جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست، زمستان ۱۳۹۵

صص ۸۹-۷۳

DOI: 10.22067/geo.v5i4.56104

بررسی تغییرات مجرای رودخانه ارس با استفاده از روش ترانسکت در طی بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱٤ و تأثیر سازه‌های احداثی در اصلاح مسیر رودخانه (از اصلاندوز تا پارس‌آباد)

اسدالله حجازی- استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

مهدی مدیری- دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مالک اشتر، تهران، ایران

مسعود رحیمی [۱]- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

ارسلان مهرورز - دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۳۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۹/۱۷

چکیده

رودخانه‌ها پدیده‌هایی فعال هستند که دائماً بستر و کناره‌های خود را دستخوش تغییر قرار می‌دهند و همین امر سبب می‌شود که مسیر رودخانه در طول زمان دچار تحولاتی اساسی شود. رودخانه مرزی ارس از جمله پویاترین رودخانه شمال غرب ایران است که جابجایی‌های عرضی چشمگیری را در طول سه دهه گذشته داشته است. در این تحقیق تغییرات مجرای رودخانه ارس در طی ۲۸ سال گذشته با استفاده از روش ترانسکت مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به مرزی بودن رودخانه ارس، مقدار اراضی آزاد شده طی اقدامات اصلاح مسیر رودخانه، محاسبه گردید. نتایج تحقیق نشان داد که میانگین آهنگ جابجایی مجرای رودخانه در طی ۲۸ سال گذشته در حدود۸/٤ متر در سال بوده است. نتایج همچنین نشان داد که در طی دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ میلادی، در حدود ٥۹٤ هکتار و در طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤، حدود ۲۷٥ هکتار به اراضی در دسترس افزوده شده است. اقدامات آنتروپوژنیک مربوط به اصلاح مسیر رودخانه ارس نقش بسیار مهمی در سامان‌دهی این رودخانه داشته است؛ به‌گونه‌ای که از مجموع ۸٦۹ هکتار اراضی افزوده شده نزدیک ٤۲۰ هکتار توسط اقدامات اصلاح مسیر شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل آزاد سازی و به خاک ایران افزوده شده است.

کلیدواژه‌ها: جابجایی عرضی، آهنگ مهاجرت، روش ترانسکت، اصلاح مسیر رودخانه، رودخانه ارس.

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۰۲۲۱٦۸٤۷ Email:masoud.rahimi90@ut.ac.ir

۱. مقدمه

رودخانه‌ها دائماً در حال تغییر و تحول هستند. مفهوم این جمله را کسانی که سالیان متمادی در حاشیه رودخانه سکنی داشته‌اند و یا به فعالیت‌های کشاورزی مشغول‌اند به‌خوبی درک نموده‌اند و معمولاً خاطرات آنان، بیانگر حرکت‌های موضعی و تغییر ابعاد رودخانه به‌طور تدریجی و یا ناگهانی، تحت شرایط سیلاب‌هاست. تغییر و دگرگونی مستمر، از اصول حاکم بر هر رودخانه است که همگام با حرکت و جاری شدن آب و رسوب در بستر آن، تغییر و جابجایی در سایر مشخصات هندسی رودخانه به وقوع می‌پیوندد (راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه، نشریه شماره،۵۹۲ :۱). سیستم رودخانه‌ای به‌صورت پیش‌رونده[1] در طی زمان زمین‌شناسی، به‌عنوان نتیجه‌ای از فرایندهای عادی فرسایشی و نهشته‌گذاری تغییر می‌کند و نسبت به تغییرات اقلیم، سطح اساس، تکتونیک و اثرات انسانی پاسخ می‌دهد لوین[2] (۱۹۷۷) تغییرات مجرا را به دو نوع تغییرات درون‌زاد[3] و تغییرات برون‌زاد[4] تقسیم‌بندی می‌کند. تغییرات درون‌زاد به‌صورت ذاتی در رژیم رودخانه وجود دارند که می‌توان به تغییر مسیر[5]، جابجایی مجرا[6] و میان‌بُرها[7] اشاره کرد. تغییرات برون‌زاد، مواردی هستند که در پاسخ به تغییرات سیستم ازجمله نوسانات اقلیمی و تغییر بار رسوب یا دبی درنتیجه فعالیت‌های انسانی به وجود می‌آیند (گارد[8]، ۲۰۰٦: ۳۱۵). اصلاح مسیر رودخانه شامل تعدیل راستای جریان و بهبود شرایط فیزیکی و هیدرولیکی هندسی رودخانه در یک بازه معین برای تأمین ظرفیت انتقال جریان (سیلاب مورد نظر) و تأمین پایداری نسبی رودخانه(کاهش تأثیرات فرسایش و رسوب‌گذاری) می‌باشد. (نشریه۵۱٦، راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای،۱۳۸۸: ۱۲). مطالعات مختلفی توسط محققان داخلی و خارجی در زمینه ژئومورفولوژی رودخانه‌ای صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ماکس جی روز[9] و همکاران(۲۰۱۳) در تحقیقی به تجزیه‌وتحلیل سنجش از دوری تغییرات پلانفرم بالادست رودخانه آمازون در طی دوره زمانی ۱۹۸٦–۲۰۰٦ پرداخته‌اند. بر اساس یافته‌های آنها، بازه انتخابی نسبت به بازه‌های بالادست و بازه پایین دست، بین تلاقی‌های رودخانه های جوتایی[10] و جاپورا[11]، از فعالیت کمتری برخوردار است. نتایج تحقیقات آنها نشان دهندهٔ تغییراتی در مساحت پلان (۱/٤ درصد در سال) و آهنگ مهاجرت رودخانه (۱۲۵ متر

1 Progressively
2 Lewin
3 Autogenic
4 Allogeneic
5 Avulsion
6 Channel migration
7 Cut-offs
8 Garde
9 Max G. Rozo
10 Jutaí
11 Japura

در سال) می‌باشد. منجیست ابیت[1] و همکاران (۲۰۱٤)در تحقیقی تغییرات مورفولوژیکی رودخانـه گومـارا[2] را در طـی ۵۰ سال اخیر مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این تحقیق از دو سری عکس‌های هوایی مربوط بـه سـال‌هـای ۱۹۸۰ و ۱۹۵۷ و همچنین تصاویر ماهوارهٔ Spot سال ۲۰۰٦ و گوگل ارث استفاده کردند. نتـایج تحقیقـات آنهـا نشـان داد کـه بازه‌های پایین دست رودخانه گومارا دستخوش تغییرات پلانفرمی بزرگی شده‌اند. همچنین آنها اشاره می‌کنند کـه تـأثیر مستقیم فعالیت‌های انسانی همچون ساختن دایک در طول کناره‌های رودخانه در رسوب‌گذاری بستر مشـارکت داشـته است. ام دی آلتاف حسین[3] و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی به ارزیابی تغییرات مورفولوژیک رودخانه گنگ بـا اسـتفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند. آن‌ها در ایـن تحقیـق از تصـاویر مـاهواره‌ای Landsat و IRS در طـی سـال‌هـای ۱۹۷۳ تا۲۰۰۹ استفاده کردند. مطالعات آنها نشان داد که در طی سال‌های مذکور تغییرات قابل ملاحظـه‌ای در کنـاره‌هـا و پوشش گیاهی جزایر رودخانه رخ داده است. بررسی‌های آنها نشان داد که کناره چپ رودخانه گنـگ در بـازه مـورد مطالعه دارای انباشت تدریجی و کناره راست آن تحت تأثیر فرسایش است. همچنین نتـایج تحقیقـات آنهـا نشـان داده که رودخانه گنگ دارای مقدار خیلی بالای فرسایش می‌باشد که علت آن تشکیل شدن کناره‌های رودخانه از مـواد ریـز دانه و همچنین مقدار بالای دبی رودخانه در طی فصول موسمی می‌باشد.

