مجله آمایش جغرافیایی فضا
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال چهارم/ شماره مسلسل چهاردهم/ زمستان ۱۳۹۳

بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه اترک در بازه زمانی ۲۰ ساله

***سیامک شرفی[۱]، ابوالفضل شامی[۲]، مجتبی یمانی[۳]**
[۱]دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تهران و مدرس گروه علوم جغرافیایی دانشگاه لرستان،
[۲]کارشناس ارشد جغرافیای سیاسی دانشگاه تهران، [۳]استاد دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۱۴

چکیده

مرزهای رودخانه‌ای، یکی از انواع مرزهای بین‌المللی است که به خاطر تغییرات مورفولوژیکی بستر و انحرافات کانال آن‌ها، همواره مشکلات و تنش‌هایی را در تعیین حدود مرز کشورهای فیمابین به وجود می‌آورد. در این پژوهش، مورفولوژی رودخانهٔ مرزی اترک در بازه‌ای به طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر از محل اتصال شاخه‌ی سومبار تا دریای خزر بررسی شده است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TM و ETM سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۳ بستر رودخانه اترک در سه بازه‌ی زمانی با استفاده از تحلیل‌های سنجش از دوری نرم‌افزار ENVI استخراج شد. سپس پارامترهای هندسی مانند طول رودخانه، طول موج، ضریب خمیدگی، زاویه‌ی مرکزی برای بررسی تغییرات با روش برازش دایره‌های مماس بر قوس رودخانه در محیط نرم‌افزاری Auto Cad انجام شد و مقایسه‌ی تغییرات مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه‌ی پارامترهای هندسی قوس‌های پیچانرودی و میل و جهت آن‌ها، از تغییرات در بعضی قوس‌ها و در نتیجه‌ی تغییر مورفولوژی و ناپایداری کانال رودخانه حکایت می‌کند. در اطراف روستاهای ترشکلی و داشلی‌برون، مسیر رودخانه در هر سه دوره تغییر کرده، به طوری که در اطراف روستای ترشکلی، تغییرات به نفع ترکمنستان و در روستای داشلی‌برون به نفع ایران بوده است. این تغییرات به دلیل وجود سازندهای فرسایش‌پذیر بستر و کناره‌های رودخانه بوده است. در نتیجه مشخص می‌گردد که بستر و کانال رودخانه‌ی اترک در حال تغییر بوده و عوامل این تغییرات با نوع سازندهای زمین‌شناسی، فرسایش‌پذیر بودن سازندهای کنار بستر رودخانه، افزایش بار رسوبی بستر، تغییرات دبی جریان آب، عوامل انسانی و در نهایت فرسایش کناری رودخانه ارتباط دارد.

واژگان کلیدی: مورفولوژی رودخانه، رودخانه‌های مرزی، رودخانه اترک.

---

*نویسنده مسئول: s.sharafi64@yahoo.com

مقدمه و طرح مسأله

در عصر کنونی منشأ بسیاری از درگیری‌ها، منازعات منطقه‌ای میان دولت‌هایی است که حوضه‌های آبریز مشترک دارند. رودخانه‌ها به عنوان مرزهای طبیعی دو کشور، به دلیل ماهیت تغییرپذیری و تنوع ژئومورفولوژیکی خود، آثار محسوسی بر روابط سیاسی دو کشور به‌ویژه بر مسائل سیاسی دارند. رودخانه‌ها دارای تغییرات بستر و تغییرات دبی جریان آب بوده و هنگامی که در مرزها قرار می‌گیرند، سبب ایجاد اختلافات مرزی می‌شوند؛ به‌ویژه هنگامی که تجانس فرهنگی در طرفین مرزها وجود دارد (حسین‌زاده و دیگران، ۱۳۹۱: ۲). رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، سیستمی کاملاً پویا هستند که موقعیت و شکل و دیگر مشخصه‌های مورفولوژیکی آن‌ها پیوسته در طول زمان در تغییر است (رنگرزان و دیگران، ۱۳۸۷: ۱). الگو یا مورفولوژی رودخانه از نظر مفهومی، علم شناخت سیستم‌های رودخانه‌ای، از نظر شکل هندسی، خصوصیات بستر رودخانه، نیمرخ طولی و مطالعه‌ی چگونگی تغییرات آن‌ها است. با بررسی الگوی یک رودخانه می‌توان شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن را در آینده بهتر درک کرد و نیز پاسخ رودخانه را نسبت به تغییرات طبیعی و یا فعالیت انسانی پیش‌بینی نمود (اسماعیلی و دیگران، ۱۳۹۰: ۸۷). پلان‌ها یا الگوی رودخانه به سه نوع اصلی، مستقیم، مئاندری و شریانی تقسیم می‌شود. الگوی رودخانه‌ها در اثر عواملی مانند زمین‌شناسی، تکتونیک، توپوگرافی و اقلیم شکل می‌گیرد (Ribolin and pagnolo, 2007: 254).

