

## تحلیل کمی ژئومورفومتری کلات‌های واقع در غرب بیابان لوت

سید حجت موسوی\* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۶/۱۱

### چکیده

کلات‌های لوت یکی از شگفت‌انگیزترین عوارض ژئومورفیک هستند که حاصل عملکرد مشترک فرسایش کاوشی آب و باد غالب تک‌جهته می‌باشند. این عوارض در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شکل پشته‌های خطی طویل که توسط دالان‌های U شکل از یکدیگر جدا شده، به صورت موازی نمایان می‌شوند و دارای قله‌های گرد و هموار هستند. شناخت مؤلفه‌های ژئومورفومتری کلات در تعریف شاخص‌های شکل‌شناسی آن از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و روابط بین آنها می‌تواند به عنوان زیرساخت مدل‌سازی شاخص‌های مورفولوژی، طبیعی و ناهمواری مدنظر قرار گیرد. هدف از این پژوهش تحلیل کمی ژئومورفومتری کلات‌های لوت در قالب بررسی روابط و ارائه مدل‌های موجود بین پارامترهای قابل اندازه‌گیری کلات‌ها و گروه‌بندی آنها با استفاده از روش‌های آنالیز رگرسیون، و تحلیل واریانس می‌باشد. بدین منظور ابتدا مهم‌ترین پارامترهای ژئومورفومتری ۱۰۸ کلات به روش نمونه‌برداری طولی در امتداد سه ترانسکت مستقر شده بر روی مدل رقومی ارتفاع با اندازه پیکسل ۳۰\*۳۰ متر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس با استفاده از تکنیک‌های آنالیز رگرسیون، تحلیل واریانس و آزمون‌های تعقیبی به بررسی روابط آماری بین پارامترها و گروه‌بندی آنها مبادرت گردید. نتایج آنالیز رگرسیون تک‌متغیره حاکی از وجود حداکثر ارتباط معنی‌دار خطی طول و عرض با ضریب تبیین ۰/۴۱۵ و ارتفاع و شیب دامنه روبه‌باد برای روابط درجه ۲ و درجه ۳ به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۳۸۶ و ۰/۳۹۵ می‌باشد. نتایج تحلیل رگرسیون چندگانه حاکی از حداکثر ارتباط معنی‌دار ارتفاع با سایر پارامترها با ضریب تبیین ۰/۸۶۲ و حداقل ارتباط معنی‌دار برای مدل‌سازی طول با ضریب تبیین ۰/۴۲۳ می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی توکی نشان می‌دهد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۵ در مؤلفه ارتفاع بین کلات‌های مطالعاتی وجود دارد. همچنین نتایج حاصل از همگنی زیرگروه‌های کلات‌ها حاکی از طبقه‌بندی آنها به زیرگروه‌های متعدد است.

واژگان کلیدی: کلات، لوت، مورفولوژی، ژئومورفومتری، آنالیز رگرسیون، تحلیل واریانس.

## مقدمه

سایش و بادکندگی حالات معمول فرآیندهای فرسایشی باد در سیاراتی هستند که اتمسفر در آنها وجود دارد (گریلی و اینورسن<sup>۱</sup>، ۱۹۸۵). فرسایش بادی می‌تواند سنگ‌بستر را سایش داده و بخش‌های مختلف آن را از طریق فرسایش دیفرانسیل در سطح نمایان سازد. این فرآیندهای فرسایشی دفع مواد کمابیش تثبیت شده توسط باد که ناشی از فعالیت ماسه‌های روان می‌باشد را شامل می‌شود. لندفرم‌های فرسایشی حاصل از چنین فرآیندی در مناطقی که در آنها منابع عظیمی از ماسه، بادهایی با سرعت و فشار برشی کافی برای جابجایی ذرات و پوشش گیاهی فقیر وجود دارد، فراوان هستند (زیملمن و گریفین<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰: ۱۹۸).

کلوت‌ها لندفرم‌های فرسایشی هستند که توسط فعالیت‌های کندوکاو مشترک فرایندهای آب و باد غالب تک جهت شکل گرفته (علایی طالقانی، ۱۳۸۶: ۳۱۷؛ گودی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷: ۶۵؛ احسانی و کوئل<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸: ۳۲۸۴) و در واحدهای سنگ-شناسی مختلف در بیابان‌های متعددی جهان نمود عینی دارند (هالیمو و فیزیر<sup>۵</sup>، ۱۹۸۹: ۲۰۵؛ گودی، ۱۹۹۹: ۶۷؛ گودی و همکاران، ۱۹۹۹: ۶۷؛ بروکرز<sup>۶</sup>، ۲۰۰۱: ۱۸۹؛ الدوثاری<sup>۷</sup>، ۱۹۹۹: ۹۳).

این عوارض معمولاً به شکل بدنه کشتی وارونه تشبیه شده و به صورت یک پشته یا یال فرسایشی با فرم خطی بسیار ساده توصیف می‌شود (وارد و گریلی<sup>۸</sup>، ۱۹۸۴: ۸۲۹) که در اکثر موارد ممکن است دارای قله‌ای هموار و مسطح باشد (زیملمن و گریفین، ۲۰۱۰: ۱۹۹). دامنه روبه‌باد کلوت معمولاً به لبه‌ای پهن و پرشیب ختم شده و عموماً مرتفع‌ترین بخش عارضه را شامل می‌شود، درحالی‌که دامنه بادپناه به نقطه‌ای با حداقل ارتفاع و باریک پایان می‌یابد. باین وجود کلوت‌ها را می‌توان در طیف گسترده‌ای از اشکال مشاهده نمود (ویتنی<sup>۹</sup>، ۱۹۸۳: ۲۳؛ هالیمو و فیزیر، ۱۹۸۹: ۲۰۵). کلوت‌ها را بر اساس شکل می‌توان به صورت میکرو (یک متر)، مزو (صد متر) و مایکرو (هزار متر) طبقه‌بندی نمود (احمدی، ۱۳۸۷: ۲۶۷). کلوت‌ها در اغلب موارد به صورت میدان‌های گسترده نیز مشاهده شده و معمولاً به شکل صف‌های تنگ و منظم که با دالان‌های U شکل یا ناهه‌های کف پهن از یکدیگر جدا شده، یا به صورت فضای گسترده‌ای از عوارض خطی در دشت‌های بریده شده توسط آب و باد نمایان می‌شوند. بسیاری از میدان‌های کلوتی در مناطقی که در آن بادهای شدید تک جهت در بیشتر ایام سال اتفاق می‌افتد توسعه می‌یابند (مک کولی و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۱۹۷۷: ۳۳؛ هابز، ۱۹۱۷: ۲۵)، اما برخی دیگر، نظیر آن‌هایی که در کویر لوت وجود دارند، در مناطقی با بادهای مخالف فصلی توسعه می‌یابند که در این مناطق به نظر می‌رسد یک جهت باد، معمولاً غالب است و بادهای مخالف شدت و فراوانی کمتری دارند (زیملمن و گریفین، ۲۰۱۰: ۱۹۹). باین حال، کلوت‌ها در آب‌وهوای خشک توسعه می‌یابند، اما میدان‌های کلوتی نیز شناسایی شده که در آب‌وهوای نیمه‌خشک نمایان شده‌اند (الورزا و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۲: ۱۵۵). نتایج پژوهش‌های متعدد نشان داده است که وجود کلوت‌ها به حداقل خاک و پوشش گیاهی، بادهای تک جهت متداول و نواحی با کمبود ماسه نیاز دارد (مک کولی و همکاران، ۱۹۷۷: ۳۳؛ ویتنی، ۱۹۸۳: ۲۳؛ لایتی<sup>۱۲</sup>، ۱۹۹۴: ۵۰۶؛ گودی و همکاران، ۱۹۹۹: ۹۷).

اشکال ناشی از فرسایش بادکندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از قبیل ایران، ایالات متحده، چاد، مصر و پرو در سطح وسیعی مشاهده می‌شود (احمدی، ۱۳۸۷: ۱۵۱؛ گودی، ۲۰۰۷: ۶۵). نمونه منحصر به فرد این عوارض به صورت

1. Greeley and Iversen  
2. Zimbelman and Griffin  
3. Goudie  
4. Ehsani and Quiel  
5. Halimov and Fezer  
6. Brookes  
7. Al-Dousari  
8. Ward and Greeley  
9. Whitney  
10. McCauley et al  
11. Elorza et al  
12. Laity

پشته‌ها و دالان‌های موازی در جنوب شرق ایران سطح وسیعی از چاله لوت با ابعادی معادل ۱۵۰ در ۷۰ کیلومتر را پوشانیده است (احمدی، ۱۳۸۷: ۲۶۸)، بطوریکه ۴ درصد کل بیابان لوت را شامل شده و جنس مواد آن از نظر چینه‌شناسی در ردیف پلیوسن فوقانی و کواترنری تحتانی قرار می‌گیرد (کرینسلی، ۱۳۸۸: ۱۶۶). کلوتهای لوت با متوسط ارتفاع ۶۰ تا ۸۰ متری و قله‌های گرد و هموار به صورت پشته‌هایی در سطح بسیار وسیع گسترش یافته و توسط دالان‌هایی با عرض بیشتر از ۱۰۰ متر از یکدیگر جدا شده‌اند (مک کولی و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷: ۳۳)، که جهت آنها منطبق بر جهت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان بوده و ۳۳۳ درجه واقعی را نشان می‌دهد (کرینسلی، ۱۳۸۸: ۱۶۹). یک لایه رسی - گچی با ضخامت ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر سطح کلوتهای لوت را پوشانیده که مانع از رشد بیشتر گالی‌ها در دامنه پرتیب این عوارض شده است (محمودی، ۱۳۶۷: ۹). این قشر گلی یادگاری از دوره‌های مرطوب گذشته بوده و وجود آن نشان‌دهنده عدم فعالیت فرایندهای فرسایشی آب بر سطح کلوتهای در حال حاضر است (علایی طالقانی، ۱۳۸۶: ۳۱۵).

