DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106453

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 8, Issue 2, 2016, Pages 152-164

نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۸، شماره ۲، ۱۳۹۵، صفحات ۱۵۲-۱۶۴

# طبقه‌بندی مورفولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن سفلی و روند تغییرات آن

**حمیدرضا پیروان*[۱]، علی جعفری‌اردکانی[۲] و محسن شریعت‌جعفری[۳]**

[۱] دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، [۲] مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و [۳] استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۱۳

## چکیده

این پژوهش در زمینه مورفولوژی رودخانه قزل‌اوزن سفلی حد فاصل سد استور تا سد منجیل در دو بازه سنگی و دشت سیلابی در پریود زمانی ۳۷ساله بر اساس نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی با بازدیدهای میدانی انجام شده است. نتایج نشان داد که رودخانه در بازه کوهستانی و دشتی با میزان ضریب پیچشی متوسط ۱/۴۶ و ۱/۲۲ به‌ترتیب در زمره رودخانه پیچان‌رودی و سینوسی دسته‌بندی می‌شود. در بازه دشتی در حد فاصل سد پاوه‌رود تا سد منجیل به‌طول ۶۰ کیلومتر، رودخانه، سه پلان مشخص سینوسی کانالی شکل، سینوسی بارگذار، سینوسی چندشاخه و چندشاخگی و شریانی نشان داده است، حال آن که در بازه سنگی و کوهستانی متاثر از عوامل زمین‌شناختی به‌صورت تنگدره مئاندری است. در طی دوره ۳۷ساله، چندشاخگی رودخانه در ناحیه هزاررود به پهنای ۱/۲ کیلومتر توسعه داشته است که اگر این روند یکنواخت فرض شود، سرعت متوسط پیشروی بازه چندشاخه، ۳۲ متر در سال است که میزان قابل توجهی است. در منطقه هارون‌آباد تا کوه‌کن، فرسایش کناری به شکل مهاجرت حلقه‌های مئاندری تا ۸۵۰ متر در دوره زمانی یاد شده نیز بیانگر نقش ویرانگری رودخانه در بازه‌های پیچان‌رودی است. بر اساس زاویه مرکزی حلقه‌های مئاندر، ۵۷/۷۲ درصد حلقه‌ها توسعه یافته، ۲۵/۹۳ درصد خیلی توسعه یافته، ۱۶/۰۵ درصد دیگر حلقه‌ها، از نوع جوان رو به رشد هستند و لذا هنوز خسارات پیچان‌رودی رودخانه وجود دارد. غالب‌ترین حالت فرسایش در انحناهای مئاندر، حالت توسعه یافتگی می‌باشد که بیش از ۵۶ درصد حالات فرسایش را به خود اختصاص می‌دهد و بسته به نحوه توزیع تنش برشی آب، هندسه پیچ و شعاع انحناء نسبی آن و در نتیجه، محل تمرکز تنش برشی آب، حالات مختلف انتقال، چرخش، پیچیده شدن و پدیده میانبری نیز مشاهده شده است. بیش از ۷۵ درصد جابه‌جایی محور رودخانه به‌سمت جناح چپ بوده، لذا احداث هرگونه سازه و راه در جناح چپ خطرآفرین خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** پلان‌فرم رودخانه، توسعه حلقه مئاندر، تنگدره، چندشاخه، سینوسی، مئاندر

## مقدمه

یکی از عوامل خارجی تغییر شکل دهنده پوسته زمین، جریان آب‌ها است. رودخانه‌ها که مجاری طبیعی انتقال آب در کره زمین‌اند، در تغییر سیمای کلی زمین نقش مهمی ایفاء می‌نمایند. توسط محققان مختلفی طبقه‌بندی رودخانه‌ها با معیارهای مختلف ارائه شده است. Davis (۱۸۹۹) از نظر مراحل رشد، رودخانه‌ها را به سه دسته جوان، رسیده و پیر تقسیم-

* مسئول مکاتبات: hrpeyrowan@yahoo.com

بندی نمود. سیستم‌های طبقه‌بندی رودخانه بر اساس معیارهای کیفی و توصیفی توسط Melton (۱۹۳۶) و Matthes (۱۹۵۶) ارائه شد. توسط Leopold و Wolman (۱۹۵۷)، رودخانه‌ها به سه دسته مستقیم، مئاندی و چندشاخه تقسیم‌بندی شد. Lane (۱۹۵۷) در مورد رودخانه‌های چندشاخه حدواسط و مئاندری، بین مقادیر شیب و دبی ارتباط برقرار نمودند. توسط Schumm (۱۹۶۳) طبقه‌بندی خود را بر اساس معیارهای پایداری رودخانه (پایدار، فرسایشی و رسوبگذار) و نوع رسوب رودخانه (بار معلق، بار کف و بار مخلوط) ارائه نمود.

Church و Rood (۱۹۸۳) بر پایه توصیفات صحرایی، Nanson و Crocke (۱۹۹۲) طبقه‌بندی رودخانه‌های دشتی را ارائه نمودند. Pickup (۱۹۸۴) بین منشاء رسوبات و مقادیر نسبی رسوب با نوع رودخانه ارتباط برقرار نموده است. Selby (۱۹۸۵)، ارتباط بین شکل و شیب کانال رودخانه با نوع آن را بررسی نمود. Schumm (۱۹۷۷) تبدیل رودخانه مئاندری به چندشاخه را بر اساس نسبت بارکف به بار کل تشریح نمود. Rosgen (۱۹۹۴) در طبقه‌بندی جامع خود با اطلاعات ۴۵۰ رودخانه در ایالات متحده آمریکا، کانادا و نیوزیلند بر اساس خصوصیات مورفولوژیکی همگن، هفت تیپ اصلی بر اساس میزان حفرشدگی کانال رودخانه، شیب، نسبت عرض به عمق و ضریب پیچشی و در هر تیپ، شش زیر تقسیم با معیارهای نوع بستر رودخانه از سنگ کف گرفته تا سیلتی و رسی بودن تقسیم‌بندی نمود.

Arshad و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از چهار سری تصویر ماهواره‌ای Landsat-TM و IRS-LISS-III در دوره زمانی ۱۳۸۲-۱۳۶۹، روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون در بازه گتوند تا ایستگاه فارسیات را بررسی نموده‌اند. نتیجه این تحقیق نشان داد که مقدار جابه‌جایی عرضی قوس‌ها در مناطقی به ۱۹۵۰ متر در طول ۱۳ سال رسیده و همچنین، تراکم و اندازه انحنای قوس‌ها به‌سمت پایین‌دست جابه‌جا شده‌اند.

Masoomi و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق خود با توجه به پیمایش‌های میدانی و استفاده از GIS در بازه زمانی حدود ۳۵ سال مورفولوژی رودخانه ساحلی زهره را در پریود زمانی ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۲ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که دو مورد قطع-شدگی کانال رودخانه رخ داده و تعداد پیچش‌ها از ۴۳ به ۴۸ مورد افزایش پیدا کرده و همچنین، ضریب خمیدگی از ۳/۵۹ به ۳/۰۶ کاهش یافته است. شعاع انحنای رودخانه و طول موج پیچش‌ها به‌ترتیب ۲۶ و ۰/۰۶ افزایش پیدا کرده است. بر اساس اندازه زاویه مرکزی به‌دست آمده، این رودخانه طبق رده‌بندی کورینز در رده رودخانه‌های پیچان‌رودی بیش از حد توسعه یافته قرار می‌گیرد. Yamani و همکاران (۲۰۱۰) در رودخانه اترک با استفاده از عکس‌های هوایی ۱۳۴۶ و تصاویر اسپات ۱۳۸۱ و کنترل‌های میدانی در دوره زمانی ۳۵ساله مشخص نموده‌اند که ضریب پیچشی از ۱/۵ به ۱/۳ تقلیل یافته است. طول موج و شعاع پیچان‌ها نیز افزایش داشته است.

