

آلومتری مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های جنوب شرق کویر حاج علی‌قلی

سیدحجت موسوی* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۷/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۰/۳۰

چکیده

مدیریت محیط یکی از شاخه‌های ژئومورفولوژی کاربردی است که فرایندهای کنترل‌کننده مخاطرات محیط را در بر گرفته و بیان‌کننده عملکرد ژئومورفولوژیست‌ها در تبیین تأثیر احتیاطی انسان روی چشم‌اندازی ژئومورفیک است. در این زمینه، انسان سعی می‌کند محیط خود را با روش‌هایی مدیریت کند که برایش سودمند است. یکی از مهم‌ترین مسائل مدیریتی مناطق خشک و نیمه‌خشک، شناخت و به‌کارگیری اصول محیطی حاکم بر رفتار تپه‌های برخانی است. هدف از این پژوهش، تعیین نوع رابطه، نسبت‌های طولی و آلومتری بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های جنوب شرق کویر حاج علی‌قلی به منظور شناخت اصول مدیریتی حاکم بر رفتار آنهاست. برای رسیدن به این هدف، ابتدا مهم‌ترین مؤلفه‌های مورفومتری ۵۲ برخان به روش نمونه‌برداری طولی اندازه‌گیری میدانی شد. سپس با ارزیابی آنها از طریق آزمون‌های آماری و ریاضی، به رابطه‌سنجی و تعیین آلومتری برخان‌های پژوهش مبادرت شد. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد که بیشینه ارتباط معنادار خطی، بین طول و ارتفاع برخان با ضریب تبیین 0.945 و انحراف معیار خطای برآورد 0.889 وجود دارد. نتایج رابطه‌سنجی و آلومتری نیز به شرح رابطه‌های آماری و ریاضی گزارش شده در این پژوهش است که این معادله‌ها امکان محاسبه به نسبت دقیق و سریع مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های این پژوهش را فراهم ساخته، مبنی آلومتری آنهاست.

کلیدواژه‌ها: آلومتری، برخان، ژئومورفومتری، کویر حاج علی‌قلی.

مقدمه

اصول مدیریتی حاکم بر چشم‌اندازهای ژئومورفیک در هر مرحله از تکوین و تکامل، با اصول مدیریتی همان چشم‌انداز در دیگر مراحل متفاوت است؛ زیرا سیر تکامل چشم‌انداز، نسبت و ارتباط آن با دیگر اجزای سامانه و پاسخ آن به تغییرات و پس‌خوراندهای محیطی متفاوت است (المدرسی، ۱۳۸۹: ۳). یکی از راه‌های شناخت و مدیریت نظام‌مند چشم‌اندازهای ژئومورفیک، بررسی و ارزیابی مؤلفه‌های مورفومتری و تعیین آلومتری بین آنهاست. به خصوصیات کیفی و کمی هر لندفرم که قابلیت اندازه‌گیری، مدرج شدن و سنجش را داشته باشد، مؤلفه‌های مورفومتری می‌گویند (مقیم و محمودی، ۱۳۸۳: ۱۳۵). این مؤلفه‌ها نمایان‌کننده وضع ظاهری لندفرم‌اند و عملکرد آنها به دلیل ارتباط و همبستگی با یکدیگر و تعیین آلومتری، به منظور شناخت رفتار پدیده‌های ژئومورفیک حایز اهمیت است.

روش‌های متعددی در تبیین تحول ناهمواری‌های سطح زمین و الگوی تغییر آنها در قالب دیدگاه‌های معرفتی ژئومورفولوژی تکوینی، فرایندی و نظام‌مند وجود دارد؛ یکی از این روش‌ها، ایجاد الگوهای ریاضی بر پایه برون‌یابی به

روش تحلیلی یا شبیه‌سازی عددی است (المدرسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۲). روش دیگر، الگوسازی فیزیکی تغییرات چشم‌انداز با استفاده از نمایش سخت‌افزاری واقعیات در مقیاس میکروست (موزلی و زمپفر، ۱۹۷۹: ۳۸۱). آلومتری یکی دیگر از روش‌هایی است که به بررسی تغییرات پدیده‌ها در طول زمان می‌پردازد. رابطه‌های بین سرعت رشد اجزای منفرد عضوی یا موجودی (موراتا، ۱۹۶۹) یا توصیف تغییرات ویژگی‌ای بر اساس ویژگی‌ای دیگر، آلومتری نامیده می‌شود (پیترز، ۱۹۸۳؛ نیک‌لاس، ۱۹۹۴؛ پناهی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۲)؛ به عبارتی آلومتری بررسی مقدار نسبی تغییر در دو جزء از سامانه است و رشد قسمتی از سامانه را در مقایسه با رشد کل آن یا بعضی قسمت‌های دیگر آن بیان می‌کند (گولد، ۱۹۶۶: ۵۸۷؛ المدرسی، ۱۳۸۹: ۳۵). آلومتری روشی برای بیان ارتباط بین متغیر با واحدی از اندازه کل مجموعه از طریق رابطه‌های ریاضی هنگام افزایش اندازه است (رولند توماس، ۲۰۰۵؛ گایینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۸). بنابراین، تسلط بر چنین روشی، برای شناخت مورفولوژی بسیاری از چشم‌اندازهای طبیعی دارای اهمیت بوده، مسائل مدیریتی حاکم بر رفتار آنها را برطرف می‌کند؛ در نتیجه بررسی و ارزیابی مؤلفه‌های مورفومتری یک برخان‌ها و آلومتری بین آنها به مدیران و برنامه‌ریزان محیطی کمک خواهد کرد تا شناختی یکپارچه و دقیق از نظام چشم‌انداز به‌دست آورند و از سویی دیگر در تعیین پایداری، تعادل و آستانه نظام برخان مؤثر واقع شوند.

تپه‌های برخانی، ساده‌ترین و رایج‌ترین نوع تپه‌های ماسه‌ای است که شکل هلالی دارد (محمودی، ۱۳۸۸: ۲۶۱؛ موسوی و همکاران، ۲۰۱۰: ۹۹). اگر باد در اغلب طول سال به‌طور دائم در جهت یکسان بوزد و در آن مکان ماسه به اندازه کافی برای پوشاندن کامل سطح وجود نداشته باشد، برخان ایجاد می‌شود (بگنلد، ۱۹۴۱: ۱۲۵؛ سوئرن و همکاران، ۲۰۰۰: ۴۷؛ ال بلریتی و دوئادی، ۲۰۱۰: ۱). شکل هندسی برخان‌ها شبیه به سهمی است (هرسن، ۲۰۰۴: ۵۰۷؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۶: ۴۰۹) که انحنا آن از رأس بازویی شروع شده تا بیشینه ارتفاع در دامنه بادپناه می‌رسد و به رأس بازوی دیگر ختم می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۴). هر برخان متشکل از دو است و محل برخورد این دو دامنه، خط‌الرأس برخان را تشکیل می‌دهد (محمودی، ۱۳۸۸: ۲۶۱).