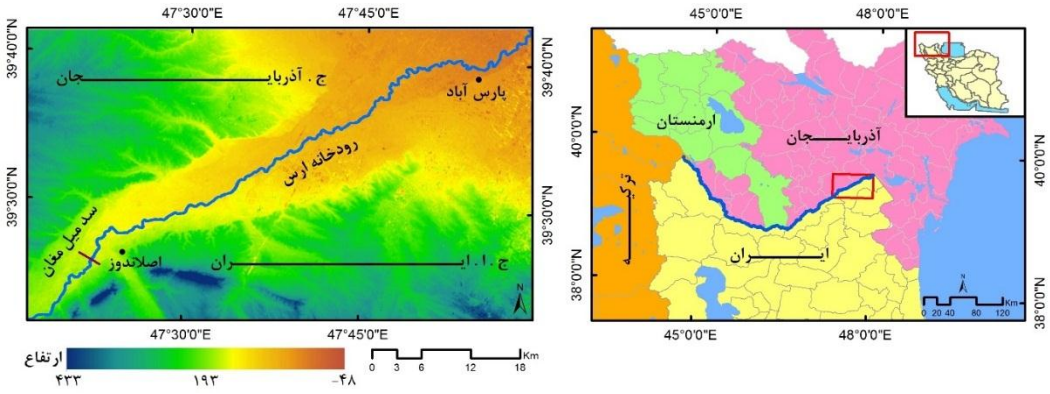
رضایی مقدم و همکاران(۱۳۹۱) طی مطالعه‌ای به بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قـزل‌اوزن بـا اسـتفاده از تحلیل هندسه فرکتال پرداختند. این محققان اشاره می‌کنند که اهمیت اصـلی هندسـه فرکتـال در ایـن اسـت کـه مـدل توصیفی ریاضی برای بسیاری از اشکال پیچیده که در طبیعت یافت می‌شوند، ارائه می‌دهد. نتـایج تحقیـق آن‌هـا نشـان داد که بازه اول (بازه شریانی) بیشترین میزان تغییرات را در سال‌های موردبررسی داشـته و بـازه دوم(بـازه کوهسـتانی) کمترین میزان تغییرات را داشته و بازه سـوم (بـازه نیمـه کوهسـتانی) حالـت بینـابینی را داشـته اسـت. شـریفی کیـا و همکاران(۱۳۹۲) طی مطالعه‌ای به آشکارسازی تغییرات و الگوی مکانی رودخانـه هیرمنـد و تحلیـل مورفولـوژیکی آن پرداختنـد. آن‌هـا الگـوی تغییـرات مکـانی رودخانـه در نـیم‌قـرن گذشـته (۱۳۳٤-۱۳۹۰) از طریـق تحلیـل تصـاویر سنجش‌ازدوری دو زمانه موردبررسی قراردادند. نتایج تحقیق این محققان در خصوص عوامل ایجابی تغییـر در الگـوی فضایی و هندسی رودخانه، علاوه بر تائید و تأکید بر عوامل ثابت محیطی، مسئله خشک‌سالی‌های پـی‌درپـی و انسـداد بستر توسط ماسه‌های انباشته‌شده (حاصل از عمل باد) را عامل محوری و مؤثر این تغییرات می‌داننـد. رضـایی مقـدم و همکاران (۱۳۹۳) طی تحقیقی به بررسی تغییرات مجرا و فرسـایش کنـاری در رودخانـه گاماسـیاب از سـال ۱۳۳٤ تـا ۱۳۸۹ پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که مقدار بالای جابجایی رودخانه و تغییرات الگوی رودخانـه از ۱۳٤۸ تـا ۱۳۸۹ عامل اصلی ایجاد سطوح فرسایشی است. یمانی و همکاران (۱۳۹٤) طی تحقیقی بـه مقایسـه تغییـرات عرضـی

1 Mengiste Abate
2 Gumara
3 Md Altaf Hossain

بستر رودخانه ارس طی سه دهه اخیر در پایین‌دست سد میل مغان پرداخته‌اند. در این مطالعه به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی بستر رودخانه ارس از تصاویر ماهواره‌ای Landsat سنجنده OLI و IRS سنجنده P5 در بازه‌ی زمانی ۱۳٦۷ الی ۱۳۹۲ استفاده گردید و ضرایب هندسی رودخانه برای دو دوره زمانی فوق مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. رودخانه مرزی ارس در طی سال‌های اخیر در نتیجه تغییرات عرضی و افزایش ضریب پیچان رودی سبب شده است که سطح اراضی اطراف رودخانه در ساحل ایران و جمهوری آذربایجان مورد هجوم فرسایش قرار گیرد. در این تحقیق، تغییرات مجرای رودخانه ارس در طی ۲۸ سال گذشته با استفاده از روش نوین ترانسکت تحلیل شده و تأثیر سازه‌های احداث شده به منظور اصلاح مسیر مورفولوژی رودخانه از شهرستان اصلاندوز تا شهرستان پارس‌آباد مورد بررسی قرار می‌گیرد. رودخانه ارس علاوه بر اهمیت فراوانی که در رابطه با تأمین آب بخش‌هایی از مناطق شمال‌غرب کشور دارد، در مسافت‌های زیادی خط مرزی ایران با کشورهای آذربایجان و ارمنستان را ترسیم می‌کند و درنتیجه تحقیق در زمینه تغییرات جانبی رودخانه ضرورت می‌یابد.

