

مورفومتری و مقایسه تغییرات عرضی رودخانه ارس طی سه دهه اخیر

مطالعه موردی: پایین دست سد میل مغان

مجتبی یمانی* - استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
مسعود رحیمی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز
عبدالکریم ویسی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۲/۱۰

چکیده

تغییرات و جابجایی‌های کلی و حتی جزئی الگوی رودخانه از عمده‌ترین مباحث مربوط به ژئومورفولوژی رودخانه‌ای به شمار می‌رود. به همین علت تحقیقات و مطالعات زیادی توسط ژئومورفولوژیست‌ها در این زمینه انجام گرفته است. با بررسی الگوی یک رودخانه می‌توان شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن را در آینده بهتر درک کرد و همچنین می‌توان پاسخ رودخانه را نسبت به تغییرات طبیعی و انسانی پیش‌بینی کرد. رودخانه ارس یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های مرزی ایران در حوضه آبریز دریای خزر می‌باشد که بنا به دلایل مختلف زمین‌های ساحلی خود را به واسطه تغییرات جانبی موردتهاجم قرار داده و نهایتاً موجب تخریب اراضی زراعی و مسکونی و جاده ساحلی شده است که خصوصاً در مناطق دشتی حمله رودخانه به سواحل تشدید یافته و باعث تغییرات عرضی شدید شده است. وجود تأسیسات زیربنایی مهم کشاورزی، پروژه‌های عمرانی و صنعتی در حاشیه رودخانه ارس موجب شده که تغییر مسیر این رودخانه از اهمیت بالایی برخوردار باشد. در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی بستر رودخانه ارس از تصاویر ماهواره‌ای Landsat سنجنده OLI و TM در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۷ الی ۲۰۱۳ و همچنین از تصاویر ماهواره IRS سنجنده P5 هم برای تفسیر دقیق‌تر عوارض کناره‌های رودخانه استفاده گردید. ضرایب هندسی رودخانه برای دو دوره زمانی فوق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصله تغییرات و جابجایی عرضی زیادی را طی ۲۶ سال اخیر (در بعضی نقاط ۱/۷ کیلومتر) نشان داد. بیش‌ترین میزان این تغییرات در قسمت پایین دست بازه انتخابی صورت گرفته است. مطالعه عوامل مؤثر در تغییرات عرضی رودخانه ارس نیز نشان داد که پایین بودن شیب رودخانه و همچنین جریان رودخانه بر روی بستر آبرفتی جوان فرسایش پذیر از مهم‌ترین عوامل تغییرات عرضی این رودخانه بوده است و سایر عوامل تأثیرگذار در مرتبه بعدی قرار گرفته‌اند.

واژگان کلیدی: تغییرات جانبی، بیجان‌رود، مورفولوژی رودخانه، رودخانه ارس.

مقدمه

ریخت‌شناسی یا مورفولوژی^۱ رودخانه، علمی است که خصوصیات ظاهری شکل رودخانه را مورد بررسی قرار می‌دهد. موضوع اصلی در این علم، مطالعه ساختار و فرم رودخانه‌ها از نظر شکل هندسی در پلان^۲، هندسه شکل مقطع^۳، اشکال بستر و ویژگی‌های نیم‌رخ طولی آن است. چون رودخانه‌ها مسیر طبیعی حرکت آب بر سطح زمین به شمار می‌رود، لذا ریخت‌شناسی رودخانه در اثر تغییرات کمی و کیفی دبی جریان و بار رسوبی، جنس مصالح تشکیل‌دهنده بستر و سواحل رودخانه به‌طور طبیعی در طول زمان و یا بر اثر فعالیت‌های بشری از قبیل عملیات ساختمانی یا مهندسی تغییر می‌کند (راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه، وزارت نیرو: ۵ و ۶). مورفولوژی رودخانه‌ها در حفاظت و مقابله با سیلاب به‌واسطه پیوند و ارتباط آن با زیستگاه‌های طبیعی و انتقال سیلاب از اهمیت خاصی برخوردار است (Sear et al, 2003:2). در دهه‌های گذشته به‌منظور شناخت و کشف تغییرات موجود در سطح زمین به‌خصوص رودخانه‌ها از روش‌های مختلفی مانند عملیات صحرایی، نقشه‌برداری سطحی استفاده می‌کردند. معمولاً بررسی تغییرات به‌صورت سنتی، همراه با عملیات صحرایی وقت‌گیر بوده و مقرون به‌صرفه نمی‌باشد. لذا در شرایط کنونی منطقی‌ترین روش برای بررسی تغییرات رودخانه‌ها استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری (تصاویر ماهواره‌ای) می‌باشد (Wang et al, 2004:15). رودخانه مرزی ارس در طی سال‌های اخیر در نتیجه تغییرات بستر و پیچان‌رودی شدن موجب گردیده که سطح اراضی اطراف رودخانه در ساحل ایران و جمهوری آذربایجان مورد هجوم فرسایش قرار گیرد. تعیین این تغییرات در گذشته و پیش‌بینی این تغییرات در آینده موجب می‌گردد که برای تثبیت سواحل رودخانه اقدامات لازم به عمل آورده شود. این اقدامات موجب می‌گردد تا در بخش‌هایی که رودخانه به سمت سواحل ایران هجوم آورده، خاک کشور حفظ شود و نیز در جاهایی که رودخانه به سمت آذربایجان حرکت کرده است، آب رودخانه از دسترس مردم حاشیه‌نشین آن خارج نگردد. در واقع می‌توان گفت یکی از اهداف اساسی این پژوهش استخراج میزان تغییرات جانبی رودخانه ارس طی ۳۰ سال اخیر بوده است چراکه این رودخانه مرزی بوده و جابجایی‌های جانبی آن در آینده می‌تواند، تنش‌هایی را بین دو کشور ایران و جمهوری آذربایجان ایجاد نماید.

یمانی و حسین زاده (۱۳۸۱) مورفولوژی رودخانه تالار را در مقطع زمانی ۳۹ ساله با روش‌های تغییرات زمانی و مکانی و روش میدانی مورداستفاده قرار داده‌اند. این محققین نتیجه گرفته‌اند که رودخانه هنوز تعادل دینامیکی خود را به دست نیاورده است و همچنان در حال تغییر و جابجایی و ایجاد پیچ‌وخم‌های جدید و توسعه در قسمت‌های علیا و تغییراتی خیلی کند و بطئی در قسمت سفلا خود می‌باشد. رضایی مقدم و خوش‌دل (۱۳۸۸) با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۶۳ و ۱:۴۰۰۰۰ سال ۱۳۷۷ وضعیت مورفولوژیکی و هندسی پیچان‌رودهای اهر چای در محدوده دشت ازومدل و رزقان را مورد مطالعه قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیدند که رودخانه در محدوده مورد مطالعه به علت شیب بسیار کم حالت مئاندری پیدا کرده و بیش‌ترین درصد مئاندر مربوط به مئاندرهای دارای سینوسیته بالا ۱/۵ می‌باشد. شریفی کیا و امیری (۱۳۹۲) الگوی تغییرات مکانی رودخانه هیرمند در نیم‌قرن گذشته (۱۳۹۰-۱۳۴۴) را از طریق تحلیل تصاویر سنجش‌ازدوری دو زمانه مورد بررسی قرار دادند یافته‌های پژوهش در خصوص عوامل ایجاد تغییر در الگوی فضایی و هندسی رودخانه، علاوه بر 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 می‌داند. قاسم‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی اثرات احداث سد مخزنی گیلان غرب بر مورفولوژی رودخانه گیلان غرب پرداختند. روش پژوهش آن‌ها پایش تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی دوره‌های قبل و بعد احداث سد بوده است. نتایج

