

هیدروژنومورفولوژی، شماره ۱۳، زمستان ۱۳۹۶، صص ۶۲-۴۳

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۰۷

مورفومتری و بررسی تغییرات مؤلفه‌های هندسی رودخانهی قره‌سو طی دوره‌ی ۶۰ ساله با تأکید بر پایداری رودخانه

محمد شریفی پیچون^{۱*}

فاطمه پرنون^۲

چکیده

پارامترهای هندسی یک رودخانه به طور پیوسته تغییر پیدا می‌کند، چرا که رودخانه یک عارضه‌ی هندسی دینامیک است. اما این تغییرات در بیشتر موارد در همه‌ی بخش‌های مختلف رودخانه از الگوریتم مشخصی تبعیت نمی‌کند. برخی از این تغییرات در بخشی از رودخانه ممکن است به شکل افزایشی و در بخشی دیگر به شکل کاهش‌ی باشد. هدف این پژوهش مشخص نمودن کمی مؤلفه‌های هندسی رودخانه‌ی قره‌سو در امتداد نیمرخ طولی آن طی یک دوره‌ی زمانی ۶۰ ساله است. در ابتدا بر حسب مشخصات هندسی و عوامل ژئومورفولوژیک، رودخانه به پنج بازه‌ی مختلف تقسیم و سپس، با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ و نیز تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۳ مسیر رودخانه در طول دو دوره‌ی زمانی رقومی شده و تغییرات بستر و همچنین تعداد قوس‌ها در طول این دو دوره در هر کدام از بازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه، با استفاده از ترسیم قوس‌های مماس بر مآندرها، رودخانه به محاسبه‌ی پارامترهای ضریب خمشی، طول موج، طول دره، زاویه‌ی مرکزی و شعاع پیچانرودها در پنج بازه تعیین شده پرداخته شده است. یافته‌ها حاکی از تغییر در همه‌ی پارامترهای هندسی در بخش‌های مختلف رودخانه با تفاوت در نوع و

E-mail: mscharifi@gmail.com

۱- استادیار دانشگاه یزد، گروه جغرافیا، یزد (نویسنده مسئول)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشگاه یزد، یزد

میزان تغییرات است. برای نمونه، در بازه‌ی اول و سوم پارامترهای ژئومورفیک ذکر شده افزایش و در بازه‌های دوم و چهارم و پنجم کلیه‌ی پارامترهای ژئومورفیک کاهش پیدا کرده‌اند. کاهش پارامترها بیانگر پایداری و مستقیم شدن مجرا و افزایش آنها بیانگر ناپایداری رودخانه است.

کلمات کلیدی: رودخانه‌ی قره‌سو، ژئومورفولوژی رودخانه، پارامترهای هندسی، پیچانرودها.

مقدمه

تغییرات رودخانه‌ها نمود و نمادی از تغییرات لندفرم‌ها در چشم‌اندازهای ژئومورفولوژی و در سیستم‌های حوضه‌های آبریز بوده و می‌تواند روند تحولات و میزان تغییرات را پدیدار سازد. به علاوه، با بررسی تغییرات در ورودی-خروجی‌های سیستم‌های رودخانه‌ای، تغییرات در شیب و ارتفاع حوضه و به تبع آن تغییر در سایر پارامترهای هندسی رودخانه‌ها نمایان می‌شود. از میان همه‌ی ویژگی‌های رودخانه، عوامل ژئومورفیک از جمله پارامترهای پویایی بوده که طی بازه‌های زمانی مختلف دچار تغییر می‌شود. به دلیل فرسایش کناری و جابجایی مرزهای رودخانه، هر ساله سطح زیادی از اراضی کشاورزی، نواحی مسکونی و تأسیسات ساحلی در معرض تخریب قرار می‌گیرند (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷). بر این اساس، پارامترهای هندسی و به تبع آن مورفولوژی رودخانه به طور پیوسته تغییر و الگوهای متفاوتی پیدا می‌کنند. لئوپلد و ولمن^۱ (۱۹۵۷) رودخانه‌ها را از نظر ساختار مورفولوژیکی به ۳ دسته مستقیم، پیچانرودی و چند شاخه تقسیم‌بندی کردند. شن^۲ (۱۹۸۴: ۱۳۲) رودخانه‌ها را بر اساس معیار شعاع نسبی و کورنیش^۳ (۱۹۸۰) بر اساس معیار زاویه‌ی

1- Leopold and Wolman

2- Shen

3- Kornish

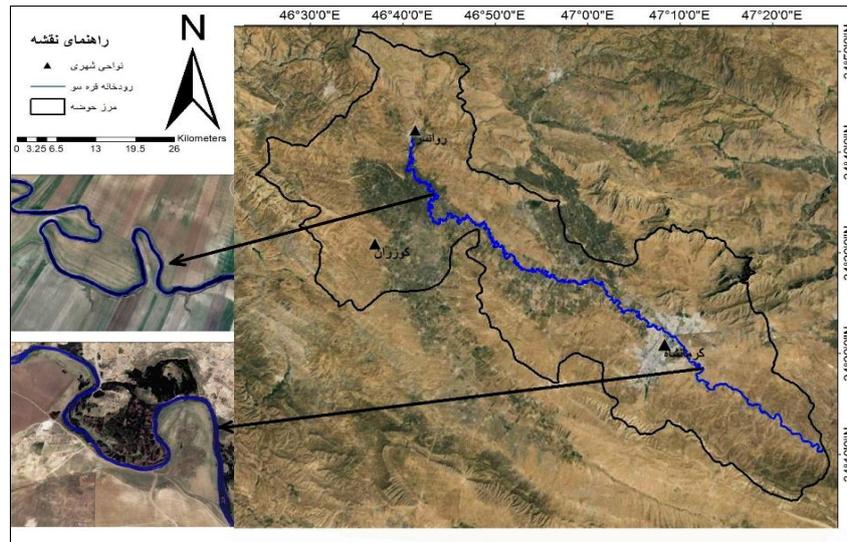
مرکزی پیچانرود تقسیم‌بندی نموده‌اند. سیمون^۱ (۱۹۷۱) و شوم^۲ (۱۹۸۵) اثر جنس و فرسایش‌پذیری مواد دیواره‌ها را در تغییرات مورفولوژیک رودخانه بررسی و بیان کردند که در رودخانه‌های با مواد بستر درشت دانه، نسبت عرض به عمق رودخانه افزایش می‌یابد. تورن^۳ (۲۰۰۰) به مطالعه رفتار مورفولوژیکی رودخانه‌های بزرگ پرداخته است. گریگوری^۴ (۲۰۰۶) به بررسی نقش مستقیم و غیرمستقیم انسان در تغییر مجرای رودخانه پرداخته است. گابریل^۵ (۲۰۰۹) بر اساس مشخصه‌های هندسی، تعداد سدهای میان کانالی، میزان دبی جریان و آورد رسوب و غیره، تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها را بررسی کرده است. بانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از هفت پارامتر هندسی و نسبت بین آنها به مطالعه‌ی رودخانه‌ی هوای^۷ پرداختند. سابتا^۸ (۲۰۱۴) در بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی گنگ در بازه‌ی ده ساله در واراناسی هند از GIS استفاده نموده است. ارتگا و همکاران^۹ (۲۰۱۴) به بررسی فعالیت‌های انسانی و تغییر در دینامیک و مورفولوژی رودخانه‌های موقتی در دو حوضه در اسپانیا پرداختند. کیمیاقلم^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه‌ای بر روی رودخانه‌ی سرخ^{۱۱} در ونی‌پگ^{۱۲} کانادا انجام دادند. یوان^{۱۳}

