بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه دز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی(مطالعه موردی: حدفاصل روستای ایشان‌سخی تا بندقیر)

سید ابراهیم حسینی[1*]، محمود شفاعی بجستان[2]، سید محمود کاشفی پور[3] و علی محمد آخوندعلی[4]

۱*- نویسنده مسوول، دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز ebrahimh@gmail.com.

۲- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

دریافت: بازنگری: پذیرش:

چکیده

خصوصیات مورفولوژی رودخانه‌ها به واسطه‌ی ویژگی پویای آن، همواره دچار تغییرات هستند و این تغییرات می‌تواند بر سازه‌های بناشده در حاشیه‌ی رودخانه‌ها، زمین‌های کشاورزی و غیره آثار منفی بگذارد. در این پژوهش، روند تغییرات مورفولوژیکی در قسمتی از رودخانهٔ دز، حدفاصل روستای ایشان سخی تا بند قیر در استان خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سری لندست سنجنده‌های MSS، +ETM و OLIدر طی سال‌های ۱۳۵۲، ۱۳۷۸، ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق پس از رقومی سازی تصاویر و استخراج پهنه رودخانه، پارامترها و شاخص‌های موثر مرفولوژیکی در پنج بازه مکانی و زمانی از محدوده مطالعه تعیین شد. نتایج حاصل نشان داد که در کل بازه‌های مورد مطالعه، رودخانه دارای حالت سینوسی بوده و متوسط مقادیر شعاع رودخانه درطی ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۷ به ترتیب از ۱۰۳٦ به ۱۲۵۲ متر افزایش یافته است. زاویه مرکزی انحناهای رودخانه دز نیز به بیشترین درصد فراوانی (از ۵۸ به ٦۷ درصد) در سال ۱۳۹۷ رسیده و به الگوی پیچان‌رودی توسعه یافته است. هم‌چنین در طول ٤۵ سال گذشته در تمام بازه‌ها مقدار متوسط شعاع نسبی از٤/۰۸ در سال ۱۳۵۲به کمترین مقدار خود یعنی ۳/۱۹ در سال ۱۳۹۷ رسیده است که این کاهش نشان‌دهنده فرسایش شدید سواحل خارجی قوس‌ها و رسوب‌گذاری در قوس داخلی در این بازه می باشد.

کلید واژه‌ها: مرفولوژی رودخانه، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، رودخانه دز.

مقدمه

رودخانه‌ها و آبراهه‌ها سیستمی کاملا پویا بوده و الگوی ریخت شناسی آن‌ها به‌طور پیوسته در طول زمان تغییر می کند، به همین دلیل فرسایش کناره‌ای و آسیب‌رسانی به تاسیسات ساحلی و جابه‌جایی مرز را به دنبال دارند. اگرچه عوامل متعددی مانند انحراف آبراهه در کناره‌ها،

کف‌کنی رود، فعالیت های انسانی در طبیعت ، اختلاف سازند بستر و سیلاب‌دشت، باعث تخریب دیواره، کف بستر و تغییر الگوی مجاری می‌شوند (Yamani et al., 2012). ولی معمولا یک یا دو عامل غالب این تغییرات را کنترل می‌کنند. مورفولوژی الگوی بستر رود در طی زمان تابع عوامل متعددی هم‌چون جنس سازند و ساختارهای زمین‌شناسی، دبی سیلاب، تغییرات ریخت‌شناسی ،پوشش‌گیاهی، توپوگرافی و حرکات تکتونیکی است. ولی بررسی‌های آماری الگوهای پیچان‌رودی نشان داده‌اند که این تغییرات ریخت شناسی از یک‌سری قواعد زمین‌آماری تبعیت می‌کنند. به عبارت دیگر، الگوی سینوسی بستر رودها تابع نقش غالب فرآیندها و مجموعه عواملی است که در طی زمان اعمال می‌شود (Nuheh gar et al., 2003). به‌طورکلی شناخت، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی میزان تغییرات مشخصات ژئومتری مربوط به رودخانه‌ها از پیچیده‌ترین و درعین حال‌مهم‌ترین‌مباحث هیدرولیک رسوب و مهندسی رودخانه می‌باشد. مطالعه‌های متعددی توسط محققان داخلی و خارجی در زمینه تغییرات مرفولوژی رودخانه صورت گرفته است که می توان به موارد زیر اشاره کرد:

Javaheri (2006) روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون را به روش آماری مورد بررسی قرار داد. در همین راستا، مشخصه‌های هندسی پلان رودخانه شامل عرض، انحنا، نسبت عرض به انحنا و زاویه انحراف رودخانه استخراج شدند. همچنین وی در تحقیقات خود تغییرات پلان رودخانه کارون را برای یک دوره پنج ساله حد فاصل سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ نیز انجام داد. پیش‌بینی برای سال ۲۰۰۸ صورت گرفت و نشان‌دهنده این بود که پلان رودخانه طی این دوره جابه‌جایی خواهد داشت و جابه‌جایی به سمت قوس داخلی است. بررسی نتایج آماری مشخصه‌های هندسی رودخانه و تغییر این پارامترها در طول رودخانه، نشان‌دهنده این بود که روند توسعه حلقه‌های مئاندری رودخانه کارون جهت معکوس داشته و به جای افزایش سینوسیته، طول رودخانه و یا کاهش شیب، رودخانه در مسیر کاهش طول و افزایش شیب قرار دارد.

Arshad et al. (2007) روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون در بازه گتوند تا ایستگاه فارسیات بر اساس چهار سری تصویر ماهواره‌ای Landsat-TM و IRS-LISS-III را در دوره زمانی ۱۳۸۲-۱۳۶۹ مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق تغییرات عرضی رودخانه، تغییرات ضریب خمیدگی و تغییرات انحنای نرمال‌شده رودخانه مورد تحلیل قرار گرفت و بر اساس این بررسی‌ها، مشخص گردید که تصاویر ماهواره

ای LISS-III و TM دارای قابلیت مناسبی برای بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه‌هایی در ابعاد و اندازه کارون می باشند.

Aher et al. (2012) به تشخیص و تعیین تغییرات و فرسایش کناری رودخانه‌ی پراوارا در هند در یک بازه‌ی زمانی ۳۵ ساله با استفاده از داده‌های توپوگرافیکی و روش‌های سنجش از دور و GIS پرداختند. مقایسه نتایج تغییر کناره‌های رودخانه در ۳۵ سال به دلیل عوامل مختلف طبیعی و فعالیت‌های انسانی، مانند سیلاب، سرعت آب، برداشت ماسه، برداشت پوشش‌گیاهی، حفر خاک‌های حاصلخیز برای اهداف مختلف در اطراف ناحیه مورد مطالعه بوده است.

Singh (2014) تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی گنگ در یک بازه‌ی زمانی ده ساله در واراناسی هند را با استفاده از GIS و داده‌های تاریخی بررسی کرده و نتیجه گرفته است که تغییرات سینوسیتی دو کمربند مئاندری مورد مطالعه، از۱/۲۶ تا ۱/۶۶ و رسوب‌گذاری سیلت به ترتیب در دو مئاندر از ۳/۱۴ تا ۴/۵۲ و ۲/۴۲ تا ۳/۴ متغیر بوده است.

Brooshkeh و Sokuti (2017) برای شناسایی روند رودخانه تکامل مورفولوژیکی و تغییرات در قلمرو بستر رودخانه، ۲۵ کیلومتر پایین‌دست رودخانه زرینه‌رود را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان برای یک دوره ۵۰ ساله از عکس‌های هوایی گرفته‌شده در سال ۱۹۵۵ و ۱۹۶۷، نقشه‌های توپوگرافی تولید شده در سال ۱۹۹۶، و تصاویر ماهواره‌ای SPOT در سال ۲۰۱۱ استفاده کردند. هم‌چنین آن‌ها این بازه را به سه نوع سواحل شنی، بستر دایمی رودخانه و موانع شنی تقسیم‌بندی نموده و با استفاده از نرم‌افزار ILWIS، ضرایب سینوسیته و مئاندری رودخانه را محاسبه نمودند. نتایج نشان داد که محدوده بستر رودخانه کاهش یافته و مورفولوژی بستر رودخانه و پیچان‌رودی آن تکامل یافته است.

Ioannis et al. (2017)، ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه پینیوس در یونان را برای هدف ارزیابی مورفولوژیکی رودخانه و هم‌چنین مدیریت حوضه بررسی نمودند. در همین راستا از دو تصویر ماهواره‌ای sentinel مربوط به ماه‌های جولای و آگوست ۲۰۱۶ استفاده نمودند. ایشان بخش ابی رودخانه را به ۱۵ بازه تقسیم کردند و بر اساس تجزیه و تحلیل مکانی چهار پارامتر طول رودخانه، طول مسیر مستقیم، میانگین عرض رودخانه و هم‌چنین درصد مئاندری‌شدن رودخانه (درصد شکل–گیری پیچ و خم) بازه‌ها، شاخص‌های سینوسیتی، شریانی و انشعابی را محاسبه نمودند. سپس با توجه به استانداردهای موجود، برای هر بازه تیپ آن را که شامل مسیر مستقیم، سینوسی، مئاندری، شریانی است، تعیین نمودند.

