

Geometric Analysis of Salt Diapirs using Geomorphologic Indices (Case Study: Salt Diapirs in Lar Region of Fars Province)

Afshan Ghasemi¹ Mohammadreza Servati², Shahram Bahrami^{3*}, Bahman Rahimzadeh⁴

¹ PhD Candidate of Geomorphology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Professor of Geomorphology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Associate Professor of Geomorphology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor of Geology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

During the past two decades, extracting geomorphic indices using digital elevation models in the GIS environment has been addressed as a quick and accurate method to analyze landforms, so that these indices have been used to quickly evaluate the recent tectonic activity in a particular area. The present study aimed to evaluate the active tectonic of salt diapirs located on south-eastern Zagros in Lar region of Fars province, by measuring the hypsometric integral (Hi), basin height (Bh) circularity ratio (Rc), elongation ratio (Re), drainage density (Dd), bifurcation ratio (Rb), mean length of first-order streams (LN1), stream frequency (Fs), alluvial fan's width to length ratio (W/L), and the sweep angle (S). First, the study area was extracted using digital elevation model. After calculating the indices in salt diapirs, the results reveal that the best correlation is between the hypsometric parameter and the diapirs area, indicating that the hypsometric integral is a good indicator for classifying age of diapirs. In addition, the mean length of the first-order stream is a good indicator for dividing the diapirs from age viewpoint (youth and old). It was found that the drainage density index, bifurcation ratio, drainage frequency, the indices of the alluvial fans around the diapirs such as the sweep angle, width to length ratio, and slope have no significant relationship with the hypsometric integral and the age of the diapirs. The lack of a significant relationship was due to the complex structure of the salt diapirs and their movements, which disrupted the morphometry of drainage systems of the study area.

Key words: Tectonic Geomorphology, Geomorphic Index, Salt Diapir, Tectonic Activity, Faulting, South East Zagros.

* sh_Bahrami@sbu.ac.ir



تحلیل ژئومتری گنبدهای نمکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی نمونه مطالعه: گنبدهای نمکی منطقه لار فارس

افشان قاسمی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محمدرضا ثروتی، استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

شهرام بهرامی*، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

بهمن رحیم زاده، استادیار زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۸/۰۹/۰۴ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰، صص ۱۵۴-۱۳۷

چکیده

استخراج شاخص‌های ژئومورفیکی با استفاده از مدل‌های ارتفاع رقومی در محیط GIS طی دو دهه گذشته، روشی سریع و دقیق در تحلیل لندفرم‌ها بوده است؛ به طوری که از این شاخص‌ها برای ارزیابی سریع فعالیت‌های تکتونیکی اخیر در ناحیه‌ای خاص استفاده شده است. در این مطالعه، زمین‌ساخت فعال گنبدهای نمکی جنوب شرقی زاگرس در منطقه لار فارس با اندازه‌گیری شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)، برافراشتگی (Bh)، شاخص دایره‌واری (Rc)، کشیدگی (Bs)، تراکم زهکشی (Dd)، نسبت انشعاب (Rb)، شاخص میانگین طول آبراهه درجه یک (LN1)، فرکانس آبراهه (Fs)، نسبت عرض به طول مخروط (W/L) و زاویه جاروب (S) ارزیابی شد. نخست با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی، اطلاعات توپوگرافی منطقه پژوهش استخراج شد. پس از محاسبه شاخص‌ها در گنبدهای نمکی این نتیجه به دست آمد که بیشترین ضریب همبستگی بین پارامتر انتگرال هیپسومتری و مساحت گنبد است و این امر نشان می‌دهد شاخص هیپسومتری، شاخصی کارآمد برای طبقه‌بندی گنبدها از نظر جوانی و پیری است. میانگین طول آبراهه درجه یک نیز، شاخصی مناسب برای تقسیم‌بندی گنبدها از نظر جوانی و پیری است. شاخص تراکم زهکشی و نسبت انشعابات، فرکانس زهکشی، شاخص‌های مخروط‌افکنه‌های اطراف گنبدها نظیر زاویه جاروب، نسبت عرض به طول و شیب، رابطه معناداری با شاخص هیپسومتری ندارند؛ دلیل این امر، ساختار پیچیده گنبدهای نمکی و حرکت آنهاست.

واژه‌های کلیدی: تکتونیک ژئومورفولوژی، شاخص ژئومورفیک، گنبد نمکی، فعالیت تکتونیکی، گسلش، زاگرس جنوب شرق.

مقدمه

تا تنگه هرمز در ایران گسترش یافته (Stocklin, 1968: 1230; Haynes & McQuillan, 1974: 740; Jahani et al., 2007: 290) که در نتیجه بازوبسته شدن اقیانوس تیس جدید بین صفحه عربستان و ایران ایجاد شده است (Takin, 1972: 149; Berberian & King-, 1981: 212; Haynes & McQuillan, 1974: 740; Stocklin, 1874: 874; Ricou & Braud, 1977: 34; Alavi, 1974: 2; Agard et al., 2005: 402; Frizon de Lamotte, 2011: 11; Mouthereau et al., 2012: 2).

گنبد های نمکی زاگرس فارس به دلیل وجود منابع معدنی و هیدروکربنی (Jenyon, 1984: 10) و پدیده های منحصربه فرد ژئومورفولوژیکی از لحاظ اقتصادی، زیست محیطی و گردشگری حائز اهمیت هستند؛ هرچند مطالعات مختلف نشان دهنده زلزله خیزی زاگرس (Berberian, 1995: 194; Ramsey et al., 2008: 24) و منطقه لارستان است.

با توجه به نوپابودن مطالعات صورت گرفته در زمینه گنبد های نمکی در ایران و فارس، بسیاری از مطالعات اولیه را زمین شناسان غیر ایرانی در زمینه تکنونیک نمک انجام داده اند. از جمله: هاریسون^۱ (۱۹۳۱)، کنت^۲ (۱۹۵۸)، تالبوت^۳ (۱۹۷۹ و ۱۹۹۸)، بوساک و همکاران^۴ (۱۹۹۸)، جهانی و همکاران^۵ (۲۰۰۷)، تالبوت (۱۹۷۹ و ۱۹۹۸)، لوتوزی و شرکتی^۶ (۲۰۰۴)، کالوت و همکاران^۷ (۲۰۰۷)، کویی و همکاران^۸ (۲۰۰۸). همچنین در زمینه مطالعه شده طی سال های اخیر پژوهش های مختلفی در داخل کشور صورت

دیپایریسم از جمله فرایندهای مورفونز مهم سطح و نزدیک سطح زمین است که در ایجاد لندفرم های اولیه نقش بسیار مهمی دارد. در حال حاضر زمین شناسان به ساخت هایی دیپایریسم می گویند که در اثر حرکت صعودی مواد با خاصیت پلاستیکی و سوراخ کردن سنگ های بالایی تشکیل می شوند (Billings, 2003: 11). از انواع دیپایرها، دیپیرهای نمکی هستند که از آنها با عنوان تکنونیک نمکی هم یاد می کنند. دیپایریسم های نمکی موجب تشکیل گنبد های نمکی در سطح یا نزدیک سطح زمین می شوند (Allaby & Allaby, 2003: 7). گنبد های نمکی، یکی از اسرار آمیز ترین پدیده های زمین شناسی و مورفولوژیکی به شمار می آیند (ثروتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۶) که مناطق دگرشکلی منحصربه فردی را برای بررسی های ساختاری ایجاد می کنند. رسوبات تبخیری و گنبد های نمکی همراه آنها، تقریباً ۲۴ درصد از سطح قاره ها را دربر گرفته اند و حتی در نیم کره شمالی این رقم به ۴۳ درصد می رسد (ثروتی، ۱۳۸۱: ۵۷). در ایران نیز در مناطق مرکزی و زاگرس فارس، گنبد های نمکی بخش عمده ای از مناطق را دربر گرفته اند.

کمر بند چین خورده - رانده زاگرس بخشی از کمر بند کوه زایی آلپ - هیمالیاست (Takin, 1972: 211; Berberian & Kingn, 1981: 148). این کمر بند چین خورده با طول ۱۸۰۰ کیلومتر با جهت شمال غرب - جنوب شرق در اثر برخورد صفحه عربی و فلات ایران در ترشیاری پیشین و به مثابه کمر بند شمال غربی - جنوب شرقی شناخته می شود (Stocklin, 1968: 1230). رشته کوه زاگرس از کوه های تروس در ترکیه

¹ Harrison

² Kent

³ Talbot

⁴ Bosák et al

⁵ Jahani

⁶ Letouzey & Sherkat

⁷ Callo et al

⁸ Koyi et al

تکتونیک‌های فعال، در بازسازی تاریخچه تکتونیک و درک تکامل لندفرم‌ها، ابزاری بسیار مناسب است (Mayer, 1896: 126; Shtober-Zisu, 2008: 94). روش‌های تعیین تکتونیک‌های فعال بسیار هزینه‌بر و گاهی غیرممکن است؛ بنابراین استفاده از شاخص‌های مورفومتری برای تعیین و تشخیص تکتونیک‌های فعال اهمیت و ضرورت دارد و تاکنون از این روش در مطالعه زمین‌ساخت فعال منطقه استفاده نشده است؛ از این رو هدف مطالعه حاضر، بررسی ژئومورفولوژی تکتونیک گنبد‌های نمکی منطقه است.