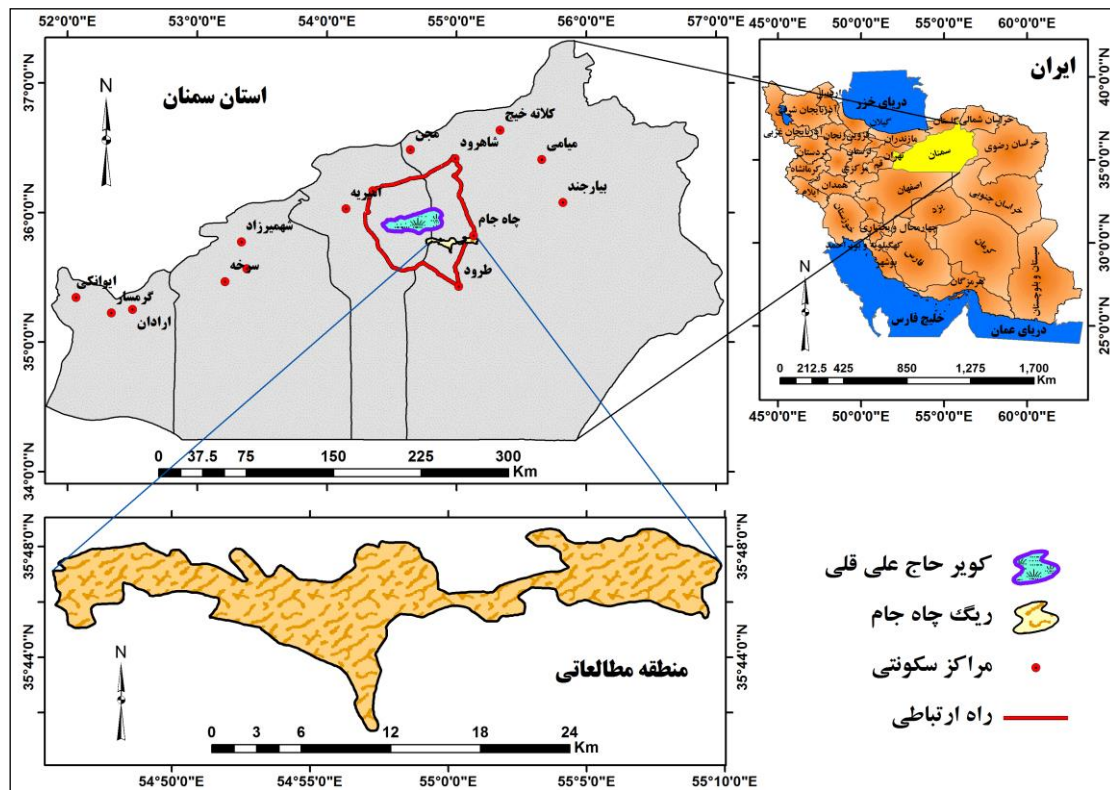
در زمینه مورفولوژی برخان‌ها، پژوهش‌های متعددی انجام گرفته است؛ اما پژوهش درباره تحلیل آلومتری، نسبت‌های طلایی و رابطه‌های ژئومورفومتری بین اجزا و بررسی رفتار این ناهمواری به‌صورت کمی، ناچیز و اندک است. نخستین پژوهش‌ها در زمینه تپه‌های برخانی را بگنلد (۱۹۴۱: ۱۹۴) در صحرای کبیر آفریقا و فینکل (۱۹۵۹: ۶۱۴) در جنوب پرو و همچنین شکل‌شناسی رقومی برای پیش‌بینی حرکات جانبی برخان را هووارد و همکاران (۱۹۷۸: ۳۰۷)، ویپرمن و گروس (۱۹۸۶: ۳۱۹)، آنتون و وین سنت (۱۹۸۶: ۱۸۷) و آنتنسن و همکاران (۱۹۹۶: ۶۳) انجام داده‌اند. هسپ و هاستینگز (۱۹۹۸: ۱۹۳) نیز با بررسی رابطه‌های آلومتری بین ارتفاع و عرض برخان‌های بیابان نامیبیا، این رابطه‌ها را عوامل کنترل‌کننده شکل سه‌بعدی برخان معرفی کرده‌اند. گی (۱۹۹۹: ۲۷۳) با بررسی جابه‌جایی تپه‌های برخانی جنوب پرو بیان داشت که سرعت حرکت برخان با اندازه آن نسبت معکوس دارد. هرمان و سوئرن (۲۰۰۰: ۲۴) با بررسی تپه‌های ماسه‌ای مراکش الگوهایی را برای تحرکات و پویایی آنها بر مبنای معادله‌های دیفرانسیل طراحی کرده‌اند که این الگوها مراحل تشکیل و دگرگونی تپه‌های ماسه‌ای را تشریح می‌کند. سوئرن و همکاران (۲۰۰۳: ۲۴۵) سرعت باد و مقدار حمل ماسه را بر روی تپه‌های برخانی شمال شرق برزیل بررسی کرده و اختلاف‌های عمده بین جریان‌های باد

اشباع شده و اشباع نشده و حرکت تپه‌های برخانی بدون تغییرپذیری در شکلشان را بیان کرده‌اند. وانگ و همکاران (۲۰۰۶: ۴۰۵) با بررسی برخان‌های شمال غرب چین، با استفاده از نظریه‌های هندسی بیان کرده‌اند که ارتفاع برخان با عرض آن تناسب دارد و خطالرأس را می‌توان با شکل سهمی توصیف کرد. دنیل و هیوز (۲۰۰۷: ۶۳۸) مورفولوژی برخان‌های استرالیا و ارتباط آنها با نوع رژیم فصلی باد را بررسی کرده و بیان داشته‌اند که این تپه‌ها سالیانه ۱۰ تا ۱۵ متر در جهت غرب جابه‌جا می‌شود. هاگن هولتز و همکاران (۲۰۰۸: ۱۳) ضمن پژوهش درباره‌ی الگوهای موقت و فضایی حمل رسوبات بادی بر روی تپه‌های سهمی شکل، مقدار ورودی و خروجی و مقدار انتقال ماسه را با توجه به متغیرهای اقلیمی منطقه بر روی تپه‌های برخانی بررسی کرده‌اند. هس (۲۰۰۸: ۶) حرکت گروهی تپه‌های برخانی را در جنوب پرو بررسی کرده و بیان داشته است که از راه خصوصیات چینه‌شناسی این تپه‌ها می‌توان تغییرات پالتوزیست محیطی منطقه را بازسازی کرد. وال لی و همکاران (۲۰۰۸: ۴۱۱) خصوصیات شکل‌شناسی و تحرکات تپه‌های ماسه‌ای را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بیابان پاتاگونا در آرژانتین بررسی کرده و وجود این میدان ماسه‌ای را در نتیجه گردش عمومی هوا و خصوصیات خط ساحل بیان کرده‌اند. ال بلریتی و دوئادی (۲۰۱۰: ۱) وضعیت تعادلی و ناعادلی تپه‌های برخانی را در صحرای مراکش بررسی کرده، بیان داشته‌اند که این عوارض در بلندمدت دارای تعادل و در کوتاه‌مدت نامتعادل است؛ زیرا زمان کافی برای رسیدن به حالت تعادل را ندارد. محمودی (۱۳۸۴: ۱) پویایی تپه‌های ماسه‌ای جاسک را با استفاده از روش RS و GIS در ارتباط با ویژگی‌های اقلیمی و قدرت حمل رسوب بر اثر باد بررسی کرده و به شناسایی عوامل مؤثر بر جابه‌جایی آنها پرداخته است. نگارش و لطیفی (۱۳۸۷: ۴۳) خصوصیات ژئومورفولوژیکی تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان را ارزیابی کرده و با عرضه داده‌هایی در زمینه خصوصیات مورفومتري برخان‌ها، به الگوسازی رابطه‌های آنها پرداخته‌اند. موسوی و همکاران (۱۳۸۹: ۱۰۱) مورفودینامیک برخان‌های ریگ چاه‌جام را بررسی کرده و با استفاده از تحلیل‌های آماری مقدار جابه‌جایی سالیانه آنها را در سال ۱۳۸۸، از طریق مؤلفه‌های مورفومتري الگوسازی کرده‌اند.

