

## بررسی تغییرات مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانه‌ی زهره با استفاده از تصاویر Google Earth

فاطمه درویش‌زاده: دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه آب و خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

صمد امام‌قلی‌زاده\*: دانشیار گروه آب و محیط زیست، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

خلیل ازدری: دانشیار گروه آب و خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

محمد سیاری: کارشناس مدیریت مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۸

تاریخچه‌ی مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱۰)

### چکیده

فرسایش و رسوب‌گذاری دو پدیده‌ای است که به تغییرات مورفولوژیکی در رودخانه‌های آبرفتی منجر می‌شود. تغییرات مورفولوژیکی در رودخانه‌ها می‌تواند مشکلات عدیده‌ای را در پی داشته باشد؛ از این رو، مطالعه و بررسی شکل رودخانه‌های آبرفتی در علم مورفولوژی اهمیت به سزایی دارد. در این تحقیق، تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ی زهره واقع در جلگه‌ی هنديجان، برای طول حدود ۲۳ کیلومتر در بین طول‌های جغرافیایی  $30^{\circ}30'$  و  $30^{\circ}38'$  و عرض‌های جغرافیایی  $30^{\circ}2'$  و  $30^{\circ}6'$  شمالی مطالعه و بررسی شد. بدین منظور، تصاویر Google Earth مسیر رودخانه برای سه دوره‌ی زمانی شامل مسیر قدیمی، سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ میلادی بررسی شد. ذکر این امر لازم است که مسیر قدیمی بر مبنای آثار به‌جای مانده از رودخانه، در تصویر Google Earth سال ۲۰۰۰ میلادی در محیط GIS بازسازی شد. سپس این تصاویر در محیط GIS، تجزیه و تحلیل و پارامترهای مهم در تغییرات مورفولوژی رودخانه از قبیل ضریب خمیدگی، زاویه‌ی مرکزی، طول قوس و شعاع انحنا نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد که در گذشته در این رودخانه، چهار قطع‌شدگی یا میانبر رخ داده‌است و در آینده نیز ایجاد یک میانبر، قابل پیش‌بینی است. تعداد پیچش‌ها در طول این سه بازه زمانی، از ۳۵ به ۲۱ کاهش یافت و میانگین ضریب خمیدگی از  $1/64$  به  $1/58$ ، شعاع انحنا از  $450/1$  به  $632/3$  متر، زاویه‌ی مرکزی از  $196/6$  به  $193/3$  درجه و طول قوس از  $1197$  به  $1154/6$  متر تغییر داشت. بر اساس معیار ولفرت، بر حسب ضریب خمیدگی رودخانه‌ها (به نقل از راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها، نشریه‌ی شماره‌ی ۵۹۲ وزارت نیرو: ۹۶) و زاویه‌ی مرکزی کورنایس، رودخانه‌ی زهره واقع در جلگه‌ی هنديجان در رده‌ی رودخانه‌های پیچان‌رودی و پیچان‌رود بیش از حد توسعه‌یافته قرار می‌گیرد. واژگان کلیدی: گوگل ارث، رودخانه‌ی زهره، زاویه‌ی مرکزی، ضریب خمیدگی.

## ۱- مقدمه

رودخانه به عنوان سیستمی پویا، همواره مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود را برحسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهد (Rezaei Moghadam et al, 2012 & Fatemi Aghda et al, 2001). در طول صد سال گذشته، بسیاری از سیستم‌های رودخانه‌ای در اثر دخالت انسانی و عوامل متعددی مانند استفاده از زمین، شهرنشینی، زهکشی، ساخت سدها، انحراف مسیر رودخانه، احداث معادن شن و ماسه و دینامیک رودخانه، تغییرات قابل‌توجهی داشته‌است (Rinaldi and Surian, 2003). تغییرات رودخانه‌ای به‌صورت فرسایش یا رسوب‌گذاری در بستر، تخریب دیواره‌ها، تغییر راستای جریان، تغییر و جابه‌جایی پیچان‌رودها و تغییر در شکل دیده می‌شود (Foroughi et al, 2001).

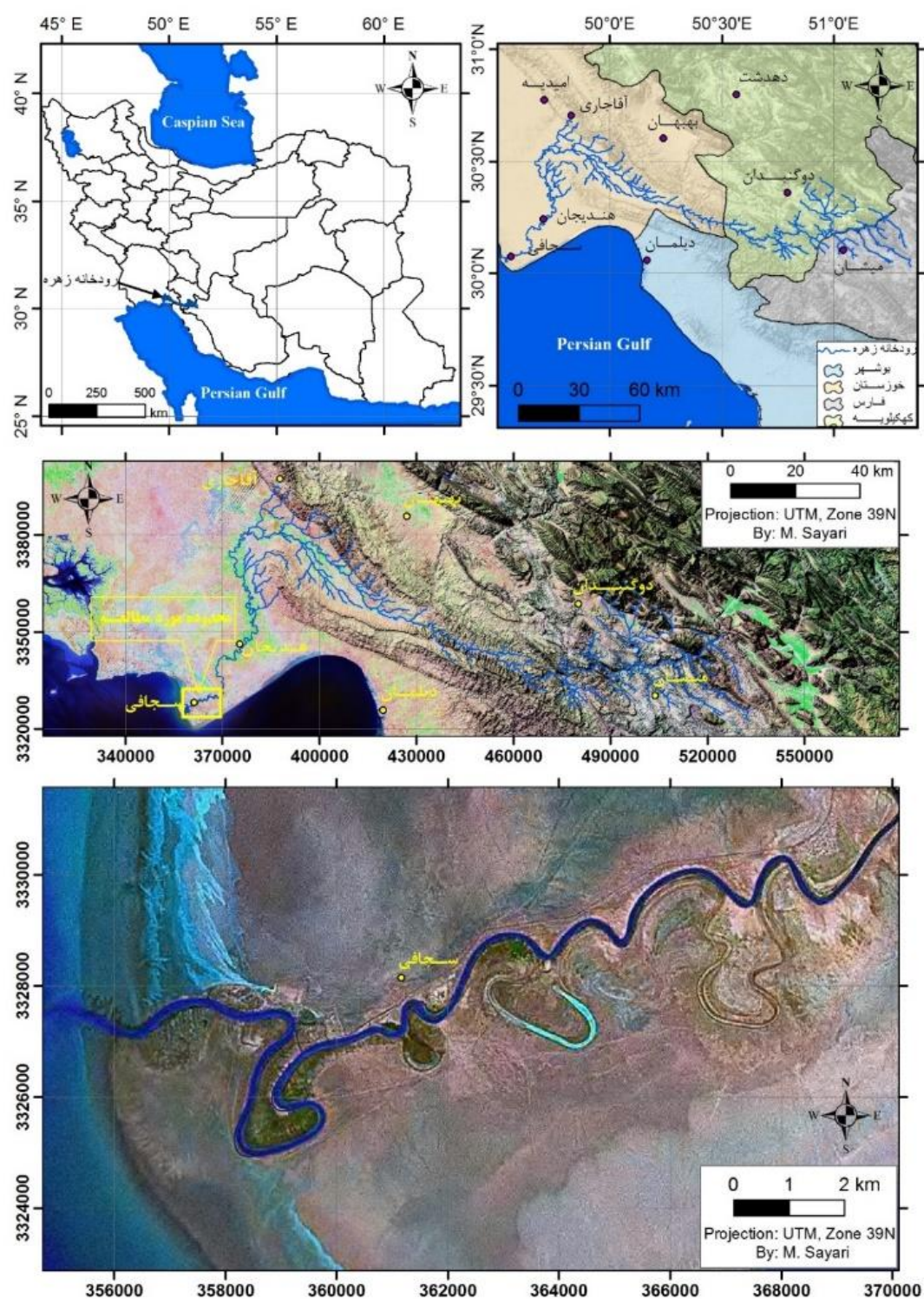
در زمینه‌ی تغییرات مورفولوژی و فرسایش کناری رودخانه‌ها، پژوهش‌های متعددی در ایران و جهان صورت گرفته‌ است که این تحقیقات عمدتاً به مسائل مهندسی رودخانه می‌پردازد و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی رودخانه در آن کمتر قابل‌توجه است (Yamani and Sharafi, 2011)؛ برای مثال، Fatemi Aghda و همکاران (2001) با استفاده از عکس- های هوایی سال‌های ۱۳۵۸ و ۱۳۷۲ و بر اساس تجزیه و تحلیل نمونه رسوبات برداشت شده از بستر رودخانه، به مطالعه و بررسی رودخانه‌ی کرخه پرداختند. نتایج نشان داد که پایین بودن درجه‌ی تراکم و سستی رسوبات کناره‌ها به علت جدید بودن آنها، متفاوت بودن جنس لایه‌ها، چسبندگی اندک بعضی از لایه‌های رسوبی در معرض فرسایش و وجود املاح پراکنده‌کننده در بعضی از لایه‌ها، عمده‌ترین دلایل فرسایش کناری رودخانه‌ی کرخه (روستای عبدالخان تا الهایی) است. Arshad و همکاران (2008) با استفاده از روش سنجش‌ازدور، تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی کارون را از گتوند تا بند قیر از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۲ بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که خصوصیات قوس‌ها در طول رودخانه در حال تغییر است و مقدار جابه‌جایی عرضی آنها در مناطقی به ۱۹۵۰ متر در طول ۱۳ سال نیز می‌رسد. Hosseinzadeh و همکاران (2011) با استفاده از سنجش‌از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، تغییرات ژئومورفولوژیک رودخانه‌ی مهران را بر روی دلتا (استان هرمزگان، بندرلنگه) در طی بازه ۲۱ ساله بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که کانال رودخانه‌ی مهران جابه‌جایی زیادی دارد؛ به‌طوری‌که تشکیل پیچان‌رودهای جدید و متروک شدن بخش‌هایی از مسیر کانال، نتیجه- ی همین جابه‌جایی بوده‌است. Nohega و همکاران (2010)، تغییرات ژئومورفولوژیک نیمرخ طولی و عرضی علیای رودخانه‌ی میناب را در بخش جلگه‌ای (محدوده‌ی سد تا پل میناب) بررسی کردند. نتایج بررسی آنها نشان داد که بستر رودخانه، پایین رفتن نیمرخ رودخانه را در تمام طول مسیر آن در پی داشت که این امر در اثر کاهش تدریجی بار جامد حاصل از حوزه آبخیز میناب به علت احداث سد و گیر افتادن رسوب‌ها به خصوص رسوب‌های درشت‌دانه در دریاچه‌ی سد صورت گرفت. Masoomi و همکاران (2011) نیز به بررسی خصوصیات هندسی رودخانه‌ی زهره از سال ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۲ میلادی پرداختند. تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که بررسی مورفولوژی رودخانه در سایر کشورها نیز اهمیت خاصی داشته‌است و تاکنون، محققان مختلفی بدان پرداخته‌اند؛ مانند Biedenharn و همکاران (2000) که تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ی می‌سی‌سی‌پی را بررسی کردند. همچنین Orfeo و Stevaux (2002) که مشخصات هیدرولیکی و مورفولوژی رودخانه‌ی پارانا واقع در کشورهای برزیل و آرژانتین را بررسی کردند. علاوه بر آن، می‌توان به

