مجله آمایش جغرافیایی فضا،
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال دهم/ شماره مسلسل سی و هفتم/ پاییز ۱۳۹۹ / صفحات: ۱۴-۱

برآورد دامنهٔ فعالیت زمین‌ساختی تاقدیس خویز از طریق معیارهای مورفومتری (زاگرس خوزستان)

مجتبی یمانی[1*]، فاطمه مرادی‌پور[2]، انور مرادی[3]، سعید مرادی‌پور[4]

[1]استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
[2]دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا،دانشگاه تهران
[3]دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
[4]کارشناسی ارشد زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس، کارشناس شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۲۳

چکیده

مطالعهٔ الگوی هندسهٔ چین‌خوردگی‌ها و تحلیل دگریختی آن‌ها، یکی از مهم‌ترین موضوع‌های زمین‌شناسی کمربندِ کوهزایی زاگرس به شمار می‌آید. تاقدیس خویز در استان خوزستان و در کمربند رانده و چین‌خوردهٔ زاگرس در فرادیوارهٔ گسل پیشانی کوهستان واقع شده است. این تاقدیس یکی از تاقدیس‌های مهم زاگرس به شمار می‌رود؛ اهمیت آن به دلیل وجود رودخانه دائمی مارون است که از میانه تاقدیس عبور کرده و تاقدیس خویز را به دو نیم تقسیم کرده است. این تاقدیس با استفاده از اشکال مورفومتری نظیر رویه‌های سه‌گوش، دره‌های ساغری و شاخص تابیدگی جبههٔ کوهستان، از نظر مورفوتکتونیک مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی وضعیت تاقدیس خویز از نظر میزان فعالیت زمین‌ساختی به‌خصوص فعالیت‌های عهد حاضر است؛ به کمک نتایج این پژوهش می‌توان وضعیت سازه‌های احداث‌شده بر روی این تاقدیس و در مجاورت آن، به‌خصوص سد مخزنی مارون را از نظر مخاطرات زمین‌شناسی مورد ارزیابی قرار داد. این اشکال و شاخص‌ها در دو یال تاقدیس به‌صورت جداگانه مورد مطالعه قرار گرفت؛ بر اساس نتایج این مطالعه مشخص شد که شاخص‌های مورفوتکتونیکی ذکرشده رابطهٔ مستقیمی با میزان فعالیت زمین‌ساختی داشته و بر این اساس می‌توان اظهار داشت که تاقدیس خویز از نظر فعالیت نسبی زمین‌ساختی در وضعیت فعال قرار دارد و همچنین یال شمال شرقی آن نسبت به یال جنوب غربی، فعالیت بیشتری از خود نشان می‌دهد. این مسئله می‌تواند به علت وجود تاقدیس زیرسطحی منصورآباد در جنوب غرب تاقدیس خویز و با فاصله‌ای کمتر از یک کیلومتر از آن باشد که منجر به تشکیل پس‌راند در یال شمال شرقی تاقدیس خویز و ایجاد فعالیت زمین‌ساختی بیشتر در این یال شده است.

واژه‌های کلیدی: مورفوتکتونیک، مورفومتری، زاگرس خوزستان، تاقدیس خویز.

مقدمه و طرح مسئله

پهنهٔ ساختاری زاگرس به طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر از جنوب غرب ترکیه تا غرب حوضهٔ مکران در شمال بندرعباس امتداد دارد (اشتوکلین[2]، ۱۹۸۴: ۵۶؛ سپهر و همکاران[3]، ۲۰۰۶: ۲۶۶) این کمربند چین‌خورده – رانده شده نتیجهٔ شروع برخورد قاره-قاره ورقه عربستان و ایران مرکزی در اواخر کرتاسه است (علوی[4]، ۱۹۸۰: ۱۴۵؛ بربریان[5]، ۱۹۸۱: ۲۲۱) و دارای تنوعی از ساختارهای با اندازه و هندسهٔ متفاوت بوده است که شدت دگریختی آن‌ها از شمال خاوری به‌سوی جنوب باختری کاهش می‌یابد (بربریان،

*نویسنده مسئول: myamani@ut.ac.ir

2. Stocklin
3. Sepehr et al
4. Alavi
5. Berberian

۱۹۹۵: ۲۲۲؛ حسامی و همکاران[1]، ۲۰۰۶: ۱۴۵). زاگرس از دیدگاه لرزه‌خیزی بسیار فعال و زلزله‌خیزترین منطقهٔ ایران است (میرزایی و همکاران[2]، ۱۹۹۸: ۴۶۸). طول تاقدیس‌های زاگرس بین ۶ تا ۲۰۰ کیلومتر و عرض آن‌ها بین ۳ تا ۳۰ کیلومتر در نوسان است (مطیعی، ۱۹۹۵: ۳۷). عمدهٔ این تاقدیس‌ها دارای روند شمال باختری- جنوب خاوری هستند. مطالعه و شناخت عوامل و فعالیت‌های زمین‌ساختی و ژئومورفولوژیکی محدودکننده در برنامه‌های توسعه مسکونی و عمرانی و همچنین مدیریت سوانح طبیعی امری ضروری و لازم است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۸).

تاقدیس خویز در شمال شرق شهر بهبهان در فرادیوارهٔ گسل پیشانی کوهستان (MFF) و در مرز دو زون ساختاری ایذه و فروافتادگی دزفول قرار دارد و یکی از تاقدیس‌های مهم زاگرس به شمار می‌رود؛ اهمیت این تاقدیس به دلیل وجود رودخانهٔ دائمی مارون است که از میانهٔ تاقدیس عبور کرده و تاقدیس خویز را به دو نیم تقسیم کرده است.

