Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال پنجم، شماره ٤، بهار ١٣٩٦
صص. ٥٨-٤١

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 دکترای 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، ١٣٦٦ه.ش تا ٢٠١٦م، ١٣٩٥ه.ش) با استفاده از روش ترانسکت موردبررسی قرار گرفت. در ابتدا مجرای رودخانه برای دو دوره زمانی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده های TM، OLI، 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 ترانسکت ها، و سعت 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 ٤/٧٣ متر در سال بوده است. در طی این دوره در حدود ١٧١/٤٨ هکتار به اراضی ایران افزوده شده و در مقابل حدود ٣٧٦/٢٦ هکتار از اراضی ایران درنتیجه تغییرات مجرا از دسترس خارج شده است. بر این اساس پیشنهاد می شود ارزیابی دقیق تغییرات رودخانه‌های مرزی موردتوجه بیشتری قرار گیرد.

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

* نویسنده مسئول: E-mail: fariba.darabad@gmail.com

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

مقدمه

سیستم‌های رودخانه‌ای تعادل خود را به‌واسطه عوامل مختلفی از دست می‌دهند؛ اما مجرا تعادل خود را می‌تواند از طریق تغییرات در متغیرهای وابسته بازیابد. به‌طورکلی، این تغییرات به‌صورت رسوب‌گذاری[۱] (افزایش ارتفاع بستر)، فرسایش[۲] (کاهش ارتفاع بستر)، یا تغییرات در ویژگی‌های پلان‌فرم (طول‌موج مئاندر، سینوزیته و غیره) مجرا منعکس می‌شود (واتسون[۳] و همکاران، ۱۹۹۹،۵۲). چون آبراهه‌های آبرفتی از مواد رسوبی فرسایش‌پذیری تشکیل‌شده‌اند 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 (معتمد، 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 (بریاد[۵]، ۲۰۰۷،۱۲).

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. باوجوداین، پاسخ دینامیکی چنین سیستمی غالباً تجزیه‌وتحلیل 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 میان‌بُرها[۱۱] 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. 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 تجزیه‌وتحلیل سنجش از دوری تغییرات پلانفرم 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 نشان‌دهنده‌ی 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- Allogeneic
9 -Avulsion
10- Channel migration
11 -Cut-offs
12 -Max G. Rozo
13 -Jutaí
14 -Japura
15 - Provansal
17- Geomorphic evolution
18- Sediment balance

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

سال گذشته موردبررسی قراردادند. هدف از این بررسی تعیین فاکتورهای اصلی که باعث تغییرات مورفولوژیکی طی ۱۳۰ سال گذشته بر ۱۲۰ کیلومتری بخش پایین‌رود رودخانه رون شده‌اند، بوده است. منجیست ابیت[۱] و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه گومارا[۲] را در طی ۵۰ سال اخیر موردبررسی قراردادند. 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 RHESSYS و SWAT موردبررسی قراردادند. زاهاریا و لی لی[۴] (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص‌های[۵] فشار[۶] و تغییر[۷] کیفیت مورفولوژیکی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه پروهوا، رومانی) را مورد ارزیابی قراردادند. 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] مورداستفاده قرارگرفته است. دوفور و همکاران[۱۲] (۲۰۱۵) تأثیرات دینامیک رودخانه‌ای و انسان بر الگوی چشم‌انداز کانال‌های رودخانه‌ای را در رودخانه مگرا[۱۳]– ایتالیا موردبررسی قراردادند. هدف از این پژوهش تحلیل تغییرات پیچیده در ساختار چشم‌اندازهای رودخانه مگرا توسط عوامل طبیعی و انسانی بوده است. رآادوس و همکاران[۱۴] (۲۰۱۶) تغییرات تاریخی در شبکه کانال و پلان فرم کانال[۱۵] در یک چشم‌انداز مدیریت‌شده (عوامل طبیعی در مقابل اثرات ناشی از مداخله بشر) را موردبررسی قراردادند. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات تاریخی شبکه کانال‌های رودخانه‌ای و پلان فرم کانال در بخش بالایی حوضه رودخانه سانگامون[۱۶] (ازلحاظ کشاورزی به‌شدت مدیریت‌شده) بوده است. کاسادو و همکاران[۱۷] (۲۰۱۶) تغییرات پوشش گیاهی و ژئومورفیک را در رودخانه Sauce Grande آرژانتین موردبررسی قراردادند. در این پژوهش مجرای کانال رودخانه قبل و بعد از احداث سد بر روی آن موردمطالعه قرارگرفته 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