روش پژوهش

در این پژوهش، نخست گنبد‌های نمکی در محیط Google Earth در محدوده پژوهش شناسایی شدند؛ سپس با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی ۲۰ متر (DEM) و نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰، اطلاعات توپوگرافی مانند سطوح ارتفاعی و شیب توپوگرافی استخراج شد. همچنین برای استخراج اطلاعات زمین‌شناسی منطقه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استفاده و با نرم‌افزار Arc GIS، لایه‌های مختلف کاربردی شامل آبراهه، گسل، لیتولوژی و خطوط ارتفاعی و مخروط‌افکنه تهیه شد. در ادامه مورفومتری گنبد‌ها از جمله مساحت، محیط، ارتفاع حداکثر و حداقل، طول آبراهه اصلی، طول و تعداد آبراهه‌ها در درجات مختلف، شیب مخروط‌افکنه، طول و عرض مخروط‌افکنه‌های گنبد‌ها و زاویه جاروب مخروط‌افکنه‌ها محاسبه و شاخص‌های ژئومورفیک در سه بخش بررسی شد:

۱. شاخص‌های مورفومتری مربوط به خود گنبد‌های نمکی (انتگرال هیپسومتری (Hi)، شاخص

گرفته است؛ از جمله جلیل‌پور (۱۳۹۰) گنبد نمکی خواجه را در استان آذربایجان شرقی از دیدگاه ساختاری بررسی کرده است.

پاژنگ و همکاران (۱۳۹۳) هفده گنبد نمکی مدفون و غیرمدفون را براساس داده‌های لرزه‌ای در تنگه هرمز معرفی کرده‌اند.

رجبی و شیرینی طرزم (۱۳۹۳) ویژگی‌های کمی گنبد‌های نمکی طاق‌دیسی و ناودیسی شمال غرب ایران را بررسی تطبیقی کردند.

سرکارنژاد و همکاران (۲۰۱۸) تجزیه و تحلیل ساختاری و میکروساختاری گنبد‌های نمکی زاگرس را مدنظر قرار دادند.

محمدی و همکاران (۱۳۹۸) جهت رخنمون و تغییرات مورفومتری گنبد‌های نمکی سری هرمز را در سطوح میزبان بررسی کردند.

پژوهش‌های گسترده‌ای درباره تأثیرات تکتونیک بر گنبد‌های نمکی منطقه لار فارس انجام شده، اما پژوهشی در زمینه رابطه تکتونیک و ویژگی‌های مورفومتری گنبد‌های نمکی انجام نشده است.

ژئومورفولوژی تکتونیک، فرایندهای پویا و دینامیک مؤثر بر شکل‌دهی چشم‌اندازهای موجود در یک منطقه را بررسی می‌کند. امروزه ثابت شده است تکتونیک کاربرد مؤثری در دانش ژئومورفولوژی دارد (Ramsey et al., 2008: 24). اندازه‌گیری کمی لندفرم‌ها این امکان را به ژئومورفولوژیست‌ها می‌دهد تا نقش تکتونیک‌های فعال را در تغییر شکل چشم‌اندازها بررسی کنند (Keller & Pinter, 2002: 1). ژئومورفولوژی تکتونیک لندفرم‌هایی را مطالعه می‌کند که متأثر از فعالیت‌های زمین‌ساختی ایجاد شده‌اند. بررسی کمی لندفرم‌های مربوط به مناطق

به منظور به دست آوردن ارتفاع میانگین از GIS، میانگین حسابی ارتفاع کل منطقه محاسبه می‌شود. شاخص H_i بر اساس رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$H_i = \frac{H_{\text{mean}} - H_{\text{min}}}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}$$

رابطه ۱: انتگرال هیپسومتریکی

برافراشتگی (Bh): برافراشتگی از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین ارتفاعات گنبد به دست می‌آید و با رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Strahler, 1952: 1118). در این رابطه H_{max} مقدار ارتفاع بیشینه و H_{min} ارتفاع کمینه گنبد نمکی است. مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه در ۱۱ گنبد نمکی با استفاده از مدل رقوم ارتفاعی (DEM) محاسبه و سپس بر مساحت تقسیم شد که ارتفاع بیشتر، فرسایش کمتر و در نتیجه فعالیت تکتونیکی بیشتر را نشان می‌دهد.

$$B_h = H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$$

رابطه ۲: برافراشتگی

دایره‌واری Rc: شاخص دایره‌واری از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Zavoianu, 1985: 15). در این رابطه π عدد ثابت، A مساحت سطح گنبد نمکی به کیلومتر مربع و p محیط گنبد نمکی بر حسب کیلومتر است.

$$R_c = \frac{4\pi A}{p^2}$$

رابطه ۳: دایره‌واری

کشیدگی Re: کشیدگی از تقسیم قطر بزرگ گنبد نمکی بر قطر کوچک گنبد نمکی به دست می‌آید و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Zavoianu, 1985: 16). در این رابطه L_{max} قطر بزرگ گنبد و L_{min} قطر کوچک گنبد نمکی است.

$$R_e = \frac{L_{\text{max}}}{L_{\text{min}}}$$

رابطه ۴: کشیدگی

برافراشتگی (Bh)، شاخص دایره‌واری (Rc)، شاخص کشیدگی (Bs)؛

۲. شاخص‌های مربوط به شبکه آبراهه گنبد (نسبت انشعاب (Rb)، تراکم زهکشی (Dd)، فرکانس آبراهه (Fs) و میانگین طول آبراهه درجه یک (LN1)؛

۳. شاخص‌های مربوط به مخروط افکنه‌های منشعب‌شده از گنبد (شیب، زاویه جاروب (S) و نسبت عرض به طول (W/L). این شاخص‌ها محاسبه و نتایج حاصل از آن، پس از انجام مطالعات صحرایی تجزیه و تحلیل شد.

در ادامه شاخص‌های استفاده‌شده تشریح می‌شود.

۱. شاخص‌های کمی گنبدها

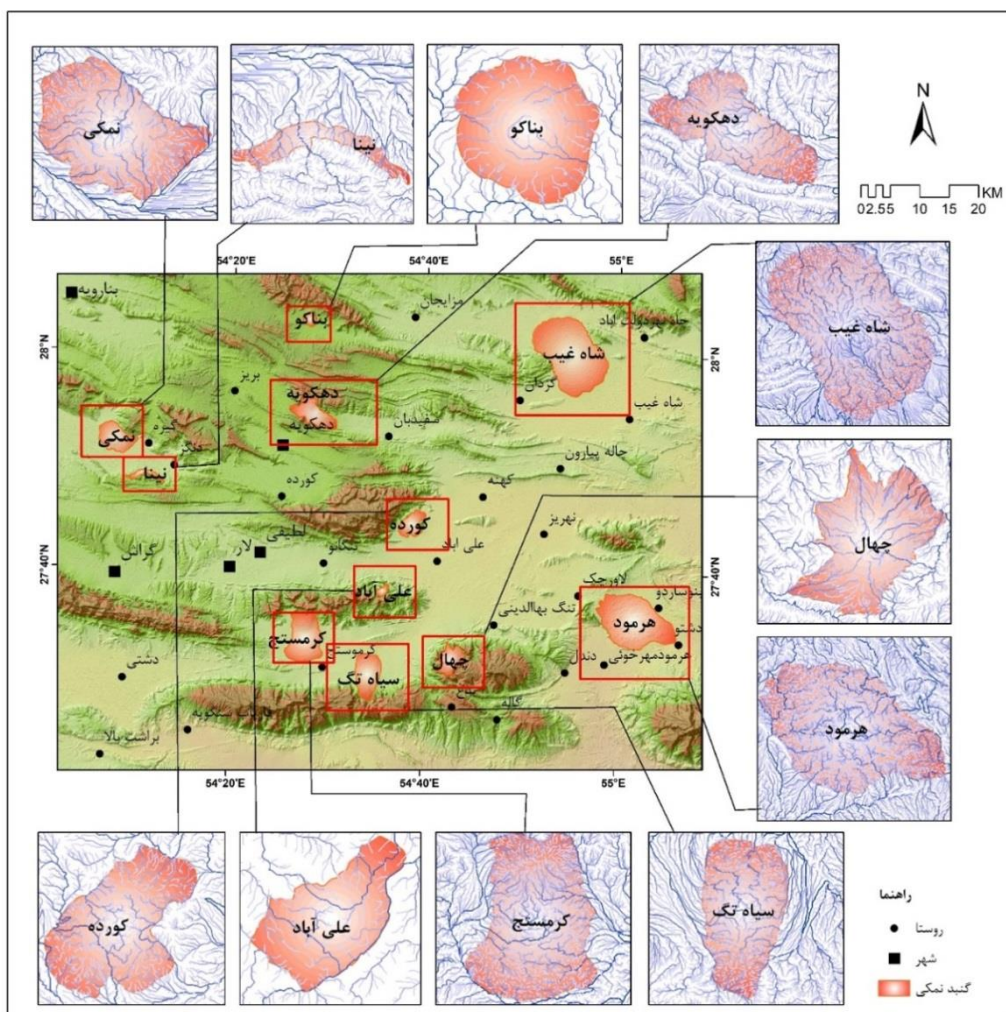
انتگرال هیپسومتریکی Hi: تحلیل هیپسومتریکی به‌مثابه یک شاخص برای مراحل فرسایش حوضه‌های زهکشی به کار برده می‌شود (Singh, 2009: 11). این شاخص، مساحت نسبی زیر منحنی هیپسومتری تعریف شده است که حجم فرسایش‌نیافته حوضه را نشان می‌دهد و به‌صورت درصدی بیان می‌شود (Keller & Pinter, 2002: 135). مقادیر زیاد این شاخص به نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی مربوط است؛ در صورتی که مقادیر کم آن به نواحی قدیمی مربوط است که دچار فرسایش شده و کمتر متأثر از زمین‌ساخت فعال منطقه‌اند (El Hamdouni et al., 2008: 154). شاخص انتگرال هیپسومتریکی توصیف‌کننده توزیع نسبی ارتفاع در یک منطقه است (Strahler, 1952: 1118). در این شاخص، برای توصیف پراکندگی ارتفاع نسبت به مساحت یک حوضه یا یک ساختار زمین‌شناسی، کمترین و بیشترین ارتفاع از Dem به دست می‌آید و

