

هیدروژنومورفولوژی، شماره ۱۴، بهار ۱۳۹۷، صص ۶۷-۸۹

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۱

برآورد میزان و شدت جابجایی رودخانه‌ی ارس در پهن دشت سیلابی

مریم بیاتی خطیبی^{۱*}

فریبا کرمی^۲

چکیده

جابجایی جانبی کانال و تغییرات مسیر جریان رودخانه‌ها به طرفین، یکی از علل اصلی گسترش دشت‌های سیلابی، فرسایش کناری و تخلیه خاک‌های دشت‌های سیلابی به رودخانه‌ها در اثر برش کناری است. رودخانه‌ی ارس با پیچ و خم‌های زیاد دارای جابجایی سالانه قابل ملاحظه است. با عنایت به خط مرزی بودن مسیر جریان این رودخانه بین ایران و کشورهای همسایه شمالی، تثبیت جابجایی و تعیین جهت جابجایی از ضرورت‌ها محسوب می‌شود. در این مقاله برای بررسی میزان جابجایی عرضی رودخانه‌ی ارس در بازه‌ی زمانی (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵) از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۲ (MSS) لندست ۵ (TM) لندست ۷ (ETM+)، و لندست ۸ (OLI) با قدرت تفکیک ۳۰ و ۱۵ استفاده شد. برای برآورد میزان جابجایی یا پویایی، از شاخص جابجایی یا اندکس حرکت (MI) و Rm و برای محاسبه‌ی سینوزیته از شاخص سینوزیته استفاده شده است. بررسی متوسط شعاع خمیدگی قوس‌ها در طرف ایران نشان می‌دهد که متوسط شعاع قوس خمیدگی‌های ایجاد شده در مسیر جریان ۵۰۹/۶۲ متر است. این در حالی که متوسط شعاع خمیدگی قوس‌ها در طرف مقابل ۵۱۵/۷۱ متر است. اگر به نوسانات پهنای دشت سیلابی دقت شود، مشخص می‌شود که گستره‌ی جابجایی‌ها در طول مسیر بسیار متفاوت بوده و در جایی که

۱- استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، (نویسنده‌ی مسئول). E-mail: m5khatibi@yahoo.com

۲- استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

پهنا بیشتر شده، جابجایی‌ها نیز بیشتر شده است. بررسی تغییرات اخیر نیز حاکی از بروز تغییرات در مسیر این رودخانه است اما میزان جابجایی‌ها نسبت گذشته کاهش یافته و تفاوت جابجایی‌ها در طرف مقابل و ایران به حداقل ممکن رسیده است. متوسط میزان جابجایی کانال جریان آب به طرف ایران در سال ۲۰۱۰ به ۲۷/۲۱ و این میزان در طرف مقابل به ۲۸/۳۲ بوده است

کلمات کلیدی: جابجایی جانبی، شدت جابجایی، قوس خمیدگی، رودخانه‌ی مرزی، رودخانه‌ی ارس.

مقدمه

جابجایی جانبی کانال و تغییرات مسیر جریان رودخانه‌ها به طرفین، یکی از علل اصلی گسترش دشت‌های سیلابی، فرسایش کناری و تخلیه خاک‌های دشت‌های سیلابی به رودخانه‌ها در اثر برش کناری است. اگر چنین رودخانه‌ای به عنوان مرز دو کشور تعیین شده باشد می‌تواند مسایل سیاسی عدیده‌ای نیز به دنبال داشته باشد. هر چند که چنین جابجایی‌ها به ایجاب ادامه‌ی حیات یک رودخانه صورت می‌گیرد، اما زمانی که انسان حیات سیاسی خود را در ثبات مسیر یک رودخانه تحلیل و جستجو می‌کند، توجه به جابجایی‌های جانبی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. رودخانه‌ی ارس با پیچ و خم‌های زیاد دارای جابجایی سالانه قابل ملاحظه است. با عنایت به خط مرزی بودن مسیر جریان این رودخانه بین ایران و کشورهای همسایه‌ی شمالی، تثبیت جابجایی و تعیین جهت جابجایی از ضرورت‌ها محسوب می‌شود.

بررسی‌های اولیه بر ویژگی‌های جریان در بسترهای سیلابی به عنوان یکی از اشکال مهم هیدرولوژی-ژئومورفولوژی به قدمت خود علوم هیدرولوژی و ژئومورفولوژی است. اما تلاش‌های اولیه در جهت توجیه علمی نحوه‌ی جریان، مربوط به کارهای علمی

هیکن^۱ است. وی اولین محققى است که کوشید با استناد به نتایج مطالعات پیگیر خود در زمینه‌ی علل تغییرات در الگوی جریان، آستانه‌هایی را برای تغییرات آرایش جریان ارائه دهد (به نقل از شایدگن^۲، ۱۹۹۱: ۲۲۹). در دهه‌ی ۱۹۵۰، لئوپولد و ولمن^۳ (به نقل از پیت و فستر^۴، ۱۹۸۵) با استفاده از پارامترهایی مانند R/W (یا نسبت شعاع بر پهنا) سعی نمودند ارتباط بین خمیدگی‌ها و ویژگی‌های بسترهای جریان و همچنین جابجایی در قوس‌های خمیدگی‌ها را مورد مطالعه قرار دهند. آنها در طی این بررسی‌ها به این نتیجه رسیدند که بین پارامترهای یاد شده و نوع سازندهای تشکیل‌دهنده‌ی بستر جریان، رابطه وجود دارد و در واقع نسبت این دو پارامتر (R/W) کنترل‌کننده‌ی چرخش‌های دومی است که در مسیر جریان تشکیل می‌شود. از سال ۱۹۷۰ به بعد، میزان تحقیقات در زمینه‌ی تغییرات در الگوی جریان رودخانه‌ها و پی بردن به راز تشکیل و توسعه‌ی آنها افزایش یافت. با فراهم شدن امکانات بیشتر برای تحقیقات دقیق‌تر در مورد نحوه‌ی جریان رودخانه‌ها، تحقیقات در این زمینه ابعاد دیگری به خود گرفت. مک اون^۵ (۱۹۸۹) و وارنر^۶ (۱۹۸۷) تیگز و دول^۷ (۲۰۰۵) و وری تی ولیز^۸ (۲۰۰۰) از جمله محققانی هستند که از امکانات بوجود آمده مانند عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای برای بررسی پیچان‌ها و تغییرات رفتار رودخانه‌ها در طیف‌های زمانی مختلف بهره‌گیری کردند (به نقل از هوک، ۲۰۰۸: ۳). فرانچیسکو و همکاران^۹ و گویتتر^{۱۰} (۲۰۰۰ و ۲۰۰۵) از جمله