هدف از این پژوهش تعیین مهم‌ترین مؤلفه‌های قابل اندازه‌گیری برخان‌های جنوب شرق کوير حاج علي قلی، شناسایی ارتباط بین مؤلفه‌ها و تعیین نسبت و آلومتري بین آنها به منظور شناخت اصول مدیریتی حاکم بر رفتار چشم‌انداز برخان است؛ به عبارت دیگر در این پژوهش سعی بر آن است که با استفاده از تعیین و اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتري برخان، تحلیل رابطه‌های بین آنها با استفاده از رابطه‌های آماری، نسبت و آلومتري میان مؤلفه‌های مورفومتري برخان‌های جنوب شرق کوير حاج علي قلی ارزیابی و بررسی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه بررسی شده در این پژوهش، ریگ جنوب شرقی کوير حاج علي قلی است که با وسعت حدود ۲۵ هزار و ۲۶۰ هکتار، یکی از مهم‌ترین ریگزارهای موجود در حاشیه این کوير است. این ریگ به صورت نواری نامنظم در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی در طول ۱۰ تا ۱۲ کیلومتر کشیده شده و در محدوده‌ای به عرض ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول ۵۵ درجه تا ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی گسترده شده است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده بررسی شده

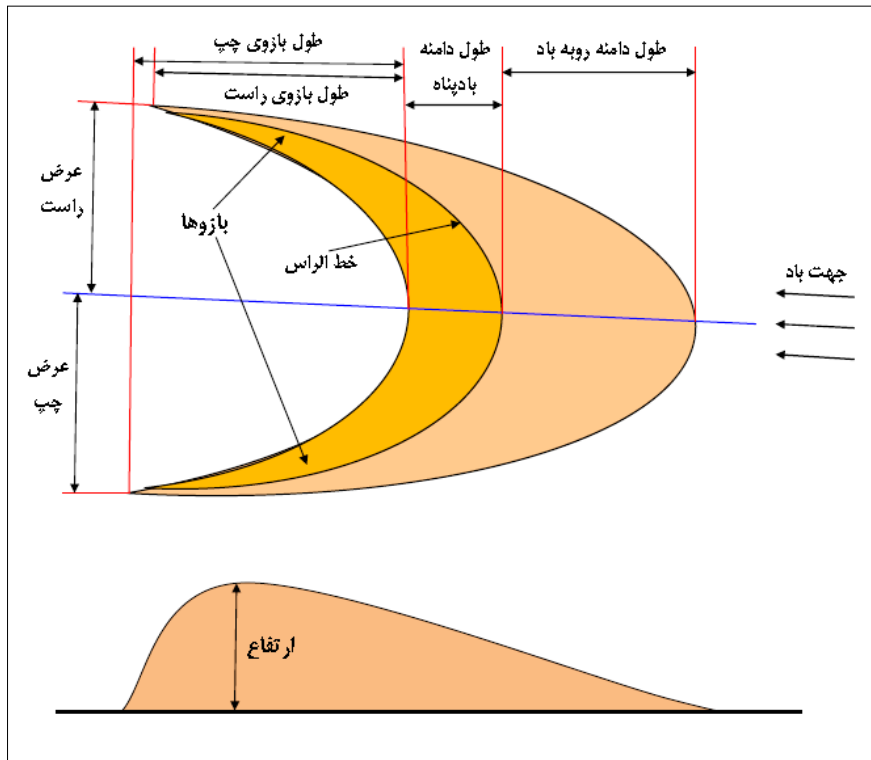
برای دسترسی به اهداف، مراحل تحقیق به این صورت انجام گرفت که پس از تعیین حدود منطقه پژوهش، با مراجع‌های میدانی به منطقه، به نمونه‌برداری و اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های مورد نظر مبادرت شد. نمونه‌برداری از برخان‌ها در امتداد ۱۰ ترانسکت یک کیلومتری که به فواصل تقریبی ۱ تا ۱/۵ کیلومتری از یکدیگر واقع شده است و به‌طور تقریبی کل مساحت ریگزار را پوشش می‌دهد، صورت گرفت. حجم نمونه بررسی شده به موقعیت برخان‌ها نسبت به محل ترانسکت‌های مستقر شده بستگی دارد که در مجموع ۵۲ برخان ارزیابی و مؤلفه‌های مورفومتری آنها اندازه‌گیری شد. مبنای اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتری برخان شکل ۲ است که در این شکل انواع مؤلفه‌های مورفومتری برخان و نحوه اندازه‌گیری آنها به ارائه شده است. مهم‌ترین مؤلفه‌های مورفومتری برخان عبارت است از: ارتفاع (h)؛ عرض کامل برخان (W)؛ عرض پهلو راست (W_a)؛ عرض پهلو چپ (W_b)؛ طول کامل برخان (L)؛ طول بازوی راست (L_a)؛ طول بازوی چپ (L_b)؛ طول دامنه روبه‌باد (L_o) و طول دامنه بادپناه (L_s). نحوه محاسبه طول و عرض کامل برخان به ترتیب به شرح رابطه‌های ۱ و ۲ است:

$$L = L_o + L_s + [(L_a + L_b) / 2]$$

رابطه ۱. محاسبه طول کامل:

$$W = W_a + W_b$$

رابطه ۲. محاسبه عرض کامل:



شکل ۲. توضیح تصویری مؤلفه‌های مورفومتري برخان (اقتباس از هسپ و هاستینگز، ۱۹۹۸: ۱۹۵؛ سوئرمین و همکاران، ۲۰۰۰: ۴۸؛ دنیل و هیوز، ۲۰۰۷: ۶۴۲)

پس از اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتري برخان‌های مورد نظر، تفکیک و تحلیل این مؤلفه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS آغاز شد. از طریق تجزیه و تحلیل رگرسیون، رابطه بین مؤلفه‌های مورفومتري برخان بررسی و در نهایت، نوع رابطه بین آنها مشخص شد. برای این منظور، ابتدا روش‌های رگرسیون ساده خطی و غیرخطی و رگرسیون چندمتغیره آزمون شد. در روش رگرسیونی، رابطه‌های گوناگون خطی، توانی، نمایی، لگاریتمی و مکعبی ساده و چندمتغیره بین مؤلفه‌های گوناگون محاسبه و از بین آنها، رابطه‌هایی با ارزش رجحانی بیشتر (ضریب تبیین بیشتر و انحراف معیار خطای برآورد کمتر) انتخاب شد. ضمن بررسی ارتباطها، به عرضه الگوهای حاصل از ارتباطهای بین مؤلفه‌های مورفومتري برخان پرداخته شد و نوع و شدت ارتباطها به کمک آماره‌های سنجش ارزیابی الگو شامل ضریب همبستگی، ضریب تبیین، ضریب تبیین تعدیل شده و انحراف معیار خطای برآوردها بیان شد.

در پایان نیز با استفاده از نوع رابطه‌های حاصل، نسبت و آلومتري مؤلفه‌های مورفومتري برخان‌های مورد بررسی تعیین شد. آلومتري روشی برای بیان ارتباط بین متغیر با واحدی از اندازه کل مجموعه از طریق رابطه‌های ریاضی هنگام افزایش اندازه است (رولند، ۲۰۰۵؛ گایینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۸). نسبت بین دو متغیر x و y را می‌توان به صورت رابطه ۳ بیان کرد که در آن x و y متغیرهای فیزیکی و b و k ثابت‌های رابطه و k ضریب ثابت آلومتري است. مقدار k را می‌توان با رابطه ۴ محاسبه کرد.

$$y = b + kx$$

رابطه ۳

$$\log y = \log b + k \log x$$

رابطه ۴

این عمل ممکن است از راه ترسیم y نسبت به x روی مقیاس لگاریتمی دوطرفه به دست آید که حاصل آن خط مستقیمی خواهد بود که شیب آن خط، مساوی k است. همچنین، ممکن است با تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی، داده‌های موجود برای x و y نیز محاسبه شود. اگر طول یا پهنای عضوی به نسبت ثابتی بزرگ شود، شیب خط رگرسیون (ضریب آلومتری یا k) یک می‌شود؛ یعنی سرعت‌های رشد دو متغیر به طور کامل همبستگی دارد (موراتا، ۱۹۶۹؛ اوسه و همکاران، ۱۹۹۷؛ ون‌سینک و همکاران، ۱۹۹۷؛ ۱۳۳۹؛ وایبل و همکاران، ۲۰۰۴؛ ۱۱۵؛ گایینی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ۱۰۸).