-
- 1- Simon
 - 2- Schumm
 - 3- Thorne
 - 7- Gregory
 - 5- Gabrielle
 - 6- Bang et al.
 - 7- Huai
 - 8- Sabita
 - 9- Ortega et al.,
 - 10- Kimiaghalam
 - 11- Rad River
 - 12- Winnipeg
 - 13- Joann

(۲۰۱۶) به بررسی تغییرات هندسی بستر رودخانه‌ی اچفالیا^۱ در جنوب لویزیانا^۲ از ۱۸۸۰ میلادی تا به حال پرداخته و بیان می‌دارد که بستر رودخانه در بخش‌های مختلف تغییرات محسوسی پیدا کرده است. در ایران نیز مطالعات متعددی در خصوص تغییرات پارامترهای هندسی رودخانه صورت گرفته است از جمله: احمدیان یزدی (۱۳۸۰) که تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی تجن را طی مدت ۳۵ سال بررسی نموده است. شهبازی (۱۳۸۸) عوامل موثر در ناپایداری بستر رودخانه‌ی قره‌سو را با استفاده از عکس‌هوایی بررسی نموده است. مقصودی و همکاران (۱۳۸۹) روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه‌ی خرم‌آباد در بازه‌ی زمانی ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۴ بررسی کردند. حافظی مقدس و همکاران (۱۳۹۱) رودخانه‌ی سیستان را از نظر ویژگی‌های مطالعه کردند. همچنین، افراد دیگری مانند شایان و دهستانی (۱۳۹۱)، یمانی و شرفی (۱۳۹۱)، شرفی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی تغییرات پارامترهای هندسی رودخانه تحقیقاتی انجام داده‌اند. در این پژوهش نیز به بررسی مورفولوژی و تغییرات پارامترهای هندسی رودخانه‌ی قره‌سو در بازه‌ی زمانی ۶۰ ساله (۱۳۳۴ تا ۱۳۹۳) با هدف درک تغییرات منطقه و آشکارسازی میزان این تغییرات جهت کاهش ریسک مخاطرات محیطی پرداخته شده است. رودخانه‌ی قره‌سو با مختصات جغرافیایی "۳۰° ۳۴' تا ۵۴° ۳۴' عرض شمالی و ۲۲° ۴۶' تا ۲۲° ۴۷' طول شرقی در استان کرمانشاه واقع شده است. مساحت آن ۵۲۷۸ کیلومتر مربع و گستره‌ی ارتفاعی آن بین ۳۳۶۰ و ۱۲۷۰ متر قرار دارد. سه رودخانه‌ی بزرگ مرگ، قره‌سو و رازآور در این حوضه جریان دارند (شکل ۱).

1- Atchafalya

2- Louisiana



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای بررسی مورفولوژی رودخانه‌ی قره‌سو و اندازه‌گیری مشخصات هندسی از عکس‌های هوایی ۱۳۳۴ و تصاویر ماهواره‌ای PAN ۱۳۹۳ استفاده شده است. پس از تهیه‌ی بازه‌ی رودخانه در طول دو دوره‌ی مورد بررسی، مسیر مورد نظر بر حسب پارامترهای ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناختی به پنج بازه تقسیم شد و پارامترهای ژئومورفیک رودخانه و تغییرات آنها شامل طول موج، طول قوس، ضریب خمیدگی، زاویه‌ی مرکزی، پیچان رودی و شعاع مآندر در دوره‌ی زمانی مذکور با ترسیم دایره‌های مماس بر پیچان رودهای رودخانه در نرم‌افزار AutoCad اندازه‌گیری شد. برای به دست آوردن طول قوس از مماس نمودن دوایر بر قوس‌ها استفاده شد. در این صورت، نقاط عطف قوس‌ها را مشخص و در ادامه از مرکز دایره‌های مماس بر قوس، خطوطی بر نقاط عطف به شکل عمودی ترسیم و

زاویه‌ی مرکزی قوس‌ها محاسبه می‌شود. به زاویه‌ی ایجاد شده زاویه‌ی مرکزی و بر شعاع مماس بر دایره قوس‌ها دایره گفته می‌شود. ضریب خمیدگی یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم‌بندی شکل رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از رابطه‌ی $s = \frac{l}{r.2}$ یعنی با تقسیم کردن طول دره بر طول موج، ضریب خمیدگی برای هر قوس محاسبه می‌شود (پیروان و همکاران، ۱۳۷۶: ۲۲۰). پیتز (۱۳۶۵) نیز بر حسب میزان ضریب خمیدگی ۴ نوع رودخانه را به شرح جدول (۱) تقسیم‌بندی نموده است.

