

## بررسی تأثیر جریان‌های سیلابی بر تغییرات ریخت‌شناسی با استفاده از سری تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی رودخانه بازفت)

آرش کوهی‌زاده دهکردی<sup>۱</sup>، روح‌الله فتاحی نافچی<sup>۲\*</sup>، حسین صمدی بروجنی<sup>۲</sup>، میلاد خواستار بروجنی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه فردوسی، مشهد

(دریافت: ۹۷/۱۱/۱، پذیرش: ۹۹/۲/۳۱، نشر آنلاین: ۹۹/۲/۳۱)

### چکیده

ریخت‌شناسی یکی از مهم‌ترین شاخه‌های علم مهندسی رودخانه است. بررسی تغییرات هندسه مقاطع در رودخانه‌هایی که سدهای بزرگ را تغذیه می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حقیقت به‌دست آوردن درک بهتر از رفتار رودخانه موجب کاهش صدمات و آسیب‌های احتمالی به سازه‌های هیدرولیکی و زیرساخت‌های عمومی می‌شود. در همین راستا در این پژوهش به بررسی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه بازفت یکی از زیر حوضه‌های کارون شمالی که در انتها وارد سد کارون ۴ می‌شود، پرداخته شده است. در این مطالعه با استفاده از ۲۶ تصویر ماهواره‌ای لندست ETM<sup>+</sup> و OLI الگوی جابه‌جایی مجرای اصلی رودخانه، به‌همراه تغییرات عرض و سینوسیته (Sinuosity) حاصل از فرایندهای رسوب‌گذاری و فرسایش در بازه‌های بلند و کوتاه‌مدت منتهی به سال ۱۳۹۵ و ناشی از سیلاب‌های بزرگ در این بازه زمانی موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد متوسط جابه‌جایی مجرای اصلی رودخانه منجر به فرسایش (رسوب‌گذاری) برای ساحل راست و چپ به ترتیب ۱۴ (۱۵) و ۱۴ (۱۴) درصد عرض متوسط رودخانه است. همچنین نرخ خالص تغییرات مساحت ناشی از جابه‌جایی مجرای اصلی رودخانه برای ساحل راست و چپ به ترتیب ۱/۸- و ۳/۰ هکتار در سال به‌دست آمد. با بررسی تأثیر سیلاب‌ها مشخص شد در هر دو ساحل میزان فرسایش بیشتر از رسوب‌گذاری است و ساحل چپ پویاتر از ساحل راست است. متوسط عرض رودخانه در بازه ۳۰ ساله برای چهار بازه موردبررسی به ترتیب برابر ۳۳/۸، ۴۴/۷، ۴۰/۲ و ۳۸/۶ متر می‌باشد. همچنین عرض رودخانه بازفت تا قبل از وقوع بزرگ‌ترین سیلاب در سال ۱۳۸۹ تغییر چندانی نداشته و مقدار آن از ۴۰ متر تجاوز نکرده است. اما پس از وقوع سیلاب عرض رودخانه ناگهان افزایش یافته است و این تغییرات بدیهی به نظر می‌آید. بیشینه افزایش عرض مربوط به بازه دوم رودخانه می‌باشد و مقدار آن برابر ۷۰ متر است. بررسی‌های مربوط به چهار بازه طولی در مسیر رودخانه نشان داد مقدار سینوسیته در تمام سال‌ها در بازه اول تقریباً روند ثابتی داشته است اما در بازه دوم و سوم مقدار آن بیشتر است بنابراین این دو بازه نسبت به دو بازه دیگر فعال‌تر می‌باشد. در بازه چهارم که منتهی به سد کارون ۴ است، تغییرات سینوسیته روند نزولی دارد. همچنین نتایج نشان داد که آبگیری سد کارون ۴ بر تمامی پارامترهای ریخت‌شناسی رودخانه بازفت در بازه چهارم تأثیر بسزایی داشته است.

**کلیدواژه‌ها:** تعداد سنجش‌ازدور، شاخص‌های آب، فرسایش و رسوب‌گذاری، سیلاب.

### ۱- مقدمه

مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه در برنامه‌ریزی، طراحی و نگهداری سازه‌های آبی و به‌طور خاص، سدهای مخزنی نقش مهمی ایفا می‌کنند. در سال‌های اخیر، اطلاعات قابل استخراج از تصاویر دورسنجی برای تهیه پایگاه اطلاعات مکانی، به‌منظور بررسی تغییرات ریخت‌شناسی و مطالعات مهندسی رودخانه‌ها کاربرد گسترده‌ای داشته‌اند (سیف و نجمی، ۱۳۹۲ و ارشد و همکاران، ۱۳۸۶). تکنیک

ریخت‌شناسی دانش شناخت شبکه رودخانه از نظر شکل و فرم کلی، مرز و حریم رودخانه، ابعاد و هندسه، مشخصات هیدرولیکی، راستا و نیمرخ طولی و روند تغییرات آن است. درحقیقت برای داشتن رویکرد علمی و منطقی به مشکلات گوناگون رودخانه‌ها، ارائه راهکار، برنامه‌ریزی مناسب و طراحی پروژه‌های منابع آب و سازه‌های وابسته، ایجاد درکی صحیح از ریخت‌شناسی و رفتار رودخانه، پیش‌شرط لازم است. بنابراین،

\* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۹۱۴۴۰۳۰۳۳۲

(۲۰۰۶) شاخص NDWI را با جایگزینی باند مادون قرمز میانی به- جای باند مادون قرمز نزدیک اصلاح کرد و آن را MNDWI<sup>۴</sup> نامید. این شاخص اصلاح شده آستانه‌های پایدارتری نسبت به شاخص NDWI دارد. پس از آن Feyisa و همکاران (۲۰۱۴) دو نسخه متفاوت از یک شاخص استخراج خودکار آب به نام‌های AWEI<sub>no</sub> و AWEI<sub>shadow</sub><sup>۵</sup> برای افزایش قابلیت جداسازی آب‌های سطحی در تصاویر بدون سایه و AWEI<sub>shadow</sub> برای تصاویر با سایه مناطق کوهستانی، ساختمان‌ها و ابرها ارائه کردند. شاخص Enhanced Water Index با عنوان اختصاری EWI شاخص دیگری است که توسط Wang و همکاران (۲۰۱۵) ارائه شد. این شاخص از اطلاعات چهار باند طیفی استفاده می‌کند و قابلیت تخمین درصدی از پیکسل که توسط آب اشغال شده است را دارد. Fisher و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از اطلاعات طیفی پنج باند ماهواره لندست شاخصی با نام WI<sub>2015</sub> برای جداسازی آب‌های سطحی از سایر عوارض موجود در تصاویر ماهواره‌ای ارائه دادند. در سال‌های اخیر با توجه به خصوصیات منحصربه‌فرد تکنیک سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات بسیاری در زمینه بررسی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

Rezaeian و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات ریخت‌شناسی در رودخانه کارون را با استفاده از چهار سری تصاویر ماهواره‌ای (ماهواره لندست TM و ETM<sup>+</sup>) مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که طول رودخانه از سال ۱۹۵۸ تا ۱۹۸۹ افزایش یافته است اما از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۰ کاهش یافته است. Li و همکاران (۲۰۱۶) در یک بازه ۳۰ ساله تغییرات خط ساحلی در غرب فلوریدا در مقیاس زمانی سالانه و مکانی ساب پیکسل<sup>۶</sup> با استفاده از داده‌های لندست در بازه زمانی (۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳) بررسی کردند. نتایج نشان داد که نرخ متوسط تغییرات  $0.42 \pm 0.05$  کیلومتر مربع بر سال در غرب ساحل فلوریدا در طول سه دهه است. این مطالعه نشان می‌دهد سری زمانی داده‌های لندست برای بررسی تغییرات ریخت‌شناسی ساحل مناسب است.

Petropoulos و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تغییرات رودخانه‌های Axios و Aliakmonas در یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۸۴ تا ۲۰۰۹) با تفسیر چهار تصاویر ماهواره لندست TM پرداختند. مقدار رسوب و فرسایش در مقیاس‌های مختلف در بازه زمانی موردنظر اندازه‌گیری شد. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به این نتیجه رسیدند که در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ نرخ فرسایش بیشتر بوده اما در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ نرخ رسوب‌گذاری بیشتر

سنجش‌ازدور (RS)<sup>۱</sup> با قابلیت‌های خاص خود برای تهیه تصاویر تکراری در وسعت گسترده، امکان پایش تغییرات زمانی و مکانی رودخانه‌ها را فراهم آورده و در کنار آن سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش آن‌ها را تسهیل و تسریع ساخته است. تولیدات چندطیفی لندست<sup>۲</sup> با دارا بودن رکورد طولانی‌ترین برداشت از سطوح قاره‌ای، قدرت تفکیک مکانی متوسط و سطح دسترسی عمومی یکی از بهترین گزینه‌ها برای بررسی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه به‌شمار می‌روند (Baki و Gan، ۲۰۱۲؛ Fisher و همکاران، ۲۰۱۶).

طبقه‌بندی خودکار با تهیه ماسک از پیکسل‌های آب اساس بیشتر روش‌های پردازش تصاویر رقومی برای بررسی آب‌های سطحی است. با این روش، آب از دیگر عوارض تفکیک می‌شود و پویایی عوارض آبی در دوره‌های زمانی گوناگون، با استفاده از روش کشف تغییرات قابل پایش خواهد بود (Fisher و همکاران، ۲۰۱۶). در واقع برای تفکیک آب‌های سطحی از عوارض دیگر، سه روش اصلی وجود دارد:

الف) استفاده از اطلاعات باندهای طیفی (Rundquist و همکاران، ۱۹۸۷)

ب) طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده (Otukey و Blaschke، ۲۰۰۷)

ج) استفاده از شاخص‌های آب (Jiang و همکاران، ۲۰۱۴). سهولت اجرا و صحت نتایج حاصل از شاخص‌های آب بیش از دیگر روش‌هاست. این روش در خصوص جداسازی پیکسل‌های آب از سایر پیکسل‌ها در تصاویر چندطیفی دقت خوبی دارد. شاخص NDWI<sup>۳</sup> اولین بار توسط McFeeters (۱۹۹۶) برای شناسایی دریاچه‌ها و تالاب‌ها ارائه شد. حساسیت این شاخص به محتوای رطوبت باعث شده علاوه بر شناسایی منابع آبی، در تعیین تنش پوشش گیاهی، مطالعات شاخص سطح برگ و مدل‌سازی محصولات کشاورزی نیز کاربرد داشته باشد. مقدار این شاخص محدوده‌ای از +۱ تا -۱ را می‌پذیرد و مقادیر بیشتر محتوای آب بیشتر را نشان می‌دهد (علوی‌پناه، ۱۳۹۰).