¹ - Morphology

² -Channel Configuration or Planform

³ -Cross –Section Geometry

پژوهش آن‌ها نشان داد که شیب بستر رودخانه در بخش بالادست، پس از احداث سد کاهش یافته است. محاسبه ضریب پیچشی رود حاکی از افزایش سینوزیته مجرا در بالادست سد است. همچنین آن‌ها نشان دادند که احداث سد سطح اساس جدیدی در منطقه ایجاد کرده که موجب گسترش فرسایش شیاری و خندقی در دامنه‌های مشرف به دریاچه سد شده است. روستایی و همکاران (۱۳۹۲) مورفولوژی مجرای رودخانه ليقوان را با استفاده از روش طبقه‌بندی راسگن مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که این روش طبقه‌بندی، توانایی تمرکز روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی رودخانه ليقوان مانند نسبت گود افتادگی بستر، نسبت عرض به عمق و مواد بستر را دارد. به گفته آن‌ها در واقع این روش یک ارزیابی منطقی است که اطلاعات ریزتر و دقیق‌تری را برای بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه فراهم می‌کند. همچنین از بین محققین خارجی نیز می‌توان به مطالعاتی اشاره کرد: فایوز^۱ و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای تأثیر سدها و تغییر کاربری اراضی را بر مورفولوژی رودخانه در حوضه آبریز رگوتیوای^۲ اسپانیا مورد بررسی قرار داده‌اند. نتیجه این مطالعه نشان داد که احداث سد در قسمتی از رودخانه به علت کاهش میزان دبی و تنظیم جریان دبی و کنترل سیلاب‌هایی که بیش‌ترین تأثیر در تغییر مورفولوژی رودخانه را دارند، باعث باریک شدن مجرای فعال در پایین‌دست رودخانه شده است. ماتیکومو^۳ و همکاران (۲۰۰۸)، در مقاله‌ای به بررسی آشکارسازی تغییرات کناری رودخانه مکونگ^۴ در دو بازه زمانی با استفاده از سنجش‌ازدور در منطقه وینتیانس - نوگوخای^۵ پرداخته‌اند و بدین نتیجه رسیدند که میزان انباشت رسوبات برای کناره‌های رودخانه در دو دوره به ترتیب ۰/۴، ۰/۷ متر در سال بوده است. برتولدی^۶ (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای نقش تغییرات مورفولوژیکی حادث شده به وسیله جریان‌های عادی و سیل را در رودخانه تاقلیماتو^۷ در ایتالیا مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه تغییرات مورفولوژیکی حادث شده به وسیله ۶ سیل متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است و پس از بررسی توپوگرافیکی پروفیل مقطع عرضی بعد از وقوع هر سیل مورد بررسی قرار گرفت که میزان تغییرات مورفولوژیکی را نشان داده‌ها پرداخته است. این مطالعه رابطه‌ی بسیار خوبی را بین اوج جریان پهنای فعال و میانگین تغییرات بستر نشان داده است.

موقعیت پهنه 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 جنوب ترکیه سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از طی مسیری در حدود ۴۵۰ کیلومتر در روستای تازه کند پارس آباد از مرز ایران جدا شده وارد خاک جمهوری آذربایجان می‌شود و با رودخانه کورا در داخل این کشور تلاقی و سپس وارد دریای خزر می‌گردد. منطقه مورد مطالعه بازه‌ای از این رودخانه به طول تقریبی ۷۰ کیلومتر می‌باشد که از پایین‌دست سد میل مغان شروع شده و تا خروجی رودخانه از ایران ادامه دارد (شکل ۱).

از نظر تقسیمات سیاسی این رودخانه مرز استان اردبیل با کشور جمهوری آذربایجان محسوب می‌شود. همچنین از نظر موقعیت جغرافیایی این محدوده در عرض‌های ۳۹° ۱۷' ۵۹" تا ۳۹° ۵۱' ۴۱" شمالی و ۴۷° ۲۹' ۱۱" تا ۴۷° ۵۳' ۵۸"

^۱ -Fayos

^۲ -Rogativa

^۳ -Matiti kummu

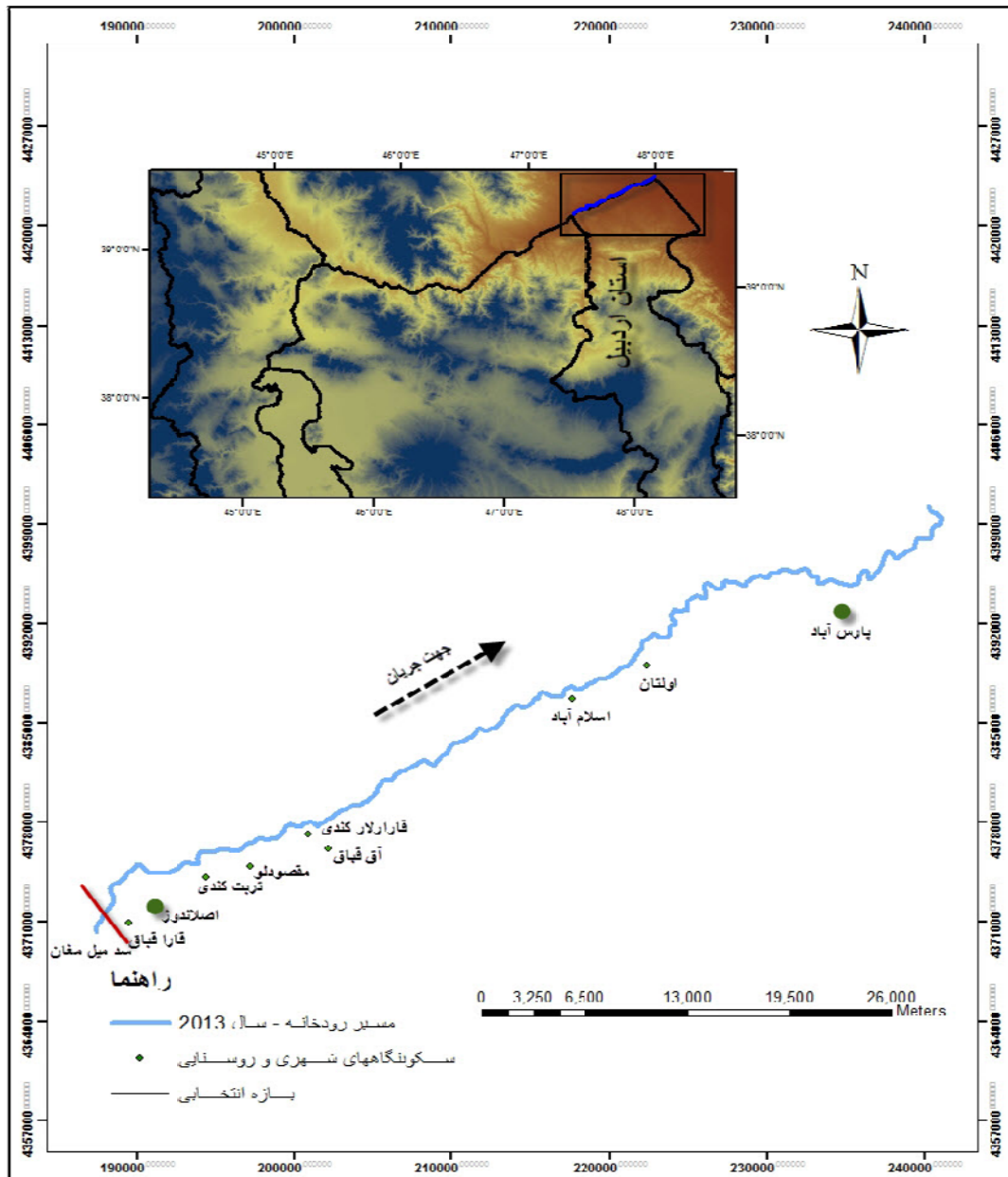
^۴ -Mekong river

^۵ -Vientianee nogokhai

^۶ -Bertoldi

^۷ -Tagliamento

شرقی قرار گرفته است. از جمله مناطق مسکونی مهم در حاشیه رودخانه در این محدوده، شهرستان اصلاندوز و پارس آباد و همچنین روستاهای مقصودلو، آق قباد، اسلام آباد و اولتان می باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش ها

