



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال شانزدهم، شماره ۵۶
زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۱۸-۱

شهرام بهرامی^۱
فاطمه پرهیزکار^۲

تحلیل مورفومتری طاقدیس های هوا و خشت و ارتباط آن با تکتونیک های فعال در زاگرس فارس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۰۷

چکیده

تکتونیک های فعال از موضوعات اصلی و مهم مورد بحث در رشته های علوم زمین در چند دهه ی اخیر بوده است. با توجه به کمبود شدید اطلاعات لرزه شناسی دستگاهی و تاریخی در نقاط مختلف جهان و به ویژه ایران لزوم آشنا شدن هر چه بیشتر محققان و برنامه ریزان کشور با تکتونیک های فعال و شناسایی نواحی فعال تکتونیکی بیش تر نمایان می شود. هدف این تحقیق، ارزیابی مورفومتری طاقدیس های خشت و هوا و ارتباط آن با تکتونیک های فعال منطقه است. جهت دستیابی به هدف فوق، داده های مورد نیاز از نقشه های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره ای لندست استخراج شد. همچنین مطالعات میدانی از اشکال و فرآیندهای ژئومورفیک انجام شد. داده های مورد نیاز برای محاسبه ی شاخص های ژئومورفولوژیکی همچون شاخص تقارن چین، سینوسیته جبهه کوهستان، خط الرأس طاقدیس، نسبت جهت، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، فرکانس رودخانه، بافت زهکشی، نسبت بافت و الگوی زهکشی بعد از ورود به محیط نرم افزار GIS محاسبه و به دست آمد. به طور کلی مقادیر شاخص های کمی محاسبه شده و همچنین شاخص های کیفی بررسی شده در این تحقیق بیانگر فعالیت های تکتونیکی و بالا آمدگی جانبی طاقدیس های مورد مطالعه است.

کلید واژه ها: طاقدیس، خشت، هوا، شاخص های ژئومورفولوژیکی، تکتونیک.

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری.

۲- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.

مقدمه

ژئومورفولوژی تکتونیک، به مطالعه‌ی فرآیندهای پویا و دینامیک مؤثر در شکل‌دهی و چشم‌اندازهای موجود در آن می‌پردازد. در سال‌های اخیر ژئومورفولوژی تکتونیک به‌طور چشم‌گیر، یکی از ابزارهای عمده و اساسی و مؤثر در تشخیص شکل‌های تکتونیک‌ی فعال و نقشه‌های خطر لرزه‌ای و همچنین درک و فهم تاریخچه چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین بوده است. امروزه ثابت شده است که تکتونیک، کاربرد مؤثری در دانش ژئومورفولوژی دارد. تکتونیک در علم زمین‌شناسی، عوامل به‌وجود آورنده ساختمان‌ها (مثل چین‌ها، گسل‌ها و...) و نیز رابطه شکل هندسی ساختمان به‌وجود آمده و نیروهای مؤثر را بازگو می‌کند. واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده از نظر تکتونیک، فعال بوده و در اثر فشارهای ساختمانی از اوایل پلیوسن در حال بالا آمدن و کوتاه‌شدگی است (رامسی^۳، ۲۰۰۸: ۲۳؛ تاتار^۴، ۲۰۰۲: ۱۹۲۷؛ ویتافینزی^۵، ۱۹۷۹: ۶۳۲؛ فالکن^۶، ۱۹۷۴: ۱۹۹). بالا آمدگی و کوتاه‌شدگی زاگرس ابتدا از شمال‌شرق زاگرس (کمر بند رورانده) شروع شده و به سمت جنوب‌غرب (زاگرس چین‌خورده و دشت خوزستان) پیشروی نموده است (بربریان^۷، ۱۹۹۵: ۲۰۱). اندازه‌گیری‌های کمی لندفرم‌ها این امکان را به ژئومورفولوژیست‌ها می‌دهد تا با اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی در لندفرم‌های مختلف، نقش تکتونیک‌های فعال را در تغییر شکل چشم‌اندازها بررسی کنند (کلر و پینتر^۸، ۲۰۰۲: ۱۲۱). مطالعات مختلف نشانگر وجود تکتونیک‌های فعال، بالا آمدگی‌ها و کوتاه‌شدگی طاق‌دیس‌ها و وجود زلزله‌های متعدد در زاگرس است (بربریان، ۱۹۹۵: ۱۹۹؛ رنگزن^۹، ۱۹۹۸: ۲۱۶؛ بلانک^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۳: ۴۰۵؛ حسامی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۴۳؛ رامسی و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۳. پیراسته^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۷۱). به‌عنوان مثال بررسی‌ها نشان می‌دهد که بالا آمدگی تکتونیک‌ی یک طاق‌دیس در دزفول باعث شده است که یک کانال آبیاری دوره ساسانی در طی ۱۷۰۰ سال حدود ۲۰ متر به سمت بالا جابه‌جا شود (بیدون^{۱۳} و همکاران، ۱۹۹۲: ۳۲۱). تاکنون مطالعات زیادی در زمینه شاخص‌های ژئومورفولوژیکی مربوط به تکتونیک‌های فعال در دنیا انجام شده است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود: ولز^{۱۴} و همکاران (۱۹۸۸) شاخص‌هایی مانند سطوح مثلثی شکل، شاخص تسطیح شدگی جبهه کوهستان، سینوسی شدن جبهه کوهستان، تقعر نیم‌رخ رودخانه را در سواحل کاستاریکا بررسی کردند. جکسون^{۱۵} و همکاران (۱۹۸۸) در یک مطالعه دقیق، اثرات کج

-
- 3- Ramsey
 - 4- Tatar
 - 5- Vita-finzi
 - 6- Falcon
 - 7-Berberian
 - 8- Pinter & keller
 - 9- Rangzan
 - 10- Blanc
 - 11-Hessami
 - 12- Piraste
 - 13- Beydon
 - 14- Wels
 - 15- Jakson

شدگی چین‌ها و نقش گسل‌ها در الگوی زهکشی و انحراف مسیر شبکه آب‌ها در ناحیه ماناواتو در نیوزلند مورد ارزیابی قرار دادند. تالینگ و سوتر^{۱۶} (۱۹۹۹) نقش تکتونیک و بالآمدگی طاقدیس ویلر ریج در کالیفرنیا را در تراکم زهکشی بررسی کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد که تراکم زهکشی در پهلوهای پرشیب کم‌تر است. آزور^{۱۷} و همکاران (۲۰۰۲) با مطالعه طاقدیس اوک ریج در جنوب کالیفرنیا، تفاوت میزان بالآمدگی طاقدیس و فعالیت تکتونیک آن را بر اساس پارامترهای تراکم زهکشی، شیب لایه‌ها، انتگرال هیپسومتری زیرحوضه‌ها، شاخص شیب رودخانه و سینوسیته جبهه کوهستان محاسبه کردند. سونگ و چن^{۱۸} (۲۰۰۴) نقش گسل خوردگی و ساختمان طاقدیس پاکوشان در مرکز تایوان را در جهت‌گیری و الگوی شبکه زهکشی بررسی می‌کردند. دلایکو^{۱۹} و همکاران (۲۰۰۶) نقش بالآمدگی دو طاقدیس جانوری و چاندیگار در غرب هند را در ایجاد الگوهای مختلف آبراه‌های تحلیل کردند. احمدی^{۲۰} و همکاران (۲۰۰۶) واکنش شبکه‌های زهکشی به یک طاقدیس در حال رشد با فرود محوری دو طرفه را در کوه‌های اطلس در تونس مورد ارزیابی قرار دادند.

