

## تحلیل مورفولوژیکی و مورفودینامیکی مائدرهای رودخانه شلمان رود، استان گیلان

رضا اسماعیلی\*، راحیل دلیری<sup>۱</sup>

۱- گروه جغرافیا، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۵/۲۸

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۲/۱۶

### چکیده

رودخانه‌های مائدری دینامیک فعالی داشته و دائماً در حال تغییر و دگرگونی هستند. اما فعالیت‌های انسان تغییراتی را در این فرایندها ایجاد می‌نماید. در این تحقیق روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه شلمان رود (شرق گیلان) در طی یک دوره ۵۱ ساله بین سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۷ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. برای انجام این کار از عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۷۳ و همچنین تصاویر گوگل ارث سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷ استفاده شد. پارامترهای هندسی رودخانه (مورفومتری) شامل طول کانال، طول موج، زاویه مرکزی، دامنه موج و شعاع قوس اندازه‌گیری شدند. پارامترهای مورفودینامیک شامل مهاجرت جانبی کانال، میزان فعالیت کانال و میزان همپوشانی کانال مورد بررسی قرار گرفتند و سپس مورفولوژی کانال و مدل‌های مختلف مهاجرت کانال مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد میانگین مقادیر پارامترهای هندسی پیچانوردها طی دوره ۵۱ ساله تفاوت مشخصی نداشته‌اند. پارامترهای مورفودینامیک تغییرات کاهشی مشخصی را تجربه کرده‌اند. میزان مهاجرت جانبی کانال در دوره ۷۳-۱۳۴۶ بسیار زیاد بوده اما در دوره‌های بعد شدیداً کاهش یافته و میزان همپوشانی کانال افزایش یافته است. مورفولوژی تغییرات مائدر هم در دوره اول تغییرات محسوسی داشته و در دوره‌های دوم و سوم تغییرات ناچیزی داشته و الگوی کلی مهاجرت تغییر کرده است. این قسمت از رودخانه شلمان رود در طی دوره‌های مورد بررسی از تعادل دینامیک به تعادل استاتیک تغییر یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** شلمان رود، پیچان رود، مورفودینامیک رود، گیلان.

## مقدمه

می‌دهد که آگاهی و درک تغییرات مورفولوژی پیچان‌رودها و دینامیک طبیعی سیستم‌های رودخانه‌ای برای اهداف برنامه‌ریزی، حفاظت و بازسازی کانال‌های رودخانه‌ای بسیار مهم است (Hooke and Yorke, 2010). مطالعات علمی مائدرها بیش از چهل سال سابقه دارد. با گسترش عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای بررسی تغییرات پیچان‌رودها هم افزایش یافته و تحقیقات متعددی در زمینه‌های مرتبط صورت گرفته است. در خصوص مورفومتری پیچان‌رودها و ویژگی‌های هندسی آنها می‌توان به کارهای یمانی و حسین‌زاده (۱۳۸۳)، بیاتی خطیبی (۱۳۹۳)، رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۳)، کهربائیان و همکاران (۱۳۹۳)، اصغری سراسکانرود (۱۳۹۵)، پیروزی‌نژاد و پیروزی‌نژاد (۱۳۹۷)، رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷)، یمانی و همکاران (۱۳۹۷)، Yousefi et al, و سلطان‌ی و همکاران (۱۳۹۷) (2016) اشاره نمود. در گروه دیگر از مطالعات، دینامیک جانبی (مورفودینامیک) کانال‌های مائدری مورد بررسی قرار گرفته است که از این میان می‌توان تحقیقات انجام شده توسط Hooke (2007) ، Nicoll and Hickin (2010) ، Magdaleno and Fernández-Yuste (2011) ، Schuurman et al. Morais et al. (2016) Zhou et al. (2017) ، Li et al. (2017) ، خیری‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)، اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۷) و جباری و رحیمی (۱۳۹۷) را نام برد. در این تحقیق، ضمن مطالعه ویژگی‌های هندسی پیچان‌رودهای شلمانرود (استان گیلان)، تغییرات مورفودینامیک و تحلیل مورفولوژیک این رودخانه مورد بررسی قرار گرفت.

پیچان‌رودها دینامیک فعالی داشته و می‌توانند در سطح دشت سیلابی جابجا شوند. مهاجرت پیچان‌رودها از روابط متقابل میان جریان آب، حمل رسوب و شکل کانال (پلانفرم کانال و مورفولوژی بستر) حاصل می‌شود (Seminara, 2006). میزان تغییرات و جابجایی این کانال‌ها با شیب و مقاومت کناره‌ها در ارتباط است. مقاومت کناره هم تحت تأثیر مواد تشکیل دهنده کناره، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، نوع سنگ و ساختمان لایه‌ها قرار دارد (حسین‌زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۴). رودخانه‌ها به طور پیوسته در زمان و فضا با نوسانات دبی و رسوب تعدیل می‌شوند و حاصل آنها حرکات جانبی و عمودی است. این حرکات، پویایی اکولوژیکی را تنظیم نموده و تضمین کننده ارزش و تنوع سیستم‌های طبیعی هستند (Ollero, 2010). بنابراین وقوع تغییرات در رودخانه‌ها، طبیعی بوده و یک عامل حیاتی در عملکرد سیستم رودخانه‌ای محسوب می‌شود (Brierley and Fryirs, 2005) که فعالیت‌های انسان به صورت بالقوه می‌تواند موجب تغییر آن شود. در طول قرن اخیر دینامیک سیستم‌های رودخانه‌ای به واسطه فعالیت‌های انسانی نظیر تغییرات کاربری اراضی، شهرنشینی، بهسازی و انحراف کانال، سدسازی و برداشت شن و ماسه تغییر کرده است و این تغییرات منجر به تغییر جریان آب و رسوب و به دنبال آن مورفولوژی کانال و کیفیت آب رودخانه‌ها شده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). از این رو، مورفودینامیک پیچان‌رودها در الگوها و فرایندهای رسوبگذاری و فرایندهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی محیط‌های دشت سیلابی نقش مهمی دارد (Güneralp et al, 2012). مباحث فوق نشان

