

## مدل‌سازی روش‌های برآورد مؤلفه‌های مسطحاتی برخان

(مطالعه موردی: برخان‌های جنوب کویر چاه‌جام)

عباسعلی ولی (استادیار گروه بیابان‌زایی دانشگاه کاشان)

abvali@yahoo.com

علی‌رضا شهبازی (دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان)

shahbaz46@email.com

سید حجت موسوی (دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان نویسنده مسؤل)

hmousavi15@gmail.com

### چکیده

برخان‌ها، یکی از مشهورترین تپه‌های ماسه‌ای هستند که حاصل تراکم رسوبات بادی در مناطقی با وضعیت ضعیف تا متوسط از نظر میزان رسوب و بادهای غالب یک جهت می‌باشند. خصوصیات شکل‌شناسی برخان، متأثر از عوامل مختلف زمانی و مکانی است. ارتباط بین مؤلفه‌های مورفومتری برخان پیوند نزدیکی با مورفولوژی سه بعدی آن دارد. شناسایی این روابط و ارائه مدل‌های آن‌ها در شناخت رفتار و نحوه عملکرد این چشم‌انداز در طبیعت مؤثر خواهد بود. هدف از این پژوهش مدل-سازی روش‌های برآورد پارامترهای مسطحاتی برخان نظیر محیط و مساحت به کمک مؤلفه‌های مورفومتری آن در قالب مدل‌های آماری در منطقه جنوب کویر چاه‌جام است. در این زمینه، ابتدا مهم‌ترین پارامترهای مورفومتری ۵۲ برخان به روش نمونه‌برداری طولی مورد اندازه‌گیری میدانی قرار گرفت. سپس با تحلیل و ارزیابی آن‌ها از طریق آزمون‌های آماری، رابطه‌سنجی و مدل‌سازی مؤلفه‌های محیط و مساحت برخان‌های مطالعاتی انجام شد. نتایج آنالیز رگرسیون غیرخطی چندگانه، حاکی از ارتباط معنی‌دار مساحت با حاصل ضرب طول و عرض با ضریب تبیین ۰/۹۳۶ و خطای برآورد ۰/۳۲۱ است. همچنین رابطه محیط با حاصل جمع طول و عرض با ضریب تبیین ۰/۹۰۴ و خطای برآورد ۰/۴۳۱ معنی‌دار می‌باشد. در مجموع نتایج تحقیق حاضر امکان محاسبه دقیق و سریع مؤلفه‌های مسطحاتی برخان را در قالب مدل‌های آماری فراهم می‌آورد.

کلیدواژه‌ها: آنالیز رگرسیون، برخان، کویر چاه‌جام، مدل‌سازی، مؤلفه‌های مسطحاتی.

## ۱- مقدمه

ژئومورفولوژی نواحی تحت تسلط باد، زمینه غنی و گسترده‌ای برای بررسی فرآیندها و لندفرم‌های بادی در سطح زمین فراهم کرده است. حمل ماسه توسط باد، تحت تأثیر روابط پیچیده غیرخطی صورت می‌گیرد و تکامل ناهمواری‌های ماسه‌ای، متأثر از پدیده خود تنظیمی حاکم بر سیستم چشم‌انداز است (Bass, 2007: 311).

در رژیم‌های پایدار، به تدریج بین جریان نسبی هوا و تثبیت موقت ماسه تعادل برقرار است. چنانچه به هر دلیلی تغییری در سرعت باد به وجود آید، این تعادل بهم‌خورده و بر حسب افزایش و کاهش سرعت باد، به ترتیب پدیده تخریب و رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد. اگر سرعت باد کاهش یابد کاوش و جابه‌جایی ماسه به تدریج متوقف شده و رسوب‌گذاری رخ می‌دهد (محمودی، ۱۳۸۷: ۲۳۷). یکی از فراوان‌ترین و مشخص‌ترین چهره‌های تراکم ماسه، تپه‌های هلالی شکل هستند که به برخان شهرت دارند (احمدی، ۱۳۸۷: ۳۰۷). این تپه‌ها از ماسه متحرک تشکیل شده و در جهت باد غالب جابه‌جا می‌شوند (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۲). در اثنای حرکت، تا زمانی که شرایط و شدت عوامل محیطی ثابت باشد و میزان ورودی و خروجی آن نیز برابر باشد، شکل خود را حفظ نموده و در اغلب موارد بر حجم آن‌ها افزوده می‌شود (Gay, 1999: 279). این عارضه در مناطقی تشکیل می‌شود که وضعیت پوشش گیاهی ضعیف بوده و ماسه برای پوشاندن کامل سطح وجود نداشته‌باشد و باد نیز در اغلب طول سال از جهت یکسان برخوردار باشد (Bagnold, 1941; Sauermann et al., 2000: 1; El belrhiti & Douady, 2010: 47).

برخان‌ها از یک بدنه هلالی شکل با شیب ملایم در جهت رو به باد و شیب تند در جهت بادپناه و دو بازو در انتهای هلال تشکیل شده‌اند (محمودی، ۱۳۸۷: ۲۶۱). محل برخورد دو دامنه خط‌الرأس نام دارد که ممکن است بر بیشینه ارتفاع برخان منطبق شده و یا از آن فاصله گیرد (Sauermann et al, 2003: 245). جهت بازوهای برخان امتداد باد را نشان داده و کشیدگی آن‌ها نشان از بیشینه سرعت باد در این قسمت است، اما در پای دامنه بادپناه برخان فشار باد به کمینه ممکن می‌رسد (محمودی، ۱۳۸۷: ۲۶۱). حرکت ماسه به صورت جابه‌جایی دانه به دانه ذرات بر روی شیب ملایم دامنه رو به باد تپه برخانی انجام

می‌گیرد، که این عمل موجب حرکت برخان در جهت باد با حفظ شکل هلالی آن می‌شود (Hersen, 2004: 507).