تحقیقات Rumsby و همکاران (2008)، Lehotský و همکاران (2010)، Barnard و همکاران (2010)، Barusseau و همکاران (1998) اشاره کرد.

دشت ساحلی هندیجان در پیرامون رودخانه‌ی زهره، کانون فعالیت‌های مهم کشاورزی، شیلاتی، بازرگانی و نظامی است و هرگونه تغییر در رژیم و حریم این رودخانه، در شرایط اقتصادی، اجتماعی و امنیتی منطقه تأثیرات قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. بنابراین، بررسی دقیق پارامترهای هیدرولیکی مؤثر در تغییرات مورفولوژی منطقه و الگوی پیچان‌رودی به عنوان پارامترهای مؤثر در بررسی آن، به منظور حفظ منابع و سرمایه‌های موجود و با توجه به محرومیت منطقه بسیار ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق با توجه به شرایط ویژه‌ی این دشت ساحلی سعی شده‌است با مطالعه و بررسی تصاویر Google Earth در محیط GIS، خصوصیات هندسی از قبیل ضریب خمیدگی، شعاع انحناء، زاویه‌ی مرکزی و طول قوس رودخانه در سه بازه زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ میلادی و مسیر قدیمی - که از بازسازی تصاویر موجود در Google Earth به دست آمده‌است - بررسی شود. باید افزود که بازه زمانی مورد مطالعه نسبت به مطالعه‌ی پیشین - که توسط معصومی و همکاران صورت گرفته‌است - بیشتر است؛ بنابراین، تصاویر مورد استفاده در این پژوهش مربوط به سال‌های بعد و قبل از مطالعه انجام شده‌ی قبلی است تا تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی محدوده‌ی مورد مطالعه ملموس‌تر باشد.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

رودخانه‌ی زهره (شکل ۱) در شهرستان‌های بهبهان، بندر ماهشهر، ممسنی و گچساران در استان‌های خوزستان، فارس و کهگیلویه و بویراحمد جریان دارد. طول این رودخانه، ۴۹۰ کیلومتر و ارتفاع آن در سرچشمه ۲۸۵۰ متر است. این رودخانه از کوه کنه دوده‌سه واقع در تنگ گوش موره در فاصله‌ی ۱۴ کیلومتری شمال غربی اردکان سرچشمه می‌گیرد و با نام رودخانه‌ی اردکان به طرف جنوب سرازیر و از طریق دهستان باشت به شهرستان گچساران وارد می‌شود و به رود زهره تغییر نام می‌یابد. در ادامه پس از مخلوط شدن با رودخانه‌های بابا منیر و هفت قنات و عبور از نواحی جنوبی گچساران، به سردشت بهبهان وارد می‌شود و سرانجام در غرب روستای چتله و در جنوب غربی هندیجان به خلیج فارس می‌ریزد. طبق طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس الگوهای مختلف، رودخانه‌ی زهره واقع در جلگه‌ی هندیجان (بازه مورد مطالعه) رودخانه‌ای پیچان‌رودی، فرسایشی، پیر، دایمی و آبرفتی است. منطقه‌ی مورد مطالعه در دلتای رودخانه‌ی زهره واقع شده‌است که در حد فاصل شهر هندیجان تا سواحل خلیج فارس، بین طول‌های جغرافیایی ۳۰° ۳۰' و ۴۹° ۳۸' خاوری و عرض‌های جغرافیایی ۳۰° ۲' و ۳۰° ۶' شمالی قرار گرفته‌است. طول رودخانه در این بازه، ۲۳ کیلومتر است. متوسط بارندگی منطقه نیز ۲۰۰ میلی‌متر (ایستگاه هواشناسی دهملا) است که بیشینه‌ی بارش در دی‌ماه، ۲۱ درصد بارندگی سالانه را شامل می‌شود و کمترین بارش، مربوط به تیرماه با ۰/۱ درصد است. بالاترین دما در تیرماه با بیش از ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و کمترین آن در دی‌ماه است. دبی بیشینه، متوسط و کمینه به ترتیب ۱۴۵، ۹۰ و ۵/۶ مترمکعب بر ثانیه است (JAMAB Consulting Engineers Company, 1999).



شکل ۱: موقعیت رودخانه‌ی زهره در استان خوزستان و موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه

### ۳- مواد و روش

در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانه‌ی زهره در دشت ساحلی هندیجان، از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ میلادی استفاده شد. این تصاویر در شکل ۳ نشان داده شده‌است. بر اساس این دو تصویر، مسیر قدیمی رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد بررسی قابل شناسایی است. همان‌طور که در شکل ۳ کاملاً مشخص است، چهار میانبر<sup>۱</sup> در طول مسیر قدیمی دیده می‌شود. در ادامه، این مسیر قدیمی به دقت شناسایی و به همراه دو مسیر مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ میلادی ترسیم شد که مسیرهای ترسیم‌شده در شکل ۴ نشان داده شده‌است. در مرحله‌ی بعدی برای بررسی پیچان‌رودی بودن و تغییرات مورفولوژی رودخانه، مسیرهای ترسیم‌شده از Google Earth به محیط GIS وارد شد. برای بررسی پارامترهای مهم در تغییرات مورفولوژی رودخانه از نرم‌افزار ArcMap 10.2 استفاده شد؛ بدین صورت که دایره‌هایی با شعاع مناسب مماس با پیچش‌های موجود در مسیرهای ترسیم‌شده، رسم شد. در مسیر قدیمی، ۳۵ پیچش و در مسیرهای مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ هر کدام ۲۱ پیچش شناسایی و بررسی شد که در شکل ۵ نشان داده شده‌است. سپس پردازش و محاسبات لازم صورت گرفت.