## منطقه مورد مطالعه

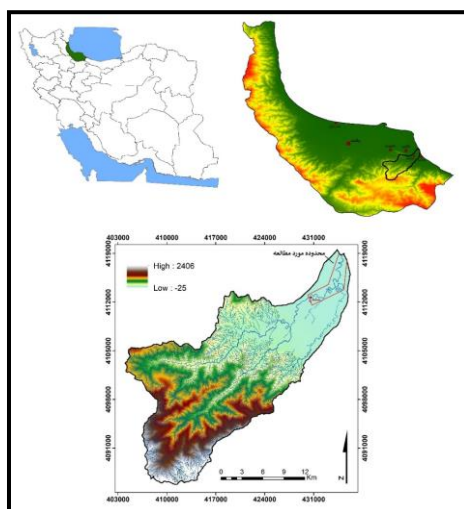
حوضه آبریز شلمان رود در قسمت شرقی استان گیلان در بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی در محدوده بین رودسر و لنگرود قرار دارد (شکل ۱). مساحت این حوضه تا دریای خزر ۴۶۰ کیلومتر مربع و حداکثر ارتفاع آن ۲۴۰۰ متر است. میانگین بارش سالانه در ایستگاه‌های شلمان و کلچال که هر دو در محدوده جلگه‌ای حوضه قرار دارند به ترتیب ۱۱۱۶ و ۱۱۶۸ میلیمتر است. تقریباً ۴۰ درصد بارش حوضه در فصل پاییز ریزش می‌کند. میانگین دبی سالانه شلمان رود ۷/۶۶ مترمکعب در ثانیه و میانگین دبی با دوره بازگشت ۲ ساله ۱۳۹ مترمکعب در ثانیه است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). در این مطالعه بخشی از رودخانه شلمان رود در محدوده جلگه آبرفتی که دارای الگوی پیچان‌رودی است به طول تقریباً ۲۰ کیلومتر از شهر شلمان تا دریا مورد بررسی قرار گرفته است. بستر و کرانه رود در این محدوده از رسوبات ریزدانه رس-سیلت و ماسه تشکیل شده است.

## مواد و روش‌ها

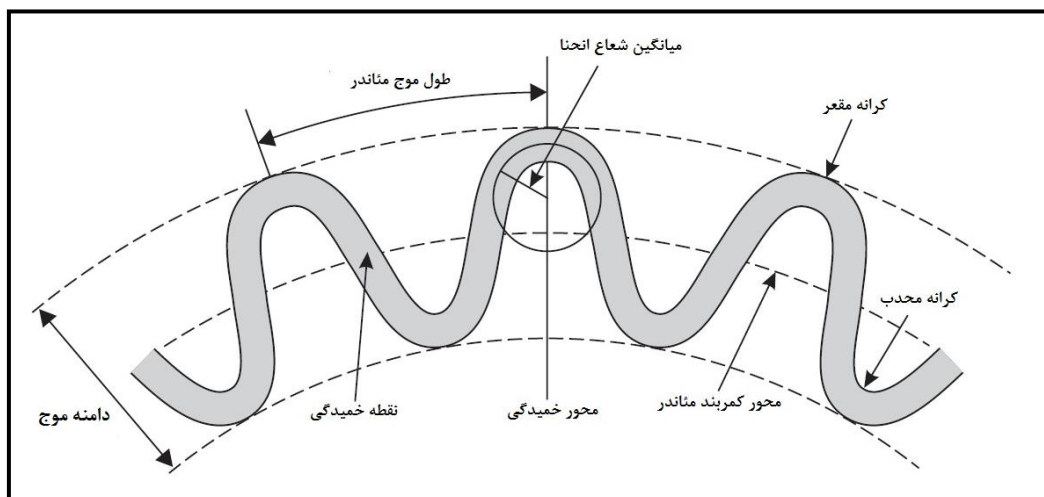
برای مطالعه‌ی پیچان‌رودها در شلمانرود، عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۷۳ با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و تصاویر گوگل ارث سال ۲۰۰۳ (۱۳۸۲) و ۲۰۱۸ (۱۳۹۷) مورد استفاده قرار گرفتند. برای هر یک از سال‌های مذکور، مسیر رودخانه از روی عکس‌های هوایی و تصاویر گوگل ارث ترسیم و رقمی شدند. ارزیابی تغییرات پیچان‌رودهای شلمان رود برای سه دوره ۱۳۷۳-۱۳۴۶، ۱۳۸۲-۱۳۷۳ و ۱۳۹۷-۱۳۸۲ و در سه قالب مورفومتری، مورفودینامیک و مورفولوژی انجام شد که در ادامه تشریح می‌شود. اندازه‌گیری‌های کمی پیچان‌رودها با استفاده از نرم افزارهای اتوگد و Arc GIS 10.3 و محاسبات آماری با نرم افزار SPSS 25 صورت گرفت.

## مورفومتری

برای مورفومتری کانال رود متغیرهای طول موج، دامنه موج، شعاع انحنا و زاویه مرکزی قوس مطابق شکل ۲ اندازه‌گیری شدند و متغیر طول مئاندر با محاسبه نسبت طول کانال به تعداد قوس‌های کانال به دست آمد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز شلمان رود و محدوده مورد مطالعه



شکل ۲: شاخص‌های مورفومتری پیچان رود (حسین‌زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۴)