طی سال‌های اخیر شاخص‌ها و پارامترهای مورفوتکتونیکی متعددی مانند انتگرال هیپسومتری (Hi)، شاخص طول- شیب رودخانه (SL)، شاخص عدم تقارن حوضهٔ زهکشی (AF)، نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره (VF)، شاخص تقارن عرضی توپوگرافی (T) و غیره برای بررسی تکتونیک فعال در مناطق مختلف معرفی و به‌کاربرده شده است (کاکس[3]، ۱۹۹۴: ۵۷۸؛ ولز و همکاران[4]، ۱۹۸۸: ۲۴۱؛ هک[5]، ۱۹۷۳: ۴۲۳). با این وجود تا کنون کارهای اندکی با استفاده از شاخص‌های مورفومتری مربوط به تاقدیس‌ها انجام شده است؛ از جمله تحقیقات داخلی صورت گرفته در این زمینه می‌توان به این موارد اشاره کرد: قربانی و علوی (۱۳۸۸)، با استفاده از روش‌های مورفومتری به بررسی فعالیت زمین‌ساختی تاقدیس آینهورزان-دلیچای پرداخته‌اند، نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که یال شمالی تاقدیس نسبت به یال جنوبی آن فعال‌تر است. احمدی و رحیمی چاکدل (۱۳۹۲) به بررسی ژئومورفولوژی و مورفوتکتونیک ناحیه لالی – گتوند در استان خوزستان پرداختند. نتایج این مطالعه بر اساس شاخص‌های مورفوتکتونیکی نشان داد که منطقه لالی- گتوند از لحاظ تکتونیکی جزو مناطق فعال قرار دارد. ثروتی و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی که در بخش میانی تاقدیس کبیرکوه انجام داده‌اند، با استفاده از اندازه‌گیری‌های کمّی و شاخص‌های مورفومتری به ارزیابی میزان فعالیت زمین‌ساختی محدودهٔ مورد بررسی پرداخته‌اند؛ نتایج پژوهش آن‌ها که با شواهد صحرایی مطابقت داده شده است، بیانگر میزان بالای فعالیت زمین‌ساختی در محدوده است. پرهیزکار و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهشی تاقدیس‌های باباکوهی و کفترک در شمال شهر شیراز را با استفاده از روش ارزیابی مورفومتریک مورد بررسی قرار داده‌اند؛ نتیجهٔ پژوهش آن‌ها بیانگر فعالیت زمین‌ساختی و فعالیت‌های رو به رشد تاقدیس بابا کوهی است. مقصودی و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهشی در شرق تنگهٔ هرمز با استفاده از ارزیابی شاخص‌های مورفومتری تاقدیس، میزان فعالیت‌های زمین ساختی را در منطقه مورد ارزیابی قرار داده‌اند؛ نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که میزان فعالیت زمین‌ساختی در یال‌های جنوبی تاقدیس‌ها بیشتر است.

در بین پژوهش‌های خارجی صورت‌گرفته در زمینهٔ مورفوتکتونیک تاقدیس‌ها، بهرامی (۲۰۱۲)، به‌طور اختصاصی با استفاده از شاخص‌های مورفومتری تاقدیس به بررسی تکامل مورفوتکتونیک تاقدیس نواکوه در زاگرس پرداخته است؛ نتایج پژوهش وی نشان داد که به‌غیراز فعالیت زمین‌ساختی به‌عنوان یک کنترل‌کنندهٔ عمده بر مورفومتری عناصر و دره‌ها، آب‌وهوا و شیب هم به‌عنوان عوامل ثانویه در توسعهٔ شکل‌های زمین‌شناسی مورد مطالعه عمل کرده‌اند. عزتی و آق آتابای[6] (۲۰۱۴)، با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک به بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی در

1. Hessami et al.
2. Mirzaei et al.
3. Cox
4. Wells et al.
5. Hack
6. Ezati & Agh-Atabai

کپه‌داغ مرکزی پرداخته‌اند، نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که در غرب منطقهٔ مورد مطالعه، فعالیت زمین‌ساختی نسبی بسیار بالاست. آزور و همکاران[1] (۲۰۱۴)، با استفاده از روش‌های کمّی، یک تاقدیس در جنوب کالیفرنیا را از نظر فعالیت‌های مورفوتکتونیکی مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق نتایج این پژوهش شاخص تابیدگی جبههٔ کوهستان در طول شیب شمالی تاقدیس به خط مستقیم نزدیک است که این نشان‌دهندهٔ میزان بالای فعالیت زمین‌ساختی در این ناحیه است. لانگ کومرا و همکاران[2] (۲۰۱۹)، فعالیت‌های نئوتکتونیک را در کمربند چین‌خوردهٔ اسکوپن در هند مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق نتایج این پژوهش، شاخص تابیدگی جبههٔ کوهستان در تاقدیس‌های مورد بررسی، نزدیک به ۱ است که نشانگر میزان بالای فعالیت زمین‌ساختی در منطقه مورد پژوهش است.

این پژوهش به کمک شاخص‌های مورفومتری ویژهٔ تاقدیس‌ها شامل (شاخص رویه‌های سه‌گوش، دره‌های ساغری و تابیدگی جبههٔ کوهستان)، به بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی در تاقدیس خویز پرداخته است. با توجه به این‌که سد مارون بر روی این تاقدیس احداث گردیده است، مسئله و هدف اصلی این پژوهش، بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی عهد حاضر به منظور تعیین دقیق پهنه‌های دارای بیشترین میزان فعالیت زمین‌ساختی، در راستای حفاظت و بهره‌برداری بهینه از تأسیسات این سد مخزنی می‌باشد. با توجه به اهمیت سد مارون در حفظ شهر بهبهان از خطر سیلاب و تأمین آب موردنیاز کشاورزی و نیروی برق-آبی منطقه، ارزیابی میزان فعالیت زمین ساختی محدودهٔ این سد (تاقدیس خویز) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مفاهیم دیدگاه‌ها و مبانی نظری