کانال‌های طبیعی در سه شکل عمومی مستقیم[1]، چندشاخه‌ای[2] و پیچان‌رودی[3] مشاهده می‌شوند. هر یک از این کانال‌های طبیعی دارای خصوصیات هندسی و مورفولوژی خاص خود هستند. بر اساس خصوصیات پلان‌فرم و تغییرات فرسایشی، رودخانه سینوسی یا مئاندری به سه دسته عمده: رودخانه‌های کانالی شکل سینوسی[4]، رودخانه‌های بارگذار سینوسی[5] و رودخانه‌های چندشاخه‌ای سینوسی[6] قابل تقسیم‌بندی است. تغییرات شعاع و طول موج مئاندرهای رودخانه‌های مئاندری تمایل دارند که از قانون تجربی مئاندر تبعیت کنند، اما در طبیعت، ابعاد هندسی پیچان‌ها و چگونگی تحول آن‌ها همچنان با مدل ایده‌ال منحنی‌های سینوسی اختلاف قابل توجهی نشان می‌دهند. فرسایش کناری در حلقه‌های مئاندر با توسعه یافتگی[7]، انتقال[8] و یا تبدیل به یک لوپ پیچیده[9] همراه می‌باشد. این تغییرات به‌دلیل عوامل متفاوتی رخ می‌دهد، ولی با این حال، نحوه توزیع

[1] Straight
[2] Braided
[3] Meandering
[4] Sinuous Canaliform
[5] Sinuous Point Bar
[6] Sinuous Braided
[7] Extension
[8] Translation
[9] Compound

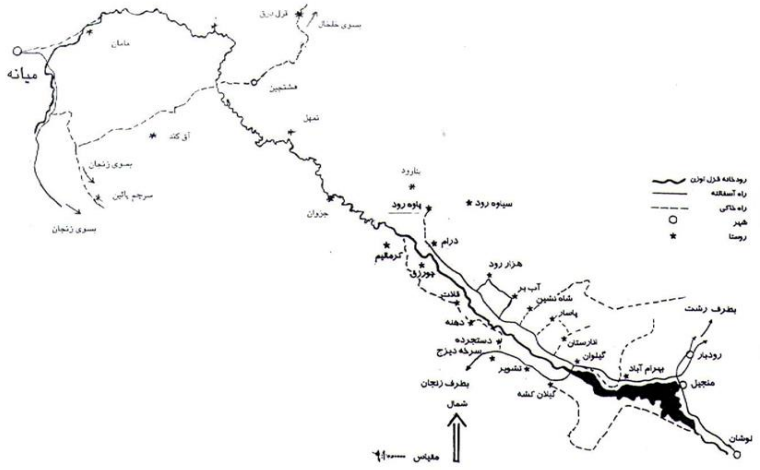
تنش برشی بر تغییرات مورفولوژی خمیدگی‌ها امری است، قابل ملاحظه و می‌توان پدیده‌های چرخش، انتقال و میانبری حلقه‌ها را به فرسایش بیشتر در محل تمرکز تنش‌های برشی بالا نسبت داد.

هیچ مدل اختصاصی و ویژه‌ای در خصوص مشخصات هندسی مئاندرهای طبیعی که کاربرد عمومی داشته باشد، وجود ندارد. زیرا خصوصیات هندسی مئاندرها از آغاز تشکیل تا مراحل پایانی (مرحله میانبری) بدون دستیابی به شکل پایدار و ویژه‌ای به‌طور پیوسته تغییر می‌نماید. با مقایسه عکس‌های هوایی سال‌های مختلف می‌توان نرخ فرسایش کناره‌ای رودخانه‌ها را به‌دست آورد. اگر چه به اعتقاد Nanson و Hickin (۱۹۸۳) این نرخ می‌تواند در پریودهای مختلف زمانی از یک سال به سال‌های دیگر به‌طور غیر قابل پیش‌بینی شده‌ای بالا و پایین برود، با وجود این واقعیت، داشتن یک نرخ فرسایش تخمینی از نداشتن آن بهتر است، زیرا به کمک این نرخ می‌توان میزان جابه‌جایی سواحل رودخانه را در یک پریود زمانی مشخص حدس زد. زیرا اگرچه نرخ فرسایش با ایجاد پدیده میانبری (طبیعی یا مصنوعی) افزایش می‌یابد، اما تأثیر آن در نوسانات این نرخ به‌ندرت قابل ملاحظه است.

در این تحقیق، رودخانه قزل‌اوزن بر اساس، شکل پلان و تغییرات آن و سپس ابعاد هندسی لوپ‌های منفرد و تغییرات دوره‌ای آن و سپس ترکیب کلی پلانفرم رودخانه قزل‌اوزن بررسی شده است. شناخت نوع رودخانه در طبقه‌بندی‌های موجود کمک شایان توجهی در پیش‌بینی رفتار فرسایشی رودخانه و مدیریت آن خواهد داشت.

## مواد و روش‌ها

**موقعیت منطقه مورد پژوهش:** رودخانه قزل‌اوزن که از ارتفاعات مستور از برف چهل چشمه کردستان واقع در ۶۰ کیلومتری شمال شرق سنندج سرچشمه می‌گیرد. پس از طی مسافتی حدود ۶۶۰ کیلومتر همراه با شاخه شاهرود به پشت سد منجیل می‌ریزد و از آن‌جا به نام سفیدرود به‌سمت دریای خزر جریان می‌یابد. این رودخانه بزرگ یکی از دو شاخه مهم سفیدرود است که آب‌های مناطق وسیعی از استان‌های کردستان، همدان، اردبیل، آذربایجان و زنجان را جمع‌آوری و در سد منجیل به همراه شاهرود به سفیدرود می‌پیوندد. موقعیت جغرافیایی رودخانه قزل‌اوزن در شکل ۱ نشان داده شده است.




**شکل ۱** – مسیر کانال رودخانه قزل‌اوزن، موقعیت روستاها و مراکز جمعیتی و راه‌های دسترسی محلی گستره طرح

**واحدهای ژئومورفولوژیکی منطقه قزل‌اوزن:** ناحیه مورد مطالعه که بخشی از حوزه آبخیز رودخانه قزل‌اوزن را تشکیل می‌دهد، در بخش غربی سلسله جبال البرز که خود قسمتی از چین‌خوردگی آلپ-هیمالیا می‌باشد، واقع شده است. این ناحیه از نظر توپوگرافی به سه بخش مشابه و یکسان تقسیم‌بندی می‌شود و از شمال به‌سمت جنوب به قرار زیر می‌باشد.

۱- رشته کوه‌های طالش در مرحله تکاملی از نظر

فرسایش، هوازدگی و آب بریدگی، ۲- دره رودخانه قزل‌اوزن و ۳- رشته‌کوه‌های طارم در مرحله تکاملی از نظر فرسایش، هوازدگی و آب بریدگی.

همان‌طور که در بالا اشاره شد، رودخانه قزل‌اوزن در دره واقع بین رشته کوه‌های طارم و طالش جریان دارد. ارتفاعات مذکور دارای امتداد شمال غربی-جنوب شرقی بوده که از روند تاقدیس‌ها و ناودیس‌های منطقه پیروی می‌کنند. دره قزل‌اوزن هم نیز محور یکی از همین ناودیس‌ها می‌باشد.

**روش پژوهش:** از محل سد استور تا سد منجیل به‌طول حدود ۱۹۵ کیلومتر تغییرات زمانی مورفولوژی رودخانه قزل‌اوزن در دو بازه سنگی و دشت‌سیلابی طی مراحل زیر بررسی شد.