به‌طور کلی حرکت برخان تابعی از سرعت و شدت باد، خصوصیات ذرات ماسه، میزان رطوبت، تراکم و نوع پوشش گیاهی، میزان و جهت شیب، ناهمواری‌های سطح زمین و شکل سه بعدی آن است (Hesse & Simpson, 2006: 286).

تحرک برخان‌ها سبب می‌شود که هر سال مقدار زیادی ماسه، اراضی کشاورزی، مراکز سکونتگاهی و راه‌های دسترسی را در کام خود فرو برده و سبب نابودی آن‌ها گردد. این مسأله باعث عدم اجرای طرح‌های محرومیت‌زدایی شده و ایجاد فقر مضاعف اقتصادی در بین ساکنان منطقه و مهاجرت آن‌ها به سایر مناطق را در پی دارد. بنابراین شناخت و بررسی دقیق تپه‌های برخانی محدوده مطالعاتی و تحلیل علمی خصوصیات آن‌ها می‌تواند در مدیریت محیط منطقه و استفاده بهینه از منابع طبیعی، اقتصادی و ویژگی‌های تفریحی و توریستی بسیار مفید باشد. نتایج حاصل از این پژوهش در مدیریت مبتنی بر نگرش سیستمی مناطق بیابانی نتیجه‌بخش بوده و همچنین در طرح‌های تثبیت ماسه‌های متحرک برخان-ها و شناسایی مناطق بحرانی فرسایش بادی سازنده است.

در این پژوهش با تکیه بر روش‌های اندازه‌گیری رقومی مبادرت به بررسی روابط موجود بین پارامترهای مورفومتری برخانها در جنوب کویر چاه‌جام شده‌ایم. هدف از این تحقیق، ارائه مدل‌های مناسب جهت دست‌یابی به پارامترهای مسطحاتی برخان شامل محیط و مساحت با استفاده از مؤلفه‌های تک بعدی برخان می‌باشد. فرضیات مطرح شده در این پژوهش مقایسه ارتباطات بین مؤلفه‌های تک بعدی با محیط و مساحت برخان است. تعیین مشخصات محیط و مساحت برخان در تعریف شاخص-های شکل‌شناسی آن اهمیت دارد؛ به عبارت دیگر مؤلفه‌های مسطحاتی برخان می‌توانند به عنوان زیرساخت مدل‌سازی شاخص‌های شکل‌شناسی مختلف مانند شاخص‌های طبیعی، ناهمواری و شاخص شکل مدّ نظر قرار گیرند، به‌طوری‌که با شناخت ویژگی‌های مسطحاتی برخان می‌توان به کمیّی از اندازه، میزان خمیدگی، میزان کشیدگی، میزان ناهمواری طبیعی، میزان جابه‌جایی و تحرک و سایر شاخص‌های طبیعی برخان دست یافت و نحوه توجیه فرم و فرآیند را در مسیر تکامل و تعادل مورد بررسی قرار داد.

## ۲- پیشینه تحقیق

مطالعات شکل‌شناسی متعددی توسط ژئومورفولوژیست‌ها، روی تپه‌های برخانی صورت گرفته است، به طوری که اولین اندازه‌گیری‌های مربوط به تپه‌های برخانی و بررسی روابط شکل‌شناسی میان آن‌ها توسط بگنولد<sup>۱</sup> (۱۹۴۱: ۱۲۶) در صحرای کبیر آفریقا و فینکل<sup>۲</sup> (۱۹۵۹: ۶۱۴) در جنوب پرو انجام گرفت. مطالعات در مورد شبیه‌سازی‌های رقومی برای پیش‌بینی تحرکات و دگرگونی‌های تپه‌های برخانی و شکل‌شناسی آن‌ها توسط هووارد<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۷۸: ۳۰۷)، وایپرمن و گراس<sup>۴</sup> (۱۹۸۶: ۳۱۹)، آنتون و وین‌سنت<sup>۵</sup> (۱۹۸۶: ۱۸۷)، لندزبرگ<sup>۶</sup> (۱۹۵۶: ۱۷۶)، آنتسن<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۹۶: ۶۳) صورت گرفته است. هسپ و هاستینگز<sup>۸</sup> (۱۹۹۸: ۱۹۳) با بررسی روابط بین ارتفاع و عرض برخان، این روابط را به عنوان عوامل کنترل‌کننده شکل سه بعدی برخان معرفی نموده‌اند. گی<sup>۹</sup> (۱۹۹۹: ۲۷۹) با مطالعه جابه‌جایی تپه‌های برخانی جنوب پرو بیان داشت که سرعت حرکت برخان با اندازه آن نسبت معکوس دارد. سایرمان<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۰: ۴۷) با مطالعه تپه‌های برخانی جنوب مراکش مدلی برای شکل برخان ارائه داده‌اند که بر اساس آن می‌توان اختلافات بین برخان‌ها و ویژگی پایداری آن‌ها را تعریف کرد. هرمان و سایرمان<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۰: ۲۴) با مطالعه تپه‌های مراکش مدل‌هایی را برای تحرکات و پویایی سطح بستر آن‌ها ارائه نموده‌اند. سایرمان<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۰۳: ۲۴۵) سرعت باد و میزان حمل ماسه را روی تپه‌های برخانی بررسی کرده و اختلافات عمده بین جریان‌های بادی اشباع شده و نشده از ماسه را بیان نموده‌اند. تینگ وانگ<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۰۷: ۴۰۵) با بررسی برخان‌های شمال‌غرب چین با استفاده از تئوری‌های هندسی بیان نموده‌اند که ارتفاع برخان با عرض آن تناسب دارد