Ji و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی صحت نقشه منابع آب تهیه‌شده با استفاده از شاخص NDWI نشان دادند این شاخص قابلیت خوبی برای تفکیک آب‌های سطحی دارد، اما عمدتاً با دو مشکل اساسی روبه‌روست. مورد اول استخراج شاخص با استفاده از باندهای مختلف (مرئی، مادون قرمز نزدیک، یا مادون قرمز میانی) نتایج متفاوتی به دست می‌دهد و در مورد دیگر آستانه‌های این شاخص تا حد زیادی وابسته به نسبت آب در هر پیکسل است. Xu

5. Automated Water Extraction Index (AWEI)  
6. Sub pixel

1. Remote Sensing  
2. Landsat  
3. Normalized Difference Water Index  
4. Modification of Normalized Difference Water Index

و کم‌عرض و همچنین تأثیر سازه‌های آبی در تغییرات ریخت‌شناسی و نقش سیلاب در رژیم پایدار رودخانه‌ها احساس می‌شود. از این‌رو در این پژوهش به بررسی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه کوهستانی بازفت ناشی از سیلاب‌های چند سال اخیر پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این مقاله به بررسی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه بازفت پرداخته شده است. رودخانه بازفت با طول ۱۳۲ کیلومتر در زیرحوضه بازفت قرار گرفته است که از دامنه جنوبی زردکوه بختیاری سرچشمه گرفته و سپس از طریق دره بازفت، به سمت جنوب شرقی روان می‌شود و نهایتاً به سد کارون ۴ می‌ریزد. زیرحوضه بازفت با مساحتی بالغ بر ۲۱۸۰ کیلومترمربع به شکل یک نوار کم‌عرض (۱۶ کیلومتر) ولی با طول نسبتاً زیاد (حدود ۱۳۵ کیلومتر) در قسمت شمال تا جنوب غربی استان چهارمحال و بختیاری واقع شده و در راستای شمال غرب- جنوب شرق امتداد یافته است. زیرحوضه بازفت در بین طول‌های جغرافیایی ۴۹/۸۱ و ۵۳/۵۳ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱/۶۳ و ۳۲/۴۸ درجه شمالی واقع شده است. این حوضه یک منطقه کاملاً کوهستانی بوده و از نظر ریخت‌شناسی به شکل دره‌های بزرگ است که در میان کوه‌های سر به فلک کشیده قرار گرفته است. ارتفاع نقاط آن از ۸۴۰ متر در نقطه خروجی تا ۴۴۲۰ متر متغیر بوده و میانگین ارتفاع آن برابر ۲۱۵۶ متر است. در حوضه آبریز بازفت، رودخانه بازفت دارای سطوح ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متری می‌باشد که بیش‌ترین مساحت را در حوضه بالادست، ایستگاه مرغک به خود اختصاص داده است و بیش از ۱۴/۵ درصد از مساحت حوضه در این رده ارتفاعی قرار دارد. همچنین ۶۵/۷ درصد از مساحت این حوضه بین ۲۶۰۰-۱۶۰۰ متر ارتفاع؛ قرار گرفته است. میزان بارش در ارتفاعات استان چهارمحال و بختیاری که در برخی مناطق بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال است و همچنین توپوگرافی منطقه موجب شده که رودخانه بازفت سالانه با سیلاب‌های بزرگی مواجه شود. سیلاب‌هایی که علاوه بر تأثیر مخرب موجب تغییراتی در ریخت‌شناسی و مورفولوژی رودخانه می‌شوند.

بوده است. Dhari و همکاران (۲۰۱۴) رودخانه گنگ را با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر مختلف لندست در طول سال ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۵ تحلیل کردند. مشخص شد که ساحل در غرب رودخانه گنگ فرسایش بیشتر دارد و رودخانه به سمت غرب جابه‌جا می‌شود و پیشنهاد کردند که سازه‌های حفاظت از سیل برای ساحل غرب احداث گردد. Pan (۲۰۱۳) در تحقیقی با استفاده از داده‌های توپوگرافی، تصاویر سنجنده‌های MSS و ETM+ لندست در تاریخ‌های مختلف به انضمام تصاویر گوگل ارث مربوط به سال ۲۰۱۱ به بررسی تغییرات رود بانگرا<sup>۷</sup> در غرب بنگال پرداخت. نتایج حاصل از تحقیق بیانگر تغییر در پارامترهای مختلف ریخت‌شناسی آبراه‌های مانند شاخص سینوسیته و نسبت پیچان‌رودی بوده است. Baki و همکاران (۲۰۱۲) رودخانه جامونا<sup>۸</sup> را که به‌طور منظم تحت فرسایش قابل توجه قرار می‌گیرد را مطالعه کردند. با استفاده از سیزده تصاویر لندست MSS و TM از سال ۱۹۷۳ تا سال ۲۰۰۳ الگوهای تغییر رودخانه که تحت تأثیر فرآیندهای رسوب‌گذاری و فرسایش بودند، به مدت ۳۰ سال مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این‌که متوسط نرخ فرسایش و رسوب‌گذاری ۲۲۷ و ۲۷۱ متر بر سال برای دوره بلندمدت (۱۹۷۳ تا ۲۰۰۳)، ۹۰ و ۱۰۴ متر بر سال، برای دوره کوتاه‌مدت (از سال ۱۹۷۳ تا سال ۲۰۰۳ به‌صورت سالانه) در ساحل سمت چپ و هم‌ین‌طور ۱۸۷ و ۱۴۸ متر بر سال برای دوره بلندمدت و ۷۵ و ۵۰ متر بر سال برای کوتاه‌مدت در ساحل راست از رودخانه است.

Archana Sarkar و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه براهماپوترا<sup>۹</sup> هند در یک بازه ۶۲۰ کیلومتری در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ پرداختند. این محققان ابتدا به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای لندست، تصاویر IRS را زمین مرجع کرده و با استفاده از شاخص NDWI مجرای اصلی رودخانه را مشخص کردند. مشاهدات این محققان گویای فرسایش دو طرف رودخانه در بازه مورد مطالعه است.

Sarma و همکاران (۲۰۰۷) بازه ۲۲۰ کیلومتری رودخانه Burhi Dhing که تحت تأثیر پیچان‌رودهای فراوان می‌باشد، را بررسی کردند. این محققین با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی از سال ۱۹۳۴ تا سال ۱۹۷۲ و تصاویر ماهواره‌ای از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۰۴ و همچنین سیستم اطلاعات جغرافیایی تغییرات خطوط ساحلی ناشی از فرسایش رودخانه را، ارزیابی کردند. نتیجه این پژوهش این‌که بالاترین میانگین نرخ سالانه فرسایش و رسوب‌گذاری در هر دو ساحل در طول بازه‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۱ و ۲۰۰۱-۱۹۷۲، مشاهده شد.

با توجه به گستره مطالعات صورت گرفته، همچنان نیاز به بررسی تغییرات ریخت‌شناسی در رودخانه‌های کوهستانی کم‌عمق

9. Brahmaputra

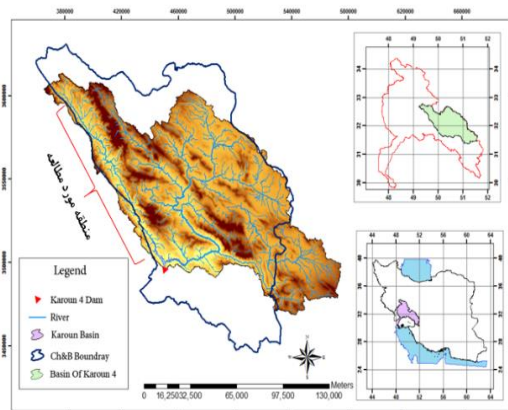
7. Bankura

8. Jamuna

جدول ۱- مشخصات برخی از سیلاب‌های رودخانه بازفت،

ایستگاه‌های هیدرومتری مرغک و لندی

سال آبی	فراوانی سیلاب	بده اوج (cms)	تاریخ بده اوج	متوسط بده سیلاب (cms)
۱۳۸۰-۸۱	۳۵	۸۴۶/۲	۱۳۸۰/۰۹/۲۹	۲۳۴
۱۳۸۱-۸۲	۴۲	۷۸۲/۸	۱۳۸۱/۰۹/۱۹	۱۹۶/۳
۱۳۸۲-۸۳	۳۳	۵۷۴/۶	۱۳۸۳/۰۱/۱۷	۱۹۳/۸
۱۳۸۳-۸۴	۳۲	۱۸۰۸/۵	۱۳۸۳/۱۲/۲۲	۲۶۲/۵
۱۳۸۴-۸۵	۳۸	۱۳۰۳/۳	۱۳۸۴/۱۱/۲۰	۲۶۱/۶
۱۳۸۵-۸۶	۲۶	۶۷۵/۸	۱۳۸۶/۰۱/۱۷	۲۳۳/۶
۱۳۸۶-۸۷	۱۵	۶۳۸/۸	۱۳۸۶/۰۹/۱۷	۱۲۷/۹
۱۳۸۷-۸۸	۱۷	۱۹۷/۴	۱۳۸۸/۰۱/۲۱	۱۱۷/۸
۱۳۸۸-۸۹	۲۲	۳۳۴/۱	۱۳۸۹/۰۲/۱۳	۱۳۳/۱
۱۳۸۹-۹۰	۱۹	۸۴۲/۱	۱۳۸۹/۱۲/۲۳	۱۹۱
۱۳۹۰-۹۱	۱۰	۳۸۳/۵	۱۳۹۰/۱۱/۱۳	۱۹۰/۶
۱۳۹۱-۹۲	۲۸	۴۸۵/۱	۱۳۹۱/۱۰/۰۲	۱۴۱/۲
۱۳۹۲-۹۳	۱۴	۷۴۲/۶	۱۳۹۲/۱۲/۲۱	۳۱۵/۴
۱۳۹۳-۹۴	۳۲	۱۰۳۳/۶	۱۳۹۴/۰۱/۱۳	۱۸۳/۳
۱۳۹۴-۹۵	۵۴	۵۶۰/۱	۱۳۹۵/۰۱/۲۵	۱۴۸/۷