یافته‌ها و نتایج

در محدوده بررسی شده، برخان‌های متعددی می‌توان مشاهده کرد که به تقریب، بیشتر آنها شکل مشابهی دارد. به طور کلی برخان‌های جنوب شرق کویر حاج علی‌قلی دارای ارتفاعی بین ۱/۲ تا ۱۷/۹ متر، طولی بین ۱۹/۵ تا ۳۰۷/۸۵ متر و عرضی بین ۶/۳ تا ۱۶۵/۶ متر است (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات آمار توصیفی مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده (واحد: متر)

مؤلفه	دامنه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	چولگی
ارتفاع	۱۶/۷۰	۱/۲۰	۱۷/۹۰	۵/۸۰۲	۳/۷۶۸	۱/۲۴۴
عرض پهلوئی چپ	۸۶/۰۰	۳/۱	۸۹/۱۰	۲۷/۳۱۱	۱۷/۶۵۷	۱/۱۹۵
عرض پهلوئی راست	۹۱/۴۰	۳/۲۰	۹۴/۶۰	۳۲/۷۹۶	۲۱/۶۷۲	۱/۰۴۱
عرض کامل	۱۵۹/۳۰	۶/۳۰	۱۶۵/۶۰	۶۰/۱۰۷	۳۷/۹۳۰	۰/۹۶۶
طول بازوی چپ	۷۶/۳۰	۴/۲۰	۸۰/۵۰	۲۹/۴۹۸	۲۰/۱۹۱	۰/۱۰۳
طول بازوی راست	۸۷/۸۰	۱/۵۰	۸۹/۳۰	۳۵/۵۷۳	۲۲/۶۷۳	۰/۷۲۸
طول دامنه روبه‌باد	۲۱۴/۵۰	۹/۱۰	۲۲۳/۶۰	۵۲/۴۶۷	۴۲/۷۶۱	۱/۷۲۷
طول دامنه بادپناه	۳۷/۹۰	۱/۵۰	۳۹/۴۰	۹/۶۶۷	۷/۳۶۱	۱/۶۴۷
طول کامل	۲۸۸/۸۰	۱۹/۵۰	۳۰۷/۸۵	۹۴/۶۷۰	۶۵/۱۴۱	۱/۱۳۴

به منظور تعیین نوع و شدت ارتباط بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده، انواع روش‌های رگرسیون ساده خطی و غیرخطی و رگرسیون چندمتغیره آزمون و از بین آنها، رابطه‌هایی با ارزش رجحانی بیشتر انتخاب شد؛ به طوری که در این پژوهش بهترین رابطه‌ها از توابع ساده خطی تبعیت می‌کند؛ بنابراین در این قسمت، فقط رابطه‌های ساده خطی گزارش شده است. نتایج بررسی ارتباطها و الگوسازی آماری که به روش تجزیه و تحلیل رگرسیون صورت گرفته، در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. خلاصه الگوهای به دست آمده از تحلیل آماری مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده به شرح جدول ۲ است که در آن ضریب همبستگی، ضریب تبیین، ضریب تبیین تعدیل شده و انحراف معیار خطای برآورد، گزارش شده است.

جدول ۲. نتایج رابطه‌سنجی بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده

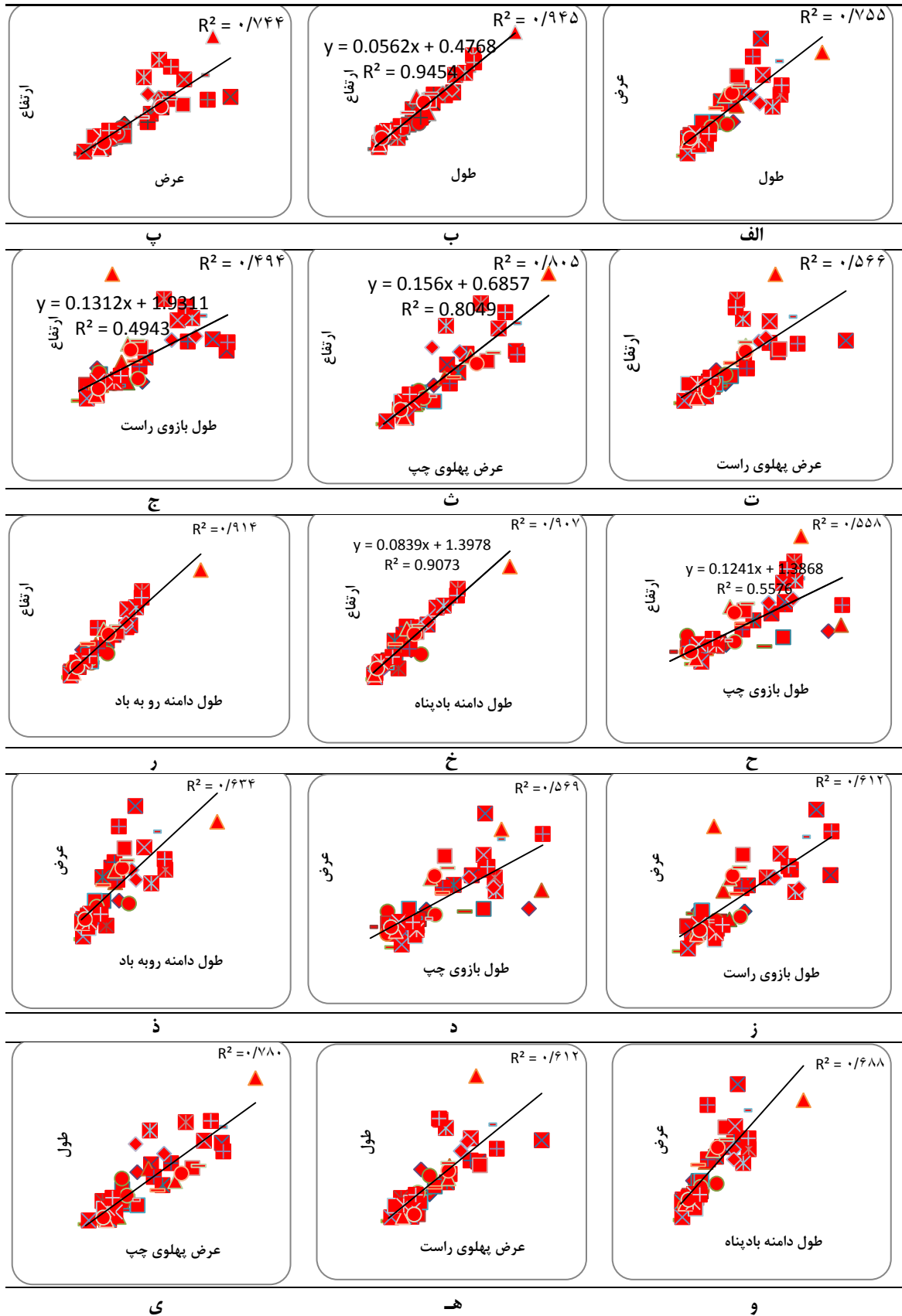
مؤلفه	نوع رابطه	ضریب همبستگی	ضریب تبیین**	ضریب تبیین تعدیل شده	انحراف معیار برآورد	سطح معناداری
طول و عرض	خطی	۰/۸۶۹	۰/۷۵۵	۰/۷۵۰	۱۸/۹۵۲	۰/۰۰۰
طول و ارتفاع	خطی	۰/۹۷۲	۰/۹۴۵	۰/۹۴۴	۰/۸۸۹	۰/۰۰۰
عرض و ارتفاع	خطی	۰/۸۶۳	۰/۷۴۴	۰/۷۳۹	۱۹/۲۴	۰/۰۰۰
ارتفاع و عرض پهلو راست	خطی	۰/۷۵۲	۰/۵۶۶	۰/۵۵۷	۲/۵۰۸	۰/۰۰۰
ارتفاع و عرض پهلو چپ	خطی	۰/۸۹۷	۰/۸۰۵	۰/۸۰۱	۱/۶۸۱	۰/۰۰۰
ارتفاع و طول بازوی راست	خطی	۰/۷۰۳	۰/۴۹۴	۰/۴۸۴	۲/۷۰۶	۰/۰۰۰
ارتفاع و طول بازوی چپ	خطی	۰/۷۴۷	۰/۵۵۸	۰/۵۴۹	۲/۵۳۱	۰/۰۰۰
ارتفاع و طول دامنه روبه‌باد	خطی	۰/۹۵۳	۰/۹۰۷	۰/۹۰۵	۱/۱۵۹	۰/۰۰۰
ارتفاع و طول دامنه بادپناه	خطی	۰/۹۵۶	۰/۹۱۴	۰/۹۱۲	۱/۱۱۵	۰/۰۰۰
عرض و طول بازوی راست	خطی	۰/۷۸۲	۰/۶۱۲	۰/۶۰۴	۲۳/۸۶۵	۰/۰۰۰
عرض و طول بازوی چپ	خطی	۰/۷۵۵	۰/۵۶۹	۰/۵۶۱	۲۵/۱۳۸	۰/۰۰۰
عرض و طول دامنه روبه‌باد	خطی	۰/۷۹۶	۰/۶۳۴	۰/۶۲۷	۲۳/۱۷۱	۰/۰۰۰
عرض و طول دامنه بادپناه	خطی	۰/۸۲۹	۰/۶۸۸	۰/۶۸۲	۲۱/۴۰۲	۰/۰۰۰
طول و عرض پهلو راست	خطی	۰/۷۸۳	۰/۶۱۲	۰/۶۰۵	۴۰/۹۶۰	۰/۰۰۰
طول و عرض پهلو چپ	خطی	۰/۸۸۳	۰/۷۸۰	۰/۷۷۶	۳۰/۸۳۴	۰/۰۰۰

