

تحلیل میزان مهاجرت عرضی مجرای رودخانه ارس با استفاده از روش ترانسکت در طی سال‌های

۲۰۱۶-۱۹۸۷ (از سد خدا آفرین تا سد میل مغان)

فریبا اسفندیاری* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
مسعود رحیمی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز.
محسن رحیمی - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۳/۱۱

چکیده

در این پژوهش، میزان مهاجرت مجرای رودخانه ارس در طی ۲۹ سال گذشته (در بازه زمانی ۱۹۸۷ م، ۵۱۳۶۶ ش.س تا ۲۰۱۶ م، ۵۱۳۹۵ ش.س) با استفاده از روش ترانسکت مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا مجرای رودخانه برای دو دوره زمانی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های OLI، TM، لندست ۵ و ۸ به دست آمد. سپس با توجه به مورفولوژی و میزان مهاجرت مجرا، رودخانه ارس به ۱۳ ترانسکت تقسیم شده و میزان مهاجرت مجرا بر اساس مهاجرت‌های صورت گرفته محاسبه شد. همچنین، با توجه به تغییرات ایجاد شده در مساحت ترانسکت‌ها، و سرعت اراضی ازدست‌رفته و یا اضافه شده در هر دو کرانه رودخانه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میانگین میزان مهاجرت مجرای رودخانه ارس در طول ۲۹ سال گذشته (مابین دو سد) در حدود ۴/۷۳ متر در سال بوده است. در طی این دوره در حدود ۱۷۱/۴۸ هکتار به اراضی ایران افزوده شده و در مقابل حدود ۳۷۶/۲۶ هکتار از اراضی ایران در نتیجه تغییرات مجرا از دسترس خارج شده است. بر این اساس پیشنهاد می‌شود ارزیابی دقیق تغییرات رودخانه‌های مرزی مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

واژگان کلیدی: مورفولوژی رودخانه، تغییرات مجرا، مهاجرت عرضی، روش ترانسکت، رودخانه ارس.

مقدمه

سیستم‌های رودخانه‌ای تعادل خود را به واسطه عوامل مختلفی از دست می‌دهند؛ اما مجرا تعادل خود را می‌تواند از طریق تغییرات در متغیرهای وابسته بازیابد. به‌طور کلی، این تغییرات به‌صورت رسوب‌گذاری^۱ (افزایش ارتفاع بستر)، فرسایش^۲ (کاهش ارتفاع بستر)، یا تغییرات در ویژگی‌های پلان فرم (طول موج مئاندر، سینوزیته و غیره) مجرا منعکس می‌شود (واتسون^۳ و همکاران، ۱۹۹۹، ۵۲). چون آبراهه‌های آبرفتی از مواد رسوبی فرسایش‌پذیری تشکیل شده‌اند و فشار وارده به علت نیروی جریانی آب بیش از مقاومت رسوب‌های دربرگیرنده آن است، لذا بستر و دیواره آبراهه، به‌طور طبیعی در طول زمان تغییر می‌کند (معمد، ۱۳۷۹:۲۰۹). مهاجرت مئاندر و فرایندهای مرتبط باعث مسائلی از قبیل آب شستگی^۴ پل‌ها، آب شستگی فونداسیون بزرگراه‌ها و از بین رفتن اراضی می‌شود (بریاود^۵، ۲۰۰۷).

متغیرهایی که در شکل هندسی و دینامیک آبراهه‌های آبرفتی وارد می‌شوند، دارای مجموعه پیچیده‌ای از واکنش‌های متقابل هستند. در این مجموعه پیچیده، تشخیص روابط علت و معلولی مشکل است. تغییرات در مقدار واردات به ایجاد تعادل سریعی در شکل آبراهه و دینامیک جریانی رودخانه منجر می‌شود و عوامل تغییرات درازمدت در شکل آبراهه نیز با اثر فرآیندهای کوتاه‌مدت متعادل می‌شود. باوجود این، پاسخ دینامیکی چنین سیستمی غالباً تجزیه و تحلیل را با مشکل روبه‌رو می‌سازد. لوین^۶ (۱۹۷۷) تغییرات مجرا را به دو نوع تغییرات درون‌زاد^۷ و تغییرات برون‌زاد^۸ تقسیم‌بندی می‌کند. تغییرات درون‌زاد به‌صورت ذاتی در رژیم رودخانه وجود دارند که می‌توان به تغییر مسیر^۹، جابجایی مجرا^{۱۰} و میان‌برها^{۱۱} اشاره کرد. تغییرات برون‌زاد، مواردی هستند که در پاسخ به تغییرات سیستم از جمله نوسانات اقلیمی و تغییر بار رسوب یا دبی در نتیجه فعالیت‌های انسانی به وجود می‌آیند. مطالعات مختلفی توسط محققان داخلی و خارجی در زمینه ژئومورفولوژی رودخانه‌ای صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ماکس جی روز^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی به تجزیه و تحلیل سنجش از دوری تغییرات پلان فرم بالادست رودخانه آمازون در طی دوره زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۶ پرداخته‌اند. بر اساس یافته‌های آن‌ها، بازه انتخابی نسبت به بازه‌های بالادست و بازه پایین‌دست، بین تلاقی‌های رودخانه‌های جوتایی^{۱۳} و جاپورا^{۱۴}، از فعالیت کمتری برخوردار است. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان‌دهنده تغییراتی در مساحت پلان (۱/۴ درصد در سال) و آهنگ مهاجرت رودخانه (۱۲۵ متر در سال) است. پرونسال و همکاران^{۱۵} (۲۰۱۴) تکامل زمین ریختی^{۱۶} و تعادل رسوب^{۱۷} بخش پایینی رودخانه رون (جنوب فرانسه) را در طی ۱۳۰

1 - Aggradation

2 - Degradation

3 - Watson

4 - Scour

5 - Briaud

6 - Lewin

7 - Autogenic

8 - Allogenic

9 - Avulsion

10 - Channel migration

11 - Cut-offs

12 - Max G. Rozo

13 - Jutai

14 - Japura

15 - Provansal

17 - Geomorphic evolution

18 - Sediment balance

سال گذشته مورد بررسی قرار دادند. هدف از این بررسی تعیین فاکتورهای اصلی که باعث تغییرات مورفولوژیکی طی ۱۳۰ سال گذشته بر ۱۲۰ کیلومتری بخش پایین رود رودخانه رون شده‌اند، بوده است. منجیست ابیت^۱ و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه گومارا^۲ را در طی ۵۰ سال اخیر مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این تحقیق از دو سری عکس‌های هوایی مربوط به سال‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۵۷ و همچنین تصاویر ماهواره‌ی Spot سال ۲۰۰۶ و گوگل ارث استفاده کردند. موران تجدا و همکاران^۳ (۲۰۱۴) اثرات هیدرولوژیکی تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری زمین در حوضه‌های کوهستانی را با استفاده از مدل‌های RHESYS و SWAT مورد بررسی قرار دادند. زاهاریا و لی^۴ (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص‌های^۵ فشار^۶ و تغییر^۷ کیفیت مورفولوژیکی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه پروهوا، رومانی) را مورد ارزیابی قرار دادند. هدف از این پژوهش ارزیابی هیدرومورفولوژیکی با پیشنهاد شاخص‌ها و کلاس‌های مجزا، بر اساس شاخص کیفیت مورفولوژی بازبینی^۸ (RMQI) بوده و این روش RMQI بر اساس ۱۲ شاخص فشارهای انسانی^۹، ۱۰ شاخص تنظیمات فرم مجرا^{۱۰} و ۱۱ شاخص عملی^{۱۱} مورد استفاده قرار گرفته است. دوفور و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۵) تأثیرات دینامیک رودخانه‌ای و انسان بر الگوی چشم‌انداز کانال‌های رودخانه‌ای را در رودخانه مگرا^{۱۳} - ایتالیا مورد بررسی قرار دادند. هدف از این پژوهش تحلیل تغییرات پیچیده در ساختار چشم‌اندازهای رودخانه مگرا توسط عوامل طبیعی و انسانی بوده است. رآودس و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۶) تغییرات تاریخی در شبکه کانال و پلان فرم کانال^{۱۵} در یک چشم‌انداز مدیریت شده (عوامل طبیعی در مقابل اثرات ناشی از مداخله بشر) را مورد بررسی قرار دادند. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات تاریخی شبکه کانال‌های رودخانه‌ای و پلان فرم کانال در بخش بالایی حوضه رودخانه سانگامون^{۱۶} (از لحاظ کشاورزی به شدت مدیریت شده) بوده است. کاسادو و همکاران^{۱۷} (۲۰۱۶) تغییرات پوشش گیاهی و ژئومورفیک را در رودخانه Sauce Grande آرژانتین مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش مجرای کانال رودخانه قبل و بعد از احداث سد بر روی آن مورد مطالعه قرار گرفته است.

رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) طی مطالعه‌ای به بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از تحلیل هندسه فرکتال پرداختند. این محققان اشاره می‌کنند که اهمیت اصلی هندسه فرکتال در این است که مدل توصیفی ریاضی برای بسیاری از اشکال پیچیده که در طبیعت یافت می‌شوند، ارائه می‌دهد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که بازه اول (بازه

1 - Mengiste Abate

2 - Gumara

3 - Morán-Tejeda

4 -Zahari & Lili

25- Indicators

26- Pressure

27- Alteration

28- Revisited Morphological Quality Index (rMQI)

29- Human pressures

30- Channel form adjustments

11 -Functionality

12 -Dufour

13 - Magra

14 - Rhoads

15 - Channel planform

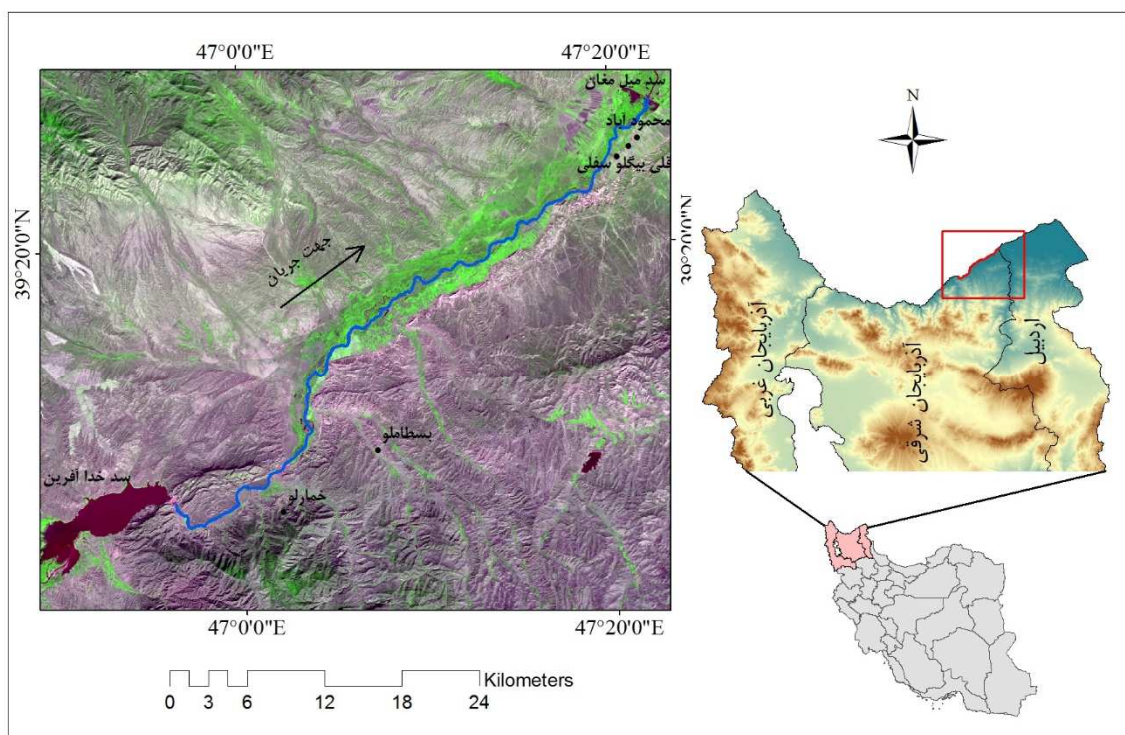
16 -Sangamon River

17 - Casado

شریانی) بیشترین میزان تغییرات را در سال‌های موردبررسی داشته و بازه دوم (بازه کوهستانی) کمترین میزان تغییرات را داشته و بازه سوم (بازه نیمه کوهستانی) حالت بینابینی را داشته است. شریفی کیا و همکاران (۱۳۹۲) طی مطالعه‌ای به آشکارسازی تغییرات و الگوی مکانی رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن پرداختند. آن‌ها الگوی تغییرات مکانی رودخانه در نیم‌قرن گذشته (۱۳۳۴-۱۳۹۰) از طریق تحلیل تصاویر سنجش‌ازدوری دو زمانه موردبررسی قراردادند. نتایج تحقیق این محققان در خصوص عوامل ایجابی تغییر در الگوی فضایی و هندسی رودخانه، علاوه بر تأیید و تأکید بر عوامل ثابت محیطی، مسئله خشک‌سالی‌های پی‌درپی و انسداد بستر توسط ماسه‌های انباشته‌شده (حاصل از عمل باد) را عامل محوری و مؤثر این تغییرات می‌دانند. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۳) طی تحقیقی به بررسی تغییرات مجرا و فرسایش کناری در رودخانه گاماسیاب از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۹ پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که مقدار بالای جابجایی رودخانه و تغییرات الگوی رودخانه از ۱۳۴۸ تا ۱۳۸۹ عامل اصلی ایجاد سطوح فرسایشی است. یمانی و همکاران (۱۳۹۴) طی تحقیقی به مقایسه تغییرات عرضی بستر رودخانه ارس طی سه دهه اخیر در پایین‌دست سد میل مغان پرداخته‌اند. در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی بستر رودخانه ارس از تصاویر ماهواره‌ای Landsat سنجنده OLI و IRS سنجنده P5 در بازه‌ی زمانی ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۲ استفاده گردید و ضرایب هندسی رودخانه برای دو دوره زمانی فوق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. رودخانه ارس یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های مرزی ایران در حوضه آبریز دریای خزر است. این رودخانه از پایین‌دست سد خدا آفرین بر روی دشت سیلابی جریان دارد. جابجایی جانبی مجرای رودخانه ارس در بازه مورد مطالعه، یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات منطقه محسوب می‌شود؛ زیرا رودخانه ارس به‌عنوان مرز سیاسی بین ایران و جمهوری آذربایجان بوده و بر اثر فرسایش کناره‌ها و جابجایی مجرا می‌تواند سبب مجادله بین دو کشور بر سر تعیین مرز جدید باشد. در این تحقیق، تغییرات مجرای رودخانه ارس در طی ۲۹ سال گذشته (از سد خدا آفرین تا سد میل مغان) با استفاده از روش ترانسکت موردبررسی قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

رودخانه ارس از کوه‌های هزار برکه (بین گول داغ) ترکیه واقع در جنوب ارزروم سرچشمه می‌گیرد و پس از طی کردن قسمتی از سرزمین‌های کشور ترکیه با شاخه دیگری که از کوه‌های واردینسکی قفقاز سرچشمه می‌گیرد، تلاقی می‌یابد و در محل مرز مشترک ترکیه، ایران و آذربایجان در ۳ کیلومتری شمال شرقی روستای رم قشلاقی شهرستان ماکو وارد ایران می‌شود. این رودخانه پس از طی مسیری حدود ۴۴۰ کیلومتر در روستای تازه کند پارس‌آباد از مرز ایران جدا شده و وارد خاک جمهوری آذربایجان می‌گردد و با رودخانه کورا در داخل این کشور تلاقی و سپس وارد دریای خزر می‌گردد. منطقه مورد مطالعه، از سد خدا آفرین تا سد میل مغان به طول تقریبی حدود ۶۲ کیلومتر است. از نظر موقعیت جغرافیایی این محدوده در عرض‌های $39^{\circ} 09' 37''$ تا $39^{\circ} 25' 53''$ شمالی و $47^{\circ} 08' 56''$ تا $47^{\circ} 22' 10''$ شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

روش تحقیق

مواد و روش گردآوری

نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تصویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۲۷ متر و تصاویر ماهواره‌ای شامل تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مهم‌ترین مواد این تحقیق است. روش‌های مختلفی برای تفکیک آب از سایر عوارض وجود دارد که از جمله می‌توان به تبدیل تسلدکپ^۱، تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۲ و استفاده از شاخص‌های مختلفی مانند تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده^۳ (NDVI)، شاخص آب^۴ (WI)، تفاضل آب نرمال شده^۵ (NDWI) و شاخص اصلاحی تفاضل آب نرمال شده^۶ (MNDWI) اشاره کرد (پایرز لویز و همکاران^۷ ۲۰۱۰: ۴۶۳-۴۶۸ و ایکس یو^۸ ۲۰۰۷: ۱۳۸۱-۱۳۹۱):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{WI} = (\text{B}_1 + \text{B}_2 + \text{B}_3) / (\text{B}_4 + \text{B}_5 + \text{B}_7) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{NDWI} = (\text{Green} - \text{NIR}) / (\text{Green} + \text{NIR}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{MNDWI} = (\text{Green} - \text{MIR}) / (\text{Green} + \text{MIR}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