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول (۱) زمان و بده بیشینه سیلاب ۱۵ سال اخیر رودخانه بازفت براساس آمار هیدرومتری ایستگاه‌های مرغک و لندی را نشان می‌دهد. سد کارون ۴ با ارتفاع حدود ۳۳۰ متر از پی و تراز نرمال ۱۰۲۸ متر از سطح دریا در چهار کیلومتری پایین‌دست محل تلاقی رودخانه‌های ارمنند و بازفت، قرار گرفته که در فروردین ماه ۱۳۸۹ به صورت رسمی آگیری شد. شکل (۱) موقعیت رودخانه بازفت، حوضه آبریز و موقعیت سد کارون ۴ را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تصاویر لندست مورد استفاده

تاریخ برداشت					سنجنده	تاریخ برداشت					سنجنده
ردیف	گذر	سال	ماه	روز		ردیف	گذر	سال	ماه	روز	
۳۸	۱۶۴	۲۰۰۹	۸	۴	Landsat-TM	۳۸	۱۶۴	۱۹۸۵	۸	۲	Landsat-TM
۳۷	۱۶۵	۲۰۰۹	۷	۲۶		۳۷	۱۶۵	۱۹۸۵	۶	۲۲	
۳۸	۱۶۴	*۲۰۱۰	۸	۳۱	Landsat-ETM+	۳۸	۱۶۴	۱۹۸۷	۸	۲۴	Landsat-TM
		۲۰۱۰	۸	۱۵		۳۷	۱۶۵	۱۹۸۷	۸	۱۵	
۳۷	۱۶۵	*۲۰۱۰	۷	۲۱	Landsat-TM	۳۸	۱۶۴	۱۹۹۴	۸	۲۷	Landsat-TM
		۲۰۱۰	۸	۶		۳۷	۱۶۵	۱۹۹۴	۸	۳۸	
۳۸	۱۶۴	*۲۰۱۱	۸	۲	Landsat-ETM+	۳۸	۱۶۴	*۲۰۰۵	۸	۱	Landsat-ETM+
		۲۰۱۱	۸	۱۸		۳۷	۱۶۵	*۲۰۰۵	۸	۱۷	
۳۷	۱۶۵	*۲۰۱۱	۸	۹	Landsat-ETM+	۳۷	۱۶۵	*۲۰۰۵	۸	۸	Landsat-ETM+
		۲۰۱۱	۸	۲۵		۳۷	۱۶۵	۲۰۰۵	۸	۲۴	
۳۸	۱۶۴	۲۰۱۲	۸	۴	Landsat-ETM+	۳۸	۱۶۴	۲۰۰۶	۹	۵	Landsat-ETM+
		*۲۰۱۲	۸	۲۰		۳۷	۱۶۵	*۲۰۰۶	۹	۲۱	
۳۷	۱۶۵	۲۰۱۲	۸	۱۱	Landsat-ETM+	۳۷	۱۶۵	*۲۰۰۶	۸	۱۱	Landsat-ETM+
		*۲۰۱۲	۸	۲۷		۳۷	۱۶۵	۲۰۰۶	۸	۲۷	
۳۸	۱۶۴	۲۰۱۳	۸	۱۵	Landsat-OLI	۳۸	۱۶۴	*۲۰۰۷	۸	۷	Landsat-ETM+
۳۷	۱۶۵	۲۰۱۳	۸	۲۲	Landsat-OLI	۳۷	۱۶۵	۲۰۰۷	۸	۲۳	
۳۸	۱۶۴	۲۰۱۴	۸	۱۸	Landsat-OLI	۳۷	۱۶۵	۲۰۰۷	۸	۱۴	Landsat-ETM+
۳۷	۱۶۵	۲۰۱۴	۸	۲۵	Landsat-OLI	۳۷	۱۶۵	*۲۰۰۷	۸	۳۰	
۳۸	۱۶۴	۲۰۱۵	۸	۲۱	Landsat-OLI	۳۸	۱۶۴	۲۰۰۸	۸	۱	Landsat-TM
۳۷	۱۶۵	۲۰۱۵	۸	۲۸		۳۷	۱۶۵	۲۰۰۸	۷	۲۳	

## ۲-۲- تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به این که رودخانه بازفت در تصاویر ماهواره‌ای در دو فریم جداگانه قرار می‌گیرد، در این پژوهش از ۲۶ فریم تصویر سنجنده ماهواره لندست به‌عنوان داده‌های اصلی و نقشه‌های پوششی ۱:۲۵۰۰۰ کشور به‌همراه تصاویر گوگل ارث به‌عنوان داده‌های مرجع زمینی جهت بررسی تغییرات ۳۰ سال اخیر مرز و نرخ فرسایش و رسوب‌گذاری ساحل رودخانه بازفت استفاده شد. تمام تصاویر در فاصله نیمه تا اواخر ماه آگوست میلادی منطبق بر فصل خشک منطقه جمع‌آوری شد. انتخاب تصاویر در فصل خشک به این دلیل است که در این زمان پوشش گیاهی و دیگر شرایط زمین، به‌ویژه سطح آب بهتر قابل ارزیابی است. علاوه بر این در طول فصل خشک احتمال وجود تصاویر بدون پوشش ابر بیشتر است و مرز و الگوی رودخانه بهتر قابل تشخیص است. در این پژوهش علاوه بر بررسی تصاویر سالانه، تصاویر قبل و بعد از سیلاب اسفند ۱۳۸۹ به‌منظور بررسی تأثیر مستقیم سیلاب نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. مشخصات و زمان برداشت تصاویر مورد استفاده در جدول (۲) قابل مشاهده است.

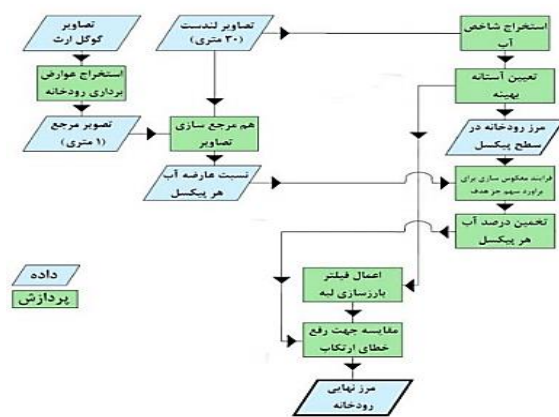
## ۳-۲- استخراج مرز رودخانه

شرح کلی انجام این پژوهش در شکل (۲) و در قالب نمودار روندنما ارائه شده است. در این روش پس از محاسبه کاربردی‌ترین شاخص‌های آب، انتخاب شاخص بهینه با استفاده از نمودار ROC صورت پذیرفت. منحنی ROC یکی از روش‌های مناسب برای ارزیابی نتایج روش الگوریتم آستانه‌گیری و ارزیابی قابلیت آستانه‌های گوناگون در تفکیک پدیده موردنظر است. این منحنی رابطه بین سلول‌هایی که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند و سلول‌هایی که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد. اگر نرخ سلول‌هایی که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند روی محور عرضی طولی قرار گیرد، آستانه بهینه نقطه‌ای است که بیش از سایر نقاط به سمت چپ و بالای نمودار منحرف شده باشد (Fawcett, 2006). در واقع در این نقطه بیشترین میزان نرخ طبقه‌بندی صحیح و کم‌ترین نرخ طبقه‌بندی نادرست دیده می‌شود. نتایج بررسی مجموع فاکتورهای صحت‌سنجی در کنار میزان پایداری آستانه‌ها باعث شد شاخص MNDWI به‌عنوان بهترین شاخص برای تعیین محدوده مرز رودخانه انتخاب شود.

براساس شاخص بهینه موقعیت رودخانه در سطح پیکسل مشخص می‌شود. سپس برای تدقیق مرز تعیین شده از قابلیت خرد پیکسلی شاخص بهینه در تخمین محتوای آب هر پیکسل استفاده

شد. پس از آن از فرایند بارزسازی لبه برای رفع اثر خطای طبقه‌بندی در مناطق مرزی رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. خطای طبقه‌بندی زمانی رخ می‌دهد که یک پیکسل (عارضه) متعلق به یک دسته، به یک دسته دیگر اختصاص یابد. تمامی مراحل پردازش تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد.

در ادامه، مرز رودخانه در سال‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 10.3 با دقت مناسب مورد بررسی قرار گرفت. به‌طوری‌که از ۵۰۷ مقطع عمود بر مسیر جریان با فواصل ۲۵۰ متری به‌منظور بررسی تغییرات پارامترهای ریخت‌شناسی استفاده شد. در واقع اختلاف مرز رودخانه در ساحل چپ و راست بر روی مقطع عرضی در دو سال مختلف به‌عنوان جابه‌جایی مرز رودخانه در آن بازه زمانی منظور شد. در این بررسی مقادیر مثبت و منفی به‌ترتیب فرسایش (از بین رفتن زمین) و رسوب‌گذاری (زمین‌زایی) در نظر گرفته شد. در ادامه با توجه به تغییرات مرز رودخانه مساحت فرسایشی و رسوب‌گذار در حداثی دو مقطع عرضی به دست آمد. همچنین عرض رودخانه براساس فاصله بین مرز چپ و راست و تقاطع آن با خط مقطع عرضی در هر تصویر استخراج شد. تغییرات سینوسیته در زمان‌های مختلف و در چهار بازه از رودخانه بازفت به‌دست آمد.



شکل ۲- نمودار روندنما برای استخراج خودکار رودخانه در مقیاس خرد- پیکسل از تصاویر لندست

## ۳- نتایج و بحث

در این پژوهش پارامترهای ریخت‌شناسی رودخانه بازفت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در دوره‌های بلند و کوتاه‌مدت از سال ۱۳۶۴ (۱۹۸۵) تا سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در ادامه به تفصیل ارائه می‌شود. همچنین تغییرات عرض و سینوسیته در سیلاب‌های موردی از رودخانه بازفت مورد ارزیابی قرار گرفت.