### زاویه‌ی مرکزی

زاویه‌ی مرکزی، بین دو شعاع متصل به نقاط عطف در دو خم متوالی تشکیل می‌شود. این زاویه میزان توسعه‌ی پیچان‌رودی رودخانه را نشان می‌دهد. کورنایس<sup>۲</sup> برای بیان کمی توسعه و پیشرفت پیچان‌رودی شدن در رودخانه‌های آبرفتی و تمایز آنها از یکدیگر، با در نظر گرفتن زاویه‌ی مرکزی، تقسیم‌بندی مشخصی مطابق با جدول ۱ پیشنهاد کرده‌است (Telvari, 2004).

$$A = \frac{180L}{R\pi}$$

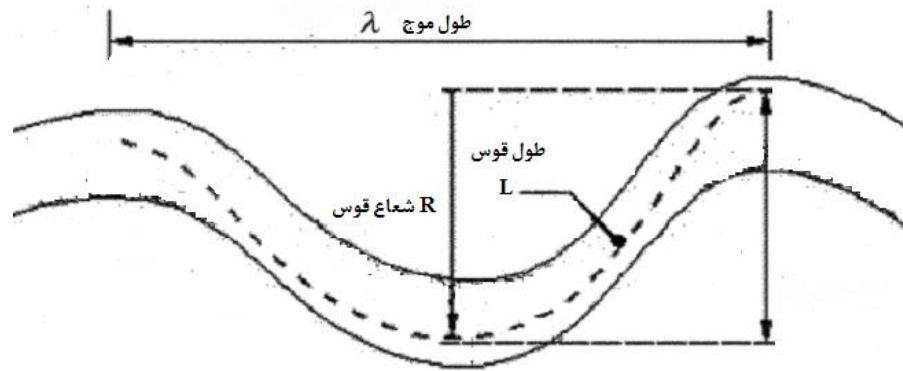
رابطه‌ی ۱

که A اندازه‌ی زاویه‌ی مرکزی، L طول قوس و R شعاع قوس است. ذکر این امر لازم است که اندازه‌گیری پارامترهای طول قوس L، شعاع قوس R و طول موج  $\lambda$  (شکل ۲) برای هر پیچ، در محیط GIS انجام شده‌است.

<sup>۱</sup> Cut off

<sup>۲</sup> Kornis





شکل ۲: مشخصه‌های هندسی یک پیچ

جدول ۱: میزان توسعه‌ی خم رودخانه بر مبنای زاویه‌ی مرکزی (Kornish 1980 به نقل از Telvari, 2004)

شکل رودخانه	زاویه‌ی مرکزی (درجه)	شکل رودخانه
مستقیم	۰	مستقیم
شبه پیچان‌رودی	۱-۴۱	شبه پیچان‌رودی
پیچان‌رودی توسعه‌نیافته	۴۱-۸۵	پیچان‌رودی توسعه‌نیافته
پیچان‌رودی توسعه‌یافته	۸۵-۱۵۸	پیچان‌رودی توسعه‌یافته
پیچان‌رودی زیاد توسعه‌یافته	۱۵۸-۲۹۶	پیچان‌رودی زیاد توسعه‌یافته
U شکل یا نعل اسبی	>۲۹۶	U شکل یا نعل اسبی

### ضریب خمیدگی





معمولاً در طول یک رودخانه، تعداد متعددی قوس با مشخصات گوناگون شکل گرفته و در طول زمان نیز افزایش شدت ضریب خمیدگی این قوس‌ها در حال توسعه است. یکی از عوامل تعیین نوع رودخانه، بررسی خم‌ها و ضریب خمیدگی آنها است. اندازه‌ی ضریب خمیدگی برای هر پیچش در هر دوره، بر اساس رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود که در آن  $L$  طول قوس و  $\lambda$  طول موج است.