رامسی و همکاران (۲۰۰۸) در مقاله خود با عنوان تحول چین‌خوردگی و توسعه شبکه زهکشی، در رشته‌کوه‌های زاگرس فارس، تکامل شبکه زهکشی و تغییرات الگوی زهکشی در طاقدیس‌های در حال رشد (در امتداد محور) در زاگرس فارس (طاقدیس‌های کوه سفیدار، کوه هندون و کوه خنج) را ارزیابی کردند. آن‌ها اظهار کرده‌اند که مقایسه بین شبکه‌های رودخانه‌ای امروزی وضعیت این شبکه‌ها در گذشته ممکن است اطلاعاتی را در مورد تاریخچه تکتونیک و رشد چین‌خوردگی‌ها در نواحی کوهستان فراهم کند. به نظر آن‌ها شواهد ژئومورفولوژی حاکی از این است که طاقدیس‌ها در زاگرس به احتمال زیاد دارای رشد طولی هستند. پیراسته و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی با عنوان تجزیه و تحلیل فرآیندهای تکتونیک در کوه‌های زاگرس به کمک شبکه زهکشی و نقشه توپوگرافی (۱۹۵۰-۲۰۰۱) به کمک GIS، عنوان کردند که تغییرات الگوی زهکشی، طول شبکه زهکشی، شیب شبکه‌ها و تعداد شبکه‌ها نشان می‌دهند که کوه‌های زاگرس در معرض فرآیندهای تکتونیک جدید هستند. بهرامی^{۲۱} (۲۰۱۲ B) به بررسی تکامل مورفولوژی دره‌های ساغری شکل و اشکال مثلثی شکل بر روی طاقدیس نواکوه پرداخت و به این نتیجه رسید که بین شیب پهلوئی طاقدیس و طول قاعده‌ی مثلث‌ها رابطه‌ای قوی وجود دارد.

منطقه مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه (شکل ۱) در جنوب‌غرب استان فارس در محدوده‌ی جغرافیایی " ۴۲° ۳۷' ۲۷° الی " ۱۲' ۴۸° عرض شمالی و " ۲۰' ۰۲° ۵۳° الی " ۳۲' ۲۲° ۵۳° طول شرقی (طاقدیس خشت) و طاقدیس هوا از " ۰۸' ۴۳° الی " ۴۵' ۵۷° ۲۷° عرض شمالی و " ۱۸' ۳۷' ۵۲° الی " ۵۸' ۰۳' ۵۳° طول شرقی گسترده شده است.

16-Talling & Sowler

17- Azor

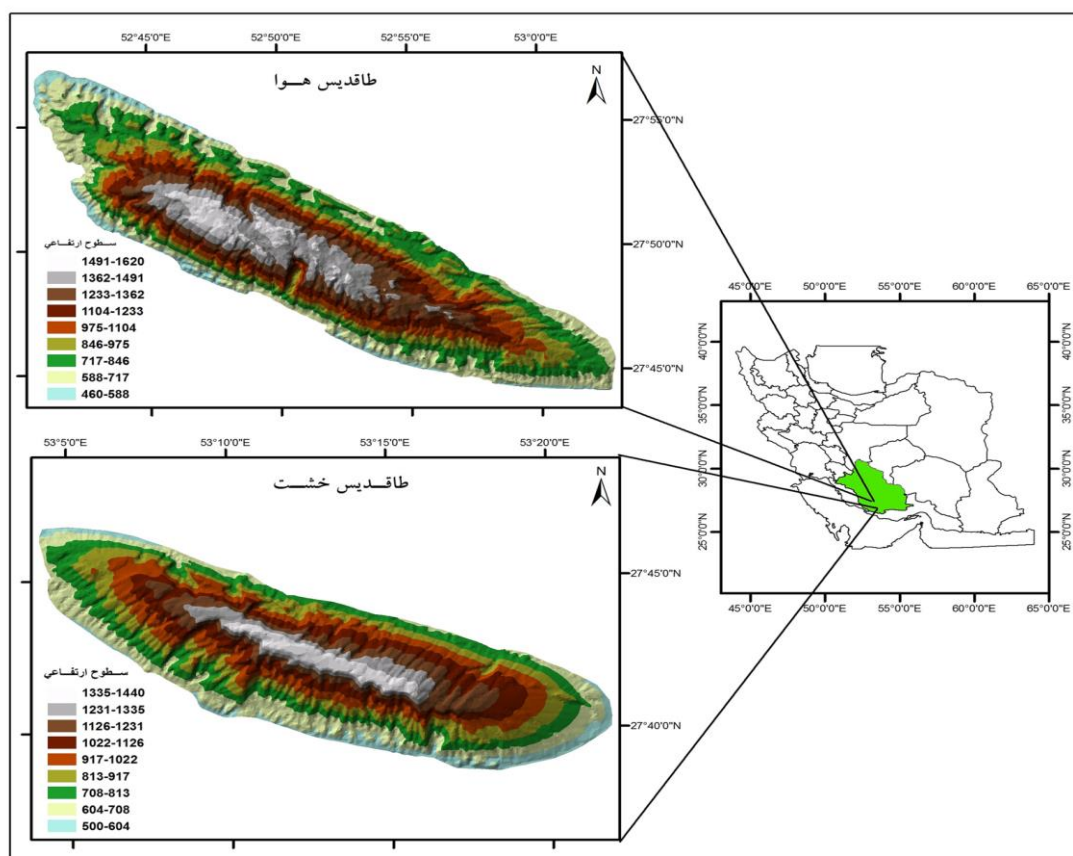
18- Sung & Chen

19- Delcaillau

20- Ahmadi

21- Bahrami

طاقدیس خشت دارای روند شمال‌غرب-جنوب‌شرقی با طول تقریبی ۳۱ کیلومتر و مساحت ۲۱۳ کیلومترمربع می‌باشد. مرتفع‌ترین نقطه آن با ۱۴۵۰ متر در قسمت مرکزی و پست‌ترین نقطه آن در بخش جنوب‌شرقی طاقدیس می‌باشد. میانگین شیب طاقدیس ۲۳/۵۹ درصد می‌باشد. طاقدیس هوا نسبتاً متقارن است، دارای روند شمال‌غرب-جنوب‌شرقی با طول تقریبی ۴۳ کیلومتر و مساحت ۳۲۲ کیلومترمربع می‌باشد. حداکثر ارتفاع آن ۱۶۲۰ متر در قسمت شمال‌غربی و پست‌ترین نقطه آن ۴۶۰ متر در اطراف بخش‌های فرسایش یافته طاقدیس قرار دارد. میانگین شیب منطقه ۲۷/۹۶ درصد می‌باشد. سازندهای هر دو طاقدیس شامل گروه فارس، سازند آسماری-جهرم، پابده-گورپی، بنگستان و خامی می‌باشد (شکل ۲). سازندهای برونزد یافته‌ی طاقدیس خشت بیش‌تر از گروه فارس است که حدود ۹۲/۱۹ درصد از سطح طاقدیس را می‌پوشاند و طاقدیس هوا نیز از گروه فارس و سازند آسماری-جهرم است و به‌ترتیب حدود ۵۰/۰۷ و ۴۸/۰۸ درصد از کل طاقدیس را شامل می‌شود (شکل ۳).

