نوشته: مهران ارین

مورفولوژی رودخانه‌ها و تکتونیک فعال

نگرشی بر وضعیت کنونی بخشی از رودخانهٔ قزل‌اوزن

چکیده

سیستم‌های رودخانه‌ای یکی از حیاتی‌ترین عناصر تشکیل دهندهٔ سطح خارجی زمین هستند و از جنبه‌های گوناگون مورد توجه انسان قرار دارند.

از آن‌جا که اخیراً، تبعیت رودخانه‌ها از فرایندهای دگرریختی[1] پوستهٔ زمین (تکتونیک) ثابت شده، بررسی جنبه‌های مورفولوژیکی آن‌ها بیش از پیش مدنظر متخصصان قرار گرفته است. در این مقاله، ضمن معرفی برخی از این بررسی‌ها که ابزارهای مهمی برای دستیابی به وضعیت دگرریختی‌های جدید پوستهٔ زمین (تکتونیک فعال) به‌حساب می‌آیند، وضعیت کنونی دگرریختی بخشی به طول بیش از ۲۰ کیلومتر از رودخانهٔ قزل‌اوزن نیز تشریح شده است.

مقدمه

به دلیل نقش آب در ایجاد و گسترش شهرها، راه‌های بازرگانی و کشاورزی، رودخانه‌ها از اهمیت قابل توجهی برخوردارند. به مطالعهٔ سیستم‌های رودخانه‌ای، ژئومورفولوژی روخانه[2] گفته می‌شود. برای توصیف شکل رودخانه‌ها و فرایندهای موجود در سیستم‌های رودخانه‌ای، می‌توان به پارامترهای بسیاری اشاره کرد. مهم‌ترین پارامترها عبارتند از: پهنا و عمق کانال، وزن رسوب محلول و معلق، بارکف رودخانه، سراشیبی[3] یا شیب کانال و موج سانی[4] آن، سرعت جریان، ناهمواری کانال و سایر مواردی که رودخانه‌ها به هر نوع تغییر در آن‌ها حساس هستند.

تغییرات آب و هوا که مکرراً سطح زمین را در دورهٔ کواترنر متأثر کرده است، باعث تغییرات قابل توجهی در سیستم‌های زمین‌ریختی[5]، نظیر رودخانه‌ها شده است [۴]. تغییر در سطح جهانی آب دریا نیز در همین دوره، عامل ایجاد چرخه‌های بزرگ تجمع رسوبات[6] در دره‌های رودخانه‌ها و انتقال[7] آن‌ها از دره‌های مذکور است. اما اخیراً انسان به‌عنوان مؤثرترین عامل تغییرات زمین‌ریختی، تقریباً رسوبات رودخانه‌ها را به‌دو برابر افزایش داده است [۴].

به هر حال، امروزه با رشد علم ژئومورفولوژی ساختمانی[8]، تأثیر فرایندهای تکتونیک فعال نیز روی شکل و طرز عمل رودخانه‌ها ثابت شده است. این تأثیرات به دو صورت کلی تغییرات همزمان با زلزله[9] و تدریجی[10] در انواع سیستم‌های رودخانه‌ای مطرح گردیده‌اند که در این مقاله، تنها به بررسی مهم‌ترین تغییرات تدریجی و عملکرد آن‌ها در طول بخشی از رودخانهٔ قزل‌اوزن پرداخته شده است. علت این امر نیز، عدم وقوع رویداد لرزه‌ای قابل توجهی در این منطقه است.

۱. تغییرات همزمان با زلزله در سیستم‌های رودخانه‌ای

این گونه تغییرات در حین لرزش زمین یا دگرریختی به هنگام وقوع زلزله‌ها ایجاد می‌شوند. به همین خاطر، غالباً یک تهدید ناگهانی برای انسان‌های ساکن در مجاورت رودخانه‌ها به‌حساب می‌آیند؛ تهدیدی که در برخی موارد، از لرزش اصلی نیز خطرناک‌تر است، زیرا امکان دارد، سبب تغییر ناگهانی مسیر رودخانه و طغیان آن شود.