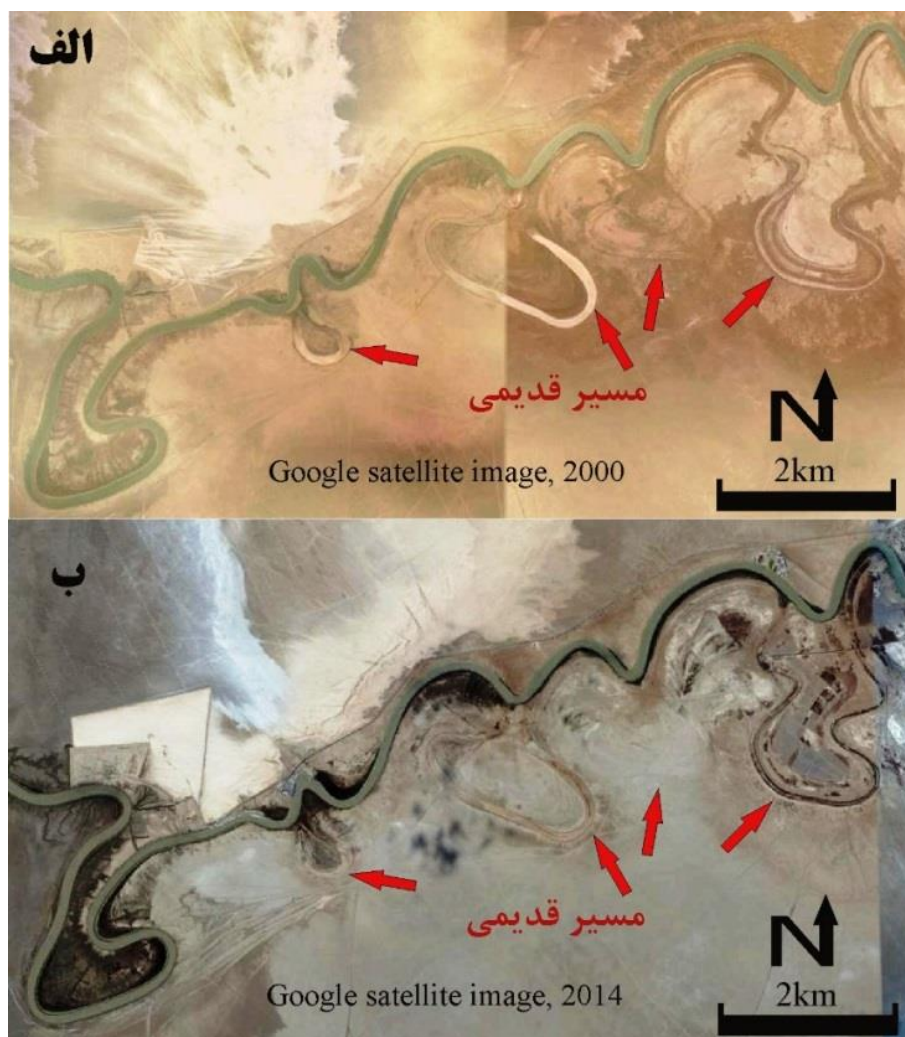
$$S = L / (\lambda / 2)$$

رابطه‌ی ۲

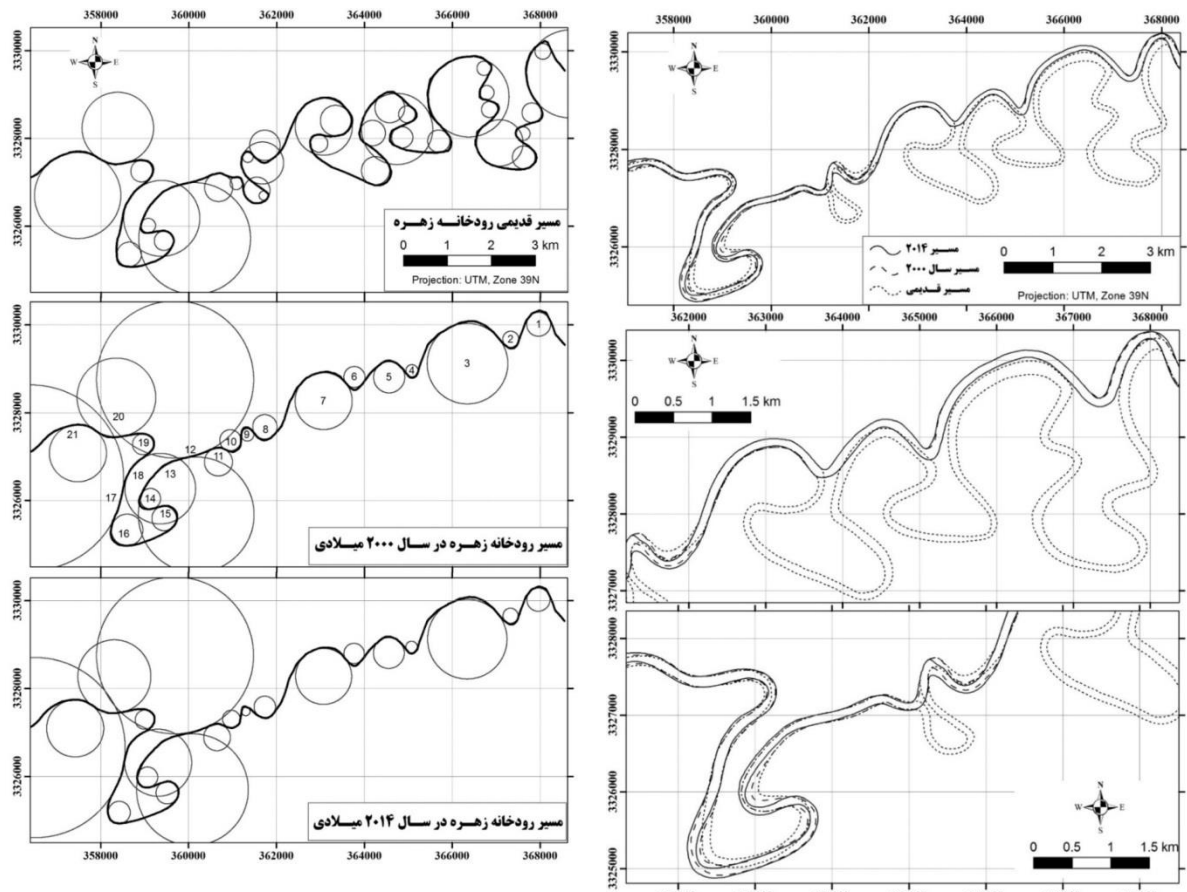
ضریب خمیدگی بزرگ‌تر از  $1/4$  تا  $1/5$ ، بیانگر پیچشی بودن رودخانه و کمتر از آن، مستقیم بودن رودخانه و بازه‌ی مورد نظر است (Aleyasin, 2008). بر اساس معیار ولفرت (Wolfert, 2001) - به نقل از راهنمای مطالعات ریخت-شناسی رودخانه‌ها، نشریه‌ی شماره‌ی ۵۹۲ وزارت نیرو (Mesbahi, 2012) - در مورد تقسیم‌بندی رودخانه‌ها برحسب میزان ضریب خمیدگی، چهار نوع رودخانه شامل مستقیم، سینوسی، پیچان‌رودی و پیچان‌رودی شدید معرفی شده که این تقسیم‌بندی در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲: تقسیم‌بندی رودخانه‌ها برحسب میزان ضریب خمیدگی بر اساس معیار ولفرت

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



شکل ۳: تصویر ماهواره‌ای Google Earth (الف) سال ۲۰۰۰ میلادی؛ (ب) سال ۲۰۱۴ میلادی



شکل ۴: مسیرهای رسم شده رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه برای سه دوره‌ی زمانی

شکل ۵: پیش‌های رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه و دوایر مماس رسم شده در آنها برای سه دوره‌ی زمانی

#### ۴- یافته‌ها (نتایج)

به منظور بررسی مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه، تصاویر در محیط GIS بررسی شد. سپس برای محاسبه‌ی ضریب خمیدگی و زاویه‌ی مرکزی، مشخصات هندسی پیچان‌رودها از قبیل طول موج، طول قوس و شعاع انحنای دایره‌های مماس بر مسیر رودخانه، اندازه‌گیری و با استفاده از توابع موجود، مقدار مشخصات هر یک از دایره‌ها حاصل شد. از روابط ۱ و ۲ نیز به ترتیب برای استخراج زاویه‌ی مرکزی و ضریب خمیدگی استفاده شده‌است. جدول ۳، مقادیر پارامترهای محاسبه شده را برای سه دوره‌ی زمانی محدوده‌ی مورد مطالعه، به تفکیک نشان می‌دهد.

جدول ۳: مقادیر پارامترهای مورفولوژی محاسبه شده برای سه دوره‌ی زمانی رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه

دوره	تعداد پیچان‌رود	شعاع (متر)	طول قوس (متر)	نیم طول موج (متر)	زاویه‌ی مرکزی (درجه)	ضریب خمیدگی
قدیمی	۳۵	۴۵۰/۱	۱۱۹۷/۰	۷۴۴/۰	۱۹۶/۶	۱/۶۴
۲۰۰۰	۲۱	۶۶۱/۸	۱۱۱۸/۲	۷۴۴/۶	۱۶۲/۵	۱/۵۵
۲۰۱۴	۲۱	۶۳۲/۳	۱۱۵۴/۶	۷۳۷/۹	۱۹۱/۳	۱/۵۸

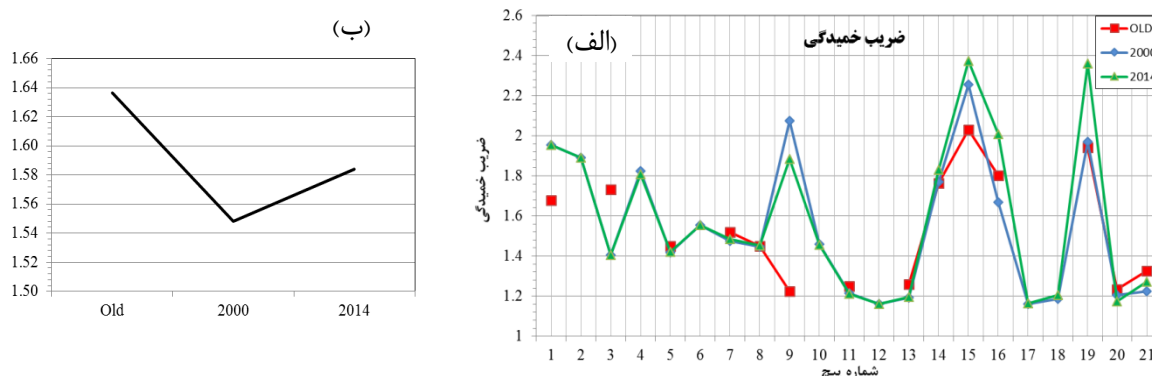


## ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تصاویر Google Earth برای سه دوره‌ی زمانی مسیر قدیمی، سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ میلادی، به بررسی دقیق پارامترهای مؤثر در تغییرات مورفولوژیکی رودخانه پرداخته شد که در ادامه به بحث و بررسی آنها پرداخته می‌شود.

## ضریب خمیدگی

ضریب خمیدگی قوس‌های رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه برای سه دوره‌ی زمانی مختلف و میانگین آن، به ترتیب در شکل ۶ نشان داده شده‌است. شکل ۶ بیانگر آن است که با مقایسه‌ی مقادیر میانگین ضریب خمیدگی محاسبه‌شده برای هر سه دوره‌ی زمانی (جدول ۳) و تقسیم‌بندی رودخانه‌ها برحسب ضریب خمیدگی (جدول ۲)، می‌توان رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه را در دسته‌ی رودخانه‌های پیچان‌رودی قرار داد. همچنین این شکل، بیانگر کاهش ضریب خمیدگی در مسیر قدیمی تا سال ۲۰۰۰ با مقدار ۱/۵۵ تا ۱/۶۴ و روند افزایشی این پارامتر از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ با مقدار ۱/۵۵ تا ۱/۵۸ است. میانگین ضریب خمیدگی برای سه دوره‌ی رودخانه، حالت پیچان‌رودی داشت. شکل ۶ نیز نشان داد که به طور کلی، ضریب خمیدگی در هر سه دوره در حال تغییر بوده، در بعضی از پیچش‌ها نیز تغییر محسوسی مشاهده نشده و در بعضی دیگر، تغییرات کاملاً قابل مشاهده بوده‌است. به طور کلی، می‌توان گفت که به دلیل پیچان‌رودی بودن رودخانه، ضریب خمیدگی دائماً در حال افزایش و کاهش است. در مسیر قدیمی، چهار قطع-شدگی قابل ملاحظه رخ داده (شکل ۳) و در سایر پیچش‌ها در طول هر سه دوره، تغییراتی مثبت و منفی در مقدار ضریب خمیدگی صورت گرفته‌است. در مجموع، از لحاظ آماری نیز ضریب خمیدگی در رودخانه‌ی زهره کاهش داشته‌است.