در زمینه شناخت ژئومورفومتری کلوتهای، به عنوان یکی از ژئوسیستم‌های مهم سطح زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پژوهش‌های اندکی وجود دارد (مک کولی و همکاران، ۱۹۹۷: ۳۰). در سال‌های اخیر با پیشرفت علم و تکنولوژی، استفاده از داده‌های هوابرد نظیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعه کلوتهای هم در زمین و هم در سیاره مریخ پیشرفت‌های قابل توجهی را در دانش بشری سبب شده است (وارد، ۱۹۷۹: ۸۱۴۷؛ هالیمو و فیزیر<sup>۲</sup>، ۱۹۸۹: ۲۰۵؛ مالین و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۸: ۱۶۸۱؛ بریجز و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷: ۲۰۰۷؛ زیمبلمن و گریفین<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰: ۱۹۸). در سطوح بعدی نیز تجزیه و تحلیل‌های حاصله توسط تجربیات آزمایشگاهی، مشاهدات میدانی و مفاهیم نظری کامل‌تر شده‌اند (وارد و گرلی<sup>۶</sup>، ۱۹۸۴: ۸۲۹؛ ویتنی، ۱۹۸۳: ۲۳)، به گونه‌ای که مک کولی<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۷۷: ۳۳) یک نقشه جهانی از موقعیت کلوتهای بزرگ در سراسر جهان ارائه نموده که توسط گرلی و ایورسن<sup>۸</sup> (۱۹۸۵)، گودی<sup>۹</sup> (۲۰۰۷: ۶۶) و احسانی (۱۳۸۹: ۶۶) نیز گزارش شده است. گوتیریز-الوزا<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۲: ۱۵۵) وجود کلوتهای مناطق نیمه-مرطوب بخش‌های مرکزی چاله ابرو در اسپانیا را مورد مطالعه قرار داده و تولید کلوتهای در این منطقه را مرتبط با پلایا که به عنوان منشأ ذرات بادکنده در طول دوره‌های خشک محسوب می‌شود، بیان می‌دارند. احسانی و کوئیل<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۸: ۳۲۸۴) با استفاده از نقشه‌های خودسازمانی و داده‌های SRTM به بررسی خصوصیات کلوتهای دشت لوت پرداخته و دو رخساره کلوتهای دالان به ترتیب با ۳۱ و ۴۲ درصد مساحت منطقه را شناسایی نموده که با جهت شمال غربی - جنوب شرقی با جهت بادهای ۱۲۰ روزه منطبق می‌باشد. ال-دوساری<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۰۹: ۹۳) منشأ و ویژگی‌های کلوتهای منطقه یوم ال-ریمان در کشور کویت را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند که بررسی‌های میدانی بیانگر فرسایش بیشتر دامنه‌های کلوتهای در مقابل بخش میانی آن می‌باشد. شکل کلوتهای این منطقه با توجه به نرخ فرسایشی سالیانه و اندازه آنها توسط فرایندهای پالئوهیدرولوژی ایجاد شده و به وسیله فعالیت باد تغییر یافته است. علوی پناه (۱۳۸۱: ۶۷) دمای پدیده‌های سطحی حاشیه کلوتهای بیابان لوت را با استفاده از مطالعات میدانی و داده‌های حرارتی ماهواره‌ای بررسی نموده و بیان داشت که تغییرات تشعشعات حرارتی کلوتهای لوت نمایانگر روند افزایشی از غرب به شرق و از شمال -

1. McCauley et al

2. Halimov and Fezer

3. Malin et al

4. Bridges et al

5. Zimelman and Griffin

6. Ward and Greeley

7. McCauley

8. Greeley and Iversen

9. Goudie

10. Gutiérrez-Elorza

11. Ehsani and Quiel

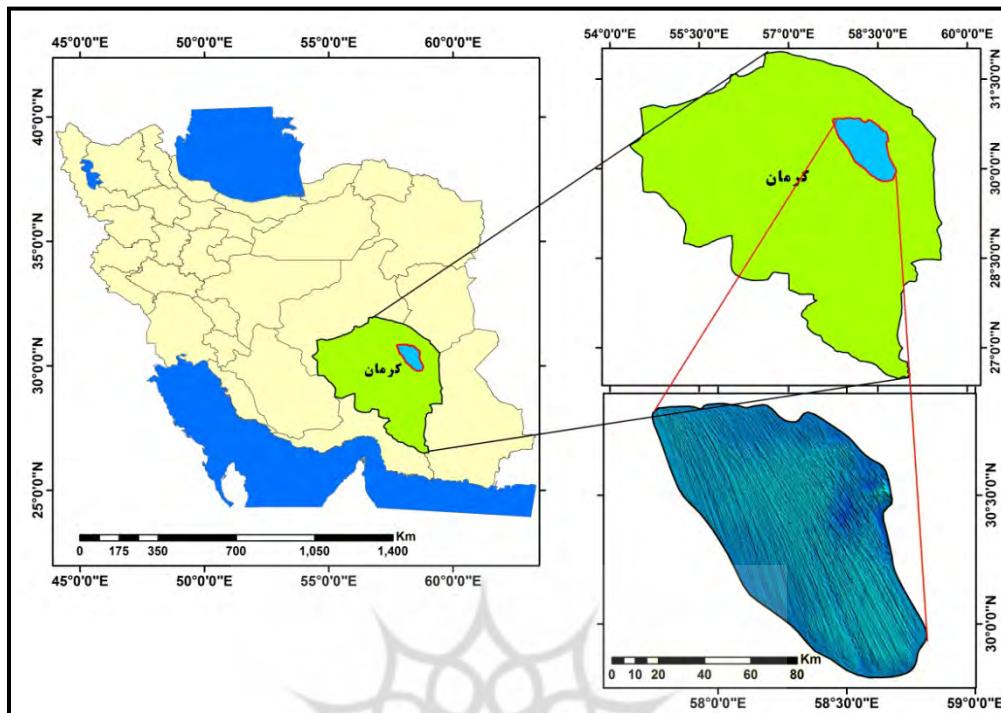
12. Al-Dousari

غرب به جنوب شرق می‌باشد. مشهدی و همکاران (۱۳۸۱: ۲۵) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ به بررسی ژئومورفولوژیکی کلوت‌های لوت پرداخته و این عوارض را به دو لندفرم مجزا یعنی پشته و راهرو تقسیم نموده و آنها را حاصل فعالیت مشترک آب و باد معرفی کردند. علوی‌پناه و همکاران (۱۳۸۳: ۲۱) به مطالعه رخساره‌های ژئومورفولوژی کلوت‌های لوت بر اساس تفسیر واحدهای فتومورفیک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست پرداخته و ۱۴ رخساره مختلف در این منطقه شناسایی نمودند که ۵ رخساره آن مربوط به کلوت می‌باشد. احسانی (۱۳۸۹: ۶۳) کلوت‌های لوت را از طریق آنالیز مورفومتری و استخراج پارامترهای شیب، منحنی مقطع ارضی و منحنی حداکثر و حداقل با کمک معادلات درجه دوم دو متغیری پهنه‌بندی نمود و بیان داشت که کلوت‌ها، راهروها و دیگر اراضی با شیب مختلف به ترتیب ۳۴، ۴۳ و ۲۳ درصد مساحت منطقه را شامل می‌شوند.

ژئومورفولوژی مدرن درصدد مطالعات کمی مبتنی بر اندازه‌گیری خصوصیات شکل‌شناسی عوارض ژئومورفیک بوده و تحلیل‌هایی برای مشخصه‌های ژئومورفومتری آنها ارائه نموده است. مطالعات شکل‌شناسی متعددی بر روی کلوت‌ها صورت گرفته، اما ارزیابی‌ها در مورد مدل‌سازی آماری کلوت‌ها و بررسی رفتار این ناهمواری به‌صورت کمی ناچیز می‌باشد. از این‌رو، پژوهش حاضر با تکیه بر روش‌های اندازه‌گیری رقومی به بررسی روابط موجود بین پارامترهای ژئومورفومتری کلوت‌های چاله لوت پرداخته و هدف از آن ارائه مدل‌های مناسب جهت دستیابی به پارامترهای مورفومتری و روابط بین آنها با استفاده از مؤلفه‌های تک‌بعدی ژئوفرم کلوت می‌باشد. فرضیات مطرح‌شده مقایسه ارتباطات بین مؤلفه‌های ژئومورفومتری کلوت بوده، زیرا تعیین مشخصات قابل‌اندازه‌گیری کلوت در تعریف شاخص‌های شکل‌شناسی آن از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. به‌عبارت‌دیگر مؤلفه‌های ژئومورفومتری کلوت و روابط بین آنها می‌تواند به‌عنوان زیرساخت مدل‌سازی شاخص‌های شکل‌شناسی مختلف مانند شاخص‌های طبیعی، ناهمواری و شاخص شکل مد نظر قرار گیرد، بطوریکه با شناخت این ویژگی‌ها می‌توان به کمیتی از اندازه، میزان خمیدگی، میزان کشیدگی، میزان ناهمواری طبیعی و سایر شاخص‌های مورفولوژی کلوت‌ها دست‌یافت و نحوه توجیه فرم و فرآیند را در مسیر تکامل و تعادل آن مد نظر قرارداد.