1 - Tasseled Cap

2 - Principal Components

3 - Normalized difference water index (NDVI)

4 - Water index

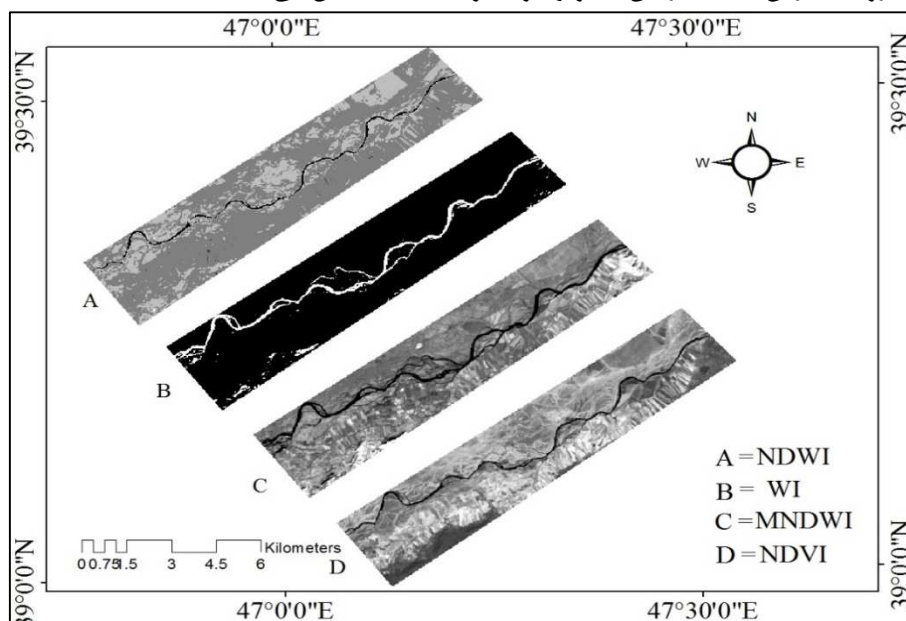
5 - Normalized difference water index (NDWI)

6 - Modified Normalized difference water index (MNDWI)

7 - Pires luiz at al

8 - Xu, Hanqiu

در روابط بالا NIR یک باند مادون قرمز نزدیک؛ MIR یک باند مادون قرمز میانی؛ Red باند قرمز؛ Green باند سبز و Bi شماره باند در تصاویر ETM+ است. در ادامه با استفاده از فاکتور^۹ OIF، سه باند با کمترین وابستگی انتخاب شد و تصویر رنگی کاذب^{۱۰} منطقه تولید گردید. به منظور تشخیص هرچه بهتر رودخانه از فیلتر بالا گذر سوبل^{۱۱} استفاده شد. در مرحله بعد به منظور افزایش کنتراست تصویر از روش یکسان‌سازی هیستوگرام^{۱۲} استفاده گردید. به دلیل عریض بودن و پویایی مجرای رودخانه ارس استفاده از این تصاویر جواب‌گوی اهداف تحقیق می‌باشند.



شکل ۲: بارز سازی مجرای رودخانه با استفاده از شاخص‌های مختلف در محدوده ترانسکت‌های ۸، ۹ و ۱۰

روش تجزیه و تحلیل

روش‌های مختلفی برای بررسی تغییرات و جابجایی‌های صورت گرفته در مجرای رودخانه وجود دارد که می‌توان به تحلیل پلیگون^{۱۳}، روش شعاع انحنای^{۱۴} و روش ترانسکت^{۱۵} اشاره کرد (رپ^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۳: ۴۲؛ گرادینو و لی^{۱۷}، ۲۰۱۱: ۲۳). در این تحقیق، با توجه به روش ترانسکت، خطوطی با فواصل مشخص از هر دو طرف مجرا به عنوان خطوط مبنا ترسیم شده است. این خطوط برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه ثابت بوده و از این رو می‌توان جابجایی‌های مجرا نسبت به این خطوط را به صورت کمی محاسبه کرد. به عبارت دیگر روش ترانسکت، شامل ترسیم یک سری از ترانسکت‌های عمود بر دشت سیلابی رودخانه و اندازه‌گیری فاصله بین نقاط متقاطع بین خط مرکزی کانال و ترانسکت برای چهارچوب (دوره‌های-مقاطع) زمانی بعدی است (گرادینو و لی، ۲۰۱۱: ۸). هنگامی که مجرا در جهت راست (به سمت ایران) جابجا شود مساحت

^۹ -Optimum index factor

^{۱۰} - False color

^{۱۱} - Sobel Filter

^{۱۲} - Histogram Equalization

^{۱۳} - Polygon Analysis

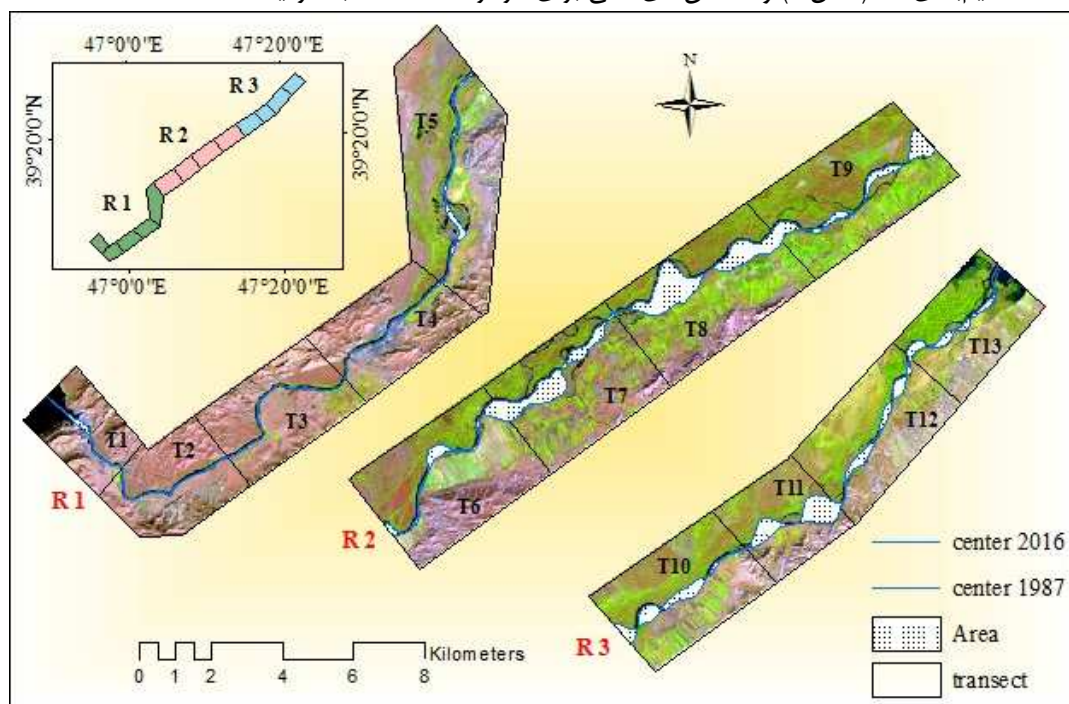
^{۱۴} - Radius of Curvature

^{۱۵} - Transect Method

^{۱۶} - Rapp, Abbe

^{۱۷} - Giardino, Lee

ترانسکت سمت راست مجرا کاهش پیدا کرده و بر مساحت ترانسکت سمت چپ مجرا (طرف آذربایجان) افزوده می‌شود و برعکس. در این پژوهش، مجرای بازه مورد مطالعه از رودخانه ارس بر اساس مورفولوژی و روند تغییرات مجرا به ۱۳ ترانسکت تقسیم‌بندی شد (شکل ۳) و شاخص‌های کمی برای هر ترانسکت محاسبه گردید.



شکل ۳: محدوده ترانسکت‌ها و مساحت جابجا شده بین دو خط مرکزی مجرا برای سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۶

برای تحلیل شکل مسطحاتی^{۱۸} رودخانه، از شاخص ضریب سینوسی^{۱۹} (مارپیچی یا پیچشی) استفاده شد. ضریب سینوسی از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (چارلتون، ۲۰۰۸: ۱۳۸):

$$\text{Sinuosity ratio (SR)} = \frac{\text{Channel length}}{\text{Valley length}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

SR < 1.1 Straight

SR 1.1 to 1.5 Sinuous

SR > 1.5 Meandering

جهت بررسی شدت جابجایی نیز از شاخص انحناء نسبی پیچ^{۲۰} (R/w) استفاده شد. این شاخص نسبت شعاع انحناء به عرض پیچ است. این نسبت اغلب بین ۱/۵ تا ۴/۳ در تغییر است و متوسط آن ۳ است. وقتی نسبت R/w حدود ۳ باشد، شدت جابجایی به بیشینه مقدار خود می‌رسد (چارلتون، ۲۰۰۸: ۱۴۰).