شکل ۶: الف- ضریب خمیدگی ب- تغییرات میانگین ضریب خمیدگی رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه برای سه دوره‌ی زمانی

همان‌طور که در جدول ۴ ذکر شده‌است، در مسیر قدیمی بر اساس اندازه ضریب خمیدگی، ۷۱/۴۰ درصد پیچش‌ها در حد پیچان‌رودی، ۱۴/۳۰ درصد در حد پیچان‌رودی شدید، ۱۴/۳۰ درصد پیچش‌ها سینوسی بود و درصدی برای رودخانه‌ی مستقیم یافت نشد. در سال ۲۰۰۰ میلادی، بر اساس اندازه‌ی ضریب خمیدگی ۹/۵۰ درصد پیچش‌ها در حد پیچان‌رودی شدید، ۵۷/۲۰ درصد در حد پیچان‌رودی، ۳۳/۳۰ درصد پیچش‌ها سینوسی بود و درصدی برای رودخانه‌ی مستقیم یافت نشد. در سال ۲۰۱۴ میلادی نیز بر اساس اندازه ضریب خمیدگی ۱۴/۳۰ درصد پیچش‌ها در حد پیچان‌رودی

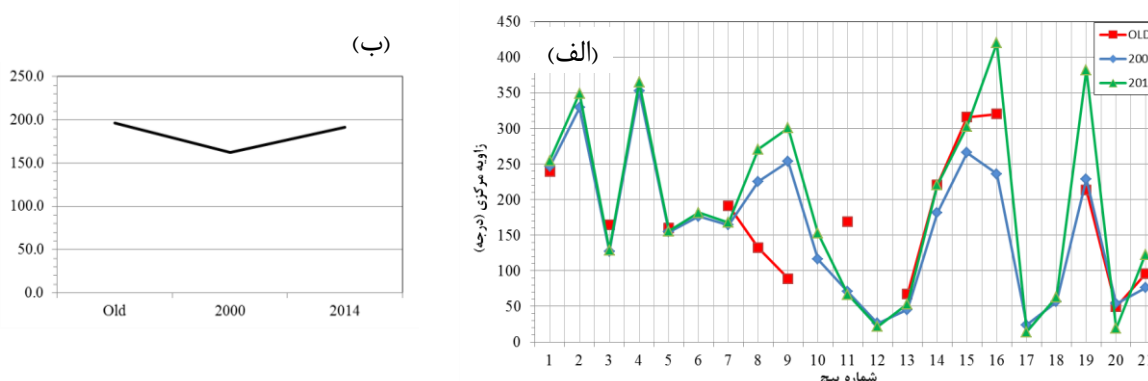
شدید، ۵۷/۲۰ درصد در حد پیچان‌رودی، ۲۸/۵۰ درصد پیچش‌ها در حد سینوسی بود و درصدی برای رودخانه‌ی مستقیم یافت نشد.

جدول ۴: نوع پیچش‌ها و درصد فراوانی آنها بر اساس ضریب خمیدگی برای رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه

نوع پیچ بر اساس ضریب خمیدگی	مسیر قدیمی		مسیر ۲۰۰۰		مسیر ۲۰۱۴	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
مستقیم	۰	۰	۰	۰	۰	۰
سینوسی	۵	۱۴/۳۰	۷	۳۳/۳۰	۶	۲۸/۵۰
پیچان‌رودی	۲۵	۷۱/۴۰	۱۲	۵۷/۲۰	۱۲	۵۷/۲۰
پیچان‌رودی شدید	۵	۱۴/۳۰	۲	۹/۵۰	۳	۱۴/۳۰

### زاویه‌ی مرکزی

شکل ۷ الف نشان می‌دهد که به‌طور متناوب در هر سه دوره‌ی زمانی، تغییرات مثبت و منفی در مقادیر زوایای مرکزی وجود داشته‌است. شکل ۷ ب، بیانگر میانگین زوایای مرکزی انحنا برای محدوده‌ی مورد مطالعه است و نشان می‌دهد که میانگین زاویه‌ی مرکزی از مسیر قدیمی تا سال ۲۰۰۰، روند کاهشی و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، روند افزایشی داشته‌است.



شکل ۷: الف - زاویه‌ی مرکزی انحنا ب - میانگین زاویه‌ی مرکزی برای رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه در سه دوره‌ی زمانی

جدول ۵، درصد فراوانی پیچش‌ها را - بر اساس زاویه‌ی مرکزی طبق تقسیم‌بندی کورنایس - برای سه دوره‌ی زمانی در رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. در مجموع، از لحاظ آماری مطابق با نتایج موجود در جدول ۵، زاویه‌ی مرکزی در رودخانه‌ی زهره کاهش داشته‌است. در مسیر قدیمی بر اساس اندازه زوایای مرکزی، ۵۷/۱۴ درصد پیچش‌ها در حد پیچان‌رود بیش از حد توسعه‌یافته، ۱۴/۳۰ درصد در حد پیچان‌رودی توسعه‌یافته، ۱۱/۴۲ درصد در حد پیچان‌رود توسعه‌نیافته، ۱۷/۱۴ درصد در حد U شکل بود و درصدی برای پیچش‌های شبه پیچان‌رود یافت نشد. در سال ۲۰۰۰ میلادی بر اساس اندازه‌ی زوایای مرکزی، ۴۲/۸۶ درصد پیچش‌ها در حد پیچان‌رود بیش از حد توسعه‌یافته، ۱۴/۳۰ درصد در حد پیچان‌رودی توسعه‌یافته، ۲۳/۸۰ درصد در حد پیچان‌رود توسعه‌نیافته، ۹/۵۲ درصد در حد شبه پیچان‌رود و ۹/۵۲ درصد در حد U شکل بود. در سال ۲۰۱۴ میلادی بر اساس اندازه زوایای مرکزی، ۲۳/۸۰ درصد

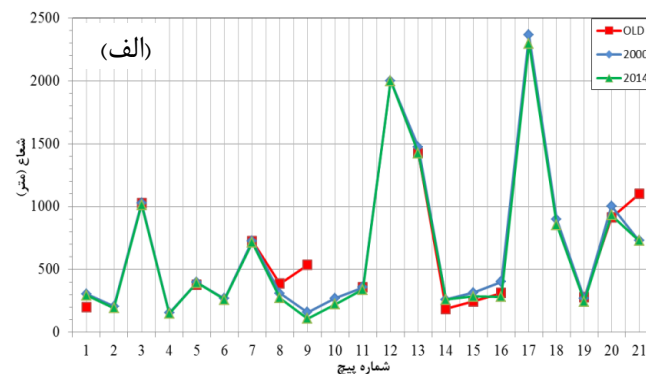
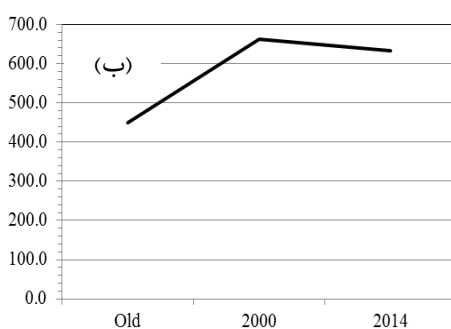
پیچش‌ها در حد پیچان‌رود بیش از حد توسعه‌یافته، ۱۹ درصد در حد پیچان‌رودی توسعه‌یافته، ۱۴/۳۰ درصد در حد پیچان‌رود توسعه‌نیافته، ۱۴/۳۰ درصد در حد شبه پیچان‌رود و ۲۸/۶۰ درصد در حد U شکل بود.

جدول ۵: نوع پیچش‌ها و درصد فراوانی آنها بر اساس زاویه‌ی مرکزی برای رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه

نوع پیچ بر اساس زاویه مرکزی	مسیر قدیمی		مسیر ۲۰۰۰		مسیر ۲۰۱۴	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
شبه پیچان‌رود	۰	۰	۲	۹/۵۲	۳	۱۴/۳۰
پیچان‌رود توسعه‌نیافته	۴	۱۱/۴۲	۵	۲۳/۸۰	۳	۱۴/۳۰
پیچان‌رود توسعه‌یافته	۵	۱۴/۳۰	۳	۱۴/۳۰	۴	۱۹
پیچان‌رود خیلی توسعه‌یافته	۲۰	۵۷/۱۴	۹	۴۲/۸۶	۵	۲۳/۸۰
U شکل	۶	۱۷/۱۴	۲	۹/۵۲	۶	۲۸/۶۰

### شعاع انحنا

شکل ۸ الف نشان می‌دهد که شعاع انحنا در طول مسیر رودخانه برای سه دوره‌ی زمانی، دائماً در حال تغییر بود و با مقایسه‌ی شعاع انحنا (شکل ۸ الف) و زاویه‌ی مرکزی (شکل ۷ الف) می‌توان دریافت که با افزایش شعاع، زاویه‌ی مرکزی کاهش و با کاهش آن، زاویه‌ی مرکزی افزایش می‌یابد. در قسمت‌هایی نیز تطابق تقریبی شعاع در سه دوره‌ی زمانی مشهود است. شکل (۸ ب)، تغییرات میانگین شعاع را در مسیر رودخانه در سه دوره‌ی زمانی نشان می‌دهد. طبق این میانگین، شعاع در مسیر قدیمی از ۴۵۰/۱ تا ۶۶۱/۸ در سال ۲۰۰۰ افزایش و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ به مقدار ۶۳۲/۳ کاهش داشت. در کل، این پارامتر در طول سه دوره‌ی زمانی روند افزایشی داشت. در نهایت، مقادیر به دست آمده برای این پارامتر بیانگر پیچان‌رودی بودن رودخانه و تغییرات مورفولوژی رخ داده در این سه دوره است.