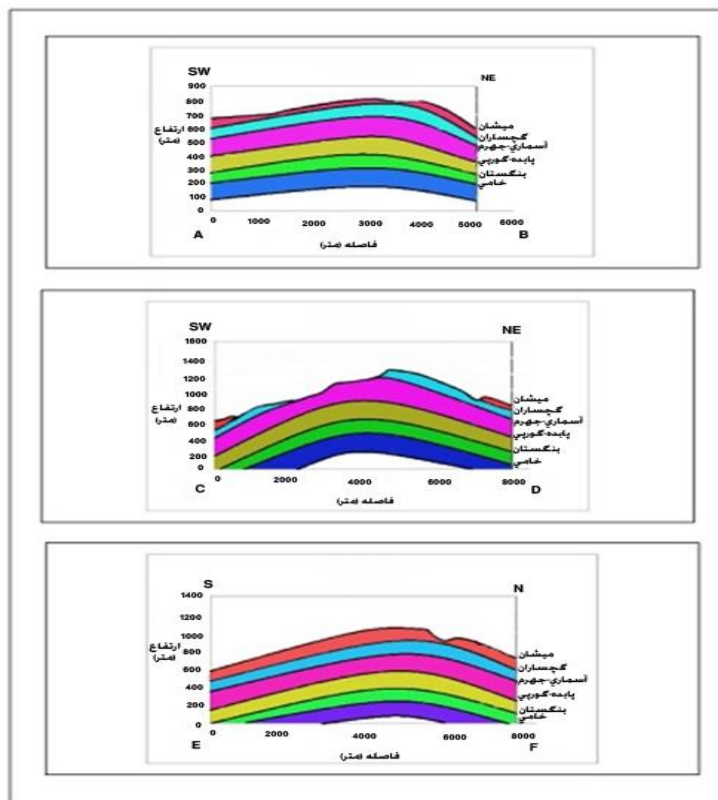
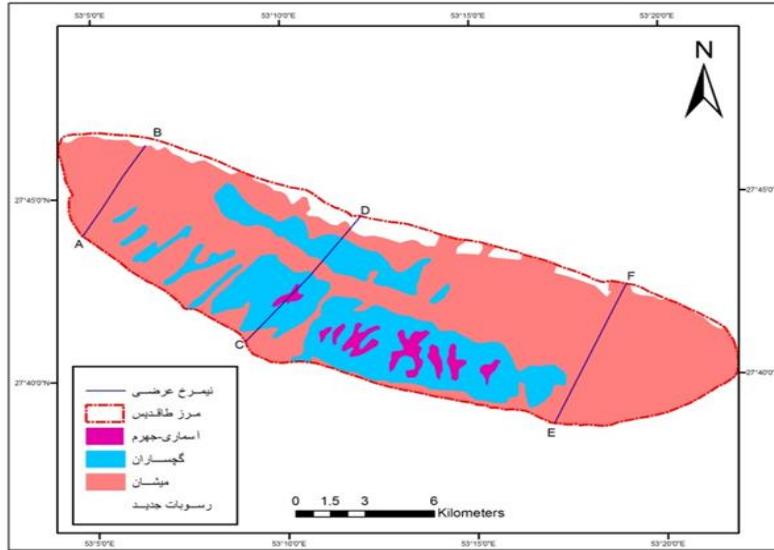


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی طاقدیس‌های مورد مطالعه

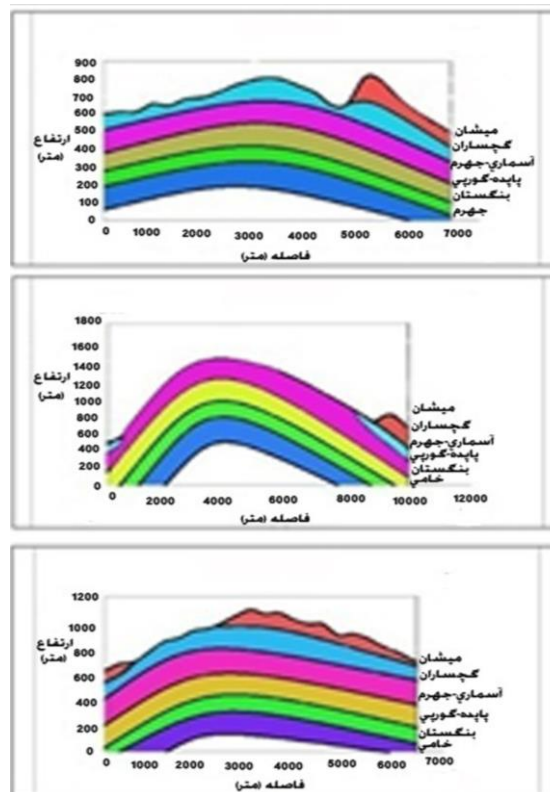
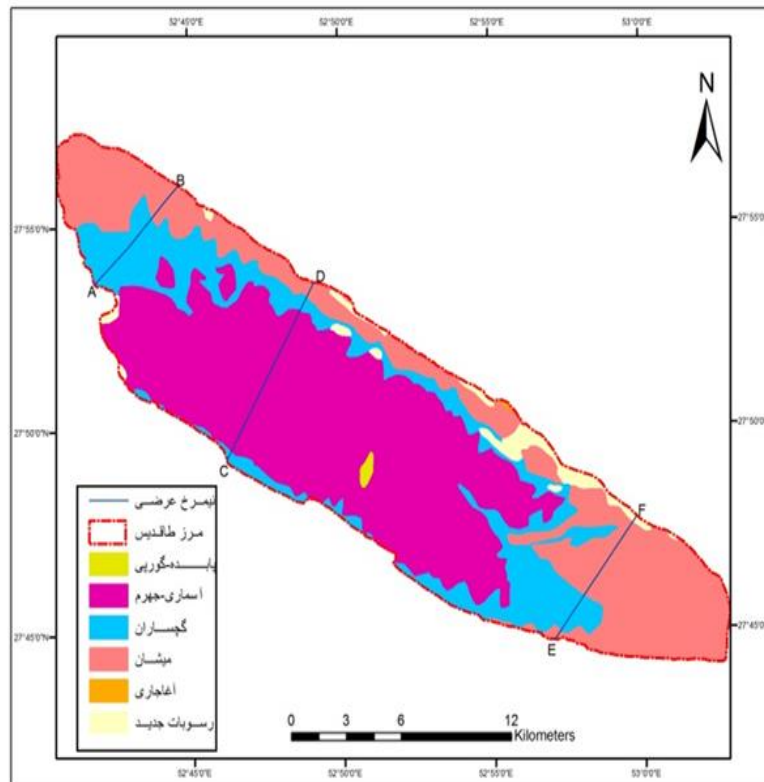
مواد و روش‌ها

هدف این تحقیق بررسی خصوصیات مورفومتری طاقدیس‌های خشت و هوا ارتباط آن با تکتونیک‌های فعال منطقه می‌باشد. جهت دستیابی به این هدف، ابتدا نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران تهیه و مقاطع