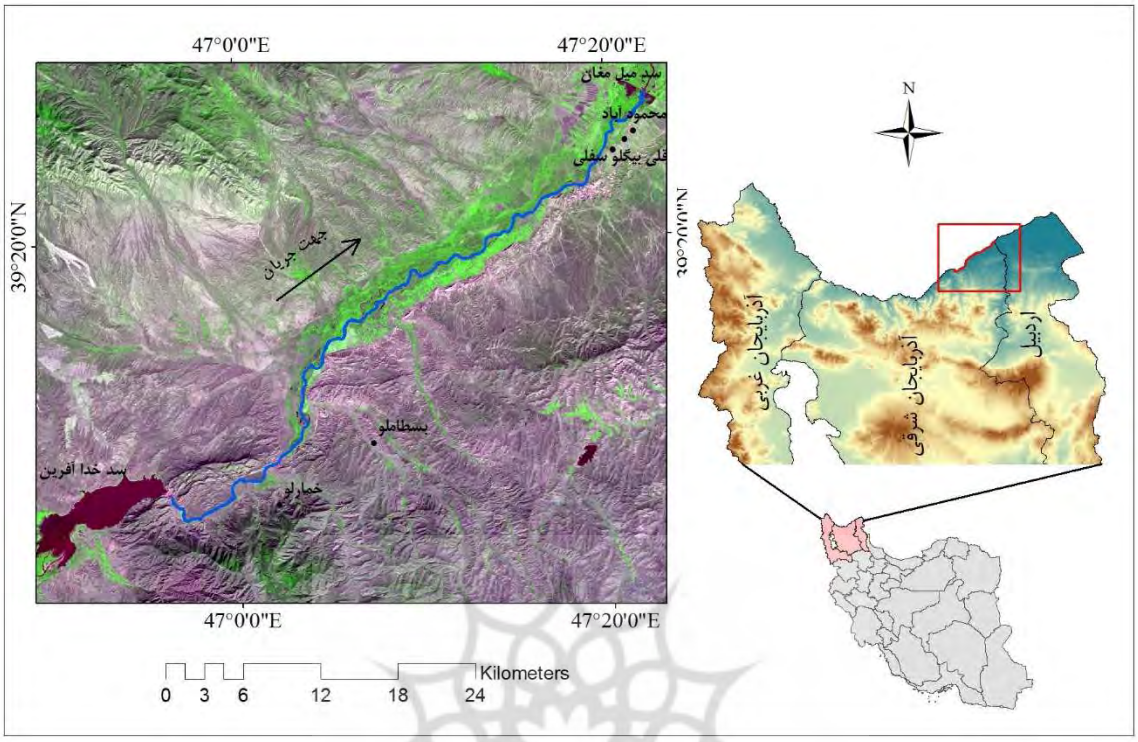
Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

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 تائید 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 به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی بستر رودخانه ارس از تصاویر ماهواره‌ای Landsat سنجنده OLI و IRSسنجنده P5 در بازه‌ی زمانی ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۲ استفاده گردید و ضرایب هندسی رودخانه برای دو دوره زمانی فوق مورد تجزیه‌وتحلیل 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 موردمطالعه، 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 قرارگرفته است.

منطقه موردمطالعه

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 موردمطالعه، از سد خدا آفرین تا سد میل مغان به طول تقریبی حدود ۶۲ کیلومتر است. از نظر موقعیت جغرافیایی این محدوده در عرض‌های ″۳۷ ′۹ °۳۹ تا ″۵۳ ′۲۵ °۳۹ شمالی و ″۸ ′۵۶ °۴۷ تا ″۱۰ ′۲۲ °۴۷ شرقی قرارگرفته است (شکل ۱).

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه

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[1]، تحلیل مؤلفه‌های 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):

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$ رابطه (۱)

$$WI = (B_1 + B_2 + B_3) / (B_4 + B_5 + B_7)$$ رابطه (۲)

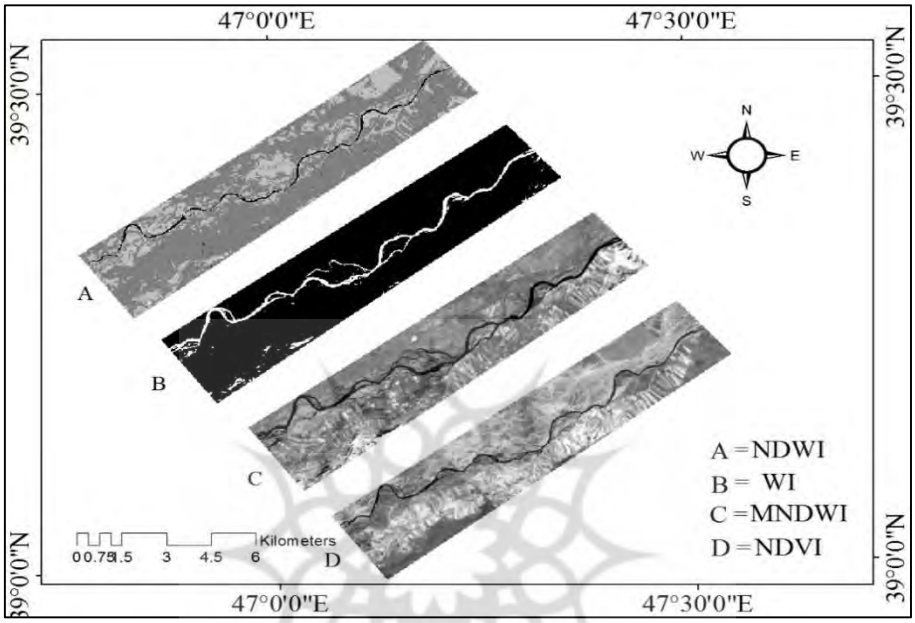
$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$ رابطه (۳)

