

بررسی رفتار پیچان رودها در دشت‌های سیلابی نواحی نیمه خشک، مطالعه موردی: دشت‌های سیلابی دامنه‌های جنوب شرقی کوهستان سهند (رودخانه شور و قره آغاج)

چکیده

ایجاد پیچ و خم‌های زیاد، از ویژگی‌های مهم بیشتر رودخانه‌های جاری در نواحی نیمه خشک محسوب می‌شود. جابه جایی‌های سریع در مسیر جریان رودخانه‌ها، تغییر در مکان پشته‌های میانی و فرسایش کناری، از آثار ایجاد پیچ و خم‌ها در مسیر جریان رودخانه‌هاست. در مسیر رودخانه‌های جاری در دامنه‌های جنوب شرقی کوهستان سهند (واقع در 46° تا 43° تا 15° طول شرقی و از 36° تا 20° عرض شمالی) پیچ و خم‌های زیادی قابل مشاهده است. حضور این پیچان رودها و جابه جایی در پیچ و خم‌های آنها در بخش‌های مختلف مسیر و تماس قوس پیچان رودها با دیواره دشت‌های سیلابی، باعث شده است که مواد دیواره‌ای در محل مورد هجوم به شکل انبوه به داخل دشت‌های سیلابی فرو ریزد و به این ترتیب، بر میزان بار رسوبی رودخانه‌ها افزوده شود. شدت فرسایش کناری و میانی در دشت‌های سیلابی دامنه‌های جنوب شرقی کوهستان سهند در سال‌های اخیر به حدی بوده است که حضور درختان کناری و میانی نیز نتوانسته است جلوی چنین فرسایشی را بگیرد. در این مقاله سعی شده است با استفاده از شاخص‌های مختلف ($R/W, S, \Delta t$) و با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی، ویژگی‌های پیچان رودها بررسی شود و میزان جابه جایی‌ها در طول زمان تعیین شود. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که، میزان سینوزیته پیچان رودها در مسیر جریان نسبتاً بالا بوده و میزان جابه جایی قوس آنها در طول زمان نیز زیاد است و در نتیجه، خطر فرسایش کناری و میانی نیز در طول مسیرهای مورد نظر بالاست. پیچان رودهای محدوده مورد مطالعه که از نوع بی نظم هستند، در طول مسیر به علل مختلف

تشکیل می‌یابند، اما علت عمده تشکیل آنها دستکاری‌های انسانی و تکتونیک فعال در منطقه است.

واژه‌های کلیدی: پیچان رودها، کوهستان نیمه خشک، جابه جایی مسیر، سینوزیته، دامنه‌های جنوب شرقی سهند

- مقدمه

پیچان رودها^۱ و جابه جایی آنها در محدوده دشت‌های سیلابی نواحی نیمه خشک، علاوه بر این که نشان دهنده تغییرات در دشت‌های سیلابی هستند، درعین حال، علایمی از پتانسل خطر سیلاب و فرسایش در این محدوده نیز محسوب می‌شوند (گا و همکاران^۲، ۲۰۰۷: ۲۷۵۹؛ همیلتون و همکاران^۳، ۲۰۰۷: ۲۵). پیچان‌ها انرژی لازم را برای جابه جایی مسیر جریان رودخانه‌ها تزریق می‌کنند و با تماس قوس پیچان‌ها با دیواره دشت‌های سیلابی و در نتیجه ایجاد فرسایش کناری، مواد لازم برای ورود برای دشت‌های سیلابی فراهم می‌شود. به این ترتیب، هم با ایجاد پیچ و خم‌ها از انرژی آب‌های جاری کاسته شده و هم مواد جدیدتری به آبرفت‌های قابل کشت اضافه می‌شود. در سال‌های اخیر، دستکاری در مسیر جریان رودخانه‌ها شدت گرفته و تغییرات اقلیمی و تغییرات قابل ملاحظه‌ای در دامنه‌های مشرف بر دشت‌های سیلابی صورت گرفته است و به تبع آن، جابجایی در مسیر جریان رودخانه‌ها افزایش یافته و در نتیجه بر اثر این جابه جایی‌ها و تشدید فرسایش کناری، بر میزان ناپایداری دامنه‌ها افزوده شده است (براوارد و همکاران^۴، ۱۹۹۹: ۲۹۳). با توجه به جذابیت این اشکال در دشت‌های سیلابی و همچنین، به لحاظ تغییرات ژئومورفولوژیک ناشی از حضور آنها در این محدوده‌ها، محققان مختلف، از جمله ژئومورفولوژیست‌ها و هیدرولوژیست‌ها، از زوایای مختلف به مطالعه آنها پرداخته‌اند و با تحقیقات خود تاحدی، راز تشکیل پیچان رودها و تغییر

1 -meanders

2 -Ga et al

3 -Hmilton et al

4 -Bravard et al

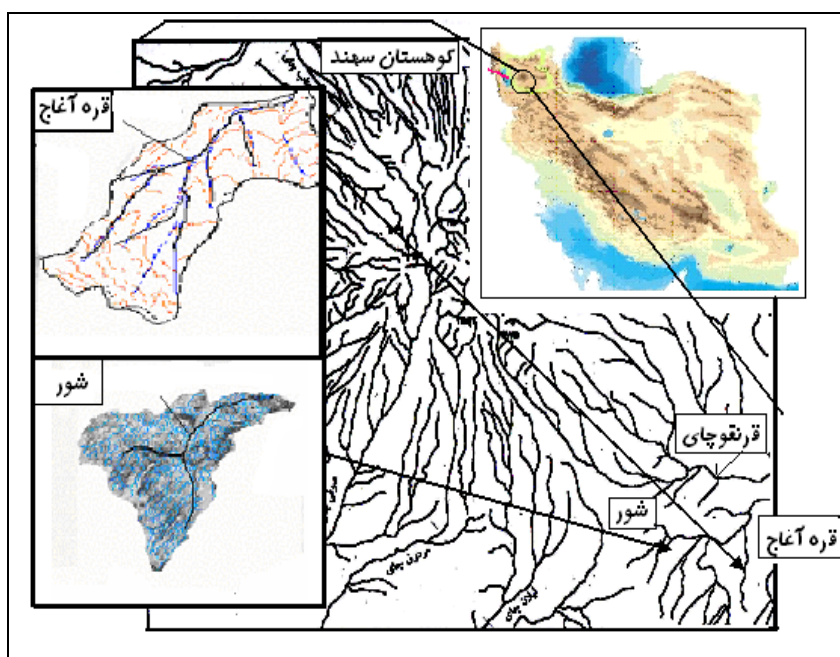
آرایش جریان رودخانه‌ها را گشوده و با ارائه مدل‌های مختلف، پیش بینی رفتار آنها را امکان پذیر ساخته اند (گوسوامی و همکاران^۵، ۱۹۹۹؛ هاردی و همکاران^۶، ۲۰۰۰؛ آباد ومارسلو^۷، ۲۰۰۶؛ بوریسوا و همکاران^۸، ۲۰۰۶؛ باتن و همکاران^۹، ۲۰۰۷؛ بیرلیک^{۱۰}، ۲۰۰۷؛ گوتالس و همکاران^{۱۱}، ۲۰۰۹ و...).