سه روش برای پیش‌بینی مهاجرت مائدر وجود دارد: تکنیک‌های همپوشانی دستی، تکنیک‌هایی که توسط کامپیوتر پشتیبانی می‌شوند و تکنیک‌های اندازه‌گیری و برون‌یابی^{۲۱} مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی. در این میان، تکنیک‌های مبتنی بر GIS به‌واسطه استفاده از نقشه‌برداری دیجیتال و فن‌آوری پایگاه داده حاصل شده است. اندازه‌گیری دیجیتال و

18 - platforms

19 - Sinuosity ratio

20 - Relative Bend curvature

21 - Extrapolation

تحلیل فضایی در GIS می‌تواند برای اندازه‌گیری شعاع خم، مرکز ثقل خم، عرض کانال، طول موج خم و ... بکار گرفته شود (هیو^{۲۲} و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۵-۱۶۵). به این دلیل، در مطالعه کنونی، تکنیک‌های مبتنی بر GIS برای ارزیابی تاریخی و پیش‌بینی مهاجرت خم مورد استفاده قرار گرفته است. برای محاسبه آهنگ جابجایی کانال می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد (گرادینو و لی، ۲۰۱۱: ۸؛ شیلدز^{۲۳} و همکاران، ۲۰۰۰: ۵۴-۶۶، ماگدالانو^{۲۴} و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۹۷-۲۰۷):

$$R_m = (A / L) / y \tag{۶}$$

که در آن: R_m آهنگ مهاجرت؛ A مساحت موجود بین دو خط مرکزی کانال؛ L طول خط مرکزی کانال در زمان t_1 ؛ و y تعداد سال است. در این زمینه، برای افزایش دقت کار در رابطه با محاسبه خط مرکزی مجرا و سایر محاسبات از افزونه^{۲۵} Platform Statistics (لوورر^{۲۶}، ۲۰۰۶، ۱۹) کمک گرفته شد.

بحث و یافته‌ها

مورفولوژی رودخانه ارس

نتایج تحلیل شکل پلانفرم رودخانه در بازه مورد مطالعه نشان می‌دهد که، رودخانه ارس در این بازه بیشتر از الگوی سینوسی تبعیت می‌کند. با این حال در بعضی از ترانسکت‌ها گرایش به الگوی مستقیم نیز دیده می‌شود، اما الگوی مستقیم دوام چندانی نمی‌یابد و پس از طی مسافتی نسبتاً کوتاه دوباره خم‌هایی در رودخانه ایجاد می‌شود. در جدول (۱) ضریب خمیدگی یا ضریب پیچشی رودخانه ارس در محدوده مورد مطالعه یعنی از سد خدا آفرین تا سد میل مغان، برای ۱۳ ترانسکت به‌طور جداگانه محاسبه گردید و نتایج حاصل در جدول (۱) نشانگر فرم سینوسی رودخانه در اکثر ترانسکت‌ها در بازه مورد مطالعه است.

جدول ۱: ضریب خمیدگی یا ضریب پیچشی (سینوسی) رودخانه ارس

نوع بازه	ضریب خمیدگی	طول مستقیم Km	طول انحنای پیچ Km	ترانسکت
مستقیم	۱/۰۷	۲/۹۰	۳/۱۱	۱
سینوسی	۱/۴۱	۲/۹۶	۴/۱۶	۲
سینوسی	۱/۲۵	۳/۹۷	۴/۹۷	۳
مستقیم	۱/۰۶	۳/۸۲	۴/۰۸	۴
مستقیم	۱/۰۹	۶/۰۳	۶/۶۲	۵
سینوسی	۱/۳۰	۴/۷۶	۶/۱۹	۶
سینوسی	۱/۱۶	۴/۱۶	۴/۸۴	۷
سینوسی	۱/۱۲	۵/۰۶	۵/۶۹	۸
سینوسی	۱/۱۲	۵/۱۴	۵/۷۸	۹
سینوسی	۱/۱۰	۴/۲۱	۴/۶۴	۱۰
سینوسی	۱/۲۵	۲/۹۰	۳/۶۳	۱۱
مستقیم	۱/۰۳	۴/۷۹	۴/۹۴	۱۲

22 - Heo at al

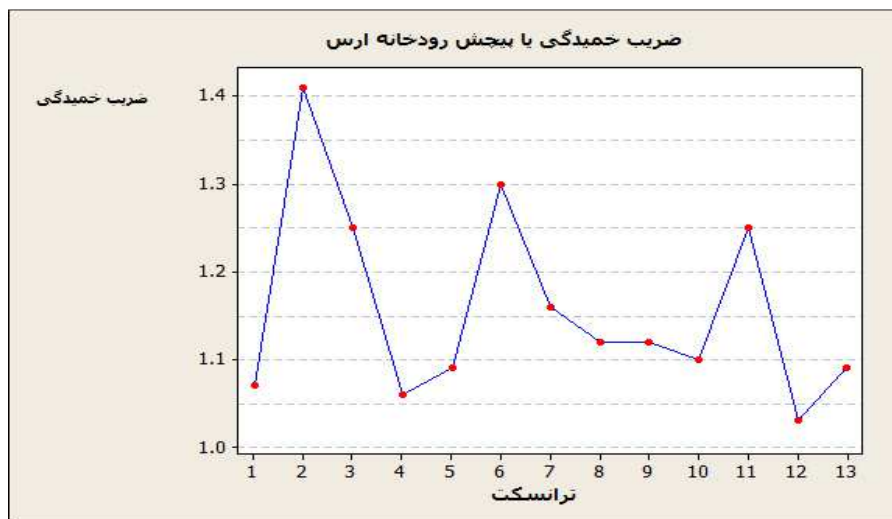
23 - Shields et al

24 - Magdaleno et al

25 - Add In

26 -Lauer

مستقیم	۱/۰۹	۳/۶۳	۳/۹۸	۱۳
--------	------	------	------	----



شکل ۴: ضریب خمیدگی یا پیچش رودخانه ارس در ۱۳ ترانسکت مورد مطالعه

رودخانه ارس پس از عبور از یک معبر تنگ کوهستانی، در محل سد خدا آفرین در مسیری پر از پیچ‌وخم‌های کوچک با زاویه بین ۳۰ تا ۴۰ درجه نسبت به شمال در جهت شمال شرقی در مرز ایران و آذربایجان جریان می‌یابد. این رودخانه در حدفاصل خدا آفرین تا سد میل مغان پس از عبور از یک معبر نسبتاً کم‌عرض در حدود روستای کدخدا لو به اراضی مسطح و کم شیب و آبرفتی وارد می‌شود. رودخانه ارس در محدوده مورد مطالعه در یک دشت آزاد جریان دارد؛ که در این محدوده حداکثر ارتفاع رودخانه ۲۷۴ متر در محل سد خدا آفرین و کمترین ارتفاع ۱۳۷ متر در محل خروجی رودخانه در سد میل مغان است. حداکثر شیب رودخانه در حدود ۵ درصد در قسمت بالادست رودخانه و متوسط شیب حدود ۰/۷ درصد در طول مسیر آن است. با توجه به نمونه‌برداری به عمل آمده، مواد معلق رودخانه که بخش اعظم بار رسوبی ارس را تشکیل می‌دهند ذرات بین صفر تا ۰/۵ میلی‌متر می‌باشند. مواد بستری رودخانه ارس را نیز معمولاً قلوه‌سنگ‌های درشت و گراول تشکیل می‌دهند که قطر متوسط آن‌ها در محل سد میل مغان ۵/۸ میلی‌متر است. اراضی حاشیه‌ای و بستر رودخانه ارس را رسوبات جدید کواترنری دانه‌درشت و دانه‌ریز تشکیل می‌دهد. این رسوبات به‌وضوح در خم‌ها، جزایر میانی و اراضی حاشیه‌ای و پرشیب کناری رودخانه مشهود است (شکل‌های ۶، ۵). این رسوبات تحت تأثیر جریان‌های پرانرژی رودخانه مرتباً دچار تغییرات و جابجایی و فرسایش گردیده و با توجه به اینکه شیب عرضی رودخانه عمدتاً به سمت کناره راست است، بخش اعظم جریان و سرعت بالاتر آن در این قسمت‌ها موجب فرسایش دیواره‌ها می‌گردد.