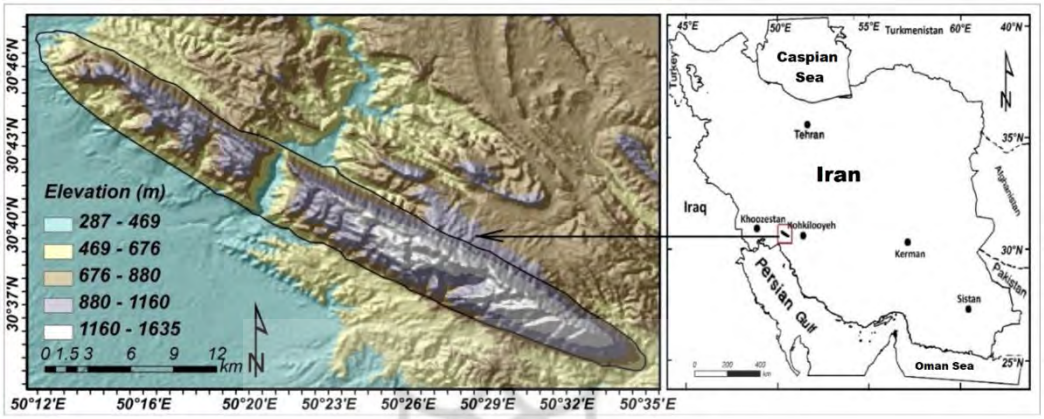
رویه‌های سه‌گوش پدیده‌های ژئومورفیکی هستند که در مناطق دارای برخاستگی زمین‌ساختی نظیر پیشانی کوهستان و به علت فرسایش رودخانه‌ای به وجود می‌آیند (ولز و همکاران[3]، ۱۹۸۸: ۲۴۵). منگس[4] (۱۹۸۷)، در پژوهشی در ریفت ریوگرانده[5] در شمال نیومکزیکو نشان داد که ویژگی‌های مهم رویه‌های سه‌گوش مانند اندازه، شیب، میزان فرسایش داخل و تعداد رویه‌های سه‌گوش در ارتباط نزدیک با موقعیت رویه‌ها نسبت به گسل‌های فعال است. منگس (۱۹۹۰)، همچنین اظهار نمود که فعالیت زمین‌ساختی، کنترل‌کنندهٔ اصلی پارامترهایی نظیر شیب و ارتفاع رویه‌های سه‌گوش است. اگرچه رویه‌های سه‌گوش ناشی از مجموعه‌ای از عوامل مانند آب‌وهوا، سنگ‌شناسی و فعالیت‌های زمین‌ساختی هستند، لیکن ویژگی‌های عمدهٔ آن‌ها در کنترل تکتونیک است. پدیدهٔ ژئومورفیک دیگری که در ارتباط با تکتونیک فعال در تاقدیس‌ها به وجود می‌آید، دره‌های ساغری[6] (W-G) هستند (گلدورسی و جکسون[7]، ۲۰۰۰: ۹۷۳؛ پالامبو[8]، ۲۰۰۴: ۱۶۸). فرسایش رویه‌های سه‌گوش منجر به برجا ماندن دره‌هایی می‌شود که به علت پهن‌تر بودن بخش بالایی و باریک بودن خروجی، به دره‌های ساغری موسوم است (بربانک و اندرسون[9]، ۲۰۰۱: ۴۴). تابیدگی جبههٔ کوهستان یک شاخص قدیمی برای برآورد فعالیت‌های زمین‌ساختی است. روند جبهه‌های مستقیم کوه در طول گسل‌های فعال قرار دارند. این شاخص نشان‌دهندهٔ تعادل بین فرایندهای فرسایش جریانی است که تمایل به قطع برخی از قسمت‌های جبههٔ کوه به شکل سینوسی دارد و فعالیت‌های زمین‌ساختی عمودی که منجر به تولید جبهه‌های مستقیم کوهستان می‌شود (بال و مکفادن[10]، ۱۹۷۷: ۱۲۸).

محدوده و قلمرو پژوهش

تاقدیس خویز در مرز استان‌های خوزستان و کهکیلویه و بویراحمد و در شمال شرق شهر بهبهان در

1. Azor et al.
2. Longkumera et al.
3. Wells et al.
4. Menges
5. Rio Grande
6. Wine glass valley
7. Goldsworthy & Jackson
8. Palumbo
9. Burbank & Anderson
10. Bull & McFadden

عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه‌ی شمالی تا ۳۰ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی و در طول ۵۰ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی تا ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی واقع شده است. مرتفع‌ترین نقطهٔ تاقدیس از سطح آب‌های آزاد، دارای ارتفاع حدود ۱۶۳۵ متر است و پایین‌ترین ارتفاع آن ۱۸۷ متر می‌باشد. طول تاقدیس ۴۳ کیلومتر و عرض آن در بیشترین قسمت حدود ۵/۵ کیلومتر می‌باشد. رودخانهٔ دائمی مارون که سد مارون بر روی آن احداث گردیده است درست از میانه تاقدیس عبور کرده و آن را به دو نیم تقسیم می‌کند (شکل‌های ۱ و ۲).



