

M. Yamani, Ph.D
H. Kamrani dalir
S. Bagheri

E.mail:myamani@ut.ac.ir

مجتبی یمانی، دانشیار دانشگاه تهران

حمید کامرانی دلیر، دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران

سجاد باقری، دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران

شماره مقاله: ۷۸۵

شماره صفحه پیاپی ۱۶۲۴۵-۱۶۲۷۰

مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی)

چکیده:

حوضه آبریز چله در رشته کوه زاگرس و در محدوده مرز بین استان‌های کرمانشاه و ایلام واقع شده است. به نظر می‌رسد جوان بودن لندفرم‌های ژئومورفولوژیک منطقه، نتیجه تشدید فعالیت‌های نئوتکتونیک در کواترنری باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی میزان تاثیر گذاری حرکات مورفوتکتونیک جوان در تحول لندفرم‌های حوضه تحت بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده با شاخص‌های تجربی و شواهد ژئومورفولوژیک (پرتگاه‌های گسلی جوان، سطوح مثلثی شکل، عدم کوهپایه، تپه‌های مسدود کننده، مخروط افکنه‌های بریده شده و جابه جا شده و عدم تقارن رودخانه چله) و نیز داده‌های GPS سال‌های (۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) ایستگاه ایلام است. در این پژوهش، از داده‌های GPS، بازدیدهای متعدد میدانی لندفرم‌ها، شاخص‌های ژئومورفیک (Fmf، Af، T، SL)، نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی و عکس‌های هوایی منطقه و نرم افزار ArcGIS 9.3 به عنوان ابزار تحقیق برای تجزیه و تحلیل مورفوتکتونیک منطقه استفاده شده است. نتایج، بالا آمدگی و حرکات راستالغز راست بر را در زاگرس شمال غربی در محدوده حوضه مورد مطالعه تأیید می‌نماید. شاخص‌های تجربی به کار رفته و نیز شواهد لندفرم‌های جوان

دگر شکل شده، به طور روشن، وجود حرکات نوزمین ساختی فعال به صورت بالاآمدگی و حرکات راستالغز راست بر و عملکرد مشترک این حرکات را اثبات می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: نوزمین ساخت، شاخص‌های ژئومورفیک، داده‌های GPS، شواهد ژئومورفولوژیک، زاگرس شمال غربی، حوضه چله.

مقدمه:

دانش تکتونیک ژئومورفولوژی^۱، بخشی از علوم زمین است که به مطالعه تاثیر متقابل تکتونیک و ژئومورفولوژی می‌پردازد (اُولیر^۲؛ ۱۹۸۸؛ عبادیان^۳؛ ۱۳۷۹: ۱). ارزیابی ساختمان‌ها و لندفرم‌های زمین در طول تاریخ پیدایش آنها، موضوع دانش تکتونیک ژئومورفولوژی است (استانلی^۴ و دیگران: ۲۰۰۰: ۲ و ۳). لندفرم در نواحی دارای فعالیت‌های تکتونیکی، حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تاثیرات حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته و فرسایش یا رسوب‌گذاری توسط فرایندهای سطحی است (باربانک و اندرسون،^۵ ۲۰۰۱؛ ایوانیس^۶ و همکاران، ۲۰۰۶، ص ۲۱۱). به عبارت دیگر، تکتونیک ژئومورفولوژی اشکال، ریخت‌ها و فرم‌های سطح زمین را که تحت تاثیر عوامل تکتونیکی شکل گرفته و تحول یافته‌اند، مورد مطالعه قرار می‌دهد. هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر تکتونیک فعال منطقه در تحول لندفرم‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک^۷، تحلیل داده‌های GPS و مطالعه شواهد ژئومورفولوژیک متاثر از تکتونیک فعال در منطقه و پاسخ به این سوال است که آیا نتایج به دست آمده از موارد بالا با یکدیگر همخوانی دارند؟ شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی فعالیت‌های تکتونیکی ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند، زیرا با استفاده از آنها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا کند تکتونیکی را

1 - Tectonics Geomorphology

2 - Ollier:1988

3 - Stanley et al

4 - Burbank and Anderson

5 - Ioannis et al

6 - Index of Geomorphology

مورفومتري و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز ... ۳

تجربه کرده‌اند، به راحتی شناسایی نمود(رامی رز و هیه را،^۷:۱۹۹۸:۳۱۷). اخص‌های ژئومورفیک به طور خاص برای مطالعات تکتونیک فعال استفاده می‌شوند (داگلاس و همکاران،^۸:۲۰۰۳:۱۳). شاخص‌های ژئومورفیک در نقاط مختلف دنیا و ایران برای بررسی تکتونیک فعال استفاده شده‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: بول و مک فادن^۹(۱۹۷۷)، تاکور^{۱۰}(۱۹۹۲)، والدیا^{۱۱}(۱۹۹۳)، رامی رز و هیه را (۱۹۹۸)، همدونی و همکاران^{۱۲}(۲۰۰۰)، مولین و همکاران^{۱۳}(۲۰۰۲)، کلر و همکاران^{۱۴}(۲۰۰۲) چن و همکاران^{۱۵}(۲۰۰۳)، دلکایلو و همکاران^{۱۶}(۲۰۰۶)، همدونی و همکاران(۲۰۰۸)، جمالی و بلورچی(۱۳۷۴)، مددی و همکاران(۱۳۸۳)، حق شناس(۱۳۸۴)، زرگرزاده و همکاران(۱۳۸۵)، گورابی و نوحه گر(۱۳۸۶). مطالعات ژئودینامیکی و اندازه‌گیری‌های دقیق GPS یکی از دقیقترین و علمی‌ترین ابزارهای کنونی برای مطالعه دگرریختی و فعالیت‌های تکتونیکی جوان در مناطق مختلف هستند و میزان دگرریختی حاصل از فعالیت‌های تکتونیک جوان را به صورت کمی و دقیق بیان می‌کند. در ایران و زون زاگرس این مطالعات از سال ۱۹۹۷ آغاز گردیده که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: تاتار و همکاران(۲۰۰۲)، بلانک و همکاران^{۱۷}(۲۰۰۳)، باچمانوف و همکاران^{۱۸}(۲۰۰۳)، ورنر^{۱۹}(۲۰۰۴)، تالبیان و جکسون^{۲۰}(۲۰۰۴) و حسامی(۲۰۰۶). به طور کلی، همگرایی صفحه عربی- اورسیا در شمالغرب زاگرس به وسیله ترکیبی از کوتاه شدگی با جهت شمال شرقی - جنوب غربی و حرکات راستالغز راست بر گسل‌های معکوس است

-
- 7 -Ramirrez & Herrera
8 - Duglas et al
9 - Bull and McFadden
10 - Takur
11 - Valdia
12 - Hamdovni et al
13 - Molin et al
14 - Keller et al
15 - Chen et al
16 - Dlkilo et al
17 - Blance et al
18 - Bachmanov et al
19 - Verner
20 - Tallbian and Jackson