از نظر شکل ظاهری رودخانه ارس در محدوده مورد مطالعه، حالت شریانی دارد؛ زیرا پتانسیل حمل رسوبات آن بالا بوده و برای اتلاف انرژی مازاد، جریان در آن تمایل به گستردگی دارد. از این رو ته‌نشست مواد رسوبی کف به میزان فراوانی صورت می‌یابد. البته جنس آبرفت دیواره‌ها نیز به دلیل درشت‌دانه و غیر چسبنده بودن، ناپایدار و فرسایش پذیر است. گسترش و تعدد حضور بارها و جزایر رسوبی (شکل ۶) نیز سبب ناپایداری رودخانه گردیده و مسیر جریان را به‌صورت چند رشته‌ای در مجاری متعدد کم‌عمق و به فرم ناپیوسته و متقاطع در بستر عریض رودخانه درآورده است؛ که البته موقعیت این آبراه‌ها نیز تابع شرایط جریان است.



شکل ۵: مواد بستری شامل سنگریزه‌ها و قلوه‌سنگ‌های ریزو درشت در مسیر رودخانه ارس



شکل ۶: جزایر میانی رودخانه ارس شامل رسوبات ریزدانه و درشت‌دانه

راستای کلی رودخانه در مقطع سیلابی آن نسبتاً مستقیم بوده و در مواقع سیلابی جریان به صورت تکرشته‌ای درمی‌آید؛ اما در بخش‌هایی که گسترش بارها و تثبیت گیاهی آن‌ها باعث ایجاد جزایر مقاوم شده، در مواقع سیلابی نیز جریان آب را به چند رشته تقسیم نموده و سبب انحراف و هدایت خطوط جریان به سمت کناره‌ها و تخریب دیواره‌ها و تعریض رودخانه می‌شود. البته لازم به ذکر است که رودخانه ارس به سبب ویژگی‌های مورفولوژیک مسیر، طغیان‌ها و مسائل هیدرولیکی، همچنین ویژگی‌های زمین‌شناسی بستر و سواحل خود، طی سالیان دراز مرتباً تغییر مسیر داده و این جابجایی‌ها و تغییر مسیرها عمدتاً به طرف ساحل راست (ساحل ایران) اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه رودخانه ارس در یک دشت آزاد آبرفتی

و سیلابی قرار دارد، لذا اعمال انرژی روی مواضع ضعیف در محل دیواره خارجی پیچ‌ها، امکان تغییر مسیر موضعی را ایجاد نموده است.

همان‌طور که گفته شد، جهت بررسی شدت جابجایی از شاخص انحناء نسبی پیچ استفاده شد. این شاخص نسبت شعاع انحناء به عرض پیچ است. در واقع فاکتور انحناء نسبی پیچ مهم‌ترین عامل در تعیین توزیع تنش برشی^{۲۷} در یک پیچ است (چارلتون، ۲۰۰۸: ۱۴۰)؛ بنابراین ازدیاد تنش برشی در بستر همراه با افزایش بارکف و آب شستگی در کناره‌ها باعث فرسایش و تخریب دیواره‌ها شده است. بدین ترتیب نحوه توزیع تنش برشی در طول پیچ راهنمای تشخیص مواضع احتمالی تخریب است. در پژوهش فوق نسبت I/W برای چندین ترانسکت محاسبه (جدول ۲) و برآزش دواير به خم‌های مجرا در ترانسکت‌های مشخص شده ترسیم گردید. نتایج حاصل نشان داد که در ترانسکت ۲ و ۱۱ نسبت I/W بیشتر از $3/5$ بوده بنابراین توزیع تنش در مقطع ورودی پیچ تقریباً یکنواخت بوده و منطقه ماکزیمم تنش در قسمت خروجی پیچ و دیواره خارجی آن اتفاق افتاده است. جهت تأیید مطالب بیان‌شده، می‌توان گفت که افزایش تنش در محدوده دیواره خارجی قسمت خروجی پیچ به تدریج باعث تندتر شدن پیچ و کاهش نسبت I/W شده که در این صورت تغییرات به صورت جابجایی در عرض و در جهت پایین دست متقابلاً ظاهر شده است. در ترانسکت ۱ و ۱۰ نسبت I/W از $3/5$ کمتر بوده و دو منطقه تنش ماکزیمم به وجود آمده است که یکی در قسمت خروجی پیچ و دیواره خارجی آن و دیگری در قسمت ورودی پیچ و دیواره داخلی آن است. در ترانسکت ۳ و ۸ نسبت I/W خیلی کم و به مقدار $1/25$ نزدیک شده و منطقه تنش ماکزیمم به طور کامل در محدوده دیواره داخلی قرار دارد.

جدول ۲: محاسبه انحناء نسبی پیچ در مسیر رودخانه ارس

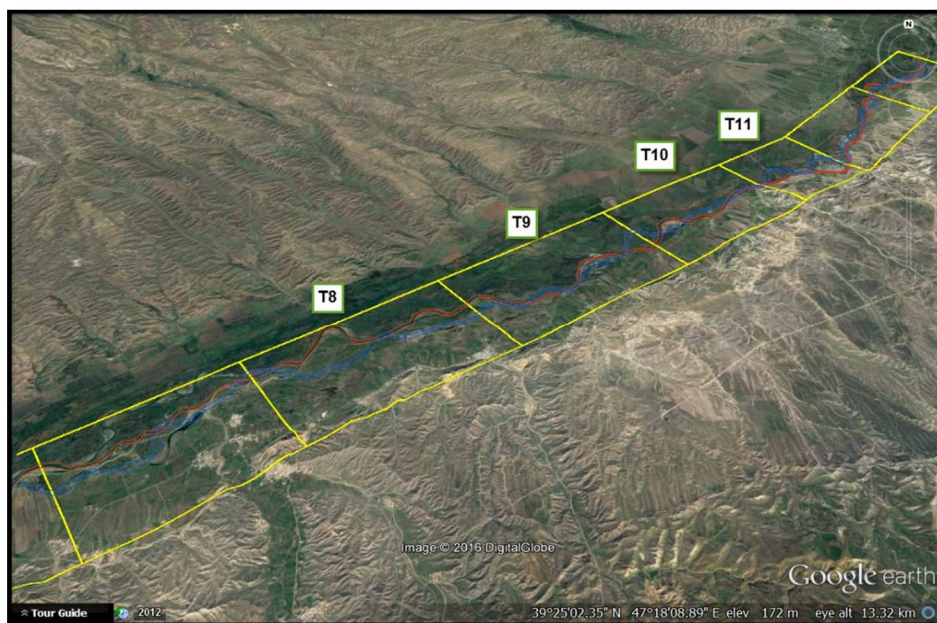
I/W	ترانسکت
۲/۰۹۶	۱
۳/۷۲۹	۲
۱/۳۶۶	۳
۱/۰۲۸	۸
۲/۹۷۴	۱۰
۴/۳	۱۱

بررسی کمی تغییرات جانبی مجرا

میانگین میزان مهاجرت مجرای رودخانه ارس در طول ۲۹ سال گذشته (در بین دو سد) در حدود $4/73$ متر در سال بوده است و از این نظر به احتمال زیاد پویاترین رودخانه شمال غرب کشور و یکی از پویاترین رودخانه‌های ایران است. در جدول (۳) میانگین جابجایی عرضی به صورت جداگانه برای هر یک از ترانسکت‌ها محاسبه گردید. در شکل (۹ و ۱۰) روش محاسبه میزان جابجایی عرضی مجرا در بخشی از ترانسکت‌های ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ نشان داده شده است. بیش‌ترین مقدار میانگین جابجایی جانبی مجرا بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ با مقدار بسیار قابل توجه $15/14$ متر، مربوط به ترانسکت شماره ۸ است (شکل ۹) که نتیجه آن افزوده شدن $222/72$ هکتار زمین به طرف ایران و به همین نسبت از دست رفتن زمین از طرف جمهوری آذربایجان است. در این ترانسکت، نسبت I/W خیلی کم و به مقدار $1/25$ نزدیک شده و منطقه تنش

ماکزیمم به‌طور کامل در محدوده دیواره داخلی قرار دارد. در ترانسکت ۷ و ۱۱ (شکل ۱۰) مقدار جابجایی جانبی مجرا بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ به ترتیب ۱۰/۸۲ و ۱۰/۷۱ متر بوده که نتیجه آن افزوده شدن ۱۲۴/۶۲ و ۱۰۸/۹۹ هکتار زمین به سمت ایران بوده است.