۱- انجام بازدیدهای میدانی و ثبت شواهد صحرایی در زمینه شکل رودخانه و نحوه فرسایش آن

۲- رسم پلان رودخانه بر اساس عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ و نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی سال ۱۳۷۱ منطقه و اندازه‌گیری تغییرات دوره زمانی یاد شده.

با تهیه پلان رودخانه در سال‌های متوالی و تعیین خط مرکزی[1] (خطی که با اتصال نقاط وسط عرض کانال رودخانه به‌دست می‌آید) بر روی آن، نقاط نظیر بر روی محور کانال دو به دو با هم مقایسه شده و فواصل میان آن‌ها محاسبه شد. با توجه به این که رسم خط‌القعر رودخانه به‌دلیل کمبود امکانات و اطلاعات امکانپذیر نیست، رسم خط محوری کانال بر اساس توصیه سایر محققان انجام گرفته است. سپس توزیع فراوانی این فواصل رسم تا متوسط فاصله فرسایش ساحل[2] به‌دست آید. با تقسیم این مقدار بر مدت زمان لازم برای ایجاد این فاصله، متوسط نرخ فرسایش[3] حاصل شد.

۳- طبقه‌بندی مورفولوژیکی رودخانه و تغییرات ضریب پیچشی آن در دو بازه کوهستانی و دشت‌سیلابی بر اساس شواهد صحرایی و نقشه‌های موجود.

ملاک‌های دسته‌بندی رودخانه قزل‌اوزن بر اساس میزان ضریب پیچشی، وجود میانبار در پیچ‌های خارجی و یا در وسط کانال و وجود کانال‌های متعدد در مسیر رودخانه بوده است.

۴- بررسی شکل‌شناسی حلقه‌های مئاندر و تعیین مشخصه‌های حلقه‌های مئاندر شامل: شعاع، طول موج، ارتفاع موج، زاویه مرکزی، ضریب پیچشی جزئی و چگونگی رشد آن‌ها در دوره زمانی ۳۷ساله در مورد ۲۶۷ لوپ در دو بازه کوهستانی و دشت سیلابی.

واژه لوپ و مئاندر گرچه مشابه و مترادف هم به‌کار می‌رود، ولی به عقیده Leopold و Wolman (۱۹۶۰) به یک جفت لوپ متقابل و متوالی مئاندر گفته می‌شود. لوپ‌ها به سه حالت ساده منظم، ساده نامنظم و پیچیده نامنظم تقسیم می‌شوند. لوپ متقارن ساده به‌طور فرضی از یک کمان دایره‌ای تشکیل شده که در اثر رشد و تبدیل به دو کمان فرضی می‌تواند به لوپ ساده نامتقارن تبدیل شود. در اثر رشد یک کمان جدید بر روی کمان ثانویه، لوپ نامتقارن پیچیده حاصل می‌شود. در این حالت دو لوپ متوالی الزاماً در مقابل هم قرار نمی‌گیرند و ممکن است که انحناء هر دو لوپ با ادامه رشد بر میزان ارتفاع آن دو بیافزاید.

## نتایج و بحث

در این قسمت نتایج بررسی انجام شده در طول مسیر از کیلومتر ۴۸ پایین‌دست سد استور (منطقه ملاجین) تا کیلومتر ۲۱۰/۵ در منطقه هندی‌کندی به‌طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر از سه جنبه نظر نوع مورفولوژی و تیپ رودخانه، میزان جابه‌جایی دوره زمانی ۳۷ساله و شکل‌شناسی و تغییر شکل و روند تکاملی حلقه‌های مئاندر به شرح زیر ارائه شده است.

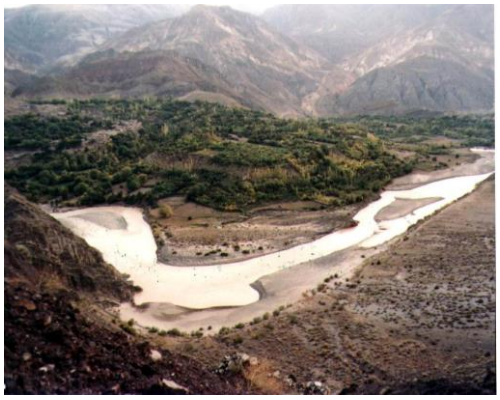
**دسته‌بندی تیپ رودخانه در طول مسیر (به تفکیک):** حدود دو سوم طول بازه ۱۹۵ کیلومتری رودخانه قزل‌اوزن مربوط به بازه سنگی و یک سوم آن در بازه دشت سیلابی می‌باشد. طولانی‌ترین بازه‌ها که در مقابل فرسایش مقاوم می‌باشد، در بازه سنگی به‌ترتیب بازه ۱۶/۶۶ کیلومتری (از کیلومتر ۱۰۰/۸۴ تا ۱۱۷/۵پایین‌دست سد استور و شامل مناطق گلوجه، جیزوان و محل اتصال رودخانه زل) و بازه ۱۰/۸ کیلومتری (از کیلومتر ۱۳۶/۸ تا ۱۴۷/۶ پایین‌دست سد استور و شامل مناطق کلوچ، چنارلق و لیس و محل اتصال رودخانه شاهرود) است.

[1] Center line
[2] Median bank erosion distance
[3] Median erosion distance

در بازه کوهستانی، در مناطقی مانند منطقه قشلاق پاوه‌رود، الگوی رودخانه از حالت مستقیم به حالت مئاندری تبدیل یافته است و در نواحی دیگر، جابه‌جایی‌ها، محدود به کناره‌ها اتفاق افتاده است. در کل بازه کوهستانی، فرسایش کناری مانند منطقه گاو، رودخانه به‌طور غالب با حرکت حلقه مئاندر به‌سمت پایین‌دست همراه بوده است. گرچه رودخانه در بازه کوهستانی به‌طور عمده کانالی شکل و به دو حالت مستقیم و مئاندری مشاهده می‌شود، ولی در مقاطع محدودی نیز چندشاخه شده است. رشد حلقه‌های مئاندر محدود به عرض دره سنگی مسیر عبور رودخانه است. شکل ۲ ویژگی پوئینت‌بار سینوسی رودخانه قزل‌اوزن در محل تنگ‌دره واقع در روستای کلوچ را نشان می‌دهد.

از سد پاوه‌رود به پایین‌دست که منطقه دشت-سیلابی شروع می‌شود، تغییرات الگوی رودخانه و جابه‌جایی کناره کانال به نحو شدیدی انجام گرفته است و بیشترین فرسایش کناری رودخانه در کیلومتر ۱۷۷/۲ پایین‌دست سد استور و در منطقه گچی‌قشلاق صورت گرفته است که ضمن تغییر الگوی رودخانه به حالت چندشاخگی، فرسایش کناری رودخانه تا ۹۵۰ متر صورت گرفته است (طی ۳۷ سال). همچنین، از کیلومتر ۱۸۲/۸ تا ۱۸۵/۸ پایین‌دست سد استور (از منطقه هارون‌آباد تا منطقه کوه‌کن و شامل منطقه ونیسر) بیشترین فرسایش کناری رودخانه به شکل مهاجرت حلقه‌های مئاندری به پایین‌دست به میزان ۸۵۰ متر صورت گرفته است. طولانی‌ترین بازه که در آن الگوی کانال رودخانه تغییر نموده است، بازه ۱۵/۷ کیلومتری (از کیلومتر ۱۶۳/۵ تا ۱۷۸/۵ پایین‌دست سد استور و از منطقه جورزق و جزلان دشت تا آستاگل) می‌باشد که بیشترین فرسایش‌پذیری رودخانه نیز در این ناحیه می‌باشد. بیشترین الگوی چند شاخه‌ای نیز در این ناحیه می‌باشد. در شکل ۳، ویژگی چندشاخگی مئاندری رودخانه در ناحیه روستای گچی‌قشلاق ملاحظه می‌شود که تدریجاً با افزایش میزان بار کف، رودخانه در پایین‌دست به حالت چندشاخه تبدیل می‌شود.

آنچه که قابل توجه است، این است که بررسی پدیده مئاندرینگ رودخانه قزل‌اوزن از نظر مدل‌سازی و تحقیق صحرایی (مانند میخ‌گذاری ساحل رودخانه) می‌بایست، در بازه دشت‌سیلابی انجام گیرد. چون در این بازه است که گسترش پدیده مئاندرینگ ناشی از توان رودخانه[1] و فرسایش‌پذیری کناره رودخانه است، ولی در بازه کوهستانی، بستر و پیچ و خم‌دار، بر اثر فرسایش‌پذیری کناره و توان رودخانه به‌وجود نیامده است، بلکه رودخانه در چنین بستری جریان پیدا کرده و پیچان‌رودی به تکتونیک فعال و زمین‌شناسی ارتباط زیادی پیدا می‌کند (Peyrowan، ۲۰۰۰).



**شکل ۲**- ویژگی پوئینت‌بار سینوسی (Sinuous Point Bar) رودخانه قزل‌اوزن در محل تنگ‌دره، روستای کلوچ

**شکل ۳**- ویژگی چند شاخه‌ای مئاندری (Sinuous Braided) رودخانه قزل‌اوزن، غرب روستای گچی قشلاق

**میزان جابه‌جایی کناره رودخانه به‌سمت سواحل راست و چپ:** فراوانی جابه‌جایی کناره رودخانه به‌سمت سواحل راست و چپ (به درصد) بر اثر فرسایش (میانبر آبشاری-میانبر آبشاری توام با چندشاخگی-مئاندری و مهاجرت-جابه‌جایی‌ساده) و رسوبگذاری و نیز چندشاخگی به‌سمت هر دو ساحل در بازه دشت‌سیلابی (فرسایش‌پذیر) بر اساس مقایسه

[1] Stream Power

پلان رودخانه در دو دوره زمانی سال ۱۳۳۴ با سال ۱۳۷۱ به شرح جدول ۱ است.

**جدول ۱**- جابه‌جایی جانبی کانال رودخانه قزل‌اوزن در بازه دشت سیلابی (اعداد به درصد)

| جهت جابه‌جایی | درصد فراوانی | فرسایش | | رسوبگذاری |
|---|---|---|---|---|
| به‌سمت ساحل چپ | ۶۳/۳ | میانبر طوقه‌ای | ۳/۸ | ۲۶/۶ |
| | | میانبر آبشاری و چندشاخگی | ۱/۳ | |
| | | چندشاخگی | ۱۲/۷ | |
| | | جابه‌جایی حلقه مئاندر | ۲/۵ | |
| | | جابه‌جایی ساده | ۱۶/۴ | |
| | | جمع کل | ۳۶/۷ | |
| به‌سمت ساحل راست | ۲۶/۶ | میانبر آبشاری | ۶/۳ | ۶/۳ |
| | | جابه‌جایی حلقه مئاندر | ۲/۵ | |
| | | جابه‌جایی ساده | ۱۱/۵ | |
| | | جمع کل | ۲۰/۳ | |
| جابه‌جایی به هر دو طرف در شرایط چندشاخگی | ۱۰/۱ | | | |

**شکل‌شناسی و روند تغییر شکل حلقه‌های مئاندر:** با توجه به ویژگی غالب مورفولوژی مئاندری رودخانه قزل‌اوزن حلقه‌های مئاندر رودخانه در دو بازه سنگی و دشت‌سیلابی بررسی شد و پارامترهای هندسی آن محاسبه و اندازه‌گیری شد که در جدول ۲ نتایج آن ارائه شده است.

**جدول ۲**- میانگین خصوصیات هندسی رودخانه قزل‌اوزن

| | بازه دشت سیلابی | بازه کوهستانی | کل بازه مورد مطالعه |
|---|---|---|---|
| طول موج میانگین | $\overline{\lambda}_2$ =۶۲۸/۰۸<br>۵۰۱/۳۹= انحراف معیار | $\overline{\lambda}_1$ =۲۵۲/۰۲<br>۳۷۰/۹۷= انحراف معیار | $\overline{\lambda}$ =۵۴۸/۲۴<br>۴۰۴/۸۵= انحراف معیار |
| میانگین حسابی عرض حلقه‌های مئاندر | $(\overline{B}_2)$ =۶۷/۲۶ | $(\overline{B}_1)$ =۳۰/۸۶ | $(\overline{B})$ =۳۹/۰۶ |
| میانگین حسابی زاویه مرکزی قوس‌های | $(\overline{C}_2)$ =۱۰۵/۰۸° | $(\overline{C}_1)$ =۱۴۰/۵۵° | $(\overline{C})$ =۱۳۲/۵۶° |
| میانگین حسابی ضریب سینوزیته | $S_1$=۱/۲۲ | $S_2$=۱/۴۶ | S=۱/۴ |

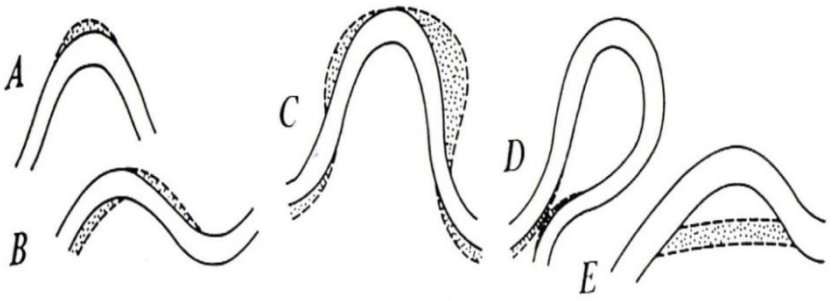
**جدول ۳**- میزان رشد حلقه‌های پیچان‌رودی در رودخانه قزل‌اوزن بر اساس اندازه زاویه مرکزی

| شکل رودخانه | درصد فراوانی | زاویه مرکزی (درجه) |
|---|---|---|
| شبه پیچان‌رود | ۰/۹۳ | ۰-۴۱ |
| پیچان‌رود توسعه‌نیافته | ۱۵/۱۲ | ۴۱-۸۵ |
| پیچان‌رود توسعه‌یافته | ۵۷/۷۲ | ۸۵-۱۵۸ |
| خیلی توسعه‌یافته | ۲۵/۹۳ | ۱۵۸-۲۹۶ |
| نعل اسبی (Ox-Bow) | ۰/۳۱ | >۲۹۶ |

برای چندین دهه، محققان و مهندسین توزیع سرعت و تنش برشی در خم رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند، چرا که این دو پدیده، تاثیر غالب و مهمی روی جابه‌جایی و تغییر شکل چم رودخانه‌ها دارند. Rodi در سال ۱۹۸۴ جریان ثانویه وگرادیان طولی فشار کل را به‌عنوان دو عامل اصلی در نحوه توزیع سرعت و تنش برشی بستر بازه‌های پیچان‌رودی رودخانه‌ها عنوان کرده است (Rodi و Leschziner، ۱۹۷۸).

جریان‌های ثانویه به‌واسطه خاصیت پیچشی جریان در داخل مقاطع عرضی، باعث انتقال جانبی اندازه حرکت طولی جریان و به عبارت دیگر، انتقال جریان پرسرعت به‌سمت ساحل کناری و در نتیجه افزایش تنش برشی اعمالی از طرف جریان به کف و کناره‌های رودخانه می‌شود. گرادیان فشار ناشی از تغییر تراز سطح آب در امتداد جداره‌های داخلی و خارجی، می‌تواند منجر به انتقال جریان پرسرعت به طرف کناره‌های داخلی و یا خارجی شود، به‌طوری که در ورودی بازه‌های پیچان‌رودی به‌واسطه کاهش تراز سطح آب در امتداد کناره داخلی و در مقابل، افزایش عمق جریان در امتداد کناره خارجی، سرعت جریان در امتداد کناره داخلی افزایش می‌یابد و اندازه حرکت طولی جریان به‌سمت کناره داخلی قوس منتقل می‌شود. در خروجی بازه‌های پیچان‌رودی، عکس حالت فوق رخ داده و کاهش عمق جریان در امتداد کناره بیرونی منجر به ایجاد گرادیان منفی فشار در جهت طولی رودخانه و افزایش سرعت می‌شود.

لازم به ذکر است که اندرکنش عوامل مذکور جریان ثانویه و گرادیان فشار، عوامل هندسی چم و مشخصات جریان و رسوب منجر به اعمال تنش‌های برشی با توزیع‌های متفاوت به بستر و کناره‌های رودخانه شده و در نتیجه باعث ایجاد تغییرات در شکل چم‌ها به‌صورت‌های مختلف می‌شود که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود. با مقایسه خط مرکزی رودخانه در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۱ ملاحظه شد که حالات مختلف فرسایش ساحلی و میانبری در حلقه‌های مئاندر وجود دارد که در شکل ۴ حالات غالب نشان داده شده است.




A = توسعه‌یافتگی (Extension)
B = انتقال (Translation)
C = چرخش (Rotation)
D = تبدیل به لوپ پیچیده (Conversion) و میانبری طوقه‌ای (Neck-cut off)
E = میانبری آبشار (Chute-cut off)

**شکل ۴**- حالات مختلف توسعه حلقه‌های مئاندر

توضیح هر یک از حالات ذکر شده در شکل ۴، به قرار زیر است.

۱- **گسترش**: حالتی است که حرکت خمیدگی رودخانه عمدتاً در جهات جانبی است (شکل ۴A)

۲- **انتقال**: حالتی است که الگوی کلی مئاندر محفوظ باقی‌مانده، ولی در جهت پایین‌دست رودخانه حرکت می‌کند (شکل ۴B)

۳- **چرخش**: حالتی است که در آن خمیدگی رودخانه در جهت پایین‌دست می‌چرخد (شکل ۴C)

۴- **میانبری**: در اثر ایجاد تنداب‌ها ایجاد می‌شود (شکل ۴E)

۵- **تبدیل**: تبدیل یک لوپ ساده به یک لوپ پیچیده (شکل ۴D)

۶- هر گونه ترکیب ممکن از حالات فوق.

در رودخانه قزل‌اوزن حالات اشاره شده بالا بررسی شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است که برخی از حلقه‌های مئاندر محدود به کانال سنگی در بازه کوهستانی امکان رشد در راس

حلقه نداشته‌اند و فقط به‌صورت جانبی رشد کرده است که ۴/۱ درصد حالات رشد را شامل است.

**جدول ۴**- درصد مشاهده شده حالات مختلف حلقه‌های مئاندر در رودخانه قزل‌اوزن

| نوع توسعه حلقه مئاندر | درصد مشاهده شده |
|---|---|
| توسعه‌یافتگی | ۵۶/۲ |
| انتقال | ۱۶/۵ |
| چرخش | ۹/۶ |
| تبدیل به حلقه پیچیده | ۲/۷ |
| میانبری آبشاری | ۹/۶ |
| میانبری طوقه‌ای | ۱/۳ |
| گسترش جانبی | ۴/۱ |

در مورد رودخانه قزل‌اوزن توزیع حالات مختلف فرسایش به قرار زیر است (در بازه مورد مطالعه از ملاجین تا هندی‌کندی).

فرسایش حالت A (شکل ۴) بیشترین حالت فرسایش در رودخانه می‌باشد که در ۴۱ حلقه فرسایش کناری به‌صورت توسعه یافتگی می‌باشد. کمترین حالت فرسایش، تشکیل حلقه‌های مئاندر نامتقارن و نامتقابل است که در منطقه کوهستانی فقط در منطقه درام و بین لوپ‌های شماره ۲۵۴ و ۲۵۵ روند پیشرفت الگوی رودخانه‌ای به‌سمت میانبر طوقه-ای پیش می‌رود. فرسایش حالت C در هفت لوپ دیده شده است (چرخش). فرسایش حالت B (انتقال) در ۱۲ لوپ دیده می‌شود. در هفت لوپ نیز حالت میانبر آبشاری دیده می‌شود (حالت E).

فرسایش حالت D (تبدیل به لوپ پیچیده) در دو لوپ دیده می‌شود و در سه لوپ نیز فرسایش به‌صورت گسترشی جانبی می‌باشد. شایان ذکر است که گسترش جانبی فقط در بازه کوهستانی وجود دارد و دلیل ایجاد چنین فرسایشی این است که قله یا رأس لوپ دارای ساحلی‌سنگی می‌باشد، ولی در دو طرف قله لوپ ممکن است، کناره رودخانه فرسایش‌پذیرتر باشد. در نتیجه حالت فرسایش جانبی به‌وقوع خواهد پیوست. همچنین، الگوی میانبر آبشاری غالباً در بازه دشت سیلابی دیده می‌شود که دلیل آن نیز فرسایش‌پذیری شدید کناره رودخانه در مناطق‌خاصی از بازه دشت سیلابی می‌باشد.

به‌طور کلی از ۲۶۷ لوپ مورد بررسی، ۷۳ لوپ از پنج الگوی یاد شده (A,B,C,D,E) پیروی می‌کنند و در بقیه لوپ‌ها یا فرسایش روی نداده است (غالباً در بازه کوهستانی) یا این‌که الگوی رودخانه به حالت شاخه شاخه در آمده است که مشخص نیست در این فاصله (در فاصله تبدیل الگوی رودخانه به شاخه شاخه) چه الگوهایی را پشت سر گذاشته است، چون سیمای رودخانه فقط در دو مقطع زمانی سال ۱۳۳۴ و۱۳۷۱ در دسترس بوده است. اغلب مئاندرها در اثر نزدیک‌شدن لبه‌های لوپ و یا تشکیل یک شوت، میانبر می‌شوند. میانبر گردنی خاص رودخانه‌های پوئینت‌باری و کانالی شکل است. هر چه درجهٔ چندشاخگی افزایش یابد، امکان تشکیل میانبر آبشاری محتمل‌تر است.

**نحوه توسعه و شکل‌گیری پلان رودخانه:** در بازه دشت سیلابی بیشترین موارد جابه‌جایی کانال رودخانه به‌سمت ساحل چپ بوده و در بین انواع الگوهای فرسایش، جابه‌جایی ساده کناره رودخانه و چندشاخگی به‌ترتیب بیشترین فراوانی را به‌خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که گفته شد رودخانه قزل‌اوزن در بازه سنگی با ضریب پیچشی متوسط ۱/۴۶ و در بازه دشتی با مقدار متوسط ۱/۲۲ با توجه به جدول ۵ به‌ترتیب در زمره رودخانه پیچان‌رودی و سینوسی دسته‌بندی می‌شود. عامل ضریب پیچشی بالاتر در بازه سنگی مربوط به عوامل زمین‌ساختی و زمین‌شناختی است، به بیان دیگر الگوی رودخانه به تبعیت از کانال سنگی شکل گرفته از عوامل یاد شده تکامل یافته است (Peyrowan و همکاران، ۲۰۱۱).

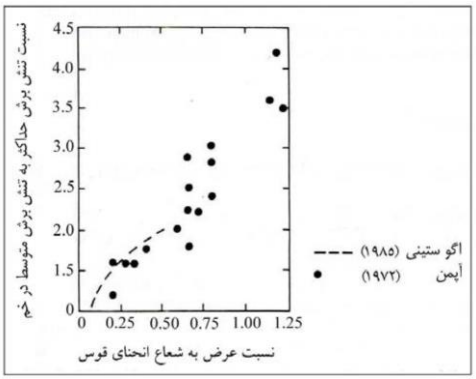
**جدول ۵**- میزان پیچشی بودن رودخانه بر اساس ضریب ضریب پیچشی میانگین

| ضریب پیچشی | ۱-۱/۰۵ | ۱/۰۶-۱/۲۵ | ۱/۲۵-۲ | >۲ |
|---|---|---|---|---|
| نوع رودخانه | مستقیم | سینوسی | پیچان‌رودی | پیچان‌رودی شدید |

در بازه دشتی در حد فاصل سد پاوه‌رود تا سد منجیل به‌طول ۶۰ کیلومتر رودخانه سه پلان مشخص سینوسی کانالی شکل، سینوسی پوینت‌بار، سینوسی بریدد و چندشاخگی و آناستومیزینگ نشان داده است. رودخانه قزل‌اوزن در حالت سینوسی کانالی شکل با دارابودن کمترین عرض، بالاترین ضریب پیچشی و کمترین نرخ فرسایش مشخص است. فرسایش کناری در این بازه در حلقه‌های مئاندر عموماً نتیجه ترکیب دو فرایند گسترش و انتقال است. در مناطقی که رودخانه به‌صورت سینوس پوینت‌بار مشخص است، با تشکیل پوینت‌بار رودخانه در محور خمیدگی خود عرض خود را افزایش داده است.

در این بازه، مقاومت داتی کناره‌ها نسبت به شیب و دبی نسبت به بازه سینوسی کانالی فرم کمتر است. با کاهش مقاومت کناره‌ها یا با افزایش مقدار بار کف، خمیدگی‌ها تمایل به بی‌قاعدگی نشان داده و با کاهش مقاومت کناره‌ها و افزایش مقدار بار کف، درجه شاخه-شاخه‌شدگی افزایش یافته و پوینت‌بارها بی‌قاعده‌تر و شاخه‌ای‌تر گشته و نوع رودخانه به تیپ سینوسی چندشاخه تغییر حالت پیدا کرده است. با افزایش شیب و در نتیجه انتقال بار کف بیشتر، از یک سو و کاهش مقاومت کناره رودخانه از سوی دیگر، ضریب پیچشی رودخانه کمتر شده و بیشتر به حالت چندشاخه‌ای در آمده است. در این بازه‌ها میانبارها در امتداد سواحل رودخانه مشاهده نشده و به نوع رودخانه غیرسینوسی چندشاخه تبدیل شده است. در بازه چندشاخه قزل‌اوزن، پشته‌ها و جزایر رسوبی متعددی شکل گرفته است که سبب سرگردانی در خط‌القعر رودخانه شده است.

**نحوه توسعه و شکل‌گیری حلقه‌های مئاندر:** عوامل موثر بر توزیع تنش برشی در پیچ‌ها عبارتند از ۱- شعاع انحناء نسبی، ۲- نحوه توزیع سرعت در مقطع ورودی پیچ زاویه تتا، ۳- نسبت عرض به عمق، ۴- عدد رینولدز، ۵- عدد فرود، ۶- عامل زبری بستر و ۷- نحوه تغییرات مقطع در قسمت ورودی-میانی و خروجی پیچ. شکل ۵ تغییرات نسبت بیشینه تنش برشی ایجاد شده در قوس به تنش برشی متوسط در مقابل تغییرات عکس شعاع را نشان می‌دهد.




**شکل ۵**- تغییرات نسبت بیشینه تنش برشی به تنش متوسط در قوس بر اساس تغییرات انحنای قوس (Hemphill و Bramley، ۱۹۹۰)

شعاع انحناء نسبی به نظر می‌رسد که مهمترین عامل در تعیین توزیع تنش برشی در یک خمیدگی باشد. یک خمیدگی با شعاع انحناء نسبی بزرگ‌تر از ۳/۵، در مقطع ورودی خمیدگی، دارای توزیع تنش برشی یکنواخت بوده و یک منطقه تنش برشی بالا نزدیک دیواره خارجی مقطع خروجی به‌وقوع می‌پیوندد. به محض این که شعاع انحناء نسبی یک خمیدگی از ۳/۵ کمتر شود، دو منطقه تنش برشی بالا یکی در دیواره خارجی مقطع خروجی و دیگری در دیواره داخلی مقطع ورودی خمیدگی به‌وجود می‌آید.

وقتی شعاع انحناء نسبی یک خمیدگی رودخانه‌ای تا مقدار ۱/۲۵ کاهش یابد، تنش برشی بیشینه به‌سمت محدوده طولی دیواره داخلی پیچ حرکت نموده و پدیده میانبری آبشاری از سمت دیواره داخلی رخ خواهد داد. خمیدگی رودخانه قزل‌اوزن در حالات مختلف تغییریافته و جابه‌جایی نشان می‌دهد که این گونه تغییرات ناشی از عوامل مختلف و به سبب فرسایش در محل‌های تمرکز تنش برشی بیشینه است.

**ارتباط بین شیب و چندشاخه‌ای شدن رودخانه:** بررسی مورفولوژی رودخانه در طول مسیر مطالعاتی و میزان و نحوه رشد ۳۲۱ حلقه مئاندر رودخانه نشان داد که در منطقه چورزق از جزلان دشت تا آستاگل رودخانه در بازه‌ای از مسیر خود (از لوپ شماره ۲۶۵ تا لوپ شماره ۲۸۲) الگوی شاخه‌شاخه دارد که شیب رودخانه در این بازه ۰/۰۰۱۹ می‌باشد و در بازه بالادست آن رودخانه الگوی کانالی نشان می‌دهد (در این بازه و در وسط رودخانه میانبار نیز مشاهده می‌شود) که شیب بازه ۰/۰۰۵۰ می‌باشد و در بازه پایین‌دست آن شیب به ۰/۰۰۲۵ تغییر یافته است. لذا می‌توان دریافت که تغییر الگوی رودخانه از حالت کانالی به حالت شریانی با کاهش شیب همراه بوده است و مجدداً که رودخانه حالت کانالی به خود گرفته است، شیب افزایش یافته است. دلیل این امر آن است که با کم شدن شیب رودخانه، توان رودخانه کم می‌شود و رودخانه به اجبار رسوبگذاری خواهد نمود و در ابتدا و در مرحله عادی خود[1] به‌علت حضور پشته‌ها و جزایر رسوبی کوچک میان‌کانالی، حالت چندشاخگی نشان می‌دهد.

از طرفی با توجه به این‌که در بازه بالادست قسمت شریانی رودخانه، جزایر رسوبی کوچک میان کانالی وجود دارد و شیب این قسمت از شیب ناحیه شریانی بیشتر است و نیز با توجه به این‌که شروع ناحیه شریانی در پریود ۳۷ساله مورد مطالعه، به‌سمت بالادست انتقال‌یافته است (یعنی حالت شاخه‌شاخه در بالادست بازه چندشاخگی قدیمی، نیز به‌وجود آمده است) می‌توان نتیجه گرفت که در فرایند چندشاخگی شدن رودخانه، ابتدا جزایر رسوبی کوچک میان کانالی، به‌وجود می‌آیند و رودخانه به‌طور موضعی چندشاخه می‌شود[2]، سپس با کمتر شدن مجدد شیب، توان رودخانه بیشتر کاهش می‌یابد و پشته‌های بزرگ‌تر (در مقایسه با عرض کانال) و جزایر گوناگون به‌وجود آمده و رودخانه به‌طور عمومی چندشاخه[3] می‌شود.