۲. منطقه مورد مطالعه

رودخانه ارس یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های مرزی ایران در حوضه آبریز دریای خزر می‌باشد. رودخانه ارس از کوه‌های هزار برکه (مین گل داغ) ترکیه واقع در شرق ترکیه سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از طی مسیری در حدود ٤٥۰ کیلومتر در روستای تازه کند پارس‌آباد از مرز ایران جداشده وارد خاک جمهوری آذربایجان می‌شود و پس از پیوستن به رودخانه کورا وارد دریاچه خزر می‌گردد. منطقه مورد مطالعه، بازه‌ای از رودخانه ارس به طول تقریبی ۷۲ کیلومتر از شهرستان اصلاندوز تا شهرستان پارس‌آباد می‌باشد (شکل ۱). از نظر موقعیت جغرافیایی این محدوده در عرض‌های ″۵۹ ′۱۷ ۳۹ تا ″٤۱ ′۵۱ ۳۹ شمالی و ″۱۱ ′۲۹ ٤۷ تا ″۵۳′۵۸ ٤۷ شرقی قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال غرب کشور

مواد روش‌ها

نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تصویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۲۷ متر و تصاویر ماهواره‌ای شامل تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست 5 و تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست 8 مهم‌ترین مواد این تحقیق می‌باشد. جهت استخراج مجرای رودخانه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا تصاویر Landsatوارد نرم‌افزار ENVI شد و ضریب همبستگی بین کلیه باندهای تصویر محاسبه گردید. در این زمینه، روش‌های مختلفی برای تفکیک آب از سایر عوارض وجود دارد که از جمله می‌توان به تبدیل تسلدکپ[1]، تحلیل مولفه‌های اصلی[2] و استفاده از شاخص‌های مختلفی مانند تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده[3] (NDVI)، شاخص آب[4] (WI)، شاخص تفاضل آب نرمال شده[5] (NDWI) و شاخص اصلاحی تفاضل آب نرمال‌شده[6] (MNDWI) اشاره کرد (پایرز لویز و همکاران[7] ۲۰۱۰: ۴۶۳-۴۶۸ و ایکس یو [8]۲۰۰۷: ۱۳۸۱-۱۳۹۱) :

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

$$WI = (B_1 + B_2 + B_3) / (B_4 + B_5 + B_7) \quad \text{رابطه (۲)}$$

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

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

در روابط بالا NIR یک باند مادون قرمز نزدیک؛ MIR یک باند مادون قرمز میانی؛ Red باند قرمز؛ Green باند سبز و B_i شماره باند در تصاویر +ETM است. در ادامه با استفاده از فاکتور OIF[9]، سه باند با کمترین وابستگی انتخاب شد و تصویر رنگی کاذب[10] منطقه تولید گردید. به منظور تشخیص هرچه بهتر رودخانه از فیلتر بالا گذر سوبل[11] استفاده شد. این فیلتر با تقویت فرکانس‌های بالا در تصویر موجب شفافیت و وضوح بیشتر لبه‌ها در تصویر می‌شود. با توجه به این که رودخانه به عنوان یک عارضه فرکانس بالا در تصویر ظاهر می‌شود، بنابراین توسط فیلتر سوبل به عنوان لبه در نظر گرفته شده و با اعمال این فیلتر تشخیص رودخانه در تصاویر ماهواره‌ای راحت‌تر صورت

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
9 Optimum index factor
10 False color
11 Sobel Filter

می‌گیرد. در مرحله بعد به منظور افزایش کنتراست تصویر از روش یکسان‌سازی هیستوگرام[1] استفاده گردید. روش-های مختلفی برای بررسی تغییرات و جابجایی‌های صورت گرفته در مجرای رودخانه وجود دارد که می‌توان به تحلیل پلیگون[2]، روش شعاع انحنا[3] و روش ترانسکت[4] اشاره کرد (رپ[5] و همکاران،۲۰۰۳: ٤٢ ؛ گرادینو و لی[6]، 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 کمّی محاسبه کرد. به عبارت دیگر روش ترانسکت، شامل ترسیم یک سری از ترانسکت های عمود بر دشت سیلابی رودخانه و اندازه گیری فاصله بین نقاط متقاطع بین خط مرکزی کانال و ترانسکت برای چهارچوب (دوره‌های- مقاطع) زمانی بعدی می‌باشد (گرادینو و لی، ۲۰۱۱: ۸). هنگامیکه مجرا در جهت راست (به سمت ایران) جابجا شود مساحت ترانسکت سمت راست مجرا کاهش پیدا کرده و بر مساحت ترانسکت سمت چپ مجرا (طرف آذربایجان) افزوده می‌شود و برعکس. درنهایت، متوسط شدت جابجایی عرضی مجرا در طی ۲۸ سال گذشته محاسبه می‌شود. سه روش برای پیش‌بینی مهاجرت مئاندر وجود دارد: تکنیک‌های همپوشانی دستی، تکنیک‌هایی که توسط کامپیوتر پشتیبانی می‌شوند، و تکنیک‌های اندازه‌گیری و برون-یابی[7] مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، در این میان، تکنیک‌های مبتنی بر GIS بواسطه استفاده از نقشه‌برداری دیجیتال و فن‌آوری پایگاه داده حاصل شده است. اندازه‌گیری دیجیتال و تحلیل فضایی در GIS می‌تواند برای اندازه‌گیری شعاع خم، مرکز ثقل خم، عرض مجرا، طول موج خم بکار گرفته شود (هیو[8] و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۵–۱٦۵). 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 مجرا می‌توان از رابطه ۵ استفاده کرد (گرادینو و لی، ۲۰۱۱: ۸ ؛ شیلدز[9] و همکاران،۲۰۰۰: ٥٤–٦٦, ماگدالنو[10] و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۹۷–۲۰۷):

$$R_m = (A / L) / y \qquad \text{رابطه (۵)}$$

1 Histogram Equalization
2 Polygon Analysis
3 Radius of Curvature
4 Transect Method
5 Rapp,Abbe
6 Giardino, Lee
7 extrapolation
8 Heo at al
9 Shields et al
10 Magdaleno et al

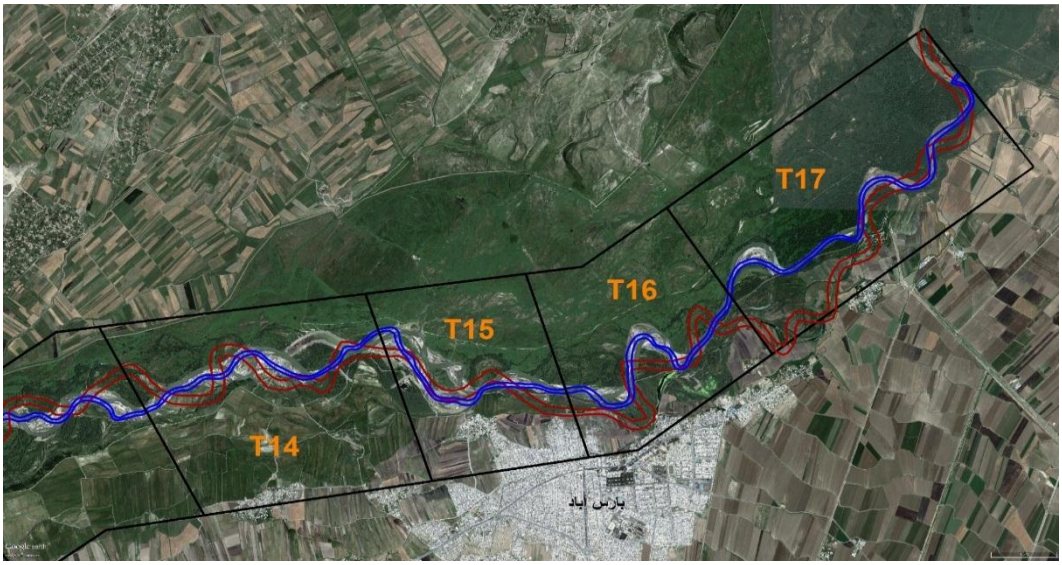
که در آن: R_m شدت جابجایی عرضی(آهنگ مهاجرت)؛ A مساحت موجود بین دو خط مرکزی مجـرا؛ L طـول خط مرکزی مجرا در زمان t_1؛ و y تعداد سال می‌باشد. در این زمینه، برای افزایش دقت کار در رابطه بـا محاسـبه خـط مرکزی مجرا و سایر محاسبات از افزونه[1] Planform Statistics (لوورر[2]، ۲۰۰٦، ۱۹) کمک گرفته شد .