### مورفودینامیک پیچان رود

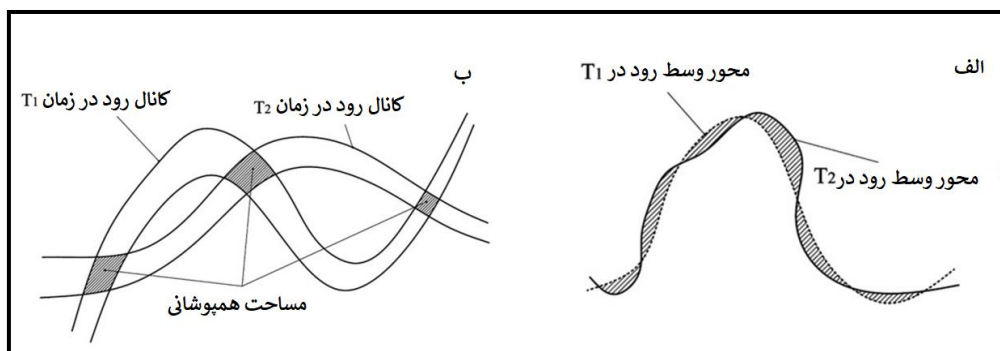
برای بررسی مورفودینامیک پیچان رودی شلمان-رود سه پارامتر مهاجرت جانبی کانال، میزان فعالیت کانال و همپوشانی کانال براساس روش Magdaleno and Fernández-Yuste (2011) محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان مهاجرت جانبی کانال، محور مرکزی کانال در یک دوره با دوره بعد روی هم‌گذاری شده و به فواصل تقریباً ۵۰۰ متری مقدار جابجایی در جهت عمود بر کانال محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت کانال، ابتدا خط وسط رودخانه برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه ترسیم گردید و سپس با روی هم‌گذاری آنها مساحت جابجا شده کانال با

استفاده از رابطه ۱ و شکل ۳ محاسبه شد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۶ و Magdaleno and Fernández-Yuste, 2011).

رابطه ۱)

$$CA = (SA) / (LT1) / (T2 - T1)$$

CA: میزان فعالیت کانال، SA: مساحت جابجا شده در طی دو زمان (محدوده هاشور خورده در شکل ۳ الف)، LT1: طول کانال در زمان اول، T1: زمان اول (سال اول) و T2: زمان (سال دوم). میزان همپوشانی کانال، با روی هم‌گذاری مسیر رودخانه در دو دوره و اندازه‌گیری مساحت سطوح مشترک کانال محاسبه شد (شکل ۳ ب).

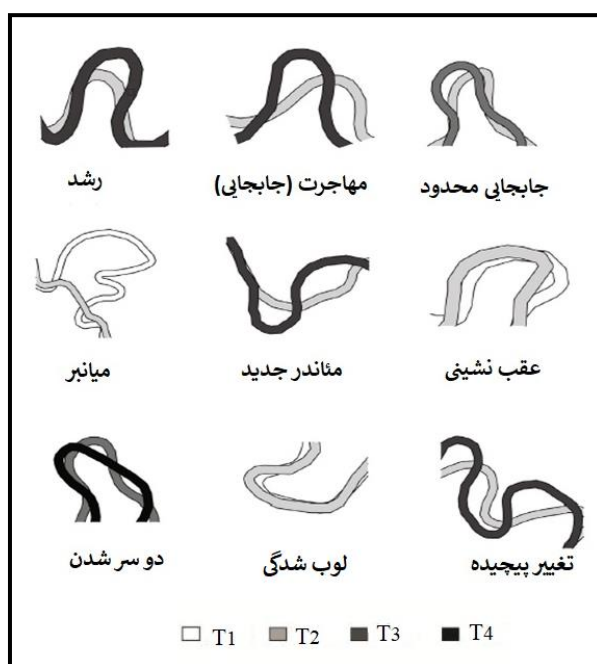


شکل ۳: الف) اندازه‌گیری میزان فعالیت کانال، ب) اندازه‌گیری میزان همپوشانی کانال رود در دو دوره‌ی زمانی مختلف (Magdaleno and Fernández-Yuste, 2011)

## مورفولوژی

مکانیسم‌های تغییرات پیچان‌رودها در دوره‌های مختلف براساس روش هوک و هاروی (۱۹۸۳) در نه کلاس طبقه‌بندی شدند (شکل ۴) که عبارتند از: رشد، جابه‌جایی (مهاجرت)، جابه‌جایی محدود، لوب شدگی (گسترش نامتقارن در یک گوشه از قوس)، دو سر شدن، میانبر، عقب نشینی، مئاندر

جدید و تغییرات پیچیده است (Morais et al, 2016) که برای هر قوس در هر دوره با بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر گوگل ارث طبقه‌بندی شدند، همچنین پیچ و خم‌های با ثبات نیز شمارش شدند.



شکل ۴: مکانیسم‌های تغییر کانال براساس روش هوک و هاروی، ۱۹۸۳ (Morais et al, 2016).

## نتایج

## مورفومتری پیچان‌رودها

میانگین و انحراف معیار پارامترهای هندسی پیچان‌رودهای شلمان‌رود شامل طول و دامنه موج، شعاع قوس، زاویه مرکزی قوس و طول مئاندر در جدول ۱ نشان داده شده است. طول موج مئاندر در سال‌های ۱۳۴۶، ۱۳۷۳، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷ به ترتیب، ۵۴۲، ۵۸۳، ۴۸۲، ۴۷۴ متر اندازه‌گیری شد. غیر از سال ۱۳۷۳ که طول موج مقداری افزایش داشته است در سال‌های بعد مقدار آن کاهش یافته است. دامنه موج از سال ۱۳۴۶ تا

۱۳۹۷ به ترتیب، ۲۸۶، ۳۵۲، ۳۴۹ و ۳۴۸ متر اندازه‌گیری شد. دامنه موج در سال ۷۳ نسبت به سال ۴۶ افزایش داشته است و از سال ۱۳۷۳ به بعد کاهش یافته است (شکل ۵). در مجموع دامنه موج از سال ۴۶ تا ۹۷، تقریباً ۶۲ متر افزایش داشته است. شعاع قوس از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۷ به ترتیب، ۱۳۱، ۱۶۵، ۱۵۳ و ۱۵۶ متر اندازه‌گیری شد. شعاع قوس در سال ۷۳ نسبت به سال ۴۶ افزایش یافته اما در دو دوره‌ی بعدی کاهش داشته است. در مجموع شعاع قوس از سال ۴۶ تا ۹۷، تقریباً ۲۵ متر افزایش داشته است.