در منطقه مورد مطالعه، تغییرات مجرا با توجه به روند گذشته به سه دلیل عمده اتفاق افتاده است: (۱) مهاجرت مجرا در دشت سیلابی به واسطه فرسایش کناره مقعر حلقه‌های^{۲۸} مئاندرها که با توجه به شرایط محلی از شدت و ضعف برخوردار بوده است، (۲) ایجاد میان‌برها به واسطه پیشروی و نزدیک شدن پایه مئاندرها که آثار آن به صورت کانال‌های متروک قابل مشاهده است و (۳) تغییر مسیر^{۲۹} بخشی از مجرای رودخانه. در واقع مقادیر زیاد و غیرمعمول آهنگ مهاجرت در برخی از ترانسکت‌ها مربوط به این تغییر مسیرها است تا فرسایش کناره. از این رو، در بازه مورد مطالعه رودخانه ارس، تغییر مسیر مجرا می‌تواند به‌عنوان یک مخاطره جدی محسوب شود و از طرفی، مسائل مختلفی را در رابطه با خط مرزی ایجاد کند. تغییر مسیر، تغییر ناگهانی مسیر یک رودخانه است. در طی این فرایند، یک مجرا متروک شده و مجرای جدید ایجاد می‌شود. در این رابطه، برای رودخانه ارس داده‌های ضروری به دلیل مرزی بودن بسیار محدود است؛ اما می‌توان تغییر مسیرهای صورت گرفته در مجرای رودخانه را تا حد زیادی به افزایش سینوزیته و رخداد سیلاب‌ها مخصوصاً در فصل بهار و تأثیر تلاقی‌ها است.



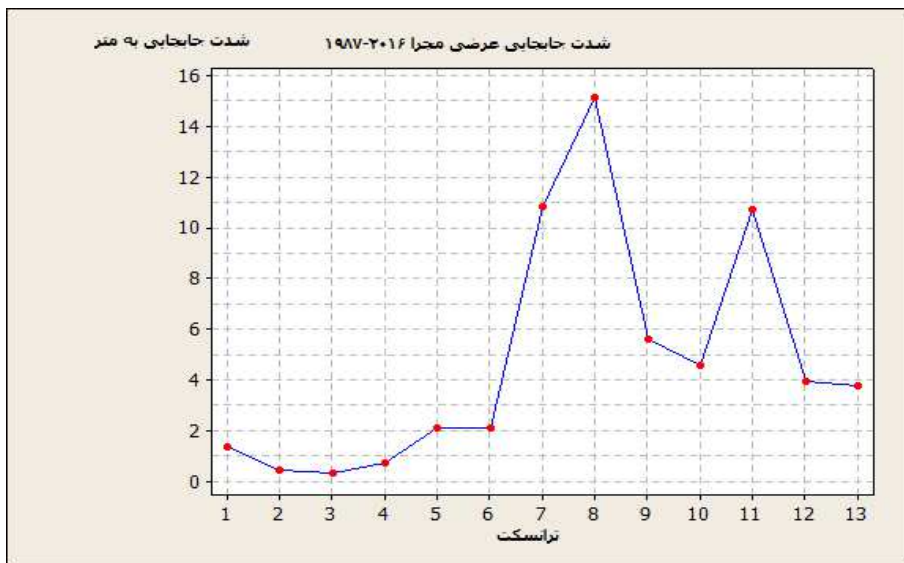
شکل ۷: بخشی از ترانسکت‌های ترسیمی بر روی مجرای رودخانه ارس (آبی: مجرای ۱۹۸۷ و قرمز: مجرای ۲۰۱۶)

28 - Loops

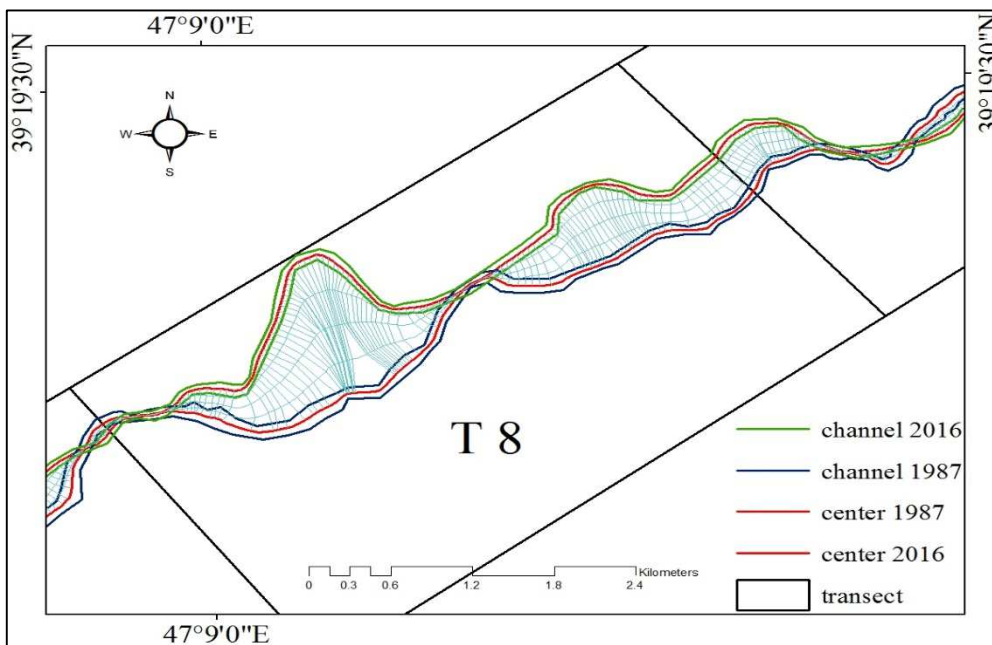
29 - Avulsion

جدول ۳: مقادیر مربوط به شاخص‌های کمی مجرای رودخانه

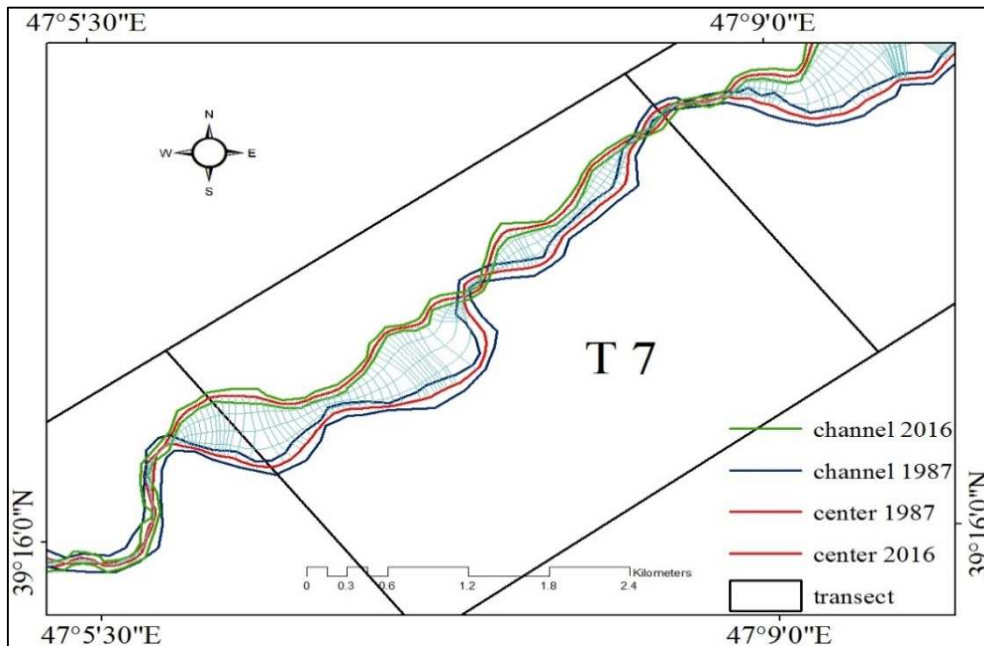
شدت جابجایی عرضی مجرا (m/y) ۱۹۸۷-۲۰۱۶	میزان تغییرات (هکتار) ۱۹۸۷-۲۰۱۶	مساحت در سال ۲۰۱۴ (هکتار)	مساحت در سال ۱۹۸۷ (هکتار)	جهت نسبت به مجرا	ترانسکت
۱/۳۵	۳/۹۲	۲۸۵/۶۵	۲۸۹/۵۷	R	T1
	-۳/۹۲	۳۰۵/۲۳	۳۰۱/۳۱	L	
۰/۴۱	-۴/۱۹	۴۶۹/۳۹	۴۶۵/۲۰	R	T2
	۴/۱۹	۳۶۵/۴۳	۳۶۹/۶۱	L	
۰/۳۴	-۳/۵۹	۵۰۰/۳۴	۴۹۶/۷۵	R	T3
	۳/۵۹	۴۸۷/۶	۴۹۱/۱۹	L	
۰/۷۴	-۷/۰۹	۵۱۷/۸۵	۵۱۰/۷۶	R	T4
	۷/۰۹	۴۳۸/۸۳	۴۴۵/۹۲	L	
۲/۰۷	۹/۱۹	۷۹۲/۴۳	۸۰۱/۵۹	R	T5
	-۹/۱۹	۹۷۴/۴۶	۹۶۵/۳۰	L	
۲/۱۱	-۹/۳	۸۷۹/۵۷	۸۷۰/۲۷	R	T6
	۹/۳	۵۸۴/۳۹	۵۹۳/۶۹	L	
۱۰/۸۲	-۱۲۴/۶۲	۹۷۵/۲۲	۸۵۰/۶	R	T7
	۱۲۴/۶۲	۳۰۸/۹۹	۴۳۳/۶۱	L	
۱۵/۱۴	-۲۲۲/۷۲	۱۱۳۷/۴۴	۹۱۴/۷۲	R	T8
	۲۲۲/۷۲	۳۵۰/۳۰	۵۷۳/۰۲	L	
۵/۶۱	۱/۰۱	۶۲۳/۴۷	۶۲۴/۴۸	R	T9
	-۱/۰۱	۸۰۳/۶۸	۸۰۲/۶۷	L	
۴/۵۴	۲۴/۰۵	۵۵۵/۰۲	۵۷۹/۰۷	R	T10
	-۲۴/۰۵	۶۰۶/۳۹	۵۸۲/۳۴	L	
۱۰/۷۱	۱۰۸/۹۹	۲۵۶/۸۷	۳۶۵/۸۶	R	T11
	-۱۰۸/۹۹	۴۷۴/۸۰	۳۶۵/۸۱	L	
۳/۹۲	۲۴/۳۲	۵۶۰/۹۵	۵۸۵/۲۷	R	T12
	-۲۴/۳۲	۵۸۷/۴۸	۵۶۳/۱۶	L	
۳/۷۸	-۴/۷۵	۵۶۲/۳۷	۵۵۷/۶۲	R	T13
	۴/۷۵	۳۴۷/۲۶	۳۵۲/۰۲	L	