دشت خوزستان به‌دلیل وجود رودخانه‌های پرآب از قدیم‌الایام مورد هجوم سیلاب‌های عظیم بوده که با توجه به اثرات مثبت و موثر آن می‌تواند موجب اثرات تخریبی زیادی باشد و برای ساکنان حاشیه رودخانه ضایعات و خسارات جانی و مالی فراوانی به بار آورد. با توجه به گستردگی حوضه آبریز رودخانه‌های خوزستان و شرایط بهره‌برداری کنونی از رودخانه‌ها وسواحل آنها و هم‌چنین افزایش روز افزون جمعیت، علی رغم احداث سدهای مخزنی بزرگ، خسارات ناشی از سیل و تخریب سواحل با توجه به وسعت حوضه کماکان باقی است. یکی از رودخانه‌های بزرگ استان خوزستان که به دلیل شرایط خاص خود دچار فرسایش کناره‌ها و تغییرات عرضی زیاد در بازه مئاندری خود می‌باشد، رودخانه دز است. در این مقاله باتوجه به شرایط خاص رودخانه دز و با توجه به اینکه این رودخانه یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه کارون در حوضه دز و کارون بزرگ بوده و از مناطق مرتفع سرچشمه می‌گیرد، همواره تحت تاثیر سیلاب‌های مخرب و شدید در طی سالیان گذشته تاکنون قرار گرفته است. با توجه به ضرورت کنترل سیلاب‌ها، طراحی سازه‌های کنترلی و ساماندهی رودخانه در طی سال‌های آتی نیاز به بررسی تغییرات مرفولوژیکی اتفاق افتاده در رودخانه به‌خصوص بخش مئاندری آن در طی سالیان مختلف می‌باشد. در این تحقیق به منظور مشاهده و تعیین میزان تغییرات مرفولوژیکی رودخانه دز در بخش آبرفتی و مئاندری آن به طول ۱۰۵کیلومتر در حد فاصل روستای ایشان‌سخی تا بند قیر به بررسی پارامترها و شاخص-های مرفولوژیکی از جمله عرض، طول مستقیم قوس، طول موج، تعداد قوس، شعاع انحنا، ضریب پیچشی، زاویه مرکزی، شعاع نسبی، درجه میان‌بری و تنش برشی در هر یک از قوس‌ها و مئاندرها در طول دوره زمانی درازمدت ۴۵ ساله از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۷ به تفکیک در پنج بازه مکانی از بازه مورد مطالعه پرداخته شد. جهت رسیدن به هدف فوق‌الذکر از تصاویر ماهواره‌ای سری زمانی، شاخص بارزسازی پهنه رودخانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه دز در ارتفاعات زاگرس میانی قرار دارد و محدود به مختصات جغرافیائی از ۳۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و از ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه دز از نظر تقسیم‌بندی کلی حوضه‌های آبریز ایران، جزیی از حوضه آبریز خلیج فارس محسوب می‌گردد. وسعت حوضه آبریز رودخانه دز در حدود ۲۲۳۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. توپوگرافی رودخانه دز تاحوالی سد دز، کوهستانی و مسیر آن پر پیچ و خم با شیب تند می‌باشد و پس از سد، رودخانه دز وارد بستر جلگه‌ای می‌شود. این رودخانه قسمت عمده نیازهای کشاورزی استان خوزستان را تأمین می‌نماید. طول این رودخانه در حدود ۵۲۰ کیلومتر می‌باشد.

طبق بررسی‌های به عمل‌آمده قسمت‌های زیادی از رودخانه دز در حد فاصل بند انحرافی دز تا بند قیر به طول حدود ۲۳۵ کیلومتر در معرض فرسایش شدید و نسبتاً شدید قرار دارند. ۱۳۰ کیلومتر از این بازه به‌صورت شریانی بوده و مابقی به طول تقریبی ۱۰۵ کیلومتر به‌صورت مئاندری می‌باشد. در این تحقیق سعی بر آن است با بررسی روند تغییرات مرفولوژی در طی سالیان مختلف در قوس‌های رودخانه دز در بازه مئاندری آن که حد فاصل روستای ایشان‌سخی تا بندقیر به طول حدود ۱۰۵ کیلومتر می‌باشد و عمدتا به خاطر ماهیت قوس‌ها، همان بازه‌های فرسایش‌پذیر رودخانه هستند، بتوان در راستای کمک به موضوع فوق‌الذکر قدمی برداشت. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان خوزستان نشان داده شده است.

تهیه و آماده سازی تصاویر ماهواره‌ای

در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات مرفولوژیکی رودخانه دز از روستای ایشان‌سخی تا بند قیر از مدل‌های تجربی و بنیادی استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا جهت بررسی روند تغییرات آن از تصاویر ماهواره‌های سری لندست سنجنده‌های MSS، ETM+ و OLI در طی سال‌های ۱۳۵۲، ۱۳۷۸، ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ استفاده‌گردید و مراحل مطالعه بر روی آن‌ها صورت‌پذیرفت (جدول ۱).

فرایند کلی پردازش و بررسی تصاویر ماهواره‌ای شامل سه گام پیش پردازش (آماده‌سازی تصاویر و تصحیح هندسی و اتمسفری)، پردازش (تعیین پهنه رودخانه) و پس پردازش (استخراج مسیر اصلی رودخانه) می‌باشد. در گام اول این فرایند، محدوده مطالعاتی از کل تصاویر تهیه‌شده تفکیک گردید. برای این کار ابتدا در برنامه GIS پلیگون مربوط به منطقه مورد مطالعه تهیه شد، سپس با استفاده از آن در برنامه ENVI منطقه مورد نظر از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. سپس با استفاده از روش‌های آشکارسازی (ترکیب رنگی کاذب و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی) و تجزیه و تحلیل تصاویر، با اعمال شاخص پهنه آبی برای بازه‌های زمانی مذکور تهیه و پهنه رودخانه از پوشش منطقه تفکیک شد. در نهایت با استفاده از محیط نرم‌افزاری ArcGIS نقشه‌های مربوطه از بازه رودخانه مورد مطالعه به‌صورت پلیگون مطابق شکل (۲) تهیه گردید. از نرم‌افزار پردازش تصاویر ماهواره‌ای ENVIبه منظور پردازش‌های لازم بر روی تصاویر اخذ شده در این پژوهش استفاده گردید.

چگونگی سنجش شاخص‌ها

شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI)

شاخص طیفی آب یکی از این شاخص‌ها می‌باشد که عبارت است از یک عدد واحد مشتق‌شده از یک عملیات حسابی (مانند نسبت، تفاضل و تفاضل نرمال‌شده) دو یا چند باند طیفی. به‌منظور جداسازی سطوح آبی از دیگر عوارض پوشش زمین، آستانه مناسبی از این شاخص براساس خصوصیات طیفی تعریف شده است (Ji et al., 2009). این شاخص نخستین بار در سال ۱۹۹۶ توسط مک فیترز به منظور جداسازی و رقومی‌سازی پهنه‌های آبی و بارزسازی مناطق آبی در تصاویر ماهواره‌ای ارایه شده است. شاخص آب تفاضلی نرمال‌شده از طول موج‌های نور مرئی سبز و مادون قرمز نزدیک برای آشکارسازی چنین عوارضی استفاده نموده در حالی که عوارض خاک و پوشش گیاهی را حذف می‌کند (McFeeters, 1996).

در فرمول شاخص آب تفاضلی نرمال‌شده مک فیترز، از باندهای سبز و مادون قرمز استفاده شده است (رابطه ۱). استفاده از این دو باند، سه هدف را دنبال می‌کند (McFeeters, 1996):

۱- به حداکثر رسانیدن انعکاس معمول عوارض آبی به‌وسیله طول موج‌های سبز

۲- به حداقل رسانیدن انعکاس کم مادون قرمز نزدیک در عوارض آبی

۳- بهره‌گیری از انعکاس زیاد عوارض پوشش گیاهی و خاک در طول موج مادون قرمز نزدیک.

$$NDWI = \frac{Green-NIR}{Green+NIR} \qquad (۱)$$

دامنه مقادیر این شاخص بین ۱- تا ۱+ است. مک فیترز صفر را به عنوان آستانه در نظر گرفته است. به این صورت که:

اگر NDWI > 0 باشد، نوع پوشش، آب است و اگر NDWI<= 0 باشد آب نیست (McFeeters, 2013).

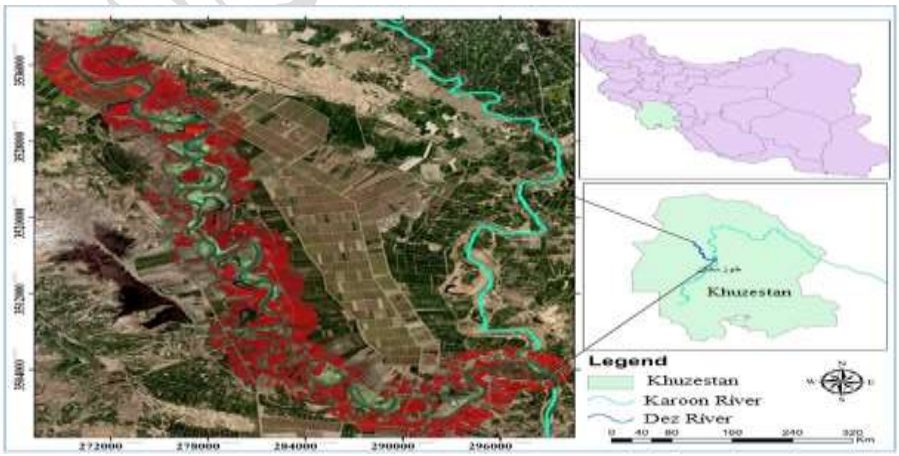


Fig. 1- Position and false color combination of the satellite image of the studied area

شکل ۱- موقعیت و ترکیب رنگی کاذب تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

Table 1- Specifications for satellite imagery

Row	Date	Landsat	Sensor	Spatial separation (m)	Temporal separation (day)	Band
1	21/06/1973	Landsat 2	MSS	60	16	4
2	07/07/1999	Landsat 7	ETM+	30	16	8
3	31/07/2008	Landsat 7	ETM+	30	16	8
4	21/07/2013	Landsat 8	OLI	30	16	11
4	28/02/2019	Landsat 8	OLI	30	16	11

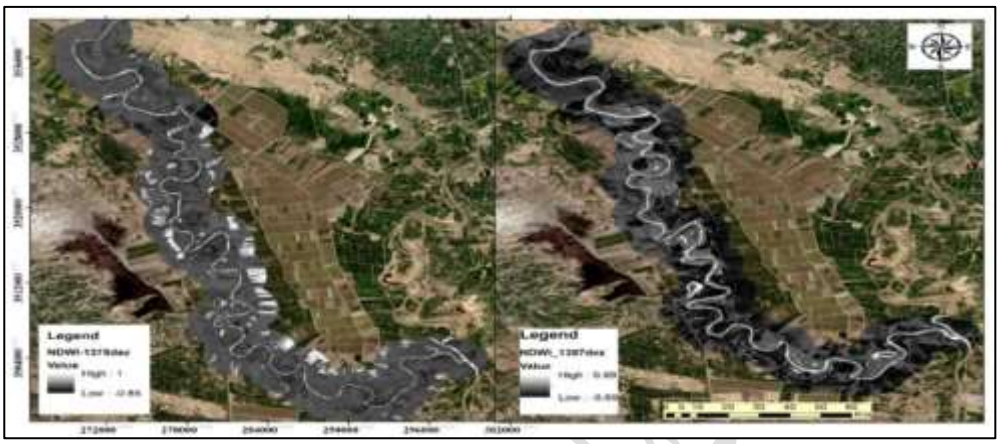


Fig. 2- NDWI map of the study area to determine the river boundary

شکل ۲- نقشه NDWI منطقه مورد مطالعه به منظور تعیین پهنه رودخانه

ضریب پیچشی یا ضریب سینوسی

این ضریب شاخص مهمی در تعیین تغییرات شکل پلان رودخانه می باشد. مقدار این ضریب برابر با نسبت طول قوس به طول وتر اتصال‌دهنده دو انتهای قوس یا نقاط عطف قوس می‌باشد. مقدار ضریب پیچشی قوس از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌گردد (Charlton, 2008).

$$SR = \frac{S}{L} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، S طول قوس برحسب متر و L طول مستقیم قوس اتصال‌دهنده دو انتهای قوس برحسب متر می‌باشد.