زمین‌شناسی طاقدیس‌ها استخراج گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ طاقدیس‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار GIS^{۲۲} رقمی گردید و نقشه سطوح ارتفاعی و شیب و تکتونیک طاقدیس‌ها تهیه شد. شبکه زهکشی به‌طور دقیق ترسیم شد.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی و مقاطع زمین‌شناسی طاقدیس خشت



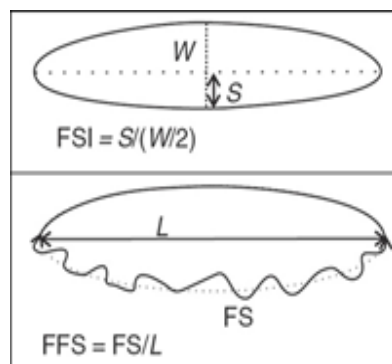
شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی و مقاطع زمین‌شناسی طاقدیس هوا

درجه‌بندی آبراهه‌ها به روش استراهلر انجام شد. بعد از رقومی‌سازی شبکه زهکشی در نرم‌افزار، GIS، طول و تعداد آبراهه‌ها با درجات مختلف به دست آمد و بر اساس آن شاخص‌های نسبت انشعابات^{۲۳} (Rb)، فرکانس زهکشی^{۲۴} (Fs) و بافت زهکشی^{۲۵} (Rt) تراکم زهکشی^{۲۶} (Dd) و نسبت بافت^{۲۷} (T) تاقدیس‌ها محاسبه گردید. محاسبه شاخص‌های سینوسیته جبهه چین^{۲۸} (FFS)، خط‌الرأس طاقدیس^{۲۹} (AD) شاخص تقارن چین^{۳۰} (FSI) و نسبت جهت^{۳۱} (Ar) بر اساس تصویر ماهواره‌ای لندست و نقشه زمین‌شناسی انجام شد. در نهایت ارتباط تمامی پارامترهای ژئومورفیک و تکتونیک‌کی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها و بحث

شاخص تقارن چین

شاخص تقارن چین از مهم‌ترین پارامترهایی است که میزان نابرابری دو یال طاقدیس و در نتیجه میزان فعالیت تکتونیک‌کی را نشان می‌دهد. شاخص تقارن چین (FSI) از تقسیم S (عرض پهلوی کوتاه‌تر طاقدیس) بر نصف عرض طاقدیس (W/2) به دست می‌آید (شکل ۴).



شکل ۴: روش محاسبه FSI و FFS به‌طور شماتیک (بابربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۴)

در یک طاقدیس کاملاً متقارن، مقدار این شاخص یک است در حالی که در یک طاقدیس نامتقارن، مقدار شاخص مذکور کم‌تر از ۱ است (بابربری^{۳۲} و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۴).

- 23- Bifurcation ratio
- 24- Stream frequency
- 25- Drainage texture
- 26- Drainage density
- 27- Texture ratio
- 28- Fold Front Sinuosity
- 29- Crest length
- 30- Fold Symmetry Index
- 31- Aspect ratio
- 32- Burbury

هر چه مقدار این شاخص کم‌تر از عدد یک باشد نشانگر فعال بودن نیروهای زمین‌ساخت در ناحیه می‌باشد که منجر به ایجاد طاقدیس نامتقارن، با طرفین پرشسب و با شکست‌ها و گسل‌ها می‌شود. مقدار زیاد این شاخص بیانگر عدم تأثیرگذاری فعالیت‌های تکتونیکی و شکل‌گیری طاقدیس‌ها به شکل متقارن می‌باشد. مقدار شاخص مذکور برای طاقدیس خشت ۰/۶۰ و برای طاقدیس هوا ۰/۹۳ به‌دست آمده است.

- شاخص سینوسیته جبهه چین

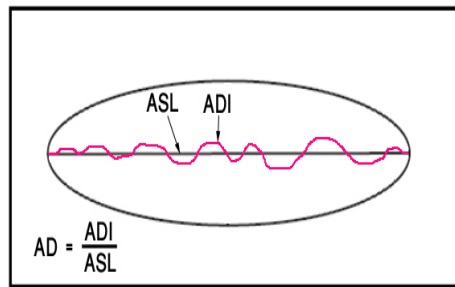
از دیگر پارامترهایی که بر اساس آن می‌توان درجه فعالیت‌های تکتونیکی یا سن سیستم چین‌خوردگی را تعیین نمود، شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) است. شاخص مذکور از نسبت طول جبهه طاقدیس (FS) به طول طاقدیس (L) به‌دست می‌آید (شکل ۴). مقدار کم این شاخص، نشان‌دهنده چین‌خوردگی‌های جوان است در حالی که مقدار بالای شاخص مذکور نشان‌دهنده جبهه‌های فرسایش یافته یا چین‌خوردگی‌های قدیمی است (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴) مقدار محاسبه شده شاخص FFS برای طاقدیس‌های مورد مطالعه در (جدول ۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مقدار شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	L (km)	FS (km)	FFS
خشت	۷۰/۴۷	۷۴/۷۷	۱/۰۶
هوا	۱۰۱/۲۴	۹۳/۰۹	۱/۰۸

- شاخص خط‌الرأس طاقدیس

طول خط‌الرأس طاقدیس نسبت به خط مستقیم (بین ابتدا و انتهای خط‌الرأس) تا حدودی نشان‌دهنده میزان فرسایش و سن چین‌خوردگی است. در طاقدیس‌های جدید، خط‌الرأس تقریباً مستقیم است در حالی که در طاقدیس‌های قدیمی و فرسایش یافته، خط‌الرأس دارای طول بیش‌تری است. در این تحقیق شاخصی به‌نام AD (شاخص خط‌الرأس طاقدیس) تعریف شده است که از تقسیم ADI (طول خط‌الرأس واقعی طاقدیس) بر ASL (طول خط مستقیم بین ابتدا و انتهای خط‌الرأس) به‌دست می‌آید (شکل ۵). مقدار شاخص AD برای طاقدیس خشت ۱/۰۴ و برای طاقدیس هوا ۱/۰۷ به‌دست آمده است که همان‌طور که مشاهده می‌شود هر دو دارای مقدار نزدیک به هم هستند.



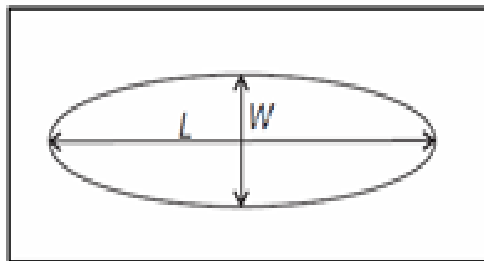
شکل ۵: روش محاسبه AD به‌طور شماتیک

- شاخص نسبت جهت

از شاخص‌های مورفومتری برای تعیین میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه، شاخص نسبت جهت می‌باشد. شاخص نسبت جهت (AR) عبارت است از نسبت طول به عرض مشخص در یک طاقدیس (شکل ۶) و از رابطه زیر به‌دست می‌آید (باربری و همکاران، ۲۰۰۸: ۴۲۳):

$$AR = \frac{L}{W} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن L، طول طاقدیس و W، حداکثر عرض طاقدیس است.