جدول (۱) تقسیم بندی رودخانه‌ها بر حسب ضریب خمیدگی

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

همچنین برای محاسبه‌ی طول موج و طول دره بدین شکل عمل می‌شود که بر روی نقشه‌ی محور مسیر رودخانه ابتدا نقاط عطف یا نقاط تغییر انحنای محور رودخانه با دقت زیاد مشخص، سپس هر دو نقطه عطف مربوط به یک قوس به همدیگر متصل و طول پاره‌خط حاصله را با نرم‌افزار اتوکد به دقت اندازه‌گیری می‌شود. این طول معادل نصف طول موج هر قوس رودخانه است. برای به دست آوردن طول دره نیز نقطه عطف یک قوس تا نقطه عطف قوس بعدی بر روی مسیر محور رودخانه مشخص و با استفاده از نرم‌افزار اتوکد برای هر قوس محاسبه می‌گردد.

بحث و نتایج

برای طبقه‌بندی و شناسایی خصوصیات هیدرولیکی و هیدروفیزیکی رودخانه‌ها، باید مشخصاتی از رودخانه‌ها به صورت پارامترهای هندسی کمی اندازه‌گیری و به عنوان شاخص جهت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گیرند (دولتی، ۱۳۸۷: ۱۲۷). پارامترهای هندسی مانند طول موج، زاویه‌ی مرکزی، سینوزیته، شعاع پیچانرود، شعاع نسبی و

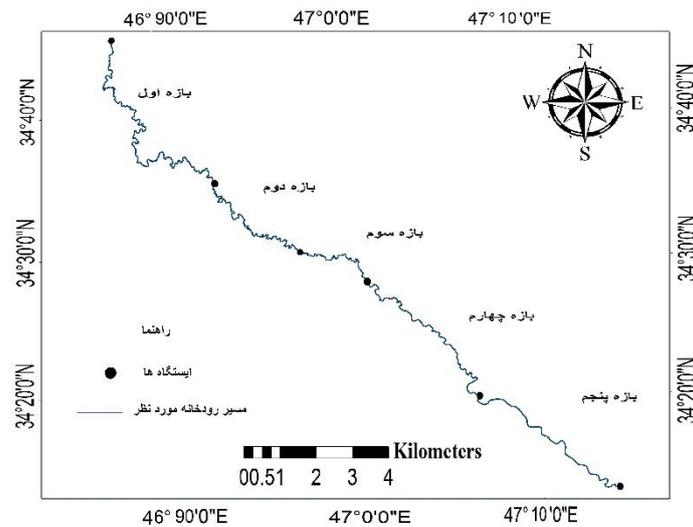
ضریب خمیدگی از مهم‌ترین آنها هستند. در این مطالعه پارامترهای کمی با استفاده از روش ترسیم دایره‌های مماس بر پیچانوودهای رودخانه برای دو دوره‌ی زمانی استخراج شده است. در طول ۵۹ سال گذشته الگوی رودخانه و برخی پارامترهای هندسی قابل اندازه‌گیری دستخوش تغییر شده است. به صورت کلی رودخانه‌ی قره‌سو در واحد ژئومورفیکی دشت جاری بوده و تنها سراب و پایاب آن بازه‌ای را در میان ارتفاعات می‌گذراند. همچنین در حدود ۹۰ درصد جنس زمین شناسی مسیر رودخانه رسوبات کواترنر را در بر می‌گیرد. جهت روشن شدن بهتر وضعیت مورفولوژی و تشریح مشخصات هندسی اندازه‌گیری شده، رودخانه‌ی قره‌سو در طول مسیر به ۵ بازه تقسیم و در مرحله‌ی بعد ویژگی‌های هندسی هر بازه به صورت جداگانه برای دو دوره‌ی زمانی محاسبه شده است. موقعیت این بازه‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.

تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی قره‌سو در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۳-۱۳۳۴

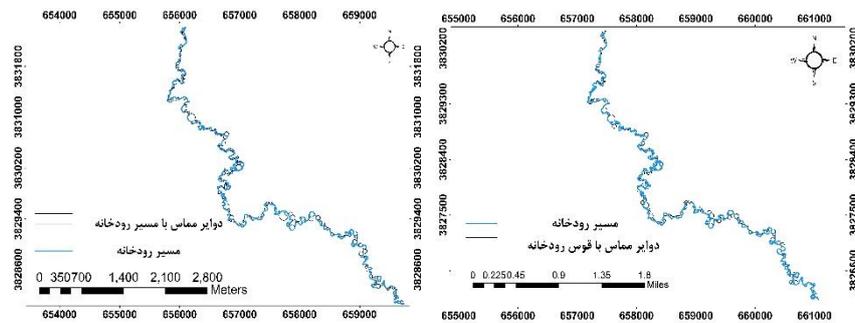
در این بخش، ابتدا به معرفی بازه‌ها و تغییرات بستر آنها طی دوره‌ی زمانی مورد مطالعه پرداخته شده و در ادامه پارامترهای هندسی رودخانه‌ی مانند پیچانوودها، طول موج، طول دره، ضریب خمیدگی، شعاع پیچانرود و زاویه مرکزی در طول دوره‌ی آماری با هم مقایسه و تحلیل شده اند.

بازه‌ی اول: محدوده بازه‌ی اول خاستگاه اولیه‌ی رودخانه، از سرچشمه رودخانه‌ی روانسر (۰۰° ۴۳' ۳۴° شمالی و ۳۸' ۳۹' ۴۶° شرقی) تا به طور تقریبی محل خروج از دشت روانسر- سنجابی (۰۶° ۳۲' ۳۴° شمالی و ۳۹' ۴۷' ۴۶° شرقی) این بازه در محدوده‌ای با شیب ۰ تا ۴ درجه جاری بوده و تنها قسمت بالادست رود در محدوده‌ی شهر روانسر، از شیب ۴ تا ۸ درجه مساحتی را پشت سر می‌گذارد در شکل (۳) دوایر مماس بر ا برای محاسبات پارامترهای هندسی در بازه‌ی اول ترسیم

شده و تغییرات آنها در طی دوره‌ی مورد مطالعه یعنی بازه‌ی زمانی ۶۰ ساله نشان داده شده است.