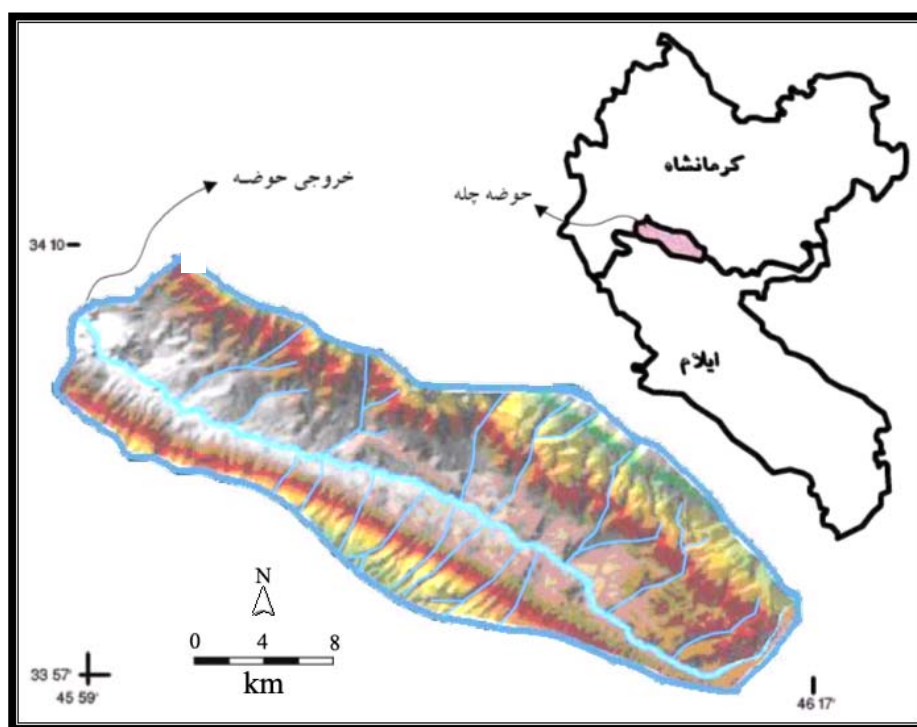
(بلانک و همکاران: ۲۰۰۳، ص ۴۰۱). جهت حرکت صفحه عربستان به سمت زاگرس شمال غربی $N12 \pm 8^\circ E$ و به مقدار $3 \pm 19 - 14$ میلیمتر در سال است که به طور مرتب حرکت می کند و بیشترین کوتاه شدگی در زاگرس شمال غربی که در امتداد گسل ها رخ می دهد، ۳ تا ۵ میلیمتر در سال است (حسامی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۴۳). عامل اصلی شرایط تکتونیک فعال در زاگرس شمال غربی ارتباط تراست های پنهان و چین هاست (باچمانوف، ۲۰۰۳: ۲۲۴). منطقه مورد مطالعه از نظر ساختمانی ساده و در زون چین های برگشته زاگرس چین خورده واقع شده است. با توجه به شواهد مورفوتکتونیک و نوزمین ساختی موجود، تداوم فعالیت های تکتونیک در محدوده زمانی کوتاه تر محرز است و سه فاز بالا آمدگی در امتداد راندگی گیلانغرب قابل تشخیص است (میرشکرائی، ۱۳۷۶: ۹۳). همچنین، در وضعیت ساختاری منطقه، الگوی زون های برشی راستگرد قابل توجه است. تاقدیس های حوضه هر دو برگشته، نامتقارن و دارای راندگی در یال جنوبی خود هستند. ناودیس چله نیز یک ناودیس برگشته است. گسل اصلی منطقه راندگی گیلانغرب است که یال جنوبی تاقدیس قلاجه را در شمال دشت چله بریده است. این گسل دارای مولفه راندگی و حرکات راستا لغز راست بر و روند آن $N 60^\circ W$ است و ۳۰ کیلومتر آن در حوضه چله قابل شناسایی است. این گسل با توجه به شواهد ژئومورفولوژیک هم اکنون فعال است. حوضه مورد بحث از نظر ساختمان سنگ شناسی از واحدهای گورپی، پابده، آسماری، گچساران، آغا جاری، بختیاری و نهشته های کواترنری تشکیل شده است (شکل ۲).

موقعیت جغرافیایی منطقه:

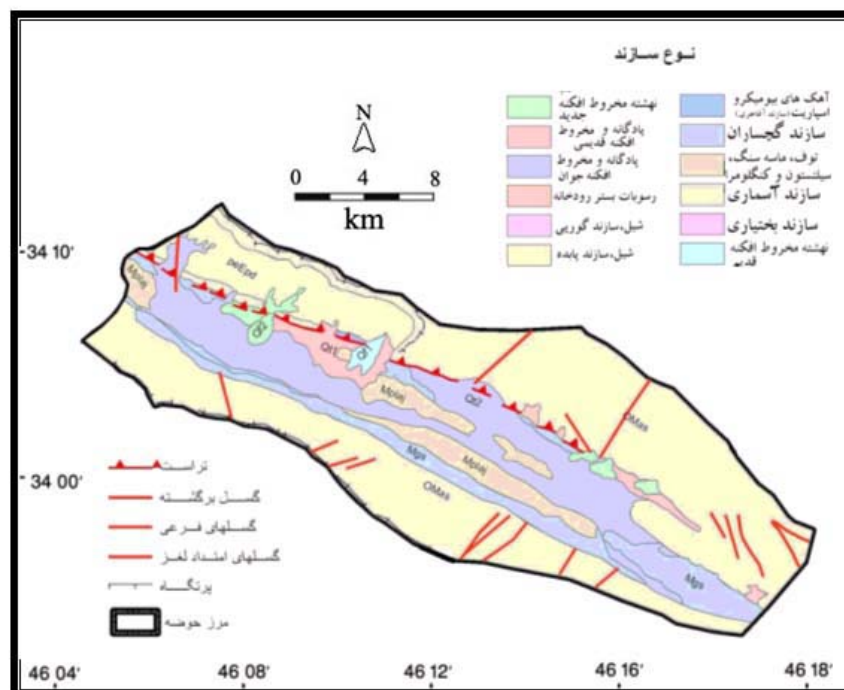
حوضه آبخیز رودخانه چله در زون زاگرس شمال غربی و در جنوب غربی استان کرمانشاه منطبق بر محدوده سیاسی دهستان چله (بخش مرکزی شهرستان گیلانغرب) واقع شده است (شکل ۱). این حوضه با وسعتی برابر با ۲۷۸ کیلومتر مربع بین عرض های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و طول های جغرافیایی ۴۵

مورفومتري و ارزيابي شاخص‌هاي ژئومورفيك براي تعيين ميزان فعاليت نو زمين ساخت در حوضه آبريز ... ۵

درجه و ۵۹ دقيقه تا ۴۶ درجه ۱۷ دقيقه شرقي واقع شده و حداكثر ارتفاع حوضه (قله كچل) ۲۳۵۵ متر و حداقل ارتفاع آن (خروجي حوضه) ۹۵۵ متر است. حوضه چله با متوسط عرض ۴ كيلومتر و طول ۴۰ كيلومتر با پيروي از راستاي اصلي زاگرس در جهت شمال غربي، جنوب شرقي كشيده شده است و رود چله سر شاخه اصلي آن را تشكيل مي‌دهد. مرز مشترك آن با حوضه‌هاي ديگر در سه جهت شمال، شرق و جنوب منطبق بر خط الراس‌هاست و مرز غربي آن خروجي حوضه است. اين حوضه بر اساس تقسيم بندي وزارت نيرو، جزو حوضه آبريز رود الوند بوده، به خليج فارس مي‌ريزد.



شكل ۱: موقعيت حوضه مورد مطالعه در مرز استان‌هاي ايلام و كرمانشاه



شکل ۲: نقشه زمین شناسی حوضه چله

مواد و روش‌ها:

در این پژوهش از داده‌های GPS ایستگاه ایلام در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و مقادیر کمی به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک SL ، T ، Af ، Smf ، Fmf و بررسی‌های میدانی لندفرم‌های ژئومورفولوژیک متأثر از تکتونیک جدید استفاده شده است. نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه، به عنوان ابزار اصلی تحقیق استفاده شدند. در همین راستا، داده‌های نقشه‌های توپوگرافی به عنوان داده پایه به نرم افزار ArcGIS و در قالب سیستم مختصات UTM انتقال داده شده‌اند. پس از آن، اندازه گیری‌های لازم انجام شد و سپس نقشه‌ها و نمودارهای لازم ترسیم گردید. با توجه به اینکه همگرای شمالی- جنوبی صفحه عربی- اوراسیا منطبق بر زاگرس شمال غربی است، که به‌وسیله ترکیبی از کوتاه شدگی

مورفومتري و ارزايي شاخص‌هاي ژئومورفيك براي تعيين ميزان فعاليت نو زمين ساخت در حوضه آبريز ... ۷

شمال شرق- جنوب غرب در زاگرس چين خورده و حرکات امتدادلغز راست بر گسل‌هاي معكوس (راندگي‌ها) نمود دارد (بلانك، ۲۰۰۳: ۴۰۱)، براي انتخاب محدوده مناسب براي پژوهش، سعي شده است ساختمان سنگ شناسي حوضه بيشتر از واحدهاي سنگ چينه‌اي مقاوم باشد، زيرا واحدهاي سنگ چينه‌اي نامقاوم بخوبي نمي‌توانند منعكس كننده شرايط تكتونيكي فعال منطقه باشند. وجود گسل‌هاي اصلي در حوضه براي اثبات يا رد حرکات راستالغز راست بر لازم و ضروري است. در حوضه آبريز چله ۵۰٪ واحدهاي سنگ چينه‌اي در قلمرو آهك آسماري است كه يكي از مهمترين واحدهاي سنگ چينه‌اي مقاوم در زاگرس چين خورده است، همچنين، فعاليت راندگي گيلانغرب، حوضه آبريز چله را به عنوان حوضه مناسبی برای انجام این پژوهش مطرح می‌کند.

بحث و یافته‌های تحقيق:

شاخص‌هاي ژئومورفيك:

شاخص گراديان طول رودخانه (SL): اين شاخص از رابطه زير به‌دست مي‌آيد:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) \times L \text{ در اين رابطه:}$$

SL = شاخص گراديان رودخانه؛ ΔH = اختلاف ارتفاع در يك مقطع مشخص؛

ΔL = فاصله افقي در آن مقطع مشخص؛ L = طول رودخانه از نقطه مركزي مقطع اندازه‌گيري شده تا سرچشمه رودخانه.