شکل ۶: روش محاسبه شاخص نسبت جهت به‌طور شماتیک (باربری و همکاران، ۲۰۰۸: ۴۲۳)

میزان بالای این شاخص نشان‌دهنده فعالیت تکتونیک بالا و میزان کم آن نیز کاهش فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهد. مقدار شاخص مذکور در طاقدیس خشت ۳/۹۷ و در طاقدیس هوا ۴/۳۸ به‌دست آمده است (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مربوط به شاخص نسبت جهت (AR) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	L(km)	W(km)	AR
خشت	۳۲/۳۸	۸/۱۵	۳/۹۷
هوا	۴۲/۲۷	۹/۶۳	۴/۳۸

نسبت انشعاب

نسبت انشعابات (Rb)، تخمینی کمی از تکامل شبکه‌ی آبراهه‌ها با درجات مختلف است (سینگ و چن، ۲۰۰۸: ۲۳۱). نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از رابطه ۲ به دست می‌آید (گارنیری و پیروتا^{۳۳}، ۲۰۰۸: ۲۶۷):

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن N_u تعداد آبراهه با رتبه u و N_{u+1} تعداد آبراهه در یک رتبه بالاتر است. نسبت انشعابات برای هر طاق‌دیس از میانگین Rb تمام رده‌ها به دست آمد. نسبت انشعابات، به جز در مناطق تکتونیکی فعال، دارای مقادیر بین ۳ تا ۵ می‌باشد (اوزمیر و برد^{۳۴}، ۲۰۰۹: ۱۴۱۰) تکتونیک نقش مهمی در تعداد آبراهه‌های با درجات مختلف داشته و بنابراین نسبت انشعابات در طاق‌دیس‌های جوان بسیار بالاتر از طاق‌دیس‌های فرسایش یافته و قدیمی می‌باشد. به عبارتی در طاق‌دیس‌های جوان‌تر، تعداد آبراهه‌های درجه پایین (۱ و ۲) بالا بوده و شبکه‌ی آبراهه‌ها با درجات بالاتر، هنوز تکامل نیافته‌اند که این امر باعث می‌شود نسبت انشعاب در این گونه طاق‌دیس‌ها بالا باشد. در این مطالعه ابتدا تعداد آبراهه‌های با درجات مختلف به دست آمد (جدول ۳) و بر اساس آن نسبت انشعابات در طاق‌دیس‌ها محاسبه گردید (جدول ۴). مقدار Rb در طاق‌دیس خشت ۴/۷۹ و در طاق‌دیس هوا ۶/۷۲ به دست آمده است.

جدول ۳- تعداد و طول آبراهه‌های با درجات مختلف در طاق‌دیس‌های مطالعاتی

نام طاق‌دیس	آبراهه درجه ۱		آبراهه درجه ۲		آبراهه درجه ۳		آبراهه درجه ۴		آبراهه درجه ۵		نسبت آبراهه‌های درجه ۱ به تعداد کل آبراهه‌ها	
	تعداد	طول (کیلومتر)	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول	نسبت (به درصد)	تعداد کل
خشت	۱۲۳۰	۱۰۳۹/۰۳	۲۹۴	۲۲۸/۵۴	۶۰	۲۶/۷۵	۱۱	۱۳/۲۷	۰	۰	۷۷/۱۱	۱۵۹۵
هوا	۲۲۱۰	۱۱۴۵/۱۷	۵۶۰	۳۰۵/۲۸	۱۲۳	۱۴۳/۷۰	۲۸	۵۰/۹۴	۲	۱/۲۸	۷۵/۶۰	۲۹۲۳

جدول ۴- مقادیر پارامترهای کمی محاسبه شده در طاق‌دیس‌های مطالعاتی

پارامتر	A	Dd		Rb	Fs	
		در تمام آبراهه‌ها	در آبراهه‌های درجه ۱		در تمام آبراهه‌ها	در آبراهه‌های درجه ۱
نام طاق‌دیس						
خشت	۲۱۳/۱۵	۶/۳۶	۴/۸۴	۴/۷۹	۷/۴۸	۵/۷۷
هوا	۳۲۲/۷۰	۵/۱۰	۳/۵۴	۶/۷۲	۹/۰۵	۶/۸۴

33- Guarnieri & Pirrotta,

34- Ozdemir

تراکم زهکشی

تراکم زهکشی (D_d)، نسبت طول آبراهه‌ها به مساحت در یک منطقه مشخص است و از رابطه زیر به دست می‌آید (توکر^{۳۵} و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۸۷):

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن L_i ، طول هر یک از آبراهه‌های حوضه اعم از آبراهه‌های دائم و غیر دائم به کیلومتر و A ، مساحت منطقه برحسب کیلومتر مربع می‌باشد. تراکم زهکشی بالا به‌ویژه آبراهه‌های درجه ۱، نشان‌دهنده فعال‌تر بودن مناطق از نظر تکتونیکی است (زوپویکس^{۳۶}، ۱۹۹۸: ۱۲۷). به طوری که در مناطق دارای بالاآمدگی سریع‌تر تنها شبکه‌های درجه ۱ توسعه می‌یابند. در طاقدیس‌های با بالاآمدگی آرام‌تر و عرض بیش‌تر، شبکه‌های زهکشی با درجات بالاتر نیز توسعه می‌یابند. در این تحقیق طول آبراهه‌های با درجات مختلف تعیین شد. همچنین تراکم زهکشی برای آبراهه‌های درجه ۱ نیز به دست آمد (جدول ۴). همان‌گونه که (جدول ۴) نشان می‌دهد تعداد آبراهه‌های درجه ۱ در هر دو طاقدیس زیاد است.

فرکانس رودخانه

فرکانس آبراهه (F_s) از جمله پارامترهای کمی مربوط به مورفومتری شبکه زهکشی است که از رابطه زیر به دست می‌آید (سردیوی^{۳۷} و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۱۵. دوی^{۳۸} و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۹).

$$F_s = \sum Nu/A \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن Nu تعداد آبراهه‌ها در تمامی درجات و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. مقدار پارامتر F_s به عواملی مانند زمین‌شناسی، اقلیم، پوشش گیاهی، جنس سنگ و خاک و توپوگرافی بستگی دارد. در مناطق تکتونیکی فعال به‌ویژه در طاقدیس‌های جوان، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ بیش‌تر است. بنابراین در این تحقیق، علاوه بر فرکانس رودخانه تمام درجات، فرکانس رودخانه آبراهه‌های درجه ۱ نیز برای طاقدیس‌های مورد مطالعه نیز محاسبه شد. همچنین نسبت آبراهه‌های درجه ۱ نسبت به کل آبراهه‌ها محاسبه شد (جدول ۳).