تغییرات بستر رودخانه ارس در دو مقطع زمانی ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت استخراج تغییرات بستر از تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. بدین صورت که ابتدا قدیمی‌ترین تصویر ماهواره‌ای موجود (تصاویر ماهواره‌ای Landsat 5 سنجنده TM) برای سال ۱۹۸۷ و جدیدترین تصویر ماهواره‌ای منطقه (تصاویر ماهواره‌ای

8 Landsat سنجنده (OLI) برای سال ۲۰۱۳ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ دانلود گردید. همچنین تصاویر IRS منطقه نیز از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه گردید. با توجه به زمین مرجع^۲ بودن تصاویر Landsat نیازی به عملیات زمین مرجع وجود نداشت. اما تصاویر ماهواره‌ای IRS با استفاده از نقاط و پدیده‌های ثابت (پل، تقاطع راه‌ها مناطق مسکونی و غیره) در نقشه توپوگرافی ۱:۲۰۰۰ منطقه، زمین مرجع گردید و دیتوم WGS 1984 و سیستم مختصات UTM زون ۳۹ برای آن تعریف شد.

در ادامه تصاویر Landsat وارد نرم‌افزار ENVI شد و سپس ضریب همبستگی بین کلیه باندهای تصویر محاسبه شد. سپس با استفاده از فاکتور^۳ OIF، سه باند با کمترین وابستگی انتخاب شد و تصویر رنگی کاذب^۴ منطقه تولید گردید و محدوده منطقه مورد مطالعه از تصویر برش داده شد^۵. به منظور تشخیص هرچه بهتر رودخانه از فیلتر بالا گذر سوبل^۶ استفاده شد. نحوه عمل کرد این سیستم این گونه است که 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 می‌گیرد.

در مرحله بعد به منظور افزایش کنتراست تصویر از روش یکسان‌سازی هیستوگرام^۷ در نرم‌افزار ENVI استفاده گردید. سپس این تصاویر وارد نرم‌افزار Arc GIS شد و مسیر رودخانه از روی تصویر ماهواره‌ای رقومی گردید و پلان رودخانه برای هر دو سال ترسیم شد. با همپوشانی پلان‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای میزان جابجایی بستر رودخانه طی ۲۶ سال مشخص گردد. در ادامه پس از ترسیم پلان رودخانه، شیب فایل‌های ایجاد شده به فرمت dwg تبدیل شده تا به محیط Auto CAD منتقل گردد در ادامه این پلان‌ها وارد نرم‌افزار Auto CAD شد و مشخصات هندسی پلان رودخانه شامل شعاع دایره محاط بر پیچان رود، طول موج پیچان رود، ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی قوس‌ها، طول دره و غیره برای هر دو مقطع زمانی در محیط این نرم‌افزار به صورت بسیار دقیق اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری شعاع دایره محاط بر پیچان رود، دوایری بر قوس‌های رودخانه برآش داده شد که بهترین تطبیق را با قوس‌های رودخانه داشته باشد. در ادامه بر اساس رابطه یک ضریب خمیدگی برای هر یک از قوس‌های رودخانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و محاسبه شد. زاویه مرکزی هر یک از قوس‌ها نیز بر اساس رابطه دو اندازه‌گیری شده و محاسبه گردید در ادامه تجزیه و تحلیل‌های آماری این ضرایب نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت و نتایج آن به صورت نمودارهای ستونی نشان داده شد.