## ۳-۱- صحت‌سنجی

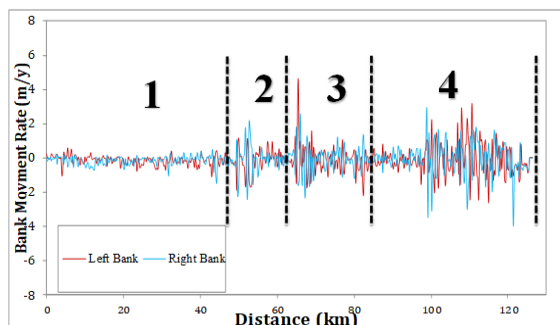
صحت‌سنجی به‌عنوان یک بخش مهم و تعیین‌کننده در عملیات پردازش تصاویر است که می‌تواند درک کمی از مقدار خطای فرایند پردازش تصاویر نشان دهد. مناطقی که امکان تغییرات کناره رودخانه در آن‌ها به صفر می‌رسد جهت فرایند صحت‌سنجی در چنین مطالعاتی به‌کار می‌روند. توپوگرافی شدید یکی از عواملی است که فرسایش کناره را محدود می‌کند. بررسی میزان تغییرات جابه‌جایی ساحل رودخانه طی سال‌های مختلف با استفاده از روش پردازش تصاویر در این مناطق منجر به کمی‌سازی مقدار خطای روش می‌شود.

Feyisa و همکاران (۲۰۱۴)؛ Dong و همکاران (۲۰۱۶)؛ Jiang و همکاران (۲۰۱۴) از تصاویر گوگل ارث به‌عنوان مرجع صحت‌سنجی در مطالعات خود استفاده کرده‌اند. با توجه به تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای میدانی انجام شده، محدوده مورد مطالعه از رودخانه بازفت به چهار منطقه جداگانه تقسیم شد. لازم به‌ذکر است که در رودخانه بازفت دیواره‌های صخره‌ای موجود می‌باشد به‌طوری‌که در مناطقی از رودخانه دسترسی فقط به یکی از سواحل راست یا چپ میسر می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه سه منطقه با دیواره‌های صخره‌ای شناسایی شد که با مقایسه مرز استخراجی در سال‌های مختلف و مرز مرجع میزان خطا به‌دست آمد که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود متوسط خطای مطلق ۱/۱ متر می‌باشد، البته باید در نظر داشت که در بررسی تغییرات پارامترهای ریخت‌شناسی، مرز رودخانه در دو سال متوالی نسبت به یکدیگر سنجیده می‌شود که در این حالت متوسط خطای نسبی نزدیک ۰/۶ متر به‌دست آمد.

## جدول ۳- جابه‌جایی مرز رودخانه در ایستگاه‌های صحت‌سنجی

سال	اختلاف مرز (متر)		
	مقطع سه	مقطع دو	مقطع یک
۲۰۰۵	۱/۲	۰/۹	۱/۲
۲۰۰۶	۱/۳	۱/۲	۱/۴
۲۰۰۷	۱/۲	۰/۷	۱/۵
۲۰۰۸	۱/۱	۱/۱	۱/۲
۲۰۰۹	۱/۴	۱/۲	۱/۶
۲۰۱۰	۱/۲	۱/۲	۱/۴
۲۰۱۱	۰/۸	۰/۷	۰/۸
۲۰۱۲	۱/۱	۱/۰	۱/۳
۲۰۱۳	۰/۸	۰/۶	۱/۰
۲۰۱۴	۱/۲	۱/۲	۱/۱
۲۰۱۵	۰/۹	۰/۹	۱/۰
متوسط	۱/۱	۰/۹	۱/۲

تغییرات جابه‌جایی ساحل چپ و راست کل بازه رودخانه در دوره بلندمدت رسم شد که در شکل (۳) قابل‌مشاهده است. بر اساس نتایج شکل (۳)، رودخانه بازفت به چهار بازه مجزا تقسیم‌بندی شد. بازه اول، از مبدأ تا فاصله ۴۷ کیلومتر از مقطع اصلی رودخانه بوده، بازه دوم از فاصله ۴۷ کیلومتر تا ۶۲ کیلومتری، بازه سوم از فاصله ۶۲ کیلومتر تا ۸۴ کیلومتر و در انتها، بازه چهارم از فاصله ۸۴ کیلومتر تا انتهای مسیر رودخانه (۱۲۷ کیلومتر) می‌باشد. ملاک انتخاب بازه‌های موردنظر تغییرات ساحل رودخانه، کوهستانی بودن و دسترسی به منطقه و وجود عارضه‌های طبیعی است. متوسط جابه‌جایی مجرای اصلی برای ساحل چپ و راست رودخانه بازفت با فواصل زمانی یک ساله در جدول (۴) ارائه شده است.



شکل ۳- نمودار تغییرات ساحل چپ و راست کل بازه رودخانه بازفت در دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۵

جدول ۴- میانگین نرخ جابه‌جایی کوتاه‌مدت\* رودخانه بازفت (متر در سال)

دوره زمانی	ساحل راست		ساحل چپ	
	نرخ فرسایش رسوب‌گذاری	نرخ خالص	نرخ فرسایش رسوب‌گذاری	نرخ خالص
۱۳۸۴-۸۵	۶/۴	۵/۴	۶/۲	۶/۶
۱۳۸۵-۸۶	۶/۵	۹/۱	۷/۰	۷/۶
۱۳۸۶-۸۷	۶/۶	۴/۹	۵/۷	۵/۸
۱۳۸۷-۸۸	۴/۹	۶/۳	۶/۰	۶/۶
۱۳۸۸-۸۹	۴/۳	۴/۲	۴/۵	۳/۵
۱۳۸۹-۹۰	۵/۹	۶/۲	۰/۳	۵/۴
۱۳۹۰-۹۱	۳/۶	۴/۳	۰/۷	۳/۹
۱۳۹۱-۹۲	۴/۴	۵/۱	۰/۸	۴/۰
۱۳۹۲-۹۳	۵/۲	۵/۱	۰/۱	۴/۲
۱۳۹۳-۹۴	۷/۳	۵/۳	۲/۰	۶/۳
میانگین	۵/۵	۵/۶	۰/۱	۵/۴
انحراف معیار	۱/۲	۱/۴	۱/۴	۱/۴
محدوده	۳/۷	۵/۰	۴/۶	۴/۱
خالص	-۰/۱			۰/۱

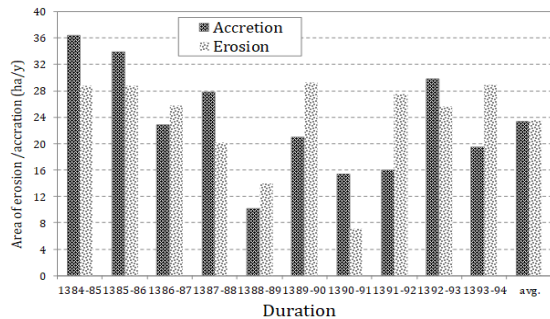
\*مقادیر مثبت نشانگر فرسایش و مقادیر منفی رسوب‌گذاری را نشان می‌دهند.

## ۳-۲- جابه‌جایی مرز

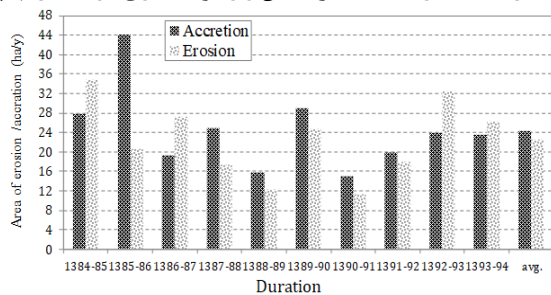
به‌منظور تعیین بازه‌های رسوب‌گذار و فرسایشی نمودار



در هر مقطع و تغییرات مساحت در حدفاصل بین دو مقطع با توجه به اختلاف مرز رودخانه در سال‌های موردنظر بررسی شده و نهایتاً مقادیر فرسایش، رسوب‌گذاری و نرخ خالص تغییرات برای هر ساحل براساس نتایج کل مقاطع محاسبه می‌شود؛ از این رو عدم تطابق تغییرات ساحل رودخانه در سال‌های مختلف می‌تواند ناشی از تفاوت مساحت رسوب‌گذاری و فرسایش در مقاطع مختلف باشد. به بیان دیگر امکان دارد در حدفاصل دو مقطع در سال‌های متوالی رسوب‌گذاری یا فرسایش اتفاق بیفتد و در زمانی دیگر دبی و تعداد سیلاب‌ها موجب فرایندی معکوس در همان محدوده شود که نهایتاً بر مساحت فرسایش و رسوب‌گذاری در طول رودخانه تأثیرگذار است.



شکل ۴- مقدار مساحت فرسایش و رسوب‌گذاری در ساحل چپ



شکل ۵- مقدار مساحت فرسایش و رسوب‌گذاری در ساحل راست

#### ۴-۴- تأثیر سیلاب‌ها بر پارامترهای ریخت‌شناسی

در این پژوهش به منظور ارزیابی اثرات سیلاب بر پارامترهای ریخت‌شناسی رودخانه بازفت و با توجه به این‌که آگیری سد کارون ۴ در سال ۱۳۸۹ انجام شد، بزرگ‌ترین سیلاب سال آبی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ با بده اوج ۸۴۲/۱ مترمکعب بر ثانیه موردبررسی قرار گرفت. شکل (۶) نتایج جابه‌جایی مجرای اصلی رودخانه برای سیلاب سال ۱۳۸۹ و متوسط بلندمدت ۳۰ ساله (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵) را نشان می‌دهد. در سیلاب اسفند ۱۳۸۹ متوسط جابه‌جایی منجر به فرسایش در ساحل راست و چپ به ترتیب ۱۴ و ۱۳/۱ متر در سال و متوسط رسوب‌گذاری ۴/۲ و ۳/۱ متر در سال می‌باشد. همچنین برای دوره ۳۰ ساله (بلندمدت)، برای ساحل چپ مقدار

نتایج نشان می‌دهد متوسط جابه‌جایی منجر به فرسایش در بازه ده ساله برای ساحل چپ و راست ۵/۵ متر در سال است. میانگین نرخ رسوب‌گذاری در ساحل راست ۵/۶ متر و در ساحل سمت چپ ۵/۴ متر در سال به‌دست آمد. با توجه به عرض متوسط رودخانه که حدود ۳۷/۷۸ متر است میزان جابه‌جایی مجرای اصلی منجر به فرسایش (رسوب‌گذاری) برای ساحل راست و چپ به- ترتیب ۱۴ (۱۵) و ۱۴ (۱۴) درصد عرض متوسط رودخانه می‌باشد.