با عنایت به حضور این چشم اندازها در بیشتر بخش‌های کشور، محققان داخلی نیز بی توجه به علل تشکیل این پدیده‌ها نبوده‌اند و تحقیقات هرچند اندک بر روی آنها از سوی این محققان صورت گرفته است (نوحه گر ویمانی، ۱۳۸۴؛ بیاتی خطیبی، ۱۳۸۵؛ جابرزاده و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمودی و همکاران، ۱۳۸۷؛ رضایی مقدم و خوش دل ۱۳۸۸ و حسین آبادی وشفای بجستان، ۱۳۸۸).

دامنه‌های جنوب شرقی کوهستان سهند از پرآب ترین بخش‌های این کوهستان محسوب می‌شود (شکل ۱). با عنایت به جریان رودخانه‌های متعدد در این سمت از کوهستان، بر اثر انجام کارهای عمرانی در سطوح دامنه‌ها ودر کناره دشت‌های سیلابی، تغییرات عمده ای درسطوح دامنه‌ها و دشت‌های سیلابی به شدت ظاهر شده است. حاکمیت شرایط نیمه خشک و تشدید شرایط یاد شده در سال‌های اخیر، در این محدوده‌ها و همچنین، تغییرات ناشی از دخالت‌های انسانی، باعث شده است که میزان جابه جایی‌ها درمسیر جریان رودخانه‌ها افزایش و بر میزان فرسایش دیواره دشت‌های سیلابی افزوده شود (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۵: ۲۵). رودخانه‌های شور وقره آغاچ (واقع در 43° تا 47° طول شرقی و 36° تا 20° عرض شمالی) از رودخانه‌های مهم دامنه‌های جنوب شرقی کوهستان سهند محسوب می‌شوند، که دشت‌های سلابی بسیار گسترده جریان دارند و در بین سایر رودخانه‌های جاری در این محدوده، مسیر پر پیچ و خمی دارند. جابه جایی پیچ و خم‌ها در مسیر جریان و فرسایش

5 -Goswami et al.,
6 -Hardy et al.,
7 -Abad et al.,
8 -Borisova et al.,
9 -Batteen et al.,
10 -Bjerklie
11 -Goethals

پذیر بودن دیواره دشت‌های سیلابی باعث شده است که حوضه قره آغاج و شور به عنوان رسوب‌زاترین حوضه‌های سه‌گانه معرفی شوند. با توجه به وجود پیچ و خم‌های زیاد در مسیر این دو رودخانه و تاثیر جابه‌جایی مکرر این پیچ و خم‌ها در فرسایش کناری، در این مقاله سعی شده است هم رفتار رودخانه‌ها در محدوده‌های مورد نظر مطالعه شود و هم پیچ و خم‌های آنها مقایسه گردد و در عین حال، برای تعیین پتانسیل تشدید فرسایش کناری، زمان و میزان جابه‌جایی پیچان‌های مسیر رودخانه‌ها شور و قره آغاج نیز بررسی گردد.



شکل (۱) موقعیت رودخانه شور و قره آغاج در دامنه شرقی کوهستان سه‌گانه

رودخانه‌های مذکور از شاخاب‌های اصلی رودخانه قرنقو - به عنوان زیر شاخه رودخانه قزل اوزن - هستند که بر روی سازندهای سطحی متشکل از مارن‌ها، سیلت‌ها جاری می‌شوند و از کناره گنبد‌های نمکی متعدد مستقر در مسیر جریان عبور می‌کنند. حضور این سازندها و

بررسی رفتار پیچان رودها در دشت‌های سیلابی نواحی نیمه خشک ... / ۱۹۳

اشکال مذکور باعث می‌شود که تأثیرات ناشی از جابه‌جایی پیچان‌ها در مسیر جریان رودخانه‌ها بیشتر باشد.

- داده‌ها و روش‌ها

در این مقاله، ابتدا محل پیچان رودها در مسیر رودخانه‌های قره آغاج و شور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی تثبیت شد. سپس کارهای میدانی، برای مشاهده و پایش پیچان رودها و اندازه‌گیری‌هایی از برخی از پارامترها صورت گرفت. در مرحله بعدی از روی تصاویر ماهواره‌ای، مسیر جریان رودخانه‌های شور و قره آغاج به قطعاتی تقسیم گردید و بررسی‌ها و محاسبات براساس پارامترهای اندازه‌گیری شده در طول این قطعات صورت گرفت (شکل ۲). سپس براساس پارامترهای اندازه‌گیری شده، محاسبات لازم انجام شد و تحلیل‌ها و نتیجه‌گیری‌ها با استفاده از مقادیر به دست آمده، انجام گرفت.



الف



(ب)

(ت)

شکل (۲) قطعه مورد بررسی در مسیر پیچان دار رودخانه شور (الف) و پیچان رود در مسیر رودخانه قره آغاج (ب) و مسیر رودخانه شور (ت)

برای بررسی ویژگی‌ها و جابه‌جایی‌ها در مسیر پیچان رودهای قره‌آغاج و شورچای، در این مقاله سعی شده است از روش‌های مختلف و از شاخص‌های متنوع، به ترتیب زیر استفاده شود:

۱- محاسبه میزان سینوزیته پیچان رود شور و قره‌آغاج

میزان پیچ و خم‌ها در مسیر جریان رودخانه‌ها با میزان سینوزیته قابل تعریف و بیان است. میزان سینوزیته رودخانه‌های شور و قره‌آغاج با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$\text{رابطه (۱)} \quad S=T/L$$

در رابطه (۱):

S = میزان سینوزیته، T = طول سینوزیته، L = مسافت طولی خط مستقیم

۲- محاسبه شعاع پیچان‌ها و انحناهای کانال در مسیر رودخانه‌های شور و قره‌آغاج

پهنای کانال (W) و شعاع (R) قوس پیچان رودها از پارامترهای مهم ژئومورفومتریک هستند که می‌توان با استناد به آنها، در مورد میزان جابه‌جایی مسیر و فرسایش کناری اظهار نظر نمود. جابه‌جایی کانال که موجب گسترش عرض دشت‌های سیلابی می‌گردد، در تحلیل‌های ژئومورفولوژیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق، با ترسیم مسیرهای قبلی رودخانه با استفاده از داغ‌آب‌ها - میزان جابه‌جایی‌ها اندازه‌گیری شده است (شکل ۳ و ۴). انحناهای کانال (R/W)، که با نسبت شعاع بر پهنای مشخص می‌شود، اثر مهمی بر میزان جابه‌جایی مسیر جریان دارد و پهنای کانال نیز مشخص‌کننده حداکثر جابه‌جایی‌های رخ داده در مسیر جریان رودخانه در گذشته است (بروکس^{۱۲}، ۱۹۸۰: ۲۰۰۳؛ بوشر و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۶: ۲۶۹). میزان جابه‌جایی مسیر که با ایجاد چالاب‌ها و پشته‌ها و به طور کلی با فرسایش بستر همراه است، زمانی به حداکثر می‌رسد که نسبت شعاع بر پهنای

12 - Brooks

13 -Boucher et al.,

آستانه ویژه ای قرار گیرد؛ یعنی $2.4 < R/W < 3.3$. میزان جابه جایی در فراتراز این دامنه معمولاً کاهش می یابد (بوکسالو وی مرب^{۱۴}، ۲۰۰۷: ۲).