بنابراین نسبت انشعابات در گنبد‌های جوان بسیار بیشتر از گنبد‌های فرسایش‌یافته و قدیمی است. به بیانی در گنبد‌های جوان‌تر، تعداد آبراهه‌های درجه پایین (۱ و ۲) زیاد است و شبکه آبراهه‌ها با درجات بالاتر هنوز تکامل نیافته‌اند که این امر باعث می‌شود نسبت انشعابات در این‌گونه گنبد‌ها زیاد باشد. در شکل (۱)، شبکه آبراهه گنبد‌های نمکی منطقه نشان داده شده است.

رابطه ۵: نسبت انشعاب $Rb = Nu / Nu + 1$

۲. شاخص‌های شبکه آبراهه

شاخص نسبت انشعاب Rb : نسبت انشعابات، تخمینی کلی از تکامل شبکه آبراهه‌ها با درجات مختلف است (Singh & Tandon, 2008: 376). نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از تقسیم تعداد کل آبراهه‌های آن درجه بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر محاسبه می‌شود (رابطه ۵) (Guarnieri & Pirrotta, 2008: 265). در این رابطه Rb ، نسبت انشعاب و Nu ، تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر و $Nu+1$ ، تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر است. تکتونیک نقش مهمی در تعداد آبراهه‌های با درجات مختلف دارد و



شکل ۱. شبکه آبراهه گنبد‌های نمکی منطقه پژوهش

مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه و A، مساحت حوضه است.

$$Dd = Lu / A$$

رابطه ۷: تراکم زهکشی
فرکانس آبراهه (Fs): این شاخص از مؤلفه‌های کمی مربوط به مورفومتری شبکه زهکشی است. فرکانس زیاد نشان‌دهنده مناطق تکتونیک فعال به‌ویژه در گنبد‌های جوان و در نتیجه در مناطقی است که تعداد آبراهه‌های درجه یک بیشتر است. فرکانس آبراهه از نسبت تعداد آبراهه‌ها در تمامی درجات یک حوضه به مساحت حوضه (به کیلومتر مربع) محاسبه می‌شود (Sreedevi et al., 2005: 415; Devi et al., 2011: 19). این شاخص براساس رابطه ۸ محاسبه می‌شود. در این رابطه، Nu، تعداد آبراهه‌ها در تمامی درجات و A، مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

$$Fs = Nu/A$$

۳. شاخص‌های مخروط‌افکنه

مخروط‌افکنه‌ها از جمله لندفرم‌هایی هستند که فعالیت‌های تکتونیک در کنار تغییرات آب‌وهوایی، مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده آنهاست (Lee et al., 1999: 299). حرکات تکتونیک، سطح اساس فرسایشی را تغییر می‌دهد و بر فرایندهای فعال در سطح مخروط‌افکنه و تکامل آنها تأثیر می‌گذارد. بر این اساس می‌توان سطوح مخروط‌افکنه‌ای را به‌مثابه خطوط همزمان برای بررسی تاریخ و حرکات گسل‌ها و وقوع زلزله‌ها به کار گرفت. در این پژوهش نخست محدوده ۱۴۳ مخروط‌افکنه براساس تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی مشخص (شکل ۲) و سپس برای هر مخروط، زاویه جاروب^۱ (S) و نسبت عرض به

شاخص میانگین طول آبراهه درجه یک (LN1): آبراهه‌های درجه یک حساسیت زیادی در برابر حرکات تکتونیک دارند و از شاخص‌های مناسب برای شناسایی فعالیت‌های نئوتکتونیک محسوب می‌شوند (Jordan, 2007: 547). هرچه مقادیر به‌دست‌آمده شاخص LN1 بیشتر باشد، نشان‌دهنده تکتونیک فعال است؛ به‌طوری که در مناطق دارای بالآمدگی سریع، فقط شبکه‌های درجه یک توسعه می‌یابند (Zuchiewicz, 1998: 127). میانگین طول آبراهه درجه یک از تقسیم مجموعه طول آبراهه درجه یک بر تعداد آبراهه درجه یک و براساس رابطه ۶ محاسبه می‌شود. در این بررسی هرچه میانگین طول آبراهه درجه یک بیشتر باشد، نشان‌دهنده جوانی گنبد است و این شاخص با Hi رابطه معکوس دارد. هرچه میانگین طول آبراهه درجه یک کمتر باشد، تعداد آبراهه کمتر است. هرچه میانگین طول آبراهه درجه یک بیشتر باشد، بیان‌کننده جوانی گنبد است. هرچه درجه آبراهه کمتر باشد، گنبد نمکی جوان‌تر و هرچه درجه آبراهه بیشتر باشد، گنبد پیرتر است. بالاترین درجه آبراهه برعکس طول آبراهه است.

$$LN1 = \sum L1/N$$

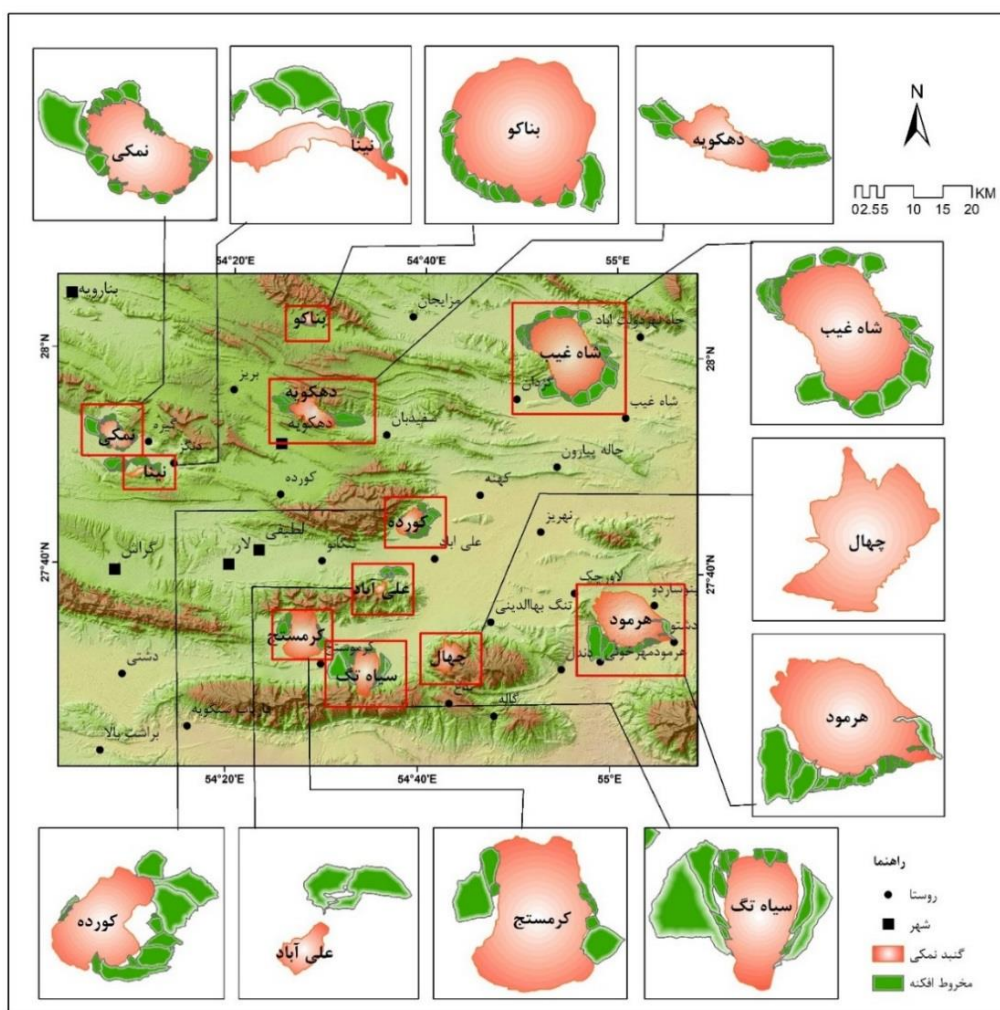
رابطه ۶: میانگین طول آبراهه درجه یک

شاخص تراکم زهکشی Dd: تراکم زهکشی بالا به‌ویژه آبراهه‌های درجه یک، نشان‌دهنده فعال‌تر بودن مناطق از نظر تکتونیک است (Zuchiewicz, 1998: 127)؛ به‌طوری که در مناطق دارای بالآمدگی سریع‌تر فقط شبکه درجه یک توسعه می‌یابد. تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت حوضه محاسبه می‌شود (رابطه ۷) (Tucker et al., 2001: 187). برای محاسبه این شاخص، Lu،

¹ Sweep angle

مخروط‌افکنه بیشتر باشد، از نظر تکتونیکی فعال‌تر است. با توجه به اینکه در این شاخص عرض بر طول تقسیم می‌شود، هرچقدر ضریب W/L بیشتر باشد، بیان‌کننده وضعیت تکتونیکی فعال‌تر است (Bahrami, 2013: 218).