1. Bagnold
2. Finkel
3. Howard
4. Wippermann & Gross
5. Anton & Vincent
6. Landsberg
7. Anthonsen
8. Hesp & Hastings
9. Gay
10. Sauermann
11. Herrmann & Sauermann
12. Sauermann
13. Ting Wang

و خط‌الراس برخان را می‌توان از طریق شکل یک سهمی توصیف کرد. دانیل و هیوز<sup>۱</sup> (۲۰۰۷: ۶۳۸) شکل‌شناسی برخان‌های استرالیا و ارتباط آن‌ها با نوع رژیم فصلی باد در منطقه را بررسی کرده‌اند. هاگن‌هلتز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸: ۱۳) ضمن مطالعه الگوهای موقت و فضایی حمل رسوبات بادی بر روی برخان‌ها، میزان ورودی و خروجی و نرخ انتقال مقدار ماسه را با توجه به متغیرهای اقلیمی منطقه روی این عوارض بررسی نموده‌اند. والی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸: ۴۱۱) خصوصیات شکل‌شناسی و تحرکات تپه‌های ماسه‌ای را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بیابان پاتاگونی<sup>۴</sup> در آرژانتین بررسی کرده و وجود این میدان ماسه‌ای را در نتیجه گردش عمومی هوا و خصوصیات خط ساحل بیان نموده‌اند. هس<sup>۵</sup> (۲۰۰۸: ۴) ضمن مطالعه حرکات دسته‌جمعی برخان‌های جنوب پرو، بیان کرده است که از طریق خصوصیات چینه‌شناسی این عوارض می‌توان تغییرات دیرینه‌شناسی زیست محیطی منطقه را بازسازی نمود. دوران<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۰: ۱۵۹۲) و کاتسوک<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۰: ۱) به مطالعه تپه‌های برخانی به صورت آزمایشگاهی و رایانه‌ای پرداخته و نهایتاً یک مدل تلفیقی برای شبیه‌سازی عددی تپه‌های متحرک برخانی، که در آن‌ها جهش و ریزش ماسه فرایندهای ابتدایی هستند، ارائه نموده‌اند. نگارش و لطیفی (۱۳۸۷: ۴۳) خصوصیات ژئومورفولوژیکی تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان را ارزیابی کرده و با ارائه داده‌هایی در رابطه با خصوصیات مورفومتری برخان‌ها، به مدل‌سازی روابط آن‌ها پرداخته و با بیان مقدار جابه‌جایی فصلی و سالیانه تپه‌ها عوامل موثر بر تحرکات آن‌ها را نیز بررسی کرده‌اند. موسوی و همکاران (۱۳۸۹: ۱۰۱) مورفودینامیک برخان‌های ریگ چاه‌جام را بررسی نموده و با استفاده از تحلیل‌های آماری میزان جابه‌جایی سالیانه آن‌ها در سال ۱۳۸۸ را از طریق پارامترهای مورفومتری مدل‌سازی نموده‌اند.

### ۳- روش تحقیق

پس از تعیین حدود منطقه، به منظور بررسی آماری خصوصیات برخان‌ها، مؤلفه‌های مورفومتری آن‌ها اندازه‌گیری شد. مبنای اندازه‌گیری (شکل ۲) می‌باشد که انواع پارامترهای مورفومتری برخان و

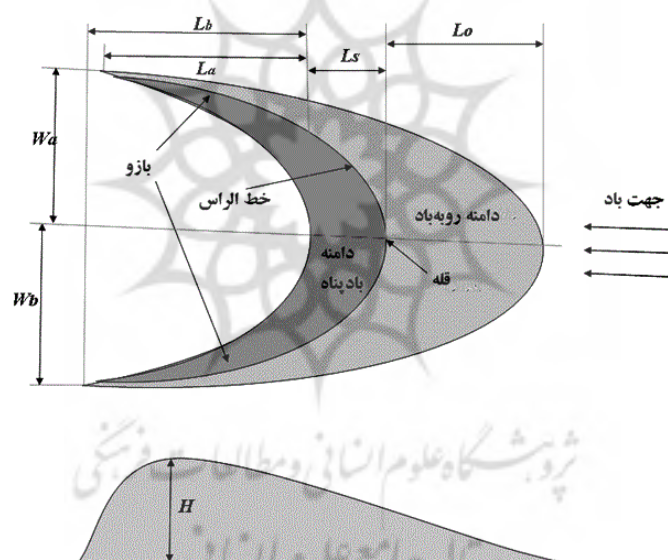
1. Daniell & Hughes
2. Hugenholtz
3. Valle
4. Patagoni
5. Hesse
6. Durán
7. Katsuki

نحوه‌ی اندازه‌گیری آن‌ها را به تصویر کشیده است. نمونه‌برداری از برخان‌ها در امتداد ۱۰ ترانسکت که تقریباً کل مساحت منطقه برخانی را پوشش داده، انجام شد. حجم نمونه مطالعاتی به موقعیت برخان‌ها نسبت به محل ترانسکت‌های مستقر شده بستگی دارد. در مجموع ۵۲ برخان مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفت. نحوه‌ی محاسبه طول و عرض کامل برخان به شرح معادلات (۱) و (۲) است:

$$L = L_o + L_s + \left(\frac{L_a + L_b}{2}\right) \quad \text{معادله (۱): طول کامل:}$$

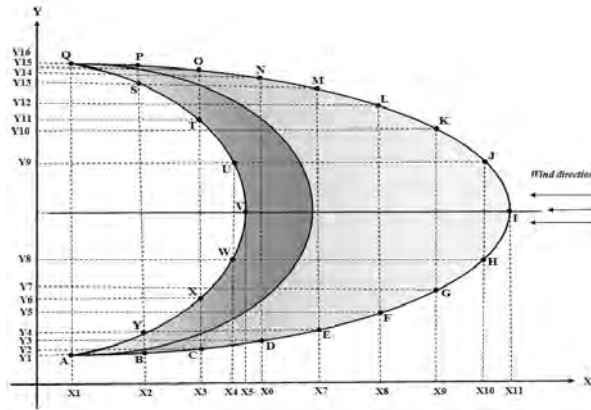
$$W = W_a + W_b \quad \text{معادله (۲): عرض کامل:}$$