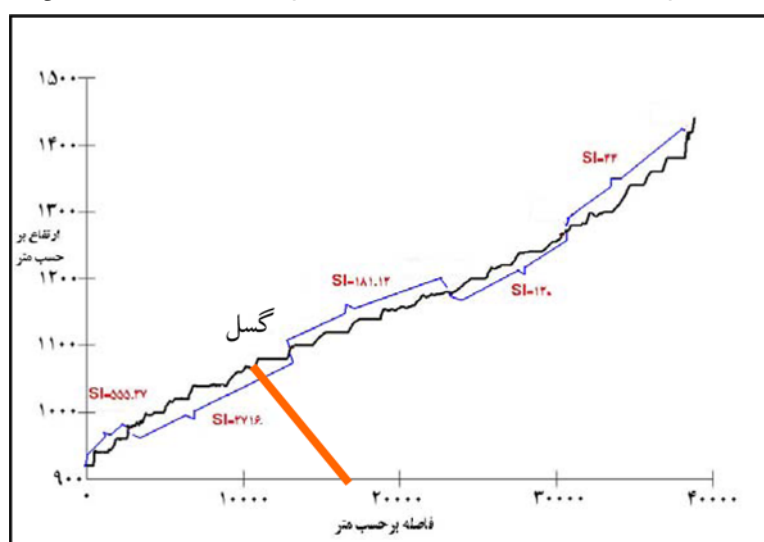
شاخص SL به تغييرات شيب رودخانه بسيار حساس است، اين حساسيت برآورد ميزان روابط موجود بين فعاليت‌هاي تكتونيكي، مقاومت سنگ و توپوگرافي را امكان پذير مي‌سازد. اين شاخص در مناطقي كه بستر رودخانه در سنگ‌هاي سخت قرار دارد، افزايش مي‌يابد. ميزان SL در مناطق فعال تكتونيكي زياد است (كلر و پنتير، ۱۹۹۶: ۱۳۰). شاخص SL به ساختمان سنگ شناسي بسيار حساس است. در مطالعه‌اي كه چن و همكاران (۲۰۰۳) در تايوان انجام دادند، دريافتند كه هر اندازه طول رودخانه بيشتر باشد، رودخانه مورد نظر

کمتر تحت تاثیر ساختمان سنگ شناسی بستر خود است و هر چه طول رودخانه کمتر باشد، بیشتر تحت تاثیر ساختمان سنگ شناسی بستر رودخانه است. در این پژوهش، در فواصل معین ۱۰۰ متری میزان شاخص SL برای تمام مسیر رودخانه از خروجی تا سرچشمه محاسبه گردید (جدول ۱).

جدول ۱: مقادیر شاخص SL در حوضه آبریز چله

ارتفاع (m)	نقطه میانی	$\Delta H(m)$	$\Delta L(m)$	L(m)	SL
۹۲۰-۱۰۲۰	۹۷۰	۱۰۰	۶۵۳۵	۳۶۲۸۷	۵۵۵/۲۷
۱۰۲۰-۱۱۲۰	۱۰۷۰	۱۰۰	۱۰۱۹۶	۲۷۶۹۳	۲۷۱/۶۰
۱۱۲۰-۱۲۲۰	۱۱۷۰	۱۰۰	۱۰۳۰۶	۱۸۶۶۷	۱۸۱/۱۲
۱۲۲۰-۱۳۲۰	۱۲۷۰	۱۰۰	۸۲۳۶	۹۸۶۱	۱۲۰
۱۳۲۰-۱۴۲۰	۱۳۷۰	۱۰۰	۳۴۶۶	۱۵۱۷	۴۴

مقایسه میزان SLهای به دست آمده و تغییرات شدید مقادیر آنها در مسیر رودخانه و همچنین، مقدار بالای این SLها با توجه به اینکه رودخانه چله در طول مسیر خود در نهشته‌های کواترنری (Qf^2) جریان دارد و طول رودخانه بیش از ۴۰ کیلومتر است، حاکی از بالا آمدگی و فعالیت‌های شدید نوزمین ساختی در منطقه است. (شکل ۳).



شکل ۳: نیمرخ طولی رودخانه چله به همراه مقادیر SL

مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز ... ۹

شاخص تضاريس جبهه کوهستان (Smf): این شاخص از رابطه زیر به دست می آید:

$$Smf = lmf / ls$$

که در این شاخص:

Smf = شاخص سینوسی جبهه کوهستان؛ lmf = طول جبهه کوهستان در امتداد

پایکوه (خط کنیک)؛ ls = طول خط مستقیم جبهه کوهستان؛ این شاخص بیانگر توازن

بین نیروهای فرساینده است که تمایل به بریدن جبهه کوهستان و نیروهای تکتونیکی که

گرایش به ایجاد جبهه‌های خطی به صورت جبهه‌های کوهستانی مستقیم و منظم دارند.

است. هر چقدر میزان Smf کمتر باشد، حاکی از فعال بودن تکتونیک منطقه و جبهه‌های

کوهستانی مستقیم است. مقادیر Smf جبهه‌های کوهستانی حوضه مورد مطالعه در جدول

۳ آمده است.

جدول ۲ مقایسه بین شاخص‌های ژئومورفیک از منظر محققان مختلف در طبقات متفاوت (همدونی و

همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۸)

مطالعات کنونی (همدونی و همکاران ۲۰۰۸)	سیلو یا و همکاران (۲۰۰۳)	راک ول و همکاران (۱۹۸۵)	بول و مک فادن (۱۹۷۷)	
$Smf=1/1$ $Vf=0/5$ SL = اعداد بزرگ غیر نرمال $ Af-50 >15$	$Smf<1/1$ $Vf=0/6$	سرعت بالا آمدگی < $m/Ka \ 0/4 - 0/5$ $Smf= 1/4$ $Vf=1$	$Smf=1/2 - 1/6$ $Vf= 0/05-0/5$ - مخروط افکنه‌های غیر خندقی (غیر مقاوم) - حوضه‌های آبخیز کشیده با دره‌های تنگ و باریک با شیب دامنه‌ای موازی در رسوبات نرم	طبقه ۱
$Smf= 1/1 - 1/5$ $Vf=0/5 - 1$ SL = اعداد کوچک غیر نرمال $ FA-50 = 7 - 15$ $Bs= 4-3$	$Smf= 2/8 - 2/3$ $Vf=0/3 - 0/8$	سرعت بالا آمدگی = $m/ka \ 0/05-0/5$	$Smf=1/8 - 3/4$ $Vf= 0/5 - 3/6$ - مخروط افکنه‌های خندقی (مقاوم) - حوضه آبخیز بزرگ که ضریب گردش‌گی آنها بیشتر از کلاس ۱ است.	طبقه ۲
$Smf >1/5$ $Vf >1$ SL = اعداد نرمال $ AF-50 <7$ $Bs<3$	$Smf = 2/8 - 3/5$ $Vf = 0/8 - 1/2$	سرعت بالا آمدگی > $0/05 m/ka$ $Smf>1/4$ $Vf>1$	$Smf= 2-7$ $Vf= 4- 47$ - پیشانی کوهستان (پدیمنت) و خلیج نزدیک کوهستان - شیب تند دامنه‌ای با سازند مقاوم با مقدار کمی از جریان‌های کوهستانی	طبقه ۳

جدول ۳: مقادیر شاخص Smf در حوضه آبریز چله

حوضه چله	Lmf(m)	Ls(m)	Smf
طاقدیس قلاجیه	۴۲۸۰۰	۳۴۰۰۰	۱/۲
طاقدیس بلاله	۳۸۵۴۷	۳۴۰۰۰	۱/۱

بر اساس تقسیم بندی همدونی و همکاران (۲۰۰۸ ص ۱۶۹) مقادیر Smf که دارای ارزش عددی بین ۱/۱ تا ۱/۵ هستند، در طبقه ۲ قرار می گیرند، ولی در طبقه بندی بول و مک فادن (۱۹۷۷) و همین طور سیلویا و همکاران (۲۰۰۲) در طبقه ۱ قرار می گیرند. براین اساس و بر اساس داده های جدول (۳)، حوضه چله جزو مناطقی با فعالیت نوزمین ساختی بالا واقع می گردد. شاخص درصد سطوح چندوجهی جبهه کوهستان Fmf: این شاخص از رابطه زیر به دست می آید:

$$Fmf = (Lf / Ls)100 \text{ که در این شاخص:}$$

Fmf = درصد سطوح چندوجهی در امتداد جبهه کوهستان؛ Lf = مجموع طول اشکال چند وجهی؛ و Ls = طول جبهه کوهستان به خط مستقیم است. این شاخص به صورت نسبتی از یک جبهه کوهستان که به علت های متفاوت مثل گسل خوردگی به صورت اشکال چند وجهی در آمده است، تعریف می شود. در مناطق فعال تکتونیکی فعالیت گسل ها و تداوم آنها موجب می شود تا اشکال چند وجهی بزرگ و پیوسته و به عبارتی دیگر، درصد بالایی از سطوح چند وجهی شدن مشاهده گردد (ولس و همکاران: ۱۹۸۸؛ به نقل از: مختاری، ۱۳۸۵: ۷۸). درصد بالای این سطوح نشان دهنده فعال بودن منطقه از لحاظ تکتونیکی است. مقادیر Fmf برای جبهه های کوهستانی حوضه مورد مطالعه در جدول ۴ آمده است که حاکی از فعالیت شدید نئوتکتونیکی در حوضه مورد مطالعه است.