طول (W/L) محاسبه شده است. هرچقدر میانگین زاویه جاروب بیشتر باشد، میزان فعالیت تکتونیکی بیشتر خواهد بود و کم‌بودن میانگین زاویه جاروب بیان‌کننده فعالیت تکتونیکی کمتر است. همچنین در شاخص W/L، نسبت عرض به طول مخروط‌افکنه محاسبه می‌شود و براساس آن هرچقدر عرض



شکل ۲. موقعیت مخروط‌افکنه‌های گنبد‌های نمکی منطقه پژوهش

زاگرس انتخاب شد که بیشترین تمرکز گنبد نمکی را دارد و نمک‌شارها در آنها چشمگیرتر است. رشته‌کوه زاگرس در محل برخورد پلاتفرم عربستان و اوراسیا، نمونه‌ای از یک کمربند کوه‌زایی

محدوده پژوهش

برای بررسی شاخص‌های مورفومتری گنبد‌های نمکی و تأثیر گسل‌ها و نمک‌شارها^۱ بر آنها، بخشی از

^۱ Salt glacier

نمکی در محدوده سیاسی کنونی لارستان به راحتی تشخیص داده می‌شود.

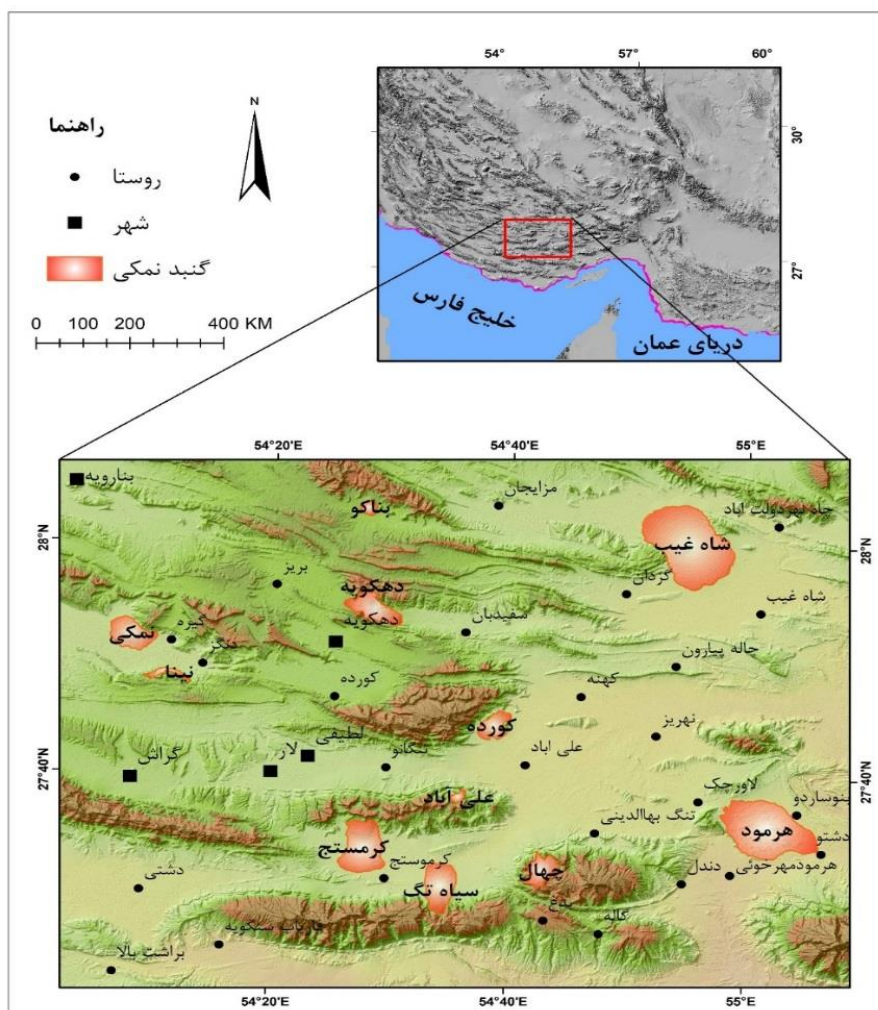
یکی از ویژگی‌های زاگرس، اجتماع زیادی از گنبد‌های نمکی به‌ویژه در جنوب شرقی زاگرس در منطقه لار است که از لایه مدفون شده در اینفراکامبرین به‌مثابه سری هرمز ایجاد شده است (Sarkarinejad et al., 2018: 110). این سری، قدیمی‌ترین واحد در لارستان است که تعداد ۱۹ گنبد نمکی در این منطقه برون‌زد خارجی دارد و شامل چهار واحد است؛ ۱. واحد هرمز ۱ (H1)؛ واحد تشکیلات نمک هرمز که اغلب از نمک و لایه‌های نازک بین آنها شامل توف، آهک، اکسید آهن و سولفور آهن تشکیل شده است؛ ۲. واحد هرمز ۲ (H2)؛ این واحد با رنگ قرمز از مارن‌های سفیدرنگ تا زرد کم‌رنگ، انیدریت توف، ایگنمبریت، آهک‌های سیاه‌رنگ و آهن تشکیل شده است؛ ۳. واحد هرمز ۳ (H3)؛ این واحد از آهک‌های سیاه‌رنگ سرشار از فسفیل جلبک تشکیل شده است؛ ۴. واحد هرمز ۴ (H4)؛ این واحد از ماسه‌سنگ‌های قرمز، خاکستری و سبز و میان‌لایه‌های توفیت سبزرنگ تشکیل شده است.

منطقه پژوهش بین مختصات جغرافیایی ۲۷، ۲۸ تا ۳۰ عرض شمالی و ۵۴ تا ۵۵ درجه طول شرقی قرار دارد (شکل ۳ و جدول ۱) و در محدوده نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ لار، چاه برکه، بزجان، شاه غیب، بستک، رستاق و رویدر سفلی واقع شده است که شامل سازندهای هرمز، بنگستان، خامی، رازک، ساچون، تاربور، گورپی و فارس بختیاری است و گسل‌های تاقدیس گچ، چهل، بورخ، هرمود، کورده، نینا و نمکی در منطقه واقع شده‌اند (شکل ۴).

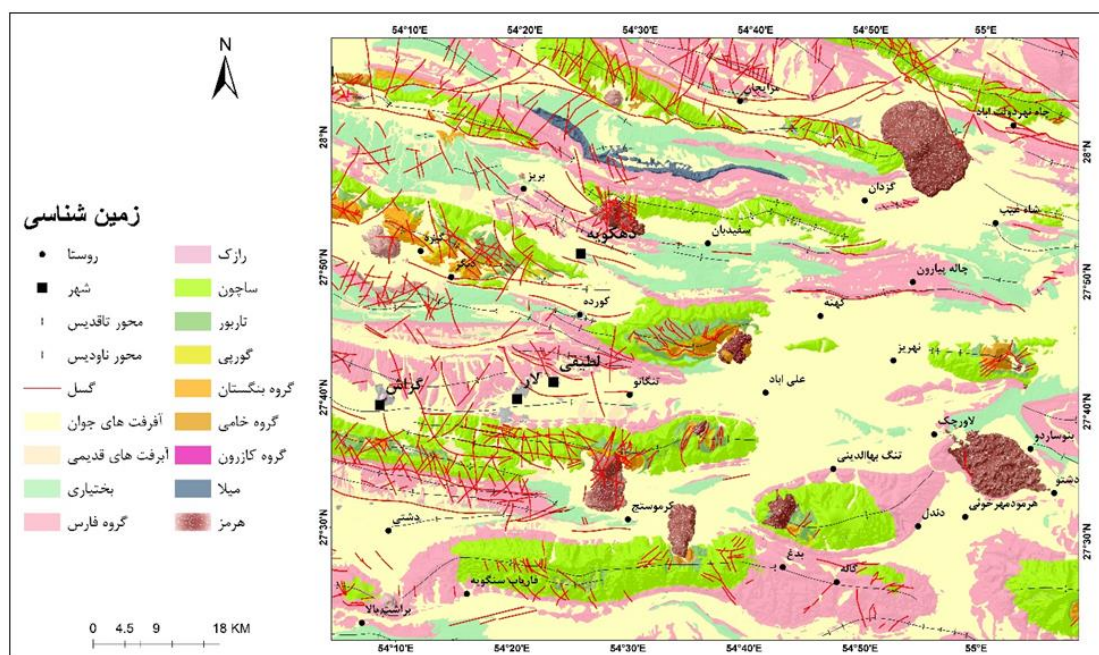
فعال و جوان است. شواهد زمین‌لرزه‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و لرزه‌شناسی نشان می‌دهد زاگرس از شمال شرق به سمت جنوب غرب در حال بالآمدگی است؛ به بیان دیگر ساختارهای زاگرس از شمال شرق به سمت جنوب غرب جوان‌تر می‌شوند (Berberian, 1995: 211). زاگرس چین‌خورده روند کلی شمال غربی - جنوب شرقی دارد و در آن رسوبات پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک به‌طور هم‌شیب روی هم قرار گرفته‌اند. این رسوبات در واقع نهشته‌های حاشیه قاره‌ای پلاتفرم عربستان را تشکیل می‌دهد که در زمان پلیوسن چین خورده‌اند. سازندهای منطقه لارستان مربوط به پیش از دوران اول (اینفراکامبرین)، دوران دوم و سوم (مزوزوئیک و سنوزوئیک) و دوران چهارم است. ناهمواری‌های زاگرس چین‌خورده در شمال خلیج فارس از روند شمال غرب - جنوب شرق به روندی شرقی - غربی با چین‌خوردگی آرام و منظم تبدیل می‌شود. این روند منظم با فعالیت دیابیرسم‌ها و گسل‌خوردگی‌ها به هم می‌خورد. یکی از عمده‌ترین این گسل‌ها، گسل رازک است. گسل رازک، گسلی است که به‌صورت عمودی بر محور چین‌خوردگی‌ها عمل کرده و در محدوده لارستان باعث شده است لارستان به دو نیمه شرقی و غربی تقسیم شود. این دو محدوده از لحاظ برون‌زدگی نمکی چهره‌ای کاملاً متفاوت از هم ارائه می‌دهند؛ به‌طوری که تمامی گنبد‌های نمکی برون‌زدیافته در محدوده شرق این گسل است و نیمه غربی آن عاری از هر نوع ساختار نمکی است. با توجه به نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ از محدوده لارستان و فارس جنوبی، وجود ۱۹ گنبد

