند. به علاوه در تمام برخان‌ها به دلیل همین باد شمال غربی، بازوی چپ رشد طولی بیشتری داشته است که خود گواه بر تمرکز بیشتر باد شمال غربی در منطقه است.

### نتیجه‌گیری

روش‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری حرکت عوارض بیابانی از قبیل برخان، ریگ، ماسه‌های بادی و ... وجود دارد که هر کدام به طریقی حرکت تپه‌های ماسه‌ای را برآورد می‌کنند لذا به منظور محاسبه حرکت یک نمونه از این عوارض، ریگ پوشیده که در مسیر مسیل‌های دشت لوت و در غرب کلوت واقع شده است به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب و مورد سنجش قرار گرفت. در روند مطالعات میدانی، شاخص سله، به عنوان معیاری برای سنجش میزان حرکت برخان‌ها و ریگ پشویی در نظر گرفته شده است. از این روش تاکنون در هیچ پژوهشی استفاده نشده است و در واقع این روش تلاشی است برای انجام پژوهش‌های جدید در راستای علم ژئومورفولوژی بیابان. اندازه‌گیری‌های میدانی از روی سله‌ها و تدقیق موقعیت سله‌ها با تصاویر گوگل ارث در سال ۲۰۰۵ و عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۳۴، ۱۳۴۸ و ۱۳۷۴ در این پژوهش، نتایج جالب‌توجهی از این منطقه ارائه داد. مطالعات نشان می‌دهد ریگ و برخان‌های پوشیده علاوه بر حرکت رو به جنوب شرق که حرکت عادی و سالانه آن‌ها محسوب می‌شود، نسبت به جنوب غربی نیز به کندی جابجا می‌شوند. با توجه به پژوهش صورت گرفته میزان حرکت سالانه برخان مورد نظر ۱۲/۵ متر در سال محاسبه گردیده است، از آنجاکه منطقه فاقد ایستگاه هواشناسی تا سال ۲۰۰۵ بوده شاخص سله به عنوان معیار اندازه‌گیری زمان بارش و وقوع سیلاب در نظر گرفته شد. بر اساس مطالعات میدانی و اندازه‌گیری به عمل آمده، میزان حرکت برخان دوم را ۹۶ متر محاسبه نموده و بر این اساس میزان نرخ سالانه حرکت برخان مذکور را ۱۲/۵ متر محاسبه نمودیم. با توجه به تصاویر گوگل ارث سال ۲۰۰۵ نرخ سالانه حرکت برخان که ۱۲/۵ متر محاسبه شد و همچنین کل حرکت برخان تا سال ۲۰۰۵ که عدد ۹۶ متر را نشان می‌دهد عدد هشت سال که از تقسیم کل حرکت (۹۶ متر) با میزان سالانه حرکت (۱۲/۵ متر) به دست می‌آید مدت زمانی است که سیلاب به وقوع پیوسته و برخان حرکت نموده است اکنون عدد مورد نظر را با سال ۲۰۰۵ که تصویر گوگل ارث نشان می‌دهد کسر کنیم سال ۱۹۹۴ به دست می‌آید که بیانگر وقوع سیلاب در این سال می‌باشد. با توجه به پژوهش صورت گرفته و از آنجاکه اغلب مناطق خشک فاقد ایستگاه‌های هواشناسی است و اینکه این گونه مناطق مستعد وقوع سیلاب می‌باشد شاخص سله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی معیار خوبی برای تخمین نسبتاً درست وقوع سیلاب در این گونه مناطق می‌باشد.

### منابع

- احمدی، حسن. (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد دوم. بیابان - فرسایش بادی. انتشارات دانشگاه تهران.
- اصغری لفجمانی، صادق. نادریان فر، مهدی. (۱۳۹۴). تحلیل فضایی اثرات ماسه‌های روان در روستاهای شهرستان هیرمند، آمایش جغرافیای فضایی. سال ۵. شماره ۱۸، ص ۲۹-۱۷.
- امیدوار، کمال. (۱۳۸۵). بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان در دشت یزد و اردکان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۸۱، ص ۴۳.
- توکلی فرد، اصغر. قاسمیه، هدی. نظری سامانی، علی‌اکبر. مشهدی، ناصر. (۱۳۹۳). تحلیل میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بند ریگ کاشان با استفاده از شاخص لن کاستر، مهندسی اکوسیستم بیابان، دوره ۳، شماره ۵، ص ۳۷-۴۸.