٤. بحث و نتایج

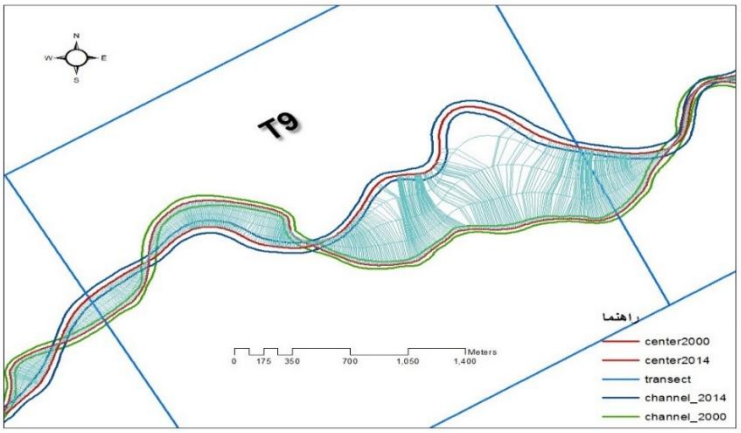
بررسی تغییرات مجرای رودخانه ارس

میانگین جابجایی عرضی مجرای بازه مورد مطالعه از رودخانه ارس برای دوره زمـانی ۱۹۸۷ تـا ۲۰۰۰ حـدود ۸/۸ متر و برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤ در حدود ۸ متر می‌باشد که این ارقام بسـیار چشـمگیر بـوده و از ایـن نظـر بـه احتمال زیاد پویاترین رودخانه شمال‌غرب کشور و یکی از پویـاترین رودخانـه‌هـای ایـران مـی‌باشـد. در هـر یـک از ترانسکت‌ها، میانگین جابجایی عرضی به صورت جداگانه محاسبه شـد (جـدول ۱). در اشـکال (۲و۳) روش محاسـبه میزان جابجایی عرضی مجرا در بخشی از ترانسکت های ۹، ۱٤و۱۵ نشان داده شـده اسـت. بیشـترین مقـدار میـانگین جابجایی جانبی مجرا بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤ با مقدار بسیار قابل‌توجه ۲٤/۷ متر، مربـوط بـه ترانسـکت شـماره ۹ می‌باشد که نتیجه آن افزوده شدن بیش از ۹۷ هکتار زمین به طرف ایران و به همـین نسـبت از دسـت رفـتن زمـین از طرف جمهوری آذربایجان می‌باشد. در این ترانسکت، رودخانه از یک طرف از نوع مئاندری توسـعه یافتـه اسـت و در طی دوره مورد مطالعه، چندین میان‌بُر ایجاد شده است و از طرف دیگر، در این ترانسکت در طـی دوره مـورد مطالعـه تغییرمسیر مجرا (به طول حدود ۲ کیلومتر) اتفـاق افتـاده اسـت. بـا مقایسـه مقـادیر میـانگین زاویـه مرکـزی و شـدت جابجایی عرضی مجرا می‌توان گفت، در ترانسکت‌هایی که پلان‌فرم رودخانه از نوع مئانـدری توسـعه یافتـه مـی‌باشـد (مانند ترانسکت های شماره ۹ و۱۲) به دلیل ایجاد میان‌بُر و تغییرمسیر، مجـرا از آهنـگ جابجـایی بـالاتری برخـوردار بوده است. اما در ترانسکت‌های محـدودی کـه در آن مسـیر رودخانـه گـرایش بـه یـک الگـوی مسـتقیم دارد (ماننـد ترانسکت ۵) یعنی دارای مقادیر ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی کمتری می‌باشـند میـزان جابجـایی نیـز کمتـر بـوده است.

1 Add In
2 Lauer



شکل ۲- بخشی از ترانسکت های ترسیمی بر روی مجرای رودخانه ارس (آبی : مجرای ۲۰۰۰ و قرمز: مجرای ۱۹۸۷)



شکل ۳- روش محاسبه میزان جابجایی عرضی مجرا (ترانسکت ۹، مجاورت روستای توپراق کندی)

در منطقه مورد مطالعه، تغییرات مجرا با توجه به روند گذشته به سه دلیل عمده اتفاق افتاده است: ۱- مهاجرت مجرا در دشت سیلابی بواسطه فرسایش کناره مقعّر حلقه‌های[1]مئاندرها که با توجه به شرایط محلی از شدت و ضعف برخوردار بوده است، ۲- ایجاد میان‌بُرها بواسطه پیشروی و نزدیک شدن پایه مئاندرها، که آثار آن به صورت مجراهای متروک قابل مشاهده می‌باشد و ۳ - تغییر مسیر[2] بخشی از مجرای رودخانه که به عنوان نمونه می‌توان به ترانسکت ۹ اشاره کرد که یک تغییر مسیر به طول حدوداً ۲ کیلومتر در آن دیده می‌شود. در واقع، مقادیر زیاد و

1 Loops
2 Avulsion

غیرمعمول میزان جابجایی عرضی در برخی از ترانسکت‌ها مربوط به این تغییر مسیرها می‌باشد تا فرسایش کناره. ازاینرو، در بازه مورد مطالعه رودخانه ارس، تغییرمسیر مجرا می‌تواند به عنوان 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 مجرایی جدید ایجاد می‌شود. شوم (۲۰۰۵) علل بنیادین تغییر مسیرها (یعنی آن دسته از فرایندها یا رخدادهایی که رودخانه را به یک آستانه تغییر مسیر هدایت می‌کنند) را در چهار گروه سازماندهی می‌کند. در این رابطه، برای رودخانه ارس داده‌های ضروری به دلیل مرزی بودن بسیار محدود می‌باشد. اما تغییر مسیرهای صورت گرفته در مجرای رودخانه را می‌توان تا حد زیادی به افزایش سینوزیته (گروه۱) و رخداد سیلاب‌ها مخصوصاً در فصل بهار و تأثیر تلاقی‌ها (گروه۳) نسبت داد.