### منطقه مطالعاتی

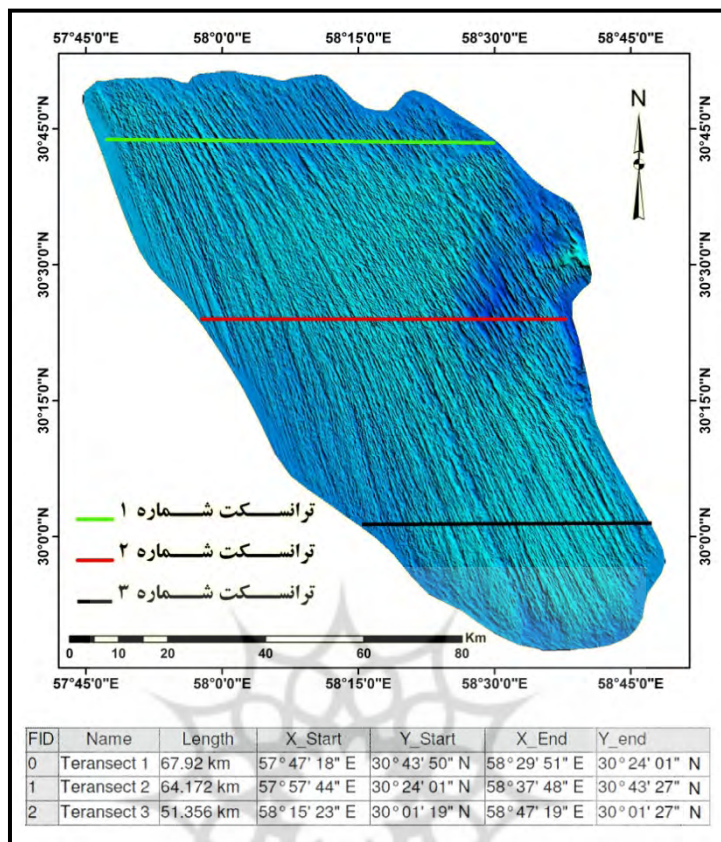
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، میدان کلوتی چاله لوت می‌باشد که در جنوب شرق ایران و غرب کویر لوت واقع شده است. دشت لوت با وسعت ۵۴ هزار کیلومترمربع، یکی از گرم‌ترین و خشک‌ترین بیابان‌های ایران و بلکه جهان است (علایی طالقانی، ۱۳۸۸: ۳۰۱). کلوت‌های لوت با مساحت ۶۴۸۱۵۹/۵ هکتار (۶۴۸۱/۵۹۵ کیلومترمربع) در بخش غربی چاله لوت، در محدوده‌ای به طول ۵۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۹ درجه شرقی و عرض ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۱ درجه شمالی گسترده شده است (شکل ۱). شیب کلی منطقه بین صفر تا ۱۸/۵۶ درجه متغیر است که ۹۹ درصد دارای شیب زیر ۱۰ درجه، ۵۰ درصد دارای شیب کمتر از ۲/۳۳ درجه، ۱۵ درصد دارای شیب بین صفر تا یک و یک درصد هم دارای شیب صفر درجه می‌باشد. پایین‌ترین ارتفاع از سطح دریا در کلوت‌های لوت بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر بوده و مربوط به بریدگی‌های قسمت شرقی می‌باشد. بلندترین ارتفاع از سطح دریا ۴۰۴ است که به ۳ پشته‌ای در نزدیکی چاله شرقی تعلق دارد. ۵۶/۵۳ درصد منطقه (معادل ۳۶۶۴۲۷ هکتار) دارای کلوت‌هایی با ارتفاع بین ۳۰۰ تا ۴۰۴ متر بوده که عمدتاً در بخش‌های مرکزی و جنوبی قرار دارند. میانگین سالانه سرعت وزش باد منطقه ۶ متر بر ثانیه بوده و قوی‌ترین باد (بادهای ۱۲۰ روزه) از اردیبهشت‌ماه با میانگین سرعت ۹/۳۵ متر بر ثانیه شروع به وزش می‌کند (احسانی، ۱۳۸۹: ۷۰).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

### مواد و روش‌ها

ابتدا به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و مدل ارتفاعی رقومی منطقه، محدوده‌ی مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت و تعیین حدود گردید. سپس مبادرت به نمونه‌برداری و اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتری کلوت‌ها شد. روش نمونه‌برداری در این پژوهش بر اساس روش تک‌بعدی و واحد نمونه‌برداری طولی صورت گرفته است. بدین گونه که در ابتدا ۳ ترانسکت در قلمرو گسترش کلوت‌های لوت بر روی مدل ارتفاع رقومی آن با اندازه سلول  $30 \times 30$  متر، در محیط نرم‌افزار Global Mapper ترسیم گردید و بر اساس شکل (۲) تنها کلوت‌هایی که با ترانسکت‌های مزبور برخورد کرده‌اند، مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفتند. حجم نمونه مطالعاتی به موقعیت کلوت‌ها نسبت به محل استقرار ترانسکت بستگی دارد که در مجموع ۱۰۸ کلوت مورد مطالعه قرار گرفت. به عبارت دیگر ۱۰۸ کلوت با ۳ ترانسکت مزبور برخورد کرده که از این تعداد ۳۲ عدد مربوط به ترانسکت شماره یک (شمالی)، ۴۷ عدد مربوط به ترانسکت شماره دو (مرکزی) و ۲۹ عدد مربوط به ترانسکت شماره سه (جنوبی) می‌باشد (شکل ۲).

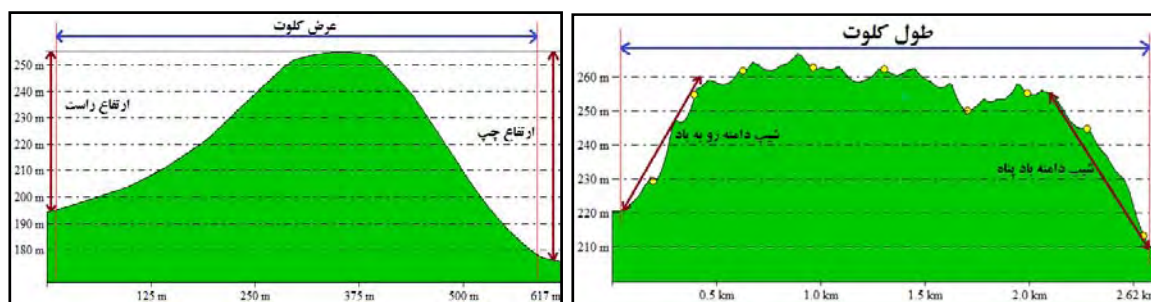


شکل ۲: موقعیت ترانسکت‌ها و کلوت‌های نمونه‌گیری شده در محدوده‌ی مطالعاتی

به‌منظور ارزیابی و مدل‌سازی آماری کلوت‌ها، اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتری آنها از طریق ترسیم نیمرخ طولی منطبق بر خط‌الراس و نیمرخ عرضی منطبق بر مرتفع‌ترین قله کلوت بر روی مدل ارتفاعی رقومی در محیط نرم‌افزار Global Mapper صورت گرفت. بدین‌صورت که در امتداد نیمرخ طولی مشخصه‌های طول (L)، شیب دامنه روبه‌باد (Sa)، شیب دامنه بادیانه (Sb) و در امتداد نیمرخ عرضی ارتفاع سمت راست (Ha)، ارتفاع سمت چپ (Hb) و عرض کلوت (W) اندازه‌گیری گردید (شکل ۳). پارامتر ارتفاع متوسط کلوت (H) نیز از طریق میانگین ارتفاع دامنه سمت راست و ارتفاع دامنه سمت چپ محاسبه شد (رابطه ۱):

$$H = (H_a + H_b) / 2$$

رابطه (۱) محاسبه ارتفاع متوسط کلوت:



(ب): نیمرخ عرضی

(الف): نیمرخ طولی

شکل ۳: توضیح تصویری مؤلفه‌های مورفومتری کلوت و نحوه اندازه‌گیری آنها



به کمک موارد فوق‌الذکر پارامترهای مورفومتری ۱۰۸ کلوته مطالعاتی محاسبه گردید و ماتریس داده‌ها جهت مدل‌سازی و ارزیابی مقایسه‌ای کلوته‌ها تهیه شد. در میدان کلوته چاله لوت، کلوته‌های متعددی می‌توان مشاهده نمود که اندازه و اشکال متنوعی دارند، بطوریکه کلوته‌های این منطقه دارای ارتفاعی بین ۱۲/۶۷ تا ۱۲۹/۴۶ متر، طولی بین ۵۲۲/۸۲ تا ۱۲۹۹۳/۳۳ متر و عرضی بین ۲۵۲/۲۹ تا ۱۲۱۰/۵۹ متر هستند (جدول ۱).