** ارتباط معنادار در سطح احتمال خطای کمتر از یک درصد ($\alpha \leq 0.01$)

با توجه به شکل کلی معادله‌های خطی به‌منظور عرضه الگوی خطی، دو مؤلفه عرض از مبدأ و شیب خط مد نظر است؛ بنابراین ضرایب و رابطه‌های کشف‌شده بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی‌شده در جدول ۳ ارائه شده است. انحراف معیار، مقدار t و آزمون سطح معناداری ضرایب معادله‌ها نیز گزارش شده است. خلاصه الگوهای استخراج شده از رابطه‌سنجی مؤلفه‌های مورفومتری این برخان‌ها به شرح شکل ۳ است.

جدول ۳. ضرایب رابطه‌های موجود بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده

رابطه	ضرایب رابطه‌ها	مقدار ضرایب	انحراف معیار	مقدار t	سطح معناداری
طول و عرض	عرض از مبدأ	۱۲/۲۰۳	۴/۶۶۷	۲/۶۱۵	۰/۰۱۲
	شیب خط	۰/۵۰۶	۰/۰۴۱	۱۲/۴۲۱	۰/۰۰۰
طول و ارتفاع	عرض از مبدأ	۰/۴۷۷	۰/۲۱۹	۲/۱۷۶	۰/۰۳۴
	شیب خط	۰/۰۵۶	۰/۰۰۲	۲۹/۴۱۰	۰/۰۰۰
عرض و ارتفاع	عرض از مبدأ	۰/۶۵۰	۰/۵۰۴	۱/۲۹۰	۰/۲۰۳
	شیب خط	۰/۰۸۶	۰/۰۰۷	۱۲/۰۶۴	۰/۰۰۰
ارتفاع و عرض پهلو راست	عرض از مبدأ	۱/۴۱۸	۰/۶۴۵	۲/۱۹۸	۰/۰۳۳
	شیب خط	۰/۱۶۱	۰/۰۲۰	۸/۰۶۸	۰/۰۰۰
ارتفاع و عرض پهلو چپ	عرض از مبدأ	۰/۶۸۶	۰/۴۲۶	۱/۶۱۰	۰/۱۱۴
	شیب خط	۰/۱۵۶	۰/۰۱۱	۱۴/۳۶۱	۰/۰۰۰
ارتفاع و طول بازوی راست	عرض از مبدأ	۱/۹۳۱	۰/۶۶۹	۲/۸۸۷	۰/۰۰۶
	شیب خط	۰/۱۳۱	۰/۰۱۹	۶/۹۹۱	۰/۰۰۰
ارتفاع و طول بازوی چپ	عرض از مبدأ	۱/۳۸۷	۰/۶۵۸	۲/۱۰۹	۰/۰۴۰
	شیب خط	۰/۱۲۴	۰/۰۱۶	۷/۹۳۸	۰/۰۰۰
ارتفاع و طول دامنه روبه باد	عرض از مبدأ	۱/۳۹۸	۰/۲۵۶	۵/۴۶۴	۰/۰۰۰
	شیب خط	۰/۰۸۴	۰/۰۰۴	۲۲/۱۲۵	۰/۰۰۰
ارتفاع و طول دامنه بادپناه	عرض از مبدأ	۱/۰۷۰	۰/۲۵۷	۴/۱۶۶	۰/۰۰۰
	شیب خط	۰/۴۸۹	۰/۰۲۱	۲۳/۰۷۶	۰/۰۰۰
عرض و طول بازوی راست	عرض از مبدأ	۱۶/۷۶۲	۵/۸۹۸	۲/۸۴۲	۰/۰۰۶
	شیب خط	۱/۴۶۹	۰/۱۶۶	۸/۸۷۸	۰/۰۰۰
عرض و طول بازوی چپ	عرض از مبدأ	۱۵/۲۰۴	۶/۵۳۱	۲/۳۲۸	۰/۰۲۴
	شیب خط	۱/۲۶۲	۰/۱۵۵	۸/۱۳۰	۰/۰۰۰
عرض و طول دامنه روبه باد	عرض از مبدأ	۲۳/۰۵۱	۵/۱۱۶	۴/۵۰۶	۰/۰۰۰
	شیب خط	۰/۷۰۶	۰/۰۷۶	۹/۳۰۹	۰/۰۰۰
عرض و طول دامنه بادپناه	عرض از مبدأ	۱۸/۷۹۶	۴/۹۲۹	۳/۸۱۳	۰/۰۰۰
	شیب خط	۴/۲۷۳	۰/۴۰۷	۱۰/۴۹۶	۰/۰۰۰
طول و عرض پهلو راست	عرض از مبدأ	۱۵/۸۲۴	۱۰/۵۳۴	۱/۵۰۲	۰/۱۳۹
	شیب خط	۲/۸۸۷	۰/۳۳۵	۸/۸۸۸	۰/۰۰۰
طول و عرض پهلو چپ	عرض از مبدأ	۷/۵۹۱	۷/۸۰۹	۰/۹۷۲	۰/۳۳۶
	شیب خط	۲/۶۵۵	۰/۱۹۹	۱۳/۳۲۷	۰/۰۰۰



شکل ۳. رابطه‌های بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی‌شده: الف) رابطه بین طول و عرض؛ ب) رابطه بین طول و ارتفاع؛ پ) رابطه بین عرض و ارتفاع

ارزیابی مقایسه‌ای نتایج تحقیقات مشابه، مؤید دستیابی به معادله‌های متعدد در مناطق مختلف است؛ به طوری که پژوهش‌های شکل‌شناسی کمی بین مؤلفه‌های برخان‌های مناطق دیگر نیز مبین ارتباط خاصی بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌هاست. مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های دیگر به صورت جدول ۴ است.

جدول ۴. نتایج رابطه‌های مورفومتری برخان که دیگر پژوهشگران بیان کرده‌اند.