سوای از مسائل حقوقی مربوط به معاهدات مرزی بین دو کشور ایران و آذربایجان، جابجایی جانبی مجرا مخصوصاً تغییرمسیرها می تواند برای هر دو کشور مسائل مختلفی مانند ازدست رفتن اراضی را موجب گردد. جابجایی عرضی مجرا باعث تغییر مساحت ترانسکت‌ها در دو طرف رودخانه شده است. در جدول (۱)، مقادیر تغییرات در مساحت ترانسکت‌های طرف راست و چپ مجرا با ارقام مثبت و منفی ذکر شده است. برای نمونه؛ مقادیر ترانسکت۱۲(T12) نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱٤ میلادی مجرای رودخانه در این محدوده، بیشترین جابجایی را به سمت راست یا طرف ایران انجام داده که درنتیجه آن ۳۰ هکتار از اراضی طرف ایران از دسترس خارج شده و به همین نسبت به اراضی طرف آذربایجان افزوده شده است. بیشترین میزان تغییر مساحت در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤ مربوط به ترانسکت ۹ با مقدار نزدیک به ۹۷ هکتار به نفع اراضی طرف ایران بوده است. در کل، نتایج نشان می‌دهد که در طی دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰، نزدیک ۱٦۵ هکتار از اراضی ایران در نتیجه تغییرات مجرا از دسترس خارج شده بوده و بر عکس در حدود ۵۹٤ هکتار به اراضی در دسترس اضافه شده است. همچنین باید افزود در طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤، در حدود ۷۵ هکتار از اراضی ایران درنتیجه تغییرات مجرا از دسترس خارج شده و برعکس در حدود ۲۷۵ هکتار به اراضی در دسترس افزوده شده است. در مورد رودخانه ارس می‌توان گفت که در طول ۲۸ سال از بالادست محدوده‌های اصلاندوز تا تازه کند (خروجی رودخانه ز ایران) تغییرات شدید عرضی در مسیر مجرای رودخانه اتفاق افتاده است. در واقع از سال ۱۹۸۷ تا اکنون رودخانه بیشتر به سمت کشور جمهوری آذربایجان متمایل و منحرف شده است.

جدول ۱- مقادیر مربوط به شاخص‌های کمّی مجرای رودخانه

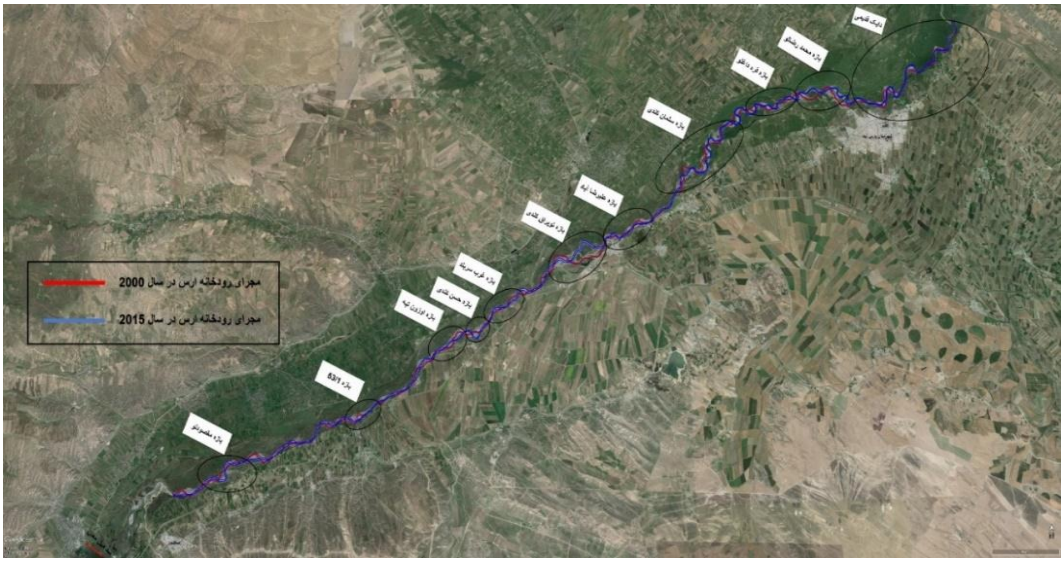
ترانسکت	جهت نسبت به مجرا	مساحت در سال۱۹۸۷ (هکتار)	مساحت در سال۲۰۰۰ (هکتار)	مساحت در سال ۲۰۱٤ (هکتار)	میزان تغییرات (هکتار) ۲۰۰۰-۲۰۱٤	میزان تغییرات (هکتار) ۱۹۸۷-۲۰۰۰	شدت جابجایی عرضی مجرا (m/y) ۲۰۰۰-۲۰۱٤	شدت جابجایی عرضی مجرا (m/y) ۱۹۸۷-۲۰۰۰
T1	R	۲٤٥/۰۲	۲٦۷/۰۸	۲٦۳/۷۹	-۳/۲۹	۲۲/۰٦	۵/۱۷۵	۸/۲۲۱
	L	٦۱۵/۵۲	۵۹۳/٤۵	۵۹٦/۷٤	۳/۲۹	-۲۲/۰٦		
T2	R	۳۲٦/۸۸	٤٦٦/۸۸	٤٤۵/۸۵	-۲۱/۰۳	۱٤۰/۰۱	۸/۰۵۵	۳/۰۵۸
	L	۷۱۳/۰۱	۵۷۳	۵۹٤/۰٤	۲۱/۰۳	-۱٤۰/۰۱		
T3	R	۳۹۹/۹۰	٤۱۰/۹٤	٤۰۹/٦۸	-۱/۲٦	۱۱/۰٤	۱/۹۲۳	۲/۸۱۳
	L	۵۰٤/٦۲	٤۹۳/۵۸	٤۹٤/٤۸	۱/۲٦	-۱۱/۰٤		
T4	R	۵۵٦/۵۰	۵۸۰/٤٤	۵۹۰/٤۳	۱۰	۲۳/۹٤	۵/۰۹۱	۵/۷۸
	L	۵۰۷/۹۷	٤۸٤/۰۳	٤۷٤/۰۳	-۱۰	-۲۳/۹٤		
T5	R	٦۲۸/۸٦	۵۹۹/۸۸	٦۰٦/۵٦	٦/٦۸	-۲۸/۹۸	۱/۹۰۳	۷/۳۵٦
	L	۳۹٦/۳۹	٤۲۵/۳۷	٤۸۰/۷۰	-٦/٦۸	۲۸/۹۸		
T6	R	۵۹٤/۱۰	۵۵۵/۰٤	۵۷۱/٤٦	۱٦/٤۳	-۳۹/۰۷	۷/۱۸۳	۱٤/٦۹۵
	L	۲۱۰/۹٤	۲۵۰/۰۱	۲۳۳/۵۸	-۱٦/٤۳	۳۹/۰۷		
T7	R	۷۵۸/۸۸	۷۱۹/٦۰	۷۱۷/۵۷	-۲/۰۳	-۳۹/۲۷	۸/۳۱٤	۱۱/۳۲۵
	L	٤۱۰/۹۰	٤۵۰/۱۷	٤۵۲/۲۰	۲/۰۳	۳۹/۲۷		
T8	R	٦٤٤/۳۷	٦۳۱/۲۰	٦۲٦/۰۵	-۵/۲٤	-۱۳/۰۹	٦/۸۹۸	٦/٤٦۷
	L	٤٦٤/٤۰	٤۷۷/٤۸	۸٤۲/۷۲	۵/۲٤	۱۳/۰۹		
T9	R	٤٤۸/۳۰	٤۷۷/۵۱	۵۷٤/۸۸	۹۷/۳۷	۲۹/۲۱	۲٤/۷۱۷	٦/۷۸۳
	L	۵۳٤/۵۰	۵۰۵/۲۹	٤۰۷/۹۱	-۹۷/۳۷	-۲۹/۲۱		
T10	R	۲۱۵/۳٦	۲٤۹/۵۷	۲٦۷/۹۲	۱۷/٦۵	۳٤/۲۱	۵/۷۲۵	۱۰/۳۵۸
	L	۵۵۹/۲۸	۵۲۵/۰۷	۵۰۷/٤۲	-۱۷/٦۵	-۳٤/۲۱		
T11	R	۲۱۱/۸۱	۲۲٦/۷۱	۲۱۹/۹۸	-٦/۷۳	۱٤/۹۰	۲/٤۲۰	۵/٤۸۹
	L	۸۳٦/۱۹	۸۲۱/۲۸	۸۲۸/۰۱	٦/۷۳	-۱٤/۹۰		
T12	R	۷۸٤/٦۲	۸۲۸/۷٦	۷۹۹/۱٤	-۲۹/٦۲	٤٤/۱٤	۹/٦۱۵	۱۱/٤۷۸
	L	۸۳٤/٦۱	۷۹۰/٤٦	۸۲۰/۰۹	۲۹/٦۲	-٤٤/۱٤		
T13	R	٦۹۰/۵۷	٦٤۵/٤۵	٦٤۰/۵۳	-٤/۹۲	-٤۵/۱۱	۱۲/۰۹۰	۱٤/۹۵۲
	L	۲۹۰/۰۷	۳۵۵/۱۸	۳٤۰/۱۱	٤/۹۲	٤۵/۱۱		
T14	R	۷۵۳/۲۹	۷۷۸/۷۱	۸۲۱/۹۸	٤۳/۲۸	۲۵/٤۲	۱۳/۷۳۳	۱۱/۱۰٦
	L	٤۲۷/٤۲	٤۰۲/۰۱	۳۵۸/۷۳	-٤۳/۲۸	-۲۵/٤۲		
T15	R	۳۲٤/۳۰	۳۳۸/۷۹	۳۹۸/۸۲	٦۰/۰۲	۱٤/۵۰	۱۳/۵۲٦	۱۰/٤۲۵