۲. تغییرات تدریجی در سیستم‌های رودخانه‌ای

بیش‌تر تأثیرات تکتونیک فعال که در این بخش مورد اشاره قرار می‌گیرند، نظیر تغییرات همزمان با زلزله یادشده در بالا، ناگهانی و مهیج نیستند. دگرریختی‌های تکتونیکی برای انسان قابل لمس

نیستند، ولی اغلب می‌توانند به وسیلهٔ دستگاه‌های حساس، اندازه‌گیری شوند.

رودخانه‌ها نیز معمولاً نسبت به دگر ریختی‌های تکتونیکی حساسند و به همین خاطر، بررسی آن‌ها می‌تواند، اندازه‌گیری‌های ژئودزیکی مؤید دگرریختی فعال یک ناحیه را تأئید یا رد کند.

تاثیر تکتونیک فعال در رودخانه‌های آبرفتی

به طور کلی، سیستم‌های رودخانه‌ای به دو دستهٔ اصلی قابل تقسیم هستند: سیستم‌های رودخانه‌ای جاری بر سنگ بستر[11] و سیستم‌های رودخانه‌ای جاری بر آبرفت‌ها[12] که به رودخانه‌های نوع اخیر، رودخانه‌های آبرفتی[13] گفته می‌شود.

درحقیقت، نوع رودخانه‌های هر سیستم، به توازن بین نیروهای پیش‌برنده (نظیر ثقل، میزان ته‌نشست در حوضهٔ زهکشی و غیره) و نیروهای مقاومت‌کننده (نظیر مقاومت کف رودخانه، اصطکاک و غیره) بستگی دارد. در رودخانه‌های آبرفتی، نیروهای مقاومت‌کننده بیش از نیروهای پیش‌برنده هستند و رودخانه نمی‌تواند، تمام رسوبات موجود را حمل کند. بنابراین، رودخانه روی بستری از رسوبات خودش جریان می‌یابد.

رودخانه‌های آبرفتی، بیش از رودخانه‌های جاری بر سنگ بستر[14]، قادر به برقراری توازن بین نیروهای پیش‌برنده و نیروهای مقاومت‌کننده هستند. بدین‌ترتیب، رودخانه‌ای که قادر به حفظ خود در چنین وضعیتی از توازن دینامیکی[15] باشد، یک رودخانهٔ جور شده[16] به حساب می‌آید. به بیان دیگر، به رودخانه‌ای که نیروهای پیش‌برنده و مقاومت‌کننده‌اش در تمام طول آن برابر باشند، رودخانهٔ جور شده گفته می‌شود[۴].

نیمرخ‌های طولی

رودخانه‌های جور شده دارای نیمرخ‌های طولی[17] خاصی از بالادست تا دهانه هستند (شکل ۱)، زیرا شاخه‌های فرعی تدریجاً به هم ملحق می‌شوند و حجم جریان کانال اصلی به سمت پائین دست افزایش می‌یابد.

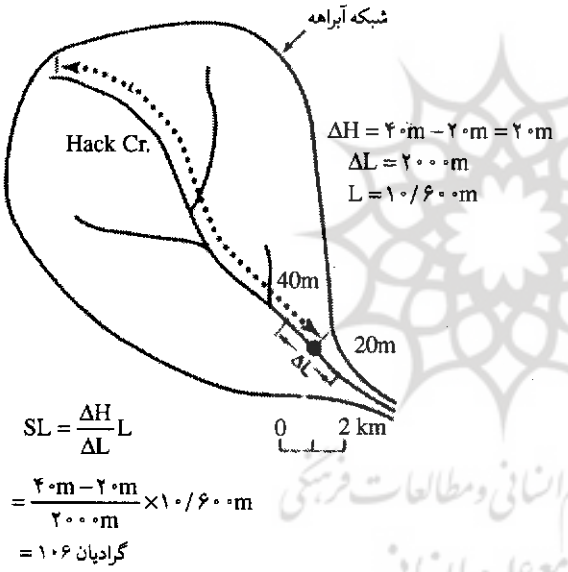
شکل ۱. نیمرخ طولی رودخانهٔ قزل اوزن در مقطع مورد مطالعه (شکل ۵). تقعر به سمت بالای این نیمرخ، از مشخصه‌های مهم رودخانه‌های جورشده است[۱].

