

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

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)، (SL، T، Af، Smf)، 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 (اولیر^۲ ۱۹۸۸؛ عبادیان ۱۳۷۹: ۱). ارزیابی ساختمان‌ها و لندفرم‌های زمین در طول تاریخ پیدایش آنها، موضوع دانش تکتونیک ژئومورفولوژی است (استانلی^۳ 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، ۲۰۰۱: ۲؛ ایوانیس^۵ 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^۶، 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

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

تجربه کرده‌اند، به راحتی شناسایی نمود(رامی رز و هیسه 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 هیسه 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)، زرگزاده 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 تکتونیک 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 - Ramirez & Herrera
8 - Douglas 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 - Dikilo et al
17 - Blance et al
18 - Bachmanov et al
19 - Verner
20 - Tallbian and Jackson

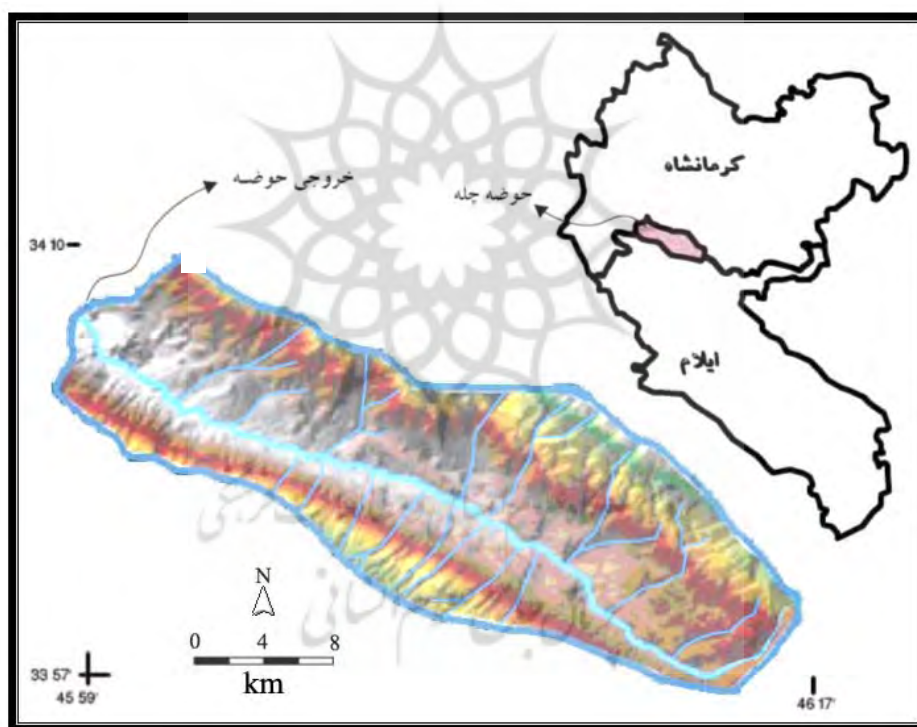
(بلانک و همکاران: ۲۰۰۳، ص ۴۰۱). جهت حرکت صفحه عربستان به سمت زاگرس شمال غربی $N12 \pm 8^\circ E$ و به مقدار $3 \pm 19 - 14$ میلیمتر در سال است که به طور مورب حرکت می کند و بیشترین کوتاه شدگی در زاگرس شمال غربی که در امتداد گسل‌ها رخ می دهد، ۳ تا ۵ میلیمتر در سال است (حسامی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۴۳). عامل اصلی شرایط تکتونیک فعال در زاگرس شمال غربی ارتباط تراست‌های پنهان و چین‌هاست (باچمانوف، ۲۰۰۳: ۲۲۴). منطقه مورد مطالعه از نظر ساختمانی ساده و در زون چین‌های برگشته زاگرس چین خورده واقع شده است. با توجه به شواهد مورفوتکتونیک و نوزمین ساختمانی موجود، تداوم فعالیت‌های تکتونیک در محدوده زمانی کوتاه‌تر محرز است و سه فاز بالا آمدگی در امتداد راندگی گیلانغرب قابل تشخیص است (میرشکرائی، ۱۳۷۶: ۹۳). همچنین، در وضعیت ساختاری منطقه، الگوی زون‌های برشی راستگرد قابل توجه است. تاقدیس‌های 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، آغا‌جاری، بختیاری و نهشته‌های کوتاه‌تری 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 عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۵

مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز ... ۵

درجه و ۵۹ دقیقه تا ۴۶ درجه ۱۷ دقیقه شرقی واقع شده و حداکثر ارتفاع حوضه (قله کچل) ۲۳۵۵ متر و حداقل ارتفاع آن (خروجی حوضه) ۹۵۵ متر است. حوضه چله با متوسط عرض ۴ کیلومتر و طول ۴۰ کیلومتر با پیروی از راستای اصلی زاگرس در جهت شمال غربی، جنوب شرقی کشیده شده است و رود چله سرشاخه اصلی آن را تشکیل می‌دهد. مرز مشترک آن با حوضه‌های دیگر در سه جهت شمال، شرق و جنوب منطبق بر خط الراس‌هاست و مرز غربی آن خروجی حوضه است. این حوضه بر اساس تقسیم بندی وزارت نیرو، جزو حوضه آبریز رود الوند بوده، به خلیج فارس می‌ریزد.