گیری شد. طول کانال در طی ۵۱ سال ۲۹۳۷ متر افزایش یافته است. زاویه مرکزی از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۷ به ترتیب، ۱۰۴، ۱۱۵، ۱۱۵ و ۱۲۰ اندازه‌گیری شد. در مجموع زاویه مرکزی از سال ۴۶ تا ۹۷ تقریباً ۱۶ درجه افزایش یافته است.

طول مائندر از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۷ به ترتیب، ۵۴۲، ۵۸۳، ۴۶۲ و ۴۷۴ متر اندازه‌گیری شد. غیر از سال ۷۳ در دوره‌های بعد طول مائندر کاهش یافته است. این کاهش تقریباً ۶۸ متر بوده است. طول کانال از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۷ به ترتیب، ۱۶۹۱۰، ۱۷۱۸۱، ۱۹۸۵۲ و ۱۹۸۴۷ متر اندازه-

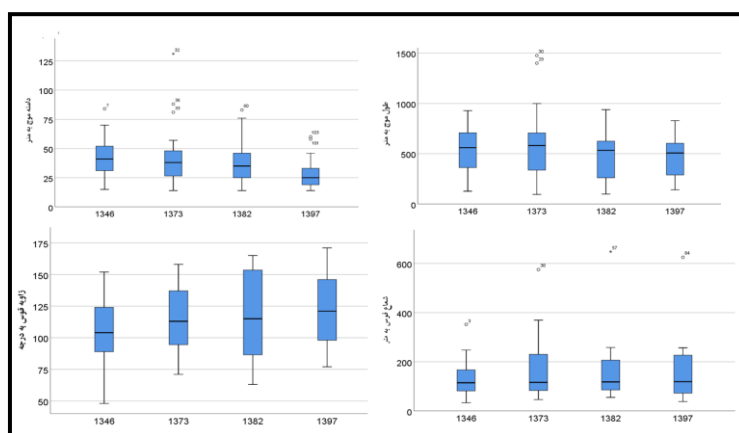
جدول ۱: مقادیر آماری پارامترهای مورفومتری پیچان‌رودهای شلمانرود

سال	۱۳۴۶		۱۳۷۳		۱۳۸۲		۱۳۹۷	
	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین
طول موج	۲۱۵.۷	۵۴۲.۵	۳۲۴.۸	۵۸۳.۶	۲۲۴	۴۸۲	۲۰۰.۴	۴۷۵
دامنه موج	۱۵۴	۲۸۶	۱۸۶.۸	۳۵۳	۱۸۳	۳۴۹	۱۹۵	۳۴۸
شعاع قوس	۷۳.۶	۱۳۱.۴	۱۱۶	۱۶۶	۱۱۷	۱۵۳	۱۲۱	۱۵۶
طول مائندر	--	۵۴۲.۵	--	۵۸۴	--	۴۶۲	--	۴۷۵
طول کانال	--	۱۶۹۱۰	--	۱۷۱۸۱	--	۱۹۸۵۲	--	۱۹۸۴۷
زاویه مرکزی	۲۹.۳	۱۰۴.۳	۲۷.۷	۱۱۵.۳	۳۴.۲	۱۱۶	۲۷.۲	۱۲۰.۷

SD: انحراف معیار داده‌ها

یافته (زاویه ۱۵۸-۲۹۶ درجه) در سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۷۳ مشاهده نشدند اما در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷ به ترتیب، ۱۱ و ۷ درصد از کل قوس‌ها را شامل شده‌اند که نشان‌دهنده تغییر حالت شکل قوس‌ها در سال‌های اخیر است.

بیشتر قوس‌های شلمانرود به صورت مائندهای توسعه یافته (زاویه ۸۵-۱۵۸ درجه) بوده و در سال‌های ۱۳۴۶، ۱۳۷۳، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۷۹، ۸۱، ۶۲ و ۸۱ درصد کل قوس‌ها را شامل شده‌اند (جدول ۲). قوس‌های بیش از حد توسعه



شکل ۵: مقادیر پارامترهای مورفومتری پیچان‌رودهای شلمانرود طی دوره زمانی ۹۷-۱۳۴۶

جدول ۲: انواع پیچان رودهای شلمان رود براساس زاویه مرکزی قوس طی سالهای ۹۷-۱۳۴۶

سال		۱۳۴۶		۱۳۷۳		۱۳۸۲		۱۳۹۷	
نوع پیچان رود		تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
توسعه نیافته (۴۱-۸۵)		۵	۲۰.۸۳	۵	۱۸.۵۱	۷	۲۵.۹۲	۳	۱۱.۱۲
توسعه یافته (۸۵-۱۵۸)		۱۹	۷۹.۱۶	۲۲	۸۱.۴۹	۱۷	۶۲.۹۶	۲۲	۸۱.۴۸
بیش از حد توسعه یافته (۱۵۸-۲۹۶)		۰	۰	۰	۰	۳	۱۱.۱۲	۲	۷.۴۰
مجموع		۲۴	۱۰۰	۲۷	۱۰۰	۲۷	۱۰۰	۲۷	۱۰۰

توزیع نرمال بوده است از آزمون ویلکسون استفاده شد. نتایج تحلیل آماری در سطح معناداری ۰/۰۵ نشان می‌دهد که تغییر معناداری در مقدار میانگین این پارامترها در دوره‌های مختلف ایجاد نشده است (جدول ۳).