در این مقاله، برای بررسی قدرت پیچان رودها و همچنین برآورد میزان جابه جایی‌ها در مسیر جریان رودخانه‌ها، سعی شده است ابتدا شعاع قوس پیچ و خم‌های ایجاد شده در مسیر رودخانه‌های قره آغاج و شور محاسبه شود. به این منظور، دوایری به اطراف قوس پیچان رودها کشیده و شعاع این دوایر اندازه گیری شده است (شکل ۳). تحلیل‌ها و نتیجه گیری‌های بعدی براساس اندازه آنها صورت گرفته است. برای بررسی انحنای کانال، پارامتر پهنای کانال نیز مورد نیاز بود که برای به دست آوردن آن پهنای بستر از روی عکس‌های هوایی اندازه گیری شد.

۳- اندازه گیری و محاسبه میزان جابه جایی و زمان لازم برای جابه جایی مسیر جریان پیچان رودها

برای بررسی میزان جابه جایی پیچان رودها، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، خطوط مربوط به داغ آب‌ها در مسیر جریان رودخانه‌های شور و قره آغاج تثبیت شده است و جابه جایی خطوط مربوط به مسیرهای مختلف مربوط به زمان‌های متفاوت، از روی خطوط مربوط به مسیرهای قبلی، ترسیم و سپس میزان جابه جایی‌ها اندازه گیری شده است (شکل ۴) و در نهایت، برای برآورد زمان لازم برای جابه جایی‌ها، از رابطه زیر استفاده شده است (باکر و کوخل^{۱۵}، ۱۹۸۸: ۲۵۵):

$$\Delta t = Wcb/V \quad \text{رابطه (۲)}$$

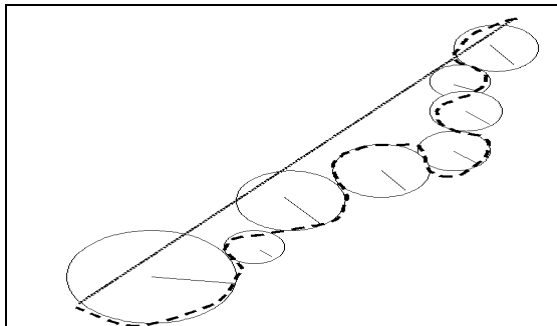
در این رابطه:

Δt = زمان جابه جایی به متر در سال، Wcb = پهنای کمر بند کانال پیچان رود به متر، V

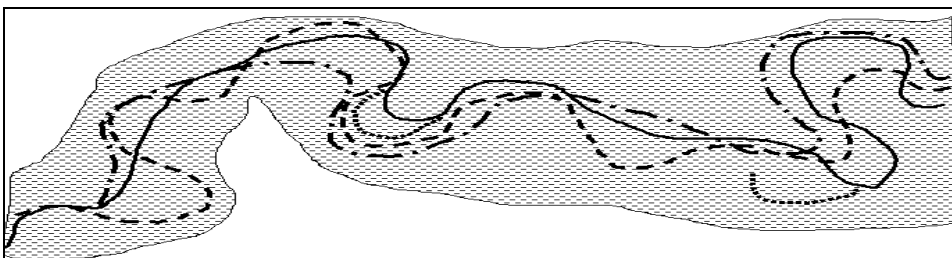
=میزان جابه جایی به متر

¹⁴ -Boxalla and Guymerb

¹⁵ -Baker and Kochel



شکل (۳) نحوه اندازه گیری شعاع قوس پیچان رودها (قطعه شماره ۷ از مسیر رودخانه قره آغاح)



شکل (۴) خطوط ترسیم شده از روی تصاویر ماهواره‌ای و مشخص کننده مسیرهای قبلی جریان و میزان جابه جایی رودخانه (قطعه‌ای از مسیر رودخانه شور)

بحث

پیچان رودها با ویژگی‌ها و آثار ژئومورفولوژیک خاصی مشخص می‌گردند. با بررسی این ویژگی‌ها و آثار، می‌توان علل ایجاد آنها را مشخص و با استناد به یافته‌ها، رفتار آینده آنها را نیز پیش بینی نمود. فرسایش کناری و میانی و همچنین تشدید ناپایداری کناره‌های دشت‌های سیلابی از تأثیرات مهم پیچان رودها و جابه جایی پیچ و خم‌های مسیر جریان آنها در دشت‌های سیلابی است.

پیچان رودها معمولاً با میزان سینوزیته معرفی می‌شوند و میزان شدت فعالیت آنها، با میزان جابه جایی‌هایی مکانی و زمانی مشخص می‌گردد و خطر فرسایش با زمان جابه جایی

تعیین می‌شود (هوک^{۱۶}، ۲۰۰۷: ۲۳۷). به همین علت، سعی خواهد شد این پدیده‌ها از ابعاد یاد شده، مورد بحث قرار گیرند.

الف- میزان سینوزیته رودخانه شور و قره آجاج

پیش از بررسی علل پیچان رودها و نقش آنها در فرسایش کناری، ابتدا لازم است میزان سینوزیته رودخانه‌های محدوده‌های مورد مطالعه، محاسبه شود. چون، نتایج حاصل از بررسی میزان پیچش پیچان رودها و سینوزیته مسیر جریان، می‌تواند مقایسه میزان انحنای مسیر رودخانه‌ها و در نتیجه اظهار نظر در مورد پیچش مسیر آنها را سهل تر سازد. در این مقاله، با استفاده از شاخص سینوزیته (S)، میزان انحنای مسیر رودخانه‌ها (جدول ۱ و ۲ و شکل ۵) محاسبه شده است. با توجه به شاخص محاسبه شده، می‌توان پیچان دار بودن رودخانه را با توجه به آستانه‌های زیر اثبات کرد:

$$S=1.05 \text{ مستقیم}, S=1.05-1.5 \text{ سینوسی}, S > 1.5 \text{ پیچان رود}$$

در رودخانه شور از ۲۱ قطعه مورد محاسبه، در ۱۰ قطعه از مسیر جریان، رودخانه حالت سینوسی و ۱۱ قطعه شرایط پیچان رود مشاهده می‌شود.

بررسی‌ها و محاسبات صورت گرفته (شکل ۵) نشان می‌دهد که در مسیر رودخانه شور، پیچ و خم‌های عمده‌ای تشکیل شده که بزرگترین قوس‌های تشکیل شده نیز در بخش میانی حوضه (از قطعه ۹ تا ۱۵) مشاهده می‌شود. با انطباق این محدوده‌ها با تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان گفت که محدوده‌های مذکور، در واقع محدوده‌های حضور طاق‌دیس‌ها و حضور گنبدهای نمکی است. به عبارت دیگر، قوس‌های بزرگ در محدوده‌هایی تشکیل شده‌اند که نشانه‌هایی از بالاآمدگی‌های تکتونیکی در آنها مشاهده می‌شود. به طور کلی، می‌توان گفت که در مسیر رودخانه شور، میزان پیچش رودخانه از بخش خروجی به تدریج افزایش و در بخش میانی به اوج می‌رسد، اما در نزدیکی سد ملاجیغ کاهش می‌یابد.