لذا می‌توان انتظار داشت که بازه چندشاخه در آینده همچنان به‌سمت بالادست پیشروی کند و از حالت چندشاخگی موضعی به حالت چندشاخگی عمومی برسد. یعنی چندشاخگی رودخانه به‌سمت منطقه چورزق پیش خواهد رفت. با توجه به این‌که طی ۳۷ سال، پیشروی منطقه چندشاخه، ۱/۲ کیلومتر بوده است، اگر این پیشروی یکنواخت فرض شود، سرعت متوسط پیشروی بازه چندشاخه ۳۲ متر در سال می‌باشد. البته این مطلب که این پیشروی تا کجا ادامه خواهد یافت، بستگی به جنس مصالح کناره‌های رودخانه و سیلاب‌های ناگهانی دارد. یعنی هر چه فرسایش‌پذیری کناره‌ها بیشتر باشد و سیلاب-های بیشتری اتفاق افتد، پیشروی بازه چندشاخه به‌سمت بالادست تشدید خواهد شد.

**ارتباط بین شیب و پیچان‌رودی شدن:** در رابطه با ارتباط بین تغییرات سینوزیته نسبت به شیب کف رودخانه در طول مسیر رودخانه قزل‌اوزن، چون دبی رودخانه در طول مسیر آن متفاوت است و بار کف (جنس مصالح بستر رودخانه) نیز از یک بازه به بازه دیگر رودخانه فرق می‌کند، لذا تغییرات سینوزیته نسبت به شیب کف مجرا، از روند خاصی تبعیت نمی‌کند و بالاترین ضریب سینوزیته (۲/۸) مربوط به شیب حدود ۰/۲۶ درصد می‌باشد. در حالی‌که در همین شیب و شیب‌های نزدیک به آن ضریب سینوزیته ۱/۲ نیز وجود دارد. لازم به ذکر است که بالاترین ضریب سینوزیته در یک بازه کوهستانی و بین منطقه قشلاق بنارود و کلوچ واقع شده است که البته نمی‌توان گفت این ضریب سینوزیته در اثر گسترش الگوی پیچان‌رودی به‌وجود آمده است، چون همان‌طور که از شواهد صحرایی مشهود است، در طول پریود زمانی ۳۷ سال هیچ گونه فرسایش کناری در این

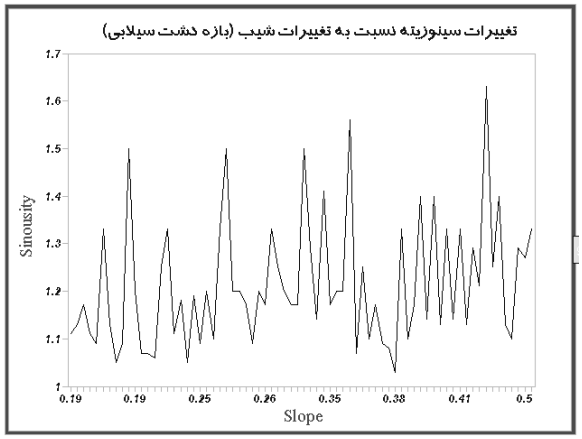
[1] Normal Stage

[2] Locally Braided
[3] Generally braided

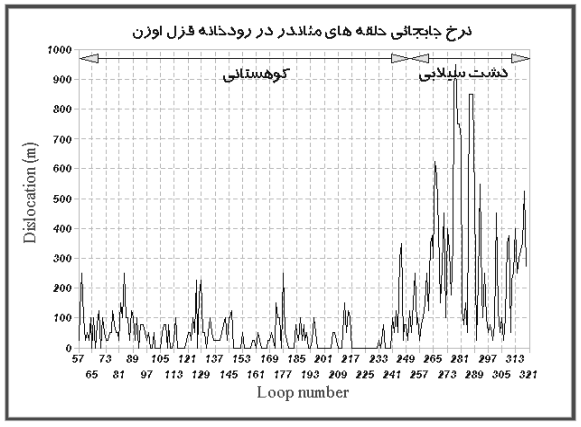
منطقه صورت نگرفته است، لذا می‌توان گفت که رودخانه از خیلی وقت پیش در یک مسیر مئاندری جریان یافته است، نه این‌که رودخانه باعث مئاندری شدن مسیر شده باشد.

در مورد تقسیم‌بندی شیب نیز ذکر این نکته ضروری است که تقسیم‌بندی شیب از روی نقشه توپوگرافی ۵۰۰۰۰: ۱ و غالبا در بازه‌های که خطوط تراز ۲۰ متری رودخانه را قطع نموده‌اند، محاسبه شده‌اند. لذا منحنی ارائه شده توسط Schumm و Khan ( ۱۹۷۲) که در شرایط آزمایشگاهی و دبی و بار کف ثابت می‌باشد، برای حالات طبیعی مشابه این پروژه صادق نمی‌باشد. به‌علاوه مسائل تکتونیکی نیز در این مورد دخالت دارد که مطالعه اخیر این موضوع را به اثبات رسانده است.

سینوزیته جزء به جزء حلقه‌های مئاندر، برای منطقه دشت سیلابی، محاسبه شد و سپس تغییرات آن نسبت به شیب کف رودخانه که از طریق نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به‌دست آمده است، نشان داده شد (شکل ۶). همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، آن چه که در مورد طول مسیر رودخانه قزل‌اوزن گفته شد، در این مورد نیز وجود دارد و حتی از روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ مواردی را می‌توان یافت که رودخانه در منطقه دشت سیلابی جریان دارد و حالت شاخه‌شاخه به خود گرفته است، ولی شیب رودخانه در این حالت کمتر از حالتی است که رودخانه به‌صورت مستقیم است و مقطع آن کانالی شکل می‌باشد. به عبارت دیگر شیب رودخانه در بازه چندشاخه کمتر از بازه مستقیم است. نتایج بررسی میزان جابه‌جایی محور رودخانه در دو دوره زمانی یاد شده و در محل حلقه‌های مئاندر، در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است. به‌طور آشکار ملاحظه می‌شود، بیشترین جابه‌جایی در منطقه دشت سیلابی و در لوپ شماره ۲۷۸ (کیلومتر ۱۷۷/۲۳۵ پایین‌دست سد استور در منطقه گچی قشلاق) با مقدار جابه‌جایی ۹۵۰ متر به‌وقوع پیوسته است.




**شکل ۶**- تغییرات سینوزیته نسبت به تغییرات شیب در رودخانه قزل‌اوزن (بازه دشت سیلابی)




**شکل ۷**- نرخ جابه‌جایی حلقه‌های مئاندر در رودخانه قزل‌اوزن

الگوی پیچان‌رودی رودخانه و تغییرات آن تابع عوامل متعددی می‌باشد. خصوصیات مواد بستر و کناره‌های رودخانه، شیب بستر رودخانه، خصوصیات جریان به‌ویژه دبی‌رودخانه و فعالیت‌های تکتونیکی از جمله این عوامل می‌باشند. لذا پیش‌بینی دقیق تغییرات مورفولوژی رودخانه با توجه به عوامل کنترلی متعدد، اگر نگوییم غیرممکن، امری بس مشکل است. اما به هر حال یک آگاهی کیفی با مشاهده کمی تقریبی می‌تواند مفید باشد و این آگاهی با مشاهده پلان رودخانه در زمان‌های مختلف و مقایسه آن‌ها با یکدیگر به‌دست می‌آید. بدیهی است، هر چه تعداد پلان‌های زمانی بیشتر باشد، پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه به واقعیت نزدیک‌تر است. یکی از راه‌های مناسب برای بررسی پدیده پیچان‌رودی، نشانه‌گذاری ساحل رودخانه و مشاهده تغییرات کناره‌ها نسبت به این نشانه‌ها می‌باشد.