جدول ۱: آمار توصیفی پارامترهای مورفومتری کلوتهای مطالعاتی

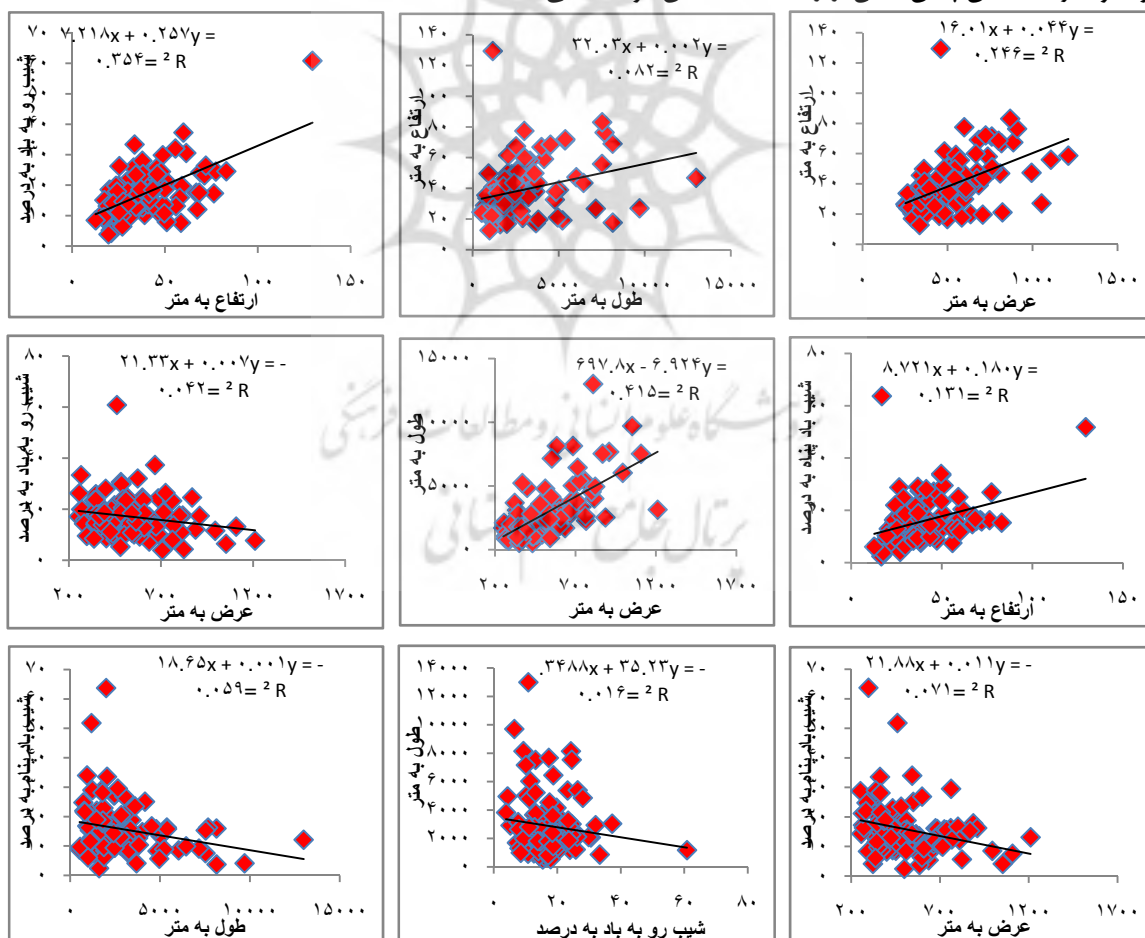
مؤلفه	ترانسکت	تعداد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	حداقل	حداکثر	دامنه	چولگی
ارتفاع (m)	شماره ۱	۳۲	۴۴/۲۱	۲۳/۷۷	۴/۲۰۳	۱۷/۳۲	۱۲۹/۴۶	۱۱۲/۱۴	۱/۵۹
	شماره ۲	۴۷	۳۸/۲۵	۱۵/۰۹	۲/۲۰۱	۱۶/۶۴	۷۷/۴۱	۶۰/۷۸	۱/۰۴۹
	شماره ۳	۲۹	۳۴/۱۸	۱۰/۵۳	۱/۹۶	۱۲/۶۷	۵۹/۹۲	۴۷/۲۵	۰/۱۸۵
	کل	۱۰۸	۳۸/۹۲	۱۷/۴۷	۱/۶۸	۱۲/۶۷	۱۲۹/۴۶	۱۱۶/۷۹	۱/۷۸۴
عرض (m)	شماره ۱	۳۲	۶۲۸/۲۷	۲۶۳/۲۵	۴۶/۵۴	۲۵۶/۰۸	۱۲۱۰/۵۹	۹۵۴/۵۱	۰/۴۷۷
	شماره ۲	۴۷	۴۷۹/۷	۱۳۷/۰۵	۱۹/۹۹	۲۵۲/۲۹	۷۱۸/۷۵	۵۶۵/۴۶	۰/۵۲۱
	شماره ۳	۲۹	۴۵۴/۱۸	۱۳۳/۸۱	۲۴/۸۵	۲۶۵/۵۵	۷۱۳/۹۵	۴۴۸/۴	۰/۵۲۷
	کل	۱۰۸	۵۱۶/۸۷	۱۹۵/۵۱	۱۸/۸۱	۲۵۲/۲۹	۱۲۱۰/۵۹	۹۵۸/۳۰	۱/۱۵۶
طول (m)	شماره ۱	۳۲	۴۱۷۸/۳	۲۸۴۴/۳۲	۵۰۲/۸۱	۷۲۵/۷۶	۱۲۹۹۳/۳۳	۱/۲۳E۴	۱/۳۲۴
	شماره ۲	۴۷	۲۴۷۷/۳	۱۴۷۳/۳۱	۲۱۴/۹	۵۲۲/۸۲	۸۱۴۱/۰۵	۷۶۱۸/۲۲	۱/۶۶۴
	شماره ۳	۲۹	۱۷۲۱/۳	۱۲۲۷/۶۳	۲۲۷/۹۶	۴۵۴/۲۶	۶۴۵۰/۱۹	۵۹۰۴/۹۳	۱/۶۰۹
	کل	۱۰۸	۲۸۸۱/۲	۲۰۹۹/۹۳	۲۰۲/۰۶	۵۲۲/۸۲	۱۲۹۹۳/۳۳	۱/۲۵E۴	۲/۰۶۴
شیب روبه‌باد (%)	شماره ۱	۳۲	۱۶/۴۷	۱۰/۴۸	۱/۸۵	۴/۳۵	۶۰/۸۵	۵۶/۵	۲/۶۲۸
	شماره ۲	۴۷	۱۷/۷۷	۵/۵۴	...	۷/۳	۳۰/۵۸	۲۳/۲۸	۰/۲۵۶
	شماره ۳	۲۹	۱۷/۲۱	۶/۷۱	۱/۲۵	۳/۸۹	۳۷/۲۸	۳۳/۴	۱/۱۲۹
	کل	۱۰۸	۱۷/۲۴	۷/۵۶	...	۳/۸۹	۶۰/۸۵	۵/۶۹۶E۲	۲/۰۵۳
شیب بادپناه (%)	شماره ۱	۳۲	۱۴/۸۲	۹/۵۹	۱/۶۹	۳/۷۴	۵۱/۸۱	۴۸/۰۶	۲/۱۶۶
	شماره ۲	۴۷	۱۵/۲	۵/۷۷	۰/۸۴۱	۲/۴۴	۲۸/۸	۲۶/۳۶	۰/۵۱۷
	شماره ۳	۲۹	۱۷/۶۶	۱۱/۲۷	۲/۰۹	۶/۰۸	۶۳/۷۱	۵۷/۶۳	۲/۶۲
	کل	۱۰۸	۱۵/۷۵	۸/۶۹	۰/۸۳۷	۲/۴۴	۶۳/۷۱	۶۱/۲۸	۲/۴۳۱

روش مدل‌سازی آماری به کمک نرم‌افزار SPSS و با استفاده از تکنیک‌های آنالیز رگرسیون، تحلیل واریانس و آزمون‌های تعقیبی انجام گرفت. برای این منظور ابتدا روش‌های رگرسیون تک متغیره و چندگانه آزموده شد. در روش رگرسیون تک متغیره روابط گوناگون خطی، درجه ۲ و درجه ۳ بین مؤلفه‌های گوناگون آزمون و از بین آنها روابطی با ارزش رجحانی بالاتر انتخاب و گزارش گردید. سپس روش‌های رگرسیون چندگانه جهت کشف روابط و مدل‌های مناسب بین مؤلفه‌ها به کار گرفته شد و با استفاده از پارامترهای سنجش مدل، مناسب‌ترین مدل‌ها شناسایی و در نهایت با مقایسه میزان اعتبار آنها، صحت مدل‌های مناسب بر اساس ارزش رجحانی تعیین گردید. علت استفاده از آنالیز رگرسیون تک متغیره و چندگانه و ارائه نتایج آن در این پژوهش، دستیابی به نتایج قابل قبول با درجه مطلوب اعتبار سنجی است.

برای ارزیابی مقایسه‌ای و گروه‌بندی کلوته‌ها از تحلیل واریانس یک‌طرفه با آزمون‌های تعقیبی استفاده شده است. این روش بر اساس حداقل پراش درون‌گروهی و حداکثر پراش بین‌گروهی بنا نهاده شده، در نتیجه همگنی و عدم تجانس گروه‌های حاصله را به خوبی نمایان می‌سازد. تحلیل واریانس به پژوهشگر این امکان را می‌دهد که دریابد آیا تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها وجود دارد یا خیر؟، ولی برای بیان تفاوت گروه‌ها از نظر پارامترهای مختلف از آزمون تعقیبی توکی<sup>۱</sup> بهره گرفته شده است، زیرا به وضوح نمایانگر اختلاف گروه‌های متعدد از منظر پارامترهای موجود می‌باشد. معیار ارزش رجحانی سنجش، انتخاب روابط و گروه‌بندی آنها بر اساس آماره‌های حداکثر ضریب تبیین، ضریب همبستگی، ضریب تبیین تعدیل‌شده، حداقل انحراف معیار خطای برآورد، درجه آزادی، مجموع مربعات و سطح معنی‌داری در سطح احتمال خطای کمتر یا مساوی ۱٪ و ۵٪ ( $\alpha \leq 0.01$  و  $\alpha \leq 0.05$ ) می‌باشد.

### یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون ساده بین مؤلفه‌های مورفومتری کلوته‌های مطالعاتی به شرح شکل (۴) و جدول (۲) می‌باشد. یافته‌های شکل (۴) حاکی از حداکثر ارتباط معنی‌دار طول با عرض با ضریب تبیین ۰/۴۱۵ و ارتفاع با شیب دامنه روبه‌باد با ضریب تبیین ۰/۳۵۴ می‌باشد. سایر روابط خطی بین پارامترهای کلوته‌های مطالعاتی به صورت شکل (۴) بوده و ضرایب تبیین پایین نشان از رابطه ضعیف بین مؤلفه‌ها می‌باشد.



شکل ۴: نتایج تحلیل رگرسیون ساده خطی بین پارامترهای مورفومتری کلوته‌های مطالعاتی

<sup>۱</sup>. Tukey



نتایج جدول (۲) حاکی از وجود ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱، بین مؤلفه‌های ارتفاع و شیب دامنه روبه‌باد برای روابط درجه ۲ و درجه ۳ است که به ترتیب ضریب تبیین این مدل‌ها ۰/۳۸۶ و ۰/۳۹۵ و خطای برآورد ۱۳/۸۱۹ و ۱۳/۷۸۹ می‌باشد. روابط عرض با شیب دامنه‌های روبه‌باد و بادپناه و همچنین رابطه طول با شیب بادپناه در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار بوده، باین‌حال ضرایب تبیین با مقادیر پایین ارتباطات ضعیف بین این مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد. سطح معنی‌داری مدل‌های درجه ۲ و درجه ۳ طول و شیب روبه‌باد نیز عدم وجود ارتباط بین آنها را بیان می‌دارد.

جدول ۲: نتایج آنالیز رگرسیون ساده روابط درجه ۲ و ۳ بین پارامترهای مورفومتری کلوت‌های مطالعاتی

پارامتر	نوع مدل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	خطای برآورد	مقدار F	معنی‌داری	ضرایب مدل			
							$b^0$	$b^1$	$b^2$	$b^3$
ارتفاع و عرض	درجه ۲	۰/۵۱۹	۰/۲۶۹	۱۵/۰۷۸	۱۹/۳۳۹	۰/۰۰۰	-۱/۳۶۳	۰/۱۰۸	-۵/۰۵۳E-۵	....
	درجه ۳	۰/۵۲۱	۰/۲۷۲	۱۵/۱۲۶	۱۲/۹۲۹	۰/۰۰۰	۱۳/۰۰۴	۰/۰۰۳	۷/۵۵۴E-۵	-۶/۱۷۵E-۸
ارتفاع و طول	درجه ۲	۰/۳۴۲	۰/۱۱۷	۱۶/۵۷۲	۶/۹۷۴	۰/۰۰۱	۲۵/۰۹۶	۰/۰۰۷	-۴/۲۸۲E-۷	....
	درجه ۳	۰/۳۴۵	۰/۱۱۹	۱۶/۶۲۶	۴/۶۸۱	۰/۰۰۴	۲۲/۷۵۹	۰/۰۰۹	-۸/۸۷۱E-۷	۲/۵۴۹E-۱۱
ارتفاع و شیب روبه‌باد	درجه ۲	۰/۶۲۱	۰/۳۸۶	۱۳/۸۱۹	۳۳/۰۳۱	۰/۰۰۰	۲۵/۶۷۶	۰/۳۴۲	۰/۰۲۱	....
	درجه ۳	۰/۶۲۸	۰/۳۹۵	۱۳/۷۸۹	۲۲/۶۰۹	۰/۰۰۰	۱۵/۰۹۳	۱/۹۹۴	-۰/۰۴۹	-۰/۰۰۱
ارتفاع و شیب بادپناه	درجه ۲	۰/۴۱۳	۰/۱۷۱	۱۶/۰۶۳	۱۰/۸۰۹	۰/۰۰۰	۱۷/۸۷	۱/۷۳	-۰/۰۱۹	....
	درجه ۳	۰/۴۲۰	۰/۱۷۷	۱۶/۰۸۱	۷/۴۴۱	۰/۰۰۰	۲۴/۱۸۶	۰/۶۶۶	۰/۰۲۸	-۰/۰۰۰
عرض و طول	درجه ۲	۰/۶۷۴	۰/۳۵۵	۱۴۵/۷۵۱	۴۳/۷۶۱	۰/۰۰۰	۲۶۱/۴۹۷	۰/۱۱۱	-۵/۰۹۲E-۶	....
	درجه ۳	۰/۶۷۴	۰/۳۵۵	۱۴۶/۴۴۶	۲۸/۸۹۹	۰/۰۰۰	۲۶۴/۶۸۷	۱۰۸	-۴/۴۶۵E-۶	-۳/۴۷۸E-۱۱
عرض و شیب روبه‌باد	درجه ۲	۰/۲۸۰	۰/۰۷۹	۱۸۹/۴۵۳	۴/۴۷۳	۰/۰۱۴	۷۳۳/۳۳۹	-۱۷/۶۵۸	۰/۲۴۹	....
	درجه ۳	۰/۳۳۹	۰/۱۱۵	۱۸۶/۵۳۹	۴/۵۱۶	۰/۰۰۵	۹۷۸/۷۴۷	-۵۵/۹۶۴	۱/۸۷۵	-۰/۰۱۸
عرض و شیب بادپناه	درجه ۲	۰/۲۸۴	۰/۰۸۱	۱۸۹/۲۲۹	۴/۶۰۸	۰/۰۱۲	۶۶۳/۶۴۹	-۱۱/۴۶۲	۰/۱۰۴	....
	درجه ۳	۰/۲۸۴	۰/۰۸۱	۱۹۰/۱۲۳	۳/۰۴۸	۰/۰۳۲	۶۷۴/۰۱۶	-۱۳/۲۰۸	۰/۱۸۱	-۰/۰۰۰
طول و شیب روبه‌باد	درجه ۲	۰/۱۳۶	۰/۰۱۸	۲۱۰۰/۲۷	۰/۹۸۳	۰/۳۷۸	۳۸۲۵/۱۹۸	-۶۸/۴۸۶	۰/۶۶۹	....
	درجه ۳	۰/۲۱۵	۰/۰۴۶	۲۰۸۰/۱۳	۱/۶۸۲	۰/۱۷۵	۶۱۲۲/۶۴۶	-۴۲۷/۱۰۱	۱۵/۸۹۵	-۰/۱۶۹
طول و شیب بادپناه	درجه ۲	۰/۲۷۷	۰/۰۷۷	۲۰۳۶/۸۵	۴/۳۶۵	۰/۰۱۵	۴۵۷۳/۱۱	-۱۳۸/۸۰۱	۱/۵۲۹	....
	درجه ۳	۰/۲۷۷	۰/۰۷۷	۲۰۴۶/۳۵	۲/۸۹۲	۰/۰۳۹	۴۷۲۸/۴۷۳	-۱۶۴/۹۷۶	۲/۶۸۱	-۰/۰۱۳

رگرسیون چندگانه اطلاعاتی درباره مدل به‌عنوان یک کل فراهم می‌آورد و سهم نسبی هر یک از متغیرهای مدل را نشان می‌دهد. همچنین از تحلیل رگرسیون چندگانه می‌توان برای کنترل آماری متغیرهای مستقل هنگام بررسی توانایی مدل پیش‌بین بهره گرفت. نتایج تحلیل رگرسیون خطی چندگانه بین مؤلفه‌های مورفومتری کلوت‌های مطالعاتی مدل‌های متعددی را مرهون می‌سازد که در جدول (۳) مناسب‌ترین مدل‌ها و ارتباطات موجود برای هر مؤلفه گزارش شده است. بطوریکه ارتباطات حاصل از مدل‌سازی روابط مؤلفه‌های مورفومتری کلوت نشان از حداکثر ارتباط معنی‌دار ارتفاع با سایر پارامترها با ضریب تبیین ۰/۸۶۲ و خطای برآورد ۶/۶۰۶ می‌باشد. در مقابل حداقل ارتباط معنی‌دار متعلق به طول با

ضریب تبیین ۰/۴۲۳ و خطای برآورد ۱۶۲۶/۳۸ می‌باشد. در بین مدل‌های موجود مؤلفه طول عدم ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۵ را با سایر مؤلفه‌ها نشان می‌دهد، بدین معنی که در مدل‌های مزبور جهت افزایش پایایی و کاهش میزان خطای برآورد بهتر است پارامتر طول از مدل‌ها خارج شده و با حذف آن، مدل از درجه اعتبار سنجی بالاتری برخوردار می‌گردد.