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$$ 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

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

در روابط بالا NIR یک باند مادون‌قرمز نزدیک؛ MIR یک باند مادون‌قرمز میانی؛ Red باند قرمز؛ Green باند سبز و B_i شماره باند در تصاویر ETM+ است. در ادامه با استفاده از فاکتور[٩]OIF، سه باند با کمترین وابستگی انتخاب شد و تصویر رنگی کاذب[١٠] منطقه تولید گردید. به منظور تشخیص هرچه بهتر رودخانه از فیلتر بالا گذر سوبل[١١] استفاده شد. در مرحله بعد به‌منظور افزایش کنتراست تصویر از روش یکسان‌سازی هیستوگرام[١٢] استفاده گردید. به دلیل عریض بودن و پویایی مجرای رودخانه ارس استفاده از این تصاویر جواب‌گوی اهداف تحقیق می‌باشند.



شکل ٢: بارز سازی مجرای رودخانه با استفاده از شاخص‌های مختلف در محدوده ترانسکت‌های ٨، ٩ و ١٠

روش تجزیه‌وتحلیل

روش‌های مختلفی برای بررسی تغییرات و جابجایی‌های صورت گرفته در مجرای رودخانه وجود دارد که می‌توان به تحلیل پلیگون[١٣]، روش شعاع انحنا[١٤] و روش ترانسکت[١٥] اشاره کرد (رپ[١٦] و همکاران،٢٠٠٣: ۴٢؛ گرادینو و لی[١٧]، ٢٠١١: ٢٣). در این تحقیق، با توجه به روش ترانسکت، خطوطی با فواصل مشخص از هر دو طرف مجرا به‌عنوان خطوط مبنا ترسیم‌شده است. این خطوط برای دوره‌های زمانی موردمطالعه ثابت بوده و ازاین‌رو می‌توان جابجایی‌های مجرا نسبت به این خطوط را به‌صورت کمّی محاسبه کرد. به‌عبارت‌دیگر روش ترانسکت، شامل ترسیم یک سری از ترانسکت های 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، ٢٠١١: ٨). هنگامی‌که مجرا در جهت راست (به سمت ایران) جابجا شود مساحت