چنانچه تمام شاخه‌های فرعی در یک محل به هم بپیوندند، نیمرخ رودخانه، در بالادست به صورت یک آبشار بزرگ درمی‌آید و سپس با شیب یکنواخت و ملایمی تا حوضهٔ آبگیر ادامه می‌یابد. در ضمن، بررسی نیمرخ‌های طولی، روش مناسبی برای تعیین آشفتگی‌های موجود در طول مسیر رودخانه‌ها به‌حساب می‌آید. شاخص طول-شیب رود[18] که در ادامه معرفی می‌شود، یکی از روش‌های اندازه‌گیری چنین آشفتگی‌هایی است.

شاخص طول- شیب رود عبارت است از:

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

که در آن: $\Delta H / \Delta L$ بیانگر شیب کانال یا گرادیان، ΔH معرف اختلاف ارتفاع، ΔL معرف طول بخش مورد بررسی، و L نیز طول کانال از مرتفع‌ترین نقطهٔ آن تا مرکز بخش مورد مطالعه است (شکل ۲).



شکل ۲. طرح شماتیکی برای نمایش چگونگی محاسبهٔ شاخص طول-شیب رود[۴].

براساس نتایج مطالعات، مقادیر بالای شاخص طول-شیب رود در سنگ‌های کم‌مقاومت، معرف عملکرد قائم تکتونیک فعال است [۲]. برای مثال، براساس بررسی‌های به‌عمل آمده روی رودهای مناطق پیشانی در دامنه‌های جنوب باختری کوه‌های سلطانیه در حاشیهٔ باختری استان زنجان، مقادیر این شاخص به بیش از ۳۶ گرادیان متر می‌رسد که معرف عملکرد قائم تکتونیک فعال است [۱].

دلیل پائین بودن نسبی مقادیر S_L در این منطقه، رسوبی و نرم‌بودن (مارن و مارن ماسه‌ای) سنگ‌هاست. در ضمن، این شاخص در پهنه‌ای به طول تقریبی ۱۳ کیلومتر، حدوداً ۱۶ گرادیان متر افت می‌کند. بدین‌معنی که عملکرد قائم تکتونیک فعال در بخش مورد

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

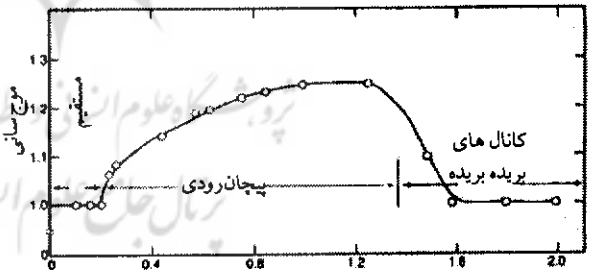
نظر نسبت به سایر بخش‌ها تقریباً نصف است. البته این مطلب با توجه به تغییر ماهیت ساز و کار غالب گسل پیشانی[19] از معکوس به راستالغز در آن بخش، تأئید شده است [۱].