جدول ۳: خلاصه مدل‌های آنالیز رگرسیون خطی چندگانه مؤلفه‌های مورفومتری کلوت‌های مطالعاتی

متغیر وابسته	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تعدیلی	خطای برآورد	متغیر مستقل غیراستاندارد	ضرایب	خطای برآورد	مقدار t	معنی‌داری
ارتفاع	۰/۹۲۹	۰/۸۶۲	۰/۸۵۷	۶/۶۰۶	عرض	۰/۰۶۵	۰/۰۰۴	۱۵/۰۰۹	۰/۰۰۰
					طول	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۳۵۶	۰/۷۲۲
					شیب روبه‌باد	۱/۴۵۹	۰/۰۹	۱۶/۲۴	۰/۰۰۰
					شیب بادپناه	۰/۷۱۵	۰/۰۸	۸/۹۶۶	۰/۰۰۰
					مقدار ثابت	-۳۰/۸۵۸	۲/۸۵۲	-۱۰/۸۱۹	۰/۰۰۰
عرض	۰/۹۰۷	۰/۸۲۴	۰/۸۱۷	۸۳/۷۱۱	ارتفاع	۱۰/۴۹۸	۰/۶۹۹	۱۵/۰۰۹	۰/۰۰۰
					طول	۰/۰۱۹	۰/۰۰۵	۴/۱۱۵	۰/۰۰۰
					شیب روبه‌باد	-۱۶/۱۳۱	۱/۴۴۵	-۱۱/۱۶	۰/۰۰۰
					شیب بادپناه	-۸/۱۱۴	۱/۰۸۵	-۷/۴۷۸	۰/۰۰۰
					مقدار ثابت	۴۵۸/۳۶۵	۲۷/۴۰۶	۱۶/۷۲۵	۰/۰۰۰
طول	۰/۶۵۰	۰/۴۲۳	۰/۴۰۰	۱۶۲۶/۳۸	ارتفاع	-۸/۶۴۳	۲۴/۲۴۴	-۰/۳۵۶	۰/۷۲۲
					عرض	۷/۳	۱/۷۷۴	۴/۱۱۵	۰/۰۰۰
					شیب روبه‌باد	۲۰/۵۶۱	۴۱/۶۹	۰/۴۹۳	۰/۶۲۳
					شیب بادپناه	-۱۴/۳۵۸	۲۶/۱۴۸	-۰/۵۴۹	۰/۵۸۴
					مقدار ثابت	-۶۸۳/۸۵۶	۱۰۲۴/۱۶	-۰/۶۶۸	۰/۵۰۶
شیب رو-به‌باد	۰/۸۶۷	۰/۷۵۲	۰/۷۴۲	۳/۸۳۹	ارتفاع	۰/۴۹۳	۰/۰۳	۱۶/۲۴	۰/۰۰۰
					عرض	-۰/۰۳۴	۰/۰۰۳	-۱۱/۱۶	۰/۰۰۰
					طول	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۴۹۳	۰/۶۲۳
					شیب بادپناه	-۰/۲۸۳	۰/۰۵۵	-۵/۱۳۴	۰/۰۰۰
					مقدار ثابت	۱۹/۷۲۱	۱/۴۴۷	۱۳/۶۲۵	۰/۰۰۰
شیب باد-پناه	۰/۷۲۳	۰/۵۲۳	۰/۵۰۵	۶/۱۱۹۷	ارتفاع	۰/۶۱۳	۰/۰۶۸	۸/۹۶۶	۰/۰۰۰
					عرض	-۰/۰۴۳	۰/۰۰۶	۰/۴۷۸	۰/۰۰۰
					طول	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۵۴۹	۰/۵۸۴
					شیب روبه‌باد	۰/۷۱۹	۰/۱۴۰	-۵/۱۳۴	۰/۰۰۰
					مقدار ثابت	۲۷/۲۷۴	۲/۷۷۴	۹/۸۳۳	۰/۰۰۰

نتایج حاصل از تحلیل واریانس یک‌طرفه با آزمون‌های تعقیبی جهت بیان معنی‌داری تفاوت بین کلوت‌های ترانسکت‌های مزبور و گروه‌بندی آنها به صورت جداول (۴) تا (۷) است. نتایج آزمون‌های لون<sup>۱</sup>، ولج<sup>۲</sup> و برون-فورسیت<sup>۳</sup> که تجانس و عدم تجانس بین واریانس پارامترهای هر ترانسکت را بیان می‌دارد، نشان از ناهمگنی ترانسکت‌ها در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۵، از نظر مؤلفه‌های ارتفاع، طول و عرض و همگنی آنها از حیث مؤلفه شیب در آزمون لون می‌باشد، اما نتایج

۱. Levene

۲. Welch

۳. Brown-Forsythe

آزمون‌های ولج و برون- فورسیت در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۵، تجانس ترانسکت‌های مزبور را علاوه بر پارامترهای شیب در ارتفاع نیز و عدم تجانس‌شان را با مؤلفه‌های عرض و طول بیان می‌دارد (جدول ۴).

جدول ۴: نتایج آزمون همگنی واریانس پارامترهای مورفومتری کلوتهای مطالعاتی

معنی داری	درجه آزادی ۲	درجه آزادی ۱	آماره آزمون	پارامتر	نوع آزمون
۰/۰۰۴	۱۰۵	۲	۵/۸۶۴	ارتفاع	لون
۰/۰۰۰	۱۰۵	۲	۱۶/۴۲۷	عرض	
۰/۰۰۰	۱۰۵	۲	۱۲/۴۵۵	طول	
۰/۱۳۶	۱۰۵	۲	۲/۰۳۴	شیب روبه‌باد	
۰/۱۰۳	۱۰۵	۲	۲/۳۲۶	شیب بادپناه	
۰/۰۸۰	۶۲/۵۲۷	۲	۲/۶۳۶	ارتفاع	ولج
۰/۰۰۷	۵۸/۶۰۴	۲	۵/۴۸۰	عرض	
۰/۰۰۲	۶۰/۲۲۶	۲	۶/۹۷۹	طول	
۰/۷۹۳	۵۵/۸۹۴	۲	۰/۲۳۲	شیب روبه‌باد	
۰/۵۲۰	۵۱/۵۰۹	۲	۰/۶۶۲	شیب بادپناه	
۰/۰۸۴	۶۴/۷۶۷	۲	۲/۵۷۸	ارتفاع	برون- فورسیت
۰/۰۰۱	۶۱/۵۸۳	۲	۷/۹۴۶	عرض	
۰/۰۰۰	۵۷/۳۶۸	۲	۹/۸۴۸	طول	
۰/۷۷۹	۶۸/۴۱۶	۲	۰/۲۵۱	شیب روبه‌باد	
۰/۴۳۷	۶۹/۰۱	۲	۰/۸۳۸	شیب بادپناه	

جدول (۵) بیانگر پراش و تغییرپذیری واریانس درون گروهی و بین گروهی در کلوتهای مطالعاتی می‌باشد. نتایج این جدول بیان می‌دارد که در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱، میزان پراش بین گروهی ترانسکت‌های مطالعاتی از نظر مؤلفه‌های ارتفاع، عرض و طول به ترتیب با معنی داری ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۰، ۰/۰۰۰ و مجذور اتای ۰/۰۴۸، ۰/۱۴۱ و ۰/۱۶۷ حداکثر بوده و پراش بین گروهی آنها حداقل می‌باشد، بطوریکه این فرایند در مؤلفه‌های شیب دامنه روبه‌باد و شیب دامنه بادپناه به ترتیب با معنی داری ۰/۷۵۹ و ۰/۳۸۰ حالت معکوس داشته و حتی در سطح احتمال خطای ۰/۰۵ هم معنی‌دار نیست.

جدول ۵: نتایج حاصل از تحلیل واریانس درون گروهی و بین گروهی پارامترهای مورفومتری کلوتهای

پارامتر	نوع واریانس	مجموع مربعات	درجه آزادی	مربع میانگین	مقدار F	معنی داری	مجذور اتا
ارتفاع	بین گروهی	۱۵۶۵/۹۷	۲	۷۸۲/۹۸	۲/۶۴	۰/۰۰۷	۰/۰۴۸
	درون گروهی	۳۱۱۰۲/۲۸	۱۰۵	۲۹۶/۲۱	.....	.....	.....
عرض	بین گروهی	۵۷۶۰۱۵/۵۷	۲	۲۸۸۰۰۷/۷۸	۸/۶۱	۰/۰۰۰	۰/۱۴۱
	درون گروهی	۳۵۱۳۷۸۹/۶۸	۱۰۵	۳۳۴۶۴/۶۶	.....	.....	.....
طول	بین گروهی	۷/۹۰۰E۷	۲	۳/۹۵۰E۷	۱۰/۵۵۷	۰/۰۰۰	۰/۱۶۷
	درون گروهی	۳/۹۲۸E۸	۱۰۵	۳۷۴۱۳۵۹۹/۶۳۲	.....	.....	.....
شیب روبه- باد	بین گروهی	۳۲/۰۳۲	۲	۱۶/۰۱۶	۰/۲۷۷	۰/۷۵۹	۰/۰۰۵
	درون گروهی	۶۰۸۰/۶۲۱	۱۰۵	۵۷/۹۱۱	.....	.....	.....
شیب باد- پناه	بین گروهی	۱۴۷/۸۴۳	۲	۷۳/۹۲۲	۰/۹۷۸	۰/۳۸۰	۰/۰۱۸
	درون گروهی	۷۹۴۰/۱۹۱	۱۰۵	۷۵/۶۲۱	.....	.....	.....