شکل ۲: مؤلفه‌های مورفومتری برخان؛  $h$ : ارتفاع؛  $W_a$ : عرض پهلو راست؛  $W_b$ : عرض پهلو چپ؛  $L_a$ : طول بازوی راست؛  $L_b$ : طول بازوی چپ؛  $L_o$ : طول دامنه روبه‌باد؛  $L_s$ : طول دامنه بادپناه



مأخذ: اقتباس از Hesp & Hastings, 1998: 195; Sauermann et al., 2000: 48; Hughe & Daniell, 2007: 642

جهت تخمین محیط و مساحت برخان، ابتدا روی زمین برای هر برخان یک دستگاه مختصات فرضی در نظر گرفته و روی محیط آن تعداد ۲۴ نقطه تعیین مختصات گردید. سپس نقاط برداشت شده با مقیاس ۱:۲۰۰ بر روی کاغذ شطرنجی ترسیم شد (شکل ۳). نهایتاً برای هر برخان، مساحت به کمک پلانیمتر و محیط با استفاده از کروی‌متر محاسبه شد.

شکل ۳: مختصات نقاط برداشت شده روی تپه برخانی:  $A(x_1, y_1), B(x_2, y_1), C(x_3, y_2), \dots$ 

مأخذ: نگارندگان

پس از تشکیل پایگاه داده (جدول ۱)، به کمک نرم افزار SPSS و با استفاده از تکنیک آنالیز رگرسیون، ارتباطات بین مؤلفه های مورفومتری با محیط و مساحت بررسی شد. در گام بعد براساس شاخص های ارزیابی معادلات، مدل های پیشنهادی مناسب جهت محاسبه پارامترهای محیط و مساحت برخان ارائه و در نهایت مناسب ترین آن ها گزارش شد.

جدول (۱): مشخصات آمار توصیفی پارامترهای مورفومتری برخان های مطالعاتی

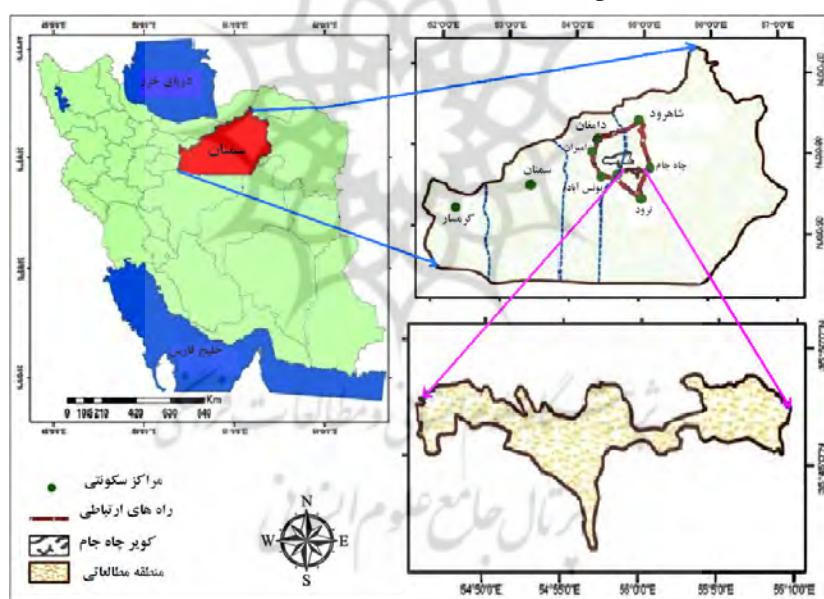
مؤلفه*	دامنه	حد اقل	حد اکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی
عرض پهلوی چپ	۸۶/۰۰	۳/۱	۸۹/۱۰	۲۷/۳۱۱	۱۷/۶۵۷	۱/۱۹۵
عرض پهلوی راست	۹۱/۴۰	۳/۲۰	۹۴/۶۰	۳۲/۷۹۶	۲۱/۶۷۲	۱/۰۴۱
عرض کامل	۱۵۹/۳۰	۶/۳۰	۱۶۵/۶۰	۶۰/۱۰۷	۳۷/۹۳۰	۰/۹۶۶
طول بازوی چپ	۷۶/۳۰	۴/۲۰	۸۰/۵۰	۲۹/۴۹۸	۲۰/۱۹۱	۰/۱۰۳
طول بازوی راست	۸۷/۸۰	۱/۵۰	۸۹/۳۰	۳۵/۵۷۳	۲۲/۶۷۳	۰/۷۲۸
طول دامنه رو به باد	۲۱۴/۵۰	۹/۱۰	۲۲۳/۶۰	۵۲/۴۶۷	۴۲/۷۶۱	۱/۷۲۷
طول دامنه باد پناه	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
مساحت	۲/۹۹E۴	۸۱/۲۰	۳۰۸۲۴/۵۱	۵/۰۸۱۳E۳	۵۹۰۷/۲۱۵	۲/۱۲۱
محیط	۹/۲۵E۴	۷۵/۱۵	۱۰۳۸/۱۵	۳/۲۷۲۵E۳	۲۰۶/۵۷۱	۱/۲۴۳

مأخذ: نگارندگان \* واحد طول و عرض و محیط به متر و واحد مساحت به متر مربع است.