جدول ۴: مقادير شاخص (Fmf) در حوضه آبريز چله

حوضه چله	Lf(m)	Ls(m)	Fmf
طاقديس قلاجه	۲۸۹۲۹	۳۴۰۰۰	۸۵
طاقديس بلاله	۲۹۴۰۳	۳۴۰۰۰	۸۶

شاخص عدم تقارن حوضه آبريز (Af):

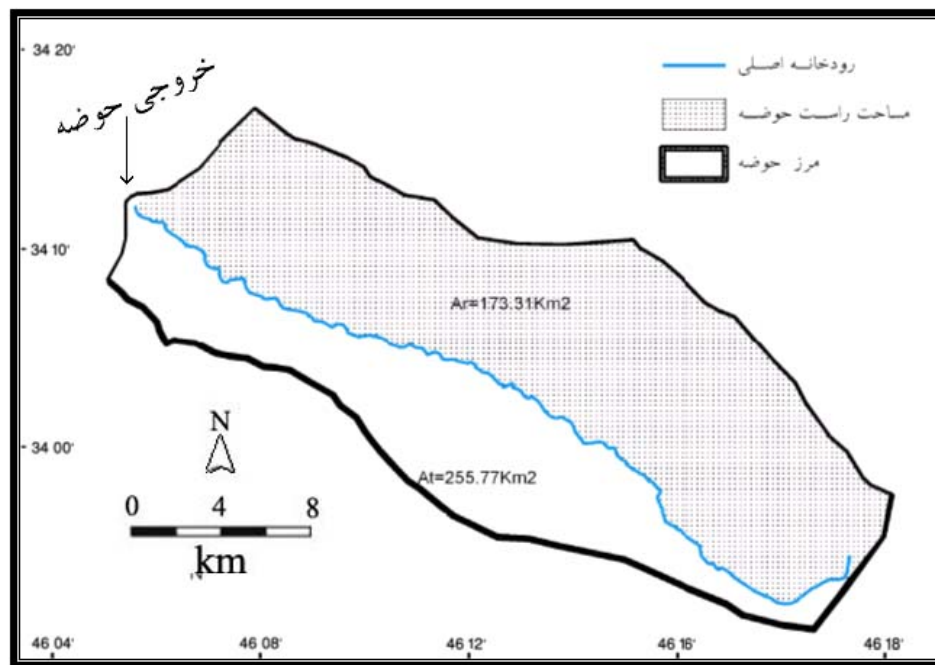
شاخص عدم تقارن روشي، براي تشخيص وجود كج شدگي ناشي از فعاليت‌هاي تكتونيكي در حوضه‌هاي زهكشي است (همدوني وهمكاران، ۲۰۰۸: ۱۵۶). اين شاخص به صورت زير تعريف مي گردد:

$Af = (Ar/At) \cdot 100$ در اين رابطه Af عدم تقارن زهكشي؛ Ar = مساحت قسمت راست مسير رود اصلي؛ At = مساحت كل حوضه زهكشي.

براي رودخانه‌هاي در حال تعادل كه تداوم جريان در حالت ثابتي وجود دارد، Af برابر ۵۰ است كه بيانگر وجود تقارن زهكش‌هاي فرعي نسبت به آبراهه‌اي اصلي و در نتيجه عدم كج شدگي بر اثر بالاآمدگي خواهد بود. مقادير بيش از ۵۰ بيانگر عمل بالاآمدگي در ساحل راست و كمتر از ۵۰ بيانگر بالاآمدگي در ساحل چپ آبراهه اصلي است (شكل ۴). با توجه به طبقه بندي همدوني و همكاران (۲۰۰۸، ص ۱۶۹). مقادير Af براي حوضه مورد مطالعه در جدول (۵) آمده است كه حاكي از فعاليت‌هاي نئوتكتونيكي خيلي فعال در سمت راست رودخانه به علت فعاليت راندي گيلانغرب است.

جدول ۵: مقادير شاخص Af در حوضه آبريز چله

نام حوضه	At	Ar	Af
چله	$255/77 \text{ Km}^2$	$173/31 \text{ Km}^2$	۶۸٪



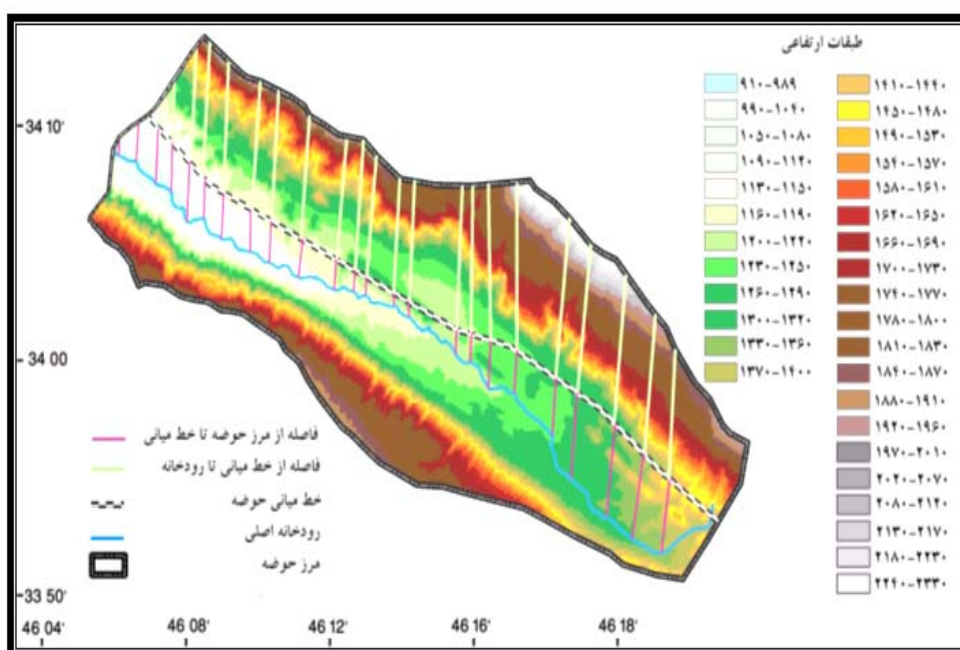
شکل ۴: ارزیابی شاخص عدم تقارن (Af) در حوضه مورد مطالعه

شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T):

شاخصی است که در ارزیابی نامتقارن بودن حوضه و بررسی حرکات تکتونیک فعال به کار برده می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌گردد: $T = D_a / D_d$ در این فرمول، T شاخص تقارن توپوگرافی معکوس، D_a فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا رودخانه اصلی و D_d فاصله خط میانی حوضه تا خط تقسیم آب است. در حوضه‌های کاملاً متقارن $T=0$ است و مقدار T بیانگر یک بردار با مقدار عددی بین ۰ تا ۱ است. با افزایش عدم تقارن مقدار T افزایش پیدا می‌کند (راندل، ۱۹۹۴^{۲۲}: ۵۷۷). در این شاخص، مقادیر عددی نزدیک به ۱ بیانگر تکتونیک فعال است. مقادیر D_a و D_d در ۳۰ نقطه از مسیر رودخانه چله اندازه گیری شده (شکل ۵) و از مجموع این اندازه گیری‌ها، میانگین گرفته شده تا

مورفومتري و آريزيابي شاخص‌هاي ژئومورفيك براي تعيين ميزان فعاليت نو زمين ساخت در حوضه آبريز ... ۱۳

عدد به‌دست آمده نماينده و بيان كننده كل مسير رودخانه باشد (جدول ۶). در اين پژوهش مقدار $T=27$ است كه حاكي از تكتونيك فعال و تمايل شبكه زهكشي به سمت نيمه سمت چپ حوضه و فعال بودن رانديگي گيلانغرب در ساحل راست رودخانه است.