ایران در منطقه‌ی نیمه خشک خاورمیانه و جنوب غربی آسیا قرار دارد و متوسط بارش سالانه آن ۲۰۰ میلی‌متر است و توسعه‌ی کمی و کیفی آن، کنترل آب‌های مرزی را ضروری نموده است. کشور ایران، مرزهای آبی متعدد و متنوعی دارد. کل مرزهای کشور حدود ۸۷۵۵ کیلومتر است که از این مقدار، ۳۰۰۰ کیلومتر آن مرز دریایی و ۳۷۸۴ کیلومتر خشکی است. مرزهای رودخانه‌ای ایران با همسایگانش برابر ۱۸۳۰ کیلومتر (۲۰/۹ درصد) است (حافظ‌نیا، ۱۳۸۲: ۳۰۸) که شامل ۲۶ رودخانه‌ی مرزی می‌شود. اصلی‌ترین مرزهای رودخانه‌ای در ایران عبارتند از اترک، ارس، اروندرود، هیرمند و هریرود که بزرگ‌ترین مرز رودخانه‌ای مربوط به رودخانه‌ی ارس به طول ۴۷۵ کیلومتر و کوچک‌ترین مرز رودخانه‌ای مربوط به رودخانه‌ی دویرج به طول حدود ۲/۵ کیلومتر از مرز ایران و عراق است. رودخانه‌ی اترک به دلایل مختلف، از جمله قرار گرفتن روی سازندهای زمین‌شناسی فرسایش‌پذیر، فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری اراضی و... دارای تغییرات مورفولوژیکی است. این تغییرات در دوره‌های زمانی مختلف باعث شده که در یک بازه‌ی زمانی از مساحت ایران کاسته و در دوره‌ای دیگر بر مساحت کشور افزوده شود. تغییرات رودخانه‌ی مرزی اترک در دوره‌های زمانی گذشته نسبت به حال و یا آینده، می‌تواند زمینه‌ساز بسیاری از مناقشات میان کشورهای ایران و ترکمنستان در آینده گردد، هم‌چنان که این امر در گذشته نیز وجود داشته است. بنابراین شناسایی نقاط تغییریافته و بررسی

میزان تغییرات رودخانه‌ی اترک با استفاده از پارامترهای هندسی جهت استفاده مطلوب از منابع موجود در رودخانه برای هر دو کشور ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به توضیحات داده‌شده، هدف از تحقیق حاضر، شناخت روند تغییرات و جابه‌جایی رودخانه اترک (بازه‌ی مرزی) در یک دوره‌ی زمانی طولانی‌مدت و شناسایی نقاطی است که بیش‌ترین تغییرات را داشته‌اند.

پیشینه تحقیق

درباره‌ی تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها و عوامل مؤثر بر آن‌ها، تحقیقات متعددی با روش‌ها و اهداف مختلف در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. اما در مورد رودخانه‌های مرزی به دلیل در دسترس نبودن و محرمانه بودن اطلاعات، عدم دسترسی به مناطق مرزی و...، بیش‌تر مطالعات صرفاً دیدگاه سیاسی و ژئوپلیتیکی داشته است و به ندرت به تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها در بازه‌های زمانی مختلف پرداخته شده است. بنابراین در پیشینه‌ی تحقیق سعی شده است به چند مورد از تحقیقات انجام شده در مورد تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها در خارج و داخل کشور اشاره شود. کیانگ و همکاران[1] (۲۰۰۷) به بررسی تغییرات کانال سواحل ماکو- تیان جیان[2] در میانه‌های رودخانه‌ی یانگ-یانگ‌تسه در ۴۰ سال گذشته پرداخته‌اند. نتایج تحقیق، تغییراتی را در مرز رودخانه‌ها نشان نداده، اما افزایش و کاهش ارتفاع بستر رودخانه در قسمت‌های خاصی به شدت مشاهده می‌شود. هاوارد[3] (۲۰۰۸) در تحقیقی، با دید کلی به بررسی مورفولوژی و تغییرات کانال رودخانه‌ها و با یک دیدگاه ژئومورفیکی به بررسی رودخانه‌ها پرداخته است. یودین و همکاران[4] (۲۰۱۱) به ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی و آسیب‌پذیری فرسایش کناری در طول رودخانه‌ی جامونا[5] با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS و تصاویر ماهواره‌ای ETM در پنج سال مختلف و نقشه‌های توپوگرافی سال ۱۹۴۷ پرداختند. نتایج نشان داد که میزان فرسایش کناری و لجن تشکیل‌شده خیلی بالا بوده است. میانگین فرسایش ۱۲۳۵/۲۵ کیلومتر مربع و مقدار لجن تشکیل‌شده ۲۹/۸۲ کیلومتر مربع و حداکثر تغییر رودخانه به میزان ۳۵۸۴۷ متر در سال ۲۰۰۳ بوده است.