1 -Www.glovis.usgs.gov

2 -Geo reference

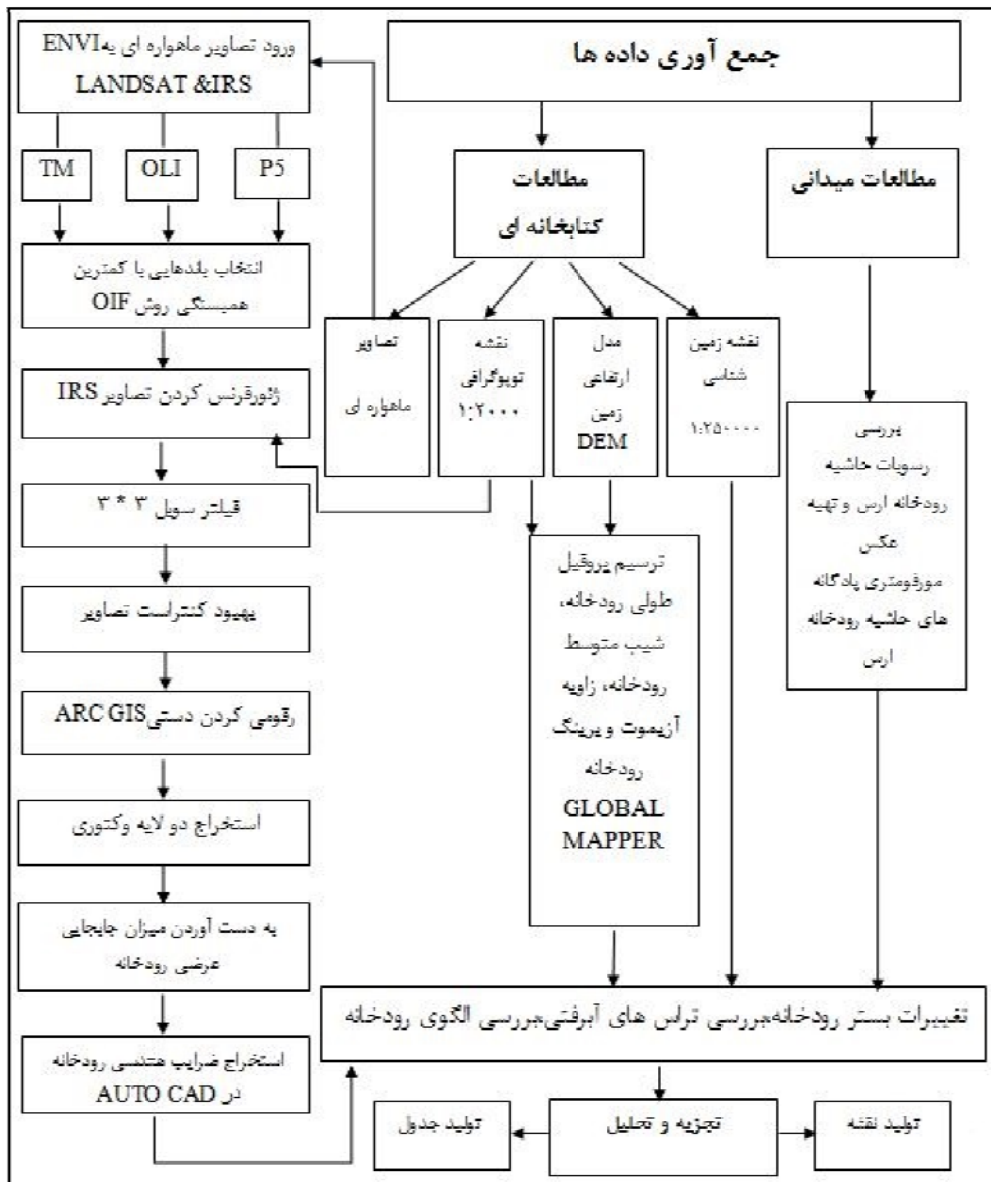
3 -Optimum index factor

4 -False color

5 -Spatial subset

6 -Sobel Filter

7 -Histogram Equalization



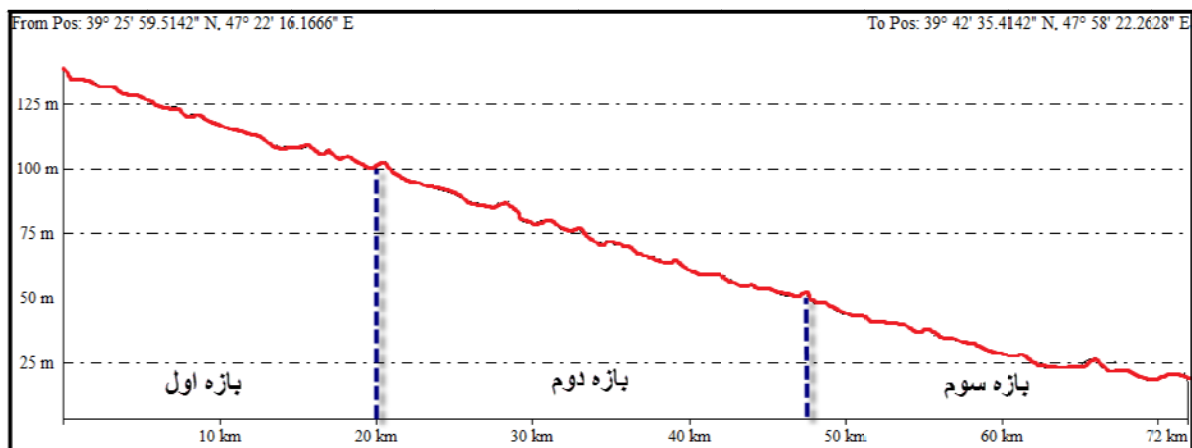
شکل ۲. روند نمای اجرای تحقیق

یافته‌های پژوهش

نیمرخ طولی رودخانه

گیلبرت در سال ۱۸۷۷ بر اساس آزمایش‌های تجربی نشان داد که نیمرخ طولی به‌طور معکوس با دبی متناسب است و تغییرات دبی و ابعاد بار بستری در توضیح شکل نیمرخ رودخانه خیلی مهم هستند. دیگر فاکتورها همانند مقاومت لیتولوژیکی، دریافت و عدم دریافت شاخه و حرکات تکنونیک در تکامل نیمرخ و تفسیر شکل عمومی نیمرخ طولی مهم هستند. (نیری، ۱۳۸۹). بررسی نیمرخ طولی رودخانه ارس نشان می‌دهد رودخانه از ارتفاع تقریباً ۱۵۶ متر تا تقریباً ۱۴ متر در حال جریان می‌باشد و شیب رودخانه نیز به سمت پایین دست کاهش یافته است. همچنین این پروفیل نشان می‌دهد که نیمرخ طولی رودخانه ارس حالت مقعر داشته و این حالت مقعر^۱ پروفیل نیز، نشان‌دهنده رودخانه‌هایی است که نیروهای بازدارنده‌ی آن به تعادل رسیده است (شکل ۳).

^۱- Concave

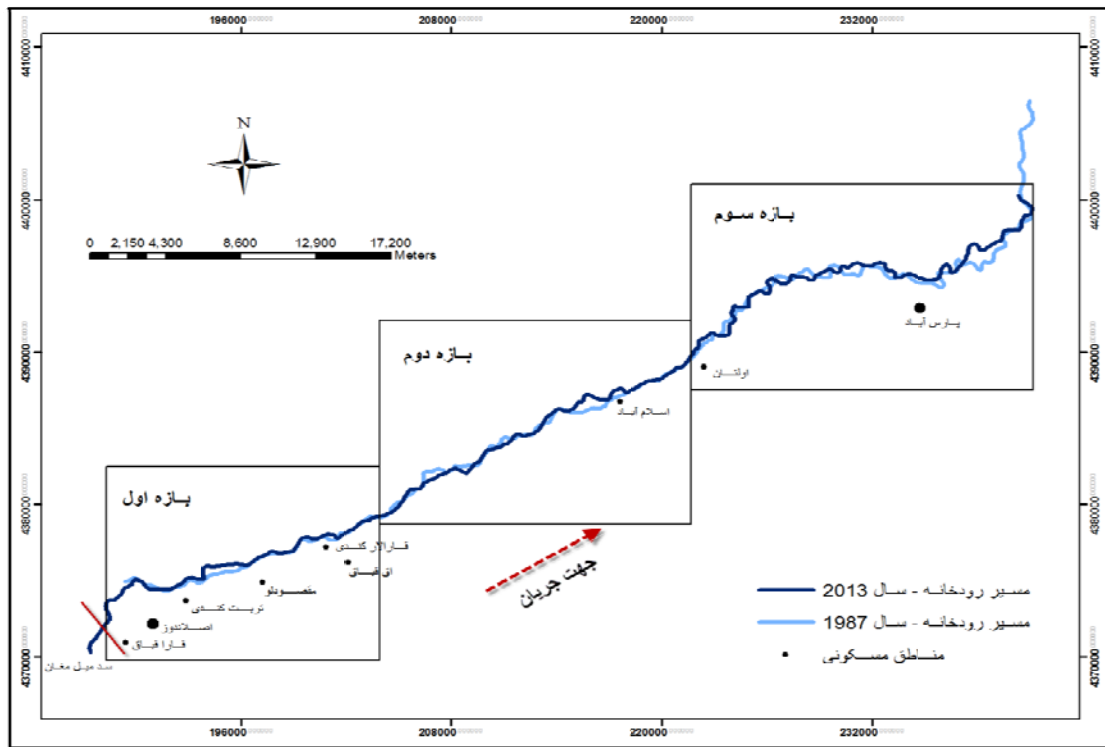


شکل ۳. پروفیل طولی رودخانه ارس از ابتدای سد میل مغان تا خروجی رودخانه از ایران

همچنین تغییرات پروفیل طولی رودخانه ارس تحت تأثیر اندازه قطر ذرات می‌باشد بدین صورت که بستر رودخانه ارس از ابتدای مسیر رودخانه تا انتهای مسیر از نوع رسوبات درشت‌دانه به رسوبات ریزدانه تغییر شکل داده‌اند. این کاهش اندازه قطر ذرات از ابتدا تا انتها از بررسی نمونه‌های برداشتی در طول مسیر قابل مشاهده می‌باشد.