شكل ۵: آريزيابي شاخص تقارن توپوگرافي معكوس (T) در حوضه مورد مطالعه

شواهد ژئومورفولوژيك حاصل از تكتونيك فعال:

بسياري از لندفرم‌هاي ژئومورفولوژيك در مقابل حرركات تكتونيكي فعال بسيار حساس هستند و همزمان با آن تغيير مي‌كنند (مددي و همكاران، ۱۳۸۳: ۱۲۴). با مطالعه و بررسي لندفرم‌ها و نيز الگوي سيستم شبكه‌هاي زهكشي با در نظر گرفتن ساختمان زمين شناسي و ليتولوژي هر منطقه، مي‌توان عملکرد تكتونيك فعال را در هر منطقه آريزيابي كرد و وجود يا عدم حرركات تكتونيكي فعال را مشخص نمود.

جدول ۶: شاخص تقارن توپوگرافی (T) معکوس در حوضه آبخیز چله

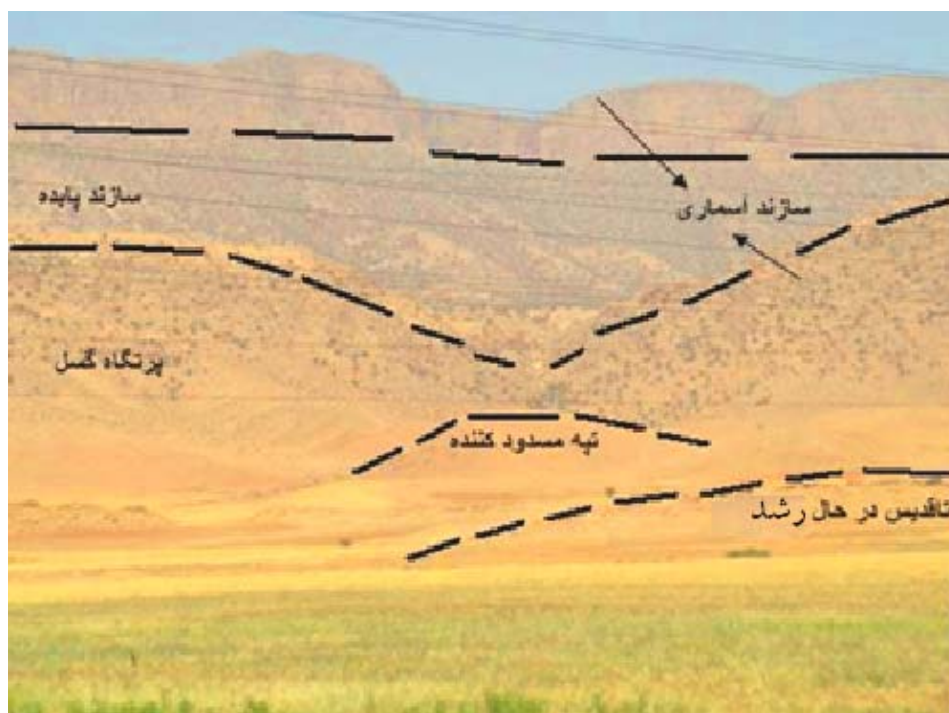
شماره	Dd (متر)	Da (متر)	شماره	Dd (متر)	Da (متر)
۱	۵۵۹۹	۸۱۹	۱۶	۳۹۹۹	۱۲۵۴
۲	۵۵۶۷	۱۱۸۷	۱۷	۳۹۹۰	۹۹۷
۳	۵۳۹۷	۷۲۲	۱۸	۴۲۵۴	۶۷۴
۴	۵۲۰۹	۱۴۸۰	۱۹	۳۹۳۷	۶۰۱
۵	۴۹۵۹	۱۲۲۸	۲۰	۳۹۶۴	۴۰۸
۶	۴۵۶۳	۱۶۷۵	۲۱	۳۹۲۶	۵۲۷
۷	۴۸۱۳	۲۴۲۶	۲۲	۴۶۷۶	۸۰۲
۸	۴۹۵۱	۱۷۹۷	۲۳	۴۷۵۷	۹۱۶
۹	۴۹۳۰	۱۷۰۰	۲۴	۵۱۶۱	۱۵۲۳
۱۰	۵۱۷۱	۱۶۲۳	۲۵	۵۴۰۱	۱۴۵۸
۱۱	۴۴۱۱	۱۹۴۶	۲۶	۴۱۰۲	۱۳۱۰
۱۲	۴۳۶۰	۱۲۴۹	۲۷	۳۹۵۱	۹۷۹
۱۳	۴۲۵۹	۱۴۹۳	۲۸	۴۱۳۱	۱۱۵۴
۱۴	۴۱۷۴	۱۳۹۵	۲۹	۴۰۱۲	۱۲۳۸
۱۵	۴۲۱۷	۱۳۵۷	۳۰	۴۱۱۷	۱۲۸۷
				۱۳۶۹۵۸	۳۷۲۵۵

لند فرم‌های ایجاد شده یا تحول یافته، توسط تکتونیک فعال منطقه را می‌توان در دو دسته زیر طبقه بندی نمود:

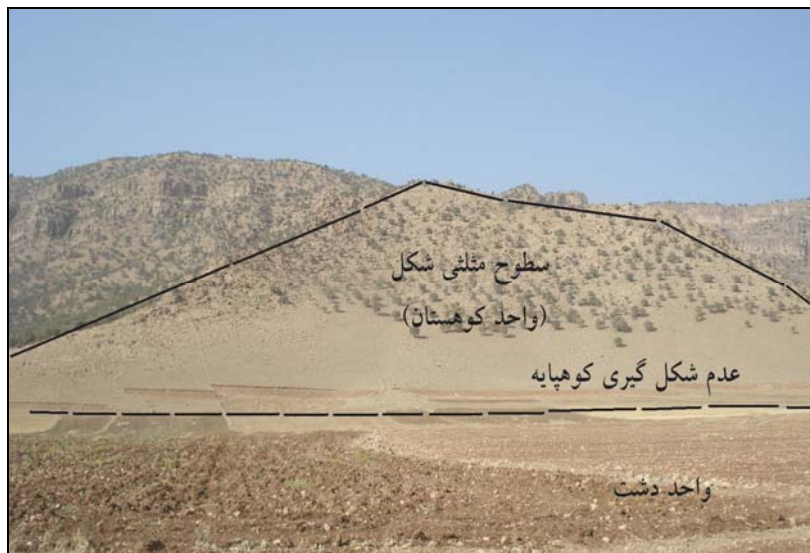
- لند فرم‌های حاصل از گسلش فعال: از جمله شواهد تکتونیک فعال، وجود پرتگاه‌های گسلی در امتداد گسل‌های جوان در هر منطقه است. وجود افرازهای گسلی مشخص و بلند در هر منطقه با سطح فرسایش نیافته، نشانه گسلش فعال پلیو-کواترنری در آن منطقه

مورفومتري و ارزيابي شاخص‌هاي ژئومورفيك براي تعيين ميزان فعاليت نو زمين ساخت در حوضه آبريز ... ۱۵

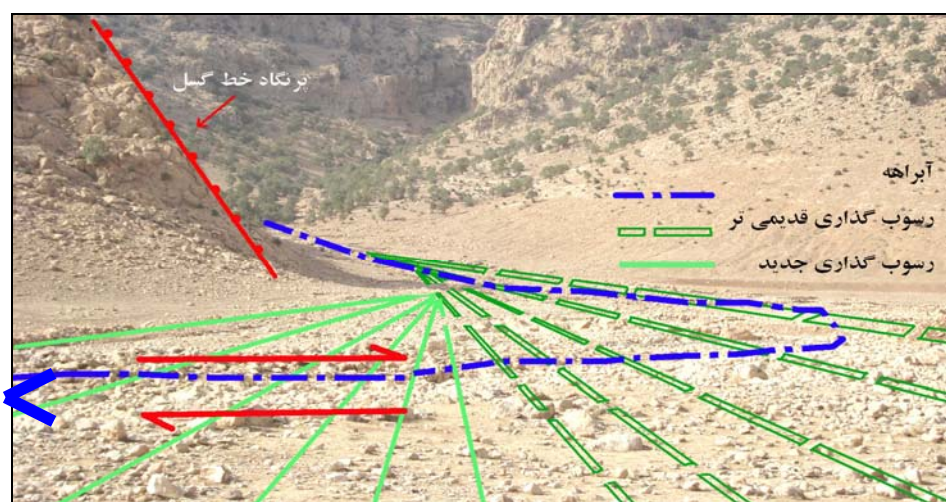
هستند (رادفر و پوركرمانى، ۱۳۸۴: ۱۶۸). رشد افقى چين‌ها از نشانه‌هاي تكتونيك فعال است (كلر و همكاران^{۲۳}، ۱۹۹۹: ۵۱۵). اين لندفرم‌ها در منطقه مورد مطالعه، شامل: پرتگاه‌هاي گسلى جوان، تپه‌هاي مسدود كننده، طاقديس‌هاي در حال زايش (شكل ۶)، سطوح مثلثي شكل در حد كوه - دشت، عدم كوهپايه و حد كوه و دشت مستقيم (شكل ۷)؛ آبراهه‌هاي جابه جا شده (شكل ۸) و عدم تقارن رودخانه چله (شكل ۶) هستند. اين عوارض نشان دهنده فعال بودن حر كات نئوتكتونيكى در حوضه تحت بررسى هستند.