ادامه جدول ۱

ترانسکت	جهت نسبت به مجرا	مساحت در سال۱۹۸۷ (هکتار)	مساحت در سال۲۰۰۰ (هکتار)	مساحت در سال ۲۰۱٤ (هکتار)	میزان تغییرات (هکتار) ۲۰۱٤- ۲۰۰۰	میزان تغییرات (هکتار) ۲۰۰۰- ۱۹۸۷	شدت جابجایی عرضی مجرا (m/y) ۲۰۱٤-	شدت جابجایی عرضی مجرا (m/y) ۲۰۰۰-
	L	٤١٥/٣٩	٤٠٠/٩٠	٣٤٠/٨٧	-٦٠/٠٢	-١٤/٥٠		
T16	R	٢٤٣/٧٣	٣٠٢/٠٤	٣٠٤/٥٠	٢/٤٧	٥٨/٣٠	٤/٩٥٩	١٢/٩٥٩
	L	٥٨٤/٧١	٥٢٦/٤١	٥٢٣/٩٤	-٢/٤٧	-٥٨/٣٠		
T17	R	٣٦٧/٩١	٥٤٤/٩٢	٥٦٦/٩٢	٢٢	١٧٧/٠١	٣/٦٧٩	٤/٨٧
	L	١٠١٤/٤٤	٨٣٧/٤٢	٨١٥/٤٢	-٢٢	-١٧٧/٠١		

تأثیر سازه‌های احداثی در اصلاح مسیر رودخانه

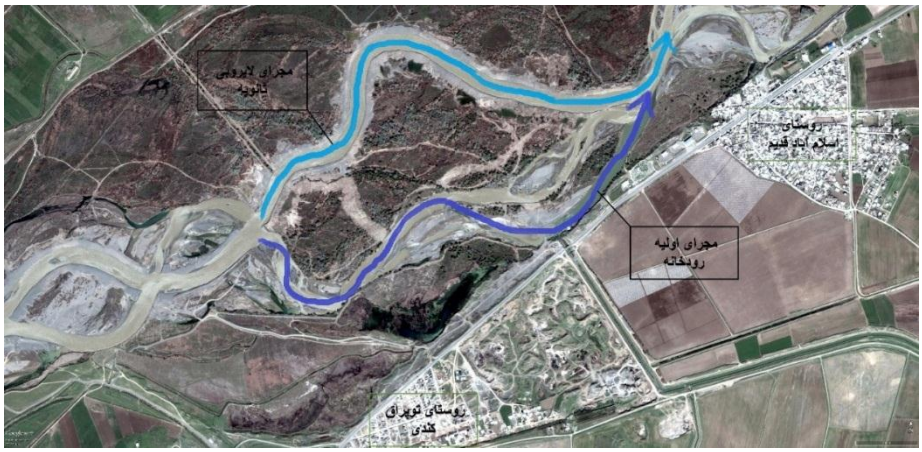
اصلاح و ساماندهی مسیر رودخانه ارس در منطقه مورد مطالعه (از اصلاندوز تا پارس‌آباد) در ۱۱ بازه مختلف توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل صورت گرفته است. این اقدامات در بازه‌هایی با نام‌های : دایک قدیمی، بازه محمد رضالو، بازه قره داغلو، بازه سلمان کندی، بازه علیرضا آباد، بازه توپراق کندی،بازه غرب سربند، بازه حاج حسن کندی، بازه اوزون تپه، بازه ۵۳/۱، بازه مقصودلو نقش بسیار مهمی در اصلاح مسیر رودخانه و جلوگیری از جابجایی‌های عرضی رودخانه ارس در طی سال‌های گذشته داشته است.