جابجایی عرضی رودخانه ارس

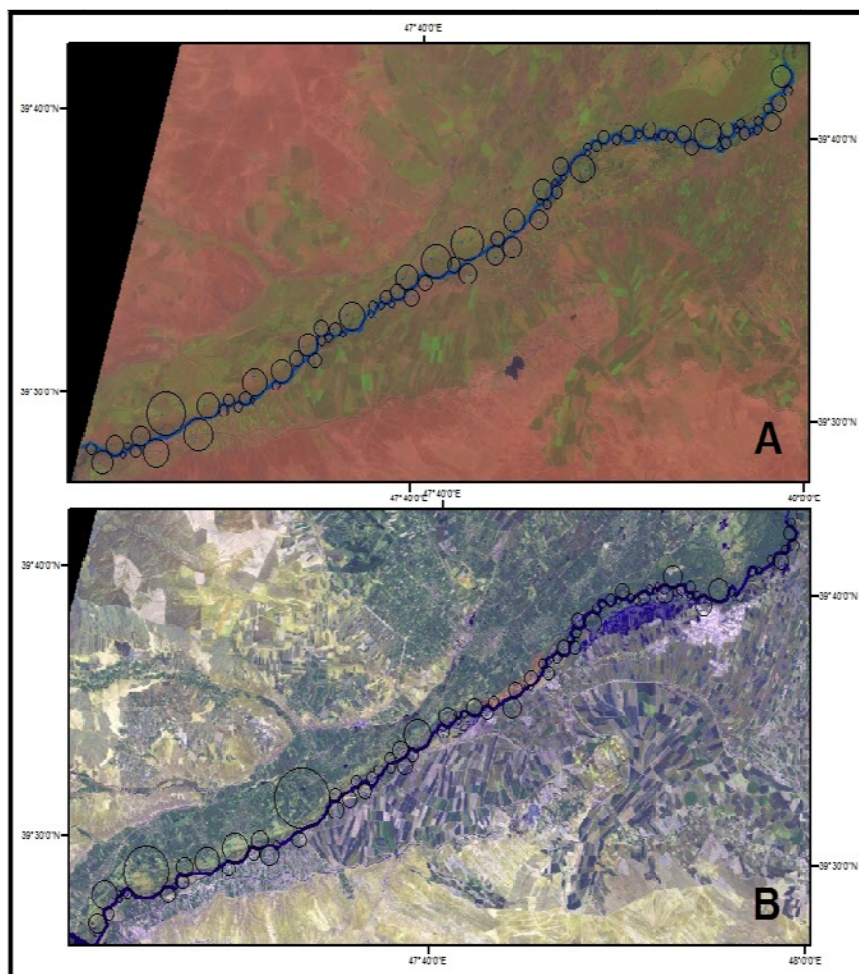
موضوع اصلی در مطالعه مورفولوژی رودخانه، بررسی ساختار و فرم آبراهه از نظر شکل هندسی در پلان، شکل هندسی در مقطع عرضی و مشخصات نیمرخ طولی است. چون رودخانه‌ها مسیر طبیعی حرکت آب بر سطح زمین به شمار می‌رود، لذا مورفولوژی رودخانه در اثر تغییرات کمی و کیفی دبی جریان و سرعت، بده یا بار رسوبات، جنس مصالح تشکیل‌دهنده بستر و سواحل رودخانه به‌طور طبیعی در طول زمان و یا بر اثر فعالیت‌های بشری از قبیل عملیات ساختمانی یا مهندسی تغییر می‌کند. (نیری، ۱۳۸۹). جهت بررسی بهتر و دقیق‌تر مسیر ۷۰ کیلومتری ارس، این مسیر به بازه‌های سه‌گانه تقسیم گردید. علت انتخاب سه بازه، تنوع سه‌گانه‌ی میزان جابجایی عرضی رودخانه ارس طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ بوده است. بدین صورت که رودخانه ارس طی این ۲۶ سال در بازه اول (از سد میل مغان تا نزدیکی روستای آق قباق) جابجایی کم، در بازه دوم (از نزدیکی روستای آق قباق تا روستای اولتان) جابجایی متوسط و در بازه سوم (از روستای اولتان تا خروجی رودخانه) جابجایی زیادی داشته است. حداکثر میزان جابجایی در بازه شماره سوم حدود ۱/۷۰ کیلومتر، در بازه دوم ۹۰۲ متر و در بازه اول ۵۸۳ متر می‌رسد. این میزان جابجایی در طی ۲۶ سال نشان‌دهنده تغییرات سریع این رودخانه و پویایی هرچه بیشتر آن می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴. جابجایی عرضی بستر رودخانه ارس در طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳

شعاع قوس‌های پیچان رود

به‌منظور تعیین شعاع قوس‌های پیچان رودی بعد از این که مسیر رودخانه ترسیم گردید، بر هر یک از قوس‌های رودخانه دوایری برآزش داده می‌شود که بیش‌ترین و بهترین تطابق را با قوس داشته باشند. بعد از ترسیم دوایر، شعاع خمیدگی به دست می‌آید (یمانی، شرفی، ۱۳۸۹). ترسیم این دوایر در محیط اتوکد انجام گرفت. کمترین شعاع دایره در هر دو سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ در بازه شماره سوم (از روستای اولتان تا خروجی رودخانه) قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به این که هرچه شعاع دایره مماس بر خم رودخانه کوچک‌تر باشد، خم رودخانه پیچان‌رودی‌تر می‌شود، پایین بودن میانگین شعاع قوس‌ها در بازه سوم نسبت به بازه اول و دوم نشان‌دهنده توسعه‌یافتگی خم‌های این بازه می‌باشد. این میانگین برای سال ۱۹۸۷ عدد ۳۷۰ و برای سال ۲۰۱۳ عدد ۳۶۲ می‌باشد که نشانگر کاهش شعاع دوایر مماس بر خم‌ها از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ است. پس از بازه سوم، بازه دوم با متوسط شعاع ۵۴۹ برای سال ۱۹۸۷ و ۴۵۷ برای سال ۲۰۱۳ دارای خم‌های توسعه‌یافته‌تری می‌باشد. در آخر، بازه اول با میزان شعاع حداکثری ۵۷۹ برای سال ۱۹۸۷ و ۶۱۹ برای سال ۲۰۱۳، دارای خم‌هایی با میزان توسعه‌یافتگی پایین می‌باشد.



شکل ۵. برازش دواير بر خم‌های رودخانه ارس A : ۱۹۸۷ B : ۲۰۱۳

ضریب سینوسی لنوپلد^۱

ضریب خمیدگی یک رودخانه نسبت طول رودخانه (در امتداد مرکز کانال یا خط القعر) به طول دره است که رودخانه در آن جریان دارد. با استفاده از رابطه (۱) اندازه ضریب خمیدگی برای هر قوس به‌طور مجزا تعیین شد که در این رابطه L طول آبراهه و λ طول موج پیچان رود می‌باشد. معمولاً در یک رودخانه تعداد متناهی خم با مشخصات گوناگون وجود دارد و این خم‌ها در طول زمان توسعه‌یافته و باعث افزایش ضریب خمیدگی رودخانه می‌شود. طبق تعریف ضریب پیچشی بزرگ‌تر از $1/4$ تا $1/5$ بیانگر پیچشی بودن رودخانه و کمتر از آن نشان‌دهنده مستقیم بودن رودخانه و بازه موردنظر است (تلوری، ۱۳۷۳).

$$P = \frac{L}{\lambda/2} \quad (1)$$

^۱- Leopold

جدول ۲: شکل الگوی رودخانه ارس برای سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳

بازه سوم	بازه دوم	بازه اول	بازه‌های انتخابی
پیچان رودی	سینوسی	سینوسی	سال ۱۹۸۷
پیچان رودی	سینوسی	سینوسی	سال ۲۰۱۳

با توجه به جدول ۲، رودخانه ارس در هر دو سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ در کلاس رودخانه‌های سینوسی و پیچان‌رودی قرار دارد. به طوری که در بازه‌های اول و دوم در هر دو سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ رودخانه به شکل سینوسی و همچنین در بازه سوم برای هر دو سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ رودخانه به شکل پیچان‌رودی ظاهر شده است. در هر دو بازه اول و دوم میزان ضریب خمیدگی از ۱/۸ و ۱/۷ برای سال ۱۹۸۷ به ۱/۲۵ و ۱/۲۱ برای سال ۲۰۱۳ افزایش یافته است. اما چنان چه گفته شد همچنان هر دو بازه در هر دو سال در کلاس سینوسی قرار گرفته‌اند. میزان ضریب خمیدگی در بازه شماره سوم برای هر دو سال انتخابی تقریباً عددی نزدیک به هم است. به این صورت که این ضریب برای سال ۱۹۸۷ عدد ۱/۴۶ و برای سال ۲۰۱۳ عدد ۱/۴۲ می‌باشد. که این اعداد مشخص‌کننده الگوی پیچان‌رودی هستند. میزان تحول یک رودخانه با میزان سینوزیته آن رابطه مستقیم دارد و هرچه میزان سینوزیته یک بازه بالا باشد نشان‌دهنده میزان تحول بالاتری است. بر این اساس بازه سوم با میزان سینوزیته بالا نسبت به دو بازه اول و دوم از میزان تحول بالاتری برخوردار می‌باشد.