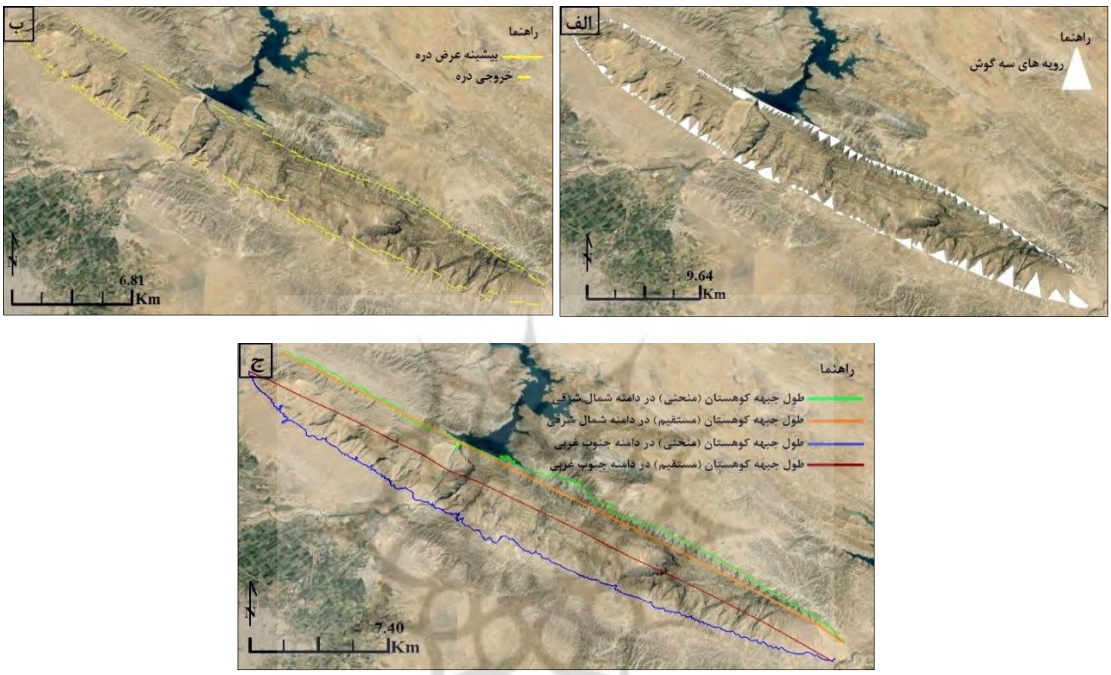
شکل ۱: موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه

شکل ۲: رودخانه مارون و تجهیزات سد مارون الف و ب) دید به ترتیب به سمت شمال غرب و جنوب غرب سد تنظیمی در حال احداث بر روی رودخانه مارون، ج) نمایی از water gap[1] فعال در میانه تاقدیس خویز، دید به سمت شمال شرق

۱. محل‌های فعال کنونی عبور آب بر روی تاقدیس‌های در حال رشد

روش تحقیق

برای محاسبهٔ وضعیت مورفوتکتونیک تاقدیس خویز، پارامترهای مربوطه، در دو یال شمال شرقی و جنوب غربی که شامل رویه‌های سه‌گوش، دره‌های ساغری و تابیدگی جبههٔ کوهستان است به‌صورت جداگانه محاسبه گردید؛ برای این منظور از نرم‌افزار Google earth استفاده شده است. به این ترتیب که در نرم‌افزار Google earth مرزهای مربوطه ترسیم‌شده، شیب رویه‌های سه‌گوش، طول قاعدهٔ رویه‌ها، بیشینهٔ عرض و عرض خروجی دره‌های ساغری و خط جبههٔ کوهستان در حالت سینوسی و مستقیم ترسیم و محاسبات مربوطه صورت پذیرفت. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ و شکل ۳ آمده است.



شکل ۳: محل اندازه‌گیری شاخص‌ها الف) شاخص رویه‌های سه‌گوش ب) شاخص دره‌های ساغری ج) شاخص تابیدگی جبههٔ کوهستان

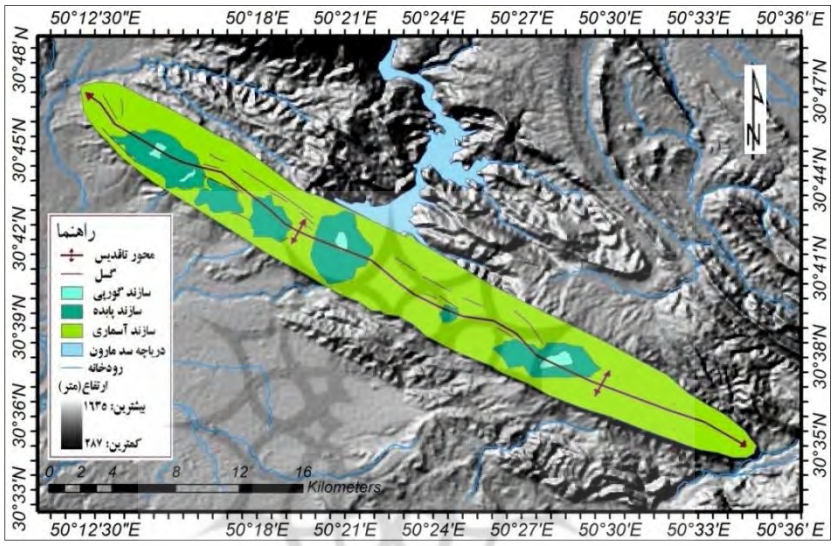
برای بررسی و نشان دادن وضعیت زمین‌شناسی محدودهٔ مورد بررسی، نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ تاقدیس در نرم‌افزار Arc GIS ترسیم شده است (شکل ۴). برای تهیه نقشهٔ زمین‌شناسی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل رقومی ارتفاعی DEM ده متر استفاده شده است. دیگر داده‌های زمین‌شناسی نیز از نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به همراه کارهای میدانی گردآوری شده است.

جدول ۱: شاخص‌های مورد استفاده (بهرامی، ۲۰۱۲)

شاخص	فرمول	اجزاء فرمول	تفسیر
شاخص رویه‌های سه‌گوش	-	BL =طول قاعده A =مساحت S =شیب	رویه‌های با شیب تندتر، مساحت و طول قاعده‌ی بیشتر، در مناطق با تکتونیک فعال‌تر تشکیل می‌شوند.
شاخص دره‌های ساغری	W=M/O	M =بیشینه عرض دره O =خروجی دره	دره‌هایی که دارای نسبت W بالاتری هستند در یال‌های پرشیب‌تر و چرخش بیشتر تشکیل می‌شوند، در نتیجه نشانگر فعالیت زمین‌ساختی بالاتری هستند.
شاخص تابیدگی جبهه کوهستان	$S_{mf} = L_{mf}/L_s$	Lmf =طول جبهه کوهستان در جلو و پای کوهستان یا جایی که شیب تغییر می‌کند (منحنی). Ls =فاصله مستقیم همان دو نقطه.	هرچه کمتر باشد، به خط راست نزدیک‌تر باشد و فرسایش کمتر باشد و به ۱ نزدیک‌تر باشد تکتونیک فعال‌تر است.