جدول (۱) میزان سینوزیته در قطعه شماره ۱ شورچای (در این جدول، م به معنی پیچان وس به

معنی سینوسی است)

شماره قطعه	T	L	S	نوع مسیر
۱	۲۴	۱۴,۵	۱,۶	م
۲	۲۶,۵	۱۴,۵	۱,۸	م
۳	۱۸,۵	۱۳,۲	۱,۴	س
۴	۲۱	۱۴	۱,۵	م
۵	۲۴	۱۴	۱,۷	م
۶	۱۴,۶	۱۳,۲	۱,۱	س
۷	۲۰	۱۴,۳	۱,۳۹	س
۸	۱۶,۵	۱۳,۲	۱,۲۵	س
۹	۲۲	۱۷,۵	۱,۲۵	س
۱۰	۴۸	۱۶,۷	۲,۸۷	م
۱۱	۴۰,۵	۱۹,۲	۲,۱	م
۱۲	۴۰,۵	۱۷	۲,۳۸	م
۱۳	۲۳,۲	۱۱,۲	۲,۰۷	م
۱۴	۲۶,۵	۱۴,۸	۱,۷۹	س
۱۵	۳۸,۵	۱۷,۵	۲,۲	م
۱۶	۱۷	۱۰,۸	۱,۵۷	م
۱۷	۱۷,۷	۱۴	۱,۲۶	س
۱۸	۱۷,۲	۱۳,۷	۱,۲۵	س
۱۹	۲۱,۲	۱۳,۷	۱,۵۷	م
۲۰	۱۳,۵	۱۰,۵	۱,۲۸	س
۲۱	۱۶	۱۳,۵	۱,۱۸	س

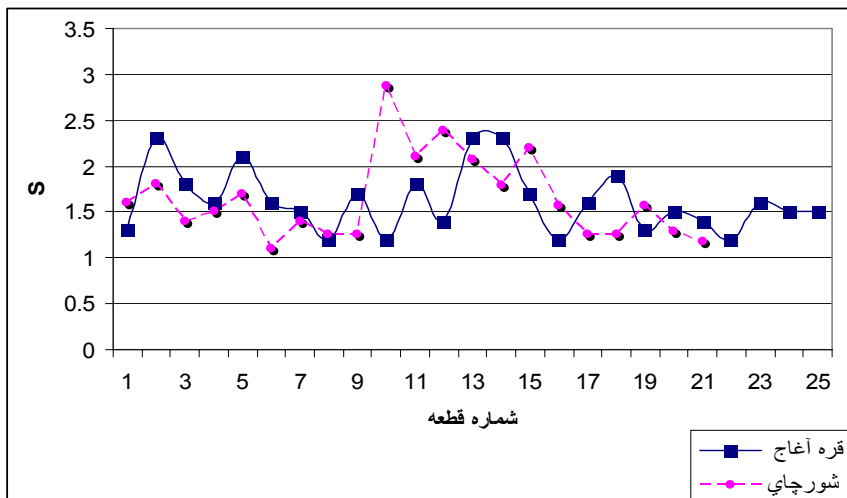
پیچان رودهای قره آغاج از نظر آرایش و بزرگی در مقایسه با پیچان رودهای شور بسیار متفاوت به نظر می‌رسند. بررسی انحنای این رودخانه (قره آغاج) با شاخص S نشان می‌دهد

(جدول ۲) که از ۲۴ قطعه مورد بررسی، ۸ قطعه از نوع سینوسی و ۱۷ قطعه از نوع پیچانی است. بررسی شکل (۵) نشان می‌دهد که سینوس قره آغاج در بخش خروجی رودخانه و انتهای مسیر بیشتر از رودخانه شورا است، اما تغییرات میزان سینوس در مسیر این رودخانه، نسبت به شور کمتر است. مقایسه میزان سینوزیته شورچای و قره آغاج، همچنین نشان می‌دهد (شکل ۵) که تغییرات و بزرگی در میزان پیچش‌های رودخانه شور به مراتب بیشتر از قره آغاج است. علت این تغییرات به فعال بودن تکتونیک در منطقه و ایجاد بندهای متعدد در مسیر رودخانه‌ها بر می‌گردد. در مسیر رودخانه شور، بویژه در بخش میانی، حضور گنبد‌های نمکی حاکی از بالا آمدگی‌های تکتونیکی است و این دو عامل باعث شده است که در بخش‌هایی که موارد مذکور وجود دارد، تغییر رفتار رودخانه بیشتر دیده شود.

جدول (۲) میزان سینوزیته رودخانه قره آغاج (در این جدول، م به معنی پیچان مشخص و س به معنی حالت سینوسی است)

شماره قطعه	T	L	S	نوع مسیر
۱	۲۵	۱۹,۴	۱,۳	س
۲	۴۲,۵	۱۸,۵	۲,۳	م
۳	۳۰,۵	۱۷	۱,۸	م
۴	۲۷,۵	۱۶,۵	۱,۶	م
۵	۲۹,۹	۱۴	۲,۱	م
۶	۲۹	۱۸	۱,۶	م
۷	۲۴,۲	۱۶,۵	۱,۵	م
۸	۱۹,۱	۱۶,۴	۱,۲	س
۹	۳۲	۱۸,۵	۱,۷	م
۱۰	۱۶,۵	۱۴	۱,۲	س
۱۱	۲۷,۷	۱۵	۱,۸	م
۱۲	۱۹	۱۴,۵	۱,۴	س

۱۳	۵۰	۲۱,۵	۲,۳	م
۱۴	۳۸	۱۶,۲	۲,۳	م
۱۵	۲۸	۱۶,۲	۱,۷	م
۱۶	۲۰	۱۶,۴	۱,۲	س
۱۷	۲۸,۵	۳۴	۱,۶	م
۱۸	۳۲	۱۷	۱,۹	م
۱۹	۲۵	۱۸,۸	۱,۳	س
۲۰	۲۷	۱۷,۸	۱,۵	م
۲۱	۲۶	۱۸,۲	۱,۴	س
۲۲	۲۲	۱۸,۲	۱,۲	س
۲۳	۳۰	۱۸,۴	۱,۶	م
۲۴	۳۱,۲	۲۰	۱,۵	م



شکل (۵) مقایسه سینوزیته رودخانه‌های قره آجاج و شور

ب- شعاع قوس پیچان رودهای شور و قره آغاج

اندازه شعاع‌های هر قوس پیچان رود شاخص مناسبی از بزرگی انحنای پیچان رود و در عین حال، نشان دهنده پتانسیل گسترش پهنای بستر سیلابی و استعداد دیواره‌های دشت‌های سیلابی برای فرسایش بیشتر است (گرکو وهمکاران^{۱۷}، ۲۰۰۷: ۳۵۷). در ابتدای تشکیل، قوس شعاع بسیار کوچک بوده و در صورت وجود عوامل تقویت کننده، شعاع قوس‌ها می‌تواند افزایش یابد و این بزرگ شدگی تا رسیدن به حد ویژه ای ادامه یابد و بعد از رسیدن به حد مذکور، دوباره به تدریج کوچک و در نهایت به یک بستر مستقیم تبدیل شود.

با توجه به مواردی که ذکر شد، شعاع قوس‌هایی ایجاد شده در طول رودخانه‌های شور، قره آغاج بررسی (شکل ۶) شده است. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که:

اندازه شعاع قوس‌های ایجاد شده در مسیر جریان رودخانه شور بسیار متفاوت است. این تفاوت به معنی تغییرات در قدرت رودخانه در سایش کناری، در ایجاد چالاب‌ها و پشته‌های میانی بستر رودخانه و حتی تفاوت در میزان جابه‌جایی مسیر جریان است (گودی^{۱۸}، ۲۰۰۶: ۳۸۵). در طول این رودخانه، شعاع قوس‌های ایجاد شده در بسترهای بزرگ، بسیار زیاد است، اما با کوچک شدن بستر، که قوس‌ها نتوانسته اند بزرگ شوند، شعاع آنها زیاد نیست. در طول این رودخانه، از قطعه ۱ تا ۸ در بخش میانی حوضه، از میزان شعاع قوس‌ها کاسته می‌شود.