شکل ۶. تغییرات ضریب خمیدگی رودخانه ارس در سال‌های ۱۹۷۸ و ۲۰۱۳

با بررسی نوسانات ضریب پیچان‌رودی می‌توان گفت که تغییرات ضریب خمیدگی در یک دامنه محدود مشاهده می‌شود که این نشان‌دهنده وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول رودخانه است. در سال ۱۹۸۷ بالاترین نوسان تغییرات در بازه شماره سوم دیده می‌شود ولی در بازه‌های اول و دوم نوسان تغییرات بسیار پایین بوده است. در سال ۲۰۱۳ هم بالاترین نوسان تغییرات در بازه سوم مشاهده می‌گردد، بازه دوم همچنان دارای نوسان کم ولی اول نسبت به سال ۱۹۸۷ نوسان متوسطی را نشان می‌دهد. علت حداکثری نوسانات و تغییرات ضریب خمیدگی در بازه شماره سوم برای هر دو سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳، کاهش شیب رودخانه در این بازه به کمتر از یک درصد، جریان رودخانه بر روی رسوبات آبرفتی، رسوب‌گذاری رودخانه در این بازه و فرسایش کناری رودخانه می‌باشد. با بررسی جدول ۳ متوجه می‌شویم که الگوی رودخانه‌ای سینوسی رودخانه ارس از سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۳ از ۴۲ به ۳۹ کاهش یافته اما تعداد الگوی رودخانه‌ای

پیچان رودی از عدد ۳۲ به ۴۲ افزایش یافته است که این به معنای حرکت رودخانه به سمت الگوی رودخانه‌ای پیچان رودی و تکامل می‌باشد.

جدول ۳. تعداد الگوهای پیچان رودی رودخانه ارس برای سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳

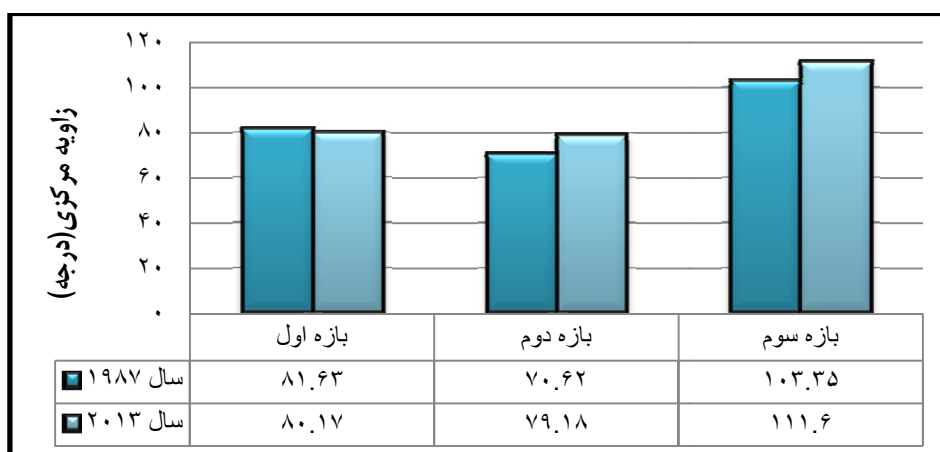
ضریب پیچشی	۱-۱/۰۵	-۱/۵۲ ۱/۰۶	۱/۲۵-۲	> ۲
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچان رودی	پیچان رودی شدید
سال ۱۹۸۷	۵	۴۲	۳۲	۶
سال ۲۰۱۳	۶	۳۹	۴۰	۳

زاویه مرکزی کورنایس^۱

زاویه مرکزی معیاری برای تقسیم‌بندی و شناسایی میزان توسعه پیچان رودی یک رودخانه می‌باشد. با در اختیار داشتن طول قوس و شعاع خمیدگی و با استفاده از رابطه زیر می‌توان زاویه مرکزی قوس را اندازه‌گیری کرد. (تلوری، ۱۳۷۳)

$$A = \frac{180}{R\pi} \quad (2)$$

در این رابطه A زاویه مرکزی، L طول قوس، R شعاع خمیدگی است.



شکل ۷. تغییرات میزان زاویه مرکزی رودخانه ارس در سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳

در بازه اول زاویه مرکزی برای سال ۱۹۸۷ به میزان ۸۳/۶۳ درجه و برای سال ۲۰۱۳ به میزان ۸۰/۱۷ درجه می‌باشد. همچنین در بازه دوم این ضریب برای سال ۱۹۸۷ به میزان ۷۰/۶۲ درجه و برای سال ۲۰۱۳ به میزان ۷۹/۱۸ درجه محاسبه شده است. در واقع این اعداد نشان می‌دهند، هر دو بازه اول و دوم برای هر دو سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ در رده متناظر

^۱ -Kornise

توسعه نیافته قرار گرفته اند. اما در بازه سوم این ضریب برای سال ۱۹۸۷ به میزان ۱۰۳/۳۵ درجه و برای سال ۲۰۱۳ به میزان ۱۱۱/۶ درجه می رسد که باعث گردیده هر دو بازه در رده پیچان رود توسعه یافته قرار بگیرند.

جدول شماره ۴. میزان زاویه مرکزی رودخانه ارس برحسب درصد برای سال های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳

سا ۲۰۱۳ ل	سا ۱۹۸۷ ل	زوایای مرکزی برحسب درجه	شکل رودخانه
۳/۴ %	۵/۳ %	۱-۴۱	شبه مئاندري
۱/۵ %۳۷	۱/۳ %۴۵	۴۱-۸۵	مئاندر توسعه نیافته
۱/۵ %۵۴	۱/۴ %۴۶	۸۵-۱۵۸	مئاندر توسعه یافته
۴/۵ %	۴/۸ %	۱۵۸-۲۹۶	مئاندر خیلی توسعه یافته
-	-	> ۲۹۶	نعل اسبی
۱/۹۰ %۳	۱/۸۵ %۲	میانگین درجه	
مئاندري توسعه یافته		شکل رودخانه	

بررسی میانگین زاویه مرکزی پیچان رود نشان می دهد که میزان توسعه یافتگی پیچان رود از سال ۱۹۸۷ نسبت به سال ۲۰۱۳ افزایش پیدا کرده است. همچنین مطالعه زاویه مرکزی نشان می دهد که در سال ۱۹۸۷ در بازه اول تعداد پیچان رود با رده پیچان رودی توسعه یافته از عدد ۷ به ۱۰ و در بازه دوم از عدد ۷ به ۱۱ و در آخر در بازه سوم از عدد ۲۰ به عدد ۲۷ افزایش پیدا کرده است. در واقع این افزایش تعداد پیچان رودی در رده پیچان رودی توسعه یافته نشان می دهد که در طول ۲۶ سال رودخانه به سمت پیچان رودی شدن تغییر شکل داده است. که در این میان بیشترین افزایش مربوط به بازه سوم بوده است.