افزون بر این، گاه می‌توان با مطالعهٔ نیمرخ‌های طولی رودخانه‌ها به موقعیت گسل‌های پنهان نیز دست یافت. به عنوان مثال، در زلزلهٔ سال ۱۸۸۶ چارلستون[20] مرکز ایالت کارولینای جنوبی[21] که بزرگ‌ترین زلزلهٔ ($M_b = ۶/۶-۶/۹$) ساحل خاوری ایالات متحده است، محل دقیق گسل مشخص نشد (زیرا سبب شکستگی سطحی نشده بود). اما با بررسی نیمرخ‌های طولی رودهای منطقه، موقعیت گسل به‌دست آمد. زیرا نیمرخ‌های طولی رودخانه‌هایی که ناحیه‌رو مرکزی[22] را قطع می‌کردند، شکل ناهنجاری به خود گرفتند. بدین ترتیب که نیمرخ‌های مورد نظر در یک روند شمال خاوری منطبق بر گسل مخفی وودستوک[23]، به صورت محدب به سمت بالا درآمدند. به بیان دیگر، گسیختگی گسل مذکور، باعث زلزلهٔ سال ۱۸۸۶ شد، اما شکستگی حاصل از آن نتوانست از پوشش رسوبی ضخیم دشت ساحلی کارولینای جنوبی عبور کند [۴].

انواع رودخانه

براساس سراشیبی دره، محدودهٔ پهنای رودخانه‌ها به سه دسته تقسیم می‌شود:

۱. مستقیم[24]، ۲. پیچان رودی[25] و ۳. کانال‌های بریده‌بریده[26] (شکل ۳).



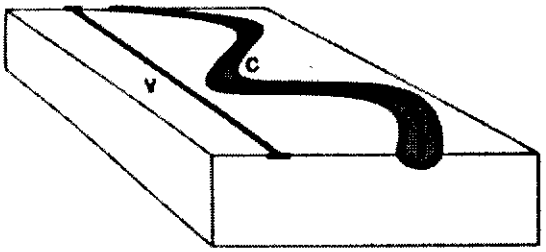
شکل ۳. رابطهٔ بین سراشیبی دره و موج‌سانی (نسبت طول کانال به طول دره) [۴].

بالاآمدگی یا کج‌شدگی تکتونیکی می‌تواند الگوی یک رودخانه را مثلاً از پیچان‌رودی به بریده‌بریده (۰/۱ درصد تغییر در شیب، معادل بالاآمدگی تفریقی[27] ۱ متر در مساحت ۱ کیلومتر است) تغییر دهد.

به عنوان مثال، در رودخانهٔ سفیدرود، بزرگ‌ترین پیچان‌شدگی با ناحیهٔ رومرکزی زلزلهٔ سال ۱۹۹۰ رودبار ($M_w = ۷/۳$) که باعث کشته شدن ۴۰ هزار نفر گردید، منطبق است. علت این امر بالاآمدگی طی زلزله‌های قبلی و بین آن‌هاست که سبب مرتفع‌شدگی و افزایش مقدار شیب‌ها و درنتیجه، تغییر مسیر رودخانه از مستقیم به پیچان‌رودی شده بود [۳]. به‌منظور به کمیت درآوردن پدیدهٔ تغییر مسیر رودخانه‌ها، از شاخص موج‌سانی استفاده می‌شود که در ادامه آن را معرفی می‌کنم.

موج‌سانی

موج‌سانی یک رودخانه عبارت است از نسبت طول کانال به طول درهٔ رودخانه (شکل ۴) که مقدار آن در رودخانه‌های پیچان‌رودی می‌تواند حتی متأثر از دگرریختی‌های جزئی نیز باشد.



$$\text{موج‌سانی} = S = \frac{\text{Channel length}}{\text{Valley length}} = \frac{C}{V}$$

شکل ۴. تعریف و محاسبهٔ مقدار موج‌سانی کانال یک رودخانه [۴].