پژوهشگر	منطقه بررسی شده	ضریب تبیین	رابطه *
فینکل ^۱ (۱۹۵۹: ۶۲۱)	جنوب پرو	---	$W = 10/3 H + 4$
هاستنراس ^۲ (۱۹۶۷: ۳۱۵)	جنوب پرو	---	$W = 8/19 H + 9/52$
مابوت (۱۹۷۷)	جنوب پرو	۰/۷۲	$W = 9/58 H + 5/75$
هسپ و هاستینگر (۱۹۹۸: ۱۹۷)	بیابان نامیبیا	۰/۸۰	$W = 8/82 H + 7/65$
		۰/۷۸	$W = 18/37 H - 15/77$
		۰/۸۴	$\text{Log } W = 0/12 H + 1/12$
سوئرمن ^۳ و همکاران (۲۰۰۰: ۵۳ و ۵۱)	جنوب مراکش	۰/۹۷	$W = 11/1 H + 5/6$
		۰/۹۴	$L = 14/2 H + 17/5$
آل‌هارتی ^۴ (۲۰۰۲: ۳۶۵)	غرب عربستان	۰/۹۸	$H = 0/113 W - 1/11$
		۰/۹۶	$H = 0/51 SL + 0/27$
وانگ ^۵ و همکاران (۲۰۰۷: ۴۰۷)	جنوب شرق چین	---	$W = 14/30 H$
هس ^۶ (۲۰۰۸: ۳)	جنوب پرو	۰/۷۶	$H = 0/0716 W + 0/0858$
نگارش و لطیفی (۱۳۸۷: ۵۳)	شرق دشت سیستان	۰/۷۲۹	$H = -1/375 + 1/182 \ln (WL)$
		۰/۹۴۷	$H = -5/68 + 21/677 \ln (SL)$
		۰/۹۰۳	$H = 0/875439 \ln (W)$

*در این رابطه‌ها W: عرض؛ H: ارتفاع؛ L: طول؛ WL: طول دامنه روبه‌باد و SL: طول دامنه بادپناه برخان است.

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، آلودمتری بررسی مقدار نسبی تغییر در دو جزء از نظام بوده، رشد ارتباط قسمتی از نظام را در مقایسه با رشد کل نظام یا بعضی قسمت‌های دیگر آن بیان می‌دارد. در این پژوهش، برای تعیین نسبت بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی‌شده و شناسایی آلودمتری بین آنها، ابتدا نوع رابطه بین آنها و سپس نوع نسبت از روی رابطه‌های مزبور تعیین شد که نتایج آن در جدول ۵ گزارش شده است.

1. Finkel
2. Hastenrath
3. Sauermann
4. Al Harti
5. wang
6. Hesse

جدول ۵. رابطه و آلومتري بين مؤلفه‌های مورفومتري برخان‌های بررسی شده

مؤلفه	رابطه	نسبت طلايي (آلومتري)
طول و عرض	$W = 0.506L + 12/203$	$\frac{L + 24.117}{W} = \frac{1}{0.506}$
طول و ارتفاع	$H = 0.56L + 0/477$	$\frac{L + 0.852}{H} = \frac{1}{0.56}$
عرض و ارتفاع	$H = 0.086W + 0/65$	$\frac{W + 7.558}{H} = \frac{1}{0.086}$
ارتفاع و عرض پهلوئی راست	$W_a = 0.161H + 1/418$	$\frac{H + 8.807}{W_a} = \frac{1}{0.161}$
ارتفاع و عرض پهلوئی چپ	$W_b = 0.156H + 0/686$	$\frac{H + 4.397}{W_b} = \frac{1}{0.156}$
ارتفاع و طول بازوی راست	$L_a = 0.131H + 1/931$	$\frac{H + 14.74}{L_a} = \frac{1}{0.131}$
ارتفاع و طول بازوی چپ	$L_b = 0.124H + 1/387$	$\frac{H + 11.185}{L_b} = \frac{1}{0.124}$
ارتفاع و طول دامنه روبه‌باد	$L_o = 0.084H + 1/398$	$\frac{H + 16.643}{L_o} = \frac{1}{0.084}$
ارتفاع و طول دامنه بادپناه	$L_s = 0.489H + 1/07$	$\frac{H + 2.188}{L_s} = \frac{1}{0.489}$
عرض و طول بازوی راست	$L_a = 1.469W + 16/762$	$\frac{W + 11.411}{L_a} = \frac{1}{1.469}$
عرض و طول بازوی چپ	$L_b = 1.262W + 15/204$	$\frac{W + 12.047}{L_b} = \frac{1}{1.262}$
عرض و طول دامنه روبه‌باد	$L_o = 0.706W + 23/051$	$\frac{W + 32.65}{L_o} = \frac{1}{0.706}$
عرض و طول دامنه بادپناه	$L_s = 4.273W + 18/796$	$\frac{W + 4.399}{L_s} = \frac{1}{4.273}$
طول و عرض پهلوئی راست	$W_a = 2.887L + 15/824$	$\frac{L + 5.481}{W_a} = \frac{1}{2.887}$
طول و عرض پهلوئی چپ	$W_b = 2.655L + 7/591$	$\frac{L + 2.859}{W_b} = \frac{1}{2.655}$

نتیجه‌گیری

اساس تحلیل‌های ژئومورفولوژی کارکردی بر مبنای دیدگاه نظام‌مند صورت می‌گیرد. ژئومورفولوژی نظام‌مند بر شناسایی شکل و فرایندهای ژئومورفیک و رابطه‌های بین آنها استوار است. کارایی این دیدگاه هنگامی که رابطه‌های متقابل خطی و غیرخطی میان اجزا و عناصر نظام برقرار است، از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود (رامشت، ۱۳۸۵: ۸۰). رویکرد نظام‌مند نوعی نگرش همه‌جانبه و چندبعدی برای شناخت نظام‌ها و نحوه عملکرد آنها در خصوص حل مسائلی است که بشر را احاطه کرده است. در این نگرش، مسائل بر اساس مجموعه عناصر و رابطه‌های بین آنها با مقتضیات محیطی بررسی و در نهایت، راه حل مطلوب عرضه می‌شود. زیربنای نگرش نظام‌مند حاکمیت بینش کل‌گرایی، ژرف‌نگری و رابطه‌سنجی در ابعاد مختلف زمانی و مکانی و در نهایت، غایت‌اندیشی است. بنابراین، می‌توان گفت که این نگرش،

شناخت هر نظامی را به یاری دیدگاه چندبعدی امکان‌پذیر می‌سازد. این عمل، متضمن شناخت عناصر نظام و رابطه‌های بین اجزای آن و نحوه رفتار و عملکرد و چگونگی حل مسائل و کنترل آنهاست (محمدرضایی، ۱۳۸۲: ۱-۲۳). نظام بررسی شده در این پژوهش، چشم‌انداز برخان در میدان ماسه‌ای جنوب شرق کویر حاج علی‌قلی است. برخان از نوع نظام‌های طبیعی باز بوده، در سطوح مختلف قابل الگوسازی است. در این پژوهش، در سطح اول عناصر مورفومتری برخان تعریف و نوع و شدت رابطه‌های بین آنها تعیین و الگوسازی شد. در نهایت، با استفاده از نوع رابطه‌های موجود، نسبت و آلومتری بین مؤلفه‌ها تعیین و تشریح شد.

نتایج رابطه‌سنجی بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان، به‌صورت رابطه‌های آماری در جدول‌های ۳ و ۵ گزارش شده است. با استفاده از این نتایج می‌توان مؤلفه‌های مورفومتری برخان را به‌سادگی و با دقت زیاد در قالب رابطه‌های آماری مزبور محاسبه کرد. بنابراین، نتایج این پژوهش امکان محاسبه دقیق و سریع مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده را به‌منظور شناخت مورفولوژی رفتاری آنها فراهم می‌سازد.