شاخص بافت زهکشی

بافت زهکشی یکی از مفاهیم اساسی و مهم در ژئومورفولوژی است. تعداد خطوط زهکشی در مناطق با نفوذپذیری کم نسبت به مناطق با نفوذپذیری زیاد بیش‌تر است. بر اساس نظر هورتون (۱۹۴۵) بافت زهکشی از تقسیم تعداد

35- Tucker

36- Zuchiewicz

37- Sreedevi

38- Devi

کل آبراهه‌ها به محیط منطقه‌ی مورد نظر محاسبه می‌شود. او ظرفیت نفوذ را به‌عنوان تنها عامل مهمی که در بافت زهکشی مؤثر است شناسایی کرده و بافت زهکشی را که دربرگیرنده‌ی تراکم زهکشی و فرکانس جریان است را مطرح کرده است (سرینی و اساق^{۳۹}، ۲۰۰۴: ۳۶۰).
بافت زهکشی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

رابطه (۵)

$$Rt = Nu/P$$

که در آن، Rt بافت زهکشی، Nu تعداد کل آبراهه‌ها، P محیط حوضه به Km

جدول ۵- مقادیر پارامترهای مربوط به شاخص بافت زهکشی (Rt) و نسبت بافت (T) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام طاقدیس	Nu	Nl	$P(km)$	Rt	T
خشت	۱۵۹۵	۱۲۳۰	۷۰/۸۷	۲۲/۵۰	۱۷/۳۵
هوا	۲۹۲۳	۱۲۳۰	۹۷/۴۹	۲۹/۹۸	۲۲/۶۶

شاخص نسبت بافت

نسبت بافت (T) یک عامل مهم در تجزیه و تحلیل مورفومتریک زهکشی است که به لیتولوژی زیرین، ظرفیت نفوذ و جهت پستی و بلندی‌های زمین وابسته است (ویجید و سادش^{۴۰}، ۲۰۰۶: ۱۸۶).
نسبت بافت از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

رابطه (۶)

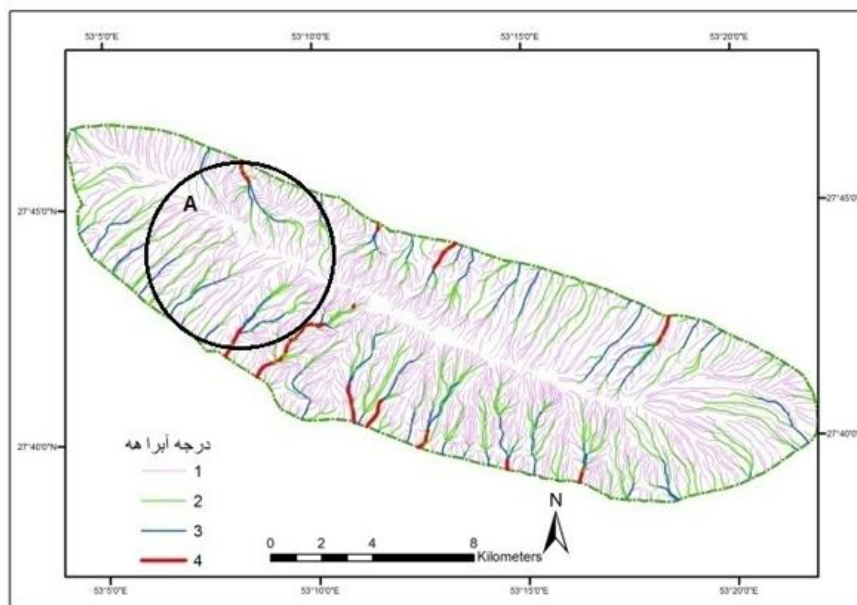
$$T = Nl/p$$

که در آن، T نسبت بافت، $Nu1$ تعداد آبراهه‌های درجه ۱، P محیط حوضه به Km می‌باشند. نتایج مربوط به شاخص بافت زهکشی (Rt) و نسبت بافت (T) در جدول (۵) نشان داده شده است.

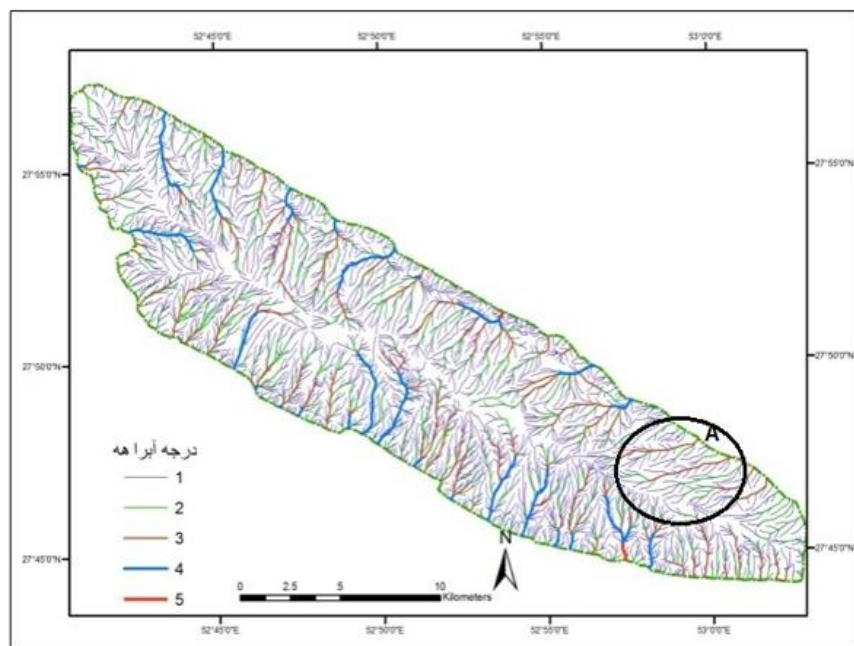
الگوی زهکشی حوضه

الگوی زهکشی یک ویژگی کیفی است که چگونگی به‌هم پیوستن شاخه‌ها و انشعابات شبکه زهکشی را نشان می‌دهد و ارتباط نزدیکی با جنس سنگ‌ها و ساختمان زمین‌شناسی دارد که بسته به آن الگوهای زهکشی مختلفی مانند درختی، موازی، داربستی و... را ایجاد می‌کند. به طوری که گسترش الگوی زهکشی متفاوت از مشخصه اصلی در زون‌های لیتوتکتونیک کمر بند ساختاری زاگرس می‌باشد.

در یک حوضه زهکشی که از نظر فعالیت‌های تکتونیکی متعادل است الگوی زهکشی در زیر حوضه‌های آن بسته به ساختمان زمین‌شناسی و شیب زمین مشابه است. در حوضه‌های با فعالیت تکتونیکی به صورت نامتعادل، شبکه‌های زهکشی در زیر حوضه‌ها از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کنند (غلامی، ۱۳۸۹: ۸۴). الگوی زهکشی در طاقدیس خشت به صورت موازی، شبه موازی و شبه درختی می‌باشد، در طاقدیس هوا الگوی زهکشی شبه موازی و درختی است (شکل ۷ و ۸).