با توجه به شکل ۶، مربوط به اندازه شعاع قوس‌های پیچان‌های ایجاد شده در مسیر جریان رودخانه‌های قره آغاج و رودخانه شور، می‌توان گفت که تغییرات در اندازه قوس پیچان رودها در محدوده مورد مطالعه قابل ملاحظه است. این امر حاکی از پتانسیل بالای جابه‌جایی پیچان رودها و در نتیجه فرسایش کناری در بستر جریان رودخانه‌هاست. شکل (۶)، علاوه بر این، حاکی از وجود تفاوت قابل ملاحظه در اندازه قوس پیچان رودهاست. همچنین، نشان دهنده بی‌نظمی‌های ایجاد شده در مسیر پیچان رودهای شور، قره آغاج است. شایان ذکر

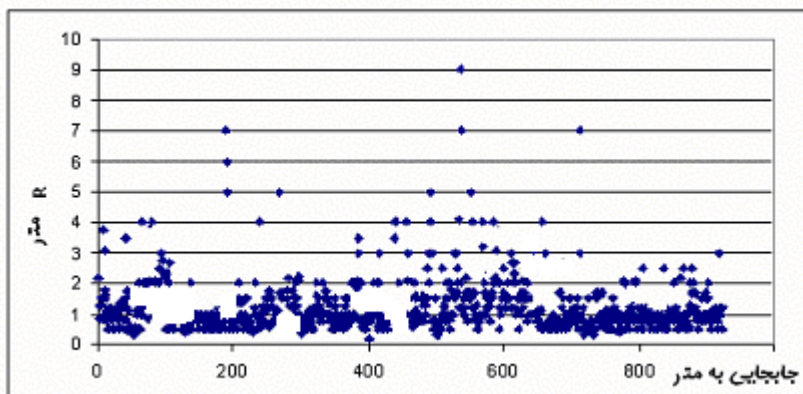
17 - Greco et al.,

18 - Goudie

است که این نتیجه گیری براساس اندازه گیری قوس خمیدگی‌های پیچان رودها و جابه جایی مسیر جریان آنها از روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است (شکل‌های ۷ و ۲).

ت- جابه جایی مسیر پیچان رودهای شور و قره آغاج

بررسی‌ها و محاسباتی که در ۲۱ قطعه از مسیر رودخانه شور صورت گرفته است، نشان می‌دهد (شکل ۸) که طبق آستانه‌های ارائه شده ($2.4 < R/W < 3.3$)، پتانسیل جابه جایی در قطعه ۶ بیشتر است، اما اندازه گیری‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده، حاکی از این است که جابه جایی‌ها در قطعه‌های ۱۵ و ۹ و ۱۹؛ یعنی بخش‌های میانی از مسیر رودخانه شور بیشتر از سایر قطعات از مسیرهای این رودخانه است^{۱۹}. میزان جابه جایی اندازه گیری شده نیز، معرف این نقطه است که، با گسترش عرض دشت‌های سیلابی و فرسایش پذیر بودن دیواره دشت‌های سیلابی، شانس جابجایی پیچان رودها بیشتر است.

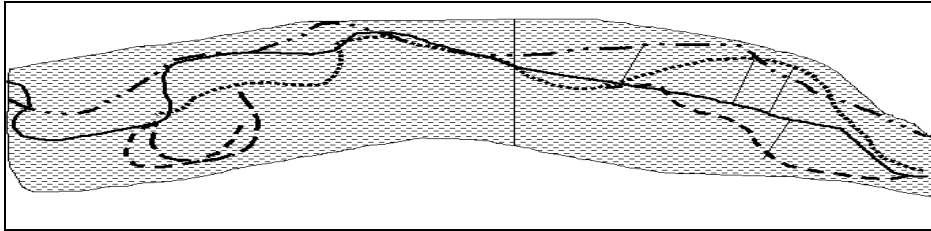


شکل (۶) میزان شعاع پیچان‌ها در مسیرهای رودخانه شور و قره آغاج

بررسی شکل ۸ نشان می‌دهد که شعاع قوس‌های ایجاد شده در مسیر پیچان رودهای شور بزرگتر از قره آغاج است (شکل ۸، الف). شعاع قوس‌های رودخانه شور به تدریج از سرآب

۱۹- به علت حجیم شدن مقاله و محدود بودن تعداد صفحات آن طبق فرمت نشریه، از آوردن این تصاویر خوداری شده است

رودخانه به سمت بخش‌های میانی، کاهش می‌یابد، این در حالی است که بی‌نظمی در میزان شعاع قوس‌های قره آغاج از ابتدا تا انتهای رودخانه بیشتر می‌شود.

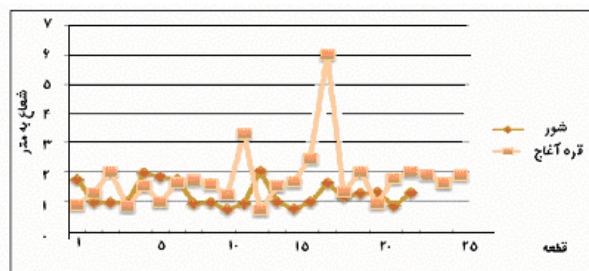


شکل (۷) جابه‌جایی و نحوه اندازه‌گیری جابه‌جایی‌ها در مسیر رودخانه‌های مورد مطالعه

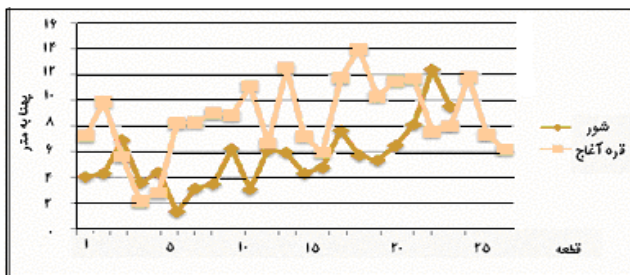
پهنای کانال در مسیر جریان رودخانه شور، از ابتدا تا انتهای آن، تغییرات کمی را متحمل شده است. این در حالی است که این تغییرات در مسیر رودخانه قره آغاج بیشتر است (شکل ۸، ب). همچنین، تغییرات در نسبت شعاع به پهنا در مسیر رودخانه شور، در مقایسه با رودخانه قره آغاج بیشتر است (شکل ۸، ت). اندازه‌گیری جابه‌جایی‌های مسیر رودخانه شور و قره آغاج نیز حاکی از این است که جابه‌جایی در بخش‌های سراب دو رودخانه به مراتب بیشتر از پایاب‌ها آنها است (شکل ۸، پ).

ترسیم جابه‌جایی مسیرهای قدیم و جدید (R_1, \dots, R_n) نشان می‌دهد (شکل ۸) که در برخی از بخش‌های مسیر، روند منظم‌تری در جابه‌جایی‌ها مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، در مسیر جابه‌جایی قوس‌های پیچان رودها به طرف دیواره‌ها و یا به طرف محور مرکزی بستر رودخانه، روند یکسانی مشاهده می‌شود (مانند نظمی که در جابه‌جایی مسیرهای رودخانه شور در قطعه‌های ۸، ۶، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۴ و ۱۶؛ یعنی در بخش‌های خروجی رودخانه دیده می‌شود). میزان جابه‌جایی‌ها در مسیر قره آغاج، طبق آستانه‌های ارائه شده متغیر است. با توجه به مقادیر محاسبه شده نسبت شعاع به پهنا (R/W) و انطباق آنها با مقادیر آستانه، می‌توان گفت که پتانسیل میزان جابه‌جایی در مسیر قره آغاج نسبتاً پایین است.