برای بررسی تغییرات میانگین پارامترها در سال‌های مختلف از آزمون‌های آماری استفاده گردید. با توجه به اینکه داده‌های طول و دامنه موج و زاویه مرکزی دارای توزیع نرمال بوده‌اند از آزمون t جفتی و برای متغیر شعاع قوس که فاقد

جدول ۳: نتایج آزمون آماری پارامترهای هندسی شلمان رود در دوره‌های مورد مطالعه

دوره	۱۳۷۳-۱۳۴۶	۱۳۸۲-۱۳۷۳	۱۳۹۷-۱۳۸۲
پارامتر هندسی			
طول موج	۰.۳۵۶	۰.۱۲۴	۰.۵۳۱
دامنه موج	۰.۰۵۳	۰.۵۳۵	۰.۹۴۸
زاویه مرکزی	۰.۱۲۲	۰.۸۳۳	۰.۱۸۳
شعاع قوس*	۰.۱۹۹	۰.۴۵۶	۰.۸۸۵

\*مقادیر Sig برای سه پارامتر اول از آزمون t جفتی و برای شعاع قوس از آزمون ویلکسون به دست آمده است.

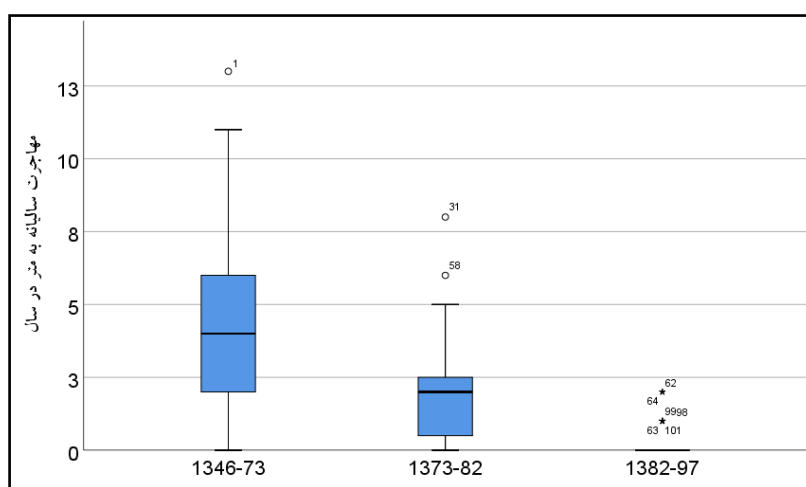
کاهش در این پارامتر است (جدول ۴). درصد همپوشانی کانال در دوره ۷۳-۴۶، ۱۳ درصد بوده است. اما در دوره‌های ۸۲-۷۳ و ۹۷-۸۲ به ترتیب به ۷۸ و ۸۶ درصد افزایش یافته است. پارامترهای مورفودینامیک کانال در پیچان رودهای شلمان رود در دوره‌های مورد بررسی ارتباط زیادی را نسبت به هم نشان می‌دهند. در طی سه دوره مهاجرت کانال و میزان فعالیت رود روند کاهشی

مورفودینامیک پیچان رودهای شلمان رود میانگین مهاجرت جانبی کانال در دوره ۷۳-۱۳۴۶، ۱۳۳ متر اندازه‌گیری شد که این مقدار در دوره‌های ۸۲-۷۳ و ۹۷-۸۲ به ترتیب به ۲۱/۹ و ۱۰/۴ متر کاهش یافته است (جدول ۴ و شکل ۶). میزان فعالیت کانال در سه دوره ۷۳-۴۶، ۴۶-۸۲ و ۷۳-۹۷ به ترتیب ۲/۷۷، ۱/۲۲ و ۰/۴۸ متر در سال اندازه‌گیری شد که نشان دهنده یک روند

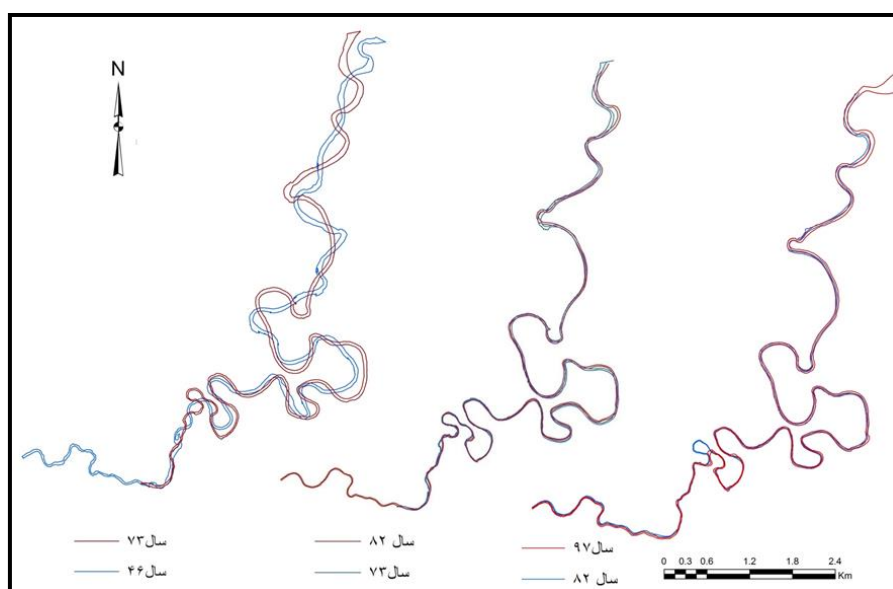
داشته و به تبع آنها میزان همپوشانی کانال روند افزایشی را نشان می دهد. این روند بیانگر کاهش مورفودینامیک کانال طی ۲۵ سال اخیر یعنی طی دوره ۹۷-۸۲ و ۸۲-۷۳ است (شکل ۷).

جدول ۴: مقادیر اندازه گیری شده پارامترهای مورفودینامیک رودخانه شلمانرود در دوره های ۱۳۴۶-۹۷

دوره زمانی			پارامترها
۹۷-۸۲	۸۲-۷۳	۷۳-۴۶	
۱۰.۴۲	۲۱.۸۹	۱۳۳.۳۱	میانگین مهاجرت جانبی به متر
۰.۴۸	۱.۲۲	۲.۷۷	میزان فعالیت کانال (متر در سال)
۸۶	۷۸	۱۳	میزان همپوشانی کانال (درصد)



شکل ۶: مقادیر مهاجرت جانبی کانال رود طی دوره های زمانی ۱۳۴۶-۹۷



شکل ۷: میزان مهاجرت و جابجایی رودخانه شلمانرود طی سال های ۱۳۴۶-۹۷



تغییرات مهاجرت جانبی کانال با استفاده از آزمون آماری ویلکاکسون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل آماری نشان می‌دهد که تغییرات مهاجرت جانبی کانال برای همه دوره‌ها اختلاف معناداری (Sig<0.05) دارد (جدول ۵).