نتایج نشان می‌دهد که ارتباط‌های حاصل از رابطه‌سنجی بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده حاکی از بیشترین ارتباط معنادار خطی طول و ارتفاع برخان با ضریب تبیین ۰/۹۴۵ و انحراف معیار خطای برآورد ۰/۸۸۹ است؛ به این معنی که ۹۴/۵ درصد تغییرات طول برخان به‌وسیله ارتفاع در قالب رابطه خطی توجیح می‌شود، در حالی که ۵/۵ درصد باقیمانده، سهم دیگر متغیرهاست. وجود ارتباطها بین دیگر مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده نیز به‌صورت جدول ۲ است.

برای تعیین نسبت و شناسایی آلومتری بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده، از رابطه‌های آماری بین آنها استفاده شد که نتایج آن در جدول ۵ گزارش شده است. این نتایج نسبت و آلومتری بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های بررسی شده را نشان می‌دهد. همبستگی بین مؤلفه‌های ژئومورفومتری برخان سبب می‌شود که هر برخانی در طول زمان تطور خود، بر اساس ویژگی‌های محیطی از قبیل ناهمواری‌های زمین، رژیم بادی، پوشش گیاهی و مشخصات ماسه، شکل مخصوص به‌خود را کسب کند. اجزای تشکیل‌دهنده برخان دارای شکل مشخصی است که در زمان و مکان قابل تکرار است. به‌طور کلی، محیط مناسب ممکن است مقیاس مورفولوژی سه‌بعدی برخان را تغییر دهد؛ ولی شکل هلالی و اجزای آن به‌نسبت ثابت است. در مجموع، شناسایی و برآورد دقیق مؤلفه‌های مورفومتری برخان و آلومتری بین آنها ممکن است شاخصی برای تعیین دامنه تهدیدات، مقدار تحرک و جابه‌جایی و در نهایت، تعیین روند بیابان‌زایی باشد. بنابراین، نتایج این پژوهش در درجه اول مدیریت محیط را از وضعیت و کارایی ژئوسیستم بادرستی برخانی مطلع می‌سازد که این وضعیت نمایان‌کننده شرایط موجود نسبت به شرایط مطلوب و آرمانی است؛ در درجه دوم این مؤلفه‌ها که ابزاری در اختیار مدیریت محیط محسوب می‌شود، بیان‌کننده روند و گرایش چشم‌انداز برخانی است. مسلماً اگر وضعیت نظام برخانی در جهت اصلاح باشد، مطلوب و مفید خواهد بود؛ اما اگر وضعیت ژئوسیستم برخانی در جهت توسعه و پیشرفت باشد، نامطلوب و مضر بوده، منجر به گسترش بیابان و توسعه بیابان‌زایی می‌شود.

منابع

- المدرسی، س.ع. (۱۳۸۹). «ارگودیسیتی در ژئومورفولوژی». پایان‌نامهٔ دورهٔ دکتری، اصفهان: دانشگاه اصفهان، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- _____، رامشت، م.ح.، عباسی، ع.ر.، معیری، م. و انتظاری، ح. (۱۳۹۱). «ارگودیسیتی در ژئومورفولوژی». فصلنامهٔ جغرافیا و توسعه. ش ۲۷. ص ۵۱-۶۲.
- پناهی، پ.، پورهاشمی، م.، حسنی‌نژاد، م. (۱۳۹۳). «آلومتري زی‌توده و ذخیرهٔ کربن برگ بلوط‌های باغ گیاه‌شناسی ملی ایران». مجلهٔ پژوهش‌های گیاهی (مجلهٔ زیست‌شناسی ایران). ج ۲۷. ش ۱. ص ۱۲-۲۲.
- سیف، ع.، موسوی، س.ح. (۱۳۹۱). «ارزیابی شاخص‌های مورفودینامیک تپه‌های برخانی (مطالعهٔ موردی: ریگ چاه‌جام)». پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ش ۱. ص ۱-۱۸.
- قربانزاده، ق.، رفیعی، غ.، ایگدری، س.، پورباقر، ه. و عفت‌پناه، ا. (۱۳۹۳). «بررسی آلومتري رشد خصوصیات ریختی ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) در طی مراحل اولیهٔ تکوینی». فصلنامهٔ علوم و فنون شیلات. دوره ۳. ش ۲. ص ۳۵-۵۰.
- گابینی، ع.ع.، کاشف، م.، صابری نوغابی، ز. و رضانی، ع. (۱۳۸۹). «تعیین روایی معادلهٔ آلومتري ویژهٔ اندازه‌گیری Vo_2max دانش‌آموزان دختر ۱۲-۱۶ سالهٔ شهر مشهد». فصلنامهٔ المپیک. س ۱۸. ش ۱. پیاپی ۴۹. ص ۱۰۷-۱۱۵.
- محمودی، ش. (۱۳۸۴). «بررسی تغییرات طبیعی تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک (پیمایش تپه‌های ماسه‌ای به‌وسیلهٔ RS و GIS در بازهٔ زمانی ۱۳۶۹-۱۳۸۳)». پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد. اصفهان: دانشگاه اصفهان. دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی. گروه جغرافیا.
- محمودی، ف. (۱۳۸۸). ژئومورفولوژی دینامیک. چ ۹. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- مقیمي، ا.، محمودی، ف. (۱۳۸۳). روش تحقیق در جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی). چ ۱. تهران: انتشارات قومس.
- موسوی، س.ح.، معیری، م. و ولی، ع.ع. (۱۳۸۹). «تلفیق مدل‌سازی ریاضی و آماری برخان (مطالعهٔ موردی: ریگ چاه‌جام)». پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ش ۷۳. ص ۸۳-۹۶.
- _____ ولی، ع.ع. و معیری، م. (۱۳۸۹). «تأثیر مؤلفه‌های مورفومتری برخان بر میزان جابه‌جایی آن (مطالعهٔ موردی: ریگ چاه‌جام)». مجلهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ش ۳۸ (۲). ص ۱۰۱-۱۱۸.
- نگارش، ح. و لطیفی، ل. (۱۳۸۷). «تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشکسالی‌های اخیر». دانشگاه سیستان و بلوچستان. مجلهٔ جغرافیا و توسعه. ش ۱۲. ص ۴۳-۶۰.
- ولی، ع.ع.، شهبازی، ع. و موسوی، س.ح. (۱۳۹۲). «مدل‌سازی روش‌های برآورد مؤلفه‌های مسطحاتی برخان (مطالعهٔ موردی: برخان‌های جنوب کوير چاه‌جام)». مجلهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای. ش ۲۰. ص ۱۶۳-۱۷۹.
- _____ موسوی، س.ح. (۱۳۹۰). «مدل‌سازی برآورد حجم تپه‌های برخانی (مطالعهٔ موردی: برخان‌های منطقهٔ چاه‌جام)». فصلنامهٔ مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. س ۲. ش ۶. ص ۱-۱۴.
- Al-Harathi, A.A. (2002). "Geohazard assessment of sand dunes between Jeddah and Al-Lith, western Saudi Arabia". *Journa of Environmental Geology*. No. 42. pp. 360-369.
- Almodaresi, S.A. (2010). "Ergodicity in Geomorphology". Ph.D. Thesis. Isfahan: University of Isfahan. Faculty of Literature and Humanities. Department of Geography. (In Persian).
- Almodaresi, S.A., Ramesht, M.H., Abbasi, A., Moayeri, M. and Entezari, H. (2012). "Ergodicity in Geomorphology". *Journal of Geography and Development*. 10th Year. No. 27. pp. 11-13. (In Persian).
- Anthonsen, K.L., Clemmensen, L.B. and 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". *Journal of Geomorphology*. No. 17. pp. 63-77.