9 -Optimum index factor

10- False color

11 -Sobel Filter

12 -Histogram Equalization

13 - Polygon Analysis

14 - Radius of Curvature

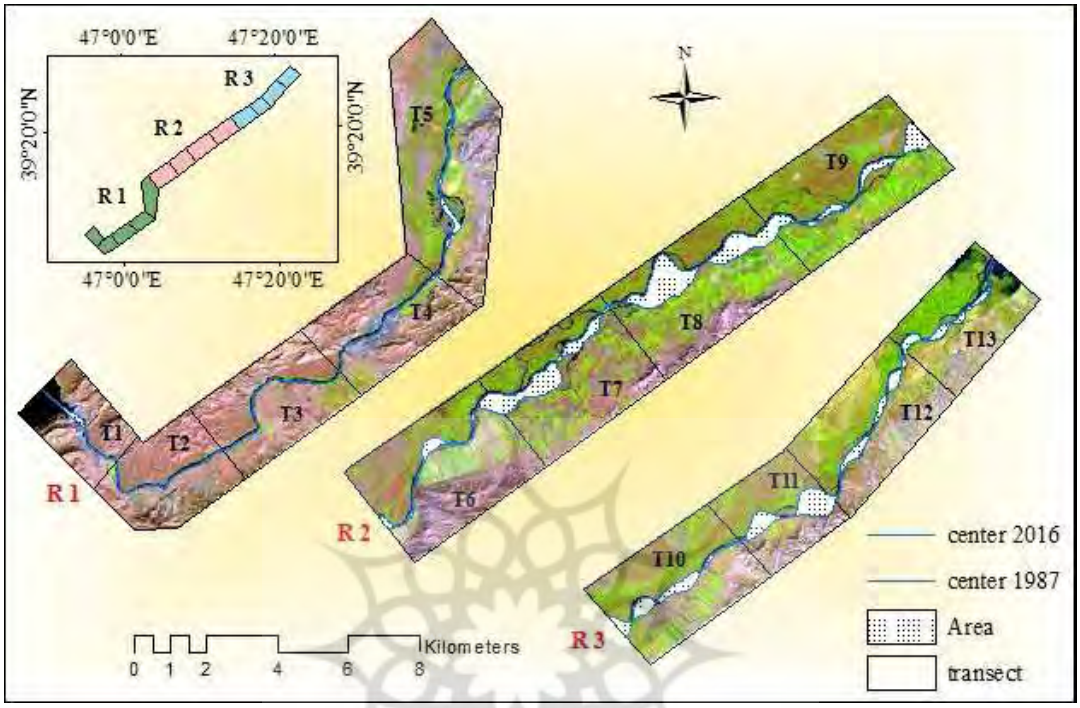
١٥ - Transect Method

16 - Rapp,Abbe

١٧ - Giardino, Lee

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

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



شکل۳ : محدوده ترانسکت ها و مساحت جابجا شده بین دو خط مرکزی مجرا برای سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱٦

برای تحلیل شکل مسطحاتی[18] رودخانه، از شاخص ضریب سینوسی[19] (مارپیچی یا پیچشی) استفاده شد. ضریب سینوسی از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (چارلتون، ۲۰۰۸: ۱۳۸):

$$\text{Sinuosity ratio (SR)} = \frac{\text{Channel length}}{\text{Valley length}}$$ 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[20] (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 مئاندر وجود دارد: تکنیک‌های همپوشانی دستی، تکنیک‌هایی که توسط کامپیوتر پشتیبانی می‌شوند و تکنیک‌های اندازه‌گیری و برون‌یابی[21] مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی. در این میان، تکنیک‌های مبتنی بر GIS به‌واسطه استفاده از نقشه‌برداری دیجیتال و فن‌آوری پایگاه داده حاصل‌شده است. اندازه‌گیری دیجیتال و

18 - platforms
19 - Sinuosity ratio
20 - Relative Bend curvature
21 - Extrapolation

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

تحلیل فضایی در GIS می‌تواند برای اندازه‌گیری شعاع خم، مرکز ثقل خم، عرض کانال، طول‌موج 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 مورداستفاده قرارگرفته است. برای محاسبه آهنگ جابجایی کانال می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد (گرادینو و لی ، ۲۰۱۱: ۸ ؛ شیلدز[۲۳] و همکاران،۲۰۰۰: ۵۴–۶۶, ماگدالنو[۲۴] و همکاران ، ۲۰۱۱: ۱۹۷–۲۰۷):

رابطه (۶) $R_m = (A / L) / y$

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 موردمطالعه نشان می‌دهد که، رودخانه ارس در این بازه بیشتر از الگوی سینوسی تبعیت می‌کند. بااین‌حال 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 موردمطالعه 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 ترانسکت ها در بازه موردمطالعه است.

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

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

22 - Heo at al

23 - Shields et al

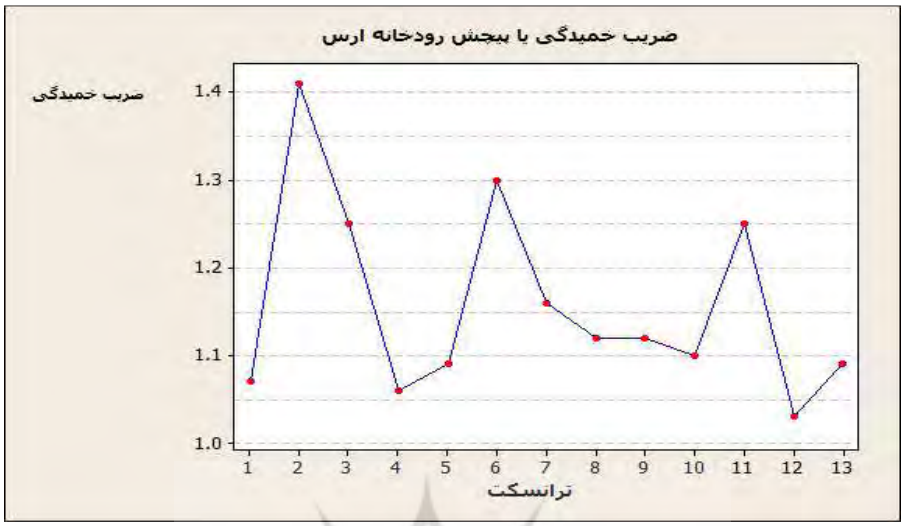
24 - Magdaleno et al

25 - Add In

26 -Lauer

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

۱۳	۳/۹۸	۳/۶۳	۱/۰۹	مستقیم



شکل٤ : ضریب خمیدگی یا پیچش رودخانه ارس در ۱۳ ترانسکت موردمطالعه

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 موردمطالعه 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 به‌عمل‌آمده، مواد معلق رودخانه که بخش اعظم بار رسوبی ارس را تشکیل می‌دهند ذرات بین صفرتا 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 ۵۸/۵ 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 ۵،۶). 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.