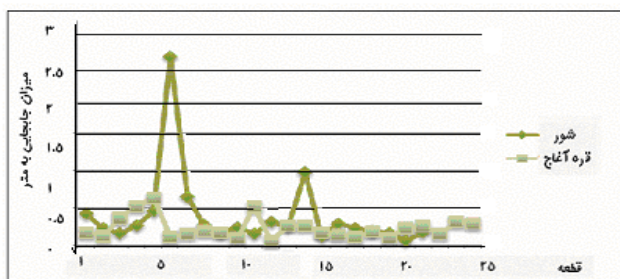
مقادیر مربوط به اندازه گیرهای میزان جابه جایی‌های مسیر جریان در طی زمان‌های مختلف نیز حاکی از این است که میزان جابه جایی در مسیر قره آغاج نسبت به رودخانه شور کم است. در مسیر رودخانه مذکور نیز، بین جابه جایی و نسبت پهنا به شعاع تقریباً رابطه‌ای مشاهده نمی‌شود. در مسیر این رودخانه در روند جابه جایی‌ها نظمی حاکم نیست و فقط در قطعات ۵، ۷، ۱۷، ۱۹ و ۲۰ می‌توان دنباله رو مسیر جدید از مسیر قبلی را مشاهده نمود. طبق آستانه ارائه شده و مقادیر درج شده در جداول ۴ و ۵ می‌توان گفت که مقادیر محاسبه شده در خارج از آستانه قرار گرفته‌اند.



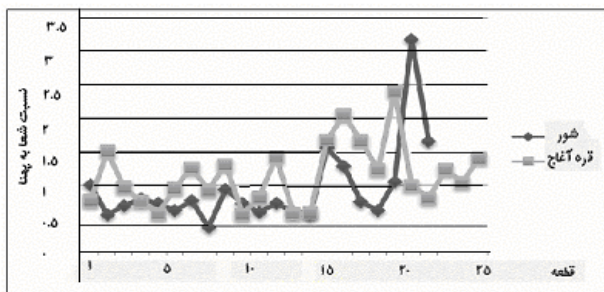
الف



ب

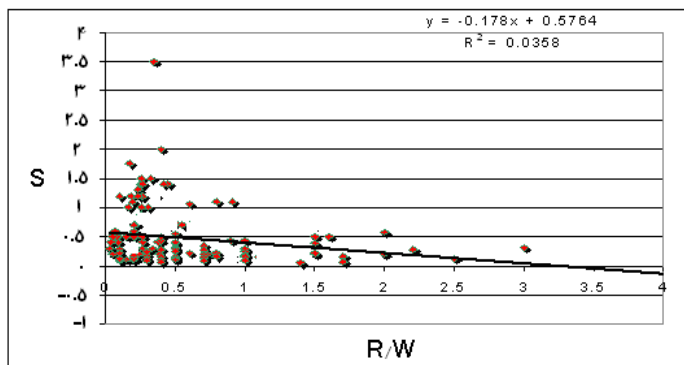


ج



ت

شکل (۸) تغییرات در پارامترهای مورد اندازه‌گیری و میزان جابه‌جایی در رودخانه‌های شور و قره آغاچ. در این شکل: الف) پارامتر شعاع؛ ب) پارامتر پهنا؛ پ) میزان جابه‌جایی؛ ت) نسبت شعاع به شعاع



شکل (۹) رابطه نسبت شعاع به پهنا، با میزان جابه‌جایی در مسیر جریان در قطعه‌های مختلف بستر رودخانه‌های شور و قره آغاچ

با توجه به شکل‌های ۹ و ۸، می‌توان نتیجه گرفت که میزان جابه‌جایی در مسیرهای مختلف رودخانه شور، قره آغاچ بسیار متفاوت است. در برخی از مسیرها، مانند مسیر رودخانه شور این جابه‌جایی‌ها زیاد و در سایر مسیرها نسبتاً کم است. با توجه به اینکه حداکثر جابه‌جایی‌ها با حداکثر فرسایش کناری توام است، می‌توان گفت که فرسایش کناری در مسیر رودخانه شور به بیشتر از مسیر پیچان رود قره آغاچ بیشتر است.

پ- برآورد زمان لازم برای جابه جایی جریان از کمر بند پیچان رود

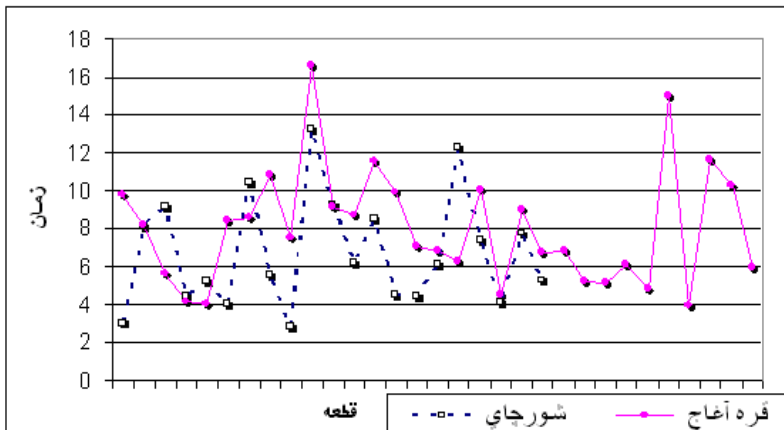
در این مطالعه، برای برآورد زمان لازم برای جابه جایی کانال رودخانه در هر مسیری که پیچان رود تشکیل شده بود، مسیر رودخانه به قطعات مختلف تقسیم گردید و با توجه به مسیر و شواهد جابه جایی های قبلی، از میزان جابه جایی هایی صورت گرفته در گذشته و همچنین، از میزان کمر بند پهنای کانال در هر قطعه، اندازه گیری ها صورت گرفت و از اعداد حاصل از اندازه گیری ها متوسط گیری شد و براساس این متوسط ها، زمان لازم برای جابه جایی در هر قطعه مورد نظر برای هر رودخانه ویژه، محاسبات انجام گرفت (جدول ۳). نتایج حاصل که در جدول ۳ درج و در شکل ۴ نشان داده شده است، نشان می دهد که زمان لازم برای جابه جایی کانال در مسیر پیچان رود شور در قسمت های مختلف متفاوت است. یعنی زمان لازم برای جابه جایی در بعضی از قسمت ها ۲ سال و در قسمت های دیگر بیش از ۱۳ سال است. در واقع، با توجه به شکل (۱۰)، می توان گفت که در بخش های انتهایی و ابتدایی مسیر رودخانه شور، سرعت جابه جایی در کانال جریان بیشتر از قسمت های دیگر مسیر یاد شده است.