#### ۳-۳- تغییرات مساحت

شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب مساحت پهنه‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری در ساحل چپ و راست رودخانه را بین سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود غیر از سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲ که میزان فرسایش اختلاف زیادی با مقدار رسوب‌گذاری ندارد، در اغلب سال‌ها رسوب‌گذاری بیشتر از فرسایش است. بیشترین سطح پهنه رسوب‌گذاری و فرسایش (حدود ۴۴ هکتار) مربوط به سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶ است که بر اساس اطلاعات جدول (۱) می‌تواند در ارتباط با سیلاب رخ داده رودخانه بازفت در این سال باشد. بیشینه اختلاف فرسایش و رسوب‌گذاری مربوط به سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶ در ساحل راست و ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ در ساحل چپ می‌باشد که در این سال‌ها به ترتیب میزان رسوب‌گذاری ۲/۱۴ و ۲/۱۶ برابر فرسایش است. در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲ میزان فرسایش در ساحل چپ به ترتیب ۱/۴ و ۱/۷ برابر رسوب‌گذاری است. همچنین کم‌ترین میزان فرسایش و رسوب‌گذاری به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ رخ داده است. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت زیادی بین متوسط رسوب‌گذاری و فرسایش ساحل راست وجود ندارد و در این ساحل مساحت رسوب‌گذاری حدود ۸ درصد بیشتر از فرسایش می‌باشد. این در حالی است که در ساحل چپ فرسایش حدود ۱ درصد از میزان رسوب‌گذاری بیشتر است. همچنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان فرسایش در سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۵ معادل ۳۴/۹ هکتار و بیشینه رسوب‌گذاری در سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶ و معادل ۴۴/۱۸ هکتار اتفاق افتاده است. این در حالی است که کمینه مقدار رسوب‌گذاری در سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۸۹ و مقدار کمینه فرسایش در سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ و به ترتیب معادل ۱۰/۱۷ و ۷/۰۹ هکتار برآورد شده است. همان‌طور که در شکل‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود، در بعضی از سال‌ها تغییرات فرسایش و رسوب‌گذاری در ساحل راست و چپ متفاوت است (به‌طور مثال در سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ میزان فرسایش ساحل چپ بیشتر از میزان رسوب‌گذاری است، ولی در ساحل راست برعکس است). همان‌طور که پیش از این بیان شد مقدار جابه‌جایی مرز رودخانه

جدول ۵- مساحت فرسایش و رسوب‌گذاری ناشی از سیلاب و دوره ۳۰ ساله (هکتار)

سال	سیلاب اسفند	دوره ۱۹۸۵ تا
سال	۱۳۸۹	۲۰۱۵
رسوب‌گذاری ساحل راست	۴۶/۵۸	۷۹/۷۷
رسوب‌گذاری ساحل چپ	۳۲/۴۷	۱۰۱/۳۱
فرسایش ساحل راست	۱۴۰/۸۵	۸۲/۹۳
فرسایش ساحل چپ	۱۳۳	۵۵/۴۱
مجموع رسوب‌گذاری	۷۹/۰۵	۱۸۱/۰۸
مجموع فرسایش	۲۷۳/۸۵	۱۳۸/۳۴
نرخ خالص	۱۹۴/۸	-۴۲/۷۴
نرخ خالص ساحل راست	۹۴/۲۷	۳/۱۶
نرخ خالص ساحل چپ	۱۰۰/۵۳	-۴۵/۹

در سیلاب سال ۱۳۸۹ نرخ خالص تغییرات در طول رودخانه حدود ۱۹۵ هکتار فرسایشی بوده که سهم ساحل راست ۹۵ و ساحل چپ حدود ۱۰۰ هکتار می‌باشد. درحالی‌که در دوره بلندمدت روند تغییرات برعکس است. نتایج تغییرات مساحت ناشی از وقوع سیلاب نیز بیانگر این است که ساحل چپ علاوه بر این‌که پویاتر از ساحل راست است، تغییرات آن نیز بیشتر از نوع فرسایش است. نسبت فرسایش ساحل چپ به راست برای سیلاب سال ۱۳۸۹، ۱/۰۶ به‌دست آمده است که البته با توجه به بده سیلاب، این موضوع دور از انتظار نیست، زیرا فرسایش در درجه اول متأثر از میزان بده جریان است.

با بررسی دقیق‌تر مشخص شد که تغییرات عرض متوسط رودخانه قبل و بعد از سیلاب سال ۱۳۸۹ با افزایش ۳۲ درصدی همراه بوده است، به‌طوری‌که عرض متوسط قبل و بعد از سیلاب اسفند ۱۳۸۹ از ۳۵ متر به ۵۲ متر رسیده است. با توجه به فاصله زمانی بین تصاویر موردبررسی قبل و بعد از سیلاب (۳۴ روز برای سیلاب ۱۳۸۹) و فروکش هیدروگراف سیلاب در این بازه زمانی می‌توان استنباط نمود که این تغییرات عرض ناشی از جریان بر روی سیلاب‌دشتهای نیست بلکه در حقیقت بده سیلاب تا حدی موجب فرسایش سیلاب‌دشتهای و تبدیل آن‌ها به مجرای اصلی رودخانه شده است.

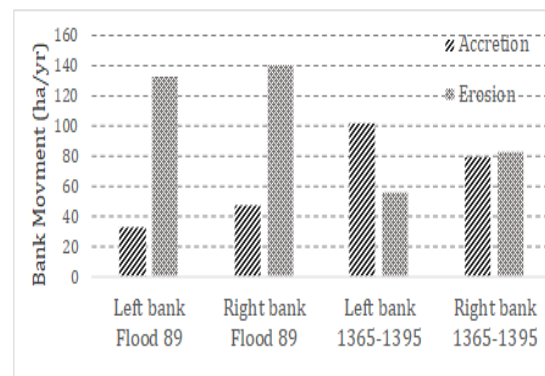
شکل (۷) نمایی شماتیک از تغییرات مجرای اصلی رودخانه در بازه‌ای از محدوده مورد مطالعه را برای سیلاب اسفند ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. در شکل (۷) رنگ آبی و قرمز به‌ترتیب ساحل راست و چپ رودخانه قبل و بعد از وقوع سیلاب را نشان می‌دهد که در حقیقت تفاوت مجرای اصلی در این دو حالت بیانگر تغییرات پارامترهای ریخت‌شناسی محدوده مورد مطالعه است.

### ۳-۵- تغییرات عرض رودخانه

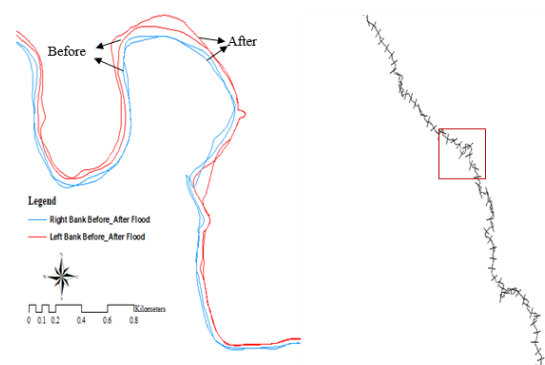
تغییرات عرض رودخانه یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار

فرسایش و رسوب‌گذاری به‌ترتیب برابر ۵/۸ و ۱۰ متر است. این مقادیر برای ساحل راست ۸/۱ و ۸ متر بر سال می‌باشد. همان‌طور که مشخص است در دوره بلندمدت مقادیر فرسایش و رسوب‌گذاری به هم نزدیک است، به‌عبارت‌دیگر در چشم‌انداز ۳۰ ساله تغییرات ناچیز است. براساس عرض متوسط رودخانه قبل از وقوع سیل (حدود ۳۵/۸ متر) نسبت جابه‌جایی ساحل رودخانه که منجر به فرسایش ساحل رودخانه شده، برای ساحل راست و چپ به-ترتیب ۳۵ و ۳۶ درصد عرض متوسط می‌باشد که این مقادیر حدود سه برابر جابه‌جایی متوسط ده ساله است.

همان‌طور که از شکل مشخص است به‌دلیل سیلاب رخ داده، در هر دو ساحل میزان فرسایش بیشتر از رسوب‌گذاری است اما در دوره ۳۰ ساله ساحل چپ رسوب‌گذار بوده و در ساحل راست مقدار فرسایش اندکی از رسوب‌گذاری بیشتر است. در هر دوره موردنظر، ساحل راست بیشتر دچار فرسایش شده است. شکل (۷) نمایی شماتیک از این تغییرات را نشان می‌دهد. جدول (۵) مساحت پهنه‌های فرسوده و رسوب‌گذاری ساحل رودخانه ناشی از سیلاب اسفند ۱۳۸۹ و در طی دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد.

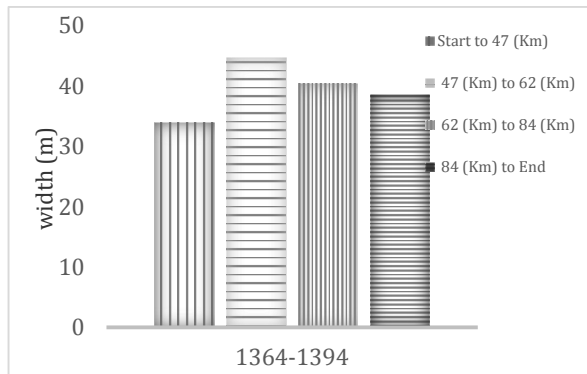


شکل ۶- تغییرات جابه‌جایی ساحل چپ و راست ناشی از سیلاب اسفند سال ۱۳۸۹ و دوره ۳۰ ساله



شکل ۷- نمایی شماتیک از تغییرات مساحت ساحل رودخانه قبل و بعد از وقوع سیلاب





شکل ۹- تغییرات عرض رودخانه در سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴

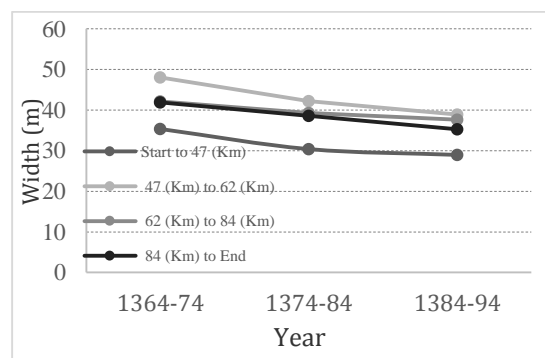
جدول ۶- متوسط عرض یک‌ساله در چهار بازه رودخانه (متر)