جدول ۵: نتایج آماری (آزمون ویلکاکسون) مهاجرت جانبی کانال شلمان رود

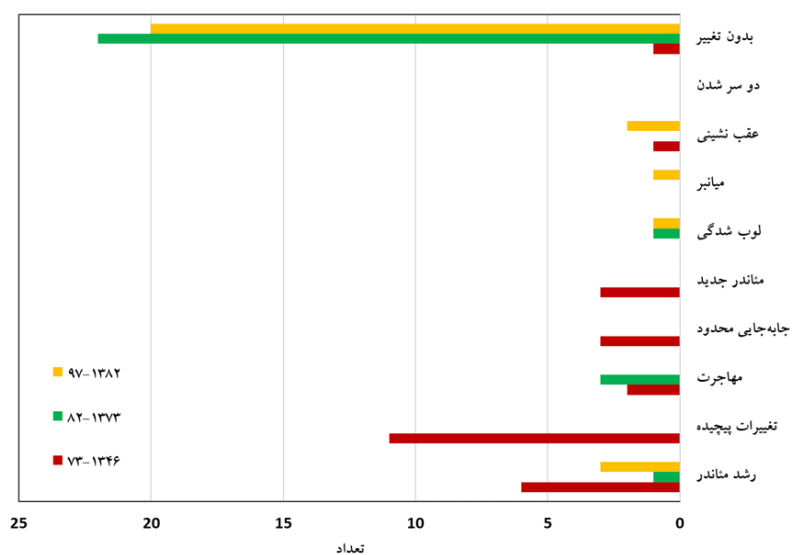
دوره‌های زمانی	تعداد رتبه منفی	تعداد رتبه مثبت	تعداد کل	مقدار Sig
(۷۳-۴۶)-(۸۲-۷۳)	۲۱	۸	۲۹	۰.۰۰۲
(۸۲-۷۳)-(۹۷-۸۲)	۲۶	۵	۳۱	۰.۰

تغییرات مورفولوژیکی شلمان رود انواع مدل مهاجرت و تغییرات مورفولوژیکی پیچان رودها طی سه دوره در جدول ۶ و شکل ۸ نشان داده شده است. بر این اساس در دوره ۷۳-۱۳۴۶، تغییرات پیچیده و رشد مئاندر با مقدار ۶۷ درصد، بیشترین الگوی مهاجرت کانال بوده‌اند. طی دوره ۸۲-۱۳۷۳ تقریباً ۸۱ درصد کانال بدون تغییر بوده و ۱۹ درصد باقیمانده مربوط به

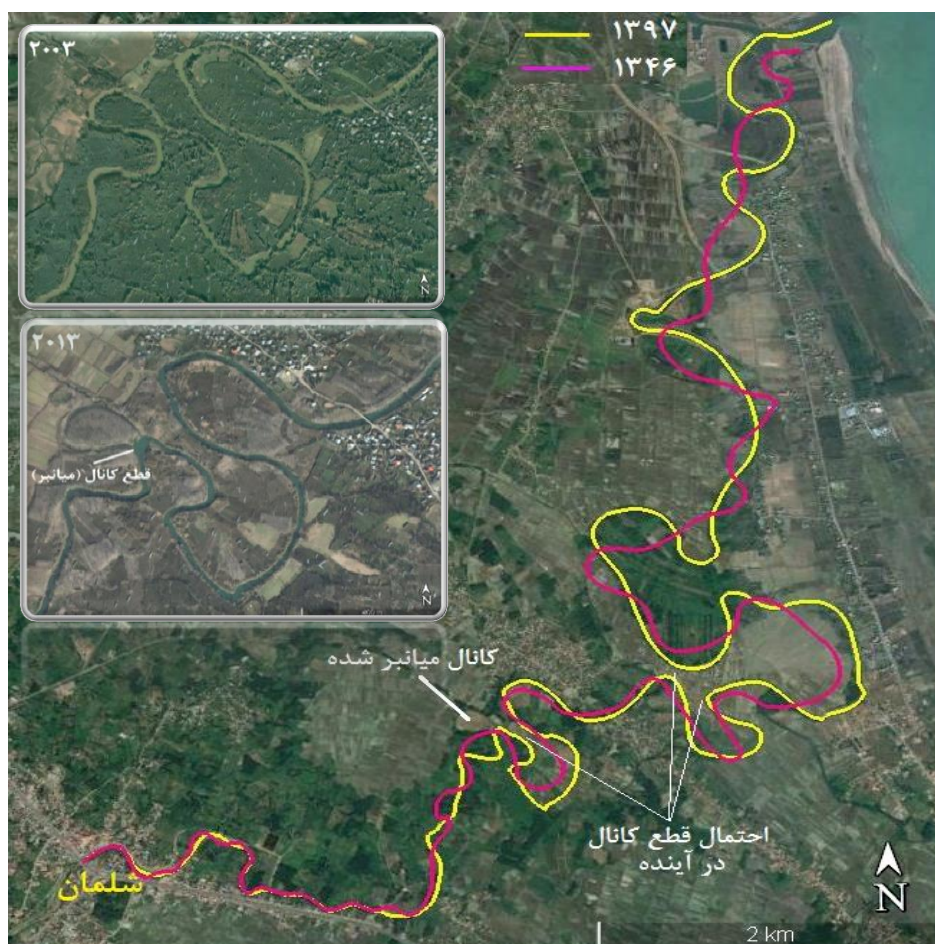
الگوهای مهاجرت، رشد مئاندر و لوب شدگی بوده است. در دوره ۹۷-۱۳۸۲ الگوهای تغییرات تقریباً مشابه دوره قبلی و با مقداری تفاوت بوده است. در دوره سوم، اگرچه تغییرات نسبت به دوره قبلی کم بوده است اما یک مورد تغییر میانبری در کانال رود رخ داده است که در شکل ۹ نشان داده شده است.