یافته‌های تحقیق

زمین‌شناسی: تاقدیس خویز درست در مرز دو واحد زمین‌ساختی زاگرس یعنی زون ایذه و فروافتادگی دزفول واقع است. این تاقدیس دقیقاً بر روی فرادیواره گسل پیشانی کوهستان و روی اثر این گسل واقع شده است. رخنمون عمدهٔ چینه‌شناسی این تاقدیس سازند مقاوم آسماری است و تنها در بخش‌هایی که به‌وسیله فرسایش رودخانه‌ای دچار بریدگی شده است، به‌خصوص در محل عبور رودخانه مارون، بخش‌هایی از سازندهای نامقاوم پابده و گورپی نیز رخنمون دارد (شکل‌های ۴ و ۵). با توجه به قرارگیری این تاقدیس بر روی فرادیواره گسل مهم پیشانی کوهستان، انتظار می‌رود که نرخ فعالیت‌های زمین‌ساختی در این تاقدیس بالا باشد؛ که این موضوع با بررسی شاخص‌های مورفومتری مانند رویه‌های سه‌گوش، دره-های ساغری و شاخص تابیدگی جبههٔ کوهستان به خوبی بررسی شده است.



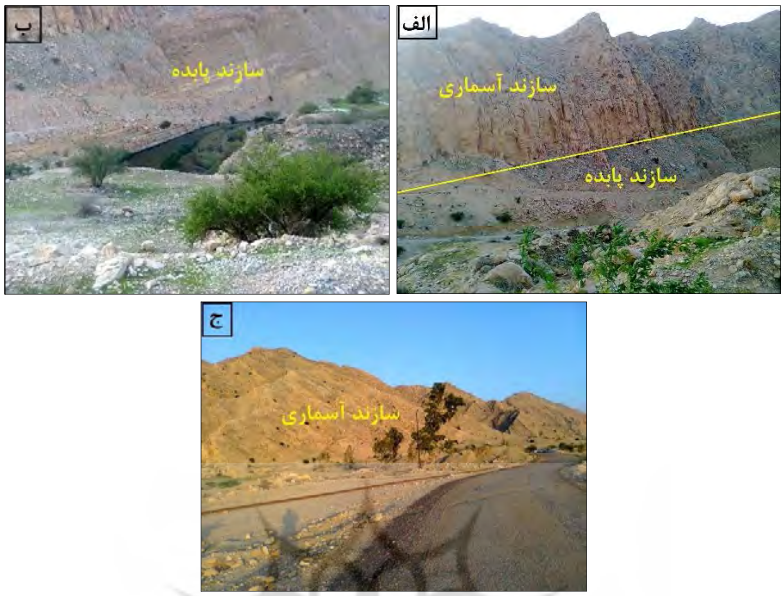
شکل ۴: زمین‌شناسی محدودهٔ مورد بررسی

گسل پیشانی کوهستان حداقل از ائوسن به بعد فعال بوده و نقش کنترل‌کنندهٔ حوضهٔ رسوبی را بر عهده داشته است (حسامی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۴۵)؛ همچنین اندازه‌گیری‌های GPS نشانگر فعال بودن همگرایی ورقه عربی به‌سوی ایران مرکزی با نرخ متوسط ۲۰mm/yr است. اندازه‌گیری‌های GPS همچنین نشان می‌دهد که نرخ کوتاه‌شدگی در جنوب شرق کمربند زاگرس در حال حاضر حدود mm/yr ۹۱۳ است در صورتی‌که در شمال غرب زاگرس این نرخ حدود ۵۱۳mm/yr است (ورنانت و همکاران[1]، ۲۰۰۴: ۳۸۸). کمربند زاگرس همچنین از نظر لرزه‌خیزی یکی از لرزه‌خیزترین کمربندهای رانده-چین‌خورده در دنیاست (طالبیان و جکسون[2]، ۲۰۰۴: ۵۱۸). همگی این موارد همراه گسترش اشکال ژئومورفیک، تاقدیس‌های زاگرس را به کاندیدهای مناسبی جهت مطالعات مورفوتکتونیک تبدیل می‌کند.

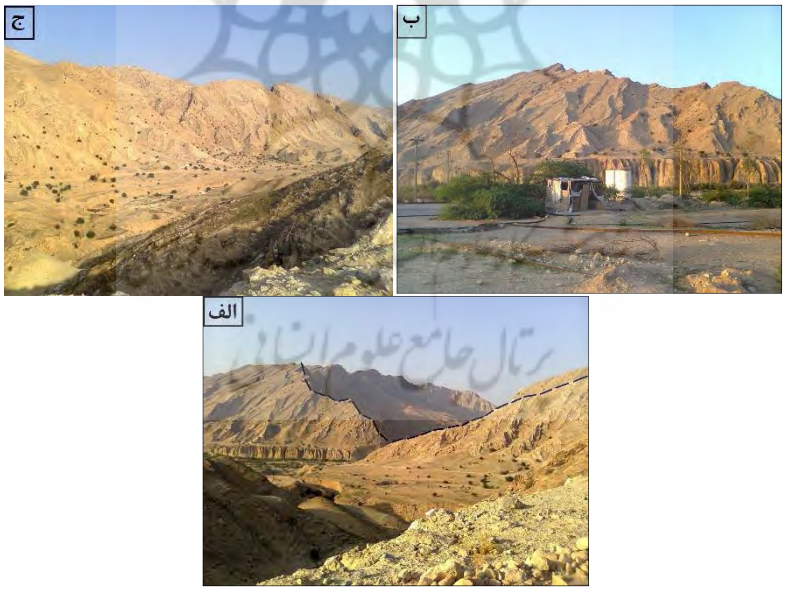
ژئومورفولوژی: تاقدیس خویز تاقدیسی متقارن تا نامتقارن با شیب کمی بیشتر در یال جنوب غربی است. در هر دو دامنهٔ آن رویه‌های سه‌گوش، دره‌های ساغری و یک درهٔ عمیق که تقریباً تا خط کف تاقدیس را برش داده به خوبی دیده می‌شود. پوشش گیاهی در دامنهٔ شمال شرقی گسترش بیشتری داشته و همچنین فرسایش بیولوژیک و شیمیایی در دامنهٔ شمال شرقی بیشتر است. در مقابل در یال جنوب غربی که شیب بیشتری دارد از نظر پوشش گیاهی فقیرتر بوده و هوازدگی فیزیکی غالب‌تر است. ازآنجایی‌که رخنمون اصلی تاقدیس سازند آهکی