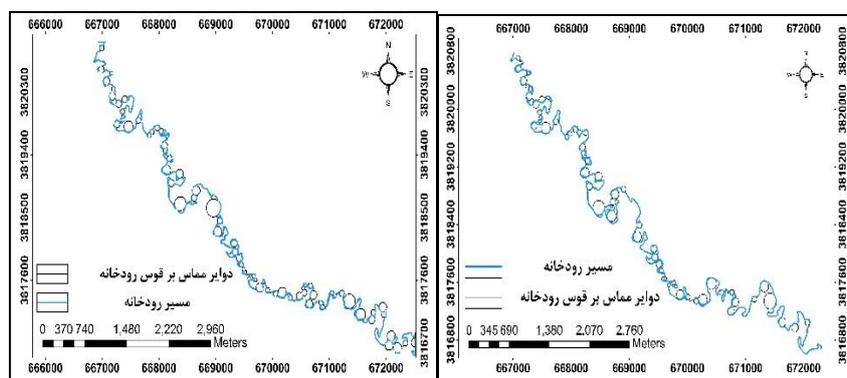
شکل (۲) تقسیم‌بندی رودخانه به بازه‌های مختلف



شکل (۳) تغییرات بستر بازه‌ی اول رودخانه‌ی قره‌سو، سمت راست ۱۳۹۳ و چپ ۱۳۳۴

بازه‌ی دوم: این بازه از انتهای دشت روانسر ("۳۲' ۰۶" شمالی و "۳۹' ۴۷" شرقی) به سمت دشت سنجابی ("۴۱' ۲۷" شمالی و "۵۲' ۵۳" شرقی) ("۴۶° شرقی)

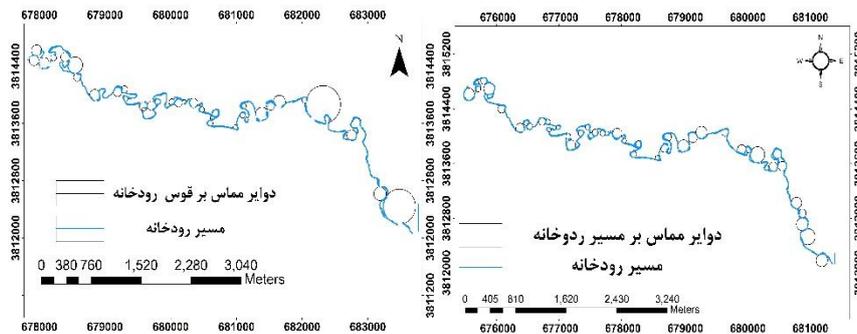
را شامل می‌شود (شکل ۲). شیب این بازه ۰ تا ۴ درجه است. با توجه به شکل (۴) می‌توان گفت که در این بازه‌ی پیچان رودها افزایش، اما طول موج و طول دره کاهش داشته است.



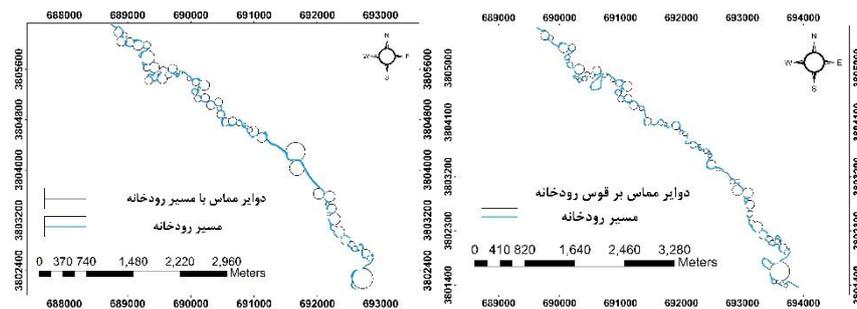
شکل (۴) تغییرات بستر بازه دوم رودخانه‌ی قره‌سو، سمت راست ۱۳۳۴ و چپ ۱۳۹۳

بازه‌ی سوم: این بازه از مختصات $34^{\circ} 27' 41''$ شمالی و $46^{\circ} 53' 52''$ شرقی تا مختصات $34^{\circ} 25' 21''$ شمالی و $47^{\circ} 00' 29''$ شرقی ادامه و از دشت سراب نیلوفر عبور می‌کند. در این بازه نیز اغلب پارامترهای هندسی افزایش محسوسی پیدا می‌کنند (شکل ۵).

بازه‌ی چهارم: این بازه محدوده‌ی دشت کرمانشاه را در بر می‌گیرد که حریم شهر نیز در آن مستقر است. مختصات این بازه در آغاز مسیر $34^{\circ} 25' 21''$ شمالی و $47^{\circ} 00' 29''$ شرقی و در انتها $34^{\circ} 17' 13''$ شمالی و $47^{\circ} 09' 22''$ شرقی است. بر اساس شکل (۶) در این بازه بیشتر پارامترهای هندسی مانند تعداد پیچان رودها، طول موج و طول دره در طی دوره‌ی زمانی مورد مطالعه روند کاهشی به خود گرفته است.