جدول ۱. مشخصات گنبد‌های نمکی

ردیف	نام	مساحت km ²	عرض جغرافیایی درجه	طول جغرافیایی درجه	حداکثر ارتفاع	حداقل ارتفاع
۱	سیاه‌طاق	۲۴/۸	۲۷° ۳۱'	۵۴° ۳۴'	۱۳۳۴	۶۷۵
۲	چهال	۱۵/۰۳۸	۲۷° ۳۲'	۵۴° ۴۳'	۱۹۸۲	۸۹۵
۳	کرم‌ستج	۳۹/۲۶۲	۲۷° ۳۴'	۵۴° ۲۸'	۱۴۰۵	۷۰۲
۴	هرمود	۸۴/۳۴۲	۲۷° ۳۶'	۵۵° ۰۱'	۹۳۰	۵۲۹
۵	علی‌آباد	۲/۵۸۹	۲۷° ۳۸'	۵۴° ۳۵'	۱۲۸۹	۸۲۴
۶	کورده	۱۳/۰۵۶	۲۷° ۴۴'	۵۴° ۳۸'	۱۰۹۴	۶۶۹
۷	نینا	۱۴	۲۷° ۴۸'	۵۴° ۰۸'	۱۲۱۵	۷۶۱
۸	نمکی	۲۱/۷۶۷	۲۷° ۵۱'	۵۴° ۰۸'	۱۲۶۷	۷۵۵
۹	دهکویه	۲۱/۷۴۹	۲۷° ۵۴'	۵۴° ۲۸'	۱۶۹۳	۹۱۸
۱۰	شاه‌غیب	۱۰۹/۲۹۲	۲۷° ۵۹'	۵۴° ۵۴'	۱۳۳۵	۶۵۱
۱۱	بناکو	۴/۱۹۱	۲۸° ۰۳'	۵۴° ۲۷'	۱۲۷۲	۱۰۲۴



شکل ۳. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش



شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی منطقه پژوهش

یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های

استفاده‌شده: نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص هیپسومتری در گنبد‌های بررسی‌شده نشان می‌دهد بیشترین مقدار این شاخص به گنبد نمکی کرمستج با مقدار ۰/۷۵۳ و کمترین مقدار این شاخص به گنبد نمکی علی‌آباد با مقدار ۰/۳۱ مربوط است (جدول ۲). بیشترین مقدار شاخص برافراستگی به گنبد نمکی چهل با مقدار ۱۰۸۷ و کمترین مقدار این شاخص به گنبد نمکی بناکو با مقدار ۲۴۸ مربوط است. شاخص دایره‌واری در گنبد‌های مطالعه‌شده از مقدار ۰/۸۷۹ (گنبد بناکو) تا ۰/۱۰۵ (گنبد نینا) متغیر است.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص کشیدگی در گنبد‌های بررسی‌شده نشان می‌دهد بیشترین مقدار این شاخص به گنبد نمکی نینا با مقدار ۵/۳۹۷ و کمترین مقدار این شاخص به گنبد نمکی بناکو با مقدار ۱/۰۶۹ مربوط است.

بیشترین مقدار شاخص نسبت انشعابات به گنبد نمکی چاه‌غیب با مقدار ۹/۰۶۶ و کمترین این شاخص به گنبد نمکی علی‌آباد با مقدار ۱/۶۷۵ مربوط است. اندازه‌گیری شاخص میانگین طول آبراهه درجه یک در حوضه‌های بررسی‌شده نشان می‌دهد بیشترین مقدار این شاخص به گنبد نمکی با مقدار ۰/۱۶ و کمترین مقدار شاخص به گنبد نمکی علی‌آباد با مقدار ۰/۱۱ مربوط است.

همچنین بیشترین مقدار شاخص تراکم زهکشی به گنبد نمکی نینا با مقدار ۱۵ و کمترین مقدار شاخص به گنبد نمکی بناکو با مقدار ۶/۶ مربوط است. بیشترین مقدار شاخص فرکانس آبراهه به گنبد نمکی نینا با مقدار ۱۱۹/۹ و کمترین مقدار شاخص به گنبد نمکی چهل با مقدار ۵۳/۸ و گنبد نمکی با مقدار ۵۴/۳ مربوط است.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص زاویه جاروب در مخروط‌افکنه‌های حوضه‌های بررسی‌شده نشان

میانگین مقدار این شاخص به گنبد نمکی کرمستج، علی‌آباد و نمکی با مقدار ۰/۸ و کمترین مقدار شاخص به گنبد نمکی سیاه‌تگ و دهکویه با مقدار ۰/۵ مربوط است.

می‌دهد بیشترین میانگین مقدار این شاخص به گنبد نمکی علی‌آباد با مقدار ۱۱/۵ و کمترین مقدار شاخص به گنبد نمکی دهکویه با مقدار ۵۶/۳ مربوط است (جدول ۳).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص نسبت عرض به طول مخروط‌افکنه‌ها نشان می‌دهد بیشترین

جدول ۲. مقادیر هشت شاخص اندازه‌گیری شده در گستره پژوهش

ردیف	نام	Area (Km2)	Perimeter (m)	Hi	Bh	Rc	Er	Rb	Dd	LN1 (km)	Fs	W/L	S
۱	سیاه‌طاق	۲۴/۸	۲۱/۶۲۶	۰/۵۴۹	۶۵۹	۰/۶۶۶	۱/۸۳۷	۱/۹۸۹	۸/۰۰۶	۰/۱۴	۵۷/۵۴	۰/۵	۶۶/۵
۲	چهل	۱۵/۰۳۸	۲۳/۱۱۴	۰/۳۷۵	۱۰۸۷	۰/۳۵۴	۱/۵۳۵	۲/۰۶۶	۸/۳۴۵	۰/۱۵	۵۳/۸	-	-
۳	کرمستج	۳۹/۲۶۲	۲۷/۶۶۷	۰/۷۵۳	۷۰۳	۰/۶۴۴	۱/۱۹۴	۲/۶۵	۸/۱۳۵	۰/۱۵	۵۶/۹	۰/۸	۸۷/۴
۴	هرمود	۸۴/۳۴۲	۴۰/۶۳۶	۰/۶۰۶	۴۰۱	۰/۶۴۲	۱/۶۰۹	۱/۸۳۶	۷/۹۸۸	۰/۱۵	۵۹/۱۱	۰/۶	۷۸/۴
۵	علی‌آباد	۲/۵۸۹	۷/۳۸۲	۰/۳۱۰	۴۶۵	۰/۵۹۷	۱/۷۲۲	۱/۶۵۷	۸/۲۲۱	۰/۱۱	۷۳/۷۸	۰/۸	۱۱۰/۵
۶	کورده	۱۳/۰۵۶	۱۷/۰۸۵	۰/۴۲۸	۴۲۹	۰/۵۶۲	۱/۶۰۹	۱/۹۳۹	۷/۸۵۳	۰/۱۳	۶۳/۹۵	۰/۷	۸۲/۳
۷	نینا	۱۴	۴۰/۸۴۳	۰/۴۸۴	۴۵۴	۰/۱۰۵	۵/۳۹۷	۲/۰۶۱	۱۵/۳۶	۰/۱۵	۱۱۹/۹	۰/۷	۷۰/۱
۸	نمکی	۲۱/۷۶۷	۲۰/۴۷۱	۰/۶۲۶	۵۱۲	۰/۶۵۲	۱/۵۳۹	۲/۷۴۸	۸/۱۱۳	۰/۱۶	۵۴/۳	۰/۸	۸۱
۹	دهکویه	۲۱/۷۴۹	۲۷/۱۳۷	۰/۴۹۰	۷۷۵	۰/۳۷۱	۲/۰۶۲	۳/۵۴	۸/۰۱۱	۰/۱۲	۶۶/۵۸	۰/۵	۵۶/۳
۱۰	شاه‌غیب	۱۰۹/۲۹۲	۴۹/۰۱۷	۰/۶۱۹	۶۸۴	۰/۵۷۱	۱/۵۳۷	۹/۰۶۶	۷/۶۹۷	۰/۱۳	۵۷/۲۱	۰/۷	۷۸/۲
۱۱	بناکو	۴/۱۹۱	۷/۷۳۸	۰/۳۸۶	۲۴۸	۰/۸۷۹	۱/۰۶۹	۳/۲۳۸	۶/۶۱۸	۰/۱۲	۵۷/۹۸	۰/۶	۸۱/۱