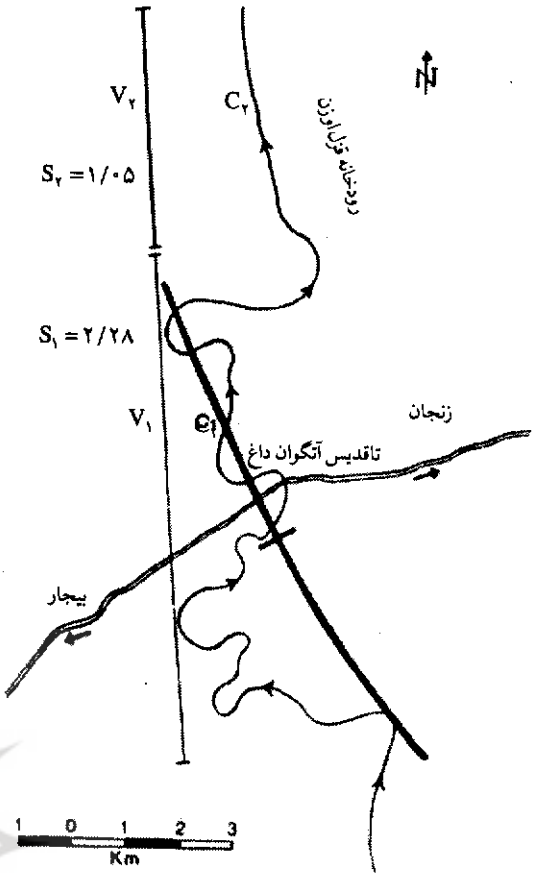
در یک چارچوب فرضی از سیستم جور شده[28]، رودخانه‌ها به خاطر حفظ توازن شیب کانال با جریان و وزن رسوبات، می‌چرخند. یعنی هنگامی که شیب دره بیش از حد مورد نیاز برای حفظ توازن باشد، رودخانه‌ها می‌چرخند و مسیر موج‌سانی آن‌ها باعث کاهش شیب کانالشان می‌شود.

بنابراین، هر دگرریختی تکتونیکی که شیب درهٔ رودخانه را تغییر دهد، سبب تغییر موج‌سانی کانال می‌شود. دومین اثر دگرریختی مذکور، شتاب یافتن نرخ مهاجرت پیچان‌رود و فعالیت مجدد دشت سیلابی است که می‌توانند راهی برای تشخیص تکتونیک فعال در یک ناحیه باشند.

به عنوان مثال، براساس بررسی‌های به‌عمل آمده در طول بخشی از رودخانهٔ قزل‌اوزن در مسیر جادهٔ زنجان- بیجار، ناگهان کمی پس از محل تلاقی رودخانه با جاده به سمت شمال، موج‌سانی از ۲/۲۸ به ۱/۰۵ کاهش می‌یابد. این کاهش ناشی از پائین‌افتادگی نسبی پهنهٔ مورد نظر نسبت به بخش‌های بالادست است و درنتیجه، با تبدیل وضعیت رودخانه از پیچان‌رودی به مستقیم مواجه می‌شویم. حالت پیچان‌رودی مذکور به فعالیت‌های نئوتکتونیکی تاقدیس آتگوان داغ مربوط است [۱]. زیرا رودخانهٔ قزل‌اوزن پیش از ورود به پهنهٔ یادشده در بالا، از سطح در حال فرسایش تاقدیس مورد نظر که در حال بالاآمدن است، می‌گذرد (شکل ۵).

تأثیر تکتونیک فعال در رودخانه‌های جاری بر سنگ بستر

در رودخانه‌های جاری بر سنگ بستر، نیروهای پیش‌برنده بیش از نیروهای مقاومت‌کننده هستند. درنتیجه، تمام رسوبات موجود حمل می‌گردند و رودخانه روی کانالی که سنگ بستر آن رخنمون یافته



شکل ۵. نقشهٔ موقعیت محور تاقدیس آتگوان داغ نسبت به بخش میاندری رودخانهٔ قزل اوزن [۱].