-
- 1- Hiken
 - 2- Seheideggen
 - 3- Leopold and Wolman
 - 4- Petts and Foster
 - 5- McEwen
 - 6- Warner
 - 7- Tieg and Dohl
 - 8- Werritty and Leys
 - 9- Francesco et al.,
 - 10- Gutter

پژوهشگرانی هستند که با استفاده از معادلات ریاضی و به کارگیری پارامترهای ژئومتری پیچان‌ها را مورد تحلیل قرار دادند و جابجایی قوس پیچان‌ها را مورد بررسی قرار داده و در این مورد معادله‌هایی را ارائه دادند. سارما^۱ (۲۰۰۵) به بررسی نقش الگوی جریان بویژه زمانی که با ایجاد خمیدگی قدرت آن افزایش می‌یابد، در تشدید فرسایش کناری در مسیر رودخانه‌ی براهما پوترا پرداخت و به این نتیجه رسید که این رودخانه با خمیدگی‌هایی که در مسیر جریان خود ایجاد می‌کند فرسایش کناری در بستر سیلابی رودخانه‌ها را تشدید می‌کند. آباد و همکاران^۲ (۲۰۰۶) نیز از این بعد پیچان‌های مسیر رودخانه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه خود را بررسی نمودند. نانسون و همکاران^۳ (۲۰۰۵) پیچ و خم‌های رودخانه‌ای در استرالیا را مورد مطالعه قرار دادند و در این مطالعه‌ی آنها با استناد به تراس‌های کناری و دانه بندی آنها، میزان جابجایی آنها را در طی زمان محاسبه نمودند. در این بررسی آنها پارامترهای مربوط به مقاطع عرضی، عمق و پهنای رودخانه‌ها را در ارتباط قرار دادند. هوک^۴ (۲۰۰۳) به بررسی نقش رسوبات دشت‌های سیلابی در میزان خمیدگی مسیر رودخانه‌ها پرداختند. ساور و همکاران^۵ (۲۰۱۰) مسیر جریان رودخانه‌های بزرگ Yuba در کالیفرنیا را مورد مطالعه قرار دادند. این محققان تغییرات کانال رودخانه‌ی مذکور را با استفاده از روابط تجربی (با استفاده از رابطه‌ی فشار برشی) با استفاده از پارامترهایی مانند عمق آب، اندازه‌ی ذرات بستری و... محاسبه نمودند. سیمون وداون^۶ (۲۰۰۱) مورفولوژی کانال را در می‌سی‌سی‌پی مرکزی آمریکا را مورد مطالعه قرار دادند. آنها با به کارگیری معادلات تجربی، فشار

1 -Sarma

2 -Abad et al.,

3 - Nanson et al,

4- Hook

5- Sawyer

6- Simon and Downs

برشی آب در کناره‌ی رودخانه‌ها و در نتیجه فرسایش کناری را مورد بررسی قرار دادند. اوردلارا و بنیتو^۱ (۲۰۰۸) تغییرات مسیر رودخانه‌ی Cordoba اسپانیا را با استفاده از تراس‌های رودخانه‌ای در هلوسن را مورد بررسی قرار دادند.

پژوهشگران دیگری مانند استریک و همکاران^۲ (۲۰۱۸) و انگل و رود^۳ (۲۰۱۷) در آمریکا، زولازی و گونرالپ^۴ (۲۰۱۶) در ایتالیا، لی و همکاران^۵ (۲۰۱۷) در چین، مورایس و همکاران^۶ (۲۰۱۶) در برزیل و گواراو و همکاران^۷ (۲۰۱۷) در هند، بیشتر به نقش وقوع ناتعادلی‌ها در مسیر جریان رودخانه‌های پیچان‌دار تأکید کردند و به این نتیجه رسیدند که رودخانه‌ها برای تنظیم بستر خود و برای تعدیل بی‌نظمی‌ها بوجود آمده، جابجایی‌های جانبی انجام می‌دهند.

مسیر جریان رودخانه ارس علی‌رغم اهمیت از ابعاد مختلف، توسط محققین کمتر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. در مسیر این رودخانه سدها و بندهایی احداث گردیده که وجود این سدها و لزوم احداث آنها، اهمیت مطالعه ویژگی‌های این رودخانه را صدچندان نموده است. تحقیقات و بررسی‌ها در زمینه‌ی علل تشکیل پیچان‌ها فرسایش کناری و جابجایی‌های عرض و ویژگی‌ها جریان صورت نگرفته است.

- موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی رودخانه‌ی ارس

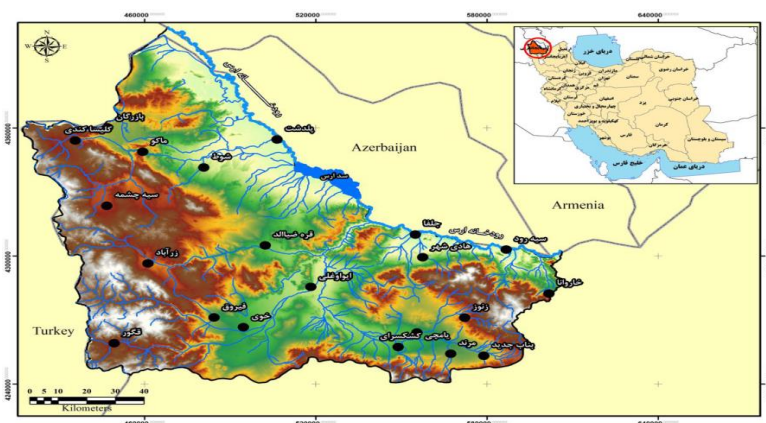
در این تحقیق، محدوده‌ی مطالعاتی، محدوده‌ی مرزی مسیر جریان رود ارس در

1- Urdelarrea and Benito
2- Strick et al.,
3- Engel and Rhoads
4- Zolezzi and Guneralp
5- Li et al.,
6- Morais et al.,
7- Gaurav et al.,

بخش شمال غربی ایران می‌باشد (شکل ۱). یعنی محدوده‌ی طول جغرافیای ۴۵ درجه طول شرقی تا بیش از ۴۸ درجه‌ی طول شرقی را شامل می‌شود. سرچشمه‌ی رودخانه‌ی ارس کوه‌های مین گول داغ (هزار برکه) ترکیه واقع در جنوب شهر ارزروم است. طول رود از سرچشمه تا مصب قریب ۱۰۷۲ کیلومتر است که پس از سرازیر شدن از سرچشمه در نقطه‌ای به اسم «دوالو» وارد خاک ایران شده و از همین محل تا نقطه‌ی «قره‌دونی» که آخرین حد فاصل خاک ایران و ارس می‌باشد، در شمال غربی ایران جریان دارد. رودخانه‌ی ارس پس از عبور از «قره‌دونی» وارد خاک قره‌باغ می‌شود و با طی مسیر در جمهوری آذربایجان به رودخانه «کورا» می‌پیوندد و به دریای خزر می‌ریزد. عرض رودخانه‌ی ارس در جلغا گاهی تا ۲۰۰ متر و ارتفاع و عمق بستر آن به ۲ تا ۳ متر می‌رسد. این رودخانه در نزدیکی پاسگاه سپه‌رود که میان جلغا و خداآفرین قرار گرفته در طی سال‌های طولانی بستر خود را در دره‌ی یک کوهستان صخره‌ای، بقدری پائین برده که به شکل یک دیواره کاملاً عمودی با ژرفای خیلی زیاد درآمده است.