جدول ۳. میانگین شاخص‌های مخروط‌افکنه گنبد‌های نمکی

ردیف	نام	تعداد مخروط	میانگین مساحت (کیلومتر مربع)	میانگین عرض به متر (W)	میانگین طول به متر (L)	W/L میانگین	میانگین اختلاف ارتفاع مخروط (متر)	میانگین شیب مخروط (درجه)	میانگین زاویه جاروب (درجه)
۱	سیاه‌طاق	۱۴	۲/۱	۱/۰	۲/۴	۰/۵	۱۱/۸	۵/۵	۶۶/۵
۲	چهل	-	-	-	-	-	-	-	-
۳	کرمستج	۸	۱/۳	۱/۰	۱/۴	۰/۸	۶۱/۳	۵/۷	۸۷/۴
۴	هرمود	۱۶	۲/۰	۱/۱	۲/۱	۰/۶	۶۱/۵	۳/۶	۷۸/۷
۵	علی‌آباد	۲	۲/۹	۲/۱	۲/۸	۰/۸	۱۲۶/۵	۴/۷	۱۱۰/۵
۶	کورده	۱۷	۰/۷	۰/۶	۱/۱	۰/۷	۶۲/۰	۹/۱	۸۲/۳
۷	نینا	۱۸	۰/۳	۰/۴	۰/۶	۰/۷	۴۲/۸	۹/۵	۷۰/۱
۸	نمکی	۴۷	۰/۸	۰/۹	۱/۱	۰/۸	۴۷/۸	۵/۰	۸۱/۰
۹	دهکویه	۷	۲/۴	۱/۲	۳/۱	۰/۵	۱۱۵/۴	۴/۶	۵۶/۳
۱۰	شاه‌غیب	۲۵	۲/۴	۱/۴	۲/۰	۰/۷	۵۸/۰	۳/۰	۷۸/۲
۱۱	بناکو	۱۵	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۶	۲۶/۹	۸/۸	۸۱/۱

نتایج حاصل از ارزیابی همبستگی بین شاخص‌ها:

در این پژوهش ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های مختلف گنبد نیز به دست آمده است (جدول ۴).

رابطه مساحت زیرمنحنی هیپسومتری با میانگین

طول آبراهه‌های رتبه یک با ضریب همبستگی $0/619$

در سطح معناداری $0/042$ ، رابطه‌ای مثبت است که

نشان می‌دهد با افزایش سطح زیرمنحنی هیپسومتری بر میانگین طول آبراهه‌های رتبه یک افزوده می‌شود.

مساحت گنبد با مساحت زیرمنحنی هیپسومتری

رابطه مثبت دارد. این رابطه با ضریب همبستگی

$0/609$ در سطح معناداری $0/047$ نشان داده می‌شود.

رابطه مساحت گنبد نمکی با محیط قوی و مثبت

است. میزان همبستگی در سطح معناداری $0/003$ به

مقدار $0/798$ است.

رابطه مساحت با نسبت انشعاب $0/689$ در سطح

معناداری $0/019$ است؛ اما همبستگی میان شاخص

دایره‌واری و تراکم آبراهه به میزان $0/800$ - و سطح

معناداری $0/003$ است.

رابطه میان شاخص دایره‌واری و فرکانس آبراهه

نیز با مقدار $0/715$ - و سطح معناداری $0/013$ نسبتاً

قوی و منفی است.

ارتباط شاخص کشیدگی با تراکم آبراهه و

فرکانس آبراهه بسیار قوی و مثبت است. میزان

همبستگی شاخص کشیدگی با تراکم آبراهه $0/978$ با

سطح معناداری $0/000$ است و این عدد برای

همبستگی میان شاخص کشیدگی و فرکانس آبراهه

$0/958$ در سطح معناداری $0/000$ است. میزان

همبستگی تراکم آبراهه‌ها با فرکانس آبراهه $0/938$

در سطح معناداری $0/000$ است.

رابطه شاخص دایره‌واری با شاخص کشیدگی

گنبد نیز منفی و قوی با مقدار $0/799$ - در سطح

معناداری $0/003$ است. همبستگی میان شاخص

دایره‌واری و تراکم آبراهه به میزان $0/800$ - است و

سطح معناداری $0/003$ را نشان می‌دهد.

رابطه میان شاخص دایره‌واری و فرکانس آبراهه

نیز با مقدار $0/715$ - و سطح معناداری $0/013$ ، نسبتاً

قوی و منفی است. نسبت عرض به طول

مخروط‌افکنه‌ها با زاویه جاروب مخروطها رابطه‌ای

بسیار قوی و مثبت دارد؛ به طوری که ضریب

همبستگی بین این دو مؤلفه $0/937$ است. همچنین

ضریب همبستگی بین تراکم آبراهه‌ها و فرکانس

آبراهه‌ها $0/938$ است.

بررسی شاخص‌های ژئومورفیک، روش مفیدی

برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیک اخیر فراهم

می‌آورد. بر این اساس مقدار شاخص‌های

هیپسومتری (Hi)، برافراشتگی (Bh)، تراکم زهکشی

(Dd)، شاخص نسبت انشعاب (Rb)، شاخص

میانگین طول آبراهه درجه یک (LN1)، شاخص

نسبت عرض به طول (W/L) و زاویه جاروب (S)

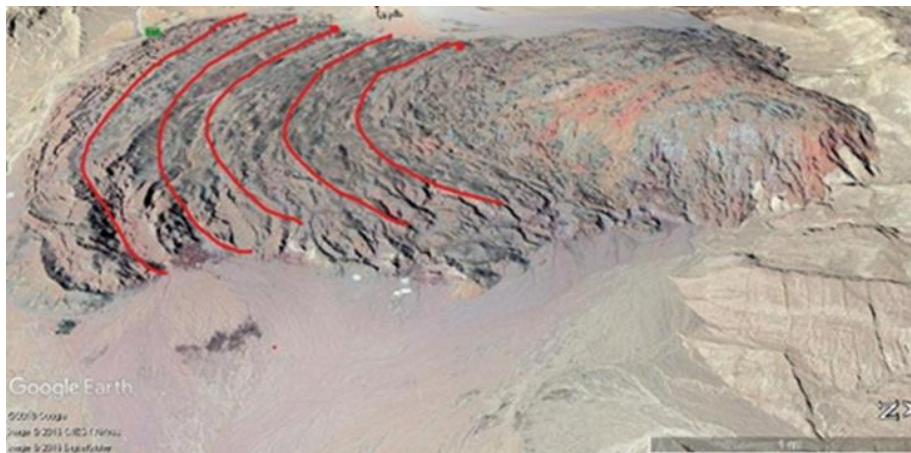
در گستره مدنظر محاسبه شد.