تقسیم‌بندی توسعه شکل قوس رودخانه از نظر ضریب پیچشی در جدول (۲) ارایه شده است (Wolfere, 2001).

درجه میان‌بری

درجه میان‌بری (e) با استفاده از رابطه (۳) (Bin et al.,2008) برای هر یک از قوس‌ها در سال‌های مورد مطالعه محاسبه شد. درجه میان‌بری به این صورت تفسیر می‌شوند: زمانی که ضریب خمیدگی پیچان‌رود به طرف بی نهایت میل می‌کند، درجه میان بری به طرف یک میل می‌کند. درجه میان بری بین صفر و یک قرار دارد. زمانی که درجه میان‌بری بزرگتر ۰/۵ می شود، پیچان‌رود تمایل به بسته شدن دارد و جریان به صورت مستقیم در می‌آید. یعنی زمانی که درجه میانبری به طرف یک میل می‌کند پیچان‌رود در اثر فرسایش بریده می‌شود (Bin et al., 2008).

$$e = \frac{S}{(S+L)} = \frac{C}{(C+1)} \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، C ضریب پیچشی (بی‌بعد)، S و L به‌ترتیب طول انحنا و مستقیم قوس (متر) می‌باشد.

شاخص شعاع نسبی

برای بررسی شدت جابه‌جایی و پایداری خمیدگی رودخانه‌ها از شاخص انحنای نسبی قوس که برابر با نسبت شعاع انحنای قوس به عرض جریان می‌باشد رابطه (۴) استفاده شد. این فاکتور یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین توزیع تنش‌برشی در قوس رودخانه‌ها می‌باشد. هرچه شعاع نسبی بزرگتر باشد نشانه ملایم بودن آن و هر چه مقدار آن کمتر باشد نشان‌دهنده تحت فشار و ناپایدار بودن قوس است (جدول۳). این نسبت اغلب بین ۱/۵ تا ۴/۳ در تغییر می‌باشد و متوسط آن سه است به طوری که وقتی مقدار این نسبت به حدود مقدار سه می‌رسد شدت جابه‌جایی به حداکثر مقدار خود می‌رسد (Charlton,2008).

$$RRC = \frac{R}{W} \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، R شعاع انحنای قوس و W متوسط عرض جریان در نقاط عطف و راس قوس برحسب متر است.

شاخص تنش برشی

برای بررسی و تعیین توزیع تنش برشی از فاکتور شعاع نسبی

در قوس‌ها استفاده می‌شود که براساس جریان عبوری از قوس بیشترین مقدار تنش برشی به کدام ناحیه از قوس وارد و موجب فرسایش کناره‌های ساحل رودخانه می شود (شکل ۳). به طوری که برای یک قوس با شعاع نسبی بیشتر از ۳/۵ توزیع تنش برشی تقریباً در ناحیه‌ی ورودی قوس یکنواخت می‌باشد و یک ناحیهٔ تنش برشی قوی در نزدیکی انتهای قوس خارجی و در ابتدای قوس داخلی اتفاق می‌افتد. زمانی که مقدار شعاع نسبی خم تا ۱/۵کاهش می‌یابد، یک ناحیه تنش برشی خیلی قوی در تمام قسمت داخلی قوی به وقوع می‌پیوندد (Mesbahi and chiti., 2008).

شاخص زاویه مرکزی

Kornish (1980) برای توصیف مراحل تعادل رودخانه های پیچان‌رودی، زاویه مرکزی را که زاویه بین دو شعاع متصل به نقاط عطف در دو قوس متوالی می‌باشد، مورد بررسی قرار داده است. برای بیان کیفی میزان توسعه و پیشرفت پیچانرودی شدن در رودخانه‌های آبرفتی و تمایز آن‌ها از شکل رودخانه با استفاده از زاویه مرکزی براساس جدول (۴) مشخص شده است. جهت استخراج زاویه مرکزی و شعاع انحنای قوس با مماس کردن دوایر بر قوس‌ها نقاط عطف در قوس مشخص شد، سپس از مرکز دوایر مماس بر قوس، خطوطی را بر نقاط عطف عمود داده و زاویه مرکزی قوس‌ها محاسبه شد. به زاویه ایجادشده، زاویه مرکزی و به شعاع مماس بر دایره قوس‌ها، شعاع انحنا گفته می‌شود. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار ArcGIS و ترسیم دوایر مماس بر خطوط مرکزی رودخانه در هر یک از قوس‌ها در تمام بازه‌های زمانی مورد بررسی، زاویه مرکزی برای تک‌تک قوس‌ها در رودخانه، در نرم افزار AutoCAD محاسبه گردید (شکل۴).

جدول ۲- میزان توسعه شکل قوس رودخانه براساس ضریب پیچشی

Table 2- Development rate of river Bend shape based on torsion coefficient

shape of the river plan	Torsional or sinusoidal (no dimension)
Straight	SR<1.05
Sinusoid	1.05<SR<1.25
Meandering	1.25<SR<2
Intense Meandering	SR>2

جدول ۳- مروفولوژی رودخانه براساس شعاع نسبی (shen,1971)

Table 3- River morphology based on relative radius (shen, 1971)

Bend type status	radius Relative
Free	4.5 to 5
Limited	7 to 8
Under Pressure	2.5 to 3

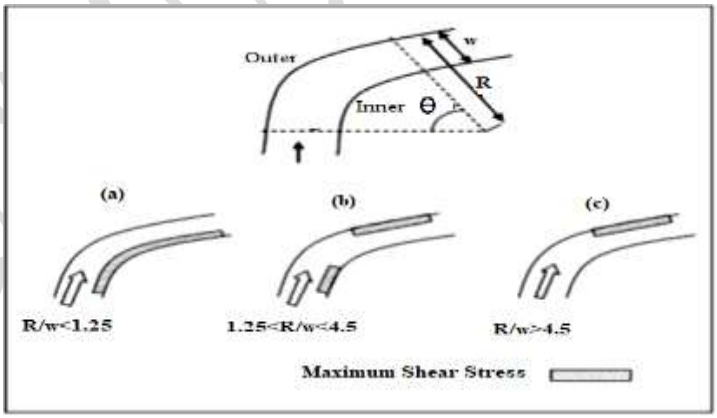


Fig. 3- The location of the maximum shear stress in the river bend based on the relative radius of the bend

شکل ۳- محدوده وقوع حداکثر تنش برشی در قوس رودخانه براساس شعاع نسبی قوس

جدول ٤- تعیین وضعیت شکل رودخانه براساس زاویه مرکزی قوس

Table 4- Determine the shape of the river according to the central angle of the bend

River shape	Central angle (degree)
Straight	0
Semi Meandering	1-41
Meandering Undeveloped	41-85
Developed Meandering	85-158
Extremely Developed	158-296
Horseshoe Bend	>296

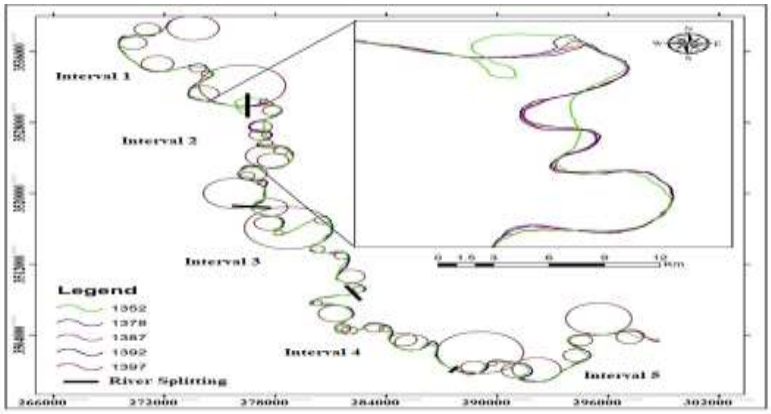


Fig. 4- Map of the central line of the river in the studied intervals and tangent circles on the river bends

شکل ٤- نقشه خطوط مرکزی رودخانه در بازه های مورد مطالعه و دوایر مماس بر قوس های رودخانه

جدول ٥- متوسط مقادیرپارامترهای هندسی اندازه‌گیری شده قوس‌ها در بازه‌های زمانی و مکانی رودخانه

Table 5- Average values of measured geometric parameters of bends in the temporal and spatial intervals of the river