رودخانه‌ی ارس از رودخانه‌های دائمی و پرآب کشور است که در تمام طول سال با قدرت تمام بخشی از مرز شمالی کشور با پیچ و خم‌های خود محدوده‌ی مرزی کشور را تعیین می‌کند. بررسی نمودارهای ترسیمی از میران دبی (شکل‌های) رودخانه‌ی ارس در ایستگاه‌های مختلف سنجنده از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که اوج دبی در این رودخانه به طور عمده در ماه اردیبهشت، فروردین رخ می‌دهد. در ماه اسفند نیز می‌توان اوج دبی‌های ثبت شده را در ایستگاه‌هایی مستقر در مسیر جریان این رودخانه را شاهد بود. البته در ماه‌های دیگر سال هم مانند دی و به طور کلی ماه‌های زمستان می‌توان به اوج دبی‌های ثبت شده برخورد نمود. کشیده شدن اوج دبی‌های ثبت شده در مسیر این رودخانه به ماه‌های سرد سال بیشتر در سال‌های اخیر مشاهده می‌شود. که این امر می‌تواند به تغییرات اقلیمی و

ذوب زودتر برف‌های ارتفاعات مربوط باشد. گاه اوج دبی‌های ثبت شده دو برابر دبی در ماه‌های دیگر سال است که این امر قدرت ویژه‌ای به جریان رودخانه می‌دهد که جریان در مسیر قرار گرفته شده از انرژی کافی برای جابجایی برخوردار گردد. گاه جریان این رودخانه در طول سال یکنواخت و اوج‌ها خیلی زیاد نیست در حالی که در بعضی از سال‌ها تقریباً در بیشتر ماه‌ها با اندک تفاوتی در جریان است. بررسی داده‌ها حاکی از این است که در بین سال‌های مورد بررسی، این رودخانه در سال ۱۳۸۵ دبی بیش از ۷۵۰ مترمکعب را در ماه اردیبهشت تجربه کرده است که این میزان بیش از چهار برابر دبی در ماه مورد نظر در سایر سال‌های دبی ثبت شده است.



شکل (۱) موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه در قسمت شمال غرب ایران (نگارندگان)

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای بررسی میزان جابجایی عرضی رودخانه‌ی ارس در بازه‌ی زمانی (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵) از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۲ (MSS) لندست ۵ (TM) لندست ۷ (ETM+)، و لندست ۸ (OLI). با قدرت تفکیک ۳۰ و ۱۵ استفاده شد.

برای بررسی میزان مقاومت کناری در مقابل سایش، از نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های میدانی و نمونه‌های (نمونه خاک و رسوب) برداشت شده از بستر رودخانه‌ی استفاده شد. داده‌های رسوب و دبی از سازمان‌های مرتبط اخذ خواهد گردید. برای تجزیه و تحلیل و پردازش داده از نرم‌افزارهای مناسب بهره‌گیری شد (شکل ۲). برای برآورد میزان جابجایی یا پویایی، از شاخص جابجایی^۱ ندکس حرکت (MI). اندکس حرکت یا جابجایی (رابطه‌ی ۱) می‌تواند به عنوان نسبت انرژی جریان یا واحد قدرت جریان نسبت به مقاومت مواد بسترکانال تصور می‌گردد (بلدوز و واتسون^۲، ۲۰۰۱).

$$MI = S\sqrt{Q/D_{50}} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

یکی از روابطی که می‌توان شدت جابجایی را با رقم برآورد و بیان نمود R_m است. با ارقام برآورد شده می‌توان شدت جابجایی را در طول مسیر مقایسه نمود (رابطه‌ی ۲).

$$R_m = (A/L)/Y \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

R_m = شدت جابجایی، A = مساحت موجود بین دو خط مرزی، L = طول خط مرزی مجرا در زمان t_n = تعداد سال‌های مورد مطالعه

یکی از علل جابجایی کانال جریان رودخانه‌ها، ایجاد پیچ و خم در مسیر جریان و جابجایی قوس این پیچان‌ها به جهت‌های مختلف در پهنه‌ی دشت سیلابی است. یکی از شاخص‌هایی که می‌توان با توسل به آن میزان خمیدگی کانال جریان و در نتیجه قدرت برش و میزان جابجایی را برآورد نمود، شاخص سینوزیته است. بررسی میزان سینوزیته‌ی مسیر رودخانه‌ها می‌تواند مقایسه‌ی میزان انحنا‌ی مسیر رودخانه‌ها

1- mobility index

2- Bledsoe and Watson

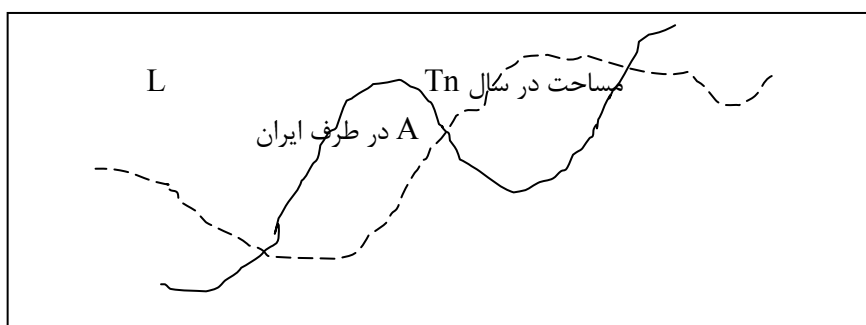
و در نتیجه‌ی اظهار نظر در مورد پیش‌مسیر آنها را سهل‌تر سازد در این تحقیق با استفاده از شاخص سینوزیته میزان انحنای مسیر رودخانه‌ها و شاخ‌های آنها محاسبه شده است. با توجه به شاخص محاسبه شده می‌توان پیچان‌دار بودن رودخانه را اثبات کرد. نتیجه محاسبات در طول جریان رودخانه نشان می‌دهد که بخش اعظم طول مسیر حالت سینوسی دارد (شکل ۴) اما در مقاطعی از طول مسیر می‌توان حالت مئاندری یا پیچان را مشاهده نمود. در مقطع ۸، ۱۱، ۲۱، ۴۷، ۵۱، ۵۲، ۵۴، ۵۲، ۵۵ میزان سینوزیته‌ی بالای ۱/۵ است. این بدین معنی است که در این محدوده‌ها رودخانه از پتانسیل بالایی برای جابجایی برخوردار است. بررسی و محاسبه‌ی سینوزیته‌ی کل مسیر جریان نشان می‌دهد که این میزان سینوزیته ۱/۳۱ است که حاکی از حالت سینوسی طول مسیر جریان است. در بخش‌هایی که رودخانه از مسیرهای تنگی عبور می‌کند میزان خمیدگی کاهش می‌یابد و به حالت مستقیم می‌رسد.