سال	ابتدا تا ۴۷ Km	۴۷ تا ۶۲ Km	۶۲ تا ۸۴ Km	۸۴ تا انتها Km
۱۳۸۴-۸۵	۲۸/۶	۳۷/۷	۳۸/۴	۳۷/۲
۱۳۸۵-۸۶	۲۸/۴	۳۹/۹	۳۶/۲	۳۸/۳
۱۳۸۶-۸۷	۲۸/۶	۳۶/۳	۳۴	۳۲/۵
۱۳۸۷-۸۸	۲۹/۱	۴۱/۸	۳۶/۱	۳۱/۸
۱۳۸۸-۸۹	۲۸/۴	۳۵/۲	۳۴/۱	۳۲/۲
۱۳۸۹-۹۰	۲۸/۵	۳۷/۴	۳۴/۶	۳۲/۶
۱۳۹۰-۹۱	۲۸/۷	۳۶/۵	۳۵/۸	۳۱/۹
۱۳۹۱-۹۲	۲۸	۳۵/۳	۳۵	۳۰/۵
۱۳۹۲-۹۳	۲۸/۱	۳۸/۸	۳۵/۵	۳۱/۴
۱۳۹۳-۹۴	۲۹	۴۰/۹	۳۵/۶	۳۳/۱
۱۳۹۴-۹۵	۲۹/۲	۴۰/۱	۳۶/۸	۳۳/۴
میانگین	۲۸/۶	۳۸/۱	۳۵/۷	۳۳/۲
بیشینه	۲۹/۲	۴۱/۸	۳۸/۴	۳۸/۳
محدوده	۱/۲	۶/۲	۴/۳	۷/۸

این بازه از کیلومتر ۸۴ تا انتهای رودخانه (۱۲۷ کیلومتر) است. با توجه به این که انتهای رودخانه در نهایت به مخزن سد کارون ۴ منجر می‌شود، لذا می‌توان گفت که این تغییرات به خاطر وجود سد کارون ۴ و آبیگری آن می‌باشد. شکل (۱۰) تغییرات عرض رودخانه قبل و بعد از سیلاب ۱۳۸۹ و متوسط ۱۰ ساله رودخانه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است عرض رودخانه در طی سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۵-۱۳۹۴ و همچنین قبل از وقوع سیلاب ۱۳۸۹ تغییر چندانی نداشته و مقدار آن از ۴۰ متر تجاوز نکرده است. اما پس از وقوع سیلاب عرض رودخانه ناگهان افزایش یافته است و این تغییرات بدیهی به نظر می‌آید. بیشینه افزایش عرض مربوط به بازه دوم رودخانه می‌باشد و مقدار آن برابر ۷۰ متر است. بنابراین در این بازه انتظار بیشترین تغییرات در پارامترهای ریخت‌شناسی می‌رود. کم‌ترین عرض رودخانه در بازه اول متوسط ۱۰ ساله با مقدار حدود ۲۸ متر است. این بازه قبل و بعد از رخداد سیلاب نیز کمینه عرض را داراست که این امر به دلیل کوهستانی

در ریخت‌شناسی رودخانه است که در ادامه به بررسی این پارامتر پرداخته شده است. براساس بررسی‌ها و تغییرات ساحل رودخانه، همان‌طور که در قسمت قبل اشاره شد رودخانه بازفت به چهار بازه تقسیم گردید. بنابراین تغییرات عرض در چهار بازه مذکور معرفی می‌شود. لازم به ذکر است که عرض رودخانه براساس فاصله بین مرز چپ و راست و تقاطع آن با خط مقطع عرضی در هر تصویر استخراج شد. به منظور مقایسه، تغییرات عرض در بازه ۳۰ ساله و دوره‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت بررسی گردید. دوره‌های بلندمدت ۱۰ ساله و به ترتیب ۷۴-۱۳۶۴، ۸۴-۱۳۷۴، ۹۴-۱۳۸۴ و دوره ۳۰ ساله ۱۳۶۴-۱۳۹۴ می‌باشد. همچنین دوره‌های کوتاه‌مدت با فواصل یک‌ساله از سال ۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۵-۱۳۹۴ تعیین شد. در انتها تغییرات عرض قبل و بعد از وقوع سیلاب ۱۳۸۹ بررسی و نتایج آن با متوسط بلندمدت ۱۰ ساله مقایسه شد.

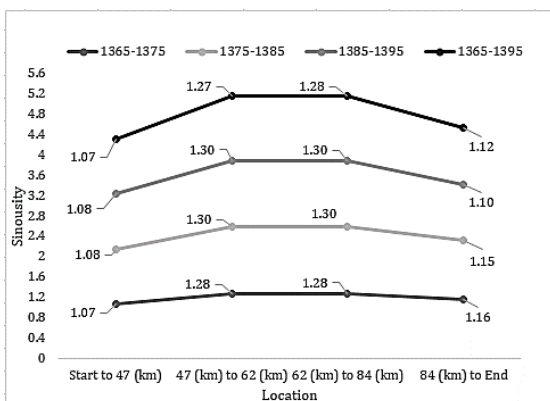
شکل‌های (۸) و (۹) تغییرات عرض رودخانه را به ترتیب در دوره‌های بلندمدت ۱۰ و ۳۰ ساله نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در هر دو بازه زمانی مدنظر، عرض رودخانه بین بازه اول تا دوم افزایش یافته و در بازه دوم تا سوم عرض رودخانه کاهش یافته است. در انتهای رودخانه تغییرات عرض تقریباً مشابه بازه قبل می‌باشد. متوسط عرض رودخانه در چهار بازه موردنظر در دوره ۹۴-۱۳۶۴ به ترتیب برابر ۳۳/۸، ۴۴/۷، ۴۰/۲ و ۳۸/۶ متر می‌باشد. کم‌ترین عرض رودخانه مربوط به بازه ابتدایی می‌باشد که با توجه به کوهستانی بودن و شرایط منطقه معقول به نظر می‌آید. جدول (۶) متوسط عرض رودخانه را در بازه‌های یک‌ساله منتهی به سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول (۶) می‌توان استنباط کرد که بیشینه عرض مربوط به بازه دوم (۴۷ تا ۶۲ کیلومتر) رودخانه بازفت می‌باشد و مقدار آن برابر ۴۱/۸ متر است. همچنین مقدار بیشینه در بازه‌های اول، سوم و چهارم به ترتیب برابر ۲۹/۲، ۳۸/۴ و ۳۸/۳ متر است. محدوده تغییرات عرض رودخانه که تفاوت بیشینه از کمینه است، در بازه چهارم از سه بازه دیگر بیشتر می‌باشد.



شکل ۸- نرخ تغییرات عرض رودخانه در دوره‌های ۱۰ ساله

با توجه به این که سینوسیته پویایی سیستم رودخانه را نشان می‌دهد، می‌توان گفت که رودخانه در بازه دوم و سوم پویاتر است. به عبارت دیگر تغییرات ریخت‌شناسی در این دو بازه بیشتر است. در بازه سوم به چهارم مقادیر سینوسیته روند نزولی داشته است. اثرات آگیری سد کارون ۴ نیز به‌خصوص در سال‌های آخر در بازه چهارم مشهود است.

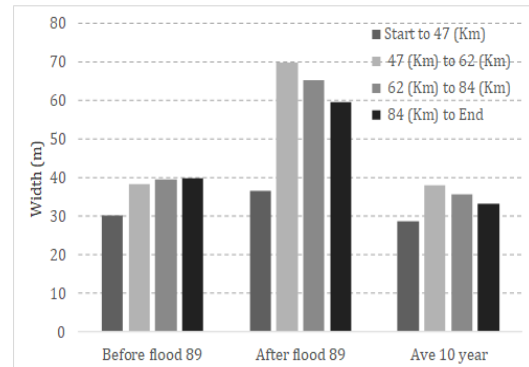
شکل (۱۲) تغییرات سینوسیته در بازه‌های بلندمدت ۱۰ و ۳۰ ساله را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در هر چهار دوره مورد بررسی سینوسیته بین بازه اول تا دوم روند افزایشی داشته است. در بازه دوم و سوم مقادیر سینوسیته تقریباً مشابه هم بوده و شیب خط ثابت می‌باشد. در انتهای بازه نیز در هر دوره زمانی شیب خط روند نزولی دارد و مقدار سینوسیته کاهش یافته است. در بین دوره‌های ۱۰ ساله به‌جز دوره ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵ که سینوسیته تقریباً یک ثابت بوده، دوره‌های دیگر در مقایسه با دوره ۳۰ ساله شیب خط افزایشی بیشتر است، به عبارت دیگر در چشم‌انداز بلندمدت ۳۰ ساله تغییرات سینوسیته نسبت به دوره ۱۰ ساله کم‌تر می‌باشد. بیشینه مقدار سینوسیته در بازه دوم و سوم رودخانه و دوره‌های زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ و ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ است و مقدار آن برابر ۱/۳۰ می‌باشد.



شکل ۱۲- تغییرات سینوسیته در دوره‌های ۱۰ و ۳۰ ساله

در ادامه تغییرات سینوسیته قبل و بعد از سیلاب ۱۳۸۹ بررسی و نتایج آن با مقادیر دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ مقایسه شد. همان‌طور که در شکل (۱۳) مشخص است مقادیر سینوسیته قبل و بعد از وقوع سیلاب مشابه هم بوده و شیب خط در هر بازه تغییر چندانی نداشته است. به عبارت دیگر سیلاب اثری بر پارامتر سینوسیته رودخانه ندارد. همچنین در مورد دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ از ابتدای بازه چهارم تغییرات مشابه قبل بوده اما در بازه چهارم تا ابتدای مخزن سد کارون ۴ مقدار سینوسیته با شیب بیشتری کاهش یافته است که دلیل آن می‌تواند آگیری سد کارون ۴ باشد.

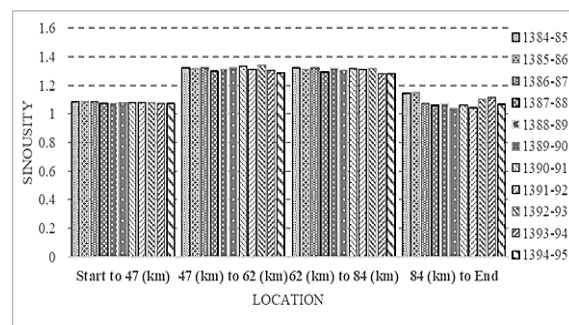
بودن بازه ابتدایی می‌باشد. نکته قابل توجه در مورد بازه اول، پس از سیلاب، تغییرات عرض آن محسوس بوده و مقدار آن ۶ متر افزایش یافته است. افزایش ناگهانی در بازه دوم را، علاوه بر وقوع سیلاب می‌توان به وجود زیر شاخه‌های جانبی در مسیر مرتبط دانست.