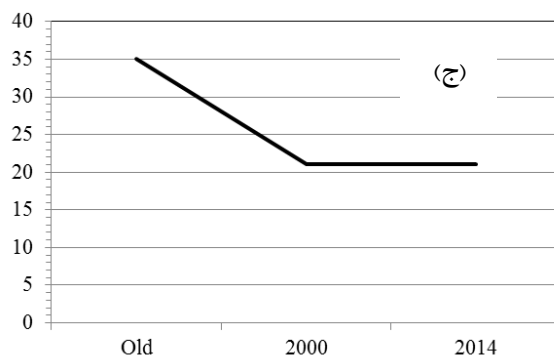
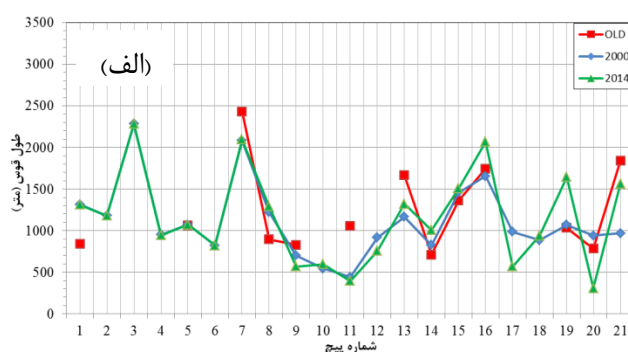
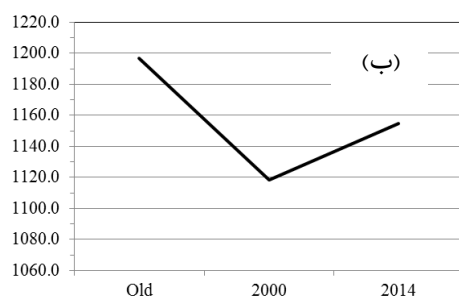


شکل ۸: الف - شعاع انحنا ب - تغییرات میانگین شعاع در مسیر رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه برای سه دوره‌ی زمانی

### طول قوس‌ها و تعداد آن

شکل ۹ الف، بیانگر تغییرات طول قوس در طول مسیر رودخانه برای سه دوره‌ی زمانی است. همان‌طور که دیده می‌شود، طول قوس دائماً در حال کاهش و افزایش بوده و در فواصل این سه دوره‌ی زمانی نیز تغییراتی داشته‌است. با مقایسه‌ی طول قوس (شکل ۹ الف) با ضریب خمیدگی (شکل ۶ الف) و زاویه‌ی مرکزی (شکل ۷ الف)، می‌توان

دریافت که با افزایش طول قوس، زاویه‌ی مرکزی و ضریب خمیدگی افزایش و با کاهش آن، این دو پارامتر کاهش می‌یابد. تصاویر ارائه شده در شکل‌های ۹ ب و ج، میانگین طول قوس و تعداد قوس‌ها را در مسیر رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه برای سه دوره‌ی زمانی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، میانگین طول قوس در مسیر قدیمی از مقدار ۱۱۹۷/۰ تا ۱۱۱۸/۲ در سال ۲۰۰۰ کاهش و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ به مقدار ۱۱۵۴/۶ افزایش داشته‌است. تعداد قوس‌ها در مسیر قدیمی نیز ۳۵ عدد بود و تا سال ۲۰۰۰ به دلیل ایجاد چهار میانبر طبیعی و تغییرات مورفولوژیکی در رودخانه به ۲۱ عدد کاهش یافت و تا سال ۲۰۱۴ به صورت ثابت باقی ماند؛ اما با این وجود، در این دوره تغییرات قابل ملاحظه‌ای در پیچش‌ها رخ داد. کاهش و افزایش تعداد پیچش‌ها، تغییرات بستر و مورفولوژی رودخانه‌ی مورد مطالعه را نمایان می‌سازد.

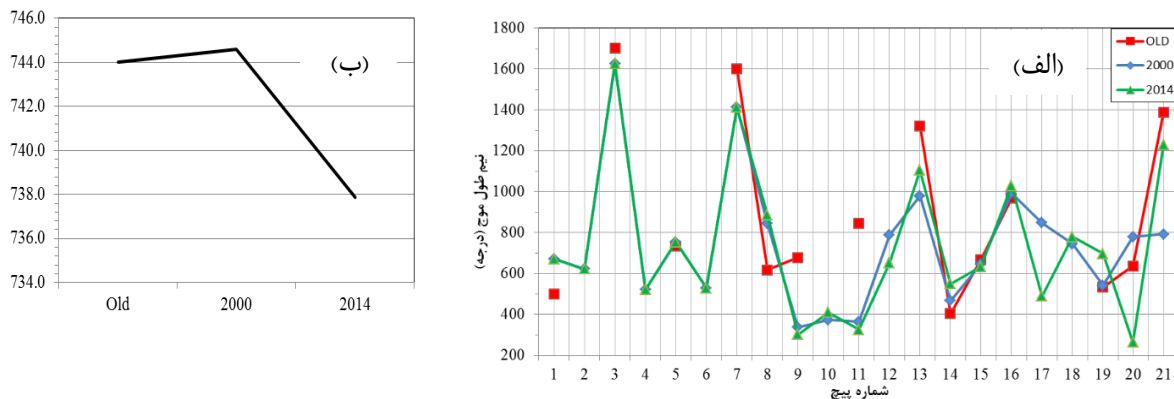


شکل ۹: الف- طول قوس؛ ب- تغییرات میانگین طول قوس؛ ج- تغییرات تعداد قوس در مسیر رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه برای سه دوره‌ی زمانی

### نیم طول موج

شکل ۱۰ الف، نیم طول موج را برای سه دوره‌ی زمانی در محدوده‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. این امر نشان می‌دهد که نیم طول موج و به تبع آن طول موج، دائماً در حال تغییر بوده‌است. با مقایسه‌ی نیم طول موج با ضریب خمیدگی، رابطه‌ی عکس این دو پارامتر مشخص می‌شود؛ بدین صورت که با افزایش نیم طول موج، ضریب خمیدگی کاهش و با کاهش آن، ضریب خمیدگی افزایش می‌یابد. شکل ۱۰ ب، میانگین نیم طول موج را در طول مسیر رودخانه برای سه دوره‌ی زمانی نشان می‌دهد. همان‌طور که از این امر مشخص است، نیم طول موج از مقدار ۷۴۴ در مسیر قدیمی به ۷۴۴/۶ در سال ۲۰۰۰ افزایش و از سال ۲۰۱۴ به مقدار ۷۳۷/۹ کاهش داشته‌است. با مقایسه‌ی میانگین نیم طول موج با میانگین ضریب خمیدگی نیز ارتباط عکس این دو پارامتر مشاهده می‌شود. قسمت اول این شکل، روند افزایشی

تغییرات طول موج را از مسیر قدیمی تا سال ۲۰۰۰ نشان می‌دهد که این امر، دلیلی بر افزایش فاصله‌ی پیچان‌رودهای متوالی نسبت به هم و کاهش تراکم پیچان‌رودها در واحد طول و درنهایت، کاهش تعداد قوس‌ها از ۳۵ به ۲۱ است. قسمت دوم این شکل نیز روند کاهشی طول موج را در فاصله‌ی زمانی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که بیانگر کاهش فاصله‌ی پیچان‌رودهای متوالی نسبت به هم است که با وجود ثابت بودن تعداد پیچان‌رودها، به تغییر در شکل آنها منجر می‌شود.