جدول ۶: تغییرات مورفولوژیکی پیچان رودهای شلمان رود طی سال‌های ۹۷-۱۳۴۶

ردیف	دوره	۱۳۷۳-۱۳۴۶		۱۳۸۲-۱۳۷۳		۱۳۹۷-۱۳۸۲	
		تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
۱	رشد مئاندر	۶	۲۲.۲۲	۱	۳.۷۱	۳	۱۱.۱۱
۲	تغییرات پیچیده	۱۱	۴۰.۷۴	--	--	--	--
۳	مهاجرت	۲	۷.۴۰	۳	۱۱.۱۱	--	--
۴	جابه‌جایی محدود	۳	۱۱.۱۱	--	--	--	--
۵	مئاندر جدید	۳	۱۱.۱۱	--	--	--	--
۶	لوب شدگی	--	--	۱	۳.۷۱	۱	۳.۷۱
۷	میانبر	--	--	--	--	۱	۳.۷۱
۸	عقب نشینی	۱	۳.۷۱	--	--	۲	۷.۴۰
۹	دو سر شدن	--	--	--	--	--	--
۱۰	بدون تغییر	۱	۳.۷۱	۲۲	۸۱.۴۷	۲۰	۷۴.۰۷



شکل ۸: تغییرات مورفولوژیکی پیچان رودهای شلمانرود طی دوره زمانی ۱۳۴۶-۹۷



شکل ۹: تغییرات مائدرهای شلمانرود طی سالهای ۱۳۴۶ و ۱۳۹۷ و موقعیت قطع شدگی کانال (میانبر)

### نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که شاخص‌های مورفومتری شلمان رود شامل طول و دامنه موج و شعاع قوس در طی دوره‌های مورد مطالعه نسبت به مقدار میانگین تفاوت معناداری نداشته است. اما از نظر مورفودینامیکی، خصوصاً میزان مهاجرت جانبی کانال، کاهش محسوسی را در طی زمان نشان می‌دهد. اگرچه مقدار مهاجرت جانبی کاهش یافته اما از نظر مورفولوژی، نوع مهاجرت کانال تغییر یافته و در بازه‌های میانی، قطع شدگی کانال (میانبر) اتفاق افتاده است. رودخانه‌ها معمولاً در حالت طبیعی تعادل دینامیکی دارند بدین صورت که شاخص‌ها و پارامترهای هندسی رود حول یک میانگین تغییر یافته و عملکرد ژئومورفیک رود در دشت سیلابی فعال است. در پیچان‌رودهای شلمان رود، علی‌رغم تغییرات ناچیز مقادیر پارامترهای هندسی رود، کاهش مقادیر شاخص‌های مورفودینامیک رود اتفاق افتاده است. این شرایط نشان‌دهنده تغییر حالت رود از تعادل دینامیکی به تعادل استاتیکی است. نتایج به‌دست آمده در مطالعات Magdaleno and Fernández-Yuste (2011) در رودخانه ابرو اسپانیا، اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۶) در گرگانرود و جباری و رستمی (۱۳۹۷) در رودخانه قره‌سو

### منابع

اسفندیاری، ف.، رحیمی، م. و رحیمی، م.، ۱۳۹۷. تحلیل میزان مهاجرت عرضی مجرای رودخانه ارس با استفاده از روش ترانسکت در طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۸۷ (از سد خدا آفرین تا سد میل مغان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۵، شماره ۴، ص ۴۱-۵۸.

کرمانشاه هم، چنین نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. کاهش مهاجرت کانال رود و افزایش میزان هم‌پوشانی کانال رود خصوصاً در دوره ۹۷-۱۳۸۲ نشان دهنده‌ی کاهش فعالیت ژئومورفیک رود است. اشغال مناطق اطراف رود با کاربری‌های کشاورزی و مسکونی، احداث انواع دایک‌ها و تثبیت کناره در قسمت‌های مختلف رود از جمله عوامل تأثیرگذار بر کاهش فعالیت‌های ژئومورفیک کانال در محدوده کمربند پیچان‌رودی در شلمان-رود است. در شرایط فعلی، برداشت شن و ماسه از بستر و دشت سیلابی قسمت‌های بالادست بازه مورد مطالعه، پایین رفتن بستر (فروسایی کانال)، وجود رسوبات ریزدانه و سست در اندازه سیلت و ماسه در بستر و کرانه و تشکیل قوس‌های مئاندری توسعه یافته می‌تواند وقوع قطع شدگی کانال (میانبر) را در بازه‌های میانی افزایش داده و موجب ایجاد ناپایداری در تعادل رود شود. نتایج تحلیل‌های این تحقیق نشان می‌دهد که مطالعه‌ی ژئومورفولوژیکی رودخانه‌های پیچان‌رودی با استفاده از مجموع شاخص‌های مورفومتری، مورفودینامیکی و مورفولوژیکی درک جامع و عمیق‌تری را برای تحلیل این نوع از رودخانه‌ها فراهم می‌آورد.

-اسماعیلی، ر.، لرستانی، ق. و بازبار، غ.، ۱۳۹۶. اثرات احداث سد بر ویژگی‌های پیچان‌رودی قسمت‌های میانی گرگان‌رود، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۴، ص ۶۵۷-۶۶۶.