شکل ٤- موقعیت بازه‌های اصلاحی مسیر رودخانه ارس

در بین این بازه‌های اصلاحی تنها بازه‌های مقصودلو و اوزون تپه دارای سازه آبشکن بوده و بقیه بازه‌ها در جهت اصلاح مسیر رودخانه از سازه‌هایی چون دیوار ساحلی استفاده کرده‌اند. در کل مسیر رودخانه ارس از لحاظ پایداری و ناپایداری بستر و کناره‌های رودخانه سه محدوده متمایز وجود دارد. محدوده اول از بند میل مغان تا محدوده روستای مقصودلوی علیا (میله مرزی ۵۲/۲) می‌باشد که بستر و جداره رودخانه در هر دو قسمت ایران و آذربایجان تثبیت شده و بدون آثار فرسایش است. ضمن این که در این محدوده بستر رودخانه بیشتر رسوبگذار بوده به طوری که در بعضی از مکان‌ها می‌توان نقاط مناسب برای برداشت مصالح رودخانه را نیز مشاهده کرد. محدوده دوم از میله مرزی ۵۱/۲ تا پاسگاه سربند است که در این مسیر ساحل سمت ایران دچار فرسایش شدید همراه با ترانشه های عمودی بلند و ریزشی می‌باشد. یکی از علل این امر، پوشش ضعیف گیاهی در سمت ایران و پوشش گیاهی خوب و متراکم در سمت کشور مقابل است. این امر اگر چه تأثیر به سزایی در تثبیت سواحل رودخانه ارس ایفا می‌کند ولی گاها ترانشه های بلندی مشاهده می‌شود که فاصله زیادی از رودخانه دارند. در این مورد می‌توان به ساختارهای تکتونیکی و زمین شناسی منطقه اشاره کرد و علت را از این جهت مورد بررسی قرار داد. به عبارت دیگر در مورد این ترانشه ها، رودخانه تأثیر چندانی در تشکیل آنها نداشته است و جزو پادگانه‌های رودخانه‌ای دوره‌های گذشته زمین شناسی می‌باشند. علاوه بر این در بعضی از ترانشه ها، در سمت مقابل با وجود پوشش گیاهی همسان با ساحل ایران، ساحل کم شیب و تثبیت شده ولی به فاصله ۱۰۰ متری در سمت ایران(با همان پوشش گیاهی) ترانشه عمودی فرسایش بسیار بلند وجود دارد به طوری که رودخانه دارای یک شیب جانبی به سمت ساحل ایران است و با قرار گرفتن جریان در پای ترانشه به تدریج ترانشه توسعه یافته و به سمت اراضی کشور ایران پیشروی می‌کند. محدوده سوم از پاسگاه سربند تا انتهای محدوده مطالعاتی(روستای تازه کند) است که به علت متراکم شدن پوشش گیاهی، ساحل ایران نیز تثبیت شده و دیگر از ترانشه های عمودی بلند خبری نیست. فقط در بعضی از نقاط به طور موضعی می‌توان آثار فرسایش را در قالب ترانشه مشاهده کرد (مهندسین مشاور یکم،۱۳۹٤: ۵۷). در قسمت‌هایی که توان رودخانه کاهش می‌یابد، می‌توان شاهد نهشته گذاری حجم زیادی از رسوبات، همزمان و بعد از گذر سیلاب بود، به طوری که در برخی قسمت‌ها، مجرای رودخانه رفتار آستانه‌ای گذر به الگویی گیسویی را نشان می‌دهد (رضایی مقدم و همکاران،۱۳۹۵: ١٦).در بخش فوقانی این محدوده رودخانه به شدت گیسویی و چند شاخه‌ای بوده به طوری که تپه‌ها و نهشته‌های بزرگ رسوبی در بستر رودخانه شکل گرفته است و در صورت لزوم می‌توان از انها به عنوان مصالح رودخانه در کارهای ساختمانی بهره برد. به جز موارد اشاره شده فوق، در بعضی از مناطق رودخانه ارس، طرح‌های ساماندهی و احیای اراضی از دست رفته اجرا شده است که از آن جمله می‌توان به کانال لایروبی توپراق کندی، و محمدرضالو اشاره کرد. در بازه توپراق کندی لایروبی رودخانه به منظور احیای اراضی و بازپسگیری اراضی از دست رفته طی سالیان متمادی صورت گرفته است که باعث شده رودخانه از ساحل ایران دور شود. این اقدامات

باعث شده که در این بازه از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱٤ حدود ۱۳۰ هکتار به زمین‌های ساحلی ایران افزوده شود که این رقم بسیار بزرگی بوده و اهمیت اقدامات حفاظتی مثبت شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل را نشان می‌دهد. باید اشاره کرد که در این بازه جهت جلوگیری از جابجایی‌های عرضی رودخانه ارس دایک توپراق کندی با پوشش ریپ ریپ احداث گردیده است که این اقدامات چنان چه در شکل ۵ نیز نشان داده شده، عملیات بسیار موفقی در جهت اصلاح و ساماندهی مجرای رودخانه ارس بوده است. این بازهٔ اصلاحی در ترانسکت ۹ قرار گرفته است.



شکل ۵- انتقال مجرای رودخانه ارس در بازه تورپاق کندی توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل

در بازه محمد رضالو طی اجرای طرح ساماندهی رودخانه ارس با احداث دیوار ساحلی، نزدیک ۱٤۰ هکتار بر زمین‌های ساحلی ایران افزوده شده است. این اقدامات اصلاح مسیر رودخانه، نقش بسیار خوبی در کاهش جابجایی‌های عرضی رودخانه ارس داشته است. نمونه‌ای از این دیوارهای ساحلی حفاظتی جهت اصلاح مسیر رودخانه در بازه محمدرضالو در شکل ٦ نشان داده شده است.

شکل ٦- سازه‌های احداثی(دیوار ساحلی) در ساحل راست ارس در بازه اصلاحی محمدرضالو

شکل ۷- نمونه‌ای از دیوار ساحلی حفاظتی ساخته شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل در بازه محمد رضالو

در این مناطق مسیر جریان اصلاح گردیده است. واضح است که در اثر تغییر مسیر رودخانه، پارامترهای ریخت شناسی رودخانه نیز دستخوش تغییر می‌گردد. در صورتی که با اصلاح مسیر رودخانه، طول رود کاهش یابد، شیب طولی رودخانه افزایش خواهد یافت. این تغییر سبب می‌شود که مسیر لایروبی دچار کف کنی و فرسایش در کناره‌ها گردد. این امر تا زمانی که رودخانه به شیب قبلی خود برسد ادامه خواهد داشت. اگر با ایجاد مجرای لایروبی، طول مسیر جریان افزایش یابد، شیب طولی کاهش یافته و سرعت تنش برشی نیز کم می‌گردد. این امر موجب رسوب‌گذاری در مجرای لایروبی شده و به تدریج با بالا آمدن بستر رودخانه، شیب مجرای لایروبی به شیب قبلی خود متمایل می‌گردد. گذشته از این، در پایین دست مجرای لایروبی و در جایی که کانال لایروبی و رودخانه ارس یکی شوند نیز باید تمهیدات خاصی جهت مقابه با برخورد مستقیم جریان آب به ساحل ایران اندیشیده شود. در غیر این صورت، آثار فرسایش و ایجاد ترانشه عمودی در پایین دست بازه لایروبی اجتناب پذیر خواهد بود.(مهندسین مشاور یکم،۱۳۹٤: ۵۳)