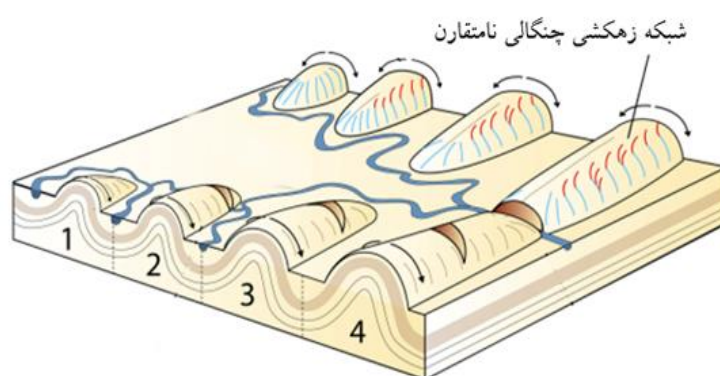


شکل ۷: نقشه الگوی زهکشی طاقدیس خشت



شکل ۸: نقشه الگوی زهکشی طاقدیس هوا

یکی از شواهد رشد جانبی طاقدیس‌های زاگرس، وجود شبکه‌های زهکشی چنگالی نامتقارن است (رامسی و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۵؛ برتیس^{۴۱} و همکاران، ۲۰۱۱: ۶۱۹؛ بهرامی، ۲۰۱۲: ۴۲). در طاقدیس‌های زاگرس، اگر در بخش فرود محوری شمال‌غربی، بخش بالادست آبراهه‌ها به سمت مرکز طاقدیس منحرف شوند، این موضوع بیانگر رشد طولی طاقدیس به سمت شمال‌غرب است و همچنین اگر در بخش فرود محوری جنوب‌شرقی، بخش بالادست آبراهه به سمت مرکز طاقدیس منحرف شوند، این موضوع بیانگر رشد طولی طاقدیس به سمت جنوب‌شرق است (شکل ۹)؛ که این توسعه‌یافتگی را در هر دو طاقدیس خشت و هوا مشاهده می‌کنیم (شکل ۷ و ۸ بخش A).



شکل ۹: نمای شماتیک از الگوی شبکه زهکشی چنگالی نامتقارن (اقتباس از برتیس و همکاران، ۲۰۱۱: ۶۱۹)

نتیجه‌گیری

بررسی عوارض و شواهد زمین ریخت‌شناسی ساختمانی از بهترین روش‌های ارزیابی حرکات تکتونیکی فعال می‌باشند. هر یک از شاخص‌های فوق یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های تکتونیکی ارائه می‌دهند که برای شناسایی و بررسی مقدماتی تکتونیکی‌های فعال مفید می‌باشند. وقتی چندین شاخص در یک ناحیه برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل فعالیت‌های تکتونیکی به کار برده می‌شوند، نتایج بامعنا تر و مستدل‌تری را در بر خواهند داشت. رشته‌کوه زاگرس در جنوب‌غرب ایران دارای روند کلی شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است. از آنجا که این کمربند کوهزایی یکی از مناطق فعال جهان به‌شمار می‌آید، آثار این فعالیت را به‌خوبی می‌توان در ویژگی‌های ریخت‌شناسی منطقه نیز مشاهده کرد. طاقدیس‌های خشت و هوا نیز بخشی از زاگرس چین‌خورده هستند و به تبع ویژگی‌های زاگرس چین‌خورده را دارا می‌باشند.

در این تحقیق از چند شاخص ژئومورفولوژی کمی به‌منظور تعیین درجه شدت فعالیت‌های تکتونیکی استفاده شد. شاخص تقارن چین از مهم‌ترین پارامترهایی است که میزان نابرابری دو یال طاقدیس و در نتیجه میزان فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهد. در یک طاقدیس کاملاً متقارن، مقدار این شاخص ۱ است در حالی که در یک طاقدیس

نامتقارن، مقدار شاخص مذکور کم‌تر از ۱ است. مقدار شاخص مذکور برای طاقدیس خشت ۰/۶۰ و برای طاقدیس هوا ۰/۹۳ به‌دست آمده است که بیانگر جوان‌تر بودن و تأثیر زیاد تکتونیک بر طاقدیس خشت است و متقارن بودن تقریبی طاقدیس هوا را نشان می‌دهد. از دیگر پارامترهایی که بر اساس آن می‌توان درجه فعالیت‌های تکتونیکی یا سن سیستم چین‌خوردگی را تعیین نمود، شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) است. مقدار محاسبه شده برای طاقدیس خشت ۱/۰۶ و برای طاقدیس هوا ۱/۰۸ است که نشان دهنده‌ی جوان بودن هر دو طاقدیس و عملکرد کم فرسایش در آن‌ها است. طول خط‌الرأس طاقدیس تا حدودی نشان‌دهنده میزان فرسایش و سن چین‌خورگی است. مقدار شاخص AD برای طاقدیس خشت ۱/۰۴ و برای طاقدیس هوا ۱/۰۷ به‌دست آمده است که نشان می‌دهد هر دو طاقدیس جوان و دارای تکتونیک فعال می‌باشند و خط‌الرأس آن‌ها تقریباً مستقیم است. از دیگر شاخص‌های مورفومتری برای تعیین میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه، شاخص نسبت جهت می‌باشد. میزان این شاخص برای طاقدیس خشت ۳/۹۷ و برای طاقدیس هوا ۴/۳۸ به‌دست آمده است که باز نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌های تکتونیکی تقریباً بالا در هر دو طاقدیس است.

نسبت انشعابات (Rb)، تراکم زهکشی (Dd)، فرکانس رودخانه (Fs)، تخمینی کمی از تکامل شبکه‌ی آبراهه‌های با درجات مختلف است. تکتونیک نقش مهمی در تعداد آبراهه‌های با درجات مختلف داشته و بنابراین نسبت انشعابات، تراکم زهکشی و فرکانس رودخانه در طاقدیس‌های جوان بسیار بالاتر از طاقدیس‌های فرسایش یافته و قدیمی می‌باشد. در طاقدیس خشت، مقدار Rb ۴/۷۹، مقدار Dd ۶/۳۶ و مقدار Fs ۷/۴۸ است. در طاقدیس هوا مقدار Rb ۶/۷۲، مقدار Dd ۵/۱۰ و مقدار Fs ۶/۸۴ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده‌ی جوان بودن هر دو طاقدیس و سرعت بالاآمدگی آن‌ها است. خصوصاً که تعداد آبراهه‌های درجه ۱ در هر دو طاقدیس بسیار زیاد است. به‌منظور بررسی رابطه‌ی تعداد آبراهه‌های درجه ۱ و وضعیت فعالیت‌های تکتونیکی، نسبت تعداد آبراهه‌های درجه ۱ به کل آبراهه‌های طاقدیس بررسی و محاسبه شد؛ که مقادیر محاسبه شده برای طاقدیس خشت ۷۷/۱۱ و طاقدیس هوا ۷۵/۶۰ درصد به‌دست آمد؛ که نشانگر تکتونیک فعال، جوان بودن و سرعت زیاد بالاآمدگی هر دو طاقدیس است. شاخص بافت زهکشی (Rt) و نسبت بافت (T) نیز شاخص‌های دیگری هستند که برای مشخص کردن مورفومتری منطقه، مورد بررسی قرار گرفتند؛ که نتیجه‌ی یکسانی با دیگر شاخص‌ها دارد و بیانگر جوان بودن هر دو طاقدیس است. الگوی زهکشی شاخص دیگری است که در صورت نبود شواهد تکتونیکی می‌تواند کلیدی برای شناسایی فعالیت‌های تکتونیکی باشد و در این بررسی الگوی زهکشی طاقدیس خشت به‌صورت موازی، شبه موازی و شبه درختی می‌باشد که این الگو بازگوکننده‌ی تکتونیک تقریباً فعال در این طاقدیس است. در طاقدیس هوا الگوی زهکشی شبه موازی و درختی است که نشان‌دهنده‌ی تکتونیک نیمه‌فعال می‌باشد. از دیگر شواهد تکتونیک فعال، رشد جانبی طاقدیس‌ها وجود شبکه‌های زهکشی چنگالی نامتقارن است که در طاقدیس خشت با جهت شمال‌غرب-جنوب‌شرق، جهت توسعه‌یافتگی طاقدیس برحسب این معیار بیش‌تر به سمت شمال‌غرب است و توسعه به سمت جنوب‌شرق کم‌تر خود را نشان داده است.