شکل ۱: موقعیت حوضه مورد مطالعه در مرز استان‌های ایلام و کرمانشاه

مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز ... ۷

شمال شرق - جنوب غرب در زاگرس چین خورده و حرکات امتدادلغز راست بر گسل‌های معکوس (رانده‌گی‌ها) نمود دارد (بلانک، ۲۰۰۳: ۴۰۱)، برای انتخاب محدوده مناسب برای پژوهش، سعی شده است ساختمان سنگ شناسی حوضه بیشتر از واحدهای سنگ چینه‌ای مقاوم باشد، زیرا واحدهای سنگ چینه‌ای نامقاوم بخوبی نمی‌توانند منعکس کننده شرایط تکتونیک فعال منطقه باشند. وجود گسل‌های اصلی در حوضه برای اثبات یا رد حرکات راستالغز راست بر لازم و ضروری است. در حوضه آبریز چله ۵۰٪ واحدهای سنگ چینه‌ای در قلمرو آهک آسماری است که یکی از مهمترین واحدهای سنگ چینه‌ای مقاوم در زاگرس چین خورده است، همچنین، فعالیت رانده‌گی گیلانغرب، حوضه آبریز چله را به عنوان حوضه مناسبی برای انجام این پژوهش مطرح می‌کند.

بحث و یافته‌های تحقیق:

شاخص‌های ژئومورفیک:

شاخص گرادیان طول رودخانه (SL): این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) \times L$$

در این رابطه:

SL = شاخص گرادیان رودخانه؛ ΔH = اختلاف ارتفاع در یک مقطع مشخص؛

ΔL = فاصله افقی در آن مقطع مشخص؛ L = طول رودخانه از نقطه مرکزی مقطع اندازه‌گیری شده تا سرچشمه رودخانه.

شاخص SL به تغییرات شیب رودخانه بسیار حساس است، این حساسیت برآورد میزان روابط موجود بین فعالیت‌های تکتونیکی، مقاومت سنگ و توپوگرافی را امکان پذیر می‌سازد. این شاخص در مناطقی که بستر رودخانه در سنگ‌های سخت قرار دارد، افزایش می‌یابد. میزان SL در مناطق فعال تکتونیکی زیاد است (کلر و پنتیر، ۱۹۹۶: ۱۳۰). شاخص SL به ساختمان سنگ شناسی بسیار حساس است. در مطالعه‌ای که چن و همکاران (۲۰۰۳) در تایوان انجام دادند، دریافتند که هر اندازه طول رودخانه بیشتر 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 SI 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 تضاریس جبهه کوهستان (Smf): این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Smf = lmf / ls$$

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)	سیلویا 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$	$Smf<1/1$ $Vf=0/6$	سزعت 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 یا 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 قلاجيه	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 و همكاران، ۲۰۰۸: ۱۵۶). اين شاخص به صورت زير تعريف مي گردد:

$$A_f = (A_r / A_t) \cdot 100$$

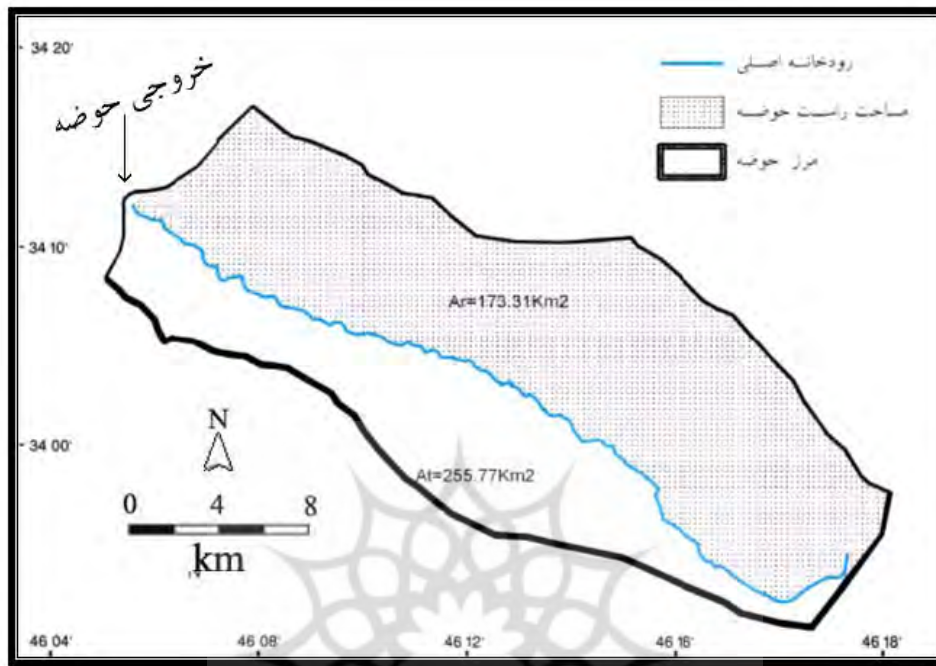
در اين رابطه A_f عدم تقارن زهكشي؛ A_r = مساحت قسمت