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از روابط و شاخص‌هایی، پلان‌فرم و تغییرات عرضی بازه‌ای از مجرای رودخانه ارس به طول ۷۲ کیلومتر با استفاده از روش ترانسکت مورد بررسی قرار گرفت. رودخانه با توجه به روند تغییرات مورفولوژیکی مجرا به ۱۷ ترانسکت تقسیم‌بندی شد و مقدار مساحت جابجا شده برای هر یک از ترانسکت ها به صورت کمی محاسبه گردید. در این پژوهش با استفاده از روش جدید ترانسکت آهنگ مهاجرت رودخانه ارس

برای اولین بار در ایران در طی دو مقطع زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤ محاسبه گردید. میانگین آهنگ جابجایی مجرای رودخانه در حدود ۸/٤ متر در سال بوده و از این نظر بسیار دینامیک می‌باشد. نتایج نشان داد که در طی دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰، در حدود ٥۹٤ هکتار و همچنین در طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤، حدود ۲۷٥ هکتار به اراضی در دسترس افزوده شده است. بررسی میزان جابجایی رودخانه ارس نیز تغییرات زیادی را در طول ۲۸ سال اخیر آشکار ساخت؛ به گونه‌ای که حتی در بخش‌هایی میزان جابجایی عرضی رودخانه ارس به ۱/۷ کیلومتر هم رسیده بود. از نوآوری‌های این تحقیق نسبت به پژوهش‌های قبلی می‌توان به استخراج میانگین آهنگ مهاجرت برای رودخانه ارس و همچنین استخراج مقدار مساحت جابجاشده کناره‌های رودخانه در طی بازه زمانی مذکور و همچنین بررسی تأثیر سازه‌های اصلاحی اشاره کرد. در منطقه مورد مطالعه، تغییرات مجرا با توجه به روند گذشته به سه دلیل عمده اتفاق افتاده است: ۱–مهاجرت مجرا در دشت سیلابی بواسطه فرسایش کناره مقعّر حلقه‌های مئاندرها که با توجه به شرایط محلی از شدت و ضعف برخوردار بوده است؛ ۲– ایجاد میانبُرها بواسطه پیشروی و نزدیک شدن پایه مئاندرها، که آثار آن به صورت مجراهای متروک قابل مشاهده می‌باشد؛ ۳– تغییر مسیر بخشی از مجرای رودخانه. به احتمال زیاد، تغییر مسیرها ناشی از طغیان‌های رودخانه مخصوصاً در فصل بهار و اغتشاشات ناشی از تلاقی‌ها می‌باشد. اصلاح و ساماندهی مسیر رودخانه ارس در منطقه مورد مطالعه (از اصلاندوز تا تازه کند) در ۱۱ بازه مختلف توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل صورت گرفته است. اقدامات اصلاح مسیر رودخانه ارس نقش بسیار مهمی در سامان‌دهی این رودخانه داشته است به گونه‌ای که از مجموع ۸٦۹ هکتار اراضی افزوده شده نزدیک ٤۲۰ هکتار توسط اقدامات اصلاح مسیر شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل آزاد سازی و به خاک ایران افزوده شده است. نتایج کلی حاصل از بررسی جابجایی عرضی رودخانه نشان داد که در رودخانه ارس مجرا به طور مدام از طریق مهاجرت جانبی، ایجاد میانبُرها و تغییر مسیر دستخوش تغییراتی می‌شود و در آینده نیز بدون شک این تغییرات تداوم خواهد یافت.

کتابنامه

رضایی مقدم، محمد حسین؛ رجبی، معصومه ؛ دانشفراز، رسول؛ خیری زاده، منصور؛ ۱۳۹٥. پهنه بندی و بررسی اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه زرینه رود (از ساری قمیش تا سد نوروزلو). جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۱۷. صص ۱–۱۹.

رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ ثروتی، محمدرضا؛ اصغری سراسکانرود، اصغر؛ ۱۳۹۱. بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از تحلیل هندسه فراکتال، نشریه علمی– پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز). سال ۱٦. شماره ٤۰. صص ۱۳۹–۱۱۹.

رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ پیروزی‌نژاد، نوشین؛ ۱۳۹۳. بررسی تغییرات مجرا و فرسایش کناره‌ای در رودخانه گاماسیاب از سال ۱۳۳٤ تا ۱۳۸۹. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۱۸. شماره ٤۷. صص ۱۳۲-۱۰۹.

شریفی کیا، محمد؛ مال امیری، نعمت؛ ۱۳۹۲. آشکارسازی تغییرات الگوی مکانی رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی. شماره ٤. صص ۱٦۰-۱٤۹.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی؛ ۱۳۹۱. راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها. نشریه شماره ۵۹۲.

مهندسین مشاور یکم؛ ۱۳۷۵. مطالعات مرحله اول سازمان دهی سواحل رودخانه ارس. شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل.

یاسی، مهدی؛ ۱۳۸۸. راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن های رودخانه‌ای. نشریه۵۱٦ دفتر نظام فنی اجرایی، وزارت نیرو.

یمانی، مجتبی؛ رحیمی، مسعود؛ ویسی، عبدالکریم؛ ۱۳۹٤. مورفومتری و مقایسه تغییرات عرضی رودخانه ارس طی سه دهه اخیر (مطالعه موردی : پایین‌دست سد میل مغان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. شماره ٤. صص ۸۹-۷٤.

Abate, M., Nyssen, J., Steenhuis, T. S., Moges, M. M., Tilahun, S. A., Enku, T., & Adgo, E. (2015). Morphological changes of Gumara River channel over 50 years, upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, *525*, 152-164.

Giardino, J. R., & Lee, A. A. (2011). *Rates of channel migration on the Brazos river*. Submitted to the Texas Water Development Board. Department of Geology & Geophysics, Texas A & 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, 152*(1-4), 155-165.

Hossain, M. A., Gan, T. Y., & Baki, A. B. M. (2013). Assessing morphological changes of the Ganges River using satellite images. *Quaternary international, 304*, 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 W. R. White (Ed.), *Proceedings of the International Conference on River Regime* (pp. 431-445). New York: Wiley.

Magdaleno, F., Yuste, Jose A. Fernandez. (2011). Meander dynamics in a changing river corridor. *Geomorphology, 130*, 197-207.

Pires-Luiz, C. H., & Maillard, P. (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.

Rapp, R. G. Cygnia and Abbe, Timothy B. (2003*). A framework for delineating channel migration zones*. Ecology final draft publication.

Rozo, M. G., Nogueira, A. C., & 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, 51*, 28-44.

Shields, F., Douglas., Simon, Andrew., Steffen, Lyle, J. (2000). Reservoir effects on downstream river channel migration. *Environmental Conservation, 27*(1), 54–66.

Xu, H. (2006). Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, *27*(14), 3025–3033.

Xu, H. (2007). Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic-oriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, *73*(12), 1381-1391.