ازنظر شکل ظاهری رودخانه ارس در محدوده موردمطالعه، حالت شریانی دارد؛ زیرا پتانسیل حمل رسوبات آن بالا بوده و برای اتلاف انرژی مازاد، جریان در آن تمایل به گستردگی دارد. ازاین‌رو ته‌نشست مواد رسوبی کف به میزان فراوان ای 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 آبراهه‌ها نیز تابع شرایط جریان است.

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

شکل۵ : مواد بستری شامل سنگریزه‌ها و قلوه‌سنگ‌های ریزودرشت در مسیر رودخانه ارس

شکل٦ : جزایر میانی رودخانه ارس شامل رسوبات ریزدانه و درشت‌دانه

راستای کلی رودخانه در مقطع سیلابی آن نسبتاً مستقیم بوده و در مواقع سیلابی جریان به‌صورت 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 به‌طرف ساحل راست (ساحل ایران) اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه رودخانه ارس در یک دشت آزاد آبرفتی

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

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. درواقع 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 r/w برای چندین ترانسکت محاسبه (جدول ۲) و برازش دوایر به خم‌های مجرا در ترانسکت های مشخص‌شده ترسیم گردید. نتایج حاصل نشان داد که در ترانسکت ۲ و ۱۱ نسبت r/w بیشتر از ۳/۵ 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 تائید مطالب بیان‌شده، می‌توان گفت که افزایش تنش در محدوده دیواره خارجی قسمت خروجی پیچ به‌تدریج باعث تندتر شدن پیچ و کاهش نسبت r/w شده که در این صورت تغییرات به‌صورت جابجایی در عرض و در جهت پایین‌دست متقابلاً ظاهرشده است. در ترانسکت ۱ و ۱۰ نسبت r/w از ۳/۵ 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 r/w خیلی کم و به مقدار ۱/۲۵ نزدیک شده و منطقه تنش ماکزیمم به‌طور کامل در محدوده دیواره داخلی قرار دارد.

جدول ۲: محاسبه انحناء نسبی پیچ در مسیر رودخانه ارس

ترانسکت	r/w
۱	۲/۰۹۶
۲	۳/۷۲۹
۳	۱/۳۶۶
۸	۱/۰۲۸
۱۰	۲/۹۷۴
۱۱	۴/۳

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

بررسی کمّی تغییرات جانبی مجرا

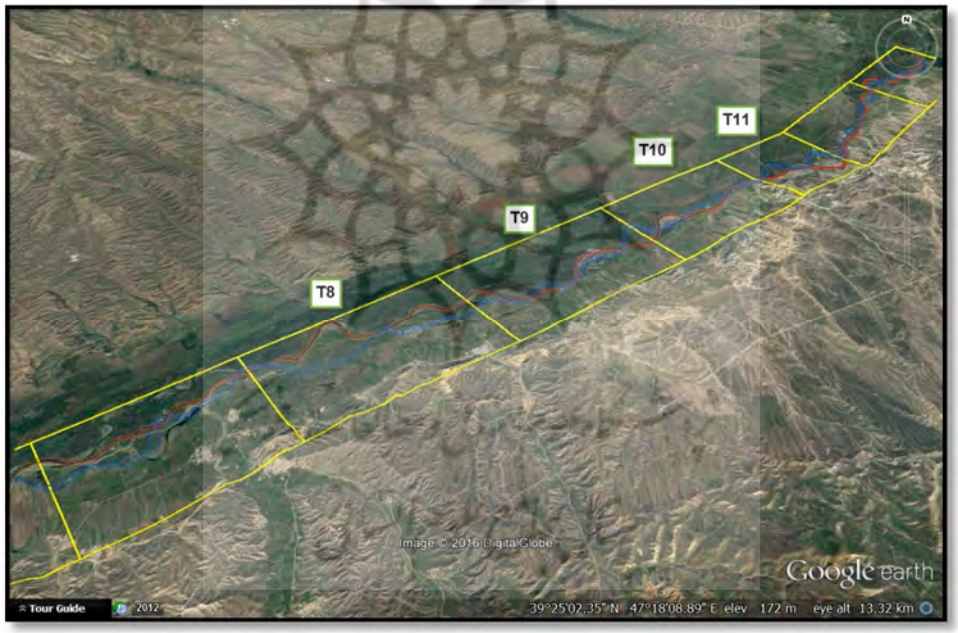
میانگین میزان مهاجرت مجرای رودخانه ارس در طول ۲۹ سال گذشته (در بین دو سد) در حدود ۴/۷۳ متر در سال بوده است و از این نظر به‌احتمال‌زیاد پویاترین رودخانه شمال غرب کشور و یکی از پویاترین رودخانه‌های ایران است. در جدول (۳) میانگین جابجایی عرضی به‌صورت جداگانه برای هر یک از ترانسکت‌ها محاسبه گردید. در شکل (۹ و ۱۰) روش محاسبه میزان جابجایی عرضی مجرا در بخشی از ترانسکت های ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ نشان داده‌شده است. بیش‌ترین مقدار میانگین جابجایی جانبی مجرا بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ با مقدار بسیار قابل‌توجه ۱۵/۱۴ متر، مربوط به ترانسکت شماره ۸ است (شکل ۹) که نتیجه آن افزوده شدن ۲۲۲/۷۲ هکتار زمین به‌طرف ایران و به همین نسبت از دست رفتن زمین از طرف جمهوری آذربایجان است. در این ترانسکت، نسبت r/w خیلی کم و به مقدار ۱/۲۵ نزدیک شده و منطقه تنش