شکل ۱۰- تغییرات عرض رودخانه قبل و بعد از سیلاب و متوسط ۱۰ ساله

### ۳-۶- تغییرات سینوسیته رودخانه

به غیر از تغییرات مرز رودخانه و فرسایش و رسوب در آن، سینوسیته نیز به‌عنوان یکی دیگر از پارامترهای مهم در مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه محسوب می‌شود که ماهیت پویایی سیستم رودخانه را توصیف می‌کند. سینوسیته واحد ندارد و برابر نسبت طول رودخانه به طول مستقیم است. آنچه مسلم است سینوسیته با زمان و مکان تغییر می‌کند لذا در این پژوهش تغییرات سینوسیته در زمان‌های مختلف و در چهار بازه مورد نظر به‌دست آمد که نتایج آن در شکل (۱۱) و (۱۲) قابل مشاهده است. شکل (۱۱) تغییرات پارامتر سینوسیته در بازه ۱۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در بازه‌های دوم و سوم مقدار سینوسیته نسبت به دو بازه بیشتر است. در بازه اول سینوسیته روند ثابتی داشته است که به‌خاطر شرایط رودخانه در این بازه و کوهستانی بودن منطقه است.



شکل ۱۱- تغییرات سینوسیته در طول رودخانه بازت بین سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

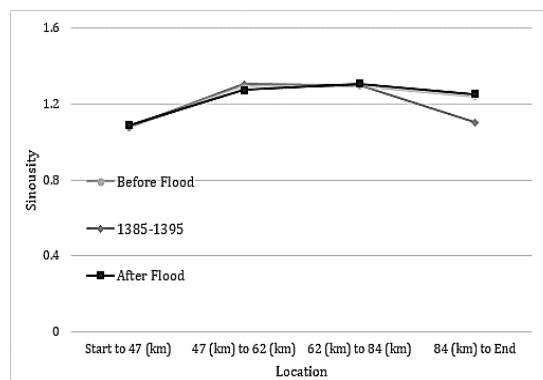
ماهواره‌ای می‌توان روند تغییرات ریخت‌شناختی رودخانه‌ها را بررسی و مقدار تغییرات عرض و خطوط ساحلی رودخانه‌ها قبل از هرگونه عملیات عمرانی نظیر احداث سد یا پل را ارزیابی و در ملاحظات طراحی لحاظ نمود.

#### ۵- فهرست علائم

شاخص استخراج خودکار آب- مناطق بدون سایه	AWEI <sub>no shadow</sub>
شاخص استخراج خودکار آب- مناطق سایه-دار	AWEI <sub>shadow</sub>
شاخص آب پیشرفته	EWI
نام سنجنده ماهواره لندست	ETM+
سری ماهواره‌های هندوستان	IRS
شاخص اصلاح‌شده بهنجار آب	MNDWI
نام سنجنده ماهواره لندست	MSS
شاخص بهنجار تفاضل آب	NDWI
نام سنجنده ماهواره لندست	OLI
مشخصه عملکرد سیستم	ROC
نام سنجنده ماهواره لندست	TM
شاخص آب	WI <sub>2015</sub>

#### ۶- مراجع

- ارشد ص، مرید س، میرابوالقاسمی ه، "بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجنش از دور: مطالعه موردی: رودخانه کارون از گتوند تا فارسیات (۱۳۶۹ تا ۱۳۸۲)", مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳۸۶، جلد چهاردهم، (۶)، ۱۸۰-۱۹۴.
- سیف ع، نجمی ن، "بازسازی تغییرات پیچان‌رودهای کارون با استفاده از تصاویر چند زمانه IRS و Landsat"، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۳۹۲، ۲۸ (۳)، ۲۱۱-۲۲۶.
- علوی‌پناه س ک، "اصول سنجنش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۴، ۷۸.
- Archana Sarkar RD, Garg and Nayan Sharma, "RS-GIS based assessment of river dynamics of Brahmaputra river in India", Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 63-72.
- Baki AB, Yew Gan T, "Riverbank migration and island dynamics of the braided Jamuna River of the Ganges-Brahmaputra basin using multi-temporal Landsat images", Quaternary International, 2012, 263, 148-161.
- Dhari S, Arya DS, Murumkar AR, "Application of remote sensing and GIS in sinuosity and river shifting analysis of the Ganges River in Uttarakhand plains", Applied Geomatics, 2014, 7, 13-21.



شکل ۱۳- تغییرات سینوسیتیه قبل و بعد از رخداد سیلاب و دوره ۱۰ ساله

#### ۴- نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این پژوهش می‌توان بیان داشت که با استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای متوالی زمانی و مکانی می‌توان با دقت مناسبی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها را در مقاطع و رخ داده‌های مختلف تجزیه و تحلیل نمود. به‌عنوان یک مطالعه موردی از کاربرد این روش، تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه بازفت از سرشاخه‌های حوزه کارون بزرگ واقع در استان چهارمحال و بختیاری که با توجه به ماهیت کوهستانی بودن آن و وقوع سیلاب‌های بزرگ بار رسوبی زیادی به مخزن سد کارون چهار منتقل می‌نماید، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که، متوسط جابه‌جایی مجرای اصلی رودخانه ناشی از فرسایش در بازه ده ساله برای هر دو ساحل حدود ۱۴ درصد عرض رودخانه است، همچنین بررسی برخی سیلاب‌ها نشان داد این مقادیر با توجه به بده سیلاب تا ۴۷ و ۵۰ درصد عرض رودخانه برای ساحل چپ و راست نیز می‌رسد. ارزیابی نرخ خالص تغییرات مساحت پهنه‌های رسوب-گذاری و فرسایشی در طول رودخانه نشان داد که این نرخ در رابطه با سیلاب موردنظر تا حدود ۱۹۴ هکتار از جنس فرسایش می‌باشد. بنابراین با استخراج این اطلاعات از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای امکان ارائه راهکارهای مدیریتی برای رودخانه‌ها و سازه‌های آبی احداث شده با دقت قابل‌قبول فراهم می‌گردد.

این تکنیک برای تحلیل پایداری و ثبات خصوصیات هیدرولیکی و هندسی مقاطع نیز کارآمد می‌باشد. به‌عنوان نمونه این تحقیق نشان داد عرض رودخانه بازفت که از ابتدا تا انتهای دوره موردنظر، عرض رودخانه روند نزولی داشته است. این در حالی است که پس از وقوع سیلاب، رودخانه با افزایش عرض مواجه شده است. نتایج نشان داد که مقدار سینوسیتیه در دو بازه میانی بیشتر می‌باشد. در بازه اول تغییرات سینوسیتیه ثابت است که این امر به‌دلیل کوهستانی بودن منطقه می‌باشد. در بازه انتهایی رودخانه مقدار سینوسیتیه نسبت به بازه قبلی، روند کاهشی داشته است. در مجموع این تحقیق نشان می‌دهد با استفاده از تحلیل تصاویر

- Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, 2015 (8), 90-97.
- Xu H, "Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery", International Journal of Remote Sensing, 2006, 27, 3025-3033.
- Fawcett T, "An introduction to ROC analysis. Pattern recognition letters", 2006, 27 (8), 861-874.
- Feyisa GL, Meilby H, Fensholt R, Proud SR, "Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery", Remote Sensing of Environment, 2014, 140, 23-35.
- Fisher A, Flood N, Danaher T, "Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia", Remote Sensing of Environment, 2016, 175, 167-182.
- Ji L, Zhang L, Wylie B, "Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2009, 75, 1307-1317.
- Jiang H, Feng M, Zhu Y, Lu N, Huang J, Xiao T, "An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery", Remote Sensing. 2014, 6, 5067-5089.
- Jozi SA, Rezaeian S, Saei F, "Study of morphologic changes in Karun River using linear directional mean, remote sensing and geographic information system", Urban Manage Energy Sustainability, 2017, 1 (1), 71-78.
- Li W, Gong P, "Continuous monitoring of coastline dynamics in western Florida with a year time series of Landsat imagery", Remote Sensing of Environment, 2016, 179, 196-209.
- Lu D, Weng Q, "A Survey of Image Classification Methods and Techniques for Improving Classification Performance", International Journal of Remote Sensing, 2007, 28, 823-870.
- Otukei JR, Blaschke T, "Land Cover Change Assessment Using Decision Trees, Support Vector Machines and Maximum Likelihood Classification Algorithms", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2010, 12, 27-31.
- Pan S, "Application of Remote Sensing and GIS in studying changing river course in Bankura District, West Bengal", International Journal Of Geomatics And Geosciences, 2013, 4 (1), 149-163.
- Petropoulos GP, Kalivas DP, Griffiths HM, Dimou PP, "Remote sensing and GIS analysis for mapping spatio-temporal changes of erosion and deposition of two Mediterranean river deltas: The case of the Axios and Aliakmonas rivers", Greece. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015, 35, 217-228.
- Rundquist DC, Lawson MP, Queen LP, Cerveny RS, "The Relationship between Summer-Season Rainfall Events and Lake-Surface Area", JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 1987, 2, 493-508.
- Sarma JN, Borah D, Goswami U, "Change of river channel and bank erosion of the burhi dihing river (ASSAM), assessed using remote sensing data and GIS", Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2007, 35, 93-100.
- Wang S, Baig MHA, Zhang L, Jiang H, Ji Y, Zhao H, Tian J, "A Simple Enhanced Water Index (EWI) for Percent Surface Water Estimation Using Landsat Data",

**EXTENDED ABSTRACT**

## Investigation of Flood Effects on Morphological Changes in Bazoft River

Arash Koohizadeh Dehkordi<sup>a</sup>, Rouhallah Fatahi Nafchi<sup>b,\*</sup>, Hossein Samadi Boroujeni<sup>b</sup>, Milad Khastar Boroujeni<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Water Structures, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>b</sup> Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>c</sup> Water Structures, Faculty of Agriculture, Ferdusi University of Mashhad, Iran

**Received:** 22 January 2019; **Accepted:** 21 May 2020

---

### Keywords:

Remote sensing, Water indicator, Erosion and accretion, Flood.