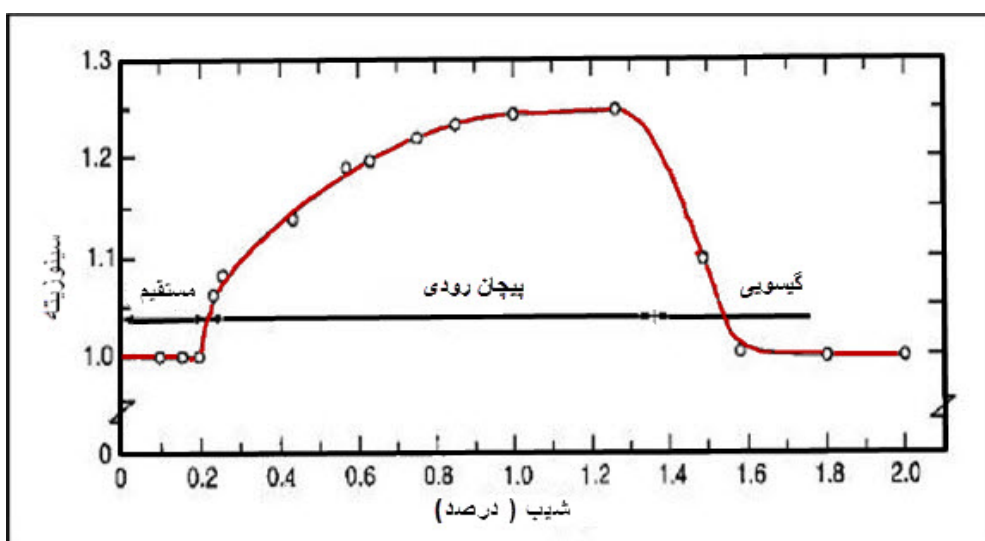
همچنین با نگاه به جدول شماره ۴ متوجه می شویم که در کل مسیر رودخانه در سال ۱۹۸۷ تعداد پیچان رودهایی با رده توسعه نیافته از ۴۵/۳ درصد به ۳۷/۵ درصد در سال ۲۰۱۳ کاهش یافته اما تعداد پیچان رودهایی با رده توسعه یافته از سال ۱۹۸۷ از ۴۶ درصد به ۵۴/۵ افزایش پیدا کرده است. در کل مسیر رودخانه در هیچ کدام از بازه های مشخص شده چه در سال ۱۹۸۷ و چه در سال ۲۰۱۳ پیچان رودی با رده نعل اسبی وجود نداشته است.

مهم ترین عوامل مؤثر در تغییرات عرضی رودخانه ارس

جهت مطالعه عوامل مؤثر در تغییرات عرضی رودخانه ارس چندین عامل تأثیرگذار به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. معمولاً میزان شیب با مقدار تخلیه آب رابطه عکس و با اندازه رسوب و مقدار آن رابطه مستقیم دارد. بنابراین در پایین دست رودخانه ارس به همان صورت که دبی افزوده می شود متوسط اندازه بار بستر کاهش یافته و به دنبال آن شیب

نیز کاهش می‌یابد. در بالادست رودخانه ارس به دلیل درشت‌دانه بودن رسوبات، شیب دره و شیب رودخانه تقریباً یکی بوده به همین دلیل رودخانه دارای الگوی سینوسی شده که با طول‌موج‌های خیلی بزرگ همراه است. هر چه به طرف پایین‌دست رودخانه پیش برویم، رسوبات ریزتر شده، شیب رودخانه کمتر از شیب دره می‌شود و الگوی رودخانه حالت پیچان‌رودی با طول‌موج‌های کوچک به خود می‌گیرد.

تغییرات سینوسی رودخانه‌های تک مجرای با دبی معین در ابتدا همراه با افزایش شیب دره تا مقدار محدودی افزایش می‌یابد و سپس به‌طور ناگهانی در نزدیکی مراحل تبدیل به حالت گیسویی، کاهش پیدا می‌کند (Schomm et al, 1972). بنابراین تغییرات بازه‌ها با استفاده از شیب مسیر رودخانه ارس طبق شکل ۸ نشان می‌دهد که تغییرات بازه‌ها از این نمودار تبعیت می‌کند و هر سه این بازه‌ها در بخش دوم نمودار (مئاندری) قرار دارند.



شکل ۸. رابطه بین شیب و میزان سینوسی رودخانه‌ها با دبی ثابت (شوم، ۱۹۷۲)

مسیر رودخانه ارس بر روی رسوبات آبرفتی عهد حاضر Qa^1 و آبرفت‌های پادگانه‌ای جدید Qt^2 قرار گرفته است (آقانباتی، ۱۳۸۵). جنس این رسوبات کواترنری (عموماً سیلت، رس و ماسه) از لحاظ سختی به گونه است که نتوانسته‌اند در برابر عوامل فرسایشی مقاومت نشان دهند (شکل ۹ و ۱۰). بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از مطالعات میدانی، بافت رسوبات بستر رودخانه ارس نیز از بالادست به طرف پایین‌دست رودخانه، ریزدانه‌تر شده است. به‌گونه‌ای که در بالادست رودخانه (بازه اول) بستر رودخانه بیشتر قلوه‌سنگی، شن و ماسه‌ای بوده ولی به طرف پایین‌دست (بازه سوم) بافت بستر سیلتی، رسی و گل‌ولای دار می‌شود. مطالعه ساختارهای تکتونیکی منطقه نیز نشان می‌دهد که محدوده مورد مطالعه از لحاظ پویایی و تحرکات تکتونیکی زمین چندان فعال نیست. اگرچه این عامل به دلیل تبعیت از دوران‌های طولانی زمین‌شناسی، تأثیر خود را در درازمدت نشان می‌دهد اما انطباق خاصی بین الگوی ساختاری رودخانه و روند عمومی تکتونیک منطقه در کوتاه‌مدت مشاهده نشده است.



شکل ۱۰. تراس‌های آبرفتی قدیمی رودخانه ارس در ساحل ایران (ابتدای بازه دوم)



شکل ۹. وجود رسوبات سیلتی و رسی ریزدانه مستعد به فرسایش (بازه دوم، چهار کیلومتری روستای اسلام‌آباد)

پوشش گیاهی نیز یکی از عوامل مهم در بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه می‌باشد. بدین‌صورت که مقاومت دیواره‌های رودخانه‌ها در نتیجه حضور پوشش گیاهی دست‌خوش تغییر می‌شود. در کل مسیر رودخانه ارس از نظر پوشش گیاهی، پوشش یکسانی وجود ندارد. با توجه به مشاهدات به‌عمل‌آمده از منطقه به‌ویژه در بازه سوم، سواحل رودخانه ارس به‌صورت گسترده به زیر کشت رفته است. به دلیل استقرار شهرستان پارس‌آباد در بازه سوم این بازه بیش از سایر بازه‌ها متأثر از عوامل انسانی بوده است. قطع‌شدگی^۱ از مهم‌ترین خصوصیات رودخانه‌های متاندری می‌باشد. این قسمت‌های رودخانه ارس به علت پر شدن به‌وسیله مواد سیلابی توسط کشاورزان منطقه اشغال شده است. بیشتر زمین‌های قطع‌شده در این بازه به زیر کشت برنج رفته است. بالادست رودخانه ارس در قسمت ابتدایی بازه دوم نگارنده شاهد کارگاه‌های برداشت شن و ماسه بوده است. برداشت شن و ماسه در درازمدت به کاهش شیب و بار بستر در پایین‌دست محل می‌انجامد. درواقع در مواقعی که حجم شن و ماسه برداشتی از یک منطقه رودخانه زیاد باشد باعث ایجاد تند آب‌هایی با ارتفاع چند متر در مسیر جریان می‌شود. در این حالت رژیم هیدرولیکی رودخانه به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفته و آب در محل شستگی بستر به‌صورت ریزشی جریان خواهد یافت که فرسایش بستر را به دنبال خواهد داشت.