شکل (۲) فلوجارت روش تحقیق

برای بررسی خمیدگی مسیر جریان از شاخص سینوزیته استفاده شده است (رابطه ۲).

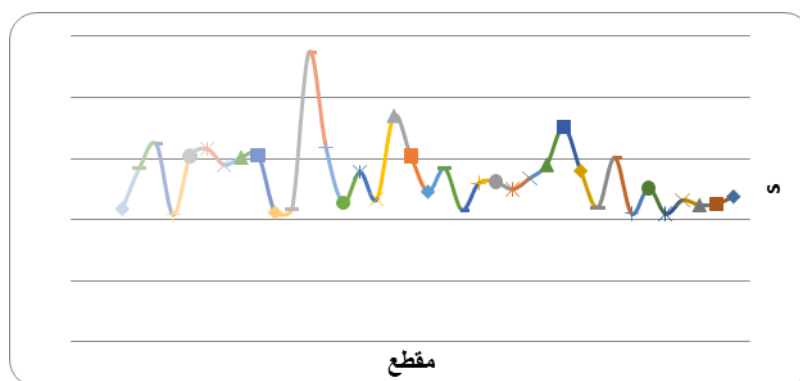
$$s=t/l \quad \text{رابطه ۳}$$



شکل (۳) اندازه‌گیری متغیرهای مورد نظر در برآورد شدت جابجایی

بحث و نتایج

اطلاعات ارائه شده در شکل (۴) نشان می‌دهد که میزان سینوزیته از طرف شرق، قبل از سد خدآفرین و همچنین در نزدیکی جلغا افزایش می‌یابد. این بدین معنی است که پتانسیل جابجایی و فرسایش کناری در این محدوده‌ها به مراتب بیشتر از قسمت‌هایی است که میزان سینوزیته مسیر جریان کاهش می‌یابد. در واقع در این قسمت‌ها رودخانه‌ی ارس در پهن دشت خود امکان جابجایی‌های عرضی و سایش کناره‌ها را می‌باید و می‌تواند بخش‌هایی از سرزمین‌های هر طرف را به طرف دیگر اضافه نماید. شکل (۴) محدوده‌هایی با سینوزیته‌ی بالا و پایین را در مسیر رودخانه‌ی ارس را نشان می‌دهد که خود حاکی از محدوده‌هایی با پتانسیل بالا و یا پایین در محدوده‌ی مورد بررسی است.



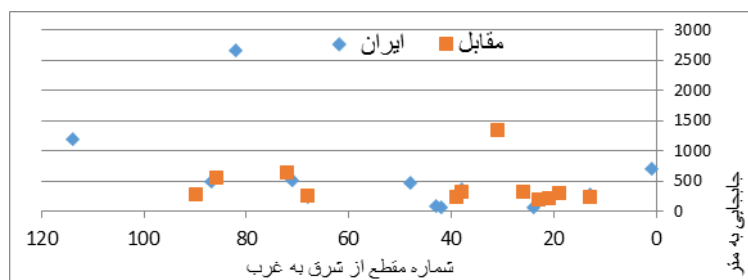
شکل (۴) میزان سینوزیته رودخانه‌ی ارس در طول جریان

- بررسی قوس خمیدگی‌ها در مسیر جریان رودخانه‌ی پیچان دار ارس -

بررسی تصاویر متوالی از جابجایی خمیدگی‌ها در مسیر جریان رودخانه‌ی ارس در طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد که زمانی که بخشی از مسیر رود خمیده می‌شود ابتدا خمیدگی‌های کوچکی در مسیر رودخانه تشکیل می‌شود. این خمیدگی‌های کوچک قدرت فوق‌العاده برای برش کناره داشته به همین دلیل در این قسمت‌ها جابجایی‌های جانبی بیشتر می‌شود. با توجه به مواردی که ذکر شد، برای بررسی میزان جابجایی و برآورد پتانسیل جابجایی لازم است قوس خمیدگی‌های ایجاد شده در مسیر جریان رودخانه ارس، خمیدگی‌های تشکیل شده در کل مسیر رودخانه‌ی اندازه‌گیری شده و میزان جابجایی این خمیدگی‌ها - که مشخص‌کننده‌ی محدوده‌های استقرار قدرت دینامیک مسیر جریان در سال‌های مختلف - تعیین شده است. بررسی متوسط شعاع خمیدگی قوس‌ها در طرف ایران نشان می‌دهد که متوسط شعاع قوس خمیدگی‌های ایجاد شده در مسیر جریان ۵۰۹/۶۲ متر است. این در حالی که متوسط شعاع خمیدگی قوس‌ها در طرف مقابل ۵۱۵/۷۱ متر است. اگر این ارقام تفسیر شوند، این تفسیر به این صورت خواهد بود که شعاع قوس

خمیدگی‌ها در طرف ایران کوچک‌تر از طرف مقابل است. یعنی قدرت خمیدگی‌های مسیر جریان رودخانه‌ی ارس برای برش و جابجایی در طرف ایران بیشتر از طرف مقابل است. اندازه‌گیری میزان جابجایی قوس پیچان‌ها از روی داده‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که میزان جابجایی قوس خمیدگی‌ها به طرف ایران ۱۷۸۵/۵۳۱ متر و میزان جابجایی قوس پیچان‌ها به طرف مقابل ۳۴۱/۷۵ به متر می‌باشد.

با توجه به جابجایی زیاد در گذشته و تحلیل این نوع جابجایی‌ها، متوسط قوس خمیدگی‌های مسیر جریان رودخانه ارس در گذشته نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. این اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که متوسط شعاع قوس پیچان‌های قبلی در طرف ایران به متر ۵۳۱/۰۴۷ و متوسط شعاع قوس پیچان‌های قبلی در طرف مقابل به متر ۴۰۹/۵۸ بوده است. این بدین معنی است که در گذشته قدرت سایش مسیر جریان در طرف ایران نسبت به شرایط کنونی کمتر بوده است (شکل ۴).