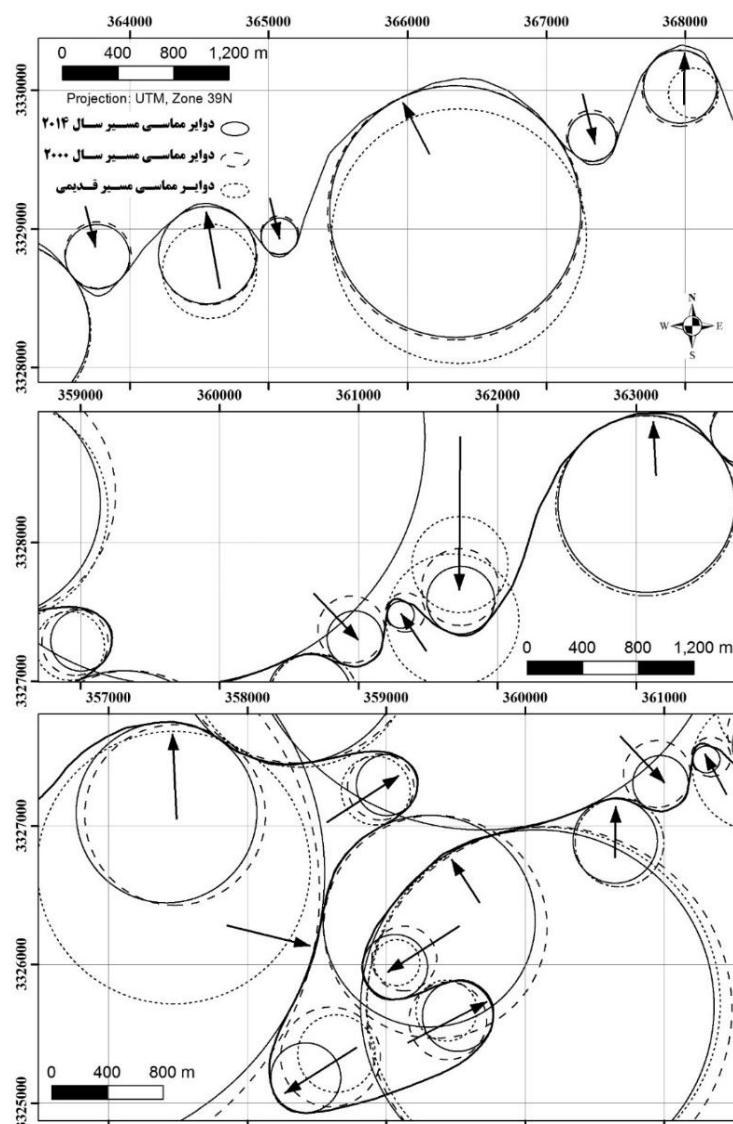


شکل ۱۰: الف- نیم طول موج ب- تغییرات میانگین نیم طول موج در مسیر رودخانه‌ی زهره در محدوده‌ی مورد مطالعه برای سه دوره‌ی زمانی

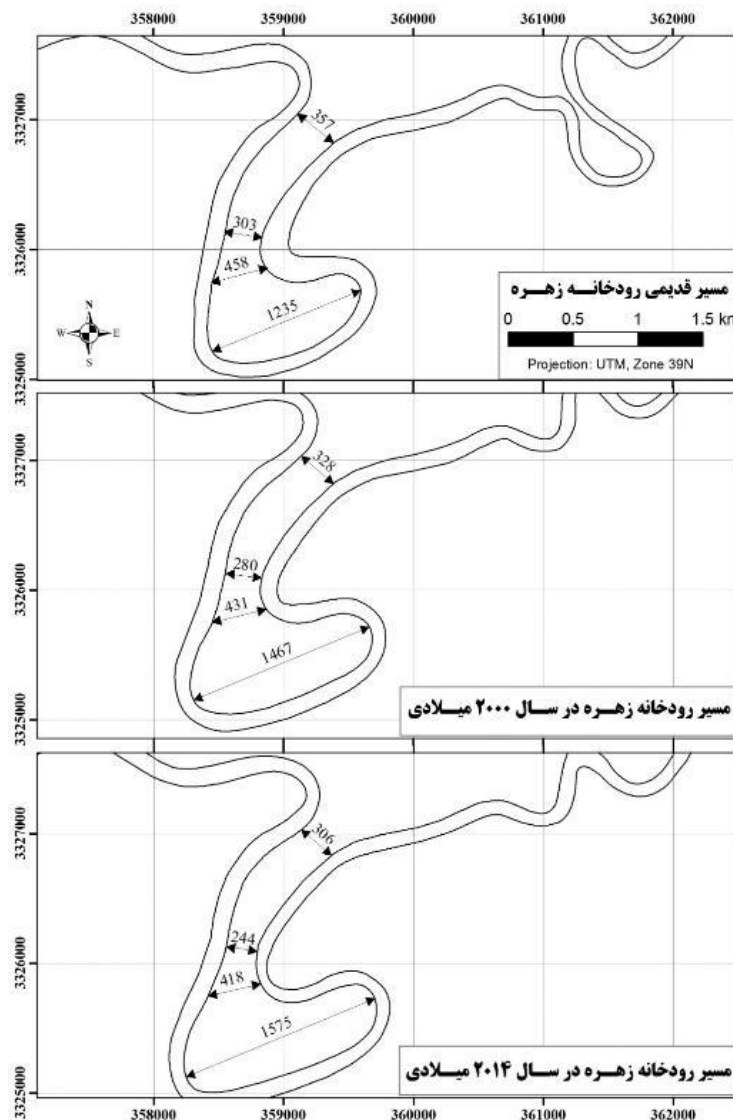
### جابه‌جایی مرکز و تغییر شعاع دایره‌های مماسی

شکل ۱۱، تغییرات اندازه و جهت حرکت دایره‌های مماسی را در طول مسیر رودخانه نشان می‌دهد. برای پرهیز از شلوغی، دوائر مماسی مسیر قدیمی - که در مسیر ۲۰۱۴ وجود ندارند - نمایش داده شده‌است. با دقت در این شکل، می‌توان نحوه‌ی تغییرات اندازه و جهت حرکت دایره‌ها را بهتر متوجه شد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده، روند کلی حرکت در پیچش‌ها به گونه‌ای است که دایره‌های مماسی به سمت درون پیچش‌ها در طول زمان در حال حرکت بوده، ضمن اینکه شعاع آنها نیز در فاصله‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، روند کاهشی داشته‌است. شکل ۱۲، تغییرات مسیر و پیشروی پیچان‌رودی رودخانه‌ی زهره را (در محدوده‌ی مورد مطالعه) از پیچش شماره‌ی ۱۳ تا ۱۸ برای سه دوره‌ی زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد. طبق آنچه در سه شکل ۵، ۱۱ و ۱۲ قابل مشاهده است، پیش‌بینی می‌شود که در آینده در محل پیچش شماره‌ی ۱۸ در محل گلوگاه موجود، قطع شدگی رخ دهد که به از بین رفتن پیچش‌های شماره‌ی ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ و ایجاد پیچش جدید منجر شود؛ چراکه در این سه دوره مطابق با شکل ۱۲، فاصله‌ی گلوگاهی به مرور کاهش می‌یابد که این امر، صحت پیش‌بینی انجام‌شده را تأیید می‌کند.





شکل ۱۱: نحوه‌ی جابه‌جایی دایره‌های مماسی رسم شده برای سه دوره‌ی زمانی نسبت به یکدیگر



شکل ۱۲: تغییرات مسیر و پیشروی پیچان‌رودی رودخانه‌ی زهره (در محدوده‌ی مورد مطالعه) از پیش‌شماره‌ی ۱۳ تا ۱۸ برای سه دوره‌ی زمانی مورد مطالعه

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در طول سال‌های مورد مطالعه، تغییرات قابل ملاحظه‌ای رخ داده و در حال رخ دادن است؛ به طوری که در طول سه دوره‌ی زمانی مورد بررسی، در رودخانه از مسیر قدیمی تا سال ۲۰۱۴ میلادی، چهار میانبر و سایر تغییرات قابل توجه موفولوژیکی رخ داده‌است. پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز در محل پیش‌شماره‌ی ۱۸ در محل گلوگاه موجود، قطع‌شدگی رخ دهد که به از بین رفتن پیچ‌های موجود و ایجاد پیچ‌های جدید منجر شود. همچنین با توجه به معیار طبقه‌بندی ولفرت بر اساس ضریب خمیدگی (۲-۱/۲۵) و طبقه‌بندی کورنایس بر اساس زاویه‌ی مرکزی (۲۹۶-۱۵۸)، رودخانه‌ی زهره واقع در جلگه‌ی هندیجان، در رده‌ی رودخانه‌های پیچان‌رودی و پیچان‌رود بیش از حد توسعه‌یافته قرار گرفته‌است.