البته با مدلسازی فیزیکی از پدیده نیز می‌توان تاثیر هر عامل را جداگانه بررسی کرد، اما آن‌چه از مقایسه پلان‌ها حاصل شد، این است که ناپایدارترین بازه رودخانه قزل‌اوزن از کیلومتر ۱۶۳/۵ پایین‌دست سد استور تا کیلومتر ۱۷۸/۵ (از جزلان دشت تا آستاگل) می‌باشد که الگوی رودخانه به شدت تغییر یافته است و رودخانه حالت شریانی پیدا کرده است. در منطقه هارون‌آباد تا کوه‌کن فرسایش کناری به شکل مهاجرت حلقه‌های مئاندری تا ۸۵۰ متر صورت گرفته است. مقاوم‌ترین بازه‌ها در مقابل فرسایش از کیلومتر ۱۰۰/۸۴ تا ۱۱۷/۵ شامل مناطق گلوجه، جیزوان و محل اتصال رودخانه زل می‌باشد. البته در بررسی پلان‌ها باید به جنس مصالح بستر و کناره رودخانه نیز توجه داشت. مثلاً بیشترین سینوزیته در ناحیه کوهستانی می‌باشد، لذا نباید این موضوع را به حساب گسترش پیچان‌رودی در این ناحیه گذاشت، بلکه رودخانه از ابتدا در یک بستر پیچ و خم‌دار جریان پیدا کرده است. بیش از نصف مئاندرها (حدود ۵۸ درصد) شکل مئاندری توسعه یافته دارند و غالب‌ترین حالت فرسایش در انحناها، حالت توسعه یافتگی می‌باشد که بیش از ۵۶ درصد حالات فرسایش را به خود اختصاص می‌دهد.

## تقدیر و تشکر

این تحقیق برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است که بدون حمایت‌های مالی و پشتیبانی آن پژوهشکده امکان انجام آن میسر نمی‌شد، لذا از ریاست پژوهشکده و معاون محترم پژوهشی که زمینه انجام این تحقیق را فراهم کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع مورد استفاده

1. Arshad, S., S. Morid and H. Mirabolghasemi. 2007. Study of morphological changes trend of the Karoon River using GIS. Agricultural and Natural Sciences Journal, 16(6): 180-194.
2. Church, M. and K. Rood. 1983. Catalogue of alluvial river channel regime data. Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada. Department of Geology, University of British Columbia, Earth and Ocean Sciences.
3. Davis, W.M. 1899. The geographical cycle. Journal of Geographical Systems, 14: 481-504.
4. Hemphill, R.W. and M.E. Bramley. 1990. Protection of river and canal banks. Cambridge University Press, 198 pages.
5. Lane, E.W. 1957. A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material. Missouri River Division Sediment Series No. 9, U.S. Army Engineer Division, Missouri River, Corps of Engineers, Omaha, NE.
6. Leopold, L.B. and M.G. Wolman. 1960. River meanders. Bulletin of the Geological Society of American, 71: 769-794.
7. Leopold, L.B. and M.G. Wolman. 1975. River channel patterns: braided, meandering and straight. United States Geological Survey, 282: 39-85.
8. Masoomi, H.R., R. Gharibreza and A. Motamed. 2011. Morphology study and meandering pattern of Zohre River in Hendijan coastal plain. Journal of Watershed Engineering and Management, 3(2): 102-112 (in Persian).
9. Matthes, G. 1956. River engineering. American Civil Engineering Practice, Wiley, New York, 2: 15-56.
10. Nanson, G.C. and J.C. Croke. 1992. A genetic classification of floodplains. Geomorphology, 4: 459-486.

11. Nanson, G.C. and E.J. Hickin. 1983. Channel migration and incision on the Betton River. Journal of Hydraulic Engineering, 109(3): 327-337.
12. Pickup, G. 1984. Geomorphology of tropical rivers. 1. Landforms, hydrology and sedimentation in the fly and lower Purari, Papua New Guinea. Catena Supplement, 5: 1-17.
13. Peyrowan, H.R. 2000. Assessment of quantitative effects of tectonic factors on Qhezel-ouzan River in Iran. 8th International IAEG Congress, Canada.
14. Peyrowan, H.R., A. Jafari Ardekani, M. Shariat Jafari and J. Ghoddosi. 2011. The study of geological and geomorphological effective factors on meandering of Qhezel-Ouzan River. Final Research Report of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 126 pages (in Persian).
15. Rodi, W. and A. Leschziner. 1978. Calculation of strongly curved open channel flow. Journal of Hydraulic Division, 105(10): 1297-1314.
16. Rosgen, D.L. 1994. A classification of natural rivers. Elsevier, Catena, 22(1994): 169-199.
17. Schumm, S.A. and H.R. Khan. 1972. Experimental study of channel patterns. Geological Society of America Bulletin, 83 pages.
18. Selby, M.J. 1985. Earth's changing surface: an introduction to geomorphology. Oxford University Press, 607 pages.
19. Schumm, S.A. 1963. A tentative classification of alluvial river channels. United States Department of the Interior, Geological Survey, 10 pages.
20. Schumm, S.A. 1977. The fluvial system. Wiley, New York, 338 pages.
21. Yamani, M., J. Dolati and A.R. Zaree. 2010. Hydro geomorphic factors effects on temporal and spatial changes of the pattern of mid basin in Atrak River. Quarterly Journal of Geographic Researches, 4: 127-143 (in Persian).

# Morphological classification of Ghezel Ouzan River and its changes trend

**Hamidreza Peyrowan[*1], Ali Jafari Ardekani[2] and Mohsen Shariat Jafari**[3]
[1] Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, [2] Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and [3] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 20 June 2014 Accepted: 04 December 2014

## Abstract

This research has been done for the study of morphology of Ghezel Ouzan River from Ostoor to Manjil dams in two gorge and floodplain basins for 37 years period based on aerial photos, topographic maps and field surveying. The results showed the mean sinuosity ratios of, 1.46 and 1.22 for gorges and floodplain basins so that they can be classified as meandering and sinuous river reaches respectively. More sinuosity at gorge basin is due to the geological and tectonically factors. In the other words, the river plan initiate and mature based on rock canal that originated from above mentioned geological factors. At floodplain basin in Pavehrood to Manjil dam with 60 km length river reach, the river showed three obvious sinuous canaliform, sinuous point bar, sinuous braided and braided and anastomising plan. In the 37 years of period, braiding extended in the boundary of about 1.2 km widths in Hezarrood area. If the rate of widening of the river in this basin presumes in uniform rate, the velocity of the river widening is about 32 meters per year that is noticeable. Bank erosion with meandering form of the river in Haroonabad area through meandering growth and extensions of the loops occurred up to 850 meters at the mentioned periods. Based on central angel of meanders loops, 57.72 percent of loops are extended modes, 25.93 percent very extended, 16.05 of others are new, So, the river has meandering hazard. Extension mode of the loop growth is the main mode with 56% frequency and based on water shear stress distribution, geometry of loops and relative radius of the loops, consequently accumulation point of the shear stress, the modes of translations, rotation, compounding and chute and neck cut off are observed. More than 75 percent of canal shifting cases of the river is toward left bank so that the construction of any structures on the left bank of the river would be dangerous.

**Keywords**: Braiding, Gorge, Meander, Meander loop extension, River planform, Sinuosity

[*] Corresponding author: hrpeyrowan@yahoo.com