شكل ۶: طاقديس‌هاي در حال زايش، تپه مسدود كننده و پرتگاه گسل. هر سه شاهد ژئومورفولوژيك، نشان دهنده تكتونيك فعال منطقه است و طاقديس در حال زايش شاخص SL را تايب مى كند.



شکل ۷: عدم شکل گیری کوهپایه و سطوح مثلثی شکل حاصل از گسلش فعال روراندگی گیلان غرب را نشان می‌دهد این شواهد ژئومورفولوژیک شاخص Smf را تایید می‌کند.



شکل ۸: جابه‌جا راستگرد آبراهه و مخروط افکنه توسط راندگی گیلانغرب

- سطوح آبرفتی: سطوح آبرفتی می‌توانند به عنوان خطوط زمانی، همزمان استفاده شوند تا زمان حرکت گسلها و رخداد زلزله‌های قدیمی را مشخص کنند (بول^{۲۴}: ۱۹۹۶). به

مورفومتري و ارزيابي شاخص‌هاي ژئومورفيك براي تعيين ميزان فعاليت نو زمين ساخت در حوضه آبريز ... ۱۷

نقل از (لي و همكاران^{۲۵}: ۱۹۹۸، ۲۹۹). مخروط افكنه‌ها به عنوان يكي از بارزترين اشكال آبرفتي، مورفولوژي و تحول آنها به شدت تحت تأثير حرركات تكتونيكي قرار مي‌گيرد. حرركات تكتونيكي سطح اساس فرسايش را تغيير داده، فرايندهاي فعال در سطح مخروط افكنه‌ها و تكامل آنها را تحت تأثير قرار مي‌دهند (يانگ^{۲۶}: ۱۹۸۵: ۱۰). در مناطق كوهستاني با تكتونيك فعال شبكه‌هاي زهكشي نشان دهنده واكنش بين فرايندهاي سطحي و بالا آمدگي و زايش افقي در تراس‌هاي گسلي و چين خوردگي‌هاي مطابق با ساختمان اروژنز است (جكسون^{۲۷}: ۱۹۹۴: ريپوليني و پاگنولو^{۲۸}: ۲۰۰۷: ۲). كه در منطقه مورد مطالعه، مي‌توان به مخروط افكنه‌هاي جابه جا شده (شكل ۸)، مخروط افكنه‌هاي بريده شده (شكل ۹) و سطوح متوالي فرسايشي در سطح آنها (شكل ۱۰)، پادگانه‌هاي مطبق، شكل گيري پادگانه‌هاي جديد در دشت‌هاي سيلابي و ديواره‌هاي قائم مسلط بر بستر رودخانه‌ها (شكل ۱۱) اشاره كرد.



شكل ۹: مخروط افكنه‌هاي بريده شده (بالا آمدگي و SL را تأييد مي‌كند)

25- Li, Youli. Yang & et all

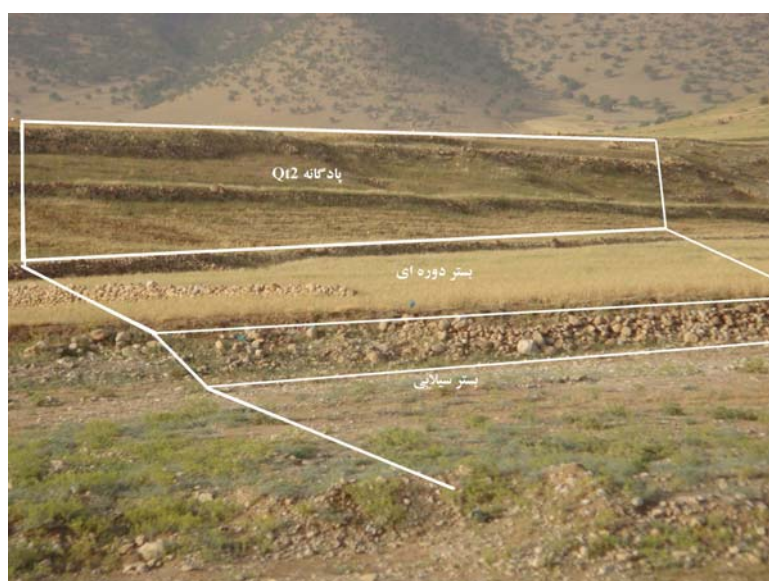
26- Yang. J. C.

27- Jackson -Ribolini and Spagnolo

28- Ribolini and Spagnolo



شکل ۱۰: سطوح متوالی فرسایشی مخروط افکنه‌ها را نشان می‌دهد.



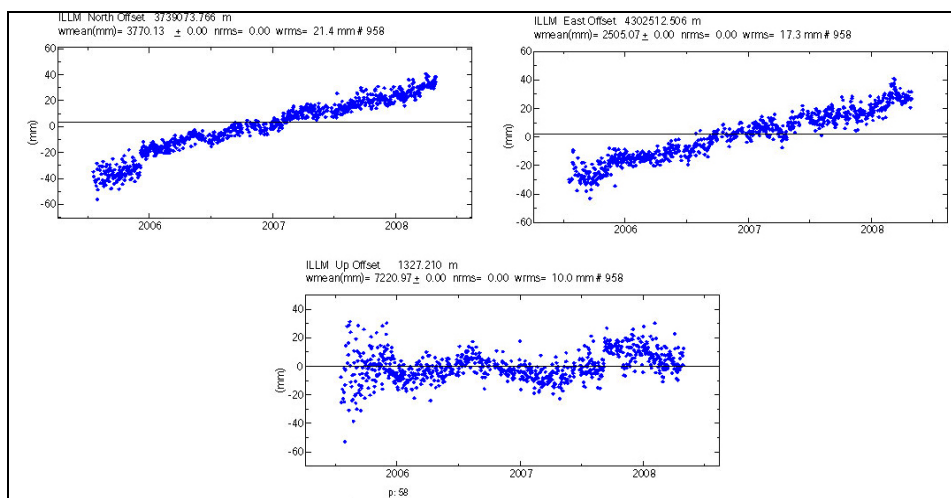
شکل ۱۱: پادگانه‌های مطبق و پادگانه جدید شکل گرفته و دیواره قائم مسلط بر بستر رودخانه است که مقادیر بالای شاخص SL و بالا آمدگی منطقه را تایید می‌کند.

داده‌های GPS:

برداشت‌های دستگاه‌های پیشرفته GPS دو فرکانسه ایستگاه ژئودینامیک ایلام (متعلق به سازمان نقشه برداری کشور) نشان‌دهنده آن است که این منطقه با توجه به دوره سه

مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز ... ۱۹

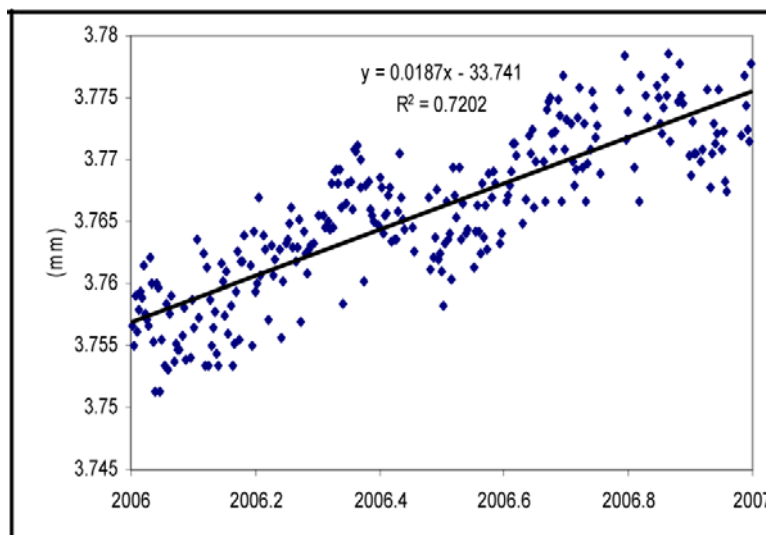
ساله برداشت آمار (سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) به طور میانگین ۴۰ میلیمتر در جهت شمال و ۳۰ میلیمتر در جهت شرق و ۴۰ میلیمتر در جهت عمودی در سال حرکت ثبت شده است، ولی این روند در طی این سه سال ثابت نبوده، در سال‌های مختلف جابه‌جایی‌های متفاوتی نشان می‌دهند (شکل ۱۲)