است، جریان می‌یابد.

به طور کلی، این گونه رودخانه‌ها با حوضه‌های زهکشی کوچک، ناهموار و دارای سنگ بسترهای مقاوم در ارتباط هستند، اما در مناطق دچار پدیدهٔ بالاآمدگی نیز مشاهده می‌شوند. برای مثال، اکثر سرشاخه‌های منتهی به رودخانه قزل اوزن در بخش پیچان رودی آن (شکل ۵)، بر سنگ بستر منطقه جریان دارند. سنگ بستر مذکور، از تناوب کنگلومرا و سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی معادل سازندهای کرج و قرمز زیرین تشکیل یافته که دارای مقاومت نسبی بالا و توپوگرافی ناهموار است.

نتیجه‌گیری

سیستم‌های رودخانه‌ای، شدیداً متأثر از تکتونیک فعال هستند. بنابراین، با بررسی ناهنجاری‌های این سیستم‌ها، می‌توان فعالیت‌های جدید دگرریختی یا نئوتکتونیکی را مشخص و اندازه‌گیری کرد. انجام این بررسی‌ها، با تلفیقی از روش‌های جدید اندازه‌گیری‌های ژئودزیکی، ژئومورفولوژی ساختمانی و تکتونیک فعال میسر می‌شود. لذا در این پژوهش، ضمن معرفی شاخص‌های مورفولوژیکی مهم رودخانه‌ها، وضعیت کنونی دگرریختی بخشی به طول بیش از ۲۰ کیلومتر از رودخانهٔ قزل اوزن نیز تشریح شد. بدین ترتیب، ملاحظه گردید که در بخش پیچان‌رودی رودخانهٔ قزل اوزن در محدودهٔ مورد مطالعه، با بالاآمدگی فعال منطقه مواجه هستیم. لازم به ذکر است که این گونه بالاآمدگی‌ها، از موارد مهمی هستند که حتماً باید در تعیین موقعیت مکانی سازه‌های هیدرولیکی و طراحی آن‌ها لحاظ شوند.

* عضو هیأت علمی گروه پژوهشی زمین‌شناسی پژوهشکده علوم پایه کاربردی دانشگاه شهید بهشتی

1. Processes of deformation
2. Fluvial Geomorphology
3. Slope
4. Sinuosity
5. Geomorphic Systems
6. Aggradation
7. Degradation
8. Tectonic Geomorphology
9. Coseismic
10. Gradual
11. Bed rock
12. Alluvium
13. Alluvial Rivers
14. Bed rock Rivers
15. Dynamic Equilibrium
16. Graded Rivers
17. Longitudinal profiles
18. Stream Length - Gradient Index
19. Frontal Fault
20. Charleston
21. South Carolina
22. Epicentral Area
23. Woodstock
24. Straight
25. Meandering
26. Braided channels
27. Differential Uplift
28. Graded System

۱. آرین، مهران. «تحلیل ویژگی‌های ساختاری بخش جنوب خاوری نقشهٔ چهارگوش تکاب». پایان‌نامه کارشناسی ارشد تکتونیک. دانشکدهٔ علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی. ۱۲۶ ص. ۱۳۷۶.

۲. پورکرمانی، محسن، و آرین، مهران. «سایزموتکتونیک (لرزه زمین ساخت)». مهندسین مشاور دزآب. ۲۷۰ ص. ۱۳۷۶.

3. Berberian, M. & Qorashi, M. & Jackson, J. A. & Priestley, K. & Wallace, T. "The Rudbar - Tarom earthquake of 20 June in NW Persia: Preliminary field and seismological observations, and its tectonic significance", Bulletin of the Seismological Society of America, 1992, 82: 1726 - 1755.

4. Keller, E. A. & Pinter, N. "Active Tectonics", Prentice - Hall, Inc. New Jersey, 338 paper, 1996, PP. 149 - 155.