^۱ -Cut off



شکل ۱۱. کارگاه برداشت شن و ماسه از ساحل رودخانه ارس (بازه دوم)

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه و بررسی میزان پارامترهای هندسی برای دو بازه زمانی ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ نشان داد که طی ۲۶ سال اخیر در بازه‌ی مطالعاتی تعداد خم‌های رودخانه ارس با الگوی مئاندری توسعه‌یافته کاهش یافته و در عوض خم‌های رودخانه ارس با الگوی مئاندری توسعه‌یافته رو به افزایش بوده است. در واقع این موضوع نشان‌دهنده در حال توسعه بودن خم‌های این رودخانه می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی ضریب سینوزیته لئوپلد نشان داد که الگوی رودخانه ارس هم در سال ۱۹۸۷ و هم در سال ۲۰۱۳ از نوع الگوی رودخانه‌ای سینوسی بوده اما بازه سوم دارای الگوی رودخانه‌ای پیچان‌رودی می‌باشد. همچنین باید اشاره کرد که از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ تعداد الگوی رودخانه‌ای سینوسی و پیچان‌رودی در هر سه بازه اول، دوم و سوم رو به افزایش بوده است.

بررسی میزان جابجایی رودخانه ارس نیز تغییرات زیادی را در طول ۲۶ سال اخیر آشکار ساخت، به گونه‌ای که حتی در بخش‌هایی از بازه سوم میزان جابجایی عرضی رودخانه ارس به ۱/۷ کیلومتر هم رسیده بود. در رابطه با جابجایی عرضی رودخانه ارس باید اشاره کرد که از بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست، میزان جابجایی رودخانه رو به افزایش بوده است. نتایج حاصل از نمونه‌برداری‌های انجام‌شده از مسیر رودخانه ارس نیز نشان داد که بافت رسوبات رودخانه از بالادست به طرف پایین‌دست ریزدانه‌تر شده و بیش‌ترین تفاوت در نمونه رسوب‌های برداشتی از سه بازه در طبقه مربوط به ماسه بسیار درشت و ماسه درشت بوده است. در راستای بررسی عوامل مؤثر در تغییرات بستر رودخانه ارس، پارامترهای اثرگذار موردبررسی و مطالعه قرار گرفت و نتایج حاصله نشان داد که در بین این عوامل، شیب و جنس رسوبات، مهم‌ترین عامل جابجایی عرضی رودخانه ارس طی ۲۶ سال اخیر بوده است. در رابطه با عامل شیب باید افزود که میزان شیب رودخانه ارس در بازه سوم به زیر یک درصد نزول کرده و باعث رسوب‌گذاری رودخانه و به تبع آن افزایش جابجایی رودخانه ارس و مئاندری شدن خم‌های آن شده است.

همچنین با توجه به عبور رودخانه از روی آبرفت‌های جوان کواترنری که نسبت به فرسایش مستعد می‌باشند، تغییر مسیر رودخانه ارس با سرعت بسیار بالایی در طی این ۲۶ سال اتفاق افتاده است. سایر عوامل نیز، مانند عوامل انسانی و غیره در بروز این تغییرات دارای نقش بوده‌اند اما میزان اثرگذاری آن‌ها به اندازه عوامل ذکرشده نبوده و در مرتبه بعدی جای گرفته‌اند.

منابع

- آقا نباتی، سید علی، ۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- تلوری، عبدالرسول، ۱۳۷۳، رودخانه‌ها و مشخصات هندسی آن‌ها، انتشارات تحقیقات جهاد کشاورزی.
- راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه، وزارت نیرو، نشریه شماره ۳۶۶-الف، مهرماه ۱۳۸۹
- رضایی مقدم، محمدحسین، خوشدل، کاظم، ۱۳۸۸، بررسی پیچ‌وخم‌های مئاندری اهر چای در محدوده دشت ازرو مدل ورزقان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳۳.
- روستایی، شهرام، خورشید دوست، علی‌محمد، سمیه، خالقی، ۱۳۹۲، ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه لیقوان با روش طبقه‌بندی راسگن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کتی، شماره ۴، صص ۱۶-۱.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۹۱، تصاویر ماهواره *IRS* با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ متر.
- سازمان زمین‌شناسی آمریکا، تصاویر ماهواره *Landsat* ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳، www.usgs.gov
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۳، نقشه زمین‌شناسی مغان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰
- شریفی کیا، محمد، نعمت مال، امیری، ۱۳۹۲، آشکارسازی تغییرات الگوی مکانی رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کتی، شماره ۴، صص ۱۶۰-۱۴۹.
- قاسم نژاد، مریم، شایان، سیاوش، یمانی، مجتبی، ۱۳۹۲، اثرات احداث سد مخزنی گیلان غرب بر مورفولوژی بستر رودخانه گیلان غرب (محدوده بالادست و مخزن سد)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کتی، شماره ۱، صص ۱۳۲-۱۱۳.
- نیری، هادی، ۱۳۸۹، تحلیل دینامیک و شکل مجرا در حوضه آبریز رودخانه مهاباد، پایان‌نامه دکتری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- یمانی، مجتبی، حسین زاده، محمد مهدی، نوحه‌گر، احمد، ۱۳۸۵، هیدرو دینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییرات مشخصات هندسی آن‌ها، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۵.
- یمانی، مجتبی، شرفی، سیامک، مقامی، یاسر، ۱۳۸۹، ژئومورفولوژی و عوامل مؤثر در فرسایش کناری رودخانه هرورد در استان لرستان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱.
- Bertoldi, W.L. Zaroni, M. Tubino, 2012, Assessment of morphological changes induced by flow and flood pulses in a gravel bed braided river : the Tagliamento river Italy *Geomorphology* 114 p 348-260.
- Fayos, boix, G.G. Barbera, f. Lopez – bermudez, V.M . Castillo, 2007, Effects of check dams reforestation and land – use changes: Case study of the rogativa catchments (Murica. Spain) *geomorphology* 91p03-123.
- Leopold, L.B. and Wolman, M.G. , 1987, *River Channel Pattern: Braided , meandering and straight. US ,Geo Survey. No , 282.*
- Matti Kumm, X.X.Lu, Akchousand, Rasphone, Juha Sarkkula, Jormakoponen, , 2008, *River bank change Along The Mekong River : Remote Sensing Detection in The Vientiane Nong Khai Area, Quaternary International , 186 , 100, 112.*
- Schomm, S.A. and khan H.R. ,1972, *experimental study channel patterns, bulletin of the geological society of America, 83 ,1755 -1770.*
- Sear et al ,2003, *Guidebook of Applied Fluvial Geomorphology, R&D Technical Report FD1914. Defra, London.*
- Wang, J. P. M., Rich, K. P., Price and W. D. Kittle ,2004, *Relations Between NDVI and Tree Productivity in The Central Great Plains. International Journal of Remot Sensing. Vol 25, Issue 16, pp. 3127-3138.*