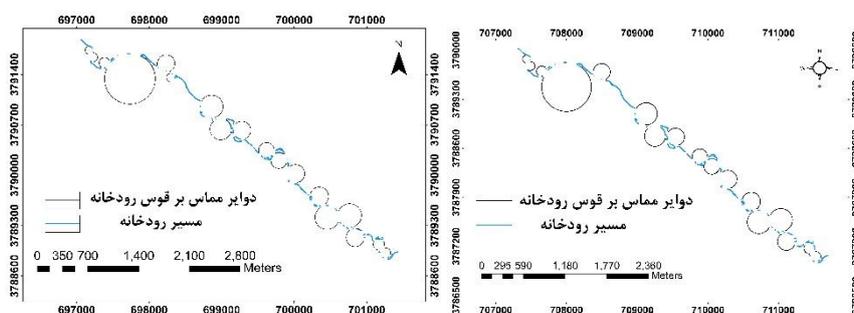


شکل (۵) تغییرات بستر بازه‌ی سوم رودخانه‌ی قره‌سو سمت راست ۱۳۲۴ و چپ ۱۳۹۳



شکل (۶) تغییرات بستر بازه‌ی چهارم رودخانه‌ی قره‌سو طی ۱۳۲۴-۱۳۹۳

بازه‌ی پنجم: این بازه انتهای دشت کرمانشاه تا رسیدن به توپوگرافی مرتفع را برای پیوستن به رودخانه ب گاماسیاب در بر می‌گیرد. ابتدای مسیر به مختصات $34^{\circ} 17'$ شمالی و $47^{\circ} 22' 09''$ شرقی و انتهای این بازه به مختصات $37^{\circ} 20' 37''$ شمالی و $34^{\circ} 10' 38''$ شرقی می‌باشد. همانطور که شکل نشان می‌دهد پارامترهای هندسی در این بازه وضعیت متفاوتی دارند به گونه‌ای که پیچان رودها افزایش پیدا کرده‌اند در صورتی که طول موج کاهش محسوسی را نشان می‌دهد. اما طول دره در سال ۱۳۲۴ در مقایسه با سال ۱۳۹۳ تغییر محسوسی پیدا نکرده است (شکل ۷).



شکل (۷) تغییرات بستر بازه‌ی پنجم رودخانه قره‌سو، سمت راست ۱۳۹۳ و چپ ۱۳۳۴

اندازه‌گیری پارامترهای هندسی رودخانه‌ی قره‌سو طی دوره‌ی ۱۳۳۴-۱۳۹۳

پارامترهای هندسی مانند تعداد پیچانرود، طول موج، طول دره، ضریب خمیدگی، شعاع پیچانرود و زاویه‌ی مرکزی هر کدام از بازه‌های رودخانه‌ی قره‌سو در دو دوره‌ی زمانی ۱۳۳۴ و ۱۳۹۳ اندازه‌گیری و به شکل زیر محاسبه شده است:

تعداد پیچانرود: تعداد پیچانرودهای رودخان قره‌سو از ۵۳۵ پیچانرود در سال ۱۳۳۴ به ۳۷۹ پیچانرود در سال ۱۳۹۳ کاهش یافته که به نوعی بیشترین تغییرات تغییرات تعداد پیچانرودها را در بر می‌گیرد.

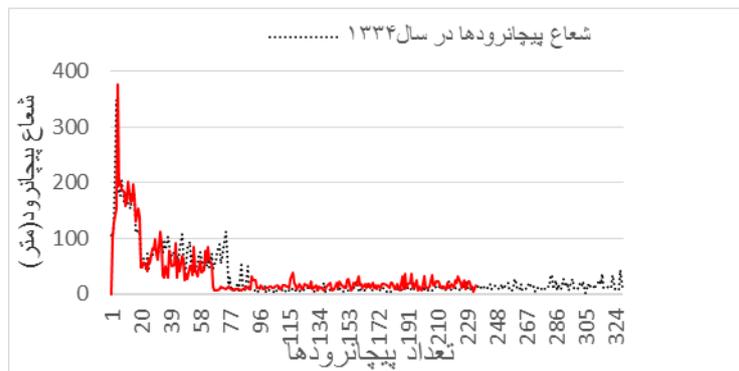
زاویه‌ی مرکزی- شعاع دایره: برای اندازه‌گیری زاویه‌ی مرکزی و شعاع دایره، پس از برازش دایره مماس بر قوس رودخانه، زاویه‌ی مرکزی هر قوس محاسبه و میانگین حسابی برای ۵ بازه محاسبه و نتایج آنها با هم مقایسه شده است (جدول ۲).

بر مبنای جدول (۲) بازه‌های دوم و سوم رودخانه که در سال ۱۳۳۴ در رده‌ی پیچانرودی بسیار توسعه یافته بوده در سال ۱۳۹۳ به پیچانرود توسعه یافته تغییر و بازه‌های چهارم و پنجم در رده‌ی پیچانرودی توسعه یافته قرار گرفته است. اما میانگین زاویه مرکزی پیچانرودهای رودخانه به طور کلی نسبت به سال ۱۳۳۴ کاهش پیدا کرده است. به علاوه، با کاهش زاویه مرکزی رودخانه در سال ۱۳۹۳،

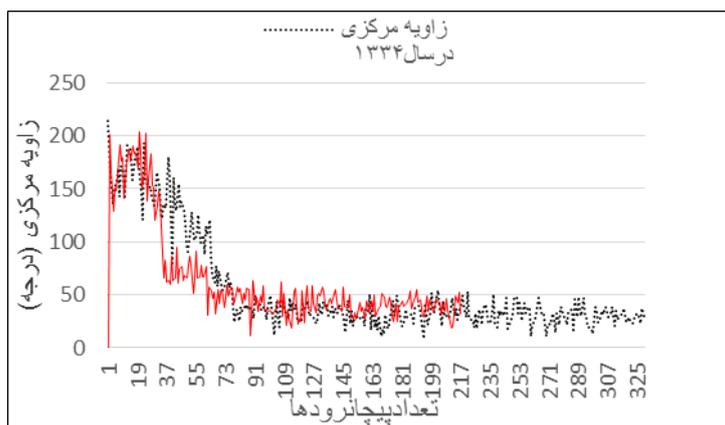
میانگین شعاع دواير مماس بر پیچانرودهای رودخانه در این سال نسبت به سال ۱۳۳۴ کاهش یافته است. از این رو، بیشترین تغییر شکل این بازه تغییرات عرضی بستر می‌باشد. در دیگر بازه‌ها نیز زاویه‌ی مرکزی در سال ۱۳۹۳ با کاهش میانگین شعاع همراه بوده که حاکی از تغییرات کم مورفولوژی رودخانه در طول مسیر است. اما میزان این نسبت در بیشتر بازه‌ها نشان می‌دهد که رودخانه‌ی طی ۶۰ سال گذشته به سمت مستقیم شدن پیش می‌رود (شکل‌های ۸ تا ۱۰).