## منابع

1. Aleyasin, A., 2008. Application of river engineering in Dez and Karun rivers, National Committee of the Great Dams of Iran, 736 pages. (In Persian)

2. Arshad, S.; Morid, S.; & H. Mir Abolghasemi, 2008. Assessing the trend of morphologic changes of rivers using remote Sensing: (Case study: Karun river between Gotvand and Farsiat), *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(6), 180-194. (In Persian)
3. Barnard, P. L., & J. A. Warrick., (2010). Dramatic beach and nearshore morphological changes due to extreme flooding at a wave-dominated river mouth. *Marine Geology*. 271, 131-148.
4. Barusseau, J. B.; Bii, J.; Descamps, C.; Diop, S.; Diouf, B.; Kane, A.; Luc Saos, J.; & A. Soumart, 1998. Morphological Senegal River COMMUNICATION and sedimentological changes in the estuary after the constuction of the Diama dam, *Journal of African Earth Sciences*, 26, 317-326.
5. Biedenharn, D. S.; Thorne, C. R.; & C. C. Watson, 2000. Recent morphological evolution of the Lower Mississippi River, *Geomorphology*, 34, 227-249.
6. Fatemi Aghda, S. M.; Fayazi, F.; & D. Alipour, 2001. Engineering geology survey of part of Karkheh river (Abdul Khan village to Elahi village), *Journal of Science (Kharazmi University)*, 18 (53), 163-179. (In Persian)
7. Foroughi, A. M.; Bani Razi, M.; Bani Habib, M. A.; Shafaei Bajestan, M.; & M. Sajedi Sabegh, 2001. Application of submerged plates for seasonal river organization and stabilization. 3<sup>rd</sup> Iranian Hydraulic Conference. (In Persian)
8. Hosseinzadeh, M. M.; Nohegar, A.; Sadogh, H.; & A. Gholami, 2011. Assessing geomorphologic changes of the Mehran river delta using remote sensing and GIS (Bandar Lenga, Hormozgan province), *Environmental Erosion Researches*, 1(2), 53-68. (In Persian)
9. JAMAB Consulting Engineers Company, 1999. National Water Master Plan, Zohreh catchment, Ministry of Energy, 364 pages. (In Persian)
10. Kornish, M. R. S., 1980. Meader Travel in Alluvial streams, in Proceeding of the International Work Ship on Alluvial River Problems, India Sarita Prakashan Meerut, New Delhi.4:35-82.
11. Lehotský, M.; Novotný, J.; Szmańda, J.; & A. Grešková, 2010. A suburban inter-dike river reach of a large river: Modern morphological and sedimentary changes (the Bratislava reach of the Danube River, Slovakia), *Geomorphology*, 117, 298-308.
12. Telvari, A. R., 2004. Basic principles of river engineering and regulation, Soil and Watershed Conservation Research Center, 490 pages. (In Persian)
13. Masoomi, H. R.; Gharibreza, M. R.; & A. Motamed, 2011. Investigation of meandering and morphology pattern of Hendijan River in delta plain area, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 3(2), 102-112. (In Persian)
14. Mesbahi, J., 2012. Guidline on the river morphology studies, Vice presidency for Strategic Planning and Supervision, 592, 166 pages.
15. Nohegar, A.; Hosseinzadeh, M. M.; & T. Afshar, 2010. Study of geomorphologic transformation of vertical and horizontal profile of Minab River in upstream (from dam to Minab Bridge), *Geography*, 8(24), 137-158. (In Persian)
16. Orfeo, O., & J. Stevaux., 2002. Hydraulic and morphological characteristics of middle and upper reaches of the Parana´ River (Argentina and Brazil). *Geomorphology*. 44, 309-322.
17. Rezaei Moghadam, M. H.; Sarvati, M. R.; & S. Asghari Sareskanrood, 2012. Investigation of geometric alterations of Gezel Ozan River considering Geomorphologic and Geologic parameters, *Geography and Environmental Planning Journal*, 46(2), 1-14. (In Persian)
18. Rumsby, B. T.; Brasington, J.; Langham, J. A.; McLelland, S. J.; Middleton, R.; & G. Rollinson, 2008. Monitoring and modelling particle and reach-scale morphological change in gravel-bed rivers: Applications and challenges, *Geomorphology*, 93, 40-54.
19. Surian, N., & M. Rinaldi., (2003). Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*. 50, 307-326.

20. Wolfert, H. P., 2001. Geomorphologic Change and River Rehabilitation, Case Studies on Lowland Fluvial Systems in the Netherlands, Alterra Green World Research, Wageningen, 200 pages.
21. Yamani, M., & S. Sharafi., (2012). Geomorphology and effective factors on lateral erosion in Hor Rood River, Lorestan province. *Geography and Environmental Planning Journal*. 45(1), 15-32. (In Persian)

## Study of the morphological changes and meander pattern of the Zohre River using satellite images

**Fatemeh Darvishzadeh:** *Former MS.c in Water Structure, Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood*

**Samad Emamgholizadeh<sup>1</sup>:** *Associate professor, Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood*

**Khalil Ajdari:** *Associate Professor, Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology*

**Mohammad Sayari:** *Management of basic studies of water resources, Isfahan Regional Water Company, Isfahan*

Article History (Received:2020/6/30

Accepted:2021/5/29)

### Extended abstract

#### 1- Introduction

The Hedijan coastal plain around the Zohreh River is a hub for essential agriculture, fisheries, trade, and the military. Any change in the regime and territory of the Zohreh River will have significant economic, social, and security effects in the region. Due to the privation of the region and preserve the available resources and capital, it is necessary to carefully study the hydraulic parameters affecting the morphological changes and the complex pattern of the meandering of the Zohre River. In this study, considering the special conditions of this coastal plain, it has been tried to study geometric features such as curvature coefficient, curvature radius, central angle, and river arc length in three time periods by studying and examining satellite images in a GIS environment.

#### 2- Methodology

In this study, to study the morphological changes and meandering pattern of the Zohre River in the coastal plain of Hindijan, Google Earth satellite images from 2000 and 2014 were used. Based on these two images, the old route of the Zohreh River can be identified in the study area. In the next step, to investigate the meandering and morphological changes of the river, the route drawn from Google Earth entered the GIS environment. Using the ArcMap 10.2 software, to examine essential parameters in river morphological changes, circles with a suitable radius tangent to the existing curves in the river path were drawn. In the old route, 35 meanders were detected, and in the 2000 and 2014 routes, 21 meanders were identified and examined.

#### 3- Results

In order to study the morphology and meandering pattern of the Zohre River in the study area, various parameters such as bending coefficient, central angle, arc length, half-wavelength, and radius of curvature were calculated. According to Wolfert (2001), four types of rivers, including direct, sinusoidal, meander, and more meander, have been introduced in terms of the degree of curvature of rivers. According to this criterion, the Zohre River can be placed in a meandering river in the study area. Also, the number of meander from previous years, 2000 and 2014, was 35, 21, and 21. The maximum radius of the meander of this river was 450.1, 661.8, and 632.3 m. The lengths of the arch were 1197, 1118.2, and 1154.6 m, respectively. There have been alternating positive and negative changes in the values of the central angles in all three study periods. The average central angle from the old route to 2000 has been declining, and from 2000 to 2014, it has been increasing. In the old route, based on the size of the central angles, 57.14% of the torsions are in the overdeveloped area, 14.30% of the torsions are in the developed inverted 11.42% are in the undeveloped area. 17.14% was the size of a

<sup>1</sup> Corresponding Author: [s\\_gholizadeh517@Shahroodut.ac.ir](mailto:s_gholizadeh517@Shahroodut.ac.ir)



cow's horn, and no percentage was found for quasi-twisting curves. In 2000, based on the size of central angles, 42.86% of turns were over-developed, 14.30% of the turns were over-developed, and 23.80% of the turns were twisted. The average amount of radius in the old path increased from 450.1 to 66.81, and from 2000 to 2014, it decreased to 632.3. In total, this parameter has increased over three time periods. Finally, the obtained values for this parameter indicate that the river is meandering and the morphological changes in these three periods.

#### **4- Discussion & Conclusions**

The results showed that significant changes have taken place and are taking place over the years under study. During the three times of periods, four significant shortcuts and other significant morphological changes occurred. It is predicted that in the place of the 18th meander at the location of the existing bottleneck, there will be a shortcut in the future, which will eliminate the existing meander and create new ones.

Also, according to the Wolfert classification criterion based on the bending coefficient (1.5-2) and the Corneiss classification based on the central angle (158-296), the Zohreh River is located in the Hindijan Plain is in the category of meandering and the meander is overdeveloped.

**Key Words:** Satellite image, Zohre River, morphology, central angle, bending coefficient.