- Anton, D. and Vincent, P. (1986). "Parabolic dunes of the Jafurah Desert, Eastern Province, Saudi Arabia". *Journal of Arid Environments*. No. 11. pp. 187-198.
- Bagnold, R.A. (1941). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. London: Methuen.
- Daniell, J. and Hughes, M. (2007). "The morphology of barchan-shaped sand banks from western Torres Strait, Northern Australia". *Journal of Sedimentary Geology*. No. 202. pp. 638-652.
- El-belrhiti, H. and Douady, S. (2010). "Equilibrium versus disequilibrium of barchan dunes". *Journal of Geomorphology*. 03416. pp. 1-11.
- Finkel, H.J. (1959). "The barchans of southern Peru". *Journal of Geology*. No. 67. pp. 614-647.
- Gaeini, A.A., Kashef, M., Saberi-Noghabi, Z. and Ramezani, A.R. (2010). "Determining the Validity of Allometry Equation Measurement Vo²max 12-16 year Old Female Students in Mashhad". *Journal of Olympic*. Vol. 18. No. 1 (49). pp. 107-115. (In Persian).
- Gay, S.P. (1999). "Observations regarding the movement of barchan sand dunes in the Nazca to Tanaca area of southern Peru". *Journal of Geomorphology*. No. 27. pp. 279-293.
- Ghorban-zadeh, Gh., Rafiee, Gh., Eagderi, S., Pour-bagher, H. and Efat-panah, I. (2014). "Early development and allometric growth patterns in Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*)". *Journal of Fisheries Science and Technology*. Vol. 3. No. 2. pp. 35-50. (In Persian).
- Gould, S.J. (1966). "Allometry and size in ontogeny and phylogeny". *Biol. Rev.* No. 41. pp. 587-640.
- Hastenrath, S. (1967). "The barchans of the Arequipa Region, Southern Peru". *Zeitschrift für Geomorphology*. No. 11. pp. 300-331.
- Herrmann, H.J. and Sauerman, G. (2000). "The shape of dunes". *Journal of Physical A*. No. 283. pp. 24-30.
- Hersen, P. (2004). "On the crescentic shape of barchan dunes". *The European Physical Journal B*. No. 37. pp. 507-514.
- Hesp, P. and Hastings, K. (1998). "Width, height and slope relationships and aerodynamic maintenance of barchans". *Journal of Geomorphology*. No. 22. pp. 193-204.
- 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". *Journal of Geomorphology*. 02747. pp. 1 - 6.
- Howard, A.D., Morton, J.B., Gad-El-H, M. and Pierce, D.B. (1978). "Sand transport model of barchan dune equilibrium". *Journal of Sedimentology*. No. 25. pp. 307-338.
- Hugenholtz, C.H., et al. (2008). "Spatial and temporal patterns of aeolian sediment transport on an inland parabolic dune, Bigstick Sand Hills, Saskatchewan, Canada". *Journal of Geomorphology*. 02707. pp. 1- 13.
- Mahmoudi, F.A. (2009). *Dynamic Geomorphology*. 9th Edition. Tehran: University of Payame Nour Press.
- Mahmoudi, Sh. (2005). "Evaluation of Natural Change of Sand Dunes in Jask East (Monitoring of Sand Dunes by RS and GIS in the Period 1369-1383)". M.Sc. Thesis. Isfahan: University of Isfahan. Faculty of Literature and Humanities. Department of Geography. (In Persian).
- Moghimi, E. and Mahmoudi, F.A. (2004). *Methods in Physical Geography (Geomorphology)*. First Edition. Tehran: Publication of Ghoomes. (In Persian).
- Mosley, M.P. and Zimpfer, G.L. (1976). "Explanation in geomorphology". *Zeitschrift für Geomorphology*. NF 20. pp. 381-90.
- Mousavi, S.H., Dorgouie, M., Vali, A.A., Pour-khosravani, M. and Arab-Ameri, A.R. (2010). "Statistical Modeling of Morphological Parameters of Barchan Dunes (Case Study: Chah Jam Erg in South of Haj Ali GHoli Playa, in Central Part of Semnan Province, IRAN)". *Journal of Geography and Geology*. Vol. 2. No. 1. pp. 98-113. (In Persian).
- Mousavi, S.H., Moayeri, M. and Vali, A.A. (2010). "The Combination of Mathematical and Statistical Modeling of Barchan Dunes (Case study: Chan Jam Erg)". *Journal of Physical Geography Research Quarterly*. Vol. 42. No. 73. pp. 83-96.
- Mousavi, S.H., Vali, A.A. and Moayeri, M. (2010). "The Effectiveness of Barchan Morphometric Parameters on Its Movement Rate (Case Study: Chah Jam Erg)". *Journal of Geography and Environmental Planning*. Vol. 21. No. 2. pp. 101-118. (In Persian).

- Negaresh, H. and Latifi, L. (2008). "Geomorphological Analysis of Dunes Drifting Process in the East of Sistan Plain During Recent Draughts". Iranian Journal of Geography and Development. Vol. 6. No. 12. pp. 43-60. (In Persian).
- Niklas, K.J. (1994). *Plant allometry: the scaling of form and process*. USA; University of Chicago Press. 395 pp.
- Osse, J., Van Den Boogaart, J., Van Snik, G. and Van Der Sluys, L. (1997). "Priorities during early growth of fish larvae". Aquaculture. No. 155. pp. 249-258.
- Panahi, P., Pour-hashemi, M. and Hassani-nejad, M. (2014). "Allometric equations of leaf biomass and carbon stocks of oaks in National Botanical Garden of Iran". Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology). Vol. 27. No. 1. pp. 12-22. (In Persian).
- Peters, R.H. (1983). *The ecological implications of body size*. UK: Cambridge University Press. 345 pp.
- Rowland, T.W. (2005). *Children's exercise physiology*. 2nd Edition.
- Safe, A. and Mousavi, S.H., 2012. "Investigation of Morphodynamic Indices of Barchan Dunes (Case Study: Chah Jam Erg)". Journal of Quantitative Geomorphological Researches. Vol. 1. No. 1. pp. 1-18. (In Persian).
- Sauermann, G., Andrade, J.S., Maia, L.P., Costa, U.M.S., Araujo, A.D. and Herrmann, H.J. (2003). "Wind velocity and sand transport on a barchan dune". Journal of Geomorphology. No. 54. pp. 245-255.
- Sauermann, G., Rognon, P., Poliakov, A. and Herrmann, H.J. (2000). "The shape of the barchan dunes of Southern Morocco". Journal of Geomorphology. No. 36. pp. 47-62.
- Vali, A.A. and Mousavi, S.H. (2011). "Modeling for Estimation of Barchan Dunes Volume (Case Study: Barchans of Chah Jam Region)". Journal of Arid Regions Geographic Studies. Vol. 2. No. 6. pp. 1-14. (In Persian).
- Vali, A.A., Shahbazi, A.R. and Mousavi, S.H. (2013). "Modeling for Estimation of Barchan Plane Geometry (Case Study: Barchans in South of Chah Jam Playa)". Journal of Geography and Regional Development. Vol. 11. No. 20. pp. 163-179. (In Persian).
- Valle, H.F.del., Rostagon, F.R.C.M., Coronato, F.R., Bouza, P.J. and Blanceo, P.D. (2008). "Sand dune activity in north-eastern Patagonia". Journal of arid Environment. No. 72. pp. 411-422.
- Van Snik, G.M.J., Van Den Boogaart, J.G.M. and Osse, J.W.M. (1997). "Larval growth patterns in *Cyprinus carpio* and *Clarias gariepinus* with attention to the finfold". Journal of Fish Biology. No. 50. pp. 1339-1352.
- Wang, T.Z., Chen Tao, S., Wen Xie, Y. and Hui Dong, G. (2007). "Barchans of Minqin: Morphometry". Journal of Geomorphology. No. 89. pp. 405-411.
- Weibel, E.R., Bacigalupe, L.D., Schmitt, B. and Hoppeler, H. (2004). "Allometric scaling of maximal metabolic rate in mammals: muscle aerobic capacity as determinant factor". Journal of Respir Physiol Neurobiol. No. 20. 140 (2). pp. 115-132.
- Wippermann, F.K. and Gross, G. (1986). "The wind-induced shaping and migration of an isolated dune: A numerical experiment". Journal of Boundary-Layer Meteorol. No. 36. pp. 319-334.