Spatial interval	Temoral interval	Bend Number	Length of bend (m)	Radius (m)	Length(m)	Width(m)	central angle (degree)
Interval 1	1352	9	935.85	584.27	829.80	150.84	97.78
	1378	8	980.27	572.55	832.47	192.66	98.25
	1387	7	1131.51	697.24	1024.90	170.33	94.86
	1392	6	1134.45	603.41	992.82	180.54	106.00
	1397	8	1405.31	959.43	1272.74	248.23	92.75
Interval 2	1352	11	1221.49	750.99	1026.17	153.68	92.82
	1378	12	805.50	395.55	678.21	145.43	115.17
	1387	14	989.31	539.60	841.81	184.09	111.50
	1392	14	938.44	567.09	820.41	149.95	105.07
	1397	14	961.86	597.20	851.08	242.66	100.43
Interval 3	1352	11	968.34	526.50	857.08	140.97	120.18
	1378	10	776.00	402.79	667.21	147.25	113.60
	1387	9	1041.78	557.11	873.99	171.49	117.67
	1392	11	1082.38	624.35	942.25	170.51	110.27
	1397	9	1359.27	738.22	1145.54	244.62	122.56
Interval 4	1352	10	1030.20	567.00	843.91	150.51	99.90
	1378	12	899.29	591.80	804.65	135.75	86.42
	1387	11	1241.06	697.35	1064.42	163.65	105.00
	1392	12	980.54	586.53	850.92	146.25	96.58
	1397	11	1315.16	680.67	1094.09	222.59	112.64
Interval 5	1352	9	999.52	569.31	872.41	139.71	101.00
	1378	9	898.95	600.30	825.23	131.05	94.33
	1387	11	1208.29	698.25	1031.83	201.19	106.91
	1392	12	1217.32	745.23	1079.51	134.96	100.50
	1397	9	1379.84	787.68	1156.88	248.72	115.00
Total interval	1352	50	1036.17	602.09	889.50	147.22	102.62
	1378	51	865.69	507.04	755.95	148.38	101.76
	1387	52	1117.11	630.78	959.31	179.35	107.98
	1392	55	1058.64	625.61	926.77	153.32	103.36
	1397	51	1251.52	730.52	1075.56	240.62	108.33

در این پژوهش بازه مورد مطالعه از رودخانه دز (روستای ایشان سخی تا بند قیر) براساس موروفولوژی و روند تغییرات مجرا به پنج بازه تقسیم‌بندی شد شکل (۴) و شاخص‌ها یا فاکتورهای کمی مؤثر در شکل رودخانه برای هر بازه مورد محاسبه قرار گرفت.

جدول ٦- متوسط مقادیر ضریب پیچشی قوس‌ها در بازه‌های مکانی و زمانی مختلف رودخانه

Table 6- Average values of torsional coefficient of bends in the temporal and spatial intervals of river

Spatial Interval	Temporal Interval	Torsional coefficient	River shape based on torsion coefficient	Spatial Interval	Torsional coefficient	River shape based on torsion coefficient
Interval 1	1352	1.14	sinusoid	Interval 4	1.24	sinusoid
	1378	1.23	sinusoid		1.12	sinusoid
	1387	1.11	sinusoid		1.17	sinusoid
	1392	1.14	sinusoid		1.14	sinusoid
	1397	1.12	sinusoid		1.22	sinusoid
Interval 2	1352	1.18	sinusoid	Interval 5	1.14	sinusoid
	1378	1.21	sinusoid		1.11	sinusoid
	1387	1.19	sinusoid		1.17	sinusoid
	1392	1.16	sinusoid		1.13	sinusoid
	1397	1.14	sinusoid		1.21	sinusoid
Interval 3	1352	1.20	sinusoid	Total Interval	1.18	sinusoid
	1378	1.16	sinusoid		1.16	sinusoid
	1387	1.22	sinusoid		1.17	sinusoid
	1392	1.17	sinusoid		1.15	sinusoid
	1397	1.18	sinusoid		1.18	sinusoid

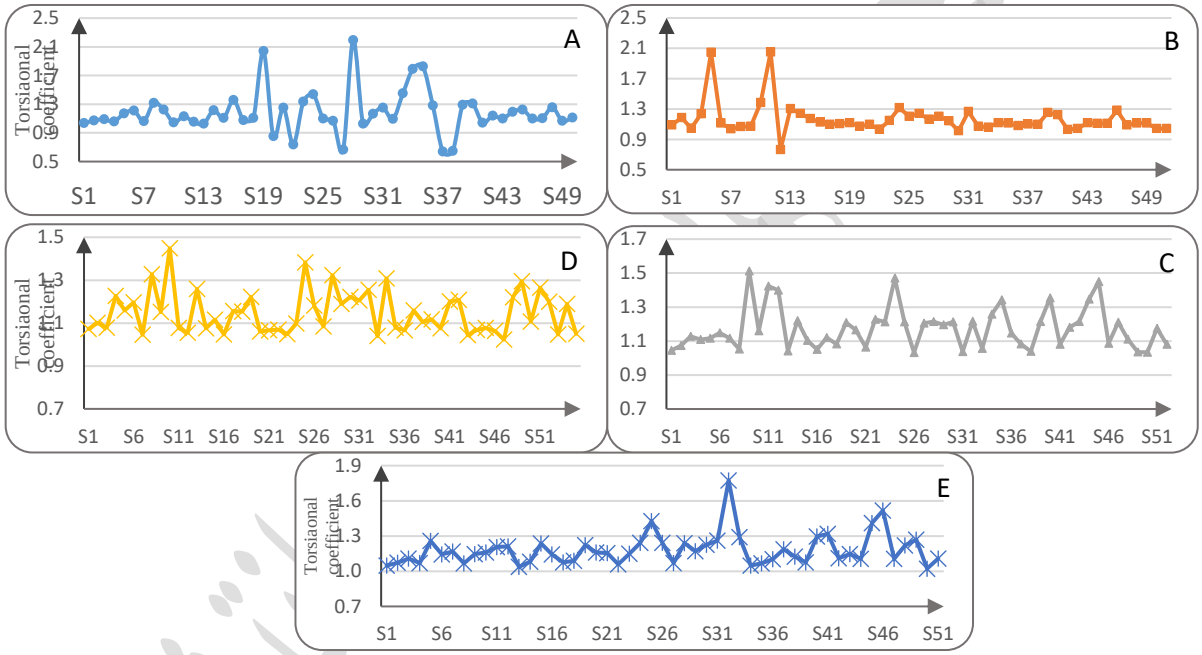


Fig. 5- the trend of variations of the torsional coefficient across the river and the studied intervals

شکل۵- روند تغییرات ضریب پیچشی در کل رودخانه و بازه‌ی مورد مطالعه

(A:۱۳۵۲ , B:۱۳۷۸ , C:۱۳۸۷ , D:۱۳۹۲ , E:۱۳۹۷)

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی روند تغییرات شکل هندسی رودخانه و شناخت مورفولوژی غالب رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف در طول ۴۵ سال گذشته مسیر عبور رودخانه‌ها استخراج و سپس به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی خط مرکزی رودخانه در بازه‌های زمانی مختلف تهیه و سپس به شناسایی قوس‌ها در بازه رودخانه پرداخته شده و پارامترهای هندسی رودخانه و فاکتورهای مؤثر مرفولوژی از جمله ضریب پیچشی، شعاع نسبی، زاویه مرکزی، درجه میان‌بری قوس‌ها در رودخانه محدوده مورد مطالعه مطابق جدول (۵) تعیین شد. در ادامه نتایج شاخص‌های ذکر شده ارایه شده است.

روند تغییرات مرفولوژی روخانه دز

نتایج تحلیل شکل رودخانه در بازه مورد مطالعه رودخانه دز نشان می‌دهد که رودخانه دز در این بازه بیشتر از الگوی سینوسی تبعیت می‌کند. با این حال در بعضی از قسمت‌های رودخانه گرایش به سمت الگوی پیچان‌رودی نیز دیده می‌شود. در جدول(۶) متوسط ضریب خمیدگی یا ضریب پیچشی رودخانه در بازه ایشان‌سخی تا بند قیر برای هر یک از بازه‌های تقسیم‌بندی‌شده در محدوده مورد مطالعه و برای کل قوس‌ها به‌صورت جداگانه محاسبه شده است. نتایج حاصل در جدول (۶) نشانگر فرم یا الگوی سینوسی رودخانه در اکثر قوس‌ها در بازه مورد مطالعه می‌باشد.

همچنین متوسط شعاع حلقه‌های پیچان‌رود در طول هر یک از پنج بازه و کل محدوده رودخانه در طی دوره‌های زمانی مورد بررسی افزایش داشته و کاملا محسوس است که این امر به‌دلیل فرسایش‌پذیری کناره رودخانه که غالبا دارای بستر آبرفتی بوده می‌باشد و باعث توسعه شعاعی حلقه‌های پیچان‌رود شده است.

درجه میان بری پیچان‌رودهای بازه مطالعاتی به کمک معادله ارایه‌شده رای سال‌های مورد نظر محاسبه شد (شکل۶). با توجه به شکل (۶) در قوس‌های مورد مطالعه مقدار درجه میان بری در حال افزایش است. این بیانگر این است که در اکثریت قوس‌های مطالعاتی در بازه‌های رودخانه از زمان‌های گذشته تا حال، پیچان-رود به‌سوی بسته‌شدن رفته است، به‌طوری که در گذر زمان کم‌کم در مسیرجریان رودخانه تا بندقیر میزان این تغییرات افزایش‌یافته و در بازه‌ی مکانی سه تا پنج مقدار آن در بازه‌های زمانی با فواصل کمتر از هم در حال افزایش می‌باشد. این پیچان‌رودها با افزایش درجه میان‌بری و نزدیک‌شدن به مقدار یک، از نظر سیلاب بسیار حساس هستند به‌طوری که در صورت بروز تغییرات اندک در رژیم هیدرولوژیکی و یا هیدرولیکی پیچان‌رود احتمال تغییر مسیر پیچان‌رود به مسیر مستقیم و در نتیجه آب‌گرفتگی مناطق خشک و ساحلی بسیار بیشتر است.

با توجه به تقسیم‌بندی kornish درصد فراوانی زاویه‌ی مرکزی قوس‌های پیچان‌رودی رودخانه‌ی دز در بازه ایشان‌سخی تا بند قیر در بازه‌های مختلف مکانی و زمانی از رودخانه محاسبه گردید که نتایج محاسبات و روند تغییرات زاویه مرکزی در رودخانه در جدول (۷) و شکل (۷) نشان داده شده است.