راست مسير رود اصلي؛ A_t = مساحت كل حوضه زهكشي.

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

جدول ۵: مقادير شاخص A_f در حوضه آبريز چله

نام حوضه	A_t	A_r	A_f
چله	$۲۵۵/۷۷ \text{ Km}^2$	$۱۷۳/۳۱ \text{ Km}^2$	%۶۸



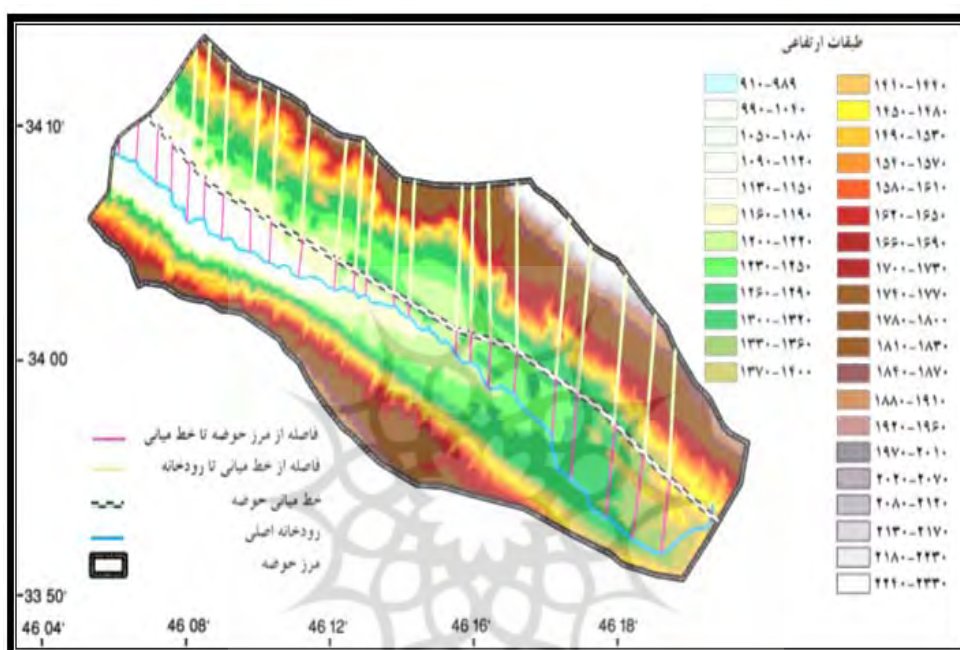
شکل ۴: ارزیابی شاخص عدم تقارن (Af) در حوضه مورد مطالعه

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 ارزيابي شاخص‌هاي ژئومورفيک براي تعيين ميزان فعاليت نو زمين ساخت در حوضه آبريز ... ۱۳

عدد به دست آمده نماينده و بيان کننده کل مسير رودخانه باشد (جدول ۶). در اين پژوهش مقدار $T=27$ است که حاکی از تکتونیک فعال و تمايل شبکه زهکشی به سمت نيمه سمت چپ حوضه و فعال بودن راندهگی گيلانغرب در ساحل راست رودخانه است.



شکل ۵: ارزيابي شاخص تقارن توپوگرافي معکوس (T) در حوضه مورد مطالعه

شواهد ژئومورفولوژیک حاصل از تکتونیک فعال:

بسیاری از لندفرم‌های ژئومورفولوژیک در مقابل حرکات تکتونیکی فعال بسیار حساس هستند و همزمان با آن تغییر می‌کنند (مددی و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۲۴). با مطالعه و بررسی لندفرم‌ها و نیز الگوی سیستم شبکه‌های زهکشی با در نظر گرفتن ساختمان زمین شناسی و لیتولوژی هر منطقه، می‌توان عملکرد تکتونیک فعال را در هر منطقه ارزيابي کرد و وجود یا عدم حرکات تکتونیکی فعال را مشخص نمود.

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

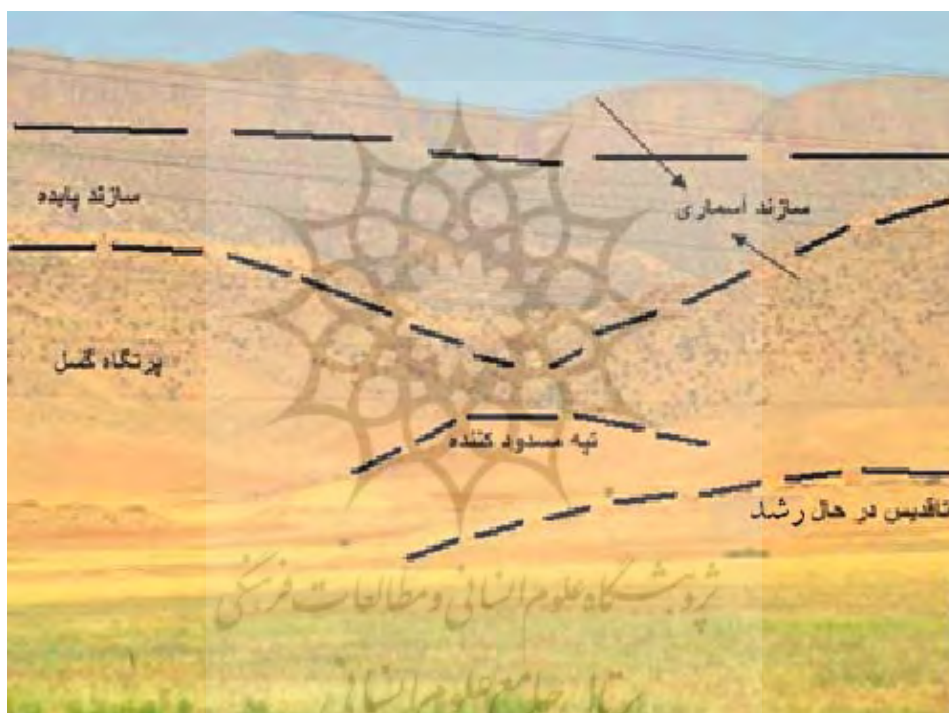
شماره	Dd (متر)	Da (متر)	شماره	Dd (متر)	Da (متر)
۱	۵۵۹۹	۸۱۹	۱۶	۳۹۹۹	۱۲۵۴
۲	۵۵۶۷	۱۱۸۷	۱۷	۳۹۹۰	۹۹۷
۳	۵۳۹۷	۷۲۲	۱۸	۴۲۵۴	۶۷۴
۴	۵۲۰۹	۱۴۸۰	۱۹	۳۹۳۷	۶۰۱
۵	۴۹۵۹	۱۲۲۸	۲۰	۳۹۶۴	۴۰۸
۶	۴۵۶۳	۱۶۷۵	۲۱	۳۹۲۶	۵۲۷
۷	۴۸۱۳	۲۴۲۶	۲۲	۴۶۷۶	۸۰۲
۸	۴۹۵۱	۱۷۹۷	۲۳	۴۷۵۷	۹۱۶
۹	۴۹۳۰	۱۷۰۰	۲۴	۵۱۶۱	۱۵۲۳
۱۰	۵۱۷۱	۱۶۲۳	۲۵	۵۴۰۱	۱۴۵۸
۱۱	۴۴۱۱	۱۹۴۶	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 افزای‌های گسلی مشخص و بلند در هر منطقه با سطح فرسایش نیافته، نشانه گسلش فعال پلیو-کواترنری در آن منطقه

مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز ... ۱۵

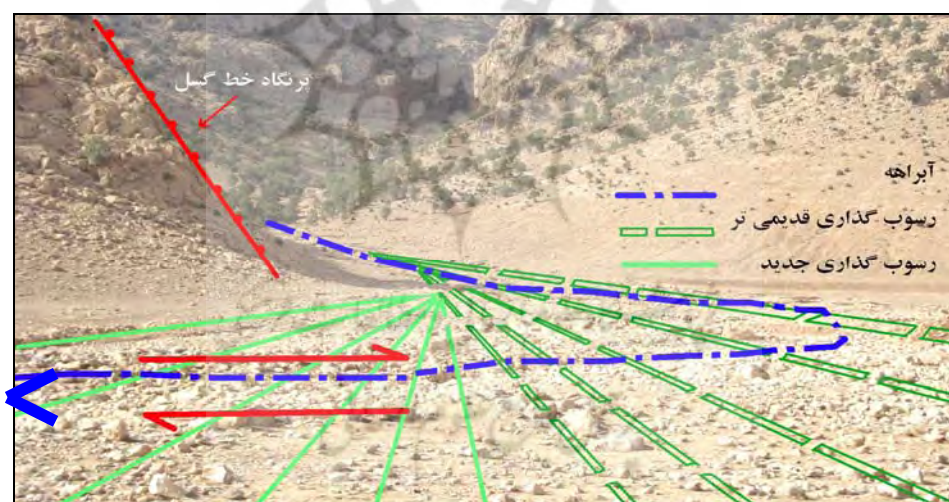
هستند (رادفر و پورکرمانی، ۱۳۸۴: ۱۶۸). رشد افقی چین‌ها از نشانه‌های تکتونیک فعال است (کلر و همکاران^{۲۳}، ۱۹۹۹: ۵۱۵). این لندفرم‌ها در منطقه مورد مطالعه، شامل: پرتگاه‌های گسلی جوان، تپه‌های مسدود کننده، طاقدیس‌های در حال زایش (شکل ۶)، سطوح مثلثی شکل در حد کوه - دشت، عدم کوهپایه و حد کوه و دشت مستقیم (شکل ۷)؛ آبراهه‌های جابه‌جا شده (شکل ۸) و عدم تقارن رودخانه چله (شکل ۶) هستند. این عوارض نشان دهنده فعال بودن حرکات نئوتکتونیک در حوضه تحت بررسی هستند.



شکل ۶: طاقدیس‌های در حال زایش، تپه مسدود کننده و پرتگاه گسل. هر سه شاهد ژئومورفولوژیک، نشان دهنده تکتونیک فعال منطقه است و طاقدیس در حال زایش شاخص SL را تایید می‌کند.



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



شکل ۸: جابه جا راستگرد آبراهه و مخروط افکنه توسط رانندگی 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

مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز ... ۱۷

نقل از (لی و همکاران^{۲۵}: ۱۹۹۸، ۲۹۹). مخروط افکنه‌ها به عنوان یکی از بارزترین اشکال آبرفتی، مورفولوژی و تحول آنها به شدت تحت تأثیر حرکات تکتونیکی قرار می‌گیرد. حرکات تکتونیکی سطح اساس فرسایش را تغییر داده، فرآیندهای فعال در سطح مخروط افکنه‌ها و تکامل آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (یانگ^{۲۶}: ۱۹۸۵: ۱۰). در مناطق کوهستانی با تکتونیک فعال شبکه‌های زهکشی نشان دهنده واکنش بین فرآیندهای سطحی و بالا آمدگی و زایش افقی در تراس‌های گسلی و چین خوردگی‌های مطابق با ساختمان اروژنز است (جکسون^{۲۷}: ۱۹۹۴: ریبولینی و پاگنولو^{۲۸}: ۲۰۰۷: ۲). که در منطقه مورد مطالعه، می‌توان به مخروط افکنه‌های جابه جا شده (شکل ۸)، مخروط افکنه‌های بریده شده (شکل ۹) و سطوح متوالی فرسایشی در سطح آنها (شکل ۱۰)، پادگانه‌های مطبق، شکل‌گیری پادگانه‌های جدید در دشت‌های سیلابی و دیواره‌های قائم مسلط بر بستر رودخانه‌ها (شکل ۱۱) اشاره کرد.



شکل ۹: مخروط افکنه‌های بریده شده (بالا آمدگی و SL را تأیید می‌کند)

25- Li, Youli. Yang & et all

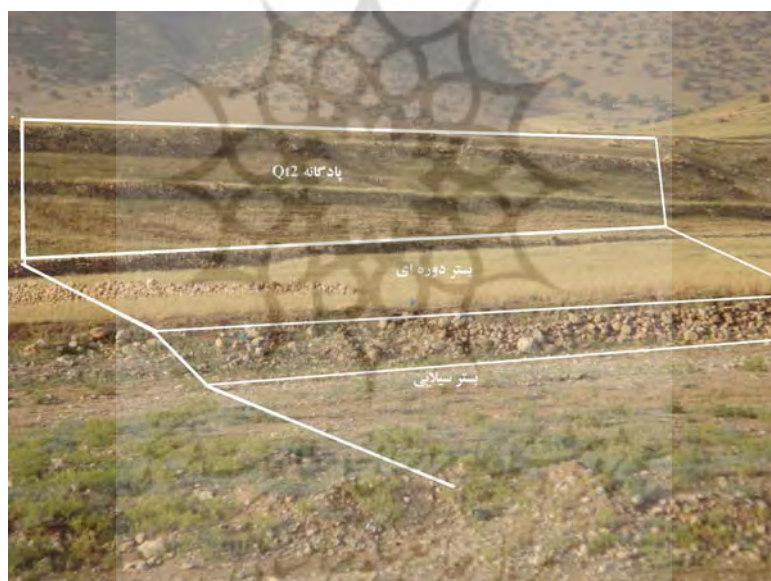
26- Yang. J. C.

27- Jackson -Ribolini and Spagnolo

28- Ribolini and Spagnolo



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



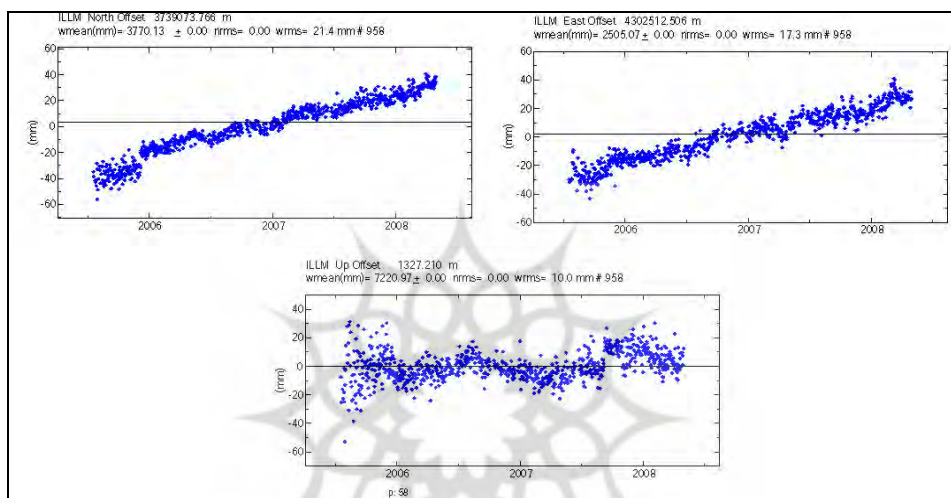
شکل ۱۱: پادگانه‌های مطبق و پادگانه جدید شکل گرفته و دیواره قائم مسلط بر بستر رودخانه است که مقادیر بالای شاخص SL و بالا آمدگی منطقه را تایید می‌کند.

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

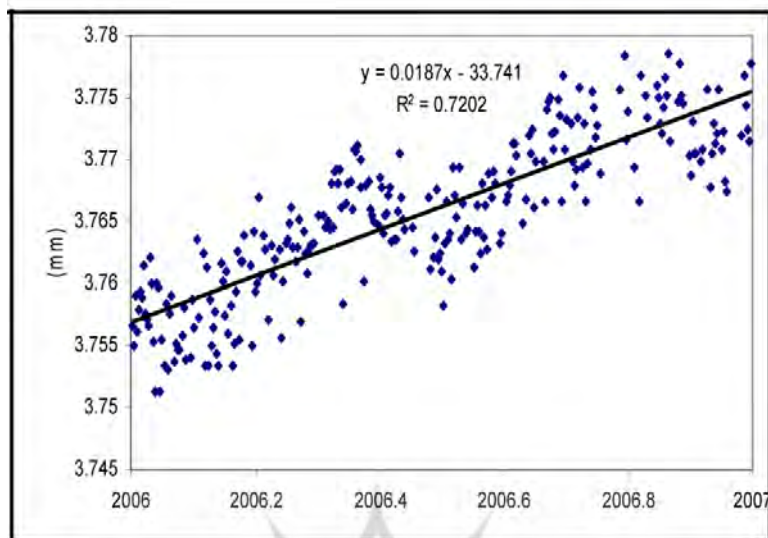
ساله برداشت آمار (سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) به طور میانگین ۴۰ میلیمتر در جهت شمال و ۳۰ میلیمتر در جهت شرق و ۴۰ میلیمتر در جهت عمودی در سال حرکت ثبت شده است، ولی این روند در طی این سه سال ثابت نبوده، در سال‌های مختلف جابه‌جایی‌های متفاوتی نشان می‌دهند (شکل ۱۲)



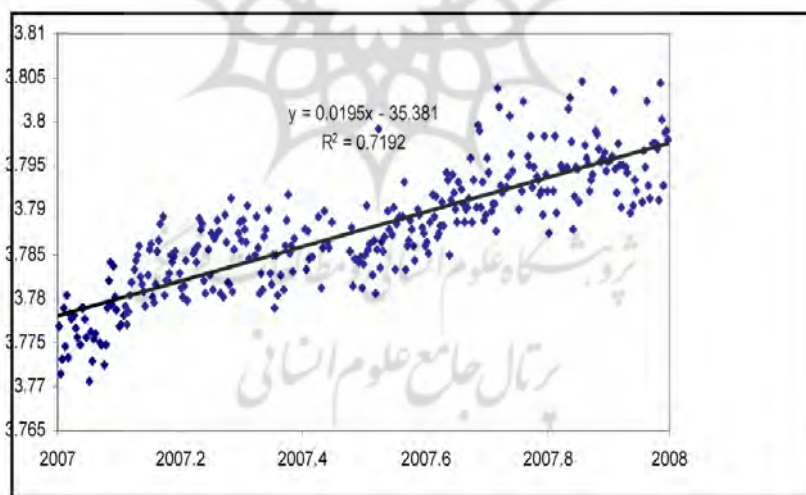
شکل ۱۲: داده‌های GPS سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد. بیشترین جابه‌جایی‌ها در سال ۲۰۰۶ روی داده و در سال‌های بعد روند متعادلتری را داشته است. بدیهی است، برای بررسی دقیق‌تر به بازه‌های زمانی بلند مدت‌تری نیاز است. مأخذ: سازمان نقشه برداری کشور