1. Vernant et al.
2. Talebian & Jackson

آسماری است، اشکال کارستیک به‌خصوص در یال جنوب غربی توسعه یافته است (شکل‌های ۵ و ۶). همچنین، درهٔ عمیق توسعه یافته در بخش مرکزی تاقدیس خویز (water gap) در شکل ۷ که پروفیل طولی محور تاقدیس را نمایش می‌دهد که با شماره ۳ مشخص شده است.



شکل ۵: الف) مرز سازندهای آسماری و پابده در water gap اصلی تاقدیس، ب) رخنمون سازند پابده در water gap، ج) نمایی از رخنمون سازند آسماری در یال جنوب غربی تاقدیس خویز



شکل ۶: الف) Water gap ، ب)توسعهٔ رویه‌های سه‌گوش در یال جنوب غربی، ج)توسعهٔ رویه‌های سه‌گوش در یال شمال شرقی تاقدیس خویز

شکل ۷: پروفیل طولی محور تاقدیس خویز (منبع: Google earth)

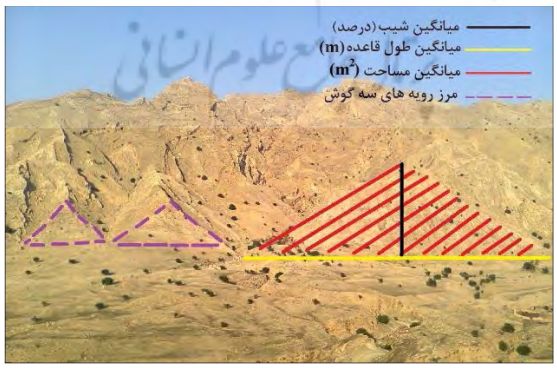
رویه‌های سه‌گوش اشکال خاصی هستند که در پیشانی کوهستان، پرتگاههای گسلی و یال‌های چین‌خوردگی‌ها تشکیل می‌شوند. به وجود آمدن این پدیده‌ها نتیجهٔ تکتونیک فعال در یک منطقه است که به‌صورت برخاستگی و بالا آمدن لایه‌های زمین‌شناسی و تشکیل چین‌ها بروز می‌نماید. درصورتی‌که نرخ برخاستگی بیشتر از نرخ فرسایش آبی باشد، پدیده‌هایی با شکل مثلثی تا چندشکلی تشکیل می‌گردد که توسط آبراهه‌ها از یکدیگر جدا می‌شوند.

هرچه میزان برخاستگی زمین‌ساختی بیشتر باشد، رویه‌های سه‌گوش پرشیب‌تر و با طول قاعده بیشتر خواهند بود. در این پژوهش تعداد ۱۶۳ رویه سه‌گوش شناسایی شد که از این تعداد ۶۹ رویه در یال جنوب غربی و ۹۴ رویه در یال شمال شرقی قرار دارد (شکل ۳-الف). جدول ۲، میانگین مقادیر این شاخص (شامل مساحت هر رویه، طول قاعده و شیب) را نشان می‌دهد.

جدول ۲: میانگین مقادیر پارامترهای شاخص رویه‌های سه‌گوش

میانگین شیب (درصد)	میانگین طول قاعده (m)	میانگین مساحت (m^2)	یال تاقدیس
۴۳/۵۰	۳۷۵/۱۹	۸۷/۸۴	شمال شرقی
۳۷/۶۵	۵۱۴/۸۲	۱۳۹/۰۷	جنوب غربی

بر اساس جدول ۲، بیشترین میزان میانگین مساحت و میانگین طول قاعده، در یال جنوب غربی و در مقابل پرشیب‌ترین رویه‌ها در یال شمال شرقی قرار دارند. نحوه اندازه‌گیری این شاخص در تاقدیس خویز در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: نحوهٔ اندازه‌گیری پارامترهای شاخص رویه‌های سه‌گوش

اشکال دره‌های ساغری، دره‌هایی به شکل جام هستند که بر روی پرتگاه‌های گسلی و یال‌های تاقدیس‌های فعال در نتیجهٔ فرسایش رودخانه‌ای و آبی تشکیل می‌شوند، هرچه نرخ برخاستگی بیشتر از نرخ

فرسایش آبی باشد، این دره‌ها عمیق‌تر و باریک‌تر خواهند بود و در مقابل درصورتی‌که نرخ فرسایش آبی بیشتر باشد، این دره‌ها پهن‌تر خواهد بود. در این پژوهش تعداد ۱۵۵ درهٔ ساغری شناسایی شد که از این تعداد ۶۹ درهٔ ساغری در یال جنوب غربی و ۸۶ درهٔ ساغری در یال شمال شرقی قرار دارد (شکل ۳-ب). جدول ۳، میانگین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده مربوط به شاخص دره‌های ساغری را نشان می‌دهد. این پارامترها شامل بیشترین عرض (M) و عرض خروجی دره (O) و نسبت بیشترین عرض به عرض خروجی (W) است.