بنابراین با توجه به جدول (۷) و شکل (۷) و محاسبات انجام‌شده، رودخانه دز با توجه به پیشنهاد kornish از نظر توسعه پیچان‌رودی در بازه‌های مختلف به طور عمده در رده توسعه‌یافته قرار داشته، ولی میانگین زاویه مرکزی آن‌ها در بخش‌های مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷ بیشتر از سایر سال‌هاست. بیشترین فراوانی زاویه‌ی مرکزی بازه‌های رودخانه (۱۰۰ درصد) در دسته ۸۵–۱۵۸ درجه قرار می‌گیرد و مربوط به بازه یک در سال ۱۳۹۲ و به حالت پیچان‌رودی توسعه یافته می-باشد. بیشترین مقدار زاویه مرکزی در بین بازه‌ها مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷حدود ۱۲۳ درجه در بازه سه رودخانه دز و کمترین مقدار زاویه مرکزی در سال ۱۳۷۸ در چهارمین بازه از رودخانه در حدود ۸۶ درجه می‌باشد. هم چنین به طور کلی در کل محدوده رودخانه دز بیشترین زاویه مرکزی و بیشترین درصد فراوانی در سال ۱۳۹۷ اتفاق افتاده است.

در بررسی نتایج مربوط به فاکتور شعاع نسبی قوس‌ها در هر یک از بازه‌های مکانی و زمانی مورد مطالعه از رودخانه دز در حدفاصل روستای ایشان‌سخی تا بند قیر نتایج نشان داد که براساس طبقه‌بندی صورت‌گرفته براساس پارامتر شعاع نسبی، اکثر قوس‌ها در بازه‌های مطالعاتی رودخانه در وضعیت آزاد و تحت‌فشار می‌باشند (جدول۳). نتایج نشان داد که میزان شعاع نسبی در همه بازه‌ها بیشتر از مقدار ۳/۵ می‌باشد. به‌طوری که شدت میزان جابه‌جایی به حداکثر می‌رسد.

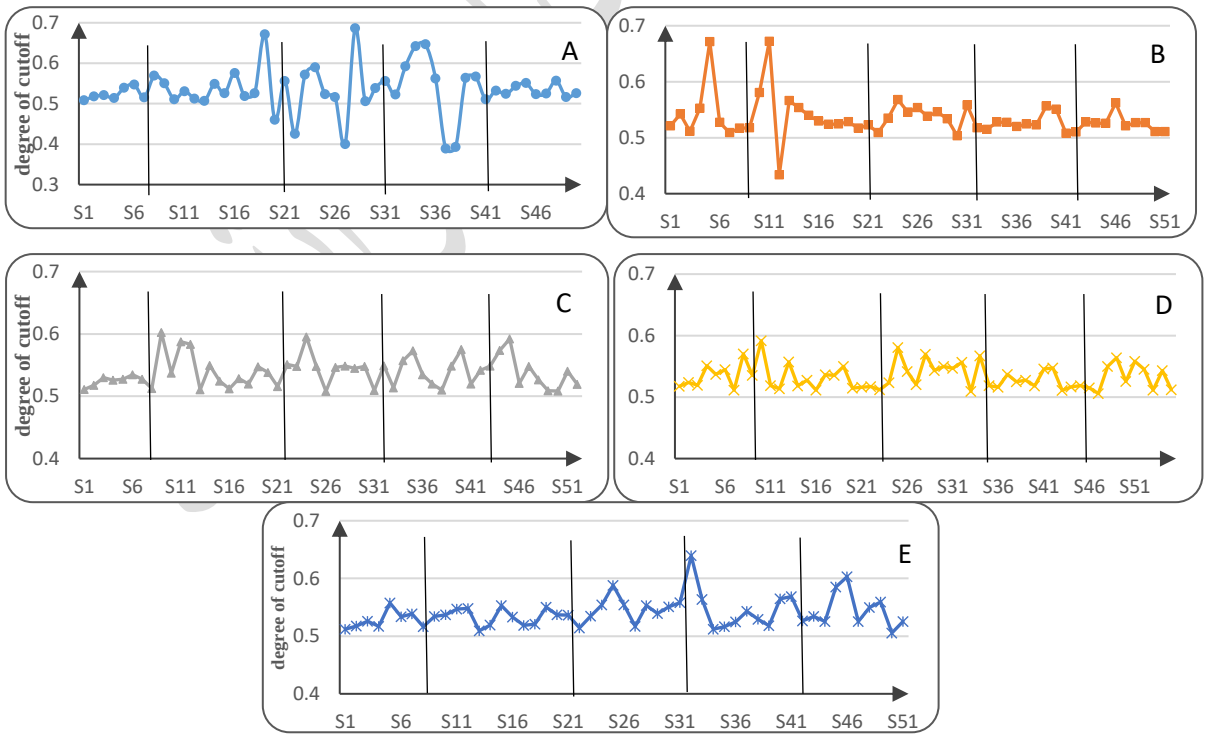


Fig. 6- the trend of variations of the degree of cutoff of bends specified in the studied intervals

شکل ٦- روند تغییرات درجه میانبری قوس های مشخص شده در بازه مورد مطالعه

(A:۱۳۵۲ , B:۱۳۷۸ , C:۱۳۸۷ , D:۱۳۹۲ , E:۱۳۹۷)

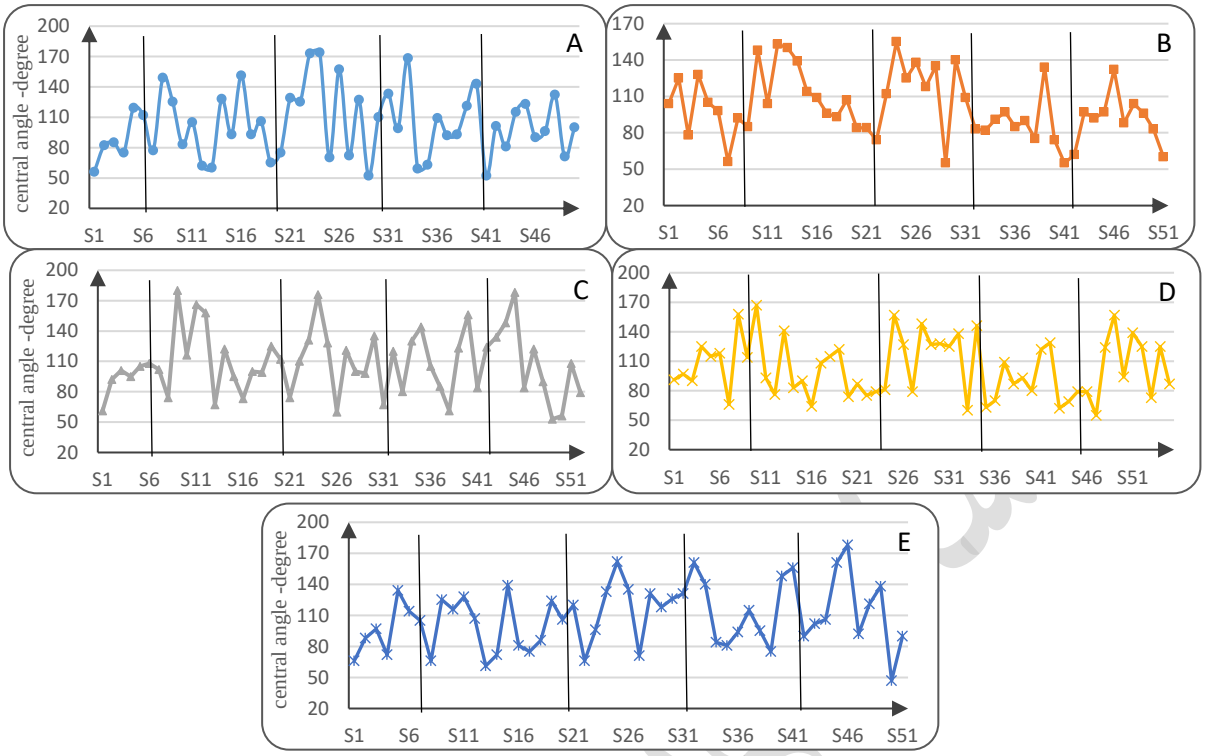


Fig. 7- the trend of variations of the central angle of bends in the intervals of dez river intervals

شکل ۷- روند تغییرات زاویه مرکزی قوس‌ها در بازه‌های زمانی و مکانی رودخانه دز

(A:۱۳۵۲ , B:۱۳۷۸ , C:۱۳۸۷ , D:۱۳۹۲ , E:۱۳۹۷)

جدول ۷- درصد فراوانی میزان توسعه قوس‌های بازه‌های زمانی و مکانی رودخانه براساس زاویه مرکزی آنها

Table 7- Frequency of development rate of bends of temporal and spatial intervals of the river according to their central angles.