## ۳-۱- منطقه مطالعاتی

کویر چاه‌جام در جنوب غربی شاهرود و جنوب دامغان در استان سمنان و در یک چاله رسوبی - ساختمانی تشکیل شده است. به دلیل فقر پوشش گیاهی و کمبود ریزش‌های جوئی در اطراف این کویر فرایندهای شکل‌زایی بادی بر دیگر فرایندها حاکمیت دارند و می‌توان انواع رخساره‌های فرسایش بادی را در این منطقه مشاهده نمود. محدودهٔ برخانی جنوب کویر چاه‌جام با وسعت حدود ۶/۲۵۲ کیلومتر مربع یکی از مهم‌ترین مناطق برخانی موجود در حاشیهٔ این کویر 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 منطقه در محدوده‌ای به عرض ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول ۵۴ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱).

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی



مأخذ: نگارندگان



## ۴- یافته‌های تحقیق

در پژوهش حاضر انواع روش‌های رگرسیون ساده خطی و غیرخطی و رگرسیون چند متغیره جهت مدل‌سازی مؤلفه‌های مسطحاتی برخان‌های مطالعاتی آزمون و از بین آن‌ها روابطی با ارزش رجحانی بالاتر انتخاب شد. به طوری که بهترین روابط از توابع خطی، توانی، حاصل جمع و حاصل ضرب تبعیت می‌کنند. نتایج حاصل از بررسی ارتباطات و مدل‌سازی آماری در (جدول ۲ و ۳) و (شکل ۴) ارائه شده است. خلاصه مدل‌های به دست آمده از تحلیل‌های آماری بین مؤلفه‌های محیط و مساحت با طول و عرض برخان‌های محدوده مطالعاتی به شرح (جدول ۲) می‌باشد که در آن ضریب هم‌بستگی، ضریب تبیین، ضریب تعدیل شده، انحراف معیار خطای برآورد و سطح معنی‌داری گزارش شده است.

جدول ۲: نتایج حاصل از رابطه‌سنجی بین مؤلفه‌های مورفومتری و مسطحاتی برخان‌های مطالعاتی

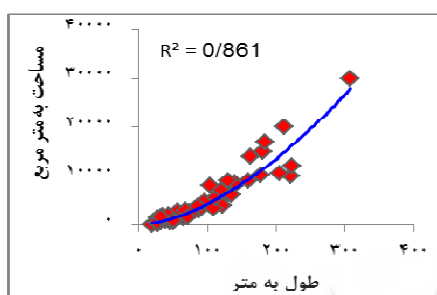
مؤلفه	نوع رابطه	ضریب هم-بستگی	ضریب تبیین	ضریب تعدیل شده	انحراف معیار خطای استاندارد	سطح معنی‌دار
عرض و مساحت	توانی	۰/۹۵۹	۰/۹۲۱	۰/۹۱۹	۰/۳۵۶	۰/۰۰۰
طول و مساحت	توانی	۰/۹۲۸	۰/۸۶۱	۰/۸۵۸	۰/۴۷۱	۰/۰۰۰
طول و عرض با مساحت	حاصل ضرب	۰/۹۸۱	۰/۹۳۶	۰/۹۶۲	۰/۳۲۱	۰/۰۰۰
عرض و محیط	خطی	۰/۹۱۹	۰/۸۴۵	۰/۸۴۲	۰/۸۸۳	۰/۰۰۰
طول و محیط	خطی	۰/۹۲۳	۰/۸۵۱	۰/۸۴۸	۰/۵۲۲	۰/۰۰۰
طول و عرض با محیط	حاصل جمع	۰/۹۵۱	۰/۹۰۴	۰/۹۰۲	۰/۴۳۱	۰/۰۰۰

مأخذ: نگارندگان

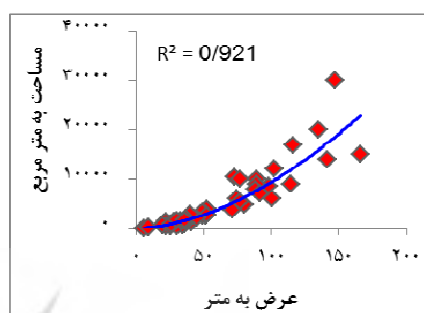
خلاصه مدل‌های استخراج شده از رابطه‌سنجی بین مؤلفه‌های مورفومتری و مسطحاتی برخان‌های مطالعاتی به شرح (شکل ۴) می‌باشد.

شکل ۴: ارتباط بین مؤلفه‌های مسطحاتی و مورفومتری برخان‌های مطالعاتی؛ الف) رابطه بین عرض و مساحت؛ ب) رابطه بین طول و مساحت؛ ج) رابطه بین عرض و محیط؛ د) رابطه بین طول و محیط؛ و) رابطه بین مقدار مشاهده‌شده و مقدار پیش‌بینی‌شده محیط برخان؛ ه) رابطه بین مقدار مشاهده‌شده و مقدار پیش‌بینی‌شده مساحت برخان

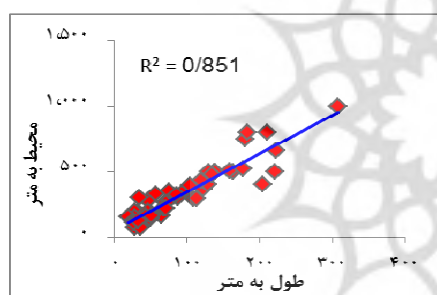
مشاهده‌شده و مقدار پیش‌بینی‌شده مساحت برخان