جدول ۳: میانگین مقادیر پارامترهای شاخص دره‌های ساغری

یال تاقدیس	M (m)	O(m)	W
شمال شرقی	۲۹۱/۶۵	۴۷/۶۵	۶/۴۲
جنوب غربی	۴۱۷/۶۳	۹۳/۴۲	۵/۱۰

طبق جدول ۳، بیشترین میزان پارامتر نسبت بزرگ‌ترین عرض به عرض خروجی برای دره‌های ساغری در یال شمال شرقی تاقدیس خویز می‌باشد. نحوه‌ی اندازه‌گیری این شاخص در تاقدیس خویز در شکل ۹ نشان داده شده است.

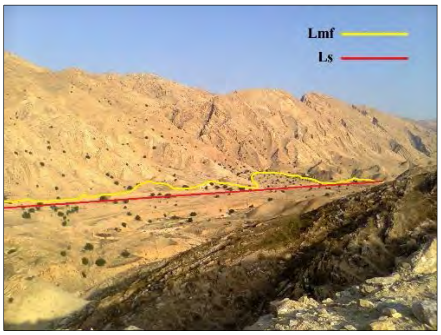
شکل ۹: نحوهٔ اندازه‌گیری پارامترهای شاخص دره‌های ساغری

شاخص تابیدگی پیشانی کوهستان از تقسیم خط فرسایش یافته و تورفتهٔ پیشانی تاقدیس به خط مستقیم نشان‌دهندهٔ طول یال تاقدیس به دست می‌آید. در تاقدیس‌های با تکتونیک فعال و نرخ بالای برخاستگی، خط فرسایش‌یافته دارای طولی نزدیک به خط مستقیم همان یال بوده و این پارامتر به عدد ۱ میل می‌کند. درصورتی‌که در تاقدیس‌های با تکتونیک ضعیف طول خط فرسایش یافته، بسیار بیشتر از طول خط مستقیم بوده و این شاخص از عدد ۱ بیشتر است (شکل ۳-ج). مقادیر شاخص تابیدگی پیشانی تاقدیس در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: مقادیر شاخص تابیدگی پیشانی تاقدیس

یال تاقدیس	L_{mf} (m)	L_s (m)	S_{mf}
شمال شرقی	۵۳۰۵۲	۴۱۴۸۲	۱/۲۷
جنوب غربی	۵۵۰۵۵	۴۲۰۹۳	۱/۳۰

بر طبق جدول ۴، شاخص Smf در یال شمال شرقی کمتر از یال جنوب غربی است و به عدد ۱ نزدیک‌تر است؛ این موضوع نشان می‌دهد که فرسایش در یال جنوب غربی بیشتر از یال شمال شرقی است. نحوهٔ اندازه‌گیری این شاخص در تاقدیس خویز در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰: نحوهٔ اندازه‌گیری پارامترهای شاخص تابیدگی پیشانی کوهستان

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌ها، بیشترین میزان میانگین مساحت و میانگین طول قاعده رویه‌های سه‌گوش در یال جنوب غربی و در مقابل پرشیب‌ترین رویه‌ها در یال شمال شرقی قرار دارند. بیشترین میزان پارامتر نسبت بزرگ‌ترین عرض به عرض خروجی برای دره‌های ساغری در یال شمال شرقی تاقدیس خویز است. شاخص Smf در یال شمال شرقی کمتر از یال جنوب غربی و به عدد ۱ نزدیک‌تر است؛ این موضوع نشان‌دهنده این است که فرسایش در یال جنوب غربی بیشتر از یال شمال شرقی است. مجموع اندازه‌گیری‌ها نشان‌دهندهٔ آن است که از نظر فعالیت نسبی زمین‌ساختی یال شمال شرقی فعال‌تر از یال جنوب غربی است. بیشترین میزان فرسایش آبی و تشکیل آبگذرها در یال جنوب غربی رخ داده است؛ همچنین یال جنوب غربی پیشانی پرپیچ و خم‌تر و تورفته‌تری نسبت به یال شمال شرقی دارد. با توجه به این‌که تاقدیس خویز در فرادیوارهٔ گسل پیشانی کوهستان و در مرز دو زون ساختاری ایذه و فروافتادگی دزفول قرار دارد و چین‌خوردگی آن جوان و مربوط به بعد از میوسن است، مشاهدات پارامترهای مورفوتکتونیکی با شواهد زمین‌شناسی در این زمینه هماهنگی داشته و نشان‌دهندهٔ فعال بودن این تاقدیس از نظر نیروهای زمین‌ساختی به‌ویژه در یال شمال شرقی آن است. بر اساس نظر (میترا[1]، ۱۹۸۶)، در کمربندهای رانده و چین‌خورده در سیستم‌های تراست‌های کور، زمانی که فاصلهٔ میان دو تراست متوالی کمتر از طول تراست پشتی باشد، در برابر حرکت تراست پشتی مقاومت ایجاد می‌شود و این زمانی است که پس راندگی‌ها با سوی تمایل و راستای انتقال متفاوت نسبت به راندگی اصلی شروع به تشکیل می‌نماید.

در مورد تاقدیس خویز با توجه به این‌که تاقدیس زیرسطحی منصورآباد در فاصلهٔ حدود یک کیلومتری در جنوب غرب آن قرار دارد، درصورتی‌که طول راندگی اصلی تاقدیس خویز بیشتر از فاصلهٔ آن تا تاقدیس منصورآباد باشد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در مقابل حرکت گسل پیشانی کوهستان، در یال جنوب غربی تاقدیس خویز مقاومت ایجاد شده و پس‌راندگی در یال شمال شرقی تشکیل و شروع به حرکت نموده که این خود می‌تواند دلیل فعالیت زمین‌ساختی بیشتر در این یال نسبت به یال جنوب غربی باشد؛ همان‌گونه که با مطالعه شواهد مورفوتکتونیکی این امر مشاهده شده است.

1. Mitra

منابع

۱. احمدی، طیبه. عزیز رحیمی چاکدل. ۱۳۹۲. ژئومورفولوژی و مورفوتکتونیک ناحیه لالی – گتوند، استان خوزستان. مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره سوم، شماره هفتم، گرگان.