Spatial Interval	Temporal Interval	θ	Meander Shape(central angle)			Spatial Interval	θ	Meander Shape(central angle)		
			extremely developed	developed	undeveloped			extremely developed	developed	undeveloped
	1352	97.78	55.56	44.44	_		99.90	30	60	10
	1378	98.25	25	75	_		86.42	58.33	41.66	_
Interval 1	1387	94.86	14.28	85.72	_	Interval 4	105.00	45.45	54.55	_
	1392	106.00	_	100	_		96.58	41.67	58.33	_
	1397	92.75	37.5	62.5	_		112.64	27.27	63.64	9.09
	1352	92.82	45.45	54.55	_		101.00	22.23	77.77	_
	1378	115.17	18.18	81.82	_		94.33	22.23	77.77	
Interval 2	1387	111.50	28.57	57.15	14.28	Interval 5	106.91	36.37	54.54	9.09
	1392	105.07	35.72	57.14	7.14		100.50	41.67	58.33	_
	1397	100.43	35.71	64.29	_		115.00	11.11	66.67	22.22
	1352	120.18	27.27	54.54	18.19		102.62	36	58	0.06
	1378	113.60	30	70	_	Total Interval	101.76	32	70	_
Interval 3	1387	117.67	11.12	77.77	11.11		107.98	28.84	63.46	7.69
	1392	110.27	36.37	63.63	_		103.36	34.54	63.64	1.82
	1397	122.56	11.12	77.77	11.11		108.33	25.49	66.67	7.84

جدول ۸- متوسط مقادیر شعاع نسبی قوس ها و تغییرات شکل قوس در بازه های مکانی و زمانی رودخانه دز

Table 8- Average values of relative radius of bends and variations in bend shape in temporal and spatial intervals of dez river

Spatial Interval	Temporal Interval	RRC	1.5<RRC<3.5	RRC>3.5	Spatial Interval	RRC	1.5<RRC<3.5	RRC>3.5
	1352	3.81	-	expand		3.87	-	expand
	1378	3.28	rotation	-		4.27	-	expand
Interval 1	1387	4.16	-	expand	Interval 4	4.29	-	expand
	1392	3.52	-	expand		4.10	-	expand
	1397	3.88	-	expand		3.42	rotation	-
	1352	4.85	-	expand		4.11	-	expand
	1378	2.78	rotation	-		4.36	-	expand
Interval 2	1387	3.42	rotation	-	Interval 5	3.49	rotation	-
	1392	3.62	-	expand		5.16	-	expand
	1397	2.55	rotation	-		3.39	rotation	-
	1352	3.70	-	expand		4.08	-	expand
	1378	2.79	rotation	-		3.49	rotation	-
Interval 3	1387	3.15	rotation	-	Total Interval	3.67	-	expand
	1392	3.59	-	expand		4.05	-	expand
	1397	3.13	rotation	-		3.19	rotation	-

مطابق جدول (۸) و شکل (۸)، در طول ۴۵ سال گذشته در تمام بازه‌ها مقدار متوسط شعاع نسبی در سال ۱۳۹۷ به کمترین مقدار نسبت به سال گذشته رسیده است که این کاهش مقدار شعاع نسبی نشان‌دهنده تحت‌فشار قرار داشتن قوس‌ها بوده و وجود بازه‌های ناپایدار و توسعه و گسترش فرسایش کناری در این محدوده‌ها را نشان می‌دهد. همچنین شعاع نسبی مهم‌ترین عامل در تعیین توزیع تنش برشی در قوس است، بنابراین ازدیاد تنش برشی در بستر همراه با افزایش بار کف و آب‌شستگی در کناره‌ها باعث فرسایش و تخریب دیواره ساحلی رودخانه شده است. به این ترتیب نحوه توزیع تنش برشی در طول قوس راهنمای تشخیص احتمالی تخریب است.

نتایج حاصل از تغییرات و مشاهدات شعاع نسبی قوس ها نشان داد که فرسایش ناشی از تمرکز زیاد تنش برشی قوی در انتهای قوس خارجی و هم‌چنین تنش برشی نسبتا قوی در ابتدای قوس داخلی می‌باشد. این وضعیت در طی ۴۵ سال گذشته از بازه زمانی مطالعات در سال ۱۳۹۷ در تمام بازه به وقوع پیوسته است. در جدول (۹) نتایج پارامترهای آماری محاسبه‌شده درکل بازه مورد مطالعه از رودخانه در هر یک از دوره‌های زمانی ارایه شده است.

براساس جدول (۹) تغییرات ضریب پیچشی در پنج دوره زمانی مختلف در یک دامنه تغییر محدود مشاهده می‌شود و طبق جدول (۶) قوس‌های تقریبا مشابه را در طول محدوده مورد مطالعه و سایر بازه مکانی نشان می‌دهد. دامنه تغییرات ضریب پیچشی از سال ۱۳۵۲ تا سال ۱۳۹۲ دارای یک روند کاهشی و از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ یک محدوده جهش افزایشی رخ داده است. به‌طورکلی می‌توان گفت که روند تغییرات ضریب پیچشی در کل بازه زمانی به صورت کاهشی رخ داده است. در بررسی زاویه مرکزی نیز نشان می‌دهد که دامنه تغییرات این پارامتر از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۷ روند در بازه‌های یک و چهار و پنج شعاع نسبی بیشتر از ۳/۵ بوده، بنابراین توزیع تنش برشی در مقطع ورودی قوس تقریبا یکنواخت بوده و منطقه حداکثر تنش در قسمت خروجی قوس و دیواره خارجی آن اتفاق افتاده است و وضعیت تغییرات پلان در حالت گسترش بوده و حرکت قوس در جهت جانبی است. می‌توان گفت که افزایش تنش در محدوده دیواره خارجی قسمت خروجی پیچ به‌تدریج باعث تندتر شدن قوس می‌شود. شعاع نسبی در بازه‌های دو و سه نسبت به سایر بازه‌ها کمتر از ۳/۵ بوده و دو منطقه تنش حداکثر در قسمت خروجی قوس و دیواره خارجی آن و دیگری در قسمت ورودی و دیواره داخلی قوس است و تغییرات پلان قوس رودخانه به سمت پایین و در حال چرخش می‌باشد. این نوع وضعیت از غالب‌ترین تغییرات شکل قوس می‌باشد و این به‌دلیل سینوسی کاهشی و افزایشی داشته است اما میزان درصد توسعه-یافتگی در دوره زمانی مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷ بیشتر از سایر بازه‌ها بوده است. در بررسی مربوط به دامنه تغییرات و تعیین روند افزایشی یا کاهشی بودن پارامتر طول موج قوس و طول مستقیم قوس (طول دره) در بازه مورد مطالعه براساس جدول (۹) نتایج نشان می‌دهد که هر دو پارامتر دارای یک رفتار افزایشی-کاهشی می‌باشد. به‌طوری که در سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۷۸ این روند به‌صورت کاهشی و نشان‌دهنده کاهش فاصله پیچان‌رود نسبت به هم می-باشد، اما این روند از ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۷ دارای یک روند افزایشی بوده است. به‌طوری که نشان‌دهنده افزایش فاصله پیچان‌رودها نسبت به هم می‌باشد. یعنی تعداد پیچان‌رودها کاهش داشته است که کاهش تعداد پیچان‌رودها از ۵۵ تا در سال ۱۳۹۲ به تعداد ۵۱ قوس در سال ۱۳۹۷ گویای این مطلب می‌باشد.

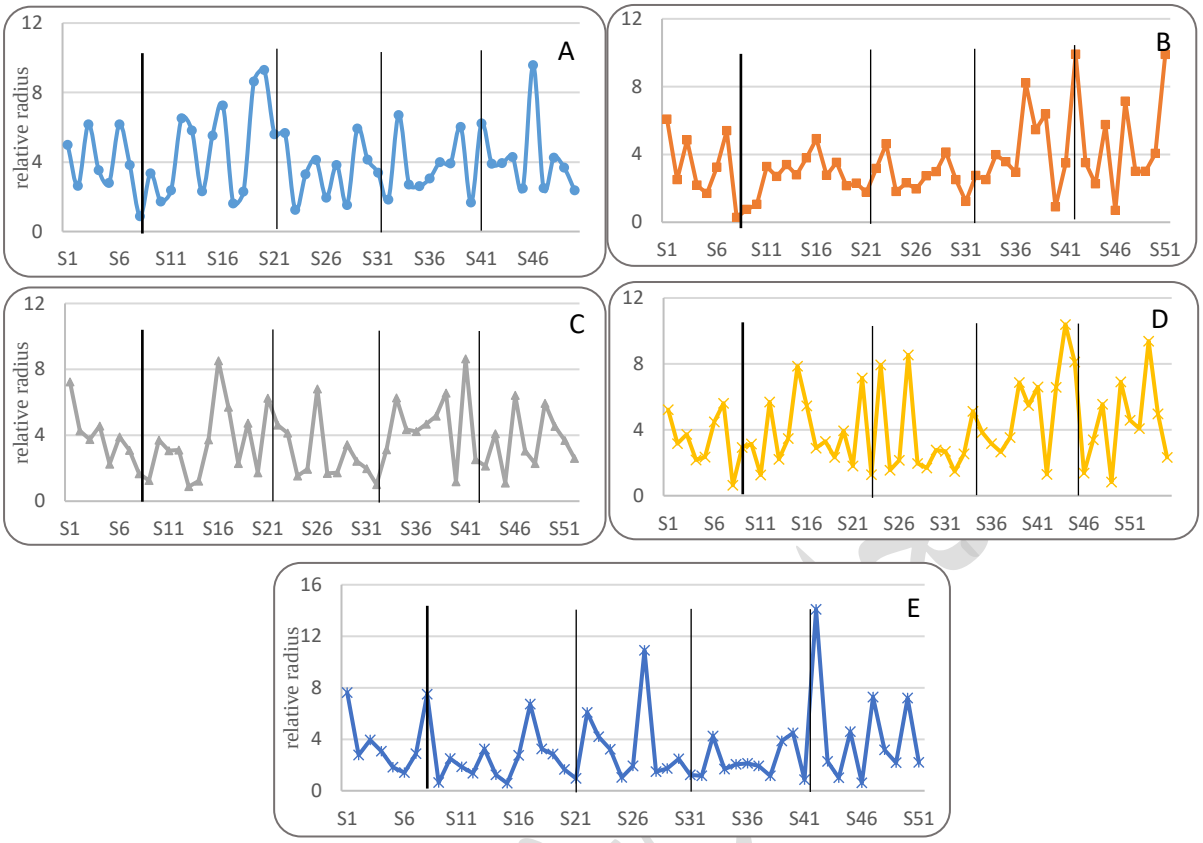


Fig. 8- The trend of variations in relative radius of bends in the temporal and spatial intervals of dez river
شکل ۸- روند تغییرات شعاع نسبی قوس‌ها در بازه‌های مکانی و زمانی رودخانه دز
(A:۱۳۵۲ , B:۱۳۷۸ , C:۱۳۸۷ , D:۱۳۹۲ , E:۱۳۹۷)