شکل ۸: شدت جابجایی عرضی مجرا در طول مسیر رودخانه ارس (از سد خدا آفرین تا میل مغان)



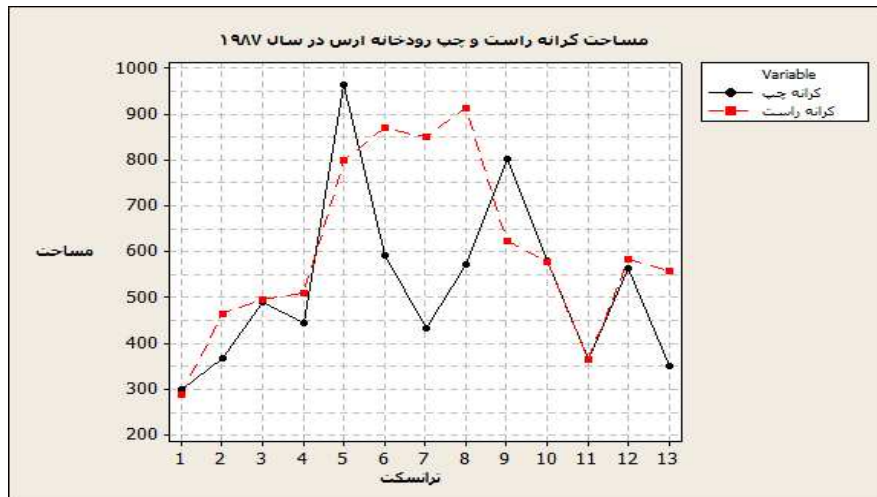
شکل ۹: محاسبه میزان جابجایی عرضی مجرا (ترانسکت ۸)



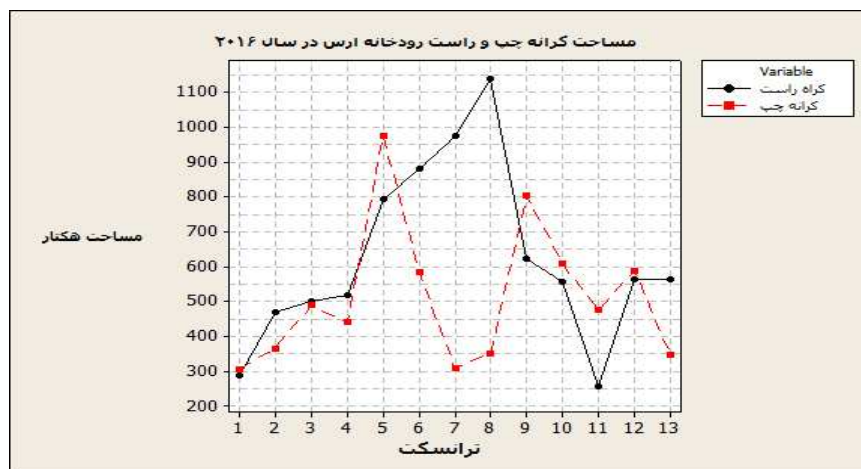
شکل ۱۰: محاسبه میزان جابجایی عرضی مجرا (ترانسکت ۷)

سواى از مسائل حقوقى مربوط به معاهدات مرزى بين دو کشور ایران و آذربایجان، جابجایی جانبی مجرا مخصوصاً تغییر مسییرها می‌تواند برای هر دو کشور مسائل مختلفی مانند از دست رفتن اراضی را موجب گردد. جابجایی عرضی مجرا باعث تغییر مساحت ترانسکت‌ها در دو طرف رودخانه شده است. شکل (۱۱ و ۱۲) تغییرات مساحت کرانه راست و چپ رودخانه ارس را در سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۶ میلادی نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از بررسی اشکال فوق نشان می‌دهد که میانگین میزان مهاجرت مجرای رودخانه ارس در طول ۲۹ سال گذشته (در بین دو سد) در حدود ۴/۷۳ متر در سال بوده است. در طی دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ در حدود ۱۷۱/۴۸ هکتار به اراضی ایران افزوده شده و در حدود ۳۷۶/۲۶ هکتار از اراضی ایران در نتیجه تغییرات مجرا از دسترس خارج شده است و در مجموع می‌توان گفت که نزدیک به ۲۰۴/۷۸ هکتار از اراضی سمت ایران در طی ۲۹ سال کم شده است. شدت جابجایی عرضی مجرا ۲۸/۲ متر در سال برای کرانه راست (ایران) و ۳۳/۳۴ متر در سال برای کرانه چپ رودخانه ارس (کشور جمهوری آذربایجان) محاسبه شده است.



شکل ۱۱: مساحت کرانه راست و چپ رودخانه ارس در سال ۱۹۸۷



شکل ۱۲: مساحت کرانه راست و چپ رودخانه ارس در سال ۲۰۱۶

نتیجه‌گیری

جابجایی جانبی مجرای رودخانه ارس، یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات منطقه محسوب می‌شود، به طوری که در بازه‌های مختلف این رودخانه، صحبت از ده‌ها و حتی صدها متر جابجایی مجرا فقط در طی چند سال است. در این پژوهش، میزان مهاجرت مجرای رودخانه ارس در طی ۲۹ سال گذشته در حدفاصل سد خدا آفرین تا سد میل مغان با استفاده از روش ترانسکت مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، رودخانه ارس با توجه به روند تغییرات مورفولوژیکی مجرا به ۱۳ ترانسکت و با توجه به ژئومورفولوژی منطقه به دو بازه کوهستانی و دشت تقسیم‌بندی شد. این رودخانه پس از عبور از یک معبر نسبتاً کم‌عرض (بازه کوهستانی) در حدود روستای کدخدا لو به اراضی مسطح و کم‌شیب و آبرفتی (بازه دشت سیلابی) وارد می‌شود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که پلانفرم رودخانه ارس در محدوده مورد مطالعه، از نوع شریانی و مئاندری است. بررسی‌های ضریب خمیدگی نیز نشان داد که فرم سینوسی رودخانه در اکثر ترانسکت‌ها نمود پیدا کرده است. با توجه به نمونه‌برداری به عمل آمده، مواد معلق رودخانه که بخش اعظم بار رسوبی ارس را تشکیل می‌دهند ذرات بین صفر تا ۰/۵ میلی‌متر می‌باشند. مواد بستری رودخانه ارس را نیز معمولاً قله‌سنگ‌های درشت و گراول تشکیل می‌دهند که قطر متوسط آن‌ها در محل سد میل مغان ۵۸/۵ میلی‌متر است. نتایج حاصل از تغییرات جانبی مجرا نشان داد که میانگین میزان مهاجرت مجرای رودخانه ارس در طول ۲۹ سال گذشته (در بین دو سد) در حدود ۴/۷۳ متر در سال بوده است. بیش‌ترین مقدار میانگین جابجایی جانبی مجرا بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ با مقدار بسیار قابل توجه ۱۵/۱۴ متر، مربوط به ترانسکت شماره ۸ به دست آمد. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، تغییرات مجرا با توجه به روند گذشته به سه دلیل عمده اتفاق افتاده است: (۱) مهاجرت مجرا در دشت سیلابی به واسطه فرسایش کناره مقعر حلقه‌های^{۳۰} مئاندرها که با توجه به شرایط محلی از شدت و ضعف برخوردار بوده است، (۲) ایجاد میان‌برها به واسطه پیشروی و نزدیک شدن پایه مئاندرها که آثار آن به صورت کانال‌های متروک قابل مشاهده است و (۳) تغییر مسیر^{۳۱} بخشی از مجرای رودخانه. همچنین باید افزود، در طی دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ در حدود ۱۷۱/۴۸ هکتار به اراضی ایران افزوده شده و در حدود ۳۷۶/۲۶ هکتار از اراضی ایران در نتیجه تغییرات مجرا از دسترس خارج شده است و در مجموع می‌توان گفت که نزدیک به ۲۰۴/۷۸ هکتار از اراضی سمت ایران در طی ۲۹ سال از دسترس خارج شده است. شدت جابجایی عرضی مجرا ۲۸/۲ متر در سال برای کرانه راست (ایران) و ۳۳/۳۴ متر در سال برای کرانه چپ رودخانه ارس (کشور جمهوری آذربایجان) محاسبه شده است. پویایی