۲. پرهیزکار، فاطمه. اسدالله حجازی و لیلا خدایی قشلاق. ۱۳۹۷. تحلیل مورفومتری تاقدیس‌های باباکوهی و کفترک و ارتباط آن با تکتونیک‌های فعال. مجله جغرافیای طبیعی، دورهٔ یازدهم، شماره چهل و یکم، تهران.

۳. ثروتی، محمدرضا. محمدمهدی حسین‌زاده و مریم ده‌بزرگی و نوراله نیک‌پور. ۱۳۹۴. مطالعهٔ ژئومورفولوژی

(مورفوتکتونیک) بخش میانی طاقدیس کبیرکوه ایلام (محدودهٔ بین پشته اریشت تا امامزاده شاه محمد کوه‌نشین). مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره چهارم، تهران.

۴. قربانی، سمیه. احمد علوی. ۱۳۸۸. تعیین میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی تاقدیس آینهورزان- دلیچای با به‌کارگیری شاخص‌های مورفوتکتونیکی. فصلنامهٔ زمین‌شناسی محیط‌زیست. جلد سوم، شماره سوم، اسلامشهر.

۵. مرادی، انور. عباس علی پور و حمید گنجاییان. ۱۳۹۸. آمایش ژئومورفولوژیکی جنوب استان خراسان رضوی جهت توسعه مناطق مسکونی بر اساس تلفیق مدل فازی و ANP. مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره نهم، شماره سی و چهارم، گرگان.

۶. مقصودی، مهران. کامیار امامی و عادل رسولی و عباس درخشان و یاسمن جلالی و سعید مرادی پور و فاطمه مرادی پور. ۱۳۹۷. برآورد دامنه فعالیت زمین‌ساختی بخش جنوبی گسل میناب و سیستم گسلی شرق آن از طریق داده‌های مورفومتری به منظور تعیین میزان پایداری منطقه (شرق تنگهٔ هرمز). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، دوره هفتم، شماره دوم، تهران.

7. Alavi, M. 1980. Tectonostratigraphic evolution of Zagrosside of Iran, Geology. 8(3): 144-149. Doi: 10.1130/0091-7613(1980)8<144: TEOTZO>2.0.CO; 2.
8. Azor, A., Keller, E., and Yeats, R. 2014. Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain–Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California, Geological Society of America Bulletin, 6: 745-753.
9. Bull, W.B., and McFadden, L.D. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California, In: Doehring. D.C. (Ed.), Geomorphology in Arid Regions, Proceeding 8th Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, NY, 115-137.
10. Berberian, M., and King, G.C.P. 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences,18: 210-265.
11. Berberian, M. 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, Tectonophysics, 241: 193–224.
12. Burbank, D.W., and Robert, A. 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, Oxford, 247.
13. Bahrami, S. 2012. Morphotectonic evolution of triangular facets and wine-glass valleys in the Noakoh anticline, Zagros, Iran: Implications for active tectonics, Geomorphology, 159-160: 37–49. doi:10.1016/j.geomorph.2012.03.003.
14. Cox, R.T. 1994. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi embayment, Geological Society of America Bulletin, 104: 571-581.
15. Ezati, M., and Agh-Atabai, M. 2014. Estimating rate of tectonic activity in central Kopeh dagh using morphometric indices, Journal of Tethys, 2(4): 314-326.
16. Goldsworthy, M., and Jackson, J. 2000. Active normal fault evolution in Greece revealed by geomorphology and drainage patterns. Journal of the Geological Society of London. 157: 967-981.
17. Hack, J.T. 1973. Stream profie analysis and stream-gradient index. Journal of Research of the U.S. Geological Survey, 1: 421-429.
18. Hessami, K., Nilforoushan, F., and Talbot, C. 2006. Active deformation within the Zagros Mountains deduced from GPS measurements. Journal of the Geological Society of London, 163: 143-148.
19. Longkumera, L., Luireib, K., Moiyaa, J.N., and Thonga, G.T. 2019. Morphotectonics and neotectonic activity of the Schuppen Belt of Mokokchung, Nagaland, India, Journal of Asian Earth Sciences, 170: 138-154.
20. Menges, C.M. 1987. Temporal and spatial segmentation of the Pliocene-Quaternary fault rupture along the western Sangre de Cristo mountain front, northern New Mexico, U.S. Geological Survey Open-File Report 87-673, 203-222.
21. Menges, C.M. 1990. Soils and geomorphic evolution of bedrock facets on a tectonically active mountain front,

western Sangre de Cristo Mountains, New Mexico. Geomorphology, 3: 301-332.
22. Motie, H. 1995. Petroleum Geology of Zagros, Geology & Mining Explorations Organization of Iran. Geological Survey of the country.
23. Mirzaei, N., GAO, M., and Yuntai, C. 1998. Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces. J. Earthquake Pred. Res, 7: 465-495.
24. Palumbo, L., Benedetti, L., Bourles, D., Cinque, A., and Finkel, R. 2004. Slip history of the Magnola fault (Apennines, Central Italy) from 36Cl surface exposure dating: evidence for strong earthquakes over the Holocene. Earth and Planetary Science Letters, 225: 163-176.
25. Stocklin, J. 1984. Orogen and Tethys evolution in the Middle East, An appraisal of current concept. Suezach, Switzerland, 5.3ak.
26. Sepehr, M., Cosgrove, J., and Moieni, M. 2006. The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt, Tectonophysics, 427: 265-281.
27. Talebian, M., and Jackson, J. 2004. A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. Geophysical Journal International, 156: 506-526.
28. Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., and Chéry, J. 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. Geophysical Journal International, 157: 381-398.
29. Wells, S., Bullard, T., Menges, C., Panagiotis, K., KarasJohn, P., Ritter, J., Kelson, K., and Wesling, J.R. 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica, Geomorphology, 1: 239-265.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی