

تجزیه و تحلیل نقش نئوتکتونیک در مورفولوژی و رفتار شبکه زهکشی

(مطالعه موردی: حوضه انجیران)

دکتر علیرضا عباسی^۱، دکتر هیوا علمی‌زاده^۲

دریافت: ۱۳۸۹/۲/۱۲ پذیرش: ۱۳۸۹/۵/۲۸

چکیده

حوضه مورد مطالعه جزء کوچکی از قلمرو شمالی زون دگرگونی سنندج-سیرجان است. با توجه به اینکه رودخانه‌ها اولین اشکال محیطی هستند که نسبت به وقوع تغییرات در بستر جریان و یا در حواشی بستر، عکس‌العمل نسبتاً سریعی نشان می‌دهند، از این‌رو برای شناخت نحوه عملکرد و میزان اثرگذاری فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در مورفولوژی و رفتار رودخانه قزلچه‌سو، با اتکا به یافته‌های میدانی از داده‌های ژئودینامیک و شاخص‌های مورفومتریک به‌عنوان تکنیک‌های مدلی و مفهومی استفاده شده‌است. هدف این پژوهش بررسی رابطه الگوی زهکشی محدود با فعالیت‌های نئوتکتونیک کواترنر است. برای دستیابی به این هدف، از نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به‌عنوان ابزارهای تحقیق استفاده شده‌است. در ادامه داده‌ها به‌دنبال تطبیق از طریق کارهای میدانی و در قالب نرم‌افزارهای GIS به روش تحلیلی-مقایسه‌ای و با استفاده از تکنیک‌های ژئومورفولوژی، تجزیه و تحلیل شده‌اند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه به‌شدت از فعالیت‌های تکتونیک کواترنری متأثر شده، ولی میزان این فعالیت‌ها در همه مناطق یکسان نیست، به‌طوری‌که در بخش‌های شرقی و شمال‌شرقی حوضه این نیروها دارای شدت بیشتری نسبت به مناطق دیگر است. به‌این ترتیب بین حرکات زمین‌ساخت و تغییرات شبکه زهکشی نوعی تعامل وجود دارد و واکنش سامانه‌های رودخانه‌ای به شدت از این فعالیت‌ها متأثر شده‌است. یافته‌های این تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های عمرانی، طرح‌های آمایش سرزمین و به‌طور کلی مدیریت پایدار محیطی بسیار مؤثر باشد.

کلیدواژه‌ها: نئوتکتونیک، داده‌های ژئودینامیک، شاخص‌های ژئومورفیک، شبکه زهکشی، حوضه انجیران.

۱. عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد.

۲. عضو هیأت علمی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.

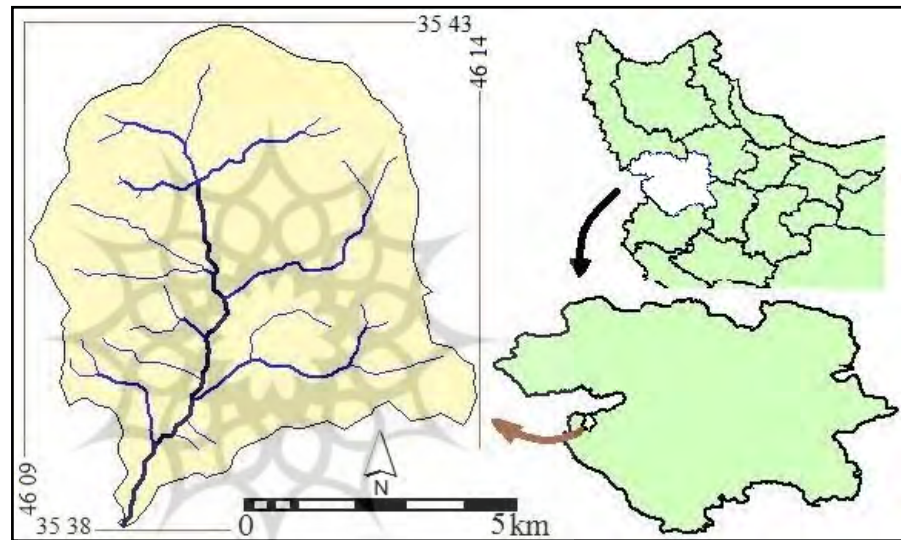
مقدمه

حوضه‌ی انجیران در غرب استان کردستان و مرز عراق و در بین طول‌های جغرافیایی $۴۶^{\circ}۰۹'۱۸''$ و $۴۶^{\circ}۱۴'۳۵''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $۳۵^{\circ}۳۸'۲۱''$ و $۳۵^{\circ}۴۳'۳۰''$ شمالی واقع شده‌است (شکل ۱ و جدول ۱). این حوضه که از نظر اقلیمی در منطقه‌ای کوهستانی، سرد و مرطوب واقع شده، سرچشمه رودخانه قزلچه‌سو می‌باشد. سوابق مطالعات علمی مربوط به حوضه مورد مطالعه چندان زیاد نیست. مشکلات دسترسی، نبود امکانات و قرارگیری در منطقه مرزی و حساس که طی دهه‌های گذشته پیوسته با تنش همراه بوده، از جمله عواملی هستند که دامنه تحقیقات علمی درباره حوضه را محدود کرده است. آنچه که سوابق مطالعاتی انجام‌شده در اختیار می‌گذارد، مجموعاً یک سلسله اطلاعات اندک پایه‌ای از محدوده و حوضه آبخیز مورد مطالعه است.

رودخانه‌ها به عنوان یکی از اشکال دینامیک طبیعت، از فعالیت‌های نئوتکتونیک متأثر شده و به اشکال گوناگون به فشارهای وارده و تغییرات صورت‌گرفته عکس‌العمل نشان می‌دهند؛ آثار این عکس‌العمل‌ها به صورت تغییرات جانبی، برش بستر و افزایش میزان فرسایش و حجم رسوبات جلوه‌گر می‌شوند. در این میان تجزیه و تحلیل مورفوتکتونیک با استفاده از داده‌های ژئودینامیک و شاخص‌های ژئومورفیک به عنوان یک ابزار شناسایی مفید و کارآمد در تشخیص مناطق با دگرشکلی تکتونیک و یا به منظور ارزیابی تغییرات نسبی فعالیت تکتونیک به کار می‌رود و نتایج حاصل از آنها به خصوص در مواردی که تحلیل‌ها بر روی مسیر جریان رودخانه‌ها متمرکز شده‌است، ابزار مهمی برای ارزیابی درجه فعالیت‌های تکتونیک و تشخیص مناطق با دگرشکلی تکتونیک به شمار می‌روند.

در این پژوهش به منظور بررسی فعالیت‌های تکتونیک در حوضه انجیران و تأثیر آن بر ویژگی‌های شبکه‌زهکشی، سعی شده است که از مهم‌ترین شاخص‌های ژئومورفیک و داده‌های ژئودینامیک استفاده شود و نتایج حاصل از آنها در سطح حوضه مورد مقایسه قرار گیرد. رابطه الگوی زهکشی محدوده با فعالیت‌های نئوتکتونیک کواترنر، موضوع اصلی این تحقیق است و تغییرات مورفولوژی رودخانه قزلچه‌سو و ارتباط آن با عملکرد فعالیت‌های نئوتکتونیک مورد بررسی قرار گرفته است. جهت تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه‌های زهکشی پژوهش‌هایی انجام شده، در این میان رجبی و همکاران (۱۳۸۵)، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶)، یمانی، مقیمی و تقیان (۱۳۸۷) و رامشت و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به بررسی اثر فعالیت‌های تکتونیک بر مورفولوژی شبکه‌های زهکشی پرداخته‌اند و

این شاخص‌ها را ابزاری مفید در این زمینه ارزیابی نمودند. از میان دیگر محققین، بسدبرک و همکاران^۱ (۲۰۰۵) شواهد ژئومورفیک تغییر شکل فعال و بالآمدگی را در آندهای اکوادور و دکر و همکاران^۲ (۲۰۰۵) تکتونیک فعال و تشکیل حوضه کواترنری را در حوضه‌های داخلی اتریش بررسی نمودند. کرزیسکوویچ و همکاران^۱ (۲۰۰۰) تشکیل پادگانه‌های یخچالی رود نیساکودزکای^۲ لهستان را ناشی از فعالیت‌های نئوتکتونیک ارزیابی نمودند. فورتنس و همکاران^۳ (۲۰۰۵) تکامل آبراهه‌های فرعی بالادست رودخانه پاران^۴ در برزیل را ناشی از تکتونیک فعال دانستند. پتروسکی و تیمار^۵ (۲۰۰۹) با تجزیه و تحلیل شاخص S، نقش گسلش را در تکامل و شکل‌گیری کانال رودخانه کوروس^۶ واقع در مرز رومانی و مجارستان مؤثر دانستند. همچنین اودمارد، فتودور و همکاران، جاروسینسکی و تیمار^۵ (۲۰۰۵)، روسکیچی و همکاران^۷ (۲۰۰۷)، هوازل و همکاران و سریواسترا و میسرا^۷ (۲۰۰۸)، شکلی و همکاران (۲۰۰۹) پژوهش‌های ارزشمندی در این رابطه به انجام رسانیدند.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

1. Krzyszkowski.D.et.al
2. Nysa Kodzka River
3. Fortes.E.et.al
4. Parana
5. Petrovszki.J, Timár.G
6. Koros
7. Srivastava.P, Misra D. K.

جدول ۱: ویژگی‌های طبیعی حوضه انجیران

پارامتر	مساحت	محیط	میانگین بارش	میانگین دما	متوسط ارتفاع	شیب متوسط
برآورد	۴۷/۱۷ کیلومتر مربع	۳۰/۹ کیلومتر	۹۹۷ میلی‌متر	۱۳ درجه	۱۷۹۷ متر	۳۵ درصد

مواد و روش‌ها

در این پژوهش جهت بررسی نقش نئوتکتونیک در مورفولوژی و رفتار شبکه زهکشی حوضه انجیران، با اتکا به یافته‌های میدانی، از داده‌های ژئودینامیک و شاخص‌های ژئومورفیک جهت تشخیص تکتونیک فعال منطقه و اثر این فعالیت‌ها بر دره‌ها و مسیر آبراهه‌ها استفاده شده است. برای نیل به این هدف و برای برقراری ارتباط میان حرکات زمین‌ساختی و شبکه زهکشی، داده‌های زمین‌شناسی و ژئومورفیکی لازم از طریق تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و به‌ویژه بازدیدهای میدانی مکرر به‌دست آمده. در مرحله‌ی بعدی این تحقیق، شواهدی از اثرات نوزمین‌ساخت در شبکه‌زهکشی منطقه آورده شده است و به روش تحلیلی-مقایسه‌ای و با استفاده از تکنیک‌های ژئومورفولوژی به تجزیه و تحلیل نئوتکتونیک در حوضه پرداخته شده است. به این منظور ابتدا لایه‌های اطلاعاتی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ به سیستم اطلاعاتی GIS در محیط ArcGIS(9.3) انتقال داده شده و با استفاده از آن لایه‌هایی مانند شبکه‌زهکشی، شیب، مدل رقومی ارتفاع^۱ و TIN استخراج گردید و با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه لایه‌های خطی گسل‌ها و سازندهای تشکیل‌دهنده بستر رودخانه، استخراج و به لایه‌های فوق اضافه گردید. سپس نتایج حاصله تجزیه و تحلیل شدند. در ادامه با توجه به مقادیر شاخص‌های تکتونیک و داده‌های ژئودینامیکی به‌دست‌آمده، مورفولوژی و رفتار رودخانه در محدوده مورد مطالعه از نظر میزان

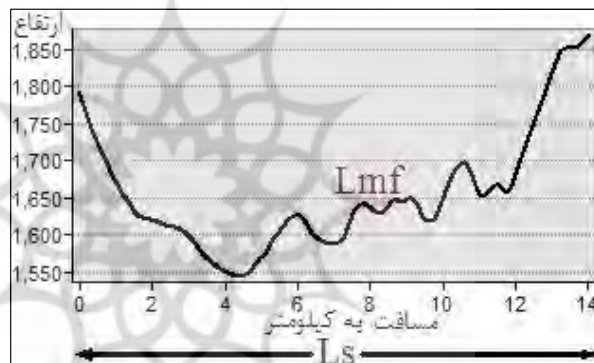
1. DEM(Digital Elevation Model)

فعالیت تکتونیک نسبی ارزیابی و تجزیه و تحلیل شده است. در این رابطه از شاخص‌های ژئومورفیک زیر استفاده شده است.

شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان^۱ (Smf): شاخص سینوسی پیشانی کوهستان تعادل بین سنگ‌شناسی، فرسایش و نیروهای تکتونیک را نشان می‌دهد. هرگاه نرخ بالآمدگی^۲ کم یا متوقف شود، فرایندهای فرسایشی جبهه کوهستان را با بی‌نظمی بیشتر تخریب خواهند کرد و مقدار شاخص افزایش می‌یابد که بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیک منطقه است. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Smf = Lmf / Ls$$

در این رابطه، Smf شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان، Lmf طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست شیب (کنیک) و Ls طول خط مستقیم جبهه کوهستان است (شکل ۲).



شکل ۲: نحوه محاسبه مقادیر میانگین شاخص Smf

شاخص انتگرال هیپسومتری^۳ (Hi): این شاخص جهت شناخت میزان فعالیت‌های تکتونیک و تجزیه و تحلیل سطوح ارتفاعی در حوضه‌های زهکشی کاربرد دارد. ارتباط بین

1. Mountain front sinuosity
2. uplift
3. Hypsometric Integral (Hi)

این شاخص و درجه‌بندی باعث شده تا از آن به‌عنوان معیاری جهت تشخیص چرخه مرحله فرسایشی چشم‌انداز استفاده شود. شاخص مذکور از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$Hi = (h - H_{\min}) / (H_{\max} - H_{\min})$$

که در آن: Hi انتگرال هیپسومتریک، H_{\max} و H_{\min} به‌ترتیب حداکثر و حداقل ارتفاع و h میانگین ارتفاع حوضه است.

مقادیر بالای شاخص (نزدیک ۰/۵) نشان از جوانی حوضه و تکتونیک فعال دارد و هرچه این رقم به صفر نزدیک‌تر باشد، گذر از مرحله بلوغ به پیری را شاهد هستیم که تعادل در فرایندهای ژئومورفیک و برجستگی‌های نسبتاً هموار از ویژگی‌های آن است.

شاخص سینوسیته (S): هر دگرشکلی زمین‌ساختی که نشیب دره رودخانه را تغییر دهد، سینوسیته رود هم‌تراز آن و برای حفظ تعادل نشیب کانال تغییر می‌کند. متناسب با تغییرات تکتونیکی که منجر به تغییر شیب دره رودخانه می‌شود، جهت حفظ تعادل شیب رودخانه، پیچ‌وخم رودخانه نیز جابه‌جا می‌شود. تغییرات مقادیر این شاخص در یک سامانه رودخانه‌ای، به‌طور معمول ناشی از افزایش و فرونشست‌هایی است که در بستر رودخانه روی می‌دهد. حتی مقادیر اندک دگرشکلی می‌تواند سینوسیته یک رودخانه را تغییر دهد (زامولی و همکاران، ۲۰۰۹: ۵). این شاخص از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$S = La / Ls$$

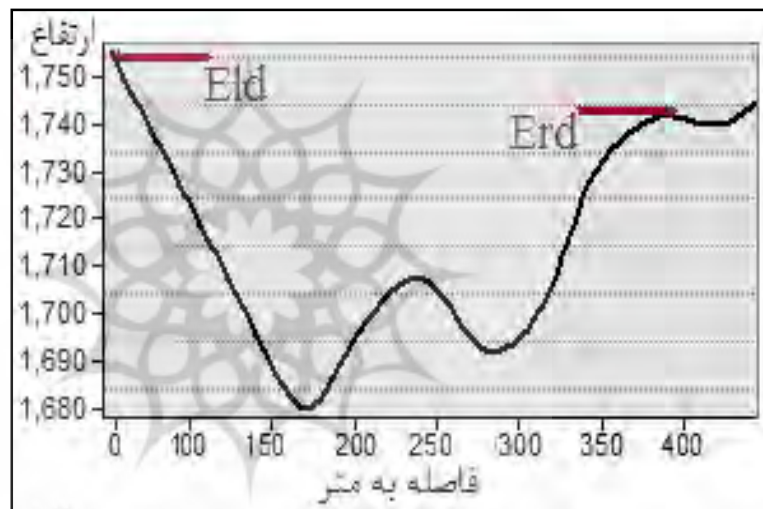
که در آن: S ضریب سینوسیته، La طول رودخانه و Ls طول مستقیم دره است. هرچه مقادیر این شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، بیانگر شدت فعالیت‌های تکتونیکی است و افزایش در مقدار آن ($S > 1$)، بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیکی منطقه و حاکی از نزدیک‌شدن رودخانه به حالت تعادلی است.

۱. لازم به‌ذکر است که مقادیر بالاتر از این عدد در حوضه‌های زهکشی کمتر مشاهده شده‌است.

شاخص نسبت عرض کف بستر به ارتفاع دره^۱ (Vf): این شاخص که در فواصل مختلف از جبهه کوهستان برای هر دره مورد بررسی قرار می‌گیرد، دره‌های پهن (با مقادیر زیاد VF) را از دره‌های V شکل (مقادیر کم VF) تفکیک می‌کند. مقادیر زیاد VF مرتبط با بالآمدگی کم است. در این حالت آبراهه‌ها پهنای بستر خود را فرسایش داده و پهنای دره افزایش می‌یابد. مقادیر کم شاخص بیانگر دره‌های عمیق و V شکل و رودهایی است که به‌طور عمیقی کف بستر خود را حفر کرده و معمولاً با بالآمدگی همراه است. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$VF = 2VFW / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

در رابطه فوق، Vf نسبت عرض به ارتفاع دره، Vfw پهنای کف دره، Eld و Erd ارتفاع خط تقسیم آب (دیواره‌ها) در قسمت راست و چپ دره و Esc ارتفاع کف دره است. (شکل ۳).



شکل ۳: روش ارزیابی شاخص Vf در محدوده مورد مطالعه

1. Ratio of valley floor width to valley height

شاخص گرادیان طولی رودخانه^۱ (SL): این شاخص با قدرت رود ارتباط دارد و به تغییرات شیب رودخانه نیز بسیار حساس است. این حساسیت، شرایط لازم برای ارزیابی مقدار ارتباط فعالیت تکتونیکی با مقاومت سنگ و توپوگرافی را فراهم می‌کند. نیروی قابل دسترس رود در یک محدوده مشخص کانال، متغیر هیدرولوژیکی مهمی است، زیرا به توانایی یک رود در فرسایش کف بستر آن و همچنین حمل مواد حاصل از فرسایش ارتباط دارد. این نیرو متناسب با شیب سطح آب و دبی بوده که ارتباط زیادی با شیب کانال دارد. شاخص مذکور که نشان‌گر تغییر ارتفاع و معرف طول کانال است، برای مسیرهای مشخص شبکه زهکشی براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

که در آن: SL شاخص گرادیان طولی رود؛ ΔH اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه‌گیری شده و ΔL فاصله افقی بین دو نقطه اندازه‌گیری شده؛ و L طول رودخانه از نقطه اندازه‌گیری شده تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است.

بالا بودن مقدار این شاخص نشان‌دهنده مناطق با فعالیت تکتونیکی بالا و قدرت فرسایشی شدید آبراهه‌ها و مقدار پایین آن مناطق با فعالیت کم را نشان می‌دهد.

شاخص تراکم سطحی آبراهه‌ها^۲ (P): این عامل از تقسیم طول شبکه‌های زهکشی اصلی و فرعی حوضه به مساحت کل حوضه به دست می‌آید و جهت ارزیابی و شناسایی نئوتکتونیک در حوضه‌های زهکشی ابزار مفیدی به حساب می‌آید. بالا بودن ضریب تراکم بیانگر تکتونیک فعال و حساسیت زیاد سازندهای زمین‌شناسی حوضه است. این شاخص از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{\sum Li}{A}$$

در رابطه فوق، P: تراکم زهکشی؛ Li: طول آبراهه‌ها به کیلومتر و A: مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

1. Stream Length-gradient index
2. Drainage Density

شاخص نسبت انشعاب^۱ (BR) : شاخص انشعاب‌پذیری به نسبت تعداد قطعات یک‌کرده به تعداد قطعات مرتبه بالاتر گفته می‌شود. این شاخص به علت تغییرات تصادفی در هندسه حوضه آبریز از مرتبه‌ای به مرتبه دیگر یکسان نخواهد بود؛ اما تمایل دارد که در تمام سری‌ها ثابت باشد. هر قدر این نسبت بزرگتر باشد، بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی بیشتر و جوان بودن حوضه است. این شرایط باعث افزایش آبراهه‌های رتبه پایین می‌گردد. نسبت انشعاب پائین از خصوصیات حوضه‌هایی است که آشفتگی‌های ساختاری کمتری دارند و الگوی زهکشی در آن‌ها غیر طبیعی نیست. شاخص مذکور از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$BR = \left(\frac{N_1}{N_2} + \frac{N_2}{N_3} + \dots + \frac{N_{n-1}}{N_n} \right) \left(\frac{1}{n-1} \right)$$

که در آن: N1 تعداد شاخه‌های رده‌ی یکم، N2 تعداد شاخه‌های رده‌ی دوم، N3 تعداد شاخه‌های رده‌ی سوم و، n تعداد شاخه‌های رده‌ی n ام است.

شاخص عدم تقارن حوضه‌زهکشی^۲ (AF): این شاخص برای تجزیه و تحلیل وجود کج‌شدگی تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$AF = 100(Ar / At)$$

که در آن Ar مساحت قسمت راست حوضه در جهت پایین‌رود و At مساحت کل حوضه است. مقادیر این شاخص برای شبکه‌های زهکشی در حالت تعادل ۵۰ است و مقادیر بیشتر یا کمتر از آن ممکن است حاکی از کج‌شدگی حوضه زهکشی باشد^۳.

1. Bifurcation ratio

2. Drainage Basin Asymmetry (Asymmetric Factor)

۳. این شاخص مانند اغلب شاخص‌های ژئومورفیک در مناطق و حوضه‌های زهکشی در سنگ‌های یکسانی گسترده باشند، بهترین عملکرد را دارد. و برای تجزیه و تحلیل‌های ژئومورفیک فرض بر این است که کنترل‌کننده‌های سنگ‌شناسی (مانند شیب طبقات رسوبی) و شرایط اقلیمی و اکولوژیکی (همچون اختلاف پوشش گیاهی بین شمال و جنوب دامنه‌ها) در منطقه باعث عدم تقارن نمی‌شوند.

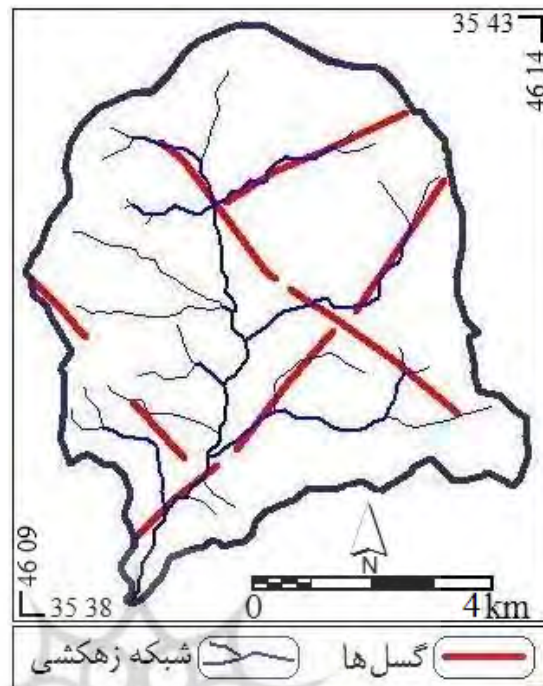
بحث و تجزیه و تحلیل

زمین‌ساخت و ژئودینامیک حوضه

اسکلت اصلی ناهمواری‌های حوضه انجیران به‌عنوان بخشی از قلمرو شمالی زون دگرگونی سندج- سیرجان، تحت‌تأثیر حرکات زمین‌ساختی متعدد سنوزوئیک قرار گرفته است. شواهد زمینی نشان می‌دهند که محور ساختمانی تغییر شکل‌ها در امتداد شمال‌غربی- جنوب‌شرقی یعنی موازی با جهت ناهمواری‌های زاگرس شکل گرفته‌اند؛ اما گسل‌های فرعی غالباً روند شرقی- غربی دارند. علاوه بر دگرگونی سازنده‌های قدیمی‌تر، تغییرشکل‌های محلی بر اثر ایجاد گسل‌های متعدد هم قابل ذکر است. یکی دیگر از آثار این حرکات فرونشینی مجدد جنوب‌غربی حوضه در مجاور روران‌دگی زاگرس است که در آن سازنده‌های ائوسن زیرین ته‌نشین شده‌اند. عناصر ساختاری حوضه شامل چین، گسل، درزه و ساختمان‌های حاصل از فعالیت‌های ماگمایی، در بخش‌های مختلف موجب تنوع مورفولوژی شده‌اند. این عناصر همچنین کنترل‌کننده شکل ظاهری زمین بوده و فرایندهای فرسایشی و ژئومورفیکی را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهند؛ به‌طوری‌که عوامل طبیعی فرساینده نظیر شبکه زهکشی اغلب در مسیرهای خاصی که توسط این عناصر به‌وجود آمده‌اند، روان هستند. با مطالعه ناهمواری‌های موجود از طریق عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات میدانی می‌توان آثار حرکات زمین‌ساختی را شناسایی نمود. قدیمی‌ترین و مهم‌ترین حرکتی که در تغییر شکل سازنده‌های شیلی و آهکی کرتاسه منطقه نقش داشته، حرکات لارامین است. بر اثر این حرکات علاوه بر نوسان شدید کف حوضه رسوبی و خروج دوره‌ای آن از قید دریا‌های زمین‌شناسی، سازنده‌های موجود به‌صورت چین‌های متعدد در امتداد شمال‌غربی- جنوب شرقی تغییر شکل یافته‌اند.

گسل اصلی زاگرس حرکات راست‌گرد دارد، که با امتداد شمال‌غربی- جنوب‌شرقی از قسمت‌های جنوب‌غربی حوضه می‌گذرد و باعث انحنای لایه‌های شیلی و آهکی حاشیه آبراهه‌ها و شبکه زهکشی حوضه می‌شود. سیستم‌های گسلی محدوده تقریباً عمود بر هم و منطبق بر مسیر آبراهه‌های اصلی است و در قسمت‌های میانی آن را قطع می‌کند. تمامی چین‌های مجاور

آبراهه‌های منطبق بر این گسل‌ها، دارای انحنای مشخصی هستند که حرکت آنها را تایید می‌کند، به طوری که در برخی از نقاط، آبراهه‌ها در مسیر گسل‌ها قرار گرفته‌اند (شکل ۴).

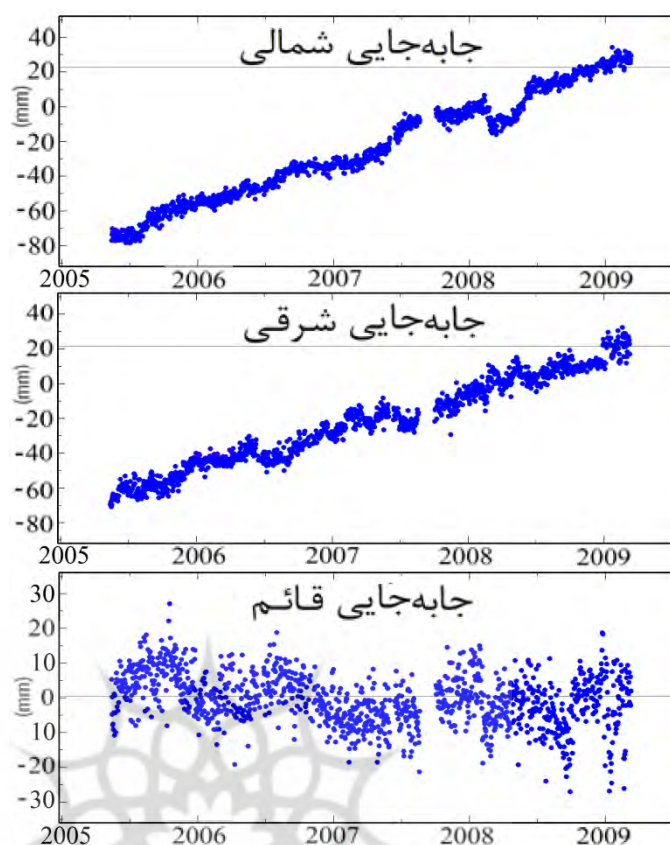


شکل ۴: نقشه ارتباط گسل‌ها با شبکه زهکشی در محدوده مورد مطالعه

گسل‌های محدوده به لحاظ واقع شدن در یک پهنه فعال تکتونیکی از نوع گسل‌های لرزه‌ای راست‌لغز با مؤلفه‌های حرکات قائم هستند. حرکات نوسانی بلوک‌های گسل خورده در نزدیک‌ترین ایستگاه ژئودینامیک سازمان نقشه‌برداری کشور که در شهر سقز ثبت شده در نمودار شکل ۵ آمده است (جدول ۲ و شکل ۵).

جدول ۲: حداقل، حداکثر و دامنه تغییرات جابه‌جایی‌های پوسته در جهات مختلف (به سانتی‌متر)

جهت جابه‌جایی	حداقل	حداکثر	دامنه تغییرات
شمالی	-۷/۹	۳/۶	۱۱/۵
شرقی	-۷/۲	۳/۴	۱۰/۶
قائم	-۲/۷	۲/۸	۵/۵



شکل ۵: نمودار سری‌های زمانی ایستگاه سقز از سال ۲۰۰۵ تا اوایل سال ۲۰۰۹

اقتباس از اداره کل نقشه‌برداری زمینی، سازمان نقشه‌برداری کشور

داده‌های ژئودینامیک سراسری به سبب تأثیر نتایج آن در تعیین جابه‌جایی‌های تکتونیکی و امکان کاربرد آن در پیش‌بینی زلزله در گستره لرزه‌خیز ایران، از اهمیت زیادی برخوردار است (خبرنامه ژئودینامیک، ۱۳۸۷، ۴). بر اساس این داده‌ها جابه‌جایی و حرکات تکتونیکی منطقه به طرف شمال شرقی می‌باشد. این اطلاعات تاییدکننده محاسبات شاخص‌های ژئومورفیکی در خصوص فعالیت گسل‌های منطقه و حرکات تکتونیکی فعال منطقه است.

از نظر لرزه‌خیزی حوضه انجیران در محدوده ایالت لرزه- زمین‌ساختی زاگرس قرار دارد که دارای فرکانس بالایی بوده و حدود ۵۱ درصد از زمین‌لرزه‌های یک‌صدسال اخیر ایران را در بر داشته‌است. ثبت زلزله‌های تاریخی در این منطقه از وقوع زلزله‌های فراوان حکایت دارد که بیشتر این زلزله‌ها دارای کانون سطحی و در عمق صفر تا ۵۰ کیلومتری رخ داده‌اند. با توجه به توزیع آماری زمین‌لرزه‌های ثبت شده تا شعاع ۳۵ کیلومتری مرکز حوضه مقدار شتاب ثقل افقی زمین در این گستره برای زمین لرزه‌های به بزرگی ۶/۵ تا ۶ ریشتر جهت یک‌دوره ۵۰ ساله^۱ محاسبه شده و شتاب افقی برابر با ۰/۴۱ و شتاب قائم برابر با ۰/۲۶۵ با احتمال $R = ۰/۵۰$ برآورد شده‌است (علمی‌زاده، ۱۷:۱۳۸۵).

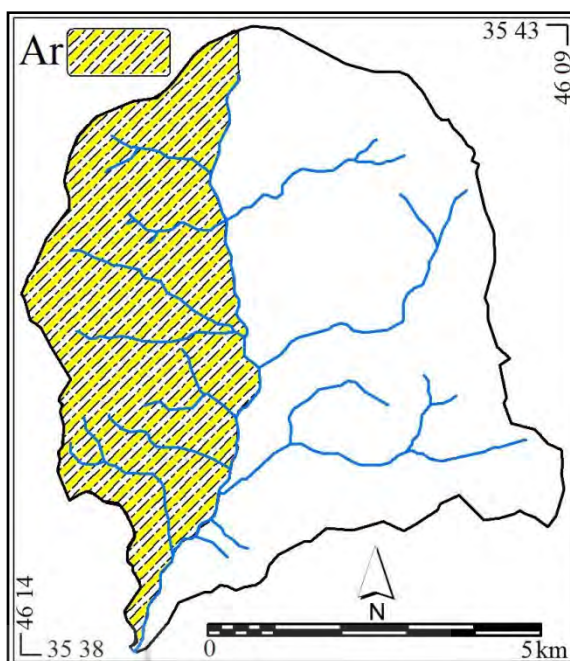
تحلیل شاخص‌های ژئومورفیک

شاخص (AF) که به خم‌شدگی عمودی بر امتداد رود اصلی در حوضه زهکشی حساس است، برای حوضه مورد مطالعه ۳۷/۸۴ محاسبه شده است که حاکی از چرخش تکتونیکی به طرف - غرب است (جدول ۳ و شکل ۶).

جدول ۳: مقادیر میانگین شاخص AF در حوضه انجیران

پارامترها	At	Ar	%Af
برآورد	۴۷/۱۷	۱۷/۸۵	۳۷/۸۴

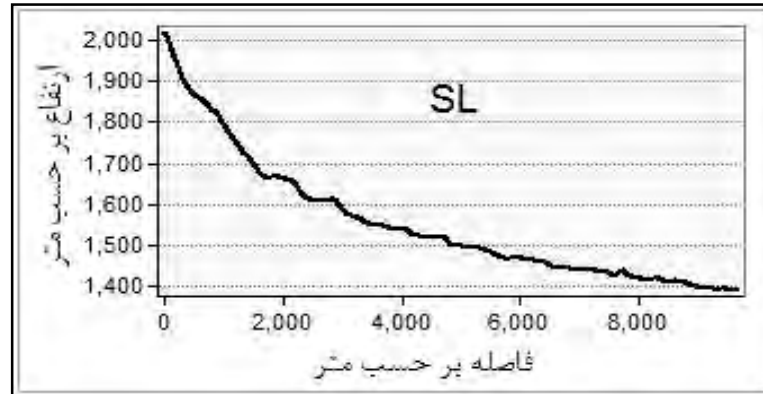
۱. عمر مفید پروژه‌های قابل احداث.



شکل ۶: ارزیابی شاخص عدم تقارن حوزه زهکشی (AF)

مقادیر میانگین شاخص (SL) در امتداد نیمرخ طولی رودخانه (شکل ۷) نشان می‌دهد که روند این شاخص در طول مسیر با شیب یکسانی تداوم ندارد، بلکه در قسمت‌های مختلف مسیر با تغییر همراه می‌باشد. با توجه به حساسیت بالای این شاخص به ساختمان سنگ‌شناسی، رقم ۱۰۳۰ حاکی از بالاآمدگی و فعالیت‌های شدید تکتونیکی در منطقه است (جدول ۴). شیب زیاد نیمرخ طولی در ابتدای مسیر ناشی از وجود سازند ولکانیکی (آندزیت) در بخش‌های شمالی حوزه است. تغییر شیب نیمرخ در ۲ کیلومتر ناشی از تغییر لیتولوژیکی و گسلی شدن مسیر آبراهه در این قسمت است که باعث افزایش شاخص شده است. همچنین تغییرات شیب ملایم در انتهای نیمرخ به دلیل وجود سازندهای سست آبرفتی در انتهای حوزه است. بررسی‌ها و مطالعه شاخص گرادیان طولی رود در حوزه انجیران، وجود ارتباط بین سنگ‌های مقاوم و شاخص گرادیان طولی رود را اثبات می‌کند و نشان می‌دهد که لندفرم‌های زمین با

مقاومت سنگ‌ها تطابق خوبی دارد. شاخص (Vf) نیز در دره‌های اصلی و مقاطعی از حوضه که شاخص SL به دست آمده بود، محاسبه گردید (جدول ۵). رقم ۱/۵۴۹ حاصل از این شاخص تأییدکننده نتایج شاخص SL است.



شکل ۷: نیمرخ طولی رودخانه قزلچه‌سو در حوضه انجیران به همراه مقادیر شاخص SL

جدول ۴: مقادیر میانگین شاخص SL در حوضه

SL	L(m)	$\Delta L(m)$	$\Delta h(m)$	نقطه میانی	پارامترها
۱۰۳۰/۴	۸۷۸۴	۹۹۱۴	۱۱۶۳	۱۹۲۰/۵	برآورد

جدول ۵: مقادیر میانگین شاخص VF برای محدوده مورد مطالعه

VF	VFW	Erd	Eld	Esc	پارامترها
۱/۵۴۹	۳۷۸	۱۸۹۲	۱۹۶۸	۱۶۸۵	برآورد

رقم ۱/۱۳ حاصل از شاخص (S) نشان می‌دهد که شبکه زهکشی به خط مستقیم نزدیک بوده و هنوز به حالت تعادل نرسیده است (جدول ۶). این مسأله توسط مقادیر شاخص‌های P و Smf نیز تأیید می‌شود (جدول ۷ و ۸). شاخص (Br) نیز بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی و آشفستگی‌های ساختاری در شبکه زهکشی حوضه است که این شرایط باعث افزایش آبراهه‌های رتبه پایین شده است. همچنین شاخص (Hi) به‌طور کلی بر توپوگرافی جوان و وجود پستی، بلندی زیاد

نسبت به میانگین حوضه دلالت دارد که با برش‌های عمیق، برجستگی‌های ناهموار، سطوح بالآمده و بریده شده توسط شبکه زهکشی مشخص می‌شود (جدول ۹).

جدول ۶: محاسبه شاخص سینوسیته رودخانه در محدوده مورد مطالعه

S	Ls	La	پارامترها
۱/۱۳	۸۷۸۴	۹۹۱۴	برآورد

جدول ۷: شاخص P محاسبه شده برای حوضه انجیران

P	A	Li	پارامترها
۲/۰۱	۴۷/۱۷	۹۴/۸۱	برآورد

جدول ۸: مقادیر میانگین شاخص Smf برای حوضه انجیران

Smf	Ls(m)	Lmf(m)	پارامترها
۱/۶۴	۱۲/۲۹	۲۰/۲۳	برآورد

جدول ۹: شاخص Hi محاسبه شده برای حوضه انجیران

Hi	h	Hmin	Hmax	پارامترها
۰/۳۹۳	۱۷۹۷	۱۳۳۹	۲۵۰۲	برآورد

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از داده‌های ژئودینامیک و شاخص‌های ژئومورفیک نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه به شدت از فعالیت‌های زمین‌ساختی کواترنر متأثر شده، ولی میزان این فعالیت‌ها در همه مناطق یکسان نیست، به طوری که در بخش‌های شرقی و شمال شرقی حوضه این نیروها دارای شدت بیشتری نسبت به مناطق دیگر است. این مسأله بویژه از داده‌های ژئودینامیک و شاخص AF نمایان است. بهترین راه برای بررسی رفتار رودخانه در یک منطقه فعال

تکتونیک، شناسایی مهم‌ترین عامل تغییرمسیر آن یعنی گرادیان بستر رودخانه است که با کوچکترین تغییرشیب بستر، آثار بزرگ تغییر مسیر در سطح را به‌وجود می‌آورد. در این رابطه بالا بودن شاخص (SL) در حوضه، حاکی از فعالیت تکتونیک بالا، تغییرات شدید در نیمرخ طولی رودخانه، قدرت فرسایشی شدید رود قزلچه‌سو و توانایی آن در فرسایش کف بستر است. به‌این ترتیب بین حرکات زمین‌ساخت و تغییرات شبکه زهکشی نوعی تعامل وجود دارد و واکنش سامانه‌های رودخانه‌ای به‌شدت از این فعالیت‌ها متأثر شده، به‌طوری‌که این فعالیت‌ها مهم‌ترین نقش را در مورفولوژی شبکه‌ی آبراهه‌ها داشته‌اند. نتایج حاصل از ارزیابی دیگر شاخص‌های ژئومورفیک نیز مؤید این امر است (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک در حوضه انجیران

شاخص‌ها	مقادیر	تحلیل کیفی	ارزیابی فعالیت
عدم تقارن حوضه‌زهکشی (AF)	۳۷/۸۴	کج‌شدگی تکتونیک	+
گرادیان رودخانه (SL)	۱۰۳۰/۴	فعالیت تکتونیک بالا	+
شاخص نسبت دره (VF)	۱/۵۴۹	مرحله جوانی	+
شاخص سینوسیته (S)	۱/۱۳	نرسیدن به تعادل	+
شاخص تراکم زهکشی (P)	۲/۰۱	مرحله جوانی	+
شاخص نسبت انشعاب (Br)	۵/۴۴	آشفته‌گی‌های	+
سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)	۱/۶۹	فعالیت تکتونیک بالا	+
انتگرال هیپسومتریک (Hi)	۰/۳۹۳	توپوگرافی جوان	+

شیب تند ابتدای نیمرخ طولی آبراهه‌های حوضه، فراوانی چشمه‌ها در راستای شکستگی‌های گسلی، سازگاری سامانه رودخانه‌ای حوضه با روندهای شکستگی و گسلش منطقه، بررسی سابقه وقوع زمین‌لرزه‌های منطقه و همچنین آشفته‌گی و درهم‌ریختگی‌هایی که در وضع طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌ها و محورهای آنها به‌وجود آمده، از نشانه‌های حرکات گسل‌ها و فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه مورد مطالعه هستند.

نتایج این تحقیق با توجه به قرارگیری محدوده مورد مطالعه در لرزه‌خیزترین و فعال‌ترین زون

ساختمانی کشور (زاگرس) می‌تواند راهنمای خوبی در شناخت حرکات نئوتکتونیک منطقه باشد و در برنامه‌ریزی‌های عمرانی، طرح‌های آمایش‌سرزمین و به طور کلی مدیریت پایدار محیطی بسیار مؤثر باشد.

منابع

۱. رامشت، محمدحسین؛ سیف، عبدا...؛ شاه‌زیدی، سمیه‌سادات و انتظاری، مژگان (۱۳۸۸): "تأثیر تکتونیک جنب‌بر مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های درختنگان در شه‌داد کرمان"، جغرافیا و توسعه، ش ۱۶، صص ۲۹-۴۶.
۲. رجبی، معصومه؛ روستایی، شهرام و مقامی‌مقیم، غلامرضا (۱۳۸۵): "تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک در دامنه‌های جنوبی آلا‌داغ"، ش ۸، صص ۱۷۷-۱۹۲.
۳. سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۸۷)، "خبرنامه ژئودینامیک"، سال سوم، شماره ۴ و ۵، صص ۱-۶.
۴. علمی‌زاده، هیوا (۱۳۸۵): "هیدروژئومورفولوژی حوضه‌نچی با تأکید بر رسوب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، صص ۱-۱۴۵.
۵. گورابی، ابوالقاسم و نوحه‌گر، احمد (۱۳۸۶): "شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه"، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹ (۶۰)، صص ۱۷۷-۱۹۶.
۶. یمانی، مجتبی؛ مقیمی، ابراهیم و تقیان، علیرضا (۱۳۸۷): "ارزیابی تأثیرات نوزمین‌ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی"، تحقیقات جغرافیایی، ۲۳ (پیاپی ۸۸): ۱۱۷-۱۳۶.
7. Audemard, F.A., Romero, G., Rendón, H., Cano, V.(2005): "Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions". *Earth-Science Reviews* 69 (3-4), 181-233.
8. Bés de Berc, S., Soula, J.C., Baby, P., Souris, M., Christophoul, F., Rosero, J(2005): "Geomorphic evidence of active deformation and uplift in a modern continental wedge-top-foredeep transition: example of the eastern Ecuadorian Andes". *Tectonophysics* 399,351-380.
9. Decker, K., Peresson, H., Hinsch, R(2005): "Active tectonics and Quaternary basin formation along the Vienna Basin Transform fault". *Quaternary Science Reviews* 24, 305-320.
10. Fodor, L., Bada, G., Csillag, G., Horváth, E., Ruzsiczay-Rüdiger, Zs., Síkhegyi, F(2005): "New data on neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin". *Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary* 204, 35-44.

11. Fortes, E., et al. (2005): "Neotectonics and channel evolution of the Lower Ivinhema River: A right-bank tributary of the upper Paraná River, Brazil", *Geomorphology*, Volume 70, Issues 3-4, pp325-338.
12. Hölzel, M., Wagneich, M., Faber, R., Strauss, P. (2008): "Regional subsidence analysis in the Vienna Basin (Austria)". *Austrian Journal of Earth Sciences* 101, 88-98.
13. Jarosiński, M. (2005): "Ongoing tectonic reactivation of the Outer Carpathians and its impact on the foreland: results of borehole breakout measurements in Poland". *Tectonophysics* 410, 189-216.
14. Jarosiński, M. (2006): "Recent tectonic stress field investigations in Poland", *Geological Quarterly* 50, 303-321.
15. Krzyszkowski, D., Przybylski, B., Badura, J. (2000): "The role of neotectonics and glaciation on terrace formation along the Nysa Kozzka River in the Sudeten Mountains (southwestern Poland)", *Geomorphology*, Volume 33, Issues 3-4, pp149-166.
16. Petrovski, J., Timár, G. (2009): "Channel sinuosity of the Körös River system, Hungary/Romania, as possible indicator of the neotectonic activity", *Geomorphology*, In Press, Corrected Proof, Available online.
17. Ruszkiczay-Rüdiger, Zs., Fodor, L., Horváth, E. (2007): "Neotectonic and landscape evolution of the Godollo Hills, Central Pannonian Basin". *Global and Planetary Change* 58, 181-196.
18. Srivastava, P., Misra, D. K. (2008): "Morpho-sedimentary records of active tectonics at the Kameng river exit, NE Himalaya", *Geomorphology*, Volume 96, Issues 1-2, pp187-198.
19. Székely, B., Zámolyi, A., Draganits, E., Briese, C. (2009): "Geomorphic expression of neotectonic activity in a low relief area in an Airborne Laser Scanning DTM: a case study of the Little Hungarian Plain (Pannonian basin)", *Tectonophysics*, Volume 474, Issues 1-2, Pages 353-366.
20. Timár, F., Cloetingh, G., Horváth, F. (2005): "An outline of neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin". *Tectonophysics* 410, 15-41.
21. Zámolyi, A., Székely, B., Draganits, E., Timár, G. (2009): "Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain", *Geomorphology*, In Press, Corrected Proof, Available online. Pages 1-13.