جدول (۲) استفاده از زاویه‌ی مرکزی برای تقسیم توسعه پیچان‌رودی (تلوری: ۱۳۷۱)

زاویه مرکزی (درجه)	شکل رودخانه
۰	مستقیم
۰-۴۱	شبه پیچان‌رودی
۴۱-۸۵	پیچان‌رودی توسعه نیافته
۸۵-۱۵۸	پیچان‌رودی توسعه یافته
۱۵۸-۲۹۶	پیچان‌رودی زیاد توسعه یافته
>۲۹۶	شاخ‌گاو



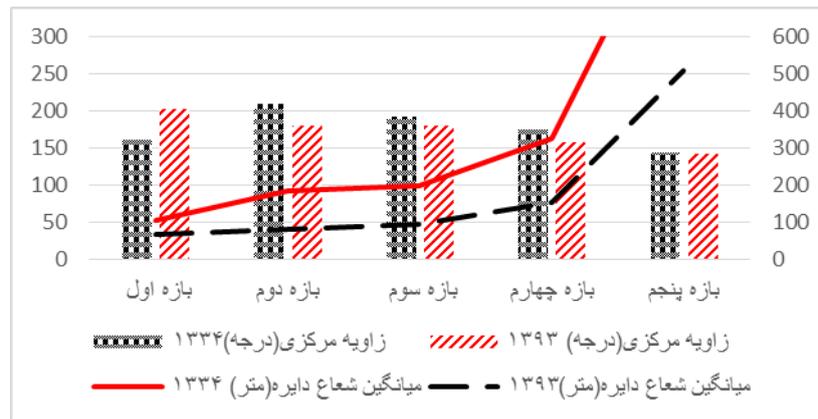
شکل (۹) تغییرات شعاع پیچان‌رودهای رودخانه‌ی قره‌سو



شکل (۸) تغییرات زاویه‌ی مرکزی رودخانه‌ی قره‌سو و در دو دوره‌ی زمانی ۱۳۳۴ و ۱۳۹۳

تغییرات شعاع پیمانرودها نشان می‌دهد که شعاع پیمانرودها به جز بازه‌ی ۱ در بازه‌های دیگر از سال ۱۳۳۴ نسبت به سال ۱۳۹۳ کاهش یافته است و در بازه‌ی ۱ الگوی رودخانه از حالت پیمانرودی توسعه یافته به سمت پیمانرودی بسیار توسعه یافته تغییر وضعیت پیدا کرده است (جدول ۳).

طبق نظر کورنایس و با توجه به محاسبات انجام شده و نتایج به دست آمده، قریب ۷۰ درصد رودخانه در سال ۱۳۳۴ از نوع رودخانه‌های ماندری بسیار توسعه یافته بوده است و تنها قریب به ۲ درصد این بازه از نوع رودخانه‌های نعل اسبی بوده است. در حالی که در سال ۱۳۹۳، ۷۸ درصد بازه از نوع پیمانرودی بسیار توسعه یافته بوده که با توجه به ایجاد دریاچه‌های نعل اسبی به مرور زمان و بسته شدن قوس ماندره‌های ایجاد شده در گذشته، ۳/۲ درصد بازه‌های رودخانه از نوع نعل اسبی بوده است.



شکل (۱۰) تغییرات زاویه مرکزی پیچانرودها رودخانه‌ی قره‌سو

جدول (۳) طبقه‌بندی انواع پیچان رودی رودخانه‌ی قره‌سو طبق زاویه‌ی مرکزی کورنایس در سال

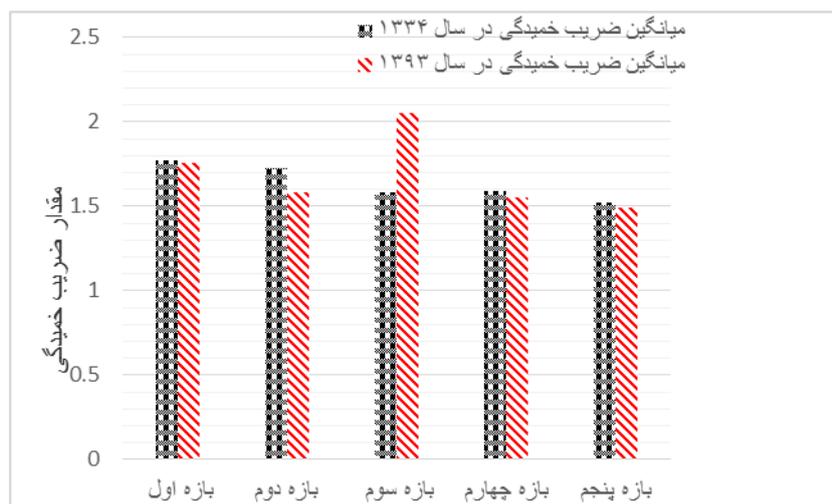
۹۳

شکل رودخانه	بازه‌ی اول	بازه‌ی دوم	بازه‌ی سوم	بازه‌ی چهارم	بازه‌ی پنجم
شبه پیچانرود	۰	۰	۰	۰	۰
پیچانرودی توسعه نیافته	۰/۴۳	۰	۰	۱/۵۶	۶/۵۵
پیچانرود توسعه یافته	۳۷/۵	۱۸/۷۵	۲۳/۳	۵۶/۲۵	۵۵/۵۵
پیچانرود بسیار توسعه یافته	۵۹/۹۱	۷۸/۱۲۵	۷۲/۳۴۲	۳۹/۰۶	۲۶/۷۷
نعل اسبی	۱/۷۲	۳/۱۲۵	۳	۰	۰