- ثروتی، محمدرضا، یوسفی روشن، محمدرضا. (۱۳۹۴). مسائل مربوط به جابجایی شن و ماسه و ذرات ریز(گردوخاک) به وسیله باد در سرزمین‌های خشک و کم آب، نشریه سپهر، دوره ۲۱، شماره ۸۳، صص ۳۵-۱۶.
- رامشت، محمدحسین، سیف، عبدالله. محمودی، شبنم. (۱۳۹۲)، بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه زمانی (۱۳۸۳-۱۳۶۹) با استفاده از *GIS* و *RS*، مجله جغرافیا و توسعه، شماره سی و یکم.
- سیف، عبدالله، موسوی، سید حجت. (۱۳۹۱)، ارزیابی شاخص‌های مورفودینامیک تپه‌های برخانی، (مطالعه موردی: ریگ چاه جم)، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره یکم.
- محمودی، فرج الله، (۱۳۶۸)، ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه پیام نور
- محمودی، فرج الله، (۱۳۷۰)، ارگ‌های مهم ایران، گزارش تحقیقی معاونت پژوهشی. دانشگاه تهران
- مقصودی، مهران. حاجی زاده، عبدالحسین. مرادپور، زهرا، (۱۳۹۲)، پایش جهات حرکت لندفرم‌های ماسه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، مطالعه موردی: روستای پشوتیه استان کرمان، اولین همایش انجمن کواترنری، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران
- مقصودی، مهران. حاجی زاده، عبدالحسین. نظام محله، محمدعلی. بیاتی صداقت، زینب، (۱۳۹۲)، برآورد تقریبی مساحت، حجم، جرم و فشار کلوت‌های دشت لوت با استفاده مولتی دیتا، اولین همایش انجمن کواترنری، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.
- مقصودی، مهران. حاجی زاده، عبدالحسین. نظام محله، محمدعلی. بیاتی صداقت، زینب. (۱۳۹۱). مخاطرات ناشی از حرکت برخان‌ها. اولین همایش ملی انجمن ژئومورفولوژی ایران، دانشگاه تهران.
- مقصودی، مهران. نگهبان، سعید. باقری، سجاد. (۱۳۹۱)، تحلیل مخاطرات ناشی از ماسه‌های روان بر سکونتگاه‌های غرب دشت لوت (مطالعه موردی: روستای حجت‌آباد - شرق شهداد)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره یکم.
- ملکوتی، محمدجعفر (۱۳۵۳). بررسی چگونگی حرکت تپه‌های شنی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از عکس‌های هوایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- نگارش، حسین. لطیفی، لیلا. (۱۳۸۷)، تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق سیستان در خشکسالی - های اخیر، مجله جغرافیا و توسعه، شماره دوازدهم.
- یمانی، مجتبی. (۱۳۹۴)، تأثیر وزش همگرای بادها در مورفولوژی و استقرار ریگ‌های پیرامون دشت کویر، کواترنری ایران، دوره ۱، شماره ۲، صص ۹۹-۱۱۲.

- Al-Dabi, H. Maghali, El. Baz, F. and Al-Sarawi, M (1998). Mapping and monitoring sand dune patterns northwest Kuwait using Landsat TM image, in: Sustainable Development in Arid Zones (eds Omar, S.A.S. Misak, R. & Satellite Al- Ajami, D.), Vol. pp.273-281.
- Al- Harthi, Abbas Aifan (2002). Geohazard Assessment Of Sand Dunes Between Jeddah and Al-Lith, Western Saudi Arabia, Environmental Geology , 42, 360-369.
- Abou El-Magd, I., Hassan, O. & Arafat, S. (2013) Quantification of sand dune movements in the south western part of Egypt, using remotely sensed data and GIS. J Geogr Inf Syst, 5, 498-508.
- Belrhiti, H.E.; Douady, S.; (2011) equilibrium versus disequilibrium of barchans dunes, Geomorphology 128, 558-568.
- Boulghobra, Nouar., DRIDI., Hadda. (2016). FINE RESOLUTION IMAGERY AND GIS FOR INVESTIGATING THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS, AND MIGRATION RATE OF BARCHAN DUNES IN THE ERG SIDI MOUSSA DUNEFIELD NEAR INSALAH (ALGERIA), Geographia Technica, Vol. 11, Issue 2, pp 14 to 21.
- Burrough, S.L.; Thomas, D.S.G.; Bailey, R.M.; Davies, L.; (2012) from landform to process: morphology and formation of lake-bed barchans dunes, Makgadikgadi, Botswana, Geomorphology 161-162, 1-14.
- Cooke, R.U. and Warren, A. (1973). Geomorphology in Deserts, UCL Press, London, pp: 526.

- 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.
- Dong, Z.; Man, D.; Luo, W.; Qian, G.; Wang, J.; Zhao, M.; Liu, S.; Zhu, G.; Zhu, S; (2010) horizontal Aeolian sediment flux in the minqin area, a major source of Chinese dust storms, *Geomorphology* 116, 58-66.
- Dong, Z.; Wang, X.; Chen, G.; (2000) monitoring sand dune advance in the Taklimakan Desert, *Geomorphology* 35, 219-231.
- Herrmann, H.J., Sauerman, G., (2000). The Shape of Dunes, *Physical A* 283, PP. 24-30.
- Hersen, P, 2004. On the crescentic shape of barchan dunes. *The European Physical Journal B* 37: 507–514.
- 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* 67, 283-297.
- Potter C and Weigand J, (2016). Analysis of Desert Sand Dune Migration Patterns from Landsat Image Time Series for The Southern California Desert, *J Remote Sensing & GIS*, 5: 2.
- Sauermann, G., Rognon, P., Poliakov, A., Herrmann, H.J., (2000). The Shape of the Barchan Dunes of Southern Morocco, *Geomorphology*, Vol. 36, PP. 47-62.
- Zhang, D., X. Yang, O. Rozier, and C. Narteau (2014), Mean sediment residence time in barchan dunes *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 119. 463-451.