شکل (۵) جابجایی قوس خمیدگی‌ها قبلی به طرف ایران و مقابل به متر

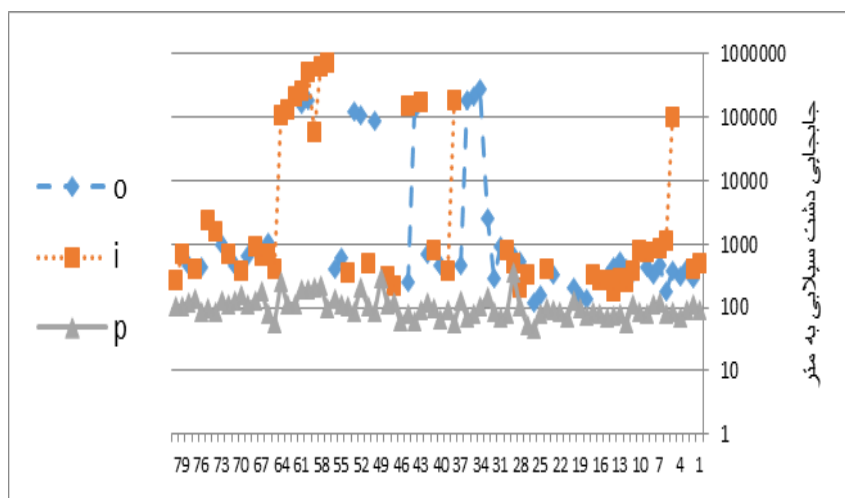
بررسی نمودارهای ترسیمی از جابجایی قوس‌ها در مسیر جریان قبلی از شرق تا غرب نشان می‌دهد که بیشترین جابجایی در خمیدگی‌ها در بخش غربی و باز در

نزدیکی جلفا صورت گرفته است (شکل ۵) در حالی که در شرایط کنونی حالت عکس بوده است.

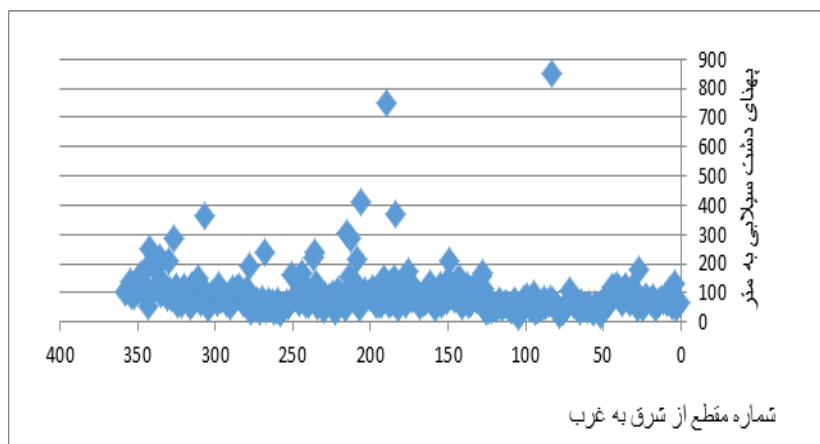
- جابجایی عرضی جریان رودخانه‌ی ارس در پهنه دشت سیلابی

بررسی میدانی و مشاهده تصاویر ماهواره‌ای مسیر رودخانه ارس نشان می‌دهد که این رودخانه به لحاظ ویژگی‌هایی که دارد در طول تاریخ و در طول مسیر خود انجام داده و می‌دهد (شکل ۶) و با توجه به خمیدگی‌های متعددی که دارد به طور دائمی در حال جابجایی عرضی خواهد بود. بررسی محدوده‌های در حال جابجایی و داغ آب‌های برجای مانده از جابجایی‌های قبلی نشان از فعال بودن این رودخانه برای جابجایی‌ها می‌باشد. از نظر کاهش جابجایی‌های جانبی و مدیریت مسیر جریان رودخانه تشخیص محل‌هایی با پتانسیل بالا از نظر جابجایی و باتوجه به مسایل سیاسی و جلوگیری از فرسایش خاک‌های دشت‌های سیلابی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بخش‌هایی از دشت سیلابی که خمیدگی‌های گسترده‌ای را تجربه کرده‌اند، بخش‌های غنی برای استقرار درختان و درختچه‌ها فراهم آورده‌اند (شکل ۷) در این تحقیق سعی شده است این محدوده‌ها در طول مسیر رودخانه‌ی ارس شناسایی و معرفی شود. برای رسیدن به هدف تحقیق مسیر جریان رودخانه به قطعاتی تقسیم و مقادیر اندازه‌گیری و در نمودارها نشان داده شده است. بررسی شکل مربوط به جابجایی‌ها در غرب سد خدآفرین حاکی از این است که جابجایی‌های قبلی در طرف مقابل از نظر گستره بسیار بزرگ‌تر از طرف ایران است اما تعداد جابجایی‌ها در طرف ایران بیشتر بوده است. همچنین در محدوده‌هایی که پهنای دشت زیاد بوده، گستره‌ی جابجایی‌ها افزایش یافته است. در شرق سد تعداد جابجایی‌ها و هم گستره‌ی جابجایی در طرف ایران زیاد بوده است. اگر به نوسانات پهنای دشت سیلابی دقت شود (شکل ۷) مشخص می‌شود که گستره‌ی جابجایی‌ها

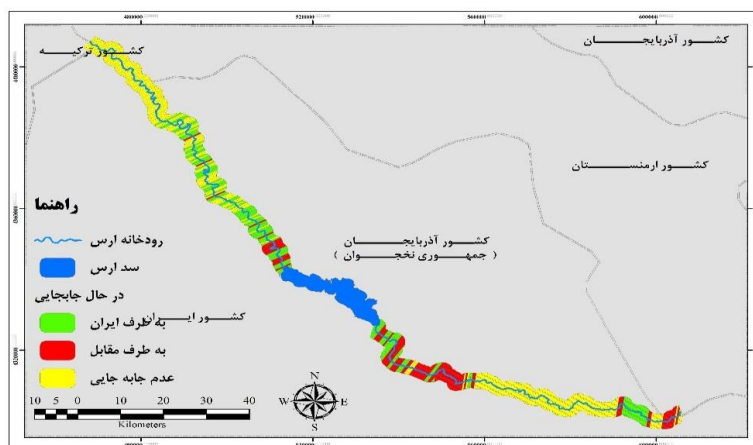
در طول مسیر بسیار متفاوت بوده و در جایی که پهنا بیشتر شده، جابجایی‌ها نیز بیشتر شده است.