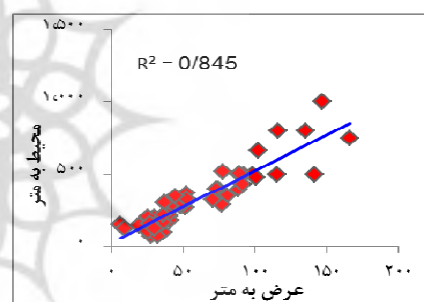
ب



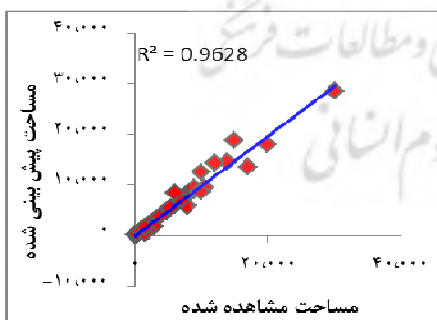
الف



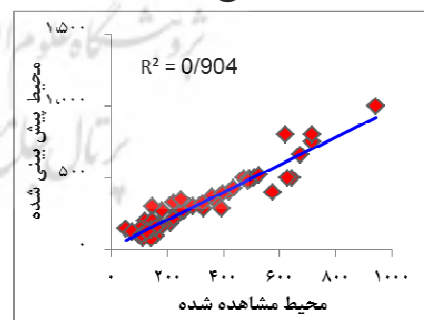
د



ج



ه



و

مأخذ: نگارندگان

معادلات به دست آمده از روابط مساحت با مؤلفه‌های مورفومتری برخان‌های مطالعاتی نمایانگر حد اکثر ارتباط معنی دار حاصل ضرب مساحت با طول و عرض برخان با ضریب تبیین ۰/۹۳۶ و خطای برآورد ۰/۳۲۱ می باشد. به این معنا که ۹۳/۶٪ تغییرات مساحت برخان به وسیله مؤلفه‌های طول و عرض در قالب رابطه حاصل ضرب توجیه می گردد. ارتباطات حاصل از روابط محیط با سایر مؤلفه‌های مورفومتری برخان بیانگر حد اکثر ارتباط معنی دار حاصل جمع محیط با مؤلفه طول و عرض برخان با ضریب تبیین ۰/۹۰۴ و خطای برآورد ۰/۴۳۱ می باشد. به عبارتی ۹۰/۴٪ تغییرات محیط برخان به وسیله مؤلفه‌های طول و عرض در قالب رابطه حاصل جمع توجیه می شود. وجود سایر ارتباطات بین مساحت و محیط با طول و عرض برخان نیز به شرح (جدول ۲) می باشد.

بر اساس شکل کلی معادلات خطی (رابطه ۳) جهت ارائه مدل خطی دو پارامتر عرض از مبدأ و شیب خط و جهت ارائه مدل توانی (رابطه ۴)، مؤلفه‌های مقدار ثابت و توان معادله مورد نیاز می باشد. همچنین جهت ارائه مدل حاصل ضرب و حاصل جمع که معادله آن‌ها به ترتیب به شرح روابط (۵) و (۶) است، پارامتر ضریب حاصل ضرب و ضریب حاصل جمع لازم می باشد.

رابطه (۳) رابطه خطی:  $Y = b_0 + b_1 X$  (عرض از مبدأ  $b_0$  و شیب خط  $b_1$ )

رابطه (۴) رابطه توانی:  $Y = b_0 \times X^{b_1}$  (مقدار ثابت  $b_0$  و توان  $b_1$ )

رابطه (۵) رابطه حاصل ضرب:  $Y = b_0 \times X_1 \times X_2$  (ضریب حاصل ضرب  $b_0$ )

رابطه (۶) رابطه حاصل جمع:  $Y = b_0 \times (X_1 + X_2)$  (ضریب حاصل جمع  $b_0$ )

ضرایب و روابط کشف شده بین مؤلفه‌های مسطحاتی و مورفومتری برخان‌های مطالعاتی و همچنین انحراف معیار، مقدار  $t$  و آزمون سطح معنی داری ضرایب معادلات آن‌ها در (جدول ۳) گزارش شده است.

جدول ۳: ضرایب روابط موجود بین مؤلفه‌های مورفومتری و مسطحاتی برخان‌های مطالعاتی

رابطه	ضرایب معادله	مقدار ضرایب	انحراف معیار	مقدار t	سطح معنی‌داری
عرض و مساحت	مقدار ثابت	۲/۸۳۴	۰/۷۹۳	۳/۴۴۷	۰/۰۰۱
	توان	۱/۷۶۸	۰/۰۷۳	۲۴/۰۶۳	۰/۰۰۰
طول و مساحت	مقدار ثابت	۱/۹۴۱	۰/۸۰۶	۲/۴۰۹	۰/۰۲۰
	توان	۱/۶۷۱	۰/۰۹۵	۰/۹۲۸	۰/۰۰۰
طول و عرض با مساحت	ضریب حاصل ضرب	۰/۶۳۱	۰/۰۱۳	۳۵/۹۸۵	۰/۰۰۰
عرض و محیط	عرض از مبدأ	۲۶/۳۶۴	۲۱/۴۰۵	۱/۲۲۶	۰/۰۲۶
	شیب	۵/۰۰۶	۰/۳۰۳	۱۶/۵۰۰	۰/۰۰۰
طول و محیط	عرض از مبدأ	۵۰/۳۰۴	۱۹/۸۲۹	۲/۵۳۷	۰/۰۱۴
	شیب	۲/۹۲۵	۰/۱۷۳	۱۶/۹۰۱	۰/۰۰۰
طول و عرض با محیط	ضریب حاصل جمع	۲/۰۷۱	۰/۰۴۹	۲۱/۶۷۵	۰/۰۰۰

مأخذ: نگارندگان

## ۵- نتیجه‌گیری

رویکرد سیستمی، نوعی نگرش همه‌جانبه و چندبعدی برای شناخت سیستم‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها در خصوص حل مسائلی است که بشر را احاطه کرده‌اند. در این نگرش مسائل بر اساس مجموعه عناصر و روابط بین آن‌ها با مقتضیات محیطی بررسی شده و در نهایت راه‌حلی مطلوب ارائه می‌گردد. در بررسی سیستمی بیشتر هدف کارکرد سیستم مدنظر است و مسائل و مشکلات به گونه‌ای عمیق و با توجه به روابط تمامی عناصر و رفتار کلی سیستم بررسی می‌گردد. زیربنای نگرش سیستمی حاکمیت بینش کل‌گرایی، ژرف‌نگری و رابطه‌سنجی در ابعاد مختلف زمانی- مکانی و نهایتاً غایت‌اندیشی است. بنابراین می‌توان گفت که این نگرش شناخت، هر سیستمی را به یاری دیدگاه چندبعدی امکان‌پذیر می‌سازد. این عمل متضمن شناخت عناصر سیستم و روابط بین اجزای آن، نحوه رفتار، عملکرد، چگونگی حل مسایل و کنترل آن‌هاست.