جدول (۳) مقادیر مربوط به برآورد زمان لازم برای جابجایی کانال در مسیر رودخانه شور

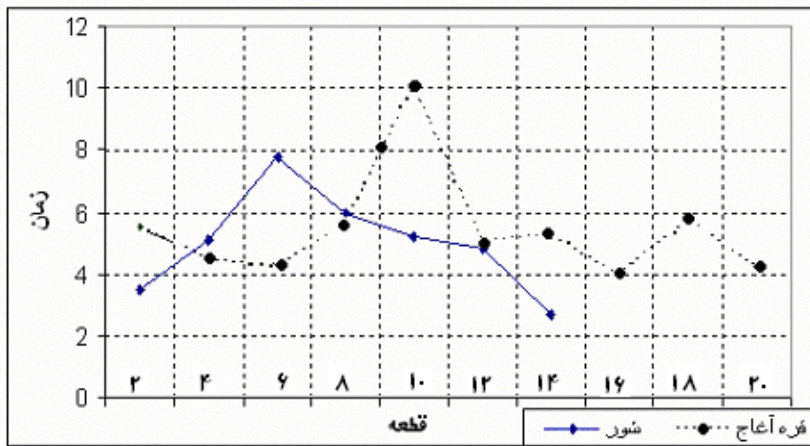
شماره قطعه	Wcb	V	Δt (متر در سال)
۱	۳,۹	۱,۳	۳
۲	۵,۲	۰,۶۴	۸,۱۲۵
۳	۶,۵۸	۰,۷۲	۹,۱۲
۴	۳,۵۳	۰,۷۹	۴,۴۶
۵	۴,۴	۰,۸۵	۵,۱۷
۶	۱,۸	۰,۴۵	۴
۷	۴,۸	۰,۴۶	۱۰,۴۳
۸	۵,۲۷	۰,۹۵	۵,۵۴
۹	۲,۵۳	۰,۹۲	۲,۷۵
۱۰	۵,۴۲	۰,۴۱	۱۳,۲۱
۱۱	۶,۰۸	۰,۶۶	۹,۲۱۲

۱۲	۴,۰۱	۰,۶۵	۶,۱۶
۱۳	۴,۷۳	۰,۵۶	۸,۴۴
۱۴	۷,۷	۱,۷	۴,۵۲
۱۵	۵,۶۲	۱,۲۸	۴,۳۹
۱۶	۵,۱	۰,۸۴	۶,۰۷
۱۷	۶,۶	۰,۵۴	۱۲,۲
۱۸	۷,۶۸	۱,۰۴	۷,۳۸
۱۹	۱۲,۱۲	۳,۲	۴,۰۴
۲۰	۷,۱۸	۰,۹۳	۷,۷۲
۲۱	۸,۶۶	۱,۶۴	۵,۲۸

شکل (۱۰) و مقادیر مندرج در جداول (۴ و ۳) نشان می‌دهد که تغییر در زمان لازم برای جابه‌جایی کانال در مسیر پیچان رود قره آغاج به مراتب از پیچان رود شور بیشتر است. مقایسه سرعت جابه‌جایی در هر دو رودخانه شور و قره آغاج (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که سرعت جابه‌جایی در مسیر کانال در بخش‌های پیچان‌دار شور به مراتب از پیچان رود قره آغاج بیشتر است.



شکل (۱۰) مقایسه زمان لازم (به سال) برای جابه‌جایی کانال در مسیر رودخانه شور و قره آغاج



شکل (۱۱) الف) زمان لازم برای جابه جایی کانال در مسیر قره آغاج و شور

جدول (۴) برآورد زمان لازم برای جابه جایی کانال در مسیر رودخانه قره آغاج

شماره قطعه	Wcb	V	Δt (متر در سال)
۱	۷,۱	۰,۷۳	۹,۷۲
۲	۹,۶۵	۱,۱۸	۸,۱۷
۳	۵,۶۲	۱	۵,۶۲
۴	۲,۲۴	۰,۵۴	۴,۱۴
۵	۲,۶۲	۰,۶۶	۳,۹۶
۶	۸	۰,۹۵	۸,۴۲
۷	۸,۳۱	۰,۹۷	۸,۵۶
۸	۸,۸۵	۰,۸۲	۱۰,۷۹
۹	۸,۸۴	۱,۱۸	۷,۴۹
۱۰	۱۱,۱۲	۰,۶۷	۱۶,۵۹
۱۱	۶,۷۵	۰,۷۴	۹,۱۲
۱۲	۱۲,۳۳	۱,۴۲	۸,۶۸
۱۳	۶,۹۵	۰,۶	۱۱,۵۸
۱۴	۵,۹۴	۰,۶۶	۹,۹

۱۵	۱۱,۷۵	۱,۶۷	۷,۰۳
۱۶	۱۴	۲,۰۵	۶,۸۲
۱۷	۱۰,۳	۱,۶۶	۶,۲
۱۸	۱۰,۸۷	۱,۰۸	۱۰,۰۳
۱۹	۱۱,۵۸	۲,۵۸	۴,۴۸
۲۰	۷,۵	۰,۸	۹
۲۱	۱۲	۱,۷۸	۶,۷۴
۲۲	۷,۰۲	۱,۰۳	۶,۸۱
۲۳	۶,۱۷	۱,۲	۵,۱۴
۲۴	۴,۵۲	۰,۸۸	۵,۱۳

نتیجه گیری

ایجاد پیچان رودها در نواحی مختلف، مستلزم افزایش قدرت رودخانه در مسیر جریان به علل مختلف است. توسعه پیچان رودها، معمولاً طول کانال جریان را افزایش و در عین حال، شیب مسیر جریان را کاهش می‌دهد (هو و همکاران^{۲۰}، ۲۰۰۷: ۸۶). افزایش انحنای قوس‌ها، در واقع به منزله افزایش در طول و در نتیجه افزایش در تعداد وعمق چالاب‌هاست. افزایش شیب مسیر، یک چرخش دومی از جریان در مسیر رودخانه را پدید می‌آورد و موجب تشکیل پیچان رودهای بعدی در مسیر جریان می‌شود و این امر نیز، فرسایش کناری و یا جابه جایی پشته‌های میانی در بستر سیلابی را موجب می‌شود (هو^{۲۱}، ۲۰۰۷: ۲۳۷ و گوری گوری^{۲۲}، ۲۰۰۶: ۱۷۳).

معمولاً پیچان رودهای طبیعی به ندرت متقارن هستند. با وجود این، بین پارامترها و مشخصه‌های اصلی پیچان‌ها ارتباطاتی وجود دارد که با توسل به آنها می‌توان پیچ و خم‌های ایجاد شده در مسیر جریان رودخانه‌ها را تحلیل نمود. پیچان رودهای مسیرهایی که در

20--Hau et al.,

21 -Hooke

22 -Gregory

مسیر رودخانه‌های مورد مطالعه تشکیل شده‌اند، از نوع بی نظم بوده، با جابه جایی که در طیف زمانی مختلف انجام می‌دهند، بر اثر تماس قوس بخش انحنا پیچان رود با دیواره دشت‌های سیلابی، باعث گسترش و پهن تر شدن این محدوده‌های ژئومورفولوژیک می‌گردند.

با توجه به بررسی‌های حاصل از این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که رفتار پیچان رودهای قره آغاج و شور به تبعیت از ویژگی‌های مسیر، به طور متفاوت تغییر می‌یابد. در بخش‌هایی از مسیر این تغییر رفتارها بیشتر و در سایر بخش‌ها کمتر است. میزان جابه جایی‌های در مسیر جریان از نشانه‌های مهم تغییر رفتار رودخانه‌هاست. بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان جابه جایی در مسیرهای مختلف رودخانه شور، قره آغاج بسیار متفاوت است. در برخی از مسیرها مانند مسیر رودخانه شور، این جابه جایی‌ها زیاد و در سایر مسیرها کمتر است. با توجه به این که حداکثر جابه جایی‌ها با حداکثر فرسایش کناری نیز توأم است، می‌توان گفت که فرسایش کناری در مسیر رودخانه شور به مراتب از سایر مسیرهای پیچان دار رودخانه‌های جاری در دامنه‌های جنوب شرقی کوهستان سهند بیشتر است.