شکل (۶) جابجایی‌های قبلی کانال در دشت سیلابی



شکل (۷) تغییرات پهنای دشت سیلابی به متر در طول مسیر جریان ارس

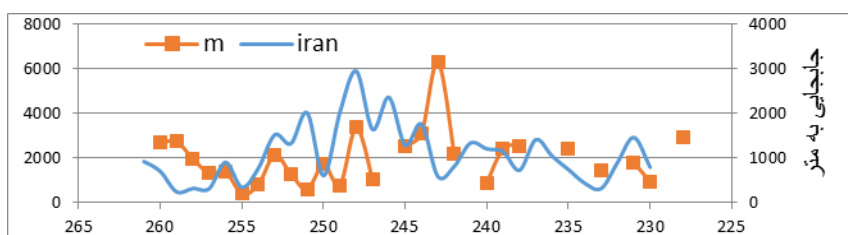


شکل (۸) جابجایی رودخانه‌ی ارس در جهت خاک ایران و کشور مقابل در سال‌های اخیر

بررسی پهنای دشت سیلابی نشان می‌دهد که تغییرات پهنای در طول مسیر جریان بسیار متفاوت است و این پهنای در نزدیکی جلغا و پلدشت زیاد و در سایر قسمت‌ها کمتر می‌شود. این پهنای خود نشان از جابجایی زیاد مسیر جریان این رودخانه و گستردگی آبرفت‌ها در مسیر جریان می‌باشد.

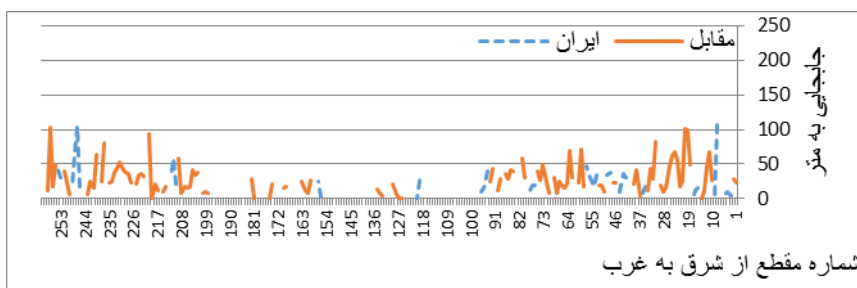
بررسی اطلاعات در نمودارهای ترسیمی (شکل ۸ و ۹) و همچنین محاسبات انجام یافته نشان می‌دهد که متوسط جابجایی مسیر جریان رودخانه در سال ۱۹۸۵ به طرف ایران ۶۸/۷۸ متر است و در مقایسه متوسط جابجایی به طرف مقابل ۴۹/۳۲ متر در طول مسیر جریان می‌باشد. این بدین معنی است که میزان جابجایی مسیر به طرف ایران به مراتب بیشتر از طرف مقابل می‌باشد. بررسی میزان جابجایی در سال ۱۹۸۵ در طول جریان رودخانه بسیار متفاوت است و به طور کلی در طول مسیر حاکی از جابجایی بیشتر این رودخانه به طرف ایران در مقایسه با جابجایی‌های این رودخانه به طرف مقابل است (شکل ۸ و ۹). بررسی نمودار (شکل ۸ و ۹) نشان می‌دهد که هرچه به طرف غرب و محدوده‌ی جلغا نزدیک می‌شویم جابجایی‌های

عرضی صورت گرفته بیشتر می‌شود. این امر در مورد جابجایی‌های عرضی سال ۱۹۹۰ نیز صادق است (شکل ۸ و ۹). اگر میزان جابجایی مسیر جریان ارس به طرفین در سال ۱۹۹۰ نیز مورد بررسی قرار گیرد مشخص خواهد شد که میزان جابجایی به طرف ایران ۶۳/۵۲ متر و این میزان جابجایی به طرف مقابل ۴۶/۵۲ بوده است. از سال ۲۰۰۰ به بعد هرچند که از میزان جابجایی‌ها کاسته شده است اما اگر جابجایی‌های صورت گرفته مسیر جریان به طرفین مورد مقایسه قرار گیرد، مشخص می‌شود که میزان جابجایی‌های صورت گرفته مسیر جریان رودخانه‌ی ارس به طرف ایران ۴۰/۹۸ متر و جابجایی صورت گرفته به طرف مقابل ۳۶/۴۴ متر بوده است. روند کاهش در میزان جابجایی‌ها تا سال ۲۰۱۰ نیز در دو طرف ادامه یافته است. میزان این جابجایی‌ها ۲۷/۲۱ به طرف ایران و میزان جابجایی کانال به طرف مقابل ۲۸/۳۲ متر بوده است و تفاوت در میزان جابجایی در دو طرف به حداقل رسیده است. مانند سال‌های قبل از ۲۰۱۰ در هر دو طرف میزان جابجایی‌ها در طرف شرق و در نزدیکی جلغا و پلدشت زیاده‌تر از سایر قسمت‌ها است. اگر جابجایی‌های قبل از سال ۱۹۸۵ با اعداد و ارقام بیان شود واقعیت‌ها بیشتر خودنمایی می‌کند. تفاوت‌های جابجایی‌های صورت گرفته گذشته نسبت به سال‌های اخیر بسیار قابل ملاحظه است. محاسبات و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که میزان جابجایی صورت گرفته در مسیر جریان به طرف ایران ۷۴۶/۴۳ متر و ۴۵۶/۳۸ جابجایی صورت گرفته به طرف مقابل بوده است.