ضریب خمیدگی

بر اساس شاخص ضریب خمیدگی و روش محاسبه این شاخص و با توجه به جدول (۱)، رودخانه‌ی قره‌سو در دو دوره‌ی زمانی مورد بررسی ۱۳۳۴ و ۱۳۹۳ در گروه رودخانه‌ی پیچانرودی قرار می‌گیرد؛ به غیر از بازه‌ی سوم که جزء رودخانه‌های پیچانرودی شدید قرار داشته است که دلیل آن را می‌توان به شیب کم بستر و آبرفتی بودن آن نسبت داد. همانطور که از شکل (۱۱) پیداست در سال ۱۳۹۳

میزان ضریب خمیدگی رودخانه در محدوده‌ی بازه‌های ۴ و ۵ به ترتیب دچار کاهش ۴ و ۳ درصدی شده است. همچنین، در بازه‌های ۱ و ۲ میزان ضریب خمیدگی تا حدودی کاهش، اما در بازه‌ی سوم افزایش ۱۰ درصدی پیدا کرده است. در واقع ضریب خمیدگی در بازه‌ی اول از $1/83$ به $2/38$ رسیده است. برای بازه‌ی سوم نیز ده درصد افزایش را نشان می‌دهد. اما در بازه‌های چهارم و پنجم حدود ۴ تا ۵ درصد کاهش یافته است.

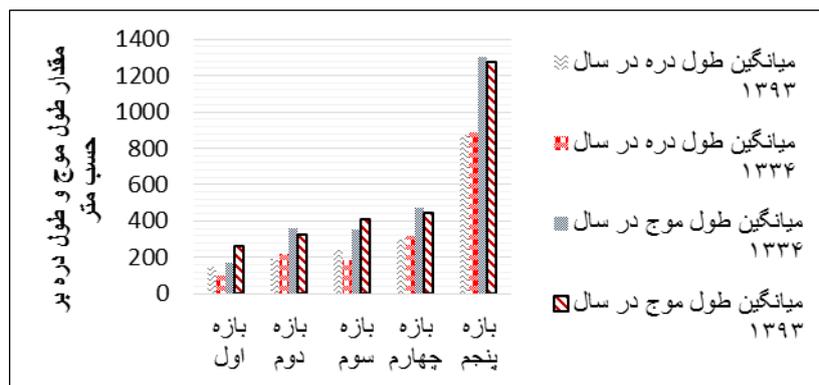


شکل (۱۱) تغییرات ضریب خمیدگی رودخانه‌ی قره‌سو

طول موج و طول دره

بر اساس محاسبات انجام شده برای رودخانه‌ی قره‌سو مشخص شد که میانگین طول موج ۹۶ متر و طول دره ۳۱ متر در بازه‌ی یک در طول دوره‌ی بررسی افزایش داشته است. در بازه‌ی دوم، طول موج و طول قوس از دوره‌ی اول به دوره‌ی دوم دچار کاهش شده که این امر بیانگر کاهش فرایندهای فرسایشی و برتری یافتن

فرایندهای رسوبگذاری است. از این رو، طول موج رودخانه ۳۵ متر در طی نیم قرن گذشته کوتاه شده است. طول دره نیز به همین نسبت کاهش را تجربه کرده است. در بازه‌ی سوم، طول موج در گذر از دوره‌ی اول به دوره‌ی دوم ۵۷ متر و طول دره نیز بیش از ۵۸ متر و زاویه‌ی مرکزی بیش از ۴۳ متر افزایش داشته است. در بازه‌ی چهارم نیز ۴۱ متر از طول موج و ۱۵ متر از طول دره کاسته شده و قوس‌ها بازتر شده‌اند. در بازه‌ی پنجم، طول موج رودخانه ۳۱ متر و طول دره ۱۵ متر در طول حدود ۶۰ سال کم شده است (شکل ۱۲).



شکل (۱۲) تغییرات طول موج و طول دره در بازه‌های مورد مطالعه رودخانه‌ی قره‌سو

نتیجه‌گیری

رودخانه‌ها با گذشت زمان تغییرات زیادی را متحمل می‌شوند. برخی از این تغییرات به شکل تدریجی و در طولانی مدت و برخی نتیجه دخالت‌های زمین‌ساختی و انسانی در کوتاه مدت است. در هر صورت، مورفولوژی رودخانه همواره در معرض تغییر و جابجایی زمانی-مکانی قرار دارد. بر این اساس، مطالعات مختلف بر روی پارامترهای هندسی رودخانه‌ها در مناطق مختلف جهان حاکی از ناپایداری این پارامترها است. در این پژوهش به مطالعه‌ی پارامترهای هندسی رودخانه‌ی قره‌سو

در طی یک بازه‌ی زمانی حدود ۶۰ ساله پرداخته شده است. نتایج حاکی از تغییرات مکانی تمام این پارامترها در این گستره‌ی زمانی است. اما مقدار این تغییرات در بخش‌های مختلف متفاوت است. برای نمونه، در مطالعه‌ی پیچان‌رودهای رودخانه در بازه‌های مختلف مشاهده گردید که تعداد پیچان‌رودها در همه بخش‌های رودخانه کاهش پیدا کرده است؛ اما این کاهش در بازه‌های اول و دوم بسیار بیشتر از بخش‌های پایین دست رودخانه است. میانگین طول موج و طول دره نیز در بازه‌های اول و نزدیک سرچشمه افزایش نسبی پیدا کرده است. در حالی که در بخش‌های انتهایی این پارامترها با کاهش محسوسی همراه بوده است. این امر هم به دلیل قدرت دینامیکی رودخانه در بالادست و کاهش نیروی جریان در پایین دست است. ضریب خمیدگی نیز در همه‌ی بازه‌ها به جز بازه‌ی سوم با کاهش نسبی همراه بوده است. اما مقدار آن در این بازه افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. دخالت انسان در این بازه و احتمالاً فعالیت گسل‌ها سبب چنین تفاوتی شده است. شعاع پیچان رودها نیز در بخش‌های ابتدایی رودخانه، یعنی بازه‌ی اول و دوم، افزایش محسوسی را نشان می‌دهد. با این وجود، در بخش‌های پایین دست این پارامتر با کاهش نسبی همراه است. از دلایل آن می‌توان به افزایش رسوبگذاری در این محدوده و کاهش فعالیت جریان آب همراه با دخالت‌های زیاد انسان اشاره نمود. زاویه‌ی مرکزی رودخانه نیز تنها در بازه‌ی اول و بالادست رودخانه با افزایش در طول زمان همراه بوده و به سمت پایین دست در همه‌ی بازه‌های دیگر این پارامتر روند کاهشی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی کاهش میانگین ارقام هندسی در بازه‌های چهارم و پنجم، بیانگر روند پیری رودخانه و مستقیم شدن هر چه بیشتر مسیر کانال رود در اثر افزایش رسوب‌گذاری در جداره‌ی بستر رودخانه است که این امر علاوه بر اثرگذاری عوامل طبیعی متأثر از فعالیت‌های انسانی نظیر شهرک‌سازی در نزدیکی مجرا، تجاوز به دشت سیلابی اطراف رودخانه و مواردی از این دست است.