جدول ۴. ضریب همبستگی شاخص‌ها

		مساحت گنبد	محیط گنبد	شاخص برافراشتگی	شاخص دایره‌واری	شاخص کشیدگی	مساحت زیرمنحنی هیپسومتري	میانگین مساحت مخروط‌افکنه‌ها	نسبت W/L مخروط‌افکنه	میانگین شیب مخروط‌افکنه	میانگین زاویه جاروب مخروط‌افکنه	نسبت انشعاب	تراکم آبراه‌ها	فرکانس آبراهه	میانگین طول آبراه‌های رتبه یک
مساحت گنبد	Correlation	1	.798**	-0.549	0.109	-0.170	.609*	0.400	0.123	-0.368	0.067	.689*	-0.162	-0.257	0.203
	Sig.		0.003	0.080	0.749	0.617	0.047	0.223	0.719	0.266	0.845	0.019	0.634	0.445	0.550
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
محیط گنبد	Correlation	.798**	1	-.649*	-0.449	0.397	0.576	0.236	0.086	-0.464	-0.097	0.523	0.408	0.252	0.418
	Sig.	0.003		0.031	0.166	0.227	0.064	0.485	0.802	0.151	0.777	0.099	0.213	0.456	0.201
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
شاخص برافراشتگی	Correlation	0.087	0.211	1	-0.415	-0.122	.088	0.562	-0.138	-0.537	-0.381	0.149	-0.064	-0.263	0.368
	Sig.	0.080	0.031		0.970	0.866	0.008	0.551	0.949	0.730	0.588	0.327	0.871	0.702	0.055
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
شاخص دایره‌واری	Correlation	0.109	-0.449	0.013	1	-.799**	0.150	0.007	0.184	0.468	0.341	0.082	-.800**	-.715*	-0.231
	Sig.	0.749	0.166	0.970		0.003	0.661	0.983	0.588	0.146	0.304	0.811	0.003	0.013	0.494
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
شاخص کشیدگی	Correlation	-0.170	0.397	-0.058	-.799**	1	-0.104	-0.038	0.227	-0.106	0.073	-0.159	.978**	.958**	0.144
	Sig.	0.617	0.227	0.866	0.003		0.760	0.912	0.502	0.757	0.831	0.641	0.000	0.000	0.672
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
مساحت زیرمنحنی هیپسومتري	Correlation	.609*	0.576	-.746**	0.150	-0.104	1	0.102	0.326	0.078	0.130	0.308	-0.030	-0.224	.619*
	Sig.	0.047	0.064	0.008	0.661	0.760		0.765	0.328	0.820	0.703	0.357	0.929	0.508	0.042
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
میانگین مساحت مخروط‌افکنه‌ها	Correlation	0.400	0.236	0.202	0.007	-0.038	0.102	1	0.291	-0.311	0.428	0.253	-0.116	0.020	-0.408
	Sig.	0.223	0.485	0.551	0.983	0.912	0.765		0.384	0.351	0.189	0.453	0.733	0.953	0.213
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
نسبت W/L مخروط‌افکنه	Correlation	0.123	0.086	-0.022	0.184	0.227	0.326	0.291	1	0.566	.937**	0.137	0.232	0.366	-0.210
	Sig.	0.719	0.802	0.949	0.588	0.502	0.328	0.384		0.069	0.000	0.687	0.493	0.268	0.535
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
میانگین شیب مخروط‌افکنه	Correlation	-0.368	-0.464	-0.118	0.468	-0.106	0.078	-0.311	0.566	1	0.521	-0.184	-0.136	-0.025	-0.107
	Sig.	0.266	0.151	0.730	0.146	0.757	0.820	0.351	0.069		0.100	0.587	0.690	0.942	0.753
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
میانگین زاویه جاروب مخروط‌افکنه	Correlation	0.067	-0.097	0.184	0.341	0.073	0.130	0.428	.937**	0.521	1	0.036	0.056	0.267	-0.448
	Sig.	0.845	0.777	0.588	0.304	0.831	0.703	0.189	0.000	0.100		0.916	0.869	0.427	0.167
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
نسبت انشعاب	Correlation	.689*	0.523	-0.326	0.082	-0.159	0.308	0.253	0.137	-0.184	0.036	1	-0.196	-0.200	-0.139
	Sig.	0.019	0.099	0.327	0.811	0.641	0.357	0.453	0.687	0.587	0.916		0.563	0.556	0.683
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
تراکم آبراه‌ها	Correlation	-0.162	0.408	-0.056	-.800**	.978**	-0.030	-0.116	0.232	-0.136	0.056	-0.196	1	.938**	0.256
	Sig.	0.634	0.213	0.871	0.003	0.000	0.929	0.733	0.493	0.690	0.869	0.563		0.000	0.446
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
فرکانس آبراهه	Correlation	-0.257	0.252	0.130	-.715*	.958**	-0.224	0.020	0.366	-0.025	0.267	-0.200	.938**	1	-0.079
	Sig.	0.445	0.456	0.702	0.013	0.000	0.508	0.953	0.268	0.942	0.427	0.556	0.000		0.818
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
میانگین طول آبراهه‌های رتبه یک	Correlation	0.203	0.418	-0.593	-0.231	0.144	.619*	-0.408	-0.210	-0.107	-0.448	-0.139	0.256	-0.079	1
	Sig.	0.550	0.201	0.055	0.494	0.672	0.042	0.213	0.535	0.753	0.167	0.683	0.446	0.818	
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

با هیپسومتری گنبدها، احتمالاً به دلیل ساختار پیچیده گنبدها و حرکت آنها (مانند یخچال‌ها) در حین بالآآمدگی است. شکل ۵، شکاف‌های عرضی را نشان می‌دهد که بیان‌کننده حرکت نمک به سمت پایین‌دست است؛ علاوه بر نقش حرکت نمک‌ها، فرایند کارستیفیکاسیون نیز در پیچیدگی گنبدها تأثیرگذار است. فرایند کارستیفیکاسیون به پیچیدگی سیستم‌های زهکشی در گنبدها (پیر و جوان) انجامیده و نتیجه این وضعیت در نبود رابطه معنادار بین شاخص‌های کمی مربوط به شبکه زهکشی (تراکم زهکشی، نسبت انشعابات و فرکانس زهکشی) با انتگرال هیپسومتری ظاهر شده است.

شکل (۶)، یک دولین کارستی است که روی گنبد نمکی تشکیل شده است. در اثر پدیده انحلال و ایجاد دولین هنگام بارندگی‌های اتفاقی، رواناب آبراهه به داخل دولین (یا فروچاله‌ها) نفوذ می‌کند و بنابراین اثر طول آبراهه در بالاتر از دولین، در تکامل آبراهه سطحی از بین می‌رود. این موضوع باعث می‌شود رابطه معناداری بین تراکم زهکشی، نسبت انشعابات و فرکانس زهکشی و سن گنبد وجود نداشته باشد.



شکل ۵. خطواره‌های عرضی سطح گنبد نمکی کرم‌ستج که حرکت نمک‌ها را نشان می‌دهد. جهت حرکت نمک عمود بر خطوط قرمز رنگ است.

چنان‌که در قسمت نتایج بررسی شد، بیشترین ضریب همبستگی بین مؤلفه هیپسومتری و مساحت گنبد به دست آمد و این موضوع نشان‌دهنده آن است که شاخص هیپسومتری، شاخص خوبی برای طبقه‌بندی گنبدها از نظر جوانی و پیری است. مقدار انتگرال هیپسومتری (سطح زیرمنحنی هیپسومتری) سن گنبدها را نشان می‌دهد. زیادبودن مقدار انتگرال هیپسومتری نشان‌دهنده جوانی گنبد و مقدار کم این شاخص نشان‌دهنده غلبه فرسایش و پیری گنبد است؛ بنابراین از این شاخص برای طبقه‌بندی سن نسبی گنبدها استفاده می‌شود.

میانگین طول آبراهه درجه یک نیز شاخصی مناسب برای تقسیم‌بندی گنبدها از نظر جوانی و پیری است؛ به طوری که هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، جوان‌بودن گنبد و هرچه کمتر باشد، پیری گنبد را نشان می‌دهد.

شاخص تراکم زهکشی، نسبت انشعابات و فرکانس زهکشی، رابطه معناداری با شاخص هیپسومتری ندارد و بنابراین شاخص‌های مناسبی برای تفکیک سن گنبدها نیستند. نبود رابطه معنادار بین مؤلفه‌های یادشده



شکل ۶. دولین گنبد نمکی، گنبد کرمستج

نتیجه گیری

در این پژوهش، مورفومتری گنبد های نمکی منطقه لار در استان فارس براساس شاخص های هیپسومتری (Hi)، برافراشتگی (Bh)، دایره واری (Rc)، کشیدگی (Er)، تراکم زهکشی (Dd)، شاخص نسبت انشعاب (Rb)، فرکانس آبراهه (Fs)، شاخص میانگین طول آبراهه درجه یک (LNI)، شاخص نسبت عرض به طول (W/L) و زاویه جاروب (S)، در گستره مدنظر محاسبه شد. براساس شاخص انتگرال هیپسومتری، گنبد های کرمستج، نمکی، شاه غیب جوان، علی آباد، چهل و بناکو پیر هستند. بین شاخص های هیپسومتری و میانگین طول آبراهه رتبه یک رابطه معنادار مثبتی وجود دارد و نبود رابطه معنادار بین شاخص های تراکم زهکشی و فرکانس زهکشی با هیپسومتری به دلیل حرکت به سمت پایین دست گنبد های نمکی در حین بالآمدن گنبد های نمکی است که نظم شبکه زهکشی را بر هم می زند. نبود رابطه معنادار بین مورفومتری مخروط های گنبد نمکی و مورفومتری گنبد ها به حرکت نمک ها در گنبد های نمکی مربوط

نبود رابطه بین انتگرال هیپسومتری و دایره واری نیز به حرکت نمک در گنبد ها مربوط می شود؛ به نحوی که حرکت نمک ها در حین بالآمدگی گنبد ها، شکل گنبد ها را به هم می ریزد و کارایی شاخص های مورفومتری مربوط به شکل گنبد ها (مانند دایره واری) کاهش می یابد.

شاخص های مربوط به مخروط افکنه های اطراف گنبد ها نظیر زاویه جاروب، نسبت عرض به طول و شیب نیز رابطه معناداری با شکل گنبد ها و انتگرال هیپسومتری ندارند. این موضوع نیز به حرکت نمک ها در گنبد های نمکی مربوط می شود؛ به گونه ای که حرکت نمک به سمت پایین دست باعث تغییر مداوم خط جبهه کوهستان و در نتیجه پیچیدگی در مورفومتری و تکامل مخروط افکنه ها می شود.

گنبد های نمکی به دلیل حرکتی که دارند، نظم شاخص های مورفومتری را بر هم می زند و با ویژگی های مورفومتری مخروط افکنه های تشکیل شده در پای طاقدیس های در حال رشد انطباق ندارند (Bahrami, 2013: 228).

رجبی، معصومه، شیرین طرز، علی، (۱۳۹۳). بررسی تطبیقی ویژگی‌های کمی گنبد‌های نمکی طاقدیسی و ناودیسی شمال غرب ایران، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۳، شماره ۱، ۸۰-۹۶.

محمدی، احمد، محمودی، پیمان، نعمتی، فرشاد، سهرابی مفرد، مرضیه، (۱۳۹۸). بررسی جهت رخنمون و تغییرات مورفومتری گنبد‌های نمکی سری هرمز در سطوح میزبان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۷، شماره ۴، ۲۱۷-۲۱۳.