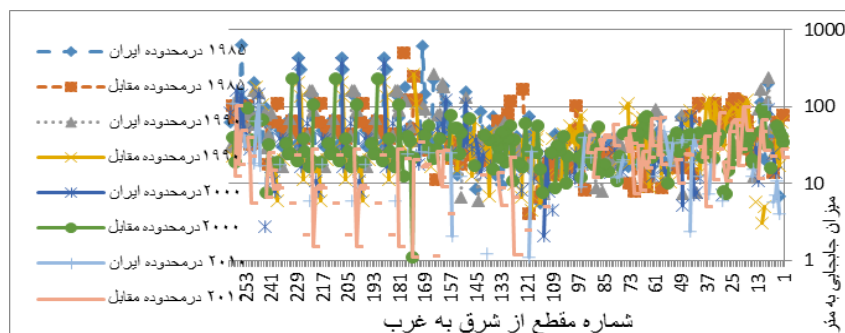


شکل (۹) میزان جابجایی کانال اصلی رودخانه‌ی ارس قبل از ۱۹۸۵ در طرف ایران و مقابل

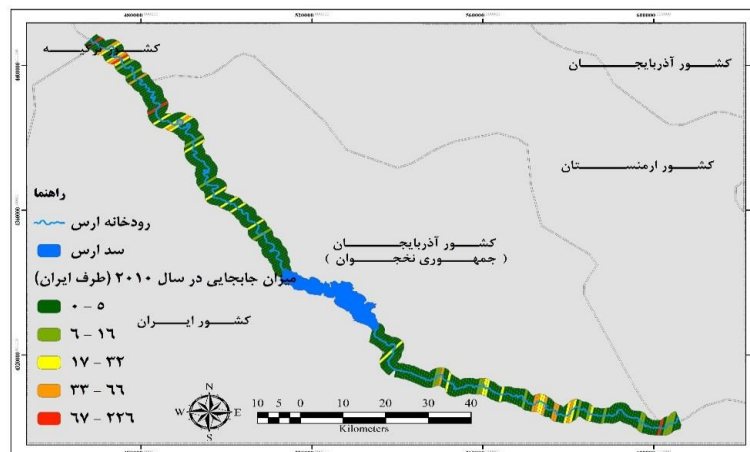
بررسی تغییرات اخیر نیز حاکی از بروز تغییرات در مسیر این رودخانه است اما میزان جابجایی‌ها نسبت گذشته کاهش یافته و تفاوت جابجایی‌ها در طرف مقابل و ایران به حداقل ممکن رسیده است. متوسط میزان جابجایی کانال جریان آب به طرف ایران در سال ۲۰۱۰ به ۲۷/۲۱ و این میزان در طرف مقابل به ۲۸/۳۲ رسیده است. اگر از طریق داغ آب‌های برجای مانده در دشت‌های سیلابی که حاکی از استقرار کانال جریان در این محدوده‌ها بودند نیز میزان جابجایی‌ها مورد بررسی قرار گیرد مشخص می‌شود که این جابجایی‌ها قبل از سال ۱۹۸۵ به طور متوسط در طرف ایران به ۷۴۶/۴۳ متر و در طرف مقابل ۴۵۶/۳۸ متر رسیده است (شکل ۱۱).



شکل (۱۰) میزان جابجایی کانال به متر در سال ۲۰۱۰



شکل (۱۱) جابجایی کانال اصلی از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۱۰ به طرفین

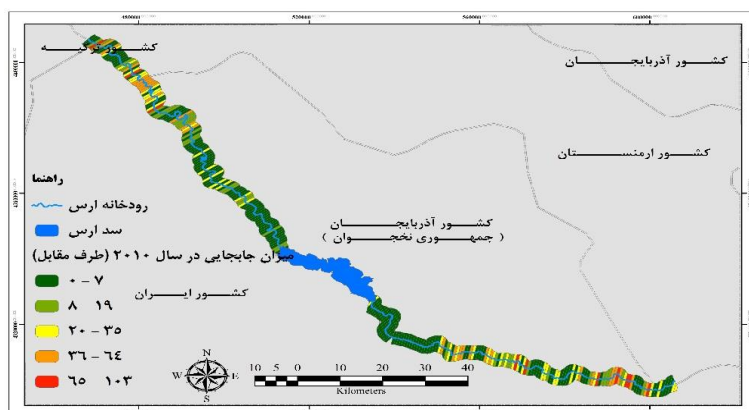


شکل (۱۲) میزان جابجایی کانال به طرف ایران نسبت به ۲۰۱۰

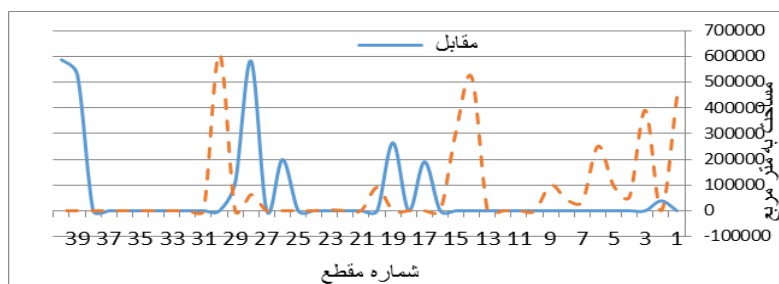
- بررسی و برآورد شدت جابجایی در مسیر جریان رودخانه ارس

ارقام شدت جابجایی می‌توانند واقعیت‌های مربوط به جابجایی کانال جریان رودخانه‌ی ارس را به صورت ملموس بیان کند (رابطه‌ی R_m). با ارقام برآورد شده می‌توان شدت جابجایی را در طول مسیر مقایسه نمود. در این مقاله متغیرهای مورد نظر اندازه‌گیری و مقادیر به صورت نمودارهای (شکل ۱۲) نمایش داده شده است. اگر مساحت محدوده‌ی تحت جابجایی از سال ۱۹۸۵-۲۰۱۵ در طرف مقابل مورد محاسبه قرار گیرد مشخص می‌شود که مجموع مساحت محدوده‌ی تحت جابجایی از سال ۱۹۸۵-۲۰۱۵ در طرف مقابل برابر با ۱۴۱۰۲۵۵ مترمربع بوده است. اگر همین مساحت تحت جابجایی از سال ۱۹۸۵-۲۰۱۵ در طرف ایران محاسبه شود مقادیر به دست آمده از مساحت محدوده‌ی تحت جابجایی از سال ۱۹۸۵-۲۰۱۵ در طرف ایران در مجموع ۲۲۳۰۸۶۹ متر مربع بوده است. یعنی با اختلاف ۸۲۰۶۱۴ متر مربع. این بدین معنی است که در سال‌های مورد بررسی مساحتی که در اثر جابجایی در اختیار طرف قرار گرفته است برابر با رقم ارائه شده است. اگر متوسط

شدت جابجایی در طول مسیر جریان رودخانه‌ی ارس محاسبه شود مقادیر به صورت زیر خواهد بود: متوسط جابجایی سالانه به طرف ایران ۴/۷۵ متر و متوسط جابجایی سالانه به طرف مقابل ۳/۵۳ متر. با توجه به مقادیر ارائه شده مشخص می‌شود که مقادیر جابجایی طبق رابطه‌ی ارائه شده به طرف ایران بیشتر از طرف مقابل بوده است. اگر به نمودارهای ارائه شده دقت شود (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) مشخص می‌شود که شدت جابجایی در طول مسیر جریان متفاوت بوده است. در بخش‌هایی از مسیر شدت جابجایی به طرف مقابل بیشتر شده و در بخش‌هایی دیگر حالت عکس پیدا می‌کند.