[27] - Shear stress distribution

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

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 موردمطالعه، تغییرات مجرا با توجه به روند گذشته به سه دلیل عمده اتفاق افتاده است: (۱) مهاجرت مجرا در دشت سیلابی به‌واسطه فرسایش کناره مقعّر حلقه‌های[۲۸] مئاندرها که با توجه به شرایط محلی از شدت و ضعف برخوردار بوده است، (۲) ایجاد میان‌بُرها به‌واسطه پیشروی و نزدیک شدن پایه مئاندرها که آثار آن به‌صورت کانال‌های متروک قابل‌مشاهده است و (۳) تغییر مسیر[۲۹] بخشی از مجرای رودخانه. درواقع مقادیر زیاد و غیرمعمول آهنگ مهاجرت در برخی از ترانسکت‌ها مربوط به این تغییر مسیرها است تا فرسایش کناره. ازاین‌رو، در بازه موردمطالعه 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 متروک‌شده و مجرایی 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.



شکل۷ : بخشی از ترانسکت های ترسیمی بر روی مجرای رودخانه ارس (آبی: مجرای ۱۹۸۷ و قرمز: مجرای ۲۰۱٦)

28 - Loops

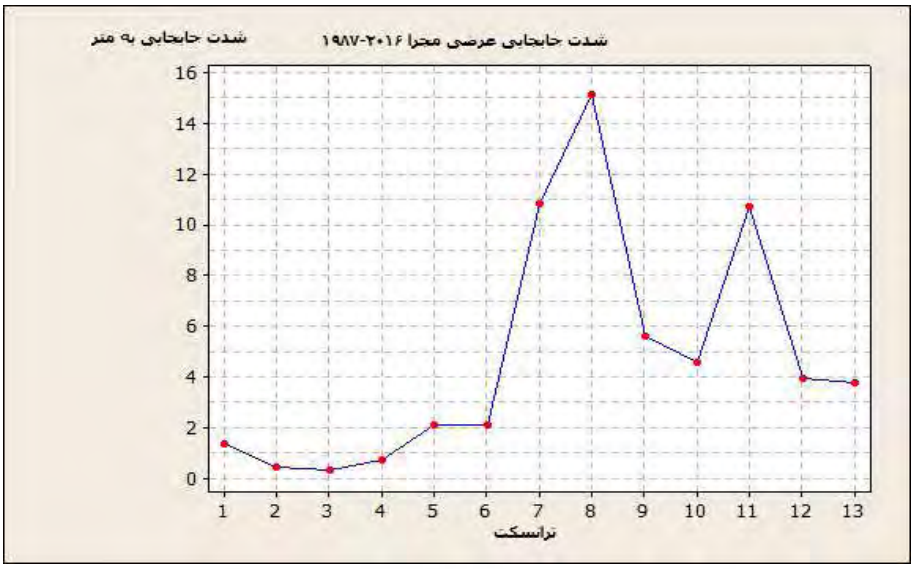
29 - Avulsion

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

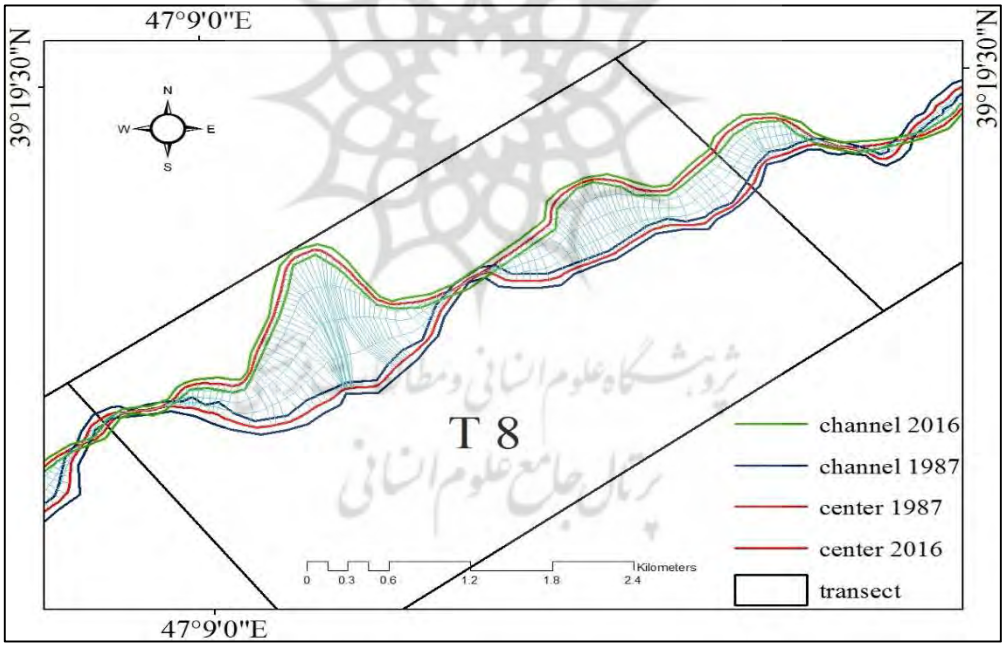
جدول ۳: مقادیر مربوط به شاخص‌های کمی مجرای رودخانه