شناسایی ارتباطات بین اجزای سیستم از طریق مفهوم شبکه تعریف می‌شود. شناسایی این شبکه و نحوه رفتار آن به درک درستی از سیستم و عملکرد آن منجر می‌گردد (محمدرضایی، ۱۳۸۲: ۱-۲۳). اساس تحلیل ژئومورفولوژی کارکردی بر مبنای دیدگاه سیستمی صورت می‌گیرد و به شناسایی فرم و فرایندهای ژئومورفیک و روابط بین آن‌ها استوار است. کارایی این دیدگاه در هنگامی که روابط متقابل خطی و غیرخطی میان اجزا و عناصر سیستم برقرار است، از اهمیت بالایی برخوردار است (رامشت، ۱۳۸۵: ۸۰).

سیستم مورد مطالعه در این پژوهش برخان است که از نوع سیستم‌های طبیعی و باز می‌باشد و در سطوح مختلف قابل مدل‌سازی است. در سطح اول عناصر مورفومتری برخان تعریف و نوع و شدت روابط بین آن‌ها با پارامترهای مسطحاتی، تعیین و مدل‌سازی شده است. این پژوهش برآورد دقیق و ساده مؤلفه‌های مسطحاتی برخان را از طریق روابط آماری امکان‌پذیر می‌سازد. محیط و مساحت برخان دربردارنده خصوصیات شکل‌شناسی نظیر میزان کشیدگی، گردی و فشردگی است. علاوه بر این مساحت برخان به عنوان یک پارامتر مهم تعیین‌کننده سطح، در برگزیده حجم رسوبات حمل‌شونده توسط برخان است و شاخصی جهت تعیین میزان جابجایی و تحرک آن محسوب می‌شود. زیرا دربردارنده حجم رسوبات بوده و هر اندازه حجم برخان کوچک‌تر باشد میزان جابه‌جایی آن کمتر است. بنابراین مؤلفه‌های مسطحاتی برخان در جهت تعیین خصوصیات مورفولوژی و مورفودینامیک آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

با توجه به یافته‌های تحقیق نتایج مدل‌سازی بین خصوصیات مسطحاتی و مورفومتری برخان‌های مطالعاتی حاکی از معادلات (۷) تا (۱۲) می‌باشد.

$$A = 2.734 \times W^{1.768} \quad \text{معادله (۷) رابطه توانی بین عرض و مساحت برخان:}$$

$$A = 1.941 \times L^{1.671} \quad \text{معادله (۸) رابطه توانی بین طول و مساحت برخان:}$$

$$A = 0.631 \times W \times L \quad \text{معادله (۹) رابطه حاصل ضرب مساحت با طول و عرض برخان:}$$

$$P = 5.006W + 26.364 \quad \text{معادله (۱۰) رابطه خطی بین عرض و محیط برخان:}$$

$$P = 2.9256W + 50.304 \quad \text{معادله (۱۱) رابطه خطی بین طول و محیط برخان:}$$

$$P = 2.071 \times (W + L) \quad \text{معادله (۱۲) رابطه حاصل جمع محیط با طول و عرض برخان:}$$

در این روابط  $W$ : عرض به متر،  $L$ : طول به متر  $A$ : مساحت به متر مربع و  $P$ : محیط به متر می‌باشد. یکی از مهم‌ترین خصوصیات شکل‌شناسی برخان، ویژگی‌های مسطحاتی آن شامل محیط و مساحت می‌باشد که با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و با استفاده از پارامترهای مورفومتری نظیر عرض و طول برخان و از طریق روابط ارائه شده در فوق به سادگی قابل محاسبه است. مدل‌های مطرح شده در این پژوهش جهت بررسی شکل‌شناسی آماری و کمی ویژگی‌های مسطحاتی برخان‌ها از کارایی بسیار مطلوبی برخوردار می‌باشد و نیازی به معادلات پیچیده ریاضی ندارد. از مقایسه مدل‌های مختلف ارائه‌شده فوق مناسب‌ترین مدل‌های دو متغیره برای برآورد مساحت رابطه (۹) و مناسب‌ترین مدل برآورد محیط رابطه (۱۲) می‌باشد. از بین مدل‌های تک متغیره برآورد مساحت مدل (۷) و برای برآورد محیط، مدل (۱۱) مناسب‌ترین روابط می‌باشد.

شناخت مؤلفه‌های مورفومتری و مسطحاتی برخان، که یکی از پرتحرک‌ترین اشکال ناهمواری بادی می‌باشد، ارزیابی دقیقی از میزان تهدید و خطرات حاصل از پویایی آن‌ها برای مناطق مسکونی، زراعی و زیرساخت‌های ارتباطی، اقتصادی و نظامی بیان می‌دارد. شناسایی و برآورد دقیق مشخصات شکل-شناسی این عوارض به‌خصوص در بازه‌های زمانی مختلف می‌تواند به عنوان شاخصی جهت تعیین دامنه تهدیدات، میزان تحرک و جابه‌جایی و در نهایت تعیین روند بیابان‌زایی عمل کند.

بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش در درجه اول، مدیریت محیط را از وضعیت و کارایی سیستم باد رفتی برخانی مطلع می‌سازد، که این وضعیت نمایانگر وضع موجود نسبت به وضع مطلوب و ایده‌آل است. در درجه دوم این مؤلفه‌ها به عنوان ابزاری در اختیار مدیریت محیط، در بازه‌های زمانی مختلف بیانگر روند و گرایش چشم‌انداز برخانی می‌باشند. مسلماً اگر وضعیت سیستم برخانی در جهت اصلاح باشد، مطلوب و مفید خواهد بود؛ اما اگر وضعیت سیستم برخانی در جهت توسعه و پیشرفت باشد، نامطلوب و مضر خواهد بود و منجر به گسترش بیابان و توسعه بیابان‌زایی می‌گردد.

#### کتابنامه

۱. احمدی، حسن. (۱۳۸۷). ژئومرفولوژی کاربردی (بیابان- فرسایش بادی). جلد دوم. چاپ سوم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۲. رامشت، محمد حسین. (۱۳۸۵). نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها). چاپ دوم. تهران: انتشارات سمت.
۳. نگارش، حسین؛ لطیفی، لیلا. (۱۳۸۷). «تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشکسالی‌های اخیر». *مجله جغرافیا و توسعه*. شماره ۱۲. صص ۴۳-۶۰.
۴. محمودی، فرج‌الله. (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی دینامیک. چاپ نهم. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
۵. محمدرضایی، شهریار. (۱۳۸۲). رویکرد سیستمی به تجزیه و تحلیل اکوسیستم‌ها. چاپ اول. تهران: سازمان حفاظت محیط زیست.
۶. موسوی، سیدحجت؛ ولی، عباسعلی و مسعود معیری. (۱۳۸۹). «تأثیر مؤلفه‌های مورفومتری برخان بر میزان جابه‌جایی آن (مطالعه موردی: ریگ چاه‌جام)». *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. شماره ۳۸ (۲). صص ۱۰۱-۱۱۸.
7. 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. *Journal of Geomorphology*, No. 17, Pp. 63-77.
8. Anton, D., Vincent, P. (1986). "Parabolic dunes of the Jafurah Desert, Eastern Province, Saudi Arabia". *Journal of Arid Environments*, No. 11, Pp. 187-198.
9. Baas, A.C.W. (2007). "Complex systems in Geomorphology". *Journal of Geomorphology*, No. 91, Pp. 311-331.
10. Bagnold, R.A., 1941. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen, London.
11. Daniell, J., 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.
12. Durán, O., Parteli, E.J.R., & Herrmann, H.J. (2010). "A continuous model for sand dunes: Review, new developments and application to barchan dunes and barchan dune fields". *Journal of Earth Surf. Process. Landforms*, No. 35, Pp. 1591-1600.
13. El belrhiti; H. Douady, S. (2010). "Equilibrium versus disequilibrium of barchan dunes". *Journal of Geomorphology*, 03416, Pp. 1-11.
14. Finkel, H.J. (1959). "The barchans of southern Peru". *Journal of Geology*, No. 67, Pp. 614-647.

15. 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.
16. Hastenrath, S. (1967). "The barchans of the Arequipa Region, Southern Peru". *Zeitschrift für Journal of Geomorphology*, No. 11, Pp. 300–331.
17. Herrmann, H.J.; Sauerman, G. (2000). The shape of dunes. *Physical A*, No. 283, Pp. 24–30.
18. Hersen, P. (2004). "On the crescentic shape of barchan dunes". *European Physical Journal B*, No. 37, Pp. 507–514.
19. Hesp, P; Hastings, K. (1998). "Width, height and slope relationships and aerodynamic maintenance of barchans". *Journal of Geomorphology*, No. 22, Pp. 193–204.
20. Hesse, P.P; Simpson, R.L. (2006). "Variable vegetation cover and episodic sand movement on longitudinal desert sand dunes". *Journal of Geomorphology*, No. 81, Pp. 276–291.
21. 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.
22. Howard, A.D. Morton, J.B. Gad-El-H& M., Pierce, D.B. (1978). "Sand transport model of barchan dune equilibrium". *Journal of Sedimentology*, No. 25, Pp. 307-338.
23. Hugenholtz, C.H; Wolfe, S.A; Walker, I.J; Moorman, B.J. (2008). "Spatial and temporal patterns of aeolian sediment transport on an inland parabolic dune, Bigstick Sand Hills, Saskatchewan, Canada". *Geomorphology* 02707, Pp. 1- 13.
24. Katsuki, A; Kikuchi, M; Nishimori, H; Endo, N; & Taniguchi, K., (2010). "Cellular model for sand dunes with saltation, avalanche and strong erosion: collisional simulation of barchans". *Journal of Earth Surf. Process. Landforms*, No. 35, Pp. 1-11.
25. Landsberg, S.Y. (1956). "The orientation of dunes in Britain and Denmark in relation to wind". *Geographical Journal*, No. 122, Pp. 176–189.
26. 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". *Journal of Geomorphology*, No. 54, Pp. 245 – 255.
27. Sauermann, G., Rognon, P; Poliakov, A; Herrmann, H.J. (2000). "The shape of the barchan dunes of Southern Morocco". *Journal of Geomorphology*, No. 36, Pp. 47–62.



28. Ting Wang, Z; Chen Tao, S; Wen Xie, Y; Hui Dong, G. (2007). "Barchans of Minqin: Morphometry". *Journal of Geomorphology*, No. 89, Pp. 405-411.
29. Valle, H.F.del; Rostagon, F.R, C.M; Coronato, F.R; Bouza, P.J; Blanceo, P.D. (2008). "Sand dune activity in north-eastern Patagonia". *Journal of arid Environment*, No. 72, Pp. 411-422.
30. Wippermann, F.K., 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.