بررسی زمان جابه جایی نشان می‌دهد که در گذشته نیز رودهای قره آغاج و شور در پاسخ به تغییرات رخداد در ویژگی‌های حاکم، با تغییر مسیر خود عکس‌العمل نشان داده و گاه این جابه جایی‌ها کم بوده است و زمانی نیز با جابه جایی‌های عمده نسبت به تغییرات عکس‌العمل نشان داده‌اند.

با توجه به تثبیت تغییرات در مسیر جریان رودخانه‌ها و تغییرات قابل ملاحظه در پیچ و خم‌های مسیر، می‌توان گفت که این دو رودخانه در آینده نیز تغییراتی در رفتار خود خواهند داشت. به عبارت دیگر، در آینده نیز آرایش جریان رودخانه‌های مذکور به تکرار تغییر خواهد یافت و با هر تغییر، مواد دیواره ای به داخل دشت‌های سیلابی فرو خواهد ریخت و این فروریزی‌ها، تغییرات هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی بعدی را به همراه خواهند داشت. با عنایت به عدم حفاظت دامنه‌ها توسط پوشش گیاهی و جابه جایی مکرر در مسیر جریان رودخانه‌ها و تماس قوس پیچان رودها با دیواره بسترهای سیلابی، در شرایط کنونی، سالانه حجم زیادی از مواد دامنه‌ای به بستر جریان این رودخانه‌ها وارد می‌شود و با انجام جابه

جایی‌های مکرر در مسیر جریان، پشته‌های میانی که در بیشتر موارد محل استقرار پوشش گیاهی و درختان است، به تدریج مواد آنها وارد جریان رودخانه شده و در نهایت پوشش گیاهی از این پشته‌ها برچیده می‌شود. در محدوده مورد مطالعه بیشترجاده‌ها از کناره بسترهای سیلابی عبور داده شده‌اند. با عنایت به عدم ثبات در مسیر جریان و فرسایش کناری، این تاسیسات نیز در معرض خطر هستند و برای حفظ آنها باید دیواره‌هایی که در معرض فرسایش کناری شدید هستند، حفاظت شوند و مواد دیواره‌ای دشت‌های سیلابی به نحوی تثبیت گردند.

منابع

- ۱- بیاتی خطیبی، مریم. (۱۳۸۵). «بررسی علل تشکیل و توسعه پیچان‌ها در دره‌های نواحی کوهستانی»، رشد آموزش جغرافیا. ش ۷۵.
- ۲- حسین آبادی و محمود شفای بختان. (۱۳۸۸). «بررسی عمق آبهستگی محتمل در مئاندرهای رودخانه کارون»، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه اهواز.
- ۳- جابریزاده، مجید، جلال عطاری، محمد رضا مجدزاده و منصور ابوالقاسمی. (۱۳۸۷). «مطالعات آزمایشگاهی جریانات چرخشی افقی و نقش آن در محل تشکیل نهشته رسوبی قوس»، چهارمین کنگره مهندسی عمران دانشگاه تهران.
- ۴- رضایی مقدم، محمد حسین و کاظم خوش دل. (۱۳۸۸). «بررسی پیچ و خم‌های مئاندر اهرچای در محدوده دشت ازومدل ورزقان»، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. ش ۳۳.
- ۵- نوحه گر، احمد و مجتبی یمانی. (۱۳۸۴). بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچان رود و نقش آن در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب. پژوهش‌های جغرافیایی. ش ۵۱.
- ۶- محمودی، امین؛ ابوالفضل طهماسبی؛ مجتبی قره محمودلو و سعید جعفری. (۱۳۸۷). «بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه گرگان رود در مجاورت شهر گنبد»، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.

- 7- **Abad, Jorge D., Marcelo H. Garcia**(2006).RVR Meander: A toolbox for re-meandering of channelized streams.Computers & Geosciences 32, 92–101.
- 8- **Baker, V.R., Kochel, R.**(1988).Flood geomorphology. jphon wiley.
- 9- **Batteen, Mary L., Richard A. Kennedy JOTr., Henry A. Miller.** (2007).A process-oriented numerical study of currents, eddies and meanders in the Leeuwin Current System Deep-Sea Research II 54, 859–883.
- 10- **Bjerklie, David M.** (2007). Estimating the bankfull velocity and discharge for rivers using remotely sensed river morphology information. Journal of Hydrology, 341, 144– 155.
- 11- **Borisova, Olga, Aleksey Sidorchuk, Andrey Panin.** (2006). Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data, Catena 66, 53 – 73
- 12- **Bravard, J.-P., N. Landon, J.-L. Peiry , H. Pie´gay.** (1999).Principles of engineering geomorphology for managing channel erosion and bedload transport, examples from French rivers.Geomorphology 31,291–311.

- 13- **Brooks, Gregory R.**(2003).Holocene lateral channel migration and incision of the Red River,Manitoba, Canada.Georphology 54,197–215.
- 14- **Boucher, Étienne, Dominique Arseneault , Bernard Héту** (2006).Late Holocene development of a floodplain along a small meandering stream, northern Québec, Canada.Georphology 80, 267–281.
- 15- **Boxalla, J.B., I. Guymerb.**(2007).Longitudinal mixing in meandering channels: New
- 16- experimental data set and verification of a predictive technique WAT E R R E S E A R C H.
- 17- **Ga, Gyula´ brisa, Annama´ ria Na´dorb.**(2007).Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the. Quaternary: a review and new synthesis,Quaternary Science Reviews 26, 2758–2782.
- 18- **Goethals, M.M., S. Niedermann , R. Hetzel , C.R. Fenton.** (2009).Determining the impact of faulting on the rate of erosion in a low-relief landscape: A case study using in situ produced ²¹Ne on active normal faults in the Bishop Tuff, California. Georphology 103, 401–413.
- 19- **Greco, Steven E. ,Alexander K. Fremier , Eric W. Larsen , Richard E. Plant.**(2007).A tool for tracking floodplain age land surface patterns on a large meandering river with applications for ecological planning and restoration design Landscape and Urban Planning 81 , 354–373
- 20- **Gregory,K.J.**(2006).The human role in changing river channels.Georphology,79.172–191
- 21- **Goudie, Andrew S.** (2006).Global warming and fluvial geomorphology. Georphology 79, 384–394
- 22- **Goswami, U., J.N. Sarma , A.D. Patgiri.**(1999).River channel changes of the Subansiri in Assam, India.Georphology 30,227–244.
- 23- **Hamilton, Stephen K., Josef Kelndorfer , Bernhard Lehner, Mathias Tobler.** (2007). Remote sensing of floodplain geomorphology as a surrogate for biodiversity in a tropical river system (Madre de Dios, Peru). Georphology 89, 23–38.
- 24- **Hardy, R.J., P.D. Bates, M.G. Anderson**(2000).Modelling suspended sediment deposition on a fluvial floodplain.using a two-dimensional dynamic finite element model.Journal of Hydrology 229, 202–218.
- 25- **HauXera, Frank, Axel Voigta,**(2007).Step meandering in epitaxial growth Journal of Crystal Growth 303 ,80–84.
- 26- **Hooke, J.M.**(2007).Complexity, self-organisation and variation in behaviour in meandering rivers. Georphology 91, 236–258.