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

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

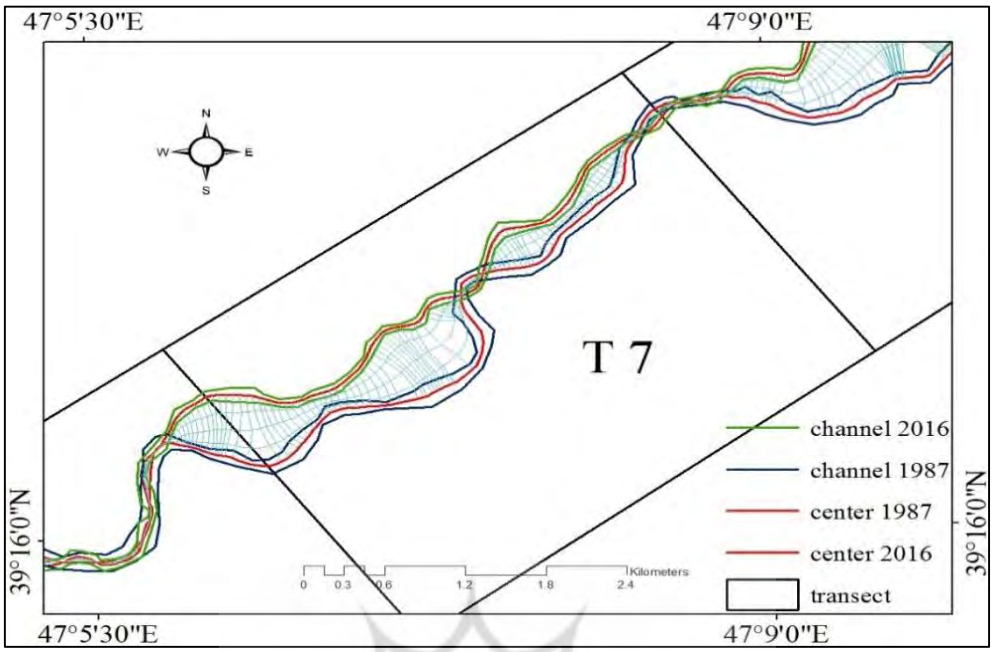


شکل ۸ : شدت جابجایی عرضی مجرا در طول مسیر رودخانه ارس (از سد خدا آفرین تا میل مغان)



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

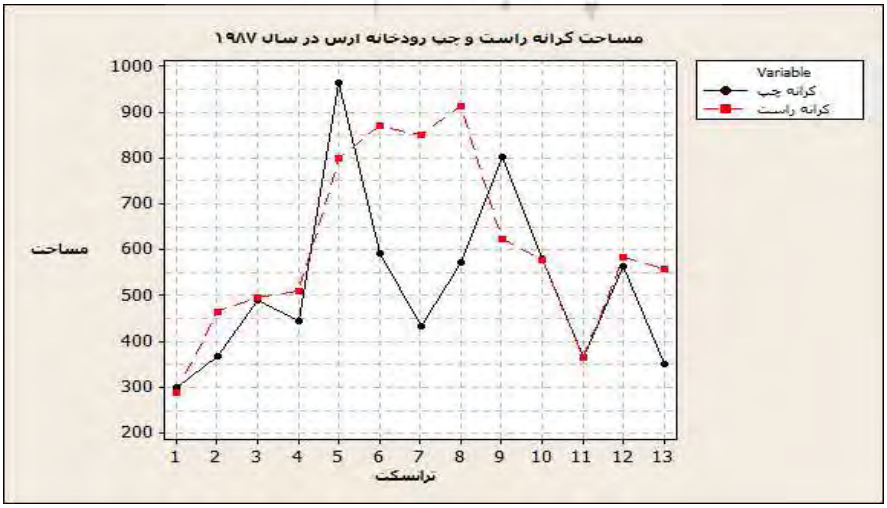
Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017