نتیجه‌گیری

با استفاده از محاسبه، اندازه‌گیری پارامترهای هندسی و استفاده از شاخص‌های موثر در تعیین روند تغییرات مرفولوژیکی رودخانه دز در حد فاصل روستای ایشان‌سخی تا بند قیر می‌توان چنین استدلال نمود که رود مورد مطالعه درطی بازه زمانی ۴۵ ساله تاکنون به دلایل وجود سیلاب‌ها و جریان‌های گذشته در مقطع رودخانه از نظر کمی و به‌ویژه کیفی دستخوش تغییرات زیادی در قوس‌ها و قسمت‌های مئاندری رودخانه گردیده و حتی باعث تغییر مسیر رودخانه به‌خصوص در مناطق پایین‌دست شده است. طبق محاسبات و بررسی پارامترهای مرفولوژیکی، رودخانه از حالت پیچان‌رودی توسعه‌نیافته به سمت پیچان‌رودی توسعه‌یافته متمایل شده است. هم‌چنین رود مذکور در اکثر نقاط خمیدگی، براساس دسته‌بندی‌های مربوط به شعاع نسبی جزء رودهای آزاد و تحت‌فشار بوده و هم‌چنین با توجه به شاخص ضریب خمیدگی، رودخانه دارای حالت پیچشی و سینوسی بوده و به‌طورکلی دارای یک روند کاهشی در طی بازه زمانی مورد مطالعه بوده است. متوسط مقادیر شعاع رودخانه و دامنه تغییرات آن درطی بازه ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۷یک روند افزایشی داشته که نشان‌دهنده افزایش طول آن در قوس‌های رودخانه بوده است. روند تغییرات مقدار زاویه مرکزی انحناهای رودخانه دز نیز به بیشترین درصد فراوانی در سال ۱۳۹۷رسیده و در رده پیچان‌رودی توسعه‌یافته است. در طول ۴۵ سال گذشته در تمام بازه‌ها مقدار متوسط شعاع نسبی در سال ۱۳۹۷به کمترین مقدار و دامنه تغییرات آن به بیشترین مقدار نسبت به سال‌های گذشته رسیده است که این روند تغییرات افزایشی و کاهشی مقدار شعاع نسبی نشان‌دهنده تحت فشار قرار داشتن قوس‌ها و وجود بازه‌های ناپایدار و توسعه و گسترش فرسایش کناری در این محدوده‌ها شده است، به گونه‌ای که تغییرات پلان قوس رودخانه به سمت پایین و در حالت چرخش می باشد. هم‌چنین رابطه بین شعاع نسبی و میزان تنش برشی در قوس‌ها، نشان‌دهنده فرسایش ناشی از تمرکز زیاد تنش برشی قوی در انتهای قوس خارجی و هم‌چنین تنش برشی نسبتا قوی در ابتدای قوس داخلی می‌باشد. این وضعیت در سال ۱۳۹۷، به نسبت ۴۵ سال گذشته(دوره زمانی مطالعه شده)، در تمامی بازه‌های مکانی به وقوع پیوسته است.

جدول ۹- نتایج تجزیه و تحلیل آماری در بازه رودخانه مورد مطالعه

Table 9-Results of Statistical Analysis in the studied intervals

Years	Statistical Parameters	Length of bend (m)	Radius (m)	Length (m)	Width (m)	Central Angle (degree)	Torsional Coefficient	Relative Radius	Degree of Cutoff
	Mean	1036.17	602.09	889.50	147.22	102.62	1.18	4.08	0.53
	max	3130.60	1666.89	2309.83	203.14	174.00	2.19	9.57	0.69
	min	305.89	114.71	231.95	94.06	52.00	0.64	0.88	0.39
1352	variation range	2824.71	1552.18	2077.89	109.07	122.00	1.55	8.69	0.30
	Coefficient of variation	0.58	0.55	0.53	0.16	0.32	0.25	0.51	0.11
	Standard deviation	600.39	332.21	468.96	23.03	32.75	0.29	2.08	0.06
	Skewness	1.68	1.12	1.33	0.29	0.41	1.33	0.82	-0.10
	meam	865.69	507.04	755.95	148.38	101.76	1.16	3.49	0.53
	max	2102.62	1778.65	1844.29	287.70	155.00	2.05	9.90	0.67
	min	130.94	79.62	122.45	86.37	55.00	0.77	0.28	0.43
1378	variation range	1971.68	1699.03	1721.84	201.33	100.00	1.29	9.63	0.24
	Coefficient of variation	0.54	0.67	0.55	0.29	0.26	0.18	0.60	0.07
	Standard deviation	467.11	341.32	416.95	42.78	26.59	0.21	2.10	0.04
	Skewness	0.73	1.82	0.81	1.06	0.26	3.15	1.34	1.89
	mean	1117.11	630.78	959.31	179.35	107.98	1.17	3.67	0.54
	max	2702.69	1824.42	2499.21	531.74	180.00	1.51	8.65	0.60
	min	393.07	176.43	322.95	122.13	53.00	1.03	0.88	0.51
1387	variation range	2309.62	1647.99	2176.25	409.61	127.00	0.48	7.76	0.09
	Coefficient of variation	0.46	0.54	0.46	0.33	0.30	0.10	0.54	0.05
	Standard deviation	512.87	341.35	444.32	59.14	32.58	0.12	1.97	0.02
	Skewness	0.78	1.16	0.87	4.29	0.40	1.07	0.68	0.84
	mean	1058.64	625.61	926.77	153.32	103.36	1.15	4.05	0.53
	max	2899.23	2041.77	2674.62	269.59	167.00	1.45	10.40	0.59
	min	238.74	85.79	179.90	93.31	55.00	1.02	0.63	0.51
1392	variation range	2660.49	1955.98	2494.71	176.29	112.00	0.43	9.76	0.09
	Coefficient of variation	0.58	0.68	0.59	0.26	0.29	0.09	0.59	0.04
	Standard deviation	616.82	422.69	546.71	39.74	29.86	0.10	2.37	0.02
	Skewness	0.91	1.50	1.06	1.03	0.31	0.97	0.78	0.79
	Mean	1251.52	730.52	1075.56	240.62	108.33	1.18	3.19	0.54
	max	3765.84	2385.88	3390.47	331.99	178.00	1.77	14.07	0.64
	min	334.67	133.67	270.72	151.89	47.00	1.02	0.58	0.51
1397	variation range	3431.17	2252.21	3119.75	180.10	131.00	0.75	13.49	0.13
	Coefficient of variation	0.59	0.76	0.61	0.18	0.28	0.11	0.84	0.05
	Standard deviation	734.89	554.29	656.96	42.34	30.66	0.13	2.69	0.03
	Skewness	1.24	1.70	1.40	0.14	0.19	2.16	2.08	1.57

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (۹۷/۳/۰۲/۲۶۲۴۷) در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

References

1- Aher, S.P., Bairagi, S.I., Deshmuk,h, P.P. and Gaikwad, R.D., 2012. River change detection and bank erosion identification using topographical and remote sensing data, *International Journal of Applied Information Systems (IJAIS)*,2(3), pp.1-7.

2- Arshad, S., Morid, S. and Mirabolghasemi, H., 2007. Investigation of the process of morphological changes of rivers using remote sensing: A case study of Karun river from Gotvand to Farsiat(2002-2010*). Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 14(6), pp. 180-194. (In Persian).

3- Bin, Z., Nanshan, A., Zhengweng, H., Chengbo, Y. and Facao, Q., 2008. Meanders of the Jialing river in China: morphology and formation. *Chinese Science Bulletin*. 53(2), pp.267-281.

4- Brooshkeh, E. and Sokuti, R. 2017. Temporal and spatial variations of zarrineh-Rood river morphology using RS and GIS. *Journal of Geogr Nat Disast,* 7(1).pp.1-5.

5- Charlton, R., 2008. *Fundamental of fluvial geomorphology*. *Routledge is an imprint of the Taylor and Francis Group, an informa business*, pp.1-234.

6- Ioannis, Ch., Konstantinos, V., Charalampos, T., Christos, D. and Konstantnos, A., 2017. Characterizing river morphology with RS tools in the frame of hydromorphological assessment: A greek case study of Pinios river, central Greece. *In The IIER International Conference, Lisbon, Portugal.*

7- Javaheri, N., 2006. Predicting morphological changes in meandering rivers using hydroinformatic methods: Case study, the Karun river. PhD thesis, *Shahid Chamran University of Ahvaz*, Iran. 281p. (In Persian).

8- Ji, L., Zhang, L. and Wylie, B., 2009. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 75*(11),pp. 1307-1317.

9- Kornish, MR.,1980. meander travel in alluvial streams. *Proceedings of the International Workshop on Alluvial River problems India saritaprakash a meernt*. New Deihi. India, pp 35–82.

.

10- McFeeters, S. K., 1996. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), pp.1425-1432.

11- McFeeters, S.k., 2013. Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: *A Practical Approach. Remote Sensing*, 5(7),pp. 35-44.

12- Mesbahi, J. and Chiti, M., 2008. River engineering culture, rivers and coastal engineering office. (In Persian).

13- Nuheh gar, A. and Yamani, M., 2003. Investigation of meander geomorphological status and its role in erosion of the bed and banks of the Minab river (downstream of the minab dam), *Geographical Research Quarterly*, 37(51), pp. 65-84. (In Persian).

14- Shen, H.W., 1971. *River mechanics*. vol I and II ,Colorado State- University , Fort collins.

15- Singh, S.m., 2014. Morphology changes of Ganga river over time at varanasi, *Journal River of engineering*, 2(2),PP.4-6.

16- Wolfert, H.P., 2001. Geomorphological change and river rehabilitation; Case studies on lowland fluvial systems in the Netherlands. PhD thesis, *Alterra Scientific Contributions 6*, Wageningen.

17-Yamani, M. and Sharafi, S., 2012. Geometric parameters and their role in temporal-spatial variations of rivers bed Case study: Herod river Branch of Karkheh river in Kurdistan province, *Journal of Geography and Development*, 10(26), pp.35-48. (In Persian).

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of the Morphological Changes of Dez River, Using Satellite Images and Geographic Information System(Case Study: Ishan sakhi Village to Band-e-Ghir)

S.E.Hosseini[1*], M. Shafai Bejestan[2], S.M. Kashefipour[3], A. M. Akhond Ali[4]

1*- Corresponding Author, Ph.D. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (ebrahimh@gmail.com).
2- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
3- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
4- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: Revised: Accepted:

Keywords: River morphology, Remote Sensing, Geographic Information System, Dez River.