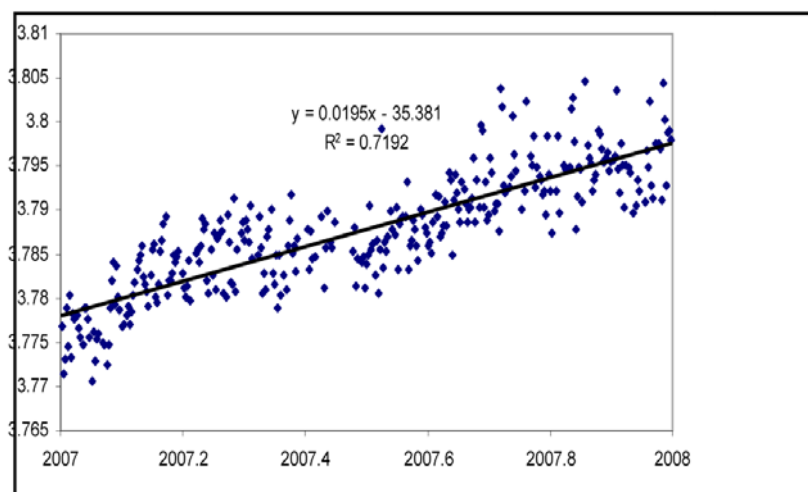
شکل ۱۲: داده‌های GPS سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد. بیشترین جابه‌جایی‌ها در سال ۲۰۰۶ روی داده و در سال‌های بعد روند متعادلتری را داشته است. بدیهی است، برای بررسی دقیق‌تر به بازه‌های زمانی بلند مدت‌تری نیاز است. مأخذ: سازمان نقشه برداری کشور

جدول ۷: میزان جابه‌جایی‌ها در منطقه که توسط ایستگاه ژئودینامیک ایلام ثبت شده است (میلیمتر)

سال	جابه‌جایی شمالی North Offset	جابه‌جایی شرقی East Offset	جابه‌جایی عمودی Up Offset
۲۰۰۶	۴۰	۳۰	۸۰
۲۰۰۷	۲۰	۴۰	۴۰
۲۰۰۸	۲۰	۳۰	۴۰

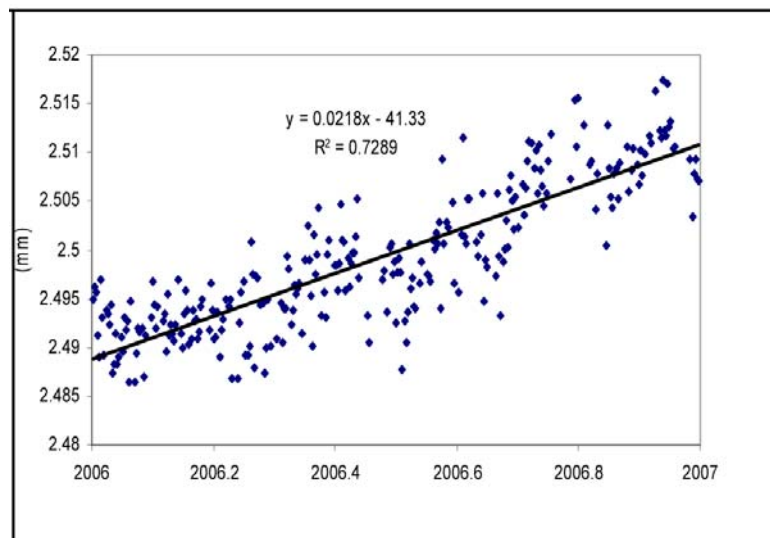


شکل شماره ۲: جابه‌جایی شمالی (North Offset) سال ۲۰۰۶. (تجزیه و تحلیل داده‌های ایستگاه ژئودینامیک ایلام، سازمان نقشه برداری کشور)

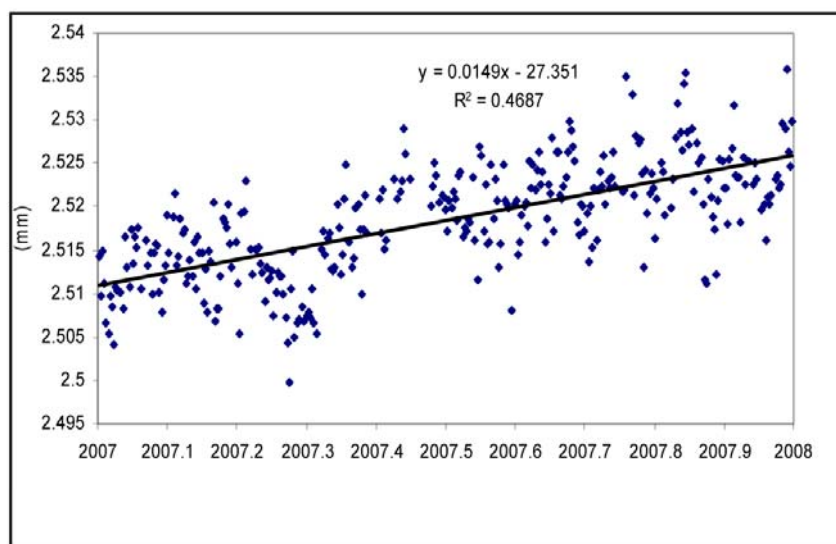


شکل شماره ۳: جابه‌جایی شمالی در نیمه پایانی سال ۲۰۰۷ در ایلام را به میلیمتر نشان می‌دهد. (تجزیه و تحلیل داده‌های ایستگاه ژئودینامیک ایلام، سازمان نقشه برداری کشور)

مورفومتري و ارزيابي شاخص‌هاي ژئومورفيك براي تعيين ميزان فعاليت نو زمين ساخت در حوضه آبريز ... ۲۱

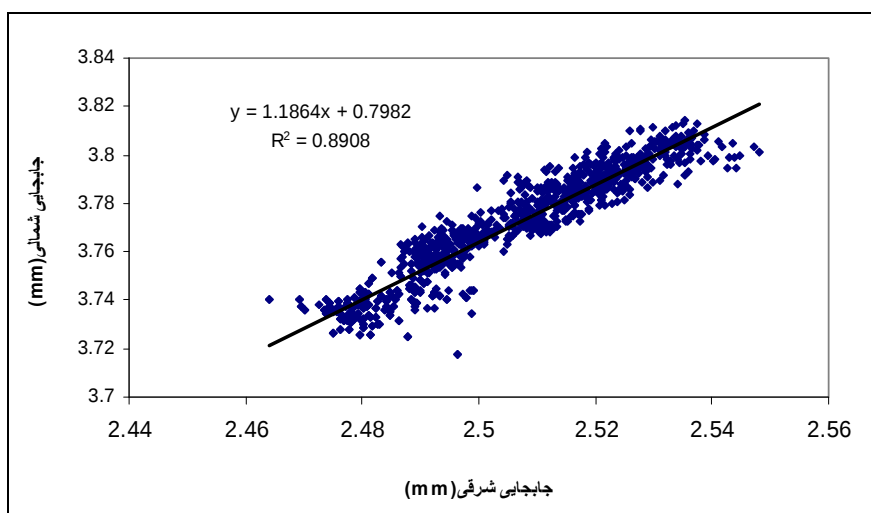


شكل شماره ۴: جابه‌جايي شرقي (East Offset) در طی سال ۲۰۰۶. (ايستگاه ژئوديناميك ايلام، سازمان نقشه برداري کشور)



شكل شماره ۵: جابه‌جايي شرقي در طی سال ۲۰۰۷ به ميليمتر نشان مي‌دهد. (ايستگاه ژئوديناميك ايلام، سازمان نقشه برداري کشور)

با بررسی آماری و مقایسه نموداری بین سال‌های ثبت اطلاعات، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در روند جابه‌جایی‌های زمین در منطقه ایلام در دو جهت شمالی و شرقی از یک همبستگی آماری خوبی ($R^2=0.94$) برخوردار هستند که این امر حاکی از جابه‌جایی کلی منطقه در جهت شمال شرق است. البته، این جابه‌جایی‌ها همزمان با جابه‌جایی عمودی یا قائم صورت می‌گیرد. با مقایسه جابه‌جایی‌های شرقی در سال‌های آماری ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ متوجه می‌شویم که جابه‌جایی در سال ۲۰۰۶ روند منظمتری نسبت به سال ۲۰۰۷ دارد، چون با توجه به مقدار رگرسیون به‌دست آمده ضریب همبستگی بین داده‌های سال ۲۰۰۶ عدد $R^2=0.7$ به‌دست آمد که نسبت خوبی است، ولی داده‌های سال ۲۰۰۷ با ضریب همبستگی $R^2=0.4$ از همبستگی خیلی خوبی برخوردار نیستند. با تجزیه و تحلیل آمار ثبت شده توسط دستگاه‌های GPS ایستگاه‌های سازمان نقشه برداری کشور در طی سال‌های بلند مدت تر می‌توان به نتایج خوبی در زمینه فعالیت تکتونیکی مناطق پی‌برد.