جدول (۶) دربردارنده نتایج حاصل از آزمون تعقیبی توکی بوده و بیان می‌دارد که دقیقاً بین کدام جفت از ترانسکت‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد. با توجه به نتایج این جدول می‌توان گفت که بین ترانسکت‌های ۱ و ۲، ۱ و ۳ از نظر مؤلفه عرض به ترتیب با اختلاف میانگین ۱۴۸/۵۶۹ و ۱۷۴/۰۸۸ و همچنین بین ترانسکت‌های ۱ و ۲، ۱ و ۳ از نظر مؤلفه طول به ترتیب با اختلاف میانگین ۱۷۰۱/۰۵۵ و ۲۰۷۳/۶۲۲ در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱ تفاوت معنی‌دار وجود دارد. به عبارت دیگر بین ترانسکت‌های مطالعاتی از نظر پارامترهای طول و عرض اختلاف وجود دارد و می‌توان آنها را به گروه‌های متمایز تقسیم نمود، درحالی‌که دیگر پارامترها چنین تمایز معنی‌داری را نشان نمی‌دهند.

جدول ۶: نتایج حاصل از معنی‌داری آماری تفاوت بین ترانسکت‌های مطالعاتی (آزمون تعقیبی توکی)

پارامتر	ترانسکت	اختلاف میانگین	خطای استاندارد	معنی‌داری
ارتفاع	شماره ۱	شماره ۲	۳/۹۴۴	۰/۲۹۱
	شماره ۲	شماره ۱	۳/۹۴۴	۰/۲۹۱
		شماره ۳	۴/۰۶۴	۰/۵۷۷
	شماره ۳	شماره ۱	۴/۴۱۲	۰/۰۶۴
		شماره ۲	۴/۰۶۴	۰/۵۷۷
	عرض	شماره ۱	شماره ۲	۴۱/۹۲۶
شماره ۲		شماره ۱	۴۱/۹۲۶	۰/۰۰۲
		شماره ۳	۴۶/۹۰۱	۰/۰۰۱
شماره ۳		شماره ۱	۴۶/۹۰۱	۰/۰۰۱
		شماره ۲	۴۳/۱۹۷	۰/۸۲۵
طول		شماره ۱	شماره ۲	۴۴۳/۳
	شماره ۲	شماره ۱	۴۴۳/۳	۰/۰۰۱
		شماره ۳	۴۹۵/۹۱	۰/۰۰۰
	شماره ۳	شماره ۱	۴۹۵/۹۱	۰/۰۰۰
		شماره ۲	۴۵۶/۷۴	۰/۶۹۴
	شیب روبه‌باد	شماره ۱	شماره ۲	۱/۷۴۴
شماره ۲		شماره ۱	۱/۷۴۴	۰/۷۳۸
		شماره ۳	۱/۹۵۱	۰/۹۲۴
شماره ۳		شماره ۱	۱/۹۵۱	۰/۹۲۴
		شماره ۲	۱/۷۹۷	۰/۹۴۸
شیب بادپناه		شماره ۱	شماره ۲	۱/۹۹۳
	شماره ۲	شماره ۱	۱/۹۹۳	۰/۹۸۰
		شماره ۳	۲/۴۱۲	۰/۴۱۲
	شماره ۳	شماره ۱	۲/۴۱۲	۰/۴۱۲
		شماره ۲	۲/۰۵۳	۰/۴۵۷

نتایج جدول (۷) نشان می‌دهد که ترانسکت‌های مطالعاتی را می‌توان از نظر ارتفاع به دو زیرگروه تقسیم نمود، بطوریکه زیرگروه اول، ترانسکت‌های ۳ و ۲ و زیرگروه دوم، ترانسکت‌های ۱ و ۲ را در برمی‌گیرد. در این زیرگروه‌ها ترانسکت ۲

به صورت مشترک وجود دارد، این بدین معنی است که ترانسکت ۲ از نظر ارتفاع پراش بین گروهی نزدیکی با ترانسکت-های ۱ و ۳ دارد، اما ترانسکت‌های ۱ و ۳ پراش بین گروهی بالایی را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهند. این عوامل سبب تمایز ترانسکت‌های مزبور به دو زیرگروه متعدد با اشتراک ترانسکت ۲ در آنها می‌باشد. از نظر مؤلفه‌های شیب ترانسکت-های مطالعاتی به دلیل حداقل پراش بین گروهی و حداکثر پراش درون گروهی، فقط یک زیرگروه در آنها قابل تمایز است. سایر موارد نیز به شرح جدول (۷) می‌باشد.

جدول ۷: نتایج حاصل از همگنی زیرگروه‌های ترانسکت‌ها

پارامتر	زیرگروه	ترانسکت	آماره	معنی داری
ارتفاع	۱	شماره ۳	۳۴/۱۸۴	۰/۵۹۰
		شماره ۲	۳۸/۲۵۵	
	۲	شماره ۲	۳۸/۲۵۵	۰/۳۲۶
		شماره ۱	۴۴/۲۰۸	
عرض	۱	شماره ۳	۴۵۴/۱۸۲	۰/۸۳۲
		شماره ۲	۴۷۹/۶۹۹	
	۲	شماره ۱	۶۲۸/۲۶۹	۱/۰۰۰
		شماره ۳	۲/۱۰۴۷E۳	
طول	۱	شماره ۲	۲/۴۷۷۳E۳	۰/۷۰۴
		شماره ۱	۴/۱۷۸۳E۳	
	۱	شماره ۱	۱۶/۴۷۷	۰/۷۶۰
		شماره ۳	۱۷/۳۱۴	
شماره ۲		۱۷/۷۷۴		
شیب بادپناه	۱	شماره ۱	۱۴/۸۱۶	۰/۳۶۷
		شماره ۲	۱۵/۱۹۹	
		شماره ۳	۱۷/۶۵۹	

### نتیجه‌گیری

ژئومورفولوژی سیستمی، بررسی ساختار و عملکرد چشم‌اندازهای ژئومورفیک را در تحلیل روابط فرم و فرآیند استوار نموده و زمانی که روابط متقابل خطی و غیرخطی بین اجزاء و عناصر یک چشم‌انداز حاکم است از کارایی بالایی برخوردار خواهد بود. عارضه کلوت یک ژئوفرم بادی بوده و در تشکیل آن عوامل و فرآیندهای متعددی مؤثر هستند که مهم‌ترین آنها سایش و بادکنندگی است. فرآیند سایش و بادکنندگی بادهای غالب تک جهته به صورت نیروی محرک سبب ورود انرژی بادی و خروج مواد از سیستم کلوت شده و فرآیندهایی نظیر رسوب‌شناسی (سختی، جنس و اندازه ذرات مواد) به صورت نیروی مانع در برابر بادکنندگی واکنش نشان داده و مقاومت می‌کند. در نتیجه برآیند این دو نیرو باعث سایش، کندن و جابجایی مواد از نواحی با مقاومت کمتر شده و این فرآیند منجر به تشکیل دالان‌ها و پشته‌هایی به صورت موازی می‌گردد. در طی این پروسه قدرت نیروهای محرک و مقاوم نواحی تحت تسلط باد متفاوت بوده و سبب تشکیل کلوت-های متعدد با ابعاد و ژئومورفومتری گوناگون می‌گردد.

در پژوهش حاضر روابط موجود بین مؤلفه‌های ژئومورفومتری کلوت‌های لوت در امتداد سه ترانسکت با استفاده از تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی بر اساس روابط حاصل از آنالیز رگرسیون ساده می‌توان کلوت‌های لوت را به چهار گروه طبقه‌بندی نمود:

گروه اول: ارتباطاتی با ضریب تبیین متوسط و سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۱:

الف) رابطه خطی معنی‌دار طول و عرض با ضریب تبیین  $0/415$  و ارتفاع با شیب دامنه روبه‌باد با ضریب تبیین  $0/354$  (ب) ارتباط بین مؤلفه‌های ارتفاع و شیب دامنه روبه‌باد برای روابط درجه ۲ و درجه ۳ به ترتیب با ضریب تبیین  $0/386$  و  $0/395$

ج) روابط درجه ۲ و درجه ۳ عرض با طول به ترتیب با ضریب تبیین  $0/355$  و  $0/355$

گروه دوم: ارتباطاتی با ضریب تبیین متوسط تا ضعیف و سطح معنی‌داری کمتر از  $0/01$  :

الف) رابطه خطی معنی‌دار عرض و ارتفاع با ضریب تبیین  $0/246$  و ارتفاع با شیب دامنه بادپناه با ضریب تبیین  $0/131$

ب) روابط درجه ۲ و درجه ۳ ارتفاع و عرض به ترتیب با ضریب تبیین  $0/269$  و  $0/272$

ج) روابط درجه ۲ و درجه ۳ ارتفاع و طول به ترتیب با ضریب تبیین  $0/117$  و  $0/119$

د) روابط درجه ۲ و درجه ۳ ارتفاع و شیب دامنه بادپناه به ترتیب با ضریب تبیین  $0/171$  و  $0/177$

گروه سوم: ارتباطاتی با ضریب تبیین ضعیف و سطح معنی‌داری کمتر از  $0/05$  :

الف) روابط درجه ۲ و درجه ۳ عرض و شیب دامنه روبه‌باد به ترتیب با ضریب تبیین  $0/079$  و  $0/115$

ب) روابط درجه ۲ و درجه ۳ عرض و شیب دامنه بادپناه به ترتیب با ضریب تبیین  $0/081$  و  $0/081$

ج) روابط درجه ۲ و درجه ۳ طول و شیب دامنه بادپناه به ترتیب با ضریب تبیین  $0/077$  و  $0/077$

گروه چهارم: روابطی با ضریب تبیین بسیار ضعیف و عدم وجود ارتباط معنی‌دار بین مؤلفه‌ها که سایر مدل‌های موجود در شکل (۴) و جدول (۲) را شامل می‌شود.

نتایج تحلیل رگرسیون چندگانه حاکی از حداکثر ارتباط معنی‌دار ارتفاع با سایر پارامترها با ضریب تبیین  $0/862$  می‌باشد. حداقل ارتباط معنی‌دار نیز برای مدل‌سازی طول با ضریب تبیین  $0/423$  وجود دارد. در بین مدل‌های موجود مؤلفه طول عدم ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال خطای کمتر از  $0/05$  با سایر مؤلفه‌ها به‌جز عرض را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر مؤلفه ارتفاع توجیه‌کننده پارامترهای عرض، شیب دامنه روبه‌باد و شیب دامنه بادپناه بوده، اما مؤلفه طول به‌جز عرض توجیه‌کننده سایر مؤلفه‌ها نمی‌باشد. این ارتباطات متقابل بوده و دیگر پارامترها نیز چنین وضعیتی را نسبت به یکدیگر دارند.

نتایج حاصل از تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال خطای کمتر از  $0/05$  در مؤلفه ارتفاع برای سه ترانسکت مطالعاتی وجود دارد ( $F=2/64$  و  $Sig=0/007$ ). علیرغم معنی‌داری تفاوت آماری ترانسکت‌ها، تفاوت واقعی در مقادیر ارتفاع بین ترانسکت‌ها متوسط می‌باشد ( $0/048 =$  مجذور اتا). مقایسه تعقیبی با استفاده از آزمون توکی بیانگر آن است که میانگین مقادیر ارتفاع برای ترانسکت ۱ ( $M=44/21$  و  $SD=4/203$ ) تفاوت معنی‌داری با ترانسکت ۲ ( $M=38/25$  و  $SD=2/201$ ) و ترانسکت ۳ ( $M=34/18$  و  $SD=1/96$ ) دارد. سایر موارد نیز به شرح جداول (۴) تا (۶) می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از همگنی زیرگروه‌های ترانسکت‌های مطالعاتی حاکی از طبقه‌بندی آنها به زیرگروه‌های متعدد بوده که به شرح جدول (۷) است.

با توجه به روابط موجود بین پارامترها و شکل آئرودینامیک کلوت می‌توان نتیجه گرفت که بادهای غالب تک‌جهته و کانالیزه شدن جریان باد درون کریدورها به‌عنوان فاکتورهای مولد؛ و قشر گلی روی پشته‌ها، سختی مواد و پوشش گیاهی به‌صورت فاکتورهای بازدارنده باعث تشکیل کلوت و دالان‌های موازی یکدیگر می‌شود. توجیه‌کننده مرتفع‌ترین نقطه کلوت در ابتدای دامنه روبه‌باد، انحرافات جریان به جهت عرض پهن می‌باشد که این عامل خود مبین حداکثر شیب در دامنه روبه‌باد شده است. پهنای عریض‌تر کلوت در قسمت ابتدای پشته به دلیل وجود دامنه روبه‌باد به‌صورت مانعی در برابر جریان باد، واگرایی جریان در اثر برخورد با دامنه و هدایت آن به درون کریدورها می‌باشد. همچنین توجیه‌کننده کشیدگی، باریک شدن، حداقل ارتفاع و شیب کمتر دامنه بادپناه در انتهای کلوت به جهت همگرایی جریان باد و تقویت فشار برشی آن در قسمت‌های پایانی و تسلط جریان بر پشته است. از ارتباط ضعیف یا عدم ارتباط طول با سایر مؤلفه‌ها



می‌توان نتیجه گرفت که عواملی نظیر واگرایی جریان باد در ابتدا و همگرایی آن در انتهای کلوتهای و مقاومت سنگ‌بستر می‌تواند توجیه‌کننده طول کلوتهای باشد.

## منابع

- احسانی، امیرهوشنگ، ۱۳۸۹، ژئومورفولوژی مگایاردانگ‌های لوت، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۴، صص ۶۳ - ۷۸.
- احمدی، حسن، ۱۳۸۷، ژئومورفولوژی کاربردی (بیابان - فرسایش بادی)، جلد دوم، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- علایی طالقانی، محمود، ۱۳۸۶، ژئومورفولوژی ایران، چاپ چهارم، انتشارات قومس، تهران.
- علوی پناه، سید کاظم، ۱۳۸۱، مطالعه پدیده‌های سطحی حاشیه یاردانگ‌های بیابان لوت با استفاده از مطالعات میدانی و داده‌های حرارتی ماهواره‌ای، بیابان، جلد ۷، شماره ۲، صص ۶۷ - ۷۹.
- علوی پناه، سید کاظم؛ احمدی، حسن؛ کمکی، چقی بایرام، ۱۳۸۳، مطالعه رخساره‌های ژئومورفولوژی منطقه یاردانگی بیابان لوت بر اساس تفسیر واحدهای فتومورفیک تصاویر ماهواره‌ای (TM)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۱، صص ۲۱ - ۳۴.
- کلینسلی، دانیل، ۱۳۸۸، کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالتوکلیماتولوژی آن، مترجم: عباس پاشایی، چاپ دوم، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران.
- محمودی، فرج ا...، ۱۳۶۷، تحول ناهمواری‌های ایران در کوتاه‌ترین، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۲۳، صص ۵ - ۴۳.
- مشهدی، ناصر؛ علوی پناه، سید کاظم؛ احمدی، حسن، ۱۳۸۱، مطالعه ژئومورفولوژی یاردانگ‌های لوت، بیابان، جلد ۷، شماره ۲، صص ۲۵-۴۳.
- Al-Dousari, A. M., Al-Elaj, M., Al-Enezi, E., Al-Shareeda, A., 2009, Origin and characteristics of yardangs in the Um Al-Rimam depressions (N Kuwait), *Geomorphology*, No. 104, pp. 93-104.
- Bridges, N.T., Banks, M.E., Beyer, R.A., Chuang, F.C., Noe Dobrea, E.Z., Herkenhoff, K.E., Keszthely, L.P., Fishbaugh, K.E., McEwen, A.S., Michaels, T.I., Thomson, B.J., Wray, J.J., 2010, Aeolian bedforms, yardangs, and indurated surfaces in the Tharsis Montes as seen by the HiRISE Camera: Evidence for dust aggregates, *Icarus*, No. 205, pp. 165-182.
- Bridges, N.T., Geissler, P.E., McEwen, A.S., Thomson, B.J., Chuang, F.C., Herkenhoff, K.E., Keszthelyi, L.P., Martinez-Alonso, S., 2007, Windy Mars: A dynamic planet as seen by the HiRISE camera. *Geophys. Res. Lett.*, No. 34, L23205. doi:10.1029/2007GL0231445.
- Brookes, I., 2001, Aeolian erosional lineations in the Libyan Desert, Dakhla Region, Egypt. *Geomorphology*, No. 39, pp. 189-209.
- Ehsani, A. H., Quiel, F., 2008, Application of Self Organizing Map and SRTM data to characterize yardangs in the Lut desert, Iran, *Remote Sensing of Environment*, No. 112, pp. 3284-3294.
- Goudie, A., 2007, Mega-Yardangs: A Global Analysis, *Geography Compass*, No. 1/1, pp. 65-81.
- Goudie, A., Stokes, S., Cook, J., Samieh, S., El-Rashidi, O.A., 1999, Yardang landforms from Kharga Oasis, south-western Egypt. *Z. Geomorphol., Suppl.-Bd.*, No. 116, pp. 97-112.
- Goudie, A.S., 1999, Wind erosional landforms: yardangs and pans. In: Goudie, A.S., Livingstone, I., Stokes, S. (Eds.), *Aeolian Environments, Sediments and Landforms*. Wiley, Chichester, pp. 167-180.
- Greeley, R., Iversen, J.D., 1985, *Wind as a Geological Process*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gutiérrez-Elorza, M., Desir, G., Gutiérrez-Santolalla, F., 2002, Yardangs in the semiarid central sector of the Ebro Depression (NE Spain). *Geomorphology*, No. 44, pp.155-170.
- Halimov, M., Fezer, F., 1989, Eight yardang types in Central Asia. *Z. Geomorphol.*, No. 33, pp. 205-217.
- Hobbs, W.H., 1917, The erosional and degradational processes of deserts, with especial reference to the origin of desert depressions. *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, No. 7, pp. 25-60.
- Laity, J.E., 1994, Landforms of aeolian erosion. In: Abrahams, A.D., Parsons, A.J. (Eds.), *Geomorphology of Desert Environments*. Chapman & Hall, London, pp. 506-537.
- Malin, M.C., and 17 colleagues, 1998, Early views of the martian surface from the Mars Orbiter Camera of Mars Global Surveyor. *Science*, No. 279, pp. 1681-1685.
- McCauley, J.F., Breed, C.S., Grolier, M.J., 1977, Yardangs. In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*. Allen & Unwin, Boston, pp. 33-269.

- Ward, A.W., 1979, Yardangs on Mars: Evidence of recent wind erosion. *J. Geophys. Res.*, No. 84, pp. 8147–8166.
- Ward, A.W., Greeley, R., 1984, Evolution of the yardangs at Rogers Lake, California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, No. 95, pp. 829–837.
- Whitney, M.I., 1983, Eolian features shaped by aerodynamic and vorticity processes. In: Brookfield, M.E., Ahlbrandt, T.S. (Eds.), *Eolian Sediments and Processes*. Elsevier, Amsterdam, pp. 23–245.
- Zimelman, J. R., Griffin L. J., 2010, HiRISE images of yardangs and sinuous ridges in the lower member of the Medusae Fossae Formation, Mars, *Icarus*, No. 205, pp. 198–210.