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Mouthereau, F., (2005). **Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation**, Int. J. Earth Sci, Vol 3, No 94, Pp 401-419.

Alavi, M., (1994). **Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran**, Journal of Geodynamics, Vol 21, Pp 1- 33.

Allaby, A., Allaby, M., (2003). **Dictionary of Earth Sciences**, Oxford University Press, Second Edition.

Bahrani, S., (2013). **Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danehkhoshk anticline**, Zagros, Iran, Geomorphology, Pp 180-181.

Berberian, M., (1995). **Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics**, Tectonophysics, Vol 241, No 3, Pp 193-224.

Berberian, M., King, G.C.P., (1981). **Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran**, Can. J. Earth Sci., Vol 18, Pp 210-285.

Billings, M.P., (2003). **Structural Geology**, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey.

می‌شود؛ به گونه‌ای که حرکت نمک به سمت پایین‌دست به تغییر مداوم خط جبهه کوهستان و در نتیجه پیچیدگی در مورفومتری و تکامل مخروط‌افکنه‌ها می‌انجامد. در بین شاخص‌های مورفومتری گنبد‌ها، شاخص هیپسومتری و میانگین طول آبراهه درجه یک، شاخص‌های مناسبی برای بررسی مورفومتری گنبد‌ها هستند.

منابع

پازنگ، سعیده، کدخدایی، علی، زمانی، بهزاد، برگریزان، محمود، یوسف‌پور، محمدرضا، (۱۳۹۳). معرفی ۱۷ گنبد نمکی مدفون و غیرمدفون براساس داده‌های لرزه‌ای در تنگه هرمز (بلوک E)، پژوهش نفت، دوره ۲۵، شماره ۸۴، ۱۵۰-۱۶۰.

ثروتی، محمدرضا، (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی منطقه‌ای ایران، چاپ اول، تهران، انتشارات سازمان جغرافیای نیروهای مسلح.

ثروتی، محمدرضا، حمدی، بهاء‌الدین، یزدجردی، کورس، ادیب‌پور، محبوبه، (۱۳۸۹). بررسی مورفولوژی گنبد نمکی جهانی در جنوب فیروزآباد، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۳، شماره ۷، ۳۹-۱۵.

جلیل‌پور، محمد، (۱۳۹۰). بررسی مکانیسم جای‌گیری گنبد نمکی خواجه در شمال شرق تبریز با نگرشی به پتانسیل ذخیره‌سازی گاز طبیعی، رساله کارشناسی ارشد، استاد راهنما: مؤید، محسن، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا.

- Jenyon, M.K., (1986). **Salt Tectonics**, Elsevier.
- Jordan, G., (2007). **Adaptive smoothing of valleys in DEMs using TIN interpolation from ridgeline elevation**, An application to morphotectonic aspect analysis, *Computers & Geosciences*, Vol 33, Pp 573-585.
- Keller, E.A., Pinter, N., (2002). **Active Tectonics; Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd Ed.)**, Prentice Hall, New Jersey.
- Kent, P.E., (1958). **Recent studies of south Persian salt plugs**, *AAPG Bull*, Vol 12, No 42, Pp 2951-2972.
- Koyi, H.A., Ghasemi, A., Hessami, K., Dietl, C., (2008). **The mechanical relationship between strike-slip faults and salt diapirs in the Zagros fold-thrust belt**, *J. Geol. Soc. Lond*, Vol 6, No 165, Pp 1031-1044.
- Lee, Y., Yang, J., Tan, L., Duan, F., (1999). **Impact of tectonics on alluvial landforms in the Hexi Corridor**, Northwest China, *Geomorphology*, Vol 3-4, No 28, Pp 299-308.
- Letouzey, J., Sherkati, S., (2004). **Salt movement, tectonic events, and structural style in the central Zagros fold and thrust belt (Iran)**, In: Paper Presented at 24th Annual GCSSEPM Foundation Bob F. Perkins Research Conference: Salt-sediment Interactions and Hydrocarbon Prospectivity: Concepts, Applications, and Case Studies for the 21st Century, Gulf Coast Section. SEPM, Houston, Texas.
- Mayer, L., (1896). **Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts**, *Active tectonics*, Pp 125-135.
- Mouthereau, F., Lacombe, O., Verges, J., (2012). **Building the Zagros collisional orogen: timing, strain distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence**, *Tectonophysics* 532, 27e602.
- Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J., (2008). **"Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SEIran"**, *Basin Research*, Vol 20, Pp 23-48.
- Bosák, P., Jaros, J., Spudil, J., Sulovsky, P., Vaclavek, V., (1998). **Salt diapirs in the Eastern Zagros, Iran: results of regional geological reconnaissance**, *Inst. Geol. Acad. Sci. Czech Repub./ Geolines* 7, Pp 3-174.
- Callot, J.P., Jahani, S., Letouzey, J., (2007). **The role of pre-existing diapirs in fold and thrust belt development**, In Lacombe. Springer, Berlin, Pp 309-325.
- Devi, R.K.M., Bhakuni, S.S., Kumar Bora, P., (2011). **Tectonic implication of drainage set-up in the Sub-Himalaya: A case study of Papumpare district**, *Arunachal Himalaya, India, Geomorphology*, Vol 1-2, No 127, Pp 14-31.
- EL Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E.A., (2008). **Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain)**, *Geomorphology*, Vol 969, Pp 150-173.
- Frizon de Lamotte, D., Raulin, C., Mouchot, N., Wrobel-Daveau, J.C., Blanpied, C., Ringenbach, J.C., (2011). **The southernmost margin of the Tethys realm during the Mesozoic and Cenozoic: initial geometry and timing of the inversion processes**, *Tectonics* 30, No 3.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., (2008). **The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily)**, *Geomorphology*, Vol 95, Pp 260-273.
- Harrison, J.V., (1931). **Salt domes/diapirs in Persia**, *J. Inst. Pet. Tech*, Vol 91, No 17, Pp 300-320.
- Haynes, S.J., McQuillan, H., (1974). **Evolution of the Zagros suture zone, southern Iran**, *Geol. Soc. Am. Bull*, Vol 5, No 85, Pp 739-744.
- Jahani, S., Callot, J.P., Frizon de Lamotte, D., Letouzey, J., Leturmy, P., (2007). **The salt diapirs of the eastern Fars province (Zagros, Iran): a brief outline of their past and present**, In *Thrust Belts and Foreland Basins*, *Frontiers in Earth Sciences*, Springer, Pp 289-308.

- Continental Margins. Springer, New York, Pp 873-887.
- Stocklin, J., (1968). **Structural history and tectonics of Iran: A review**, AAPG Bull, Vol 52, Pp 1229-1258.
- Strahler, A.N., (1952). **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography**, Geological Society of America Bulletin, Vol 63, Pp 1117-1142.
- Takin, M., (1972). **Iranian geology and continental drift in the Middle East**, Nature 235, Pp 147-150.
- Talbot, C.J., (1979). **Fold trains in a Glacier of salt in southern Iran**. J. Struct. Geol. 1, Pp 5-18.
- Talbot, C.J., (1998). **Extrusions of Hormuz salt in Iran**. In: In: Blunderll, D.J., Scott, A.C. (Eds.), Lyell: the Past is the Key to the Present. Geological Society, London, Special Publication, Vol 143, Pp 315-334.
- Talbot, C.J., Jackson, M.P.A., (1987). **Salt Tectonics**. Scientific American, Colorado, Pp 70-79.
- Tucker, G.E., Catani, F., Rinaldo, A., Bras, R.L., (2001). **Statistical analysis of drainage density from digital terrain dat**, Geomorphology, Vol 36, Pp 187-202.
- Zavoianu, I., (1985). **Morphometry of drainage basins**. Elsevier Science Publishing Company.
- Zuchiewicz, W., (1998). **Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians, Poland**, Tectonophysics, Vol 297, Pp 121-132.
- Ricou, L., Braud, J., (1977). **Brunn Le Zagros**. Mem. Soc, Geol. Fr., Vol 8, Pp 33-52.
- Sarkarinejad, K., Asadi Sarshar, M., Adineh, S., (2018). **Structural, micro-structural and kinematic analyses of channel flow in the Karamostoj salt diapir in the Zagros foreland folded belt, Fars province, Iran**. Structural Geology, Vol 107, Pp 109-131.
- Shtober-Zisu, N., Greenbaum, N., Inbar, M., Flexer, A., (2008). **Morphometric and geomorphic approaches for assessment of tectonic activity**, Dead Sea Rift (Israel). Geomorphology, Vol 1, No 102, Pp 93-104.
- Singh, V., Tandon, S.K., (2008). **The Pinjaur dun (intermontane longitudinal valley) and associated active mountain fronts.NW Himalaya: tectonic geomorphology and morphotectonic evolution**, India, geomorphology, 106 p.
- Singh, O.M., (2009). **Hypsometry and erosion proneness: a case study in the lesser Himalayan Watersheds**, Journal of Soil and Water conservation, Vol 8, Pp 53- 59.
- Sreedevi, P.D., Subrahmanyam, K., Ahmed, S., (2005). **The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain**, Environmental Geology, Vol 47, Pp 412-420.
- Stocklin, J., (1874). **Possible ancient continental margins in Iran**, In: Burk, C.A., Drake, C.L. (Eds.), the Geology of