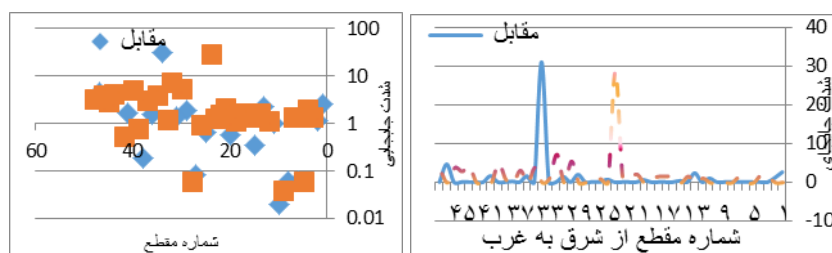


شکل (۱۳) میزان جابجایی کانال به طرف مقابل نسبت به شرایط کنونی در سال ۲۰۱۰

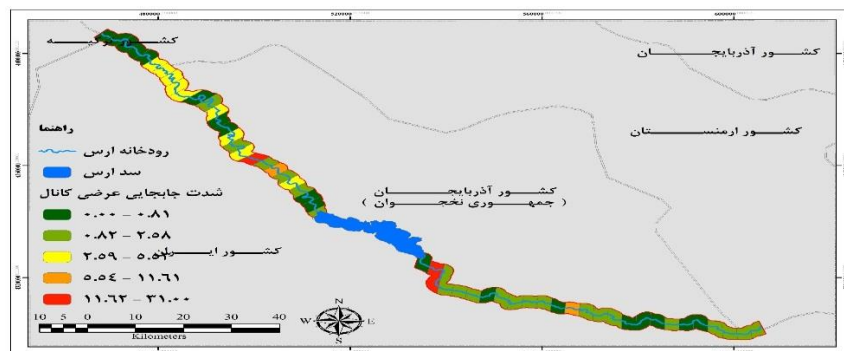


شکل (۱۴) مساحت محدوده در بین دو خط در قبل از ۱۹۸۵

همچنان که نقشه‌ی ترسیمی نیز نشان می‌دهد (شکل ۱۳) شدت جابجایی در نزدیکی سد ارس و نزدیک جلغا به حداکثر می‌رسد. حداقل جابجایی در بخش‌های انتهایی مشاهده می‌شود (شکل ۱۴ و ۱۵ و ۱۶).



شکل (۱۵) الف) شدت جابجایی مسیر جریان در طول رودخانه‌ی ارس در شرایط کنونی و ب) شدت جابجایی مسیر جریان در طول رودخانه‌ی ارس در قبل از سال ۱۹۸۵



شکل (۱۶) شدت جابجایی عرضی کانال ارس در مسیر جریان

نتیجه‌گیری

ایجاد تغییرات در الگوی جریان رودخانه‌ها (از جمله پیچان‌ها، هزار مسیر و یا مستقیم)، نشانه‌ای از مراحل مختلف رسیدن رودخانه به توازن است. جابجایی‌هایی که رودخانه در مسیر خود انجام می‌دهد جدای از اینکه علت چه باشد، از ضروریات

طبیعت است. اما گاه عملکرد طبیعت تنگناهایی سیاسی را به دنبال می‌آورد. در چنین شرایطی لازم هست میزان جابجایی‌ها برآورد و مشخص گردد تا تدابیر محافظتی اعمال گردد. رودخانه‌ی ارس یکی از پویاترین رودخانه‌ی شمال غرب کشور است که با ایجاد پیچ و خم‌های زیاد، قدرت فوق‌العاده‌ای را برای برش کناری و جابجایی جانبی را دارا هست. این امر باعث شده است که این رودخانه دشت سیلابی بسیار عریضی را در نزدیکی جلغا ایجاد کند و زمانی به طرف مقابل و گاه به طرف ایران جابجا شود. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در طی بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله این رودخانه به میزان متفاوت به طرفین جابجایی داشته است. اما اگر به طور کلی این جابجایی محاسبه و در نظر گرفته شود نتیجه می‌شود که شدت جابجایی‌ها به طرف ایران بیشتر بوده است. توجه به این جابجایی‌ها و قرارگیری بخشی از خاک کشور در اختیار طرف مقابل اهمیت بیش از پیش محافظت از خاک کشور در مقابل فرسایش کناری و در نتیجه جلوگیری از جابجایی‌های کناری را آشکار می‌کند.

منابع

- حیدری نهر، طاهر و نسرین حاجی‌حسینی (۱۳۸۵)، ارزیابی اثرات زیست محیطی توسعه‌ی بر رودخانه‌ی ارس، نهمین همایش ملی بهداشت محیط.
- نجفی، علیرضا و جبار وطن‌فدا (۱۳۹۱)، ارتقاء مدیریت آب‌های فرامرزی، راه پیش رو در خاورمیانه نمونه موردی: آب‌های فرامرزی ایران و همسایگان، فصلنامه‌ی ژئوپلیتیک: زمستان ۱۳۹۱، شماره‌ی ۴ (پیاپی ۲۸)، صص ۲۸-۴۰.
- Aggett, G.R., J.P. Wilson (2009), **Creating and coupling a high-resolution DTM with a 1-D hydraulic model in a GIS for scenario-based assessment of avulsion hazard in a gravel-bed river**, *Geomorphology* 113 PP,21-34
- Daniels, Melinda D., Bruce L. Rhoads (2003), **Influence of a large woody debris obstruction on three-dimensional flow structure in a meander bend**, *Geomorphology*, 51, PP,159-173.
- Hooke, Janet (2003), **Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology**, *Geomorphology* 56, PP,79-94.
- Hooke, J.M. (2007), **Complexity, self-organisation and variation in behaviour in meandering rivers**, *Geomorphology*, 91, PP,236-258
- Hughes ,Andrew O., Jon M. Olley, Jacky C. Croke , Lucy A. McKergow (2009), **Sediment source changes over the last 250 years in a dry-tropical catchment, central Queensland, Australia**, *Geomorphology* 104, PP,262-275.
- Hudson, Paul F, Hans Middelkoop, Esther Stouthamer (2008), **Flood management along the Lower Mississippi and Rhine Rivers (The Netherlands) and the continuum of geomorphic adjustment**, *Geomorphology*, 101, PP,209-236.
- Nanson, Rachel A., Gerald C. Nanson , He Qing Huang (2010), **The hydraulic geometry of narrow and deep channels; evidence for flow optimisation and controlled peatland growth**, *Geomorphology*, 117, PP,43-154.

- Sarma, J.N. (2007), **Fluvial process and morphology of the Brahmaputra River in Assam, India Perfection and complexity in the lower Brazos River**, *Geomorphology*, 91, PP,364–377
- Sarma, J.N., M.K. Phukan(2006),**Origin and some geomorphological changes of Majuli Island of the Brahmaputra River in Assam, India**, *Geomorphology*, 60, PP,1–19.
- Sawyer, April M. Gregory B. Pasternack, Hamish J. Moir, Aaron A. Fulton (2010), **Riffle-pool maintenance and flow convergence routing observed on a large gravel-bed river**, *Geomorphology* 114, PP,143–160.
- Strick, Robert J.P, Philip J. Ashworth, Graeme Awcock, John Lewin (2018), **Morphology and spacing of river meander scrolls**, *Geomorphology*, 310, PP,57–68.