منابع

- حافظی مقدس، ناصر؛ سلوکی، حمیدرضا؛ جلیوند، رضا و جعفر رهنما (۱۳۹۱)، مطالعه‌ی ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه‌ی سیستان، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۱، صص ۱-۱۸.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ ثروتی، محمدرضا و صیاد اصغری سراسکانرود (۱۳۹۱)، بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه‌ی قزل اوزن با تأکید بر عوامل ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۶، شماره ۲، صص ۱-۱۴.
- رنگزن، کاظم؛ صالحی، بهرام و پروین سلحشوری (۱۳۸۷)، بررسی تغییرات منطقه‌ی پایین دست سد کرخه قبل و بعد از ساخت با استفاده از تصاویر چندزمانه‌ی Land Sat، اولین همایش ژئوماتیک ایران، ص ۱.
- شایان، ساوش و هدیه دهستانی (۱۳۹۱)، تحلیل عوامل تأثیرگذار بر تغییرات الگوی هندسی و مورفولوژی رود کشکان، فصلنامه‌ی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال دوم، شماره ۸، صص ۲۱-۳۴.
- شرفی، سیامک، شامی، ابولفضل و مجتبی یمانی (۱۳۹۳)، بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی اترک در بازه‌ی زمانی ۲۰ ساله، مجله‌ی آمایش جغرافیایی فضا، سال چهارم، شماره ۱۴، صص ۱۲۹-۱۵۰.
- شمسی، احمدطاهر و فرهاد ایمان‌شعار (۱۳۸۸)، بررسی رابطه‌ی بین پارامترهای هندسی مناندرهای رودخانه و ضریب سینوزیته، مجله‌ی مهندسی عمران و محیط زیست، شماره ۲، صص ۱۹-۲۶.
- شهبازی، صابر (۱۳۸۸)، عوامل موثر در ناپایداری بستر رودخانه‌ی قره‌سو در کرمانشاه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، صص ۳۰-۷۲.

- مقصودی، مهران، شرفی، سیامک و یاسر مقامی (۱۳۸۹)، روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه‌ی خرم آباد با استفاده از GIS, RS, Auto cad, فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی، شماره‌ی ۶۸، صص ۲۹۴-۲۷۵.
- یمانی، مجتبی؛ دولتی، جواد و علیرضا زارعی (۱۳۹۰)، تأثیرگذاری عوامل هیدروژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه‌ی اترک، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۹، صص ۱-۲۴.
- یمانی، مجتبی و سیامک شرفی (۱۳۹۱)، پارامترهای هندسی و نقش آنها در تغییرات زمانی - مکانی بستر رودها مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی هررود سرشاخه‌ی رود کرخه در استان لرستان، جغرافیا و توسعه، دوره‌ی ۱۰، شماره‌ی پیاپی ۲۶، صص ۳۵ تا ۴۸.
- Bang-yi Y., Peng WU, Jue-yi SUI, Xing-ju YANG, Jin NI (2014), **Fluvial geomorphology of the Middle Reach of the Huai River**, International Journal of Sediment Research, Vol. 29, Issue 1, PP.24-33.
- Gabrielle, CL., et al, (2009), **The impacts of ski slope development on stream channel morphology in white river national Forest, Colorado, USA**- Journal home page, Geomorphology, Vol. 103, PP. 375-388.
- Gregory, K. J., (2006), **The human role in changing river channels**, Geomorphology, 79(3), PP.172-191,
- Joann, M.(2016), **The changing geomorphology of the Atchafalaya River, Louisiana: A historical perspective**, Geomorphology, no252, pp112-127.
- Kimiaghalam, N., Goharrokhi, M., Clark, p.,S., and Ahmari, H. (2015), **A comprehensive fluvial geomorphology study of riverbank erosion on the Red River in Winnipeg, Manitoba, Canada**, Journal of Hydrology, Vol. 529, Part 3, PP.1488-1498.

- Kornish, MRS. (1980), **Meander Travel in Alluvial Streams'** (4)35-82 **in Proceeding of the International Workshop on Alluvial River Problems**, India, Sarita Prakashan Meerut, New Delhi, Pp 263-342.
- Leopold, L.B and, Wolman, M.G.(1957), **River Channel Pattern - Braided Meandering and Straight**, USGS, Geological Survey Professional Paper, 282-B., PP.1-49.
- Sabita, M.S. (2014), **Morphology changes of Ganga River over time at Varanasi**, Journal of River engineering, Vol. 2, Issue 2, PP.1-32.
- Ortega, J.A.; Razola, L., and Garzon, G. (2014), **Recent human impact and change in dynamics and morphology of ephemeral rivers**, Nat. Hazards Earth, Syst., Sci., 14, PP.713-730.
- Schumm, S.A. (1985), **Patterns of alluvial rivers**, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 13, PP.5-27.
- Schumm, S.A. (1984), **Channel Morphology, Symposium on River Meandering**, Colorado State University, Fort Collins Colorado, PP.250-260.
- Shen H.W. (1984), **River and Related Problems. Symposium on River Meandering**, Colorado State University, Fort Collins Colorado.