---

### 1. Introduction

Investigating changes in the behavior of rivers is of particular importance in the protection of hydraulic structures and the determination of the boundaries of the river bed, as well as the reduction of possible damages. Dams are among the structures that have the greatest impact on river morphology. Therefore, it is very important to study the morphology of rivers flowing to large dams in planning and ease of strategic decision making on the construction of engineering structures along the river. In recent years, due to the unique characteristics of remote sensing and satellite imagery, many studies have been done to investigate river morphological changes (Baki and Ga, 2012; Fisher, 2016). In this research, the study uses 26 Landsat satellite images to investigate the morphological changes of the Bazoft River between 1985-2015. In this regard, the present study investigates morphological changes of the Basoft River, one of the northern Karun sub-basins, which finally enters the Karun 4 dam. In this study, using 26 satellite images of Landsat ETM<sup>+</sup> and OLI, the displacement pattern of the main river channel, along with the variations in width and sinosity due to sedimentation and erosion processes in long and short periods up to the year 2015 and caused by large floods in this period were investigated.

### 2. Methodology

In order to evaluate the morphology of the river and the impact of the floods, morphological parameters such as river boundary displacement, area variation, latitude variation and river sinusoidal changes due to the erosion and sedimentation of the river bank in the long and short periods were investigated. It should be noted that the long-term periods were 10 years and short periods of 1 year. To determine morphological values, 26 frames of Landsat satellite images were used in ENVI and GIS software (Fawcett, 2006). In this research, the difference between the main channel of the river on the left and right shore on the cross-section in two years was considered as the main channel movement in that time interval. Negative and positive values were considered as sedimentation and erosion (land degradation), respectively.

---

\* Corresponding Author

E-mail addresses: koohizadeh@stu.sku.ac.ir (Arash koohizadeh), fatahi2@gmail.com (Rouhallah Fatahi), samadi153@yahoo.com (Hossein Samadi), khastar1365@yahoo.com (Milad Khastar).



### 3. Results and discussion

#### 3.1. Boundary displacement

The results show that the average displacement led to erosion in the ten year period for the left and right banks is 5.5 meters per year. The average sedimentation rate on the right bank was 5.6 meters and on the left bank was 4.50 meters per year. According to the average width of the river, which is about 37.88 m, the main channel displacement led to erosion (precipitation) for the right and left banks, is 14 (15) and 14 (14) percent of the mean river length, respectively .

#### 3.2. Area variations

The results show that there is no significant difference between the average accretion and erosion in the right bank, and the accretion area is about 8% more than the erosion in this bank. However, on the left bank, erosion is about 1% more than the amount of accretion. The results also showed that the highest amount of eroded area occurred in 2004-2005, equal to 4.9 hectares, and the maximum accretion occurred in 2005-2006 and 44.18 hectares. However, the minimum amount of accretion in 2008-2009 and the minimum amount of eroded area in 2010-2011 were 10.17 and 7.09 hectares, respectively.

#### 3.3. Effect of floods on morphological parameters

Fig. 1 shows the results of the main channel displacement for the flood in 2010 and the long-term average of 30 years (1985-2015). As is evident from the figure, due to the flood events, the erosion is more than sedimentation on both banks, but in the 30 year period on the left bank the sediment is deposited and the amount of erosion on the right bank is slightly higher than the sedimentation. In each period, the right bank is more prone to erosion.

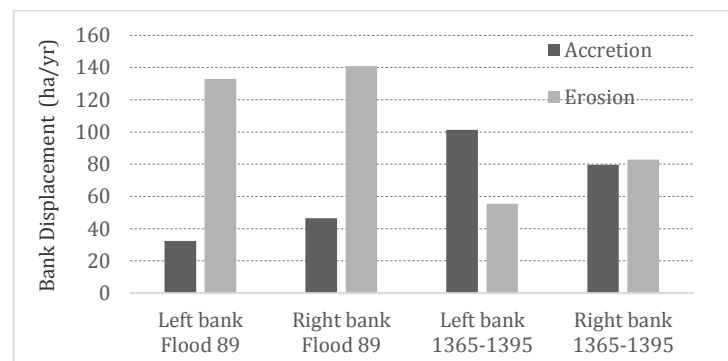


Fig. 1. shows the changes on the left and the right bank of the year 89 and the 30 year period

In the flood of 2009, the net rate of changes along the river is about 195 hectares of eroded area, with the share of the right bank of 95 and the left bank of about 100 hectares. However, in the long run, the trend of change is reversed. So that the net rate of change from the sediment is 46 hectares, that is, about 43 hectares of sediment on the right bank and 3 hectares of erosion on the left bank (it should be noted that the net rate of difference between the average erosion rate of the average rate accretion was determined).

#### 3.4. River width variations

The average width of the river in four intervals was 33.8, 44.7, 40.2, and 38.6, respectively. The minimum width of the river is related to the initial period, which seems reasonable considering the mountainous conditions and conditions of the region. Figure 2 shows the variations in river width before and after the 2009 flood and the average of 10 years. As it is known, the width of the river during the years 2005 to 2015, as well as before the flood in 2009, has not changed much and its value has not exceeded 40 meters. But after the flood, the river's width has suddenly increased and these changes seem obvious.

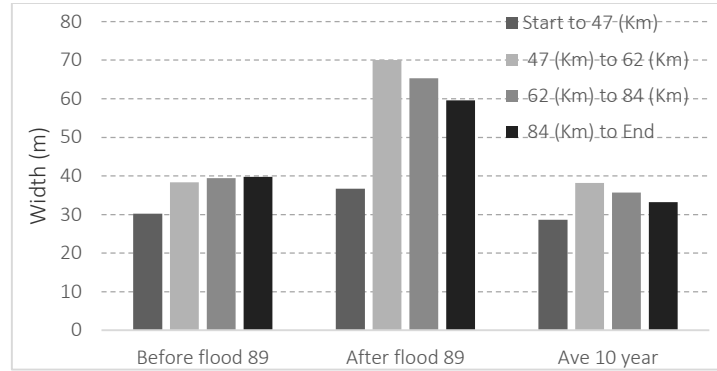


Fig. 2. River width variations before and after flood and the average 10 years

### 3.5. Change the Sinosity River

In this study, sinosity variations were obtained at different times and in four desired intervals, the results of which can be seen in Fig. 3-a Based on the of Fig. 3-a, it is clear that in the second and third intervals the sinosity is greater than in the two intervals. In the first period, sinosity has a steady trend, due to the topography and geologic conditions of the river bed in this region. Given that the sinosity shows the dynamism of the river system, it can be said that the river is more dynamic in the second and third intervals. In other words, morphological changes in these two periods are higher. In the third to fourth intervals, sinosity values have been declining. The damping effects of the Karun 4 Dam are evident, especially in the last years in the fourth period.

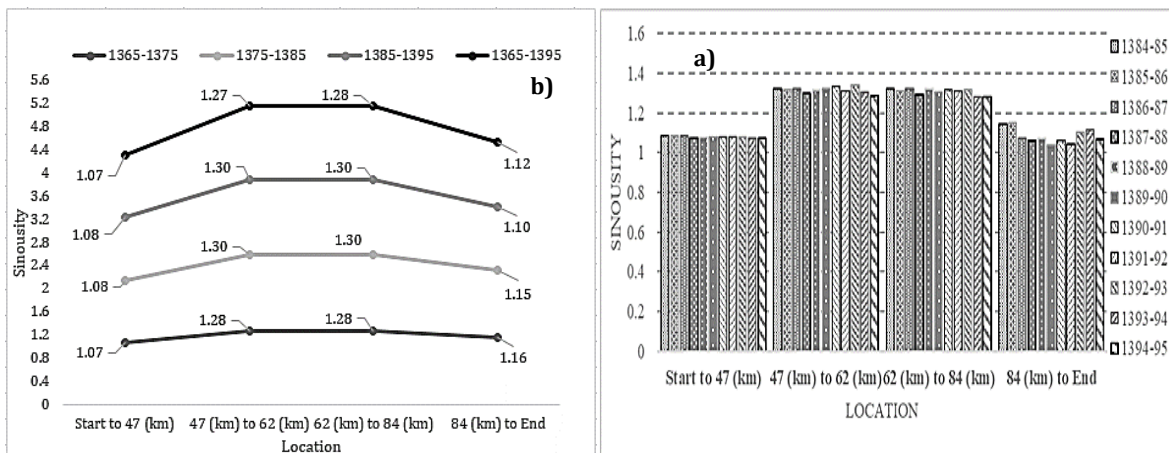


Fig. 3. Changes of sinosity along the Bazoft River between 2005 to 2015, and between 10 and 30 years

Refer to Fig. 3-b, in each of the four studied periods, the sinosity has increased in the first to second intervals. In the second and third intervals, the sinosity values are approximately the same and the line slope is constant. At the end of the interval, the slope of the trend line is also decreasing in each period of time and the amount of, sinosity has decreased. In the long-term vision of 30 years, the variation in, sinosity is less than in the 10 year period.

### 4. Conclusions

Considering the mountainous nature of this river and the occurrence of large floods and subsequent high sediment loads, it was observed that the average displacement of the main river duct due to erosion over a ten-year period for both shores is about 14% of the river's width. Also, the study of some flood events showed that this value, due to the flood, reached 47 and 50% of the river's width for the left and right banks, respectively. The assessment of the net rate of changes in the area of sedimentation and erosion zones along the river showed that this rate in the floods reaches about 194 hectares of the eroded area. Therefore, it can be stated that morphological changes with high sedimentation volume can affect the performance and presentation of Bazoft river management strategies.

By examining the variations in the width of the river, it was found that the trend had been declining from the beginning to the end of the given period. However, the river is facing a widening after the flood. The results

showed that the amount of sinuosity was higher in the two intermediate intervals. In the first period, sinuosity changes are fixed, because of the topographic conditions of the region. At the end of the river, the amount of sinuosity shows a decreasing trend compared to the previous period. This study shows that by analyzing satellite images, morphological changes in rivers can be investigated, and the sedimentation coefficient of rivers before any construction operations is evaluated for dam or bridge design and considered in design criteria.

## 5. References

- Baki AB, Yew Gan T, "Riverbank migration and island dynamics of the braided Jamuna River of the Gangese-Brahmaputra basin using multi-temporal Landsat images", *Quaternary International*, 2012, 263, 148-161.
- Fawcett T, "An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*", 2006, 27 (8), 861-874.
- Fisher A, Flood N, Danaher T, "Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia", *Remote Sensing of Environment*, 2016, 175, 167-182.