شکل شماره (۶) میزان همبستگی بین جابه‌جایی‌های رخ داده در جهت‌های شمال و شرق که نشان دهنده تغییر شکل عوارض در جهت کلی شمال شرق است (ایستگاه ژئودینامیک ایلام، سازمان نقشه برداری کشور)

نتايج:

- مقادير به دست آمده از شاخص‌هاي ژئومورفيك SL ، T ، Af ، Smf ، Fmf نشان دهنده فعاليت شديد نو زمين ساختي در حوضه مورد مطالعه هستند.

- با توجه به اين كه لند فرم‌هاي كواترنري روشنترين شاهد انعكاس دهنده فعاليتهاي عهد حاضر تنش‌هاي تكتونيكي هستند، بر اين اساس، شواهد ژئومورفولوژيك حاصل از گسلش فعال و سطوح آبرفتي شكل گرفته و تحول يافته توسط حرركات نو زمين ساختي، نشان دهنده وجود و ادامه اين حرركات فعال در دوران كواترنري و عصر حاضر در حوضه مورد مطالعه است.

- داده‌هاي GPS سال‌هاي (۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) ايستگاه ايلام، ادامه حرركات نئوتكتونيكي را به صورت ۴۰ ميليمتر بالا آمدگي، ۴۰ ميليمتر حركت در جهت شمال و ۳۰ ميليمتر در جهت شرق در سال ثبت نموده‌اند. اين داده‌ها با نتايج ساير مطالعات انجام گرفته در محدوده زاگرس مقايسه و تحليل گرديده است.

- به طور كلي، با بررسي آماري و مقايسه نموداري بين سال‌هاي ذكر شده، مي‌توان نتيجه گرفت كه ادامه حرركات نئوتكتونيكي در زاگرس شمال غربي (ايستگاه شاهد ايلام) در دو جهت شمالي و شرقي از همبستگي آماري خوبي ($R^2=0.94$) برخوردارند كه اين امر گوياي جابه‌جايي كلي منطقه در جهت شمال شرق است و اين جابه‌جايي‌ها هم زمان با بالا آمدگي منطقه صورت مي‌گيرد.

- از مقايسه مقادير به دست آمده از داده‌هاي ژئومورفيك، تحليل داده‌هاي GPS و بررسي شواهد ژئومورفولوژيك مي‌توان نتيجه گرفت كه شواهد ژئومورفولوژيك، مانند پادگانه‌هاي مطبق، پادگانه ايجاد شده در دشت سيلابي بر اثر جوان شدگي رودخانه، ديواره قائم مسلط بر بستر رودخانه، طاقيس‌هاي در حال رشد، مخروط افكنه‌هاي بريده

شده، میزان کمی شاخص SL و بالا آمدگی ۴۰ مایلمتری در سال داده‌های GPS را در حوضه مورد مطالعه تأیید می‌کنند.

تپه مسدود کننده، پرتگاه‌های گسلی، عدم شکل گیری کوهپایه و سطوح مثلثی شکل، حاکی از فعال بودن گسلهای منطقه و تأیید مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های Smf و Fmf و بالاآمدگی ۴۰ میلیمتری داده‌های GPS است.

جابه‌جایی آبراهه و مخروط افکنه توسط راندگی گیلان غرب، عدم تقارن رودخانه چله مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های Af، T و حرکات رو به شمال شرق داده‌های GPS را تأیید می‌کنند.

- به‌طور کلی، نئوتکتونیک باعث تحول لندفرم‌های ژئومورفولوژیک در کواترنر و عهد حاضر (هولوسن) در حوضه مورد مطالعه گردیده، نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک، تحلیل داده‌های GPS و بررسی شواهد ژئومورفولوژیک بالاآمدگی و حرکات راستالغز راست بر را در زاگرس شمال غربی و حوضه مورد مطالعه و نتایج یکدیگر را تأیید می‌نمایند.

منابع

۱. رادفر، شهباز، پور کرمانی، حسن. (۱۳۸۴). «ریخت زمین ساخت گسل کوهبنان»، *مجله علوم زمین*، ش ۵۸، صص ۱۶۶-۱۸۳.
۲. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، عکس‌های هوایی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه سال ۱۳۳۵.
۳. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برگ کال کش.
۴. سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برگ کردند.
۵. سازمان نقشه برداری کشور، داده‌های GPS ایستگاه ایلام سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸.
۶. عبادیان، سارا. (۱۳۷۹). تحلیل ساختاری و زمین ساختی طاق‌دیس سبزپوشان بر اساس آنالیزهای مورفوتکتونیک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

مورفومتري و آريزايي شاخص هاي ژئومورفيك براي تعيين ميزان فعاليت نو زمين ساخت در حوضه آبريز ... ۲۵

۷. مختاري، داود. (۱۳۸۵). کاربرد شاخص هاي ريخت سنجي در تعيين ميزان فعاليت گسلها، مورد نمونه: گسل شمالي ميشو، *مجله علوم زمين ش* ۵۹، صص ۷۰-۸۳.

۸. مددي، عقيل. رضائي مقدم، محمدحسين. رجائي، عبدالحميد، (۱۳۸۱). تحليل فعاليت هايي نئوتكتونيكي با استفاده از روش هاي ژئومورفولوژي در دامنه هاي شمالگربي تالش (باغرو داغ). *مجله پژوهش هاي جغرافيايي*، ش ۴۸، صص ۱۰۳-۱۲۲.

۹. ميرشكرايي، اميرعباس. (۱۳۷۶). مطالعه ليتواستراتيگرافي و زمين شناسي ساختماني در منطقه امام حسن ويژنان (گيلانغرب)، پايان نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه تهران.

۱۰.

11. Bachmanov.D.M.Trifonov.Kh.T.Hessami.A.I.Uozhurin.T.P.Ivanovo.E.A.Rogozhin.M.C.,
Hademi. F.H, Tamali,(2003).Active faults in the Zagros and central Iran. Tectonophysics 380, pp
221-241.
12. Blance.E, Allen.M, Inger.S, Hassani.H, (2003), structural styles in the Zagros simple folded
zone iran, geological society, vol 160, pp. 401-412.
13. C, Y.C.et al (2003). Along – Strike variation of morphotectonic features in the Western
Foothills of Taiwan: tectonic implieation based on Stream-gradient and hypsometric analysis.
Geomorphology, Vol56,pp109-137.
14. Duglas, W. Burbank, Robert, S. Anderson(2001). Tectonic Geomorphology. Blackwell
Science. Ltd.
15. Hamdouni, R.El. Irigaray, C. Fernandez, T. Chacon, J. Keller, E.A.(2008). Assessment of
relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology.
96. Pp. 150-173.
16. Hessami.KH, Nilfoyoushan, Christopher.J, Tablot,(2006), active deformation within the
Zagros Mountains deduced GPS measurements, geology society, vol 163, pp: 143-148.
17. Ioannis.M.T. Ioannis.K.K. Pavlides.S.(2006).Tectonic geomorphology of the easternmost
extension of the Gulf Corinth(Beotia, cntral Greece).Tectonophysics Vol453(2008). pp.211-232.
18. Keller, E. A, Pinter, N. (1996). Active tectonic: Earthquakes, Uplift. And Landscape. Prentice
Hall, Pub.
19. Keller, E.A. Gurrola, L. Tierney, T. E. (1999).Geomorphic criteria to determine direction of
lateral propagation of reverse faulting and folding. Geology; ; v. 27; no. 6; p. 515–518;

20. Keller.E.K.Gurrola.L. Tierney.T.E.(1999).Geomorphic criteria to determine direction of lateral propagation of reverse faulting and folding.Geology, Vol27.pp515-518
21. Li, youli. Yang, Jingchun. Tan, Lihua. Duan, Fengian (1999). Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China. Geomorphology vol 28. pp: 299-308.
22. Ramirez-Herrera.M.T.(1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt. Earth surface process and land froms. Vol. 23, pp 317-322.
23. Randel.T.(1994) Analysis of drainage-basin symmetry as arpin techniques to identify areas of possible Qaternery tilt-block tectonics: An examble from the Mississippi Embayment. Geological society. Vol. 106. pp:571-581.
24. Ribolin.A. Spagnolo.M.(2007). Drainage network geometry versus tectonics in the Argentera Massif(French-Italian Alps). Geomorphology.pp1-14.
25. Stanley, A. Schumm, jean F. ducment& john M.holbrook(2000). Active tectonics alluvial rivers. Cambridge university press.
26. Yang, J.C. (1985).Geomorphology (in Chinese). High Education press. Beijing. Pp: 320.