Introduction

Rivers and canals are a completely dynamic system, and their morphological patterns change continuously over time, which leads to bank erosion, damage infrastructures around the banks and causing river bend migration. Although various factors, such as river branching, bed degradation, anthropogenic activities and flood discharges, cause changes in the channel pattern (Yamani et al., 2012), its usually one or two of the dominant factors control these changes. In general, the analysis and prediction of changes in geometric characteristics of rivers are the most complicated and the most important issues of hydraulic sediment and river engineering. Due to the wide extent of the Khuzestan river basin and the current conditions of exploitation of rivers and their banks and increasing population, despite the construction of large reservoir dams, flood damage and river bank erosion are still ongoing. One of the major rivers in the province of Khuzestan, which suffers from bank erosion and excess widening changes, is the Dez River. Therefore, the purpose of this study is to investigate the morphological changes in the Dez River in its meandering section over the past 45 years, using remote sensing data and geographic information systems.

Materials and Methods

In this research, experimental and fundamental models are used to study the morphological changes of the Dez River from Ishan Sakhi village to Band-e- Ghir. For this purpose, satellite images of Landsat, including MSS, ETM + and OLI sensors were used to investigate the trend of changes during the years 1974, 2000, 2009, 2014 and 2019.

Measuring Indicators

Normalized Difference Water Index

The Water Spectrum Index is one of these indices, which is a single unit derived from an arithmetic operation (such as the ratio, difference, and normalized difference) of two or more spectral bands. In order to distinguish the water levels from other land cover complications, the appropriate threshold of this index is defined by spectral properties (Ji et al., 2009). This index was first time presented in 1996 by McFeeters in order to isolate free water effects and improve their detection in digital images of remote sensing. Normalized differential water index uses near visible light wavelengths of green and infrared to detect such complications while eliminating the soil and vegetation side effects (S. K. McFeeters, 1996).

$$NDWI = \frac{Green-NIR}{Green+NIR} \quad (1)$$

Torsional coefficient or sinusoidal factor

This coefficient is an important indicator in determining the changes in the shape of the river plan. The value of this coefficient is equal to the ratio of the length of the bend to the length of the connecting chord of the two ends of the bend or the turning points of bend. The magnitude of the coefficient of the bend is calculated by equation (2) (Charlton, 2008).

$$SR = \frac{S}{L} \quad (2)$$

S is the length of the bend in meters and L is the straight length of the bend of the two ends of the bend in meters. The breakdown of the development of the shape of the river bend for the coefficient of torsion is presented in Table(1) (wolfere, 2001).

Table 1- Development rate of river Bend shape based on torsion coefficient

shape of the river plan	Torsional or sinusoidal (no dimension)
Straight	SR<1.05
Sinusoid	1.05<SR<1.25
Meandering	1.25<SR<2
Intense Meandering	SR>2

Central angle index

Kornish(1980) describes the equilibrium stages of the meandering rivers and investigate the central angle that between the two radius connected to the turning points in two consecutive bends. In order to express the qualitative level of development of the meandering in alluvial rivers and differentiate them from each other, using the central angle according to Table (2).

Table 2- Determine the shape of the river according to the central angle of the bend

River shape	Central angle (degree)
Straight	0
Semi Meandering	1-41
Undeveloped Meandering	41-85
Developed Meandering	85-158
Extremely Developed	158-296
Horseshoe Bend	>296

Relative Radius Index

In order to investigate the displacement intensity and stability of rivers bending, the relative curvature index of the arcs, which is equal to the ratio of the radius of curvature of the bend to the flow width, was used (Equation 3).

$$RRC = \frac{R}{W} \quad (3)$$

R is the radius of curvature of the bend and W is the mean flow width at the turning points and vertex of the bend in meters.

Table 3- River morphology based on relative radius (shen, 1971)

Bend type status	Relative radius
Free	4.5 to 5
Limited	7 to 8
Under Pressure	2.5 to 3

In this research, the study area from Dez River (Ishan Sakhi village to Band-e-ghir) was divided into 5 intervals based on morphology and river change trend.

Results and discussion

In order to investigate the process of river geometric shape changes and recognition of the dominant morphology of the river using satellite images at different times over the past 45 years, the river route was extracted and then, using the GIS, the river's central line was prepared at

different time intervals and then, the identification of the bends in the river boundary was performed and river geometric parameters and effective morphological factors such as torsional coefficient, relative radius, center angle, and degree of bends in the river were determined. Table 4 presents the results of the statistical parameters calculated over the entire study period from the river in each time period.

Table 4-Results of Statistical Analysis in the studied intervals

Years	Statistical Parameters	Length of bend (m)	Radius (m)	Length (m)	Width (m)	Central Angle (degree)	Torsional Coefficient	Relative Radius	Degree of Cutoff
	Mean	1036.17	602.09	889.50	147.22	102.62	1.18	4.08	0.53
	max	3130.60	1666.89	2309.83	203.14	174.00	2.19	9.57	0.69
	min	305.89	114.71	231.95	94.06	52.00	0.64	0.88	0.39
1352	variation range	2824.71	1552.18	2077.89	109.07	122.00	1.55	8.69	0.30
	Coefficient of variation	0.58	0.55	0.53	0.16	0.32	0.25	0.51	0.11
	Standard deviation	600.39	332.21	468.96	23.03	32.75	0.29	2.08	0.06
	Skewness	1.68	1.12	1.33	0.29	0.41	1.33	0.82	-0.10
	meam	865.69	507.04	755.95	148.38	101.76	1.16	3.49	0.53
	max	2102.62	1778.65	1844.29	287.70	155.00	2.05	9.90	0.67
	min	130.94	79.62	122.45	86.37	55.00	0.77	0.28	0.43
1378	variation range	1971.68	1699.03	1721.84	201.33	100.00	1.29	9.63	0.24
	Coefficient of variation	0.54	0.67	0.55	0.29	0.26	0.18	0.60	0.07
	Standard deviation	467.11	341.32	416.95	42.78	26.59	0.21	2.10	0.04
	Skewness	0.73	1.82	0.81	1.06	0.26	3.15	1.34	1.89
	mean	1117.11	630.78	959.31	179.35	107.98	1.17	3.67	0.54
	max	2702.69	1824.42	2499.21	531.74	180.00	1.51	8.65	0.60
	min	393.07	176.43	322.95	122.13	53.00	1.03	0.88	0.51
1387	variation range	2309.62	1647.99	2176.25	409.61	127.00	0.48	7.76	0.09
	Coefficient of variation	0.46	0.54	0.46	0.33	0.30	0.10	0.54	0.05
	Standard deviation	512.87	341.35	444.32	59.14	32.58	0.12	1.97	0.02
	Skewness	0.78	1.16	0.87	4.29	0.40	1.07	0.68	0.84
	mean	1058.64	625.61	926.77	153.32	103.36	1.15	4.05	0.53
	max	2899.23	2041.77	2674.62	269.59	167.00	1.45	10.40	0.59
	min	238.74	85.79	179.90	93.31	55.00	1.02	0.63	0.51
1392	variation range	2660.49	1955.98	2494.71	176.29	112.00	0.43	9.76	0.09
	Coefficient of variation	0.58	0.68	0.59	0.26	0.29	0.09	0.59	0.04
	Standard deviation	616.82	422.69	546.71	39.74	29.86	0.10	2.37	0.02
	Skewness	0.91	1.50	1.06	1.03	0.31	0.97	0.78	0.79
	Mean	1251.52	730.52	1075.56	240.62	108.33	1.18	3.19	0.54
	max	3765.84	2385.88	3390.47	331.99	178.00	1.77	14.07	0.64
	min	334.67	133.67	270.72	151.89	47.00	1.02	0.58	0.51
1397	variation range	3431.17	2252.21	3119.75	180.10	131.00	0.75	13.49	0.13
	Coefficient of variation	0.59	0.76	0.61	0.18	0.28	0.11	0.84	0.05
	Standard deviation	734.89	554.29	656.96	42.34	30.66	0.13	2.69	0.03
	Skewness	1.24	1.70	1.40	0.14	0.19	2.16	2.08	1.57

Conclusion

By calculating, measuring the geometrical parameters and using effective indices to determine the morphological trends of the Dez River between Ishan Sakhi village to the Band-e-Ghir village, it can be argued that the river studied during the past 45 years due to the floods and the flows have undergone a lot of changes in the bends and meanders of the river in terms of quantity and quality, and have changed the path of the river, especially downstream. According to calculations and investigations of morphological parameters, the river tends from an undeveloped

meandering state to an extended meandering state. The river in most of the bending points is classified as free and under pressure by relative radius classifications and according to the bending coefficient index, the river has a torsional and sinusoidal state and generally has a decreasing trend over the studied period. The mean values of the river radius and the range of its variations during the period 1352 to 1397 showed an increasing trend, indicating an increase in its length in the river bends. The trend of changes in the central angle of the Dez river bends has also reached the highest percentage in 1397 and has been developed in the meandering category. During the last 45 years, the average relative radius in all the intervals in 1397 has reached the lowest value and the range of its changes has reached the highest value compared to previous years. This trend of increasing and decreasing relative radius values reflects the pressure of the bends and the existence of unstable intervals and the development and extension of lateral erosion in these zones, and Changes in the river bend plan are to downstream in a rotational state. Also, The relationship between the relative radius and shear stress in the bends indicates erosion due to the high concentration of strong shear stress at the end of the outer bend and the relatively strong shear stress at the beginning of the inner bend. This situation has occurred in all locations in 1397.

Acknowledgement
The financial received from Vice-chancellor for research of Shahid Chamran University (Grant No. 97/3/02/26247) is appreciated.

References

1- Charlton, R. 2008, Fundamental of Fluvial Geomorphology. pp.1-234.

2- Ji, L., Zhang, L. and Wylie, B. 2009. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75*(11),pp. 1307-1317.

3- Kornish, Mrs.1980. meander travel in alluvial streams. *Proceedings of the International Workshop on Alluvial River problems India saritaprakash a meernt.* New Deihi. Vol: 82.

4- McFeeters, S. K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), pp.1425-1432.

5- Shen, H.W. 1971. River Mechanics. vol I AND II ,Colorado State- University , Fort collins.

6-Yamani, M. and Sharafi, S. 2012. Geometric parameters and their role in temporal-spatial variations of rivers bed Case study: Herod river Branch of Karkheh river in Kurdistan province, *Journal of Geography and Development*, 10(26), pp. 35-48. (In Persian).