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

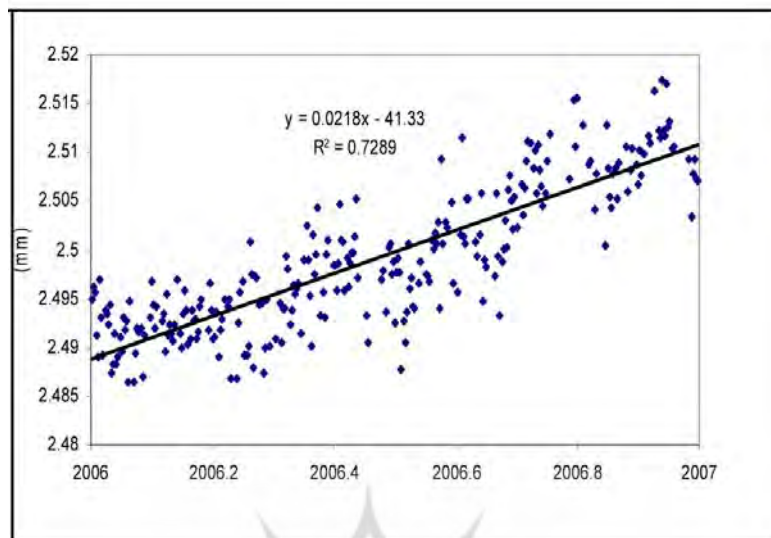


شکل شماره ۲: جابه‌جایی شمالی (North Offset) سال ۲۰۰۶. (تجزیه و تحلیل داده‌های ایستگاه ژئودینامیک ایلام، سازمان نقشه برداری کشور)

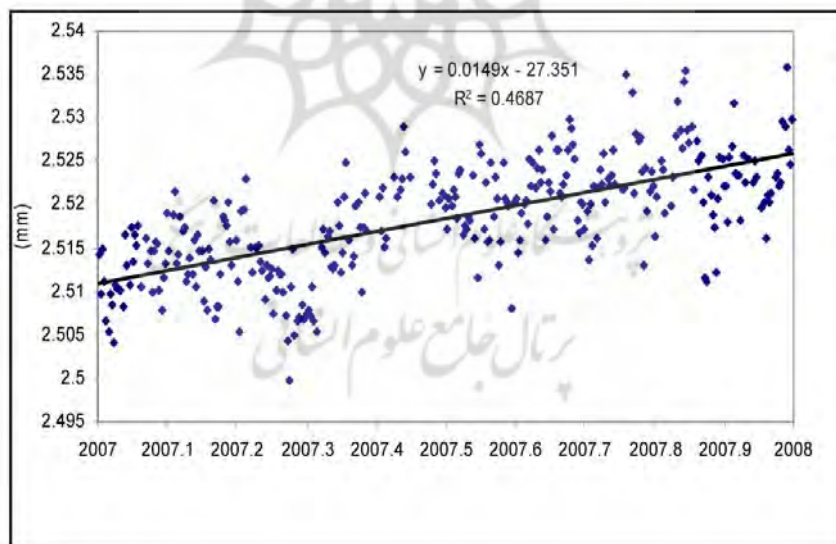


شکل شماره ۳: جابه‌جایی شمالی در نیمه پایانی سال ۲۰۰۷ در ایلام را به میلیمتر نشان می‌دهد. (تجزیه و تحلیل داده‌های ایستگاه ژئودینامیک ایلام، سازمان نقشه برداری کشور)

مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز ... ۲۱

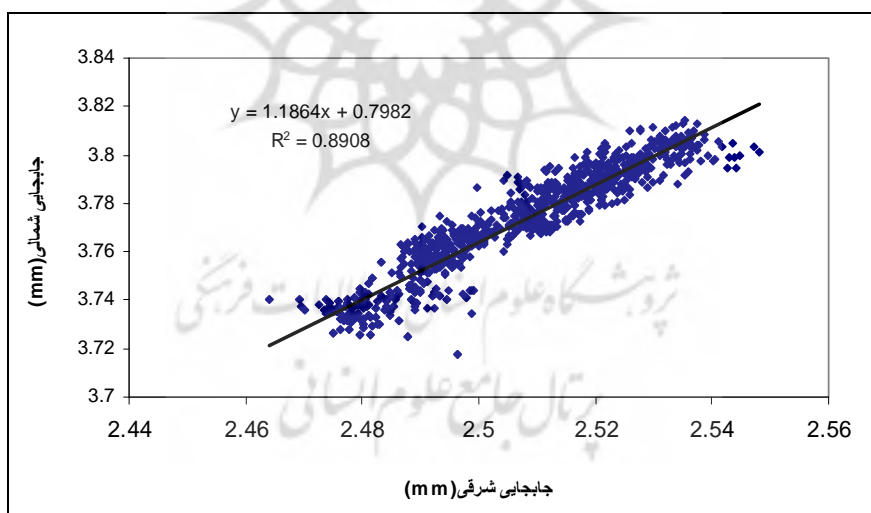


شکل شماره ۴: جابه‌جایی شرقی (East Offset) در طی سال ۲۰۰۶. (ایستگاه ژئودینامیک ایلام، سازمان نقشه برداری کشور)



شکل شماره ۵: جابه‌جایی شرقی در طی سال ۲۰۰۷ به میلیمتر نشان می‌دهد. (ایستگاه ژئودینامیک ایلام، سازمان نقشه برداری 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)

نتایج:

- مقادیر به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک SL ، T ، Af ، Smf ، Fmf نشان دهنده فعالیت شدید نو زمین ساختی در حوضه مورد مطالعه هستند.

- با توجه به این که لند فرم‌های کواترنری روشنترین شاهد انعکاس دهنده فعالیت‌های عهد حاضر تنش‌های تکتونیکی هستند، بر این اساس، شواهد ژئومورفولوژیک حاصل از گسلش فعال و سطوح آبرفتی شکل گرفته و تحول یافته توسط حرکات نو زمین ساختی، نشان دهنده وجود و ادامه این حرکات فعال در دوران کواترنری و عصر حاضر در حوضه مورد مطالعه است.

- داده‌های GPS سال‌های (۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) ایستگاه ایلام، ادامه حرکات نئوتکتونیکی را به صورت ۴۰ میلیمتر بالا آمدگی، ۴۰ میلیمتر حرکت در جهت شمال و ۳۰ میلیمتر در جهت شرق در سال ثبت نموده‌اند. این داده‌ها با نتایج سایر مطالعات انجام گرفته در محدوده زاگرس مقایسه و تحلیل گردیده است.

- به طور کلی، با بررسی آماری و مقایسه نموداری بین سال‌های ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که ادامه حرکات نئوتکتونیکی در زاگرس شمال غربی (ایستگاه شاهد ایلام) در دو جهت شمالی و شرقی از همبستگی آماری خوبی ($R^2=0.94$) برخوردارند که این امر گویای جابه‌جایی کلی منطقه در جهت شمال شرق است و این جابه‌جایی‌ها هم زمان با بالا آمدگی منطقه صورت می‌گیرد.

- از مقایسه مقادیر به دست آمده از داده‌های ژئومورفیک، تحلیل داده‌های GPS و بررسی شواهد ژئومورفولوژیک می‌توان نتیجه گرفت که شواهد ژئومورفولوژیک، مانند پادگانه‌های مطبق، پادگانه ایجاد شده در دشت سیلابی بر اثر جوان شدگی رودخانه، دیواره قائم مسلط بر بستر رودخانه، طاقدیس‌های در حال رشد، مخروط افکنه‌های بریده

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

تپه مسدود کننده، پرتگاه‌های گسلی، عدم شکل‌گیری کوهپایه و سطوح مثلثی شکل، حاکی از فعال بودن گسلهای منطقه و تأیید مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های Smf، Fmf و بالا آمدگی 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، نتوتکتونیک 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 بالا آمدگی 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 کرند.
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 ارزيايي شاخص‌هاي ژئومورفيك براي تعيين ميزان فعاليت نو زمين ساخت در حوضه آبريز ... ۲۵
۷. مختاري، داود. (۱۳۸۵). کاربرد شاخص‌هاي 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. رجايي، عبدالحميد، (۱۳۸۱). تحليل فعاليت‌هايي نئوتكتونيكي با استفاده از روش‌هاي ژئومورفولوژي در دامنه‌هاي شمالگربي تالش (باغروداغ). مجله پژوهش‌هاي جغرافيايي، ش ۴۸، صص ۱۰۳-۱۲۲.
۹. ميرشكرائي، 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. J., 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 implication based on Stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology*, Vol 56, pp 109-137.
14. Duglas, W. Burbank, Robert, S. Anderson (2001). *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, Ltd.
15. Hamdouni, R. El. Iriggaray, 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, K. H., 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, central Greece). *Tectonophysics* Vol 453 (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. ducument& john M.holborook(2000). Active tectonics alluvial rivers. Cambridge university press.
26. Yang, J.C. (1985).Geomorphology (in Chinese). High Education press. Beijing. Pp: 320.