در طاقدیس هوا نیز دارای جهت شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد و جهت توسعه‌یافتگی را در هر دو جهت مشاهده می‌کنیم که البته توسعه به سمت جنوب شرق بیش‌تر است. به‌طور کلی مقادیر شاخص‌های کمی محاسبه شده و همچنین شاخص‌های کیفی بررسی شده در این تحقیق بیانگر فعالیت تکتونیکی، بالآآمدگی و فعالیت‌های رو به رشد طاقدیس‌های مورد مطالعه می‌باشد.

منابع

- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۷۶)، نقشه‌های توپوگرافی، مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ برگه شماره‌های ۶۵۴۷، ۶۶۴۴، ۶۶۴۵، ۶۷۴۴، اداره جغرافیایی ارتش.
- شرکت ملی نفت ایران (۱۹۷۴)، نقشه زمین‌شناسی بایرام، مقیاس ۲۵۰۰۰۰، برگه شماره ۱-G-13، شرکت ملی نفت ایران.
- غلامی، ی (۱۳۸۹)، «بررسی ژئومورفولوژی تکتونیک در طاقدیس گلیان شیروان»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه حکیم سبزواری.
- Azor, A., Keller, E. A., Yeats, R. S., (2002), "Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain–Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California", *Geological Society of America bulletin*, 114 (6): 745–753.
- Ahmadi, R., Ouali, J., Mercier, E., Mansy, J. L., (2006), "The geomorphologic responses to hinge migration in the full-related folds in the Southern Tunisian Atlas", *Journal of structural Geology*, 28: 721-728
- Bahrami, S., (2012A), "Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekhosk anticline, Zagros, Iran", *Geomorphology*, 103: 1-14.
- Bahrami, S., (2012B), "Morphotectonic evolution of triangular facets and wine-glass valleys in the Noakoh anticline, Zagros, Iran: Implications for active tectonics", *Geomorphology* 159: 37-49.
- Bretis, B., Bartl, N., Grasemann, B., (2011), "Lateral fold growth and linkage in the Zagros fold and thrust belt (Kurdistan, NE Iraq)", *Basin Research*, 23: 615–630
- Beydon, Z. R., Hughes Clark, M. W., Stone, R., (1992), "Petroleum in the Zagros basin In: Macqueen, R.W., Leckie, D. A., (Eds), Foreland basins and fold Belt", AAPG Mem, pp 309-
- Berberian, M., (1995), "Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics", *Tectonophysics*, 241: 193-224.
- Burbery, C. M., Cosgrove, J. W., Liu, J. G., (2008), "Spatial arrangement of fold types in the Zagros Simply Folded Belt, Iran, indicated by landform morphology and drainage pattern characteristics", *Journal of Maps*, 33: 139-153.
- Burbery, C. M., Cosgrove, J. W., Liu, J. G., (2010), "A study of fold characteristics and deformation style using the evolution of the land surface: Zagros Simply Folded Belt, Iran", *Geological Society of London*, 103: 139–153.
- Blanc, E. J. P., Allen, M. B., Inger, S., Hassani, H., (2003), "Structural styles in the Zagros simple Folded Zone, Iran", *Journal of the Geological Society*, 160: 401-412.
- Delcaillau, B., Carozza, J. M., Laville, E., (2006), "Recent fold growth and drainage development", the Janauri and Chandigarh anticlines in the Siwalik foothills, northwest India, *Geomorphology*, 76: 241-256.
- 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*, 127 (1-2): 14-31.
- Falcon, N. L., (1974), "Southern Iran: Zagros Mountains. In: Spencer, A. M., (Ed), Mesozoic- Cenozoic orogenic belts", Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., pp 199-212.
- 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*, 95: 260–273

- Hessami, w. K., Nilforoushan, F., Talbot, C. J., (2006), "Active deformation within the Zagros Mountains deduced from GPS measurements", *Journal of the Geological Society*, 163: 143-148.
- Jackson, J., Van Dissen, R., Berryman, K., (1998), "Tilting of active folds and faults in the Manawatu region, New Zealand: evidence from surface drainage patterns", New Zealand, *Jornal of Geology and Geophysics*, 41: 377-385.
- Keller, E. A., Pinter, N., (2001), "Active Tectonics Earthquakes, Uolift and Landscape", Prentice Hall, New Jersey, P.121.
- Piraste, S., Pradhan, B., Rizvi, S. M., (2011), "Tectonic process analysis in zagros Mountain with the aid of drainage networks and topography maps dated 1950-2001 in GIS", *Arabian Journal of Geoscience* 4:171-180.
- Ramsey, L. A., Walker, R. T., Jackson, J., (2008), "Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province,SEIran", *Basin Research*, 20: 23-48.
- Rangzan, K., Iqbaluddin, P., (1998), "Morpho-tectonic study of Zagros structure belt of SW Iran using remote sensing techniques", *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 23 (4): 211-224.
- Singh,T., Jain,V., (2008), "Tectonic constraints on watershed development on frontal ridges: Mohand Ridge, NW Himalaya, India", *geomorphology*,102: 231-141 .
- 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*, 47: 412-420.
- Srinivasa Vittala, S., Govindaiah, S., Honne Gowda, H., (2004), "Morphometric analysis of sub-watersheds in the pavagada area of tumkur district, sourh india using remote sensing and GIS techniques", *Journal of the Indian Society of remote sensing*, 32: 1-12
- Sung, O., Chen, Y. C., (2004), "Geomorphic evidence and kinematic model for quaternary transfer faulting of the Pakuashan anticline, central Taiwan", *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 389-404.
- Talling, P and Sowter, M. J., (1999), "Drainage density on progressively tilted surfaces with different gradients, Wheeler Ridge, California", *Earth Surface Processes and Landform*, 24: 809-824.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Martinod, J., Walpersdorf, A., Ghafori-Ashtiany, M., Chery, J., (2002), "The present day deformation of the central Zagros from GPS measurements", *Geophys. Res. Lett.*, 29: 1911-1927.
- Tucker, G. E., Catani, F., Rinaldo, A., Bras, R. L., (2001), "Statistical analysis of drainage density from digital terrain dat", *Geomorphology*, 36:187-202.
- Vita-Finzi, C., (1979), "Rates of Holocene folding in the coastal Zagros near Bandar Abbas, Iran", *Nature*, 278:, 632-634.
- Vijithand, H., Satheesh, R., (2006), "GIS based morphometric analysis of two major upland sub-watersheds of meenachil river in kerala", *Jornal of the Indian society of Remote sensing*, 42 (2): 180-185.
- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, C. M., Drake, P. G., Karas, P. A., Kelson, K. I., Ritter, J. B., Wesling, J. R., (1988), "Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica", *Geomorphology*, 1: 239-265.
- Zuchiewicz, W., (1998), "Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians", *Poland. Tectonophysics*, 297: 121-132.