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

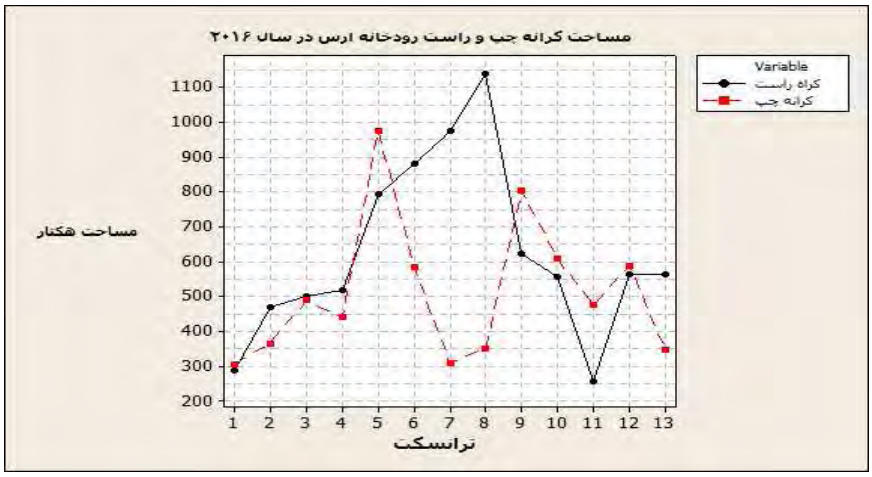
سوای از مسائل حقوقی مربوط به معاهدات مرزی بین دو کشور ایران و آذربایجان، جابجایی جانبی مجرا مخصوصاً تغییر مسیرها می‌تواند برای هر دو کشور مسائل مختلفی مانند از دست رفتن اراضی را موجب گردد. جابجایی عرضی مجرا باعث تغییر مساحت ترانسکت‌ها در دو طرف رودخانه شده است. شکل (۱۱ و ۱۲) تغییرات مساحت کرانه راست 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 افزوده‌شده و در حدود ۳۷۶/۲۶ هکتار از اراضی ایران درنتیجه تغییرات مجرا از دسترس خارج‌شده است و درمجموع 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) محاسبه‌شده است.



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

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017



شکل ۱۲: مساحت کرانه راست و چپ رودخانه ارس در سال ۲۰۱٦

نتیجه‌گیری

جابجایی جانبی مجرای رودخانه ارس، یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات منطقه محسوب می‌شود، به‌طوری‌که 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 موردبررسی 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 کم شیب و آبرفتی (بازه دشت سیلابی) وارد می‌شود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که پلانفرم رودخانه ارس در محدوده موردمطالعه، از نوع شریانی و مئاندری است. بررسی‌های ضریب خمیدگی نیز نشان داد که فرم سینوسی رودخانه در اکثر ترانسکت ها نمود پیداکرده است. با توجه به نمونه‌برداری به‌عمل‌آمده، مواد معلق رودخانه که بخش اعظم بار رسوبی ارس را تشکیل می‌دهند ذرات بین صفرتا 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 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 قابل‌توجه ۱۵/۱۴ متر، مربوط به ترانسکت شماره ۸ به دست آمد. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که در منطقه موردمطالعه، تغییرات مجرا با توجه به روند گذشته به سه دلیل عمده اتفاق افتاده است: (۱) مهاجرت مجرا در دشت سیلابی به‌واسطه فرسایش کناره مقعّر حلقه‌های[30] مئاندرها که با توجه به شرایط محلی از شدت و ضعف برخوردار بوده است، (۲) ایجاد میان‌بُرها به‌واسطه پیشروی و نزدیک شدن پایه مئاندرها که آثار آن به‌صورت کانال‌های متروک قابل‌مشاهده است و (۳) تغییر مسیر[31] بخشی از مجرای رودخانه. همچنین باید افزود، در طی دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ در حدود ۱۷۱/۴۸ هکتار به اراضی ایران افزوده‌شده و در حدود ۳۷۶/۲۶ هکتار از اراضی ایران درنتیجه تغییرات مجرا از دسترس خارج‌شده است و درمجموع می‌توان گفت که نزدیک به ۲۰۴/۷۸ هکتار از اراضی سمت ایران در طی ۲۹ سال از دسترس خارج‌شده 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) محاسبه‌شده است. پویایی

30 - Loops

31 - Avulsion

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

زیاد مجرای رودخانه علاوه بر اینکه موجب فرسایش‌های عظیم و نابودی خاک‌های حاصلخیز می‌شود، می‌تواند درزمینه 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.
- رضائی‌مقدم، 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 کمّی، 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: پایین‌دست 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*

Downloaded from geomorphologyjournal.ir at 15:37 +0430 on Tuesday September 5th 2017

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.*
- *Tejeda, 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.*

پرتال جامع علوم انسانی