- ژئومورفومتریکی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۵، شماره ۴، ص ۷۶-۱۰۲.
- رضایی مقدم، م.ح.، نیکجو، م.ر.، مختاری، م.ر.، فاخری فرد، ا. و خوشدل، ک.، ۱۳۹۷. بررسی پلان قوسی و تنوع در شاخص سینوسی رودخانه کلبرچای، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۲، شماره ۶۴، ص ۸۱-۱۰۱.
- رضایی مقدم، م.ح. و پیروزی نژاد، ن.، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات مجرا و فرسایش کناره‌ای در رودخانه گاماسیاب از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۹، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۸، شماره ۴۷، ص ۱۰۹-۱۳۲.
- سلطانی گرد فرامرزی، س.، عسگری ورزیده، س. و تازه، م.، ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات زاویه مرکزی و شعاع مرکزی در مائدرهای رودخانه گاماسیاب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۲، شماره ۶۳، ص ۲۲۵-۲۴۰.
- کهربائیان، پ.، بهنیافر، ا.، شاکری زارع، ح. و رضایی عارفی، م.، ۱۳۹۷. تحولات مورفولوژیکی و الگوی پیچان‌رودی بستر رودخانه مرزی هریرود با استفاده از RS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۳، شماره ۳، ص ۵۳-۶۴.
- وزارت نیرو، ۱۳۹۰. گزارش ریخت‌شناسی رودخانه شلمانرود، شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان، ۳۸ ص.
- یمانی، م. و حسین‌زاده، م.م.، ۱۳۸۳. بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۲، ص ۱۴۴-۱۵۴.
- یمانی، م.، رحیمی، م. و ویسی، ع.، ۱۳۹۷. مورفومتری و مقایسه تغییرات عرضی رودخانه -اصغری سراسکانرود، ص.، ۱۳۹۵. بررسی پتانسیل تغییرات مورفولوژیک رودخانه شهرچای ارومیه، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۰، شماره ۵۷، ص ۴۹-۶۲.
- بیاتی خطیبی، م.، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات پیچان‌رود آجی‌چای در پهنه سیلاب دشت، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۸، شماره ۴۹، ص ۷۹-۵۵.
- پیروزی نژاد، ن. و پیروزی نژاد، س.، ۱۳۹۷. بررسی تغییرات پلانفرم و شعاع قوس‌های مائدر رودخانه گاماسیاب با استفاده از روش‌های آماری از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۹، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۴، شماره ۳، ص ۹۷-۱۱۱.
- جباری، ا. و رحیمی جاوید، ط.، ۱۳۹۷. حساسیت شاخص‌های شکل و تحولی مائدرها به پویایی رودخانه‌های کوچک (مطالعه موردی: رودخانه قره سو در کرمانشاه)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۳، ص ۴۵۹-۴۷۱.
- حسین‌زاده، م.م. و اسماعیلی، ر.، ۱۳۹۴. ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، مفاهیم، اشکال و فرآیندها، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۳۳۸ ص.
- حسین‌زاده، م.م.، شیروود عیسی، ن. و اسماعیلی، ر.، ۱۳۹۷. اثرات نامطلوب برداشت شن و ماسه بر سیستم رودخانه‌ای، مطالعه موردی: رودخانه شیروود تنکابن (استان مازندران)، پژوهش‌های دانش زمین، سال نهم، شماره ۳۴، ص ۱۶۵-۱۷۵.
- خیری‌زاده آروق، م.، رضایی مقدم، م.ح.، رجبی، م. و دانش فراز، ر.، ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات جانبی مجرای رودخانه زرینه رود با استفاده از روش‌های

کمی، دوره ۳، شماره ۴، ص ۷۴-۸۹.

ارس طی سه دهه اخیر مطالعه موردی، پایین دست سد میل مغان، پژوهشهای ژئومورفولوژی

-Brierley, G.J. and Fryirs, K.A., 2005. *Geomorphology and River Management, Applications of the River Styles Framework*, Blackwell, Oxford, 398 p.

-Güneralp, I., Abad, J.D., Zolezzi, G. and Hooke, J., 2012. Advances and challenges in meandering channels research, *Geomorphology*, v. 163, p. 1-9.

-Hooke, J.M., 2007. Spatial variability, mechanisms and propagation of change in an active meandering river, *Geomorphology*, v. 84, p. 277-296.

-Hooke, J.M. and Yorke, L., 2010. Rates, distributions and mechanisms of change in meander morphology over decadal timescales, *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 35, p. 1601-1614

-Li, Z., Yu, G., Brierley, G.J., Wang, Z. and Jia, Y., 2017. Migration and cutoff of meanders in the hyperarid environment of the middle Tarim River, northwestern China, *Geomorphology*, v. 276, p. 116-124.

-Magdaleno, F. and Fernández-Yuste, J.A., 2011. Meander dynamics in a changing river corridor, *Geomorphology*, v. 130, p. 197-207.

-Morais, E.S., Rocha, P.C. and Hooke, J., 2016. Spatiotemporal variations in channel changes caused by cumulative

factors in a meandering river: The lower Peixe River, Brazil, *Geomorphology*, v. 273, p. 348-360.

-Nicoll, T.J. and Hickin, E.J., 2010. Planform geometry and channel migration of confined meandering rivers on the Canadian prairies, *Geomorphology*, v. 116, p. 37-47.

-Ollero, A., 2010. Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain, *Geomorphology*, v. 117, p. 247-260.

-Schuurman, F., Shimizu, Y., Iwasaki, T. and Kleinmans, M.G., 2016. Dynamic meandering in response to upstream perturbations and floodplain formation, *Geomorphology*, v. 253, p. 94-109.

-Seminara, G., 2006. Meanders, *Journal of Fluid Mechanics*, v. 554, p. 271-297.

-Yousefi, S., Pourghasemi, H.R., Hooke, J., Navartil, O. and Kidov´a, A., 2016. Changes in morphometric meander parameters identified on the Karoon River, Iran, using remote sensing data, *Geomorphology*, v. 271, p. 55-64.

-Zhou, M., Xia, J., Lu, J., Deng, S. and Lin, F., 2017. Morphological adjustments in a meandering reach of the middle Yangtze River caused by severe human activities, *Geomorphology*, v. 285, p. 325-332.