30 - Loops

31 - Avulsion

زیاد مجرای رودخانه علاوه بر اینکه موجب فرسایش‌های عظیم و نابودی خاک‌های حاصلخیز می‌شود، می‌تواند در زمینه تحدید حدود مرز و بهره‌برداری از منابع این رودخانه منشأ مناقشات بین دو کشور باشد.

منابع

- رضایی مقدم، محمدحسین، ثروتی، محمدرضا و اصغر اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۱، بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از تحلیل هندسه فراکتال، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، سال ۱۶، شماره ۴۰، صص ۱۳۹-۱۱۹.
- رضائی مقدم، محمدحسین و نوشین پیروزی‌نژاد، ۱۳۹۳، بررسی تغییرات مجرا و فرسایش کناره‌ای در رودخانه گاماسیاب از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۹. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره ۴۷، صص ۱۳۲-۱۰۹.
- شریفی کیا، محمد و نعمت مال امیری، ۱۳۹۲، آشکارسازی تغییرات الگوی مکانی رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۶۰-۱۴۹.
- معتمد، احمد، ۱۳۷۹، ژئومورفولوژی، جلد سوم (فرآیندهای دامنه‌ای، آبراه‌های، ساحلی و بادی)، انتشارات سمت، صفحه ۲۰۹.
- یاسی، مهدی، ۱۳۸۸، راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن های رودخانه‌ای، نشریه ۵۱۶ دفتر نظام فنی اجرایی، وزارت نیرو.
- یاسی، مهدی، ۱۳۹۴، جزوه درسی مهندسی رودخانه پیشرفته (قسمت اول)، کارشناسی ارشد و دکتری، گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه. صص ۴۰.
- یمانی، مجتبی، رحیمی، مسعود و عبدالکریم ویسی، ۱۳۹۴، مورفومتری و مقایسه تغییرات عرضی رودخانه ارس طی سه دهه اخیر (مطالعه موردی: پایین دست سد میل مغان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۸۹-۷۴.
- Abate, M., Nyssen, J., Steenhuis, T. S., Moges, M. M., Tilahun, S. A., Enku, T., and Adgo, E., 2015, *Morphological changes of Gumara River channel over 50 years, upper Blue Nile basin, Ethiopia. Journal of Hydrology, Vol. 525, pp.152-164.*
- Briaud, J.L., Chen, H., Change, K., Chung, Y, Park, N., Wang, W.P., 2007, *Establish guidance for soil properties-based prediction of meander migration rate. Texas Transportation Institute.*
- Casado, A., Peiry, J., Cambo, A.M., 2016, *Geomorphic and vegetation changes in a meandering dryland river regulated bu a large dam, Sauce Grand River, Argentina. Geomorphology, Vol. 268, pp.21-34.*
- Charlton, R, 2008, *Fundamental of Fluvial Geomorphology. pp.1-234.*
- Dufour, S., Massimo, R., Hervé, P., Michalon, A., 2015, *How do river dynamics and human influences affect the landscape pattern of fluvial corridors? Lessons from the Magra River, Central-Northern Italy. Journal of Landscape and Urban Planning, vol. 134, pp. 107-118.*
- Giardino, John R and Lee, Adam A., 2011, *Rates of channel migration on the Brazos river. Submitted to the Texas Water Development Board. Department of Geology and Geophysics, Texas A and M University.*
- Heo, J., Duc, T.A., Cho, H.S., Choi, S.U., 2009, *Characterization and prediction of meandering channel migration in the GIS environment: A case study of the Sabine River in the USA. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 152, Issue 1-4, pp. 155-165.*
- Hossain, M. A., Gan, T. Y., and Baki, A. B. M., 2013, *Assessing morphological changes of the Ganges River using satellite images. Quaternary international, Vol. 304, pp. 142-155.*
- Lauer, J. Wesley., 2006, *NCED Stream Restoration Toolbox, Channel plan form Statistics. National center for earth-surface dynamics.*
- Lewin, J., Macklin, M.G., Newson, M.D., 1988, *Regime theory and environmental change irreconcilable concepts? In: White, W.R. Ed., International Conference on River Regime, Wiley: pp. 431-45, New York.*
- Magdaleno, F., and Y. J. A., Fernandez., 2011, *Meander dynamics in a changing river corridor. Geomorphology, Vol. 130, pp. 197-207.*
- Mango, L. M., Melesse, A. M., McClain e., M. E. Gann., Setegn, D., S. G., 2011, *Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: results of a modeling study*

- to support better resource management, *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, pp: 2245–2258.
- Pires-Luiz, C. H and M., Philippe, 2010, *Inferring fluctuations of the aquifer by monitoring the area of small lakes in a Brazilian savanna region using a temporal sequence of 50 Landsat images*. ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7B. pp. 463-468.
 - Provansal, M., Dufour, S., François, S., Anthony, E.J., Raccasi, G., and Robresco, S., 2014, *The geomorphic evolution and sediment balance of the lower Rhône River (southern France) over the last 130 years: Hydropower dams versus other control factors*. *Journal of Geomorphology*, Vol. 219, pp. 27–41.
 - Rapp, R. G. Cygnia and Abbe, T.B., 2003, *A framework for delineating channel migration zones*. Ecology final draft publication
 - Rhoads, B. L., Quinn, W. L., and W. Andresen., 2016, *Historical changes in channel network extent and channel planform in an intensively managed landscape: Natural versus human-induced effects*, *Journal of Geomorphology*, Vol.252, pp. 17–31.
 - Rigon, E., Moretto, J., Rainato, R., Aristide, L. M, and A., Zorzi., 2013, *Evaluation of the Morphological Quality Index in the Cordevole River (Bl, Italy)*, *Journal of Agricultural Engineering*, volume XLIV:e15. Pp.103–113.
 - Rozo, M. G., Nogueira, A. C., and Castro, C. S., 2014, *Remote sensing-based analysis of the planform changes in the Upper Amazon River over the period 1986–2006*. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 51, pp.28-44.
 - Tejada, E. M., Zabalza, J., Rahman Kazi, S.A.G, Moreno, I.J., Vicente, S., Lehmann, A., Tague, C.L., Beniston M., 2014, *Hydrological impacts of climate and land-use changes in a mountain watershed: uncertainty estimation based on model comparison*, *Journal of ECOHYDROLOGY*, Vol.10, pp. 1 – 21.
 - Watson.,C.C., Biedenharn, D.S., Scott, Stephen. H., 1999, *Channel rehabilitation: processes, design, and implementation*. U.S. Army Engineer, Engineer Research and Development Center.
 - Xu, H., 2007, *Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic-oriented index combination technique*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 73, No. 12, PP. 1381-1391.
 - Zaharia, G., I, Gabriel, M., Lili., 2015, *Using Pressure and Alteration Indicators to Assess River Morphological Quality: Case Study of the Prahova River (Romania)*. *Journal of Water*, Vol.7, pp. 2971-2989.
 - Zhang, T., Xingnan, Z, Dazhong, X., Yangyang, L., 2014, *An Analysis of Land Use Change Dynamics and Its Impacts on Hydrological Processes in the Jialing River Basin*, *Journal of Water*, pp. 3758 – 3782.