راموس و همکاران[6] (۲۰۱۲) با تجزیه و تحلیل زمانی- مکانی مورفولوژی رودخانه آبرفتی کویلت[7] با تأکید بر اثرات سیستم‌های ارتباطی، نتیجه گرفتند که تغییرات شدید رودخانه‌ای در اثر رخدادهایی

1- Qiang and et al
2- Makou-Tianjiazhen
3- Howard
4- Uddin and et al
5- Jamuna
6- Ramos and et al
7- Quelite

مانند هاریکن‌ها و طوفان‌های حاره‌ای و فعالیت‌های انسانی بوده است. آهر و همکاران[1] (۲۰۱۲) به تشخیص و تعیین تغییرات و فرسایش کناری رودخانه‌ی پراوارا[2] در هند در یک بازه‌ی زمانی ۳۵ ساله با استفاده از داده‌های توپوگرافیکی و تکنیک‌های سنجش از دور و GIS پرداختند. مقایسه‌ی نتایج تغییر کناره‌های رودخانه در ۳۵ سال به دلیل عوامل مختلف طبیعی و فعالیت‌های انسانی، مانند سیلاب، سرعت آب، برداشت ماسه، برداشت پوشش گیاهی، حفر خاک‌های حاصل‌خیز برای اهداف مختلف در اطراف ناحیه مورد مطالعه بوده است. سینگ[3] (۲۰۱۴)، تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی گنگ در یک بازه‌ی زمانی ده ساله در واراناسی هند را با استفاده از GIS و داده‌های تاریخی بررسی کرده و نتیجه گرفته است که تغییرات سینوسیتی دو کمربند مئاندری مورد مطالعه، از ۱/۶۶ تا ۱/۲۶ و رسوب‌گذاری سیلت به ترتیب در دو مئاندر از ۴/۵۲ تا ۳/۱۴ و ۳/۴ تا ۲/۴۲ متغیر بوده است.ارتگا و همکاران[4] (۲۰۱۴) به بررسی فعالیت‌های انسانی اخیر و تغییر در دینامیک و مورفولوژی رودخانه‌های موقتی در دو حوضه در اسپانیا پرداختند.

سازمان نقشه‌برداری (۱۳۸۰) در پروژه‌ای با عنوان « بررسی مسائل رودخانه‌های مرزی » با همکاری دانشگاه صنعتی شریف در حوزه‌ی رودخانه‌های اترک، هیرمند، هریرود، ارس و اروندرود، پایگاه اطلاعاتی و داده‌های به‌روز شده از حوزه‌های آبریز تهیه و در پایان به شناسایی و تدوین مشکلات حقوقی، اجتماعی، سیاسی و سایر موارد دیگر رودخانه‌های مرزی پرداخته است. مقصودی و همکاران (۱۳۸۹)، در مقاله‌ای با عنوان «بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی خرم‌آباد » با استفاده از RS، GIS و Auto Cad نتیجه گرفتند که عمده‌ترین دلایل تغییر بستر و الگوی کانال رودخانه‌ی خرم‌آباد، فعالیت‌های انسانی و فعالیت‌های نئوتکتونیکی در محدوده‌ی روستاهای چغاخندق تا غلامان علیا در یک بازه‌ی زمانی ۵۲ ساله است. بدیعی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به نقش تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ی مرزی هیرمند در روابط سیاسی ایران و افغانستان پرداختند و نتیجه گرفتند که مورفولوژی رودخانه‌ی هیرمند، به‌ویژه در بازه‌ی مرزی از نوع الگوی شریانی است که بیش‌ترین تغییرات را نسبت به دیگر الگوهای رودخانه‌ای دارد و مرز دو کشور کاملاً آگاهانه بر بخش‌هایی از تغییرپذیرترین بستر رودخانه قرار داده شده است. پاک‌نژاد متکی و همکاران (۱۳۹۰)، هیدروپلیتیک رودخانه‌ی مرزی اترک و تأثیر آن بر روابط ایران و ترکمنستان را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که برداشت بی‌رویه‌ی آب توسط ترکمنستان و نداشتن رژیم حقوقی مناسب، زمینه‌ی چالش و منازعه بر سر آن در روابط بین دو کشور سایه انداخته است.

1- Aher and et al.
2- Pravara
3- Singh
4 -Ortega and et al.

یمانی و همکاران (۱۳۹۰)، تأثیرگذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه‌ی اترک را مطالعه کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات هیدرولوژیک، دانه‌بندی مواد بستر و دیواره‌ها، تغییرات کاربری اراضی و الگوی کشت به خصوص گسترش کشت برنج در سیلاب دشت رودخانه، مهم‌ترین عوامل تغییردهنده پلان مساحتی و مورفولوژی بازه‌ی مطالعاتی در سال‌های اخیر است. رحیمی هرآبادی (۱۳۹۱)، بررسی تأثیر ویژگی‌های الگوی رودخانه‌ای در مسائل و اختلافات مرزی رودخانه‌ی مرزی هیرمند را مطالعه کرده و نتیجه گرفته است که با توجه به شواهد مورفولوژیک رودخانه‌ی هیرمند، نظیر موانع طولی، بستر عریض و وجود آبرفت‌های ریزدانه در بستر رودخانه، الگوی رودخانه‌ی هیرمند در بازه‌ی مرزی از نوع شریانی است که بیش‌ترین درصد ناپایداری را نسبت به سایر الگوهای رودخانه‌ای در زمینه‌ی تعیین مرز و اختلافات مرزی دارد.

مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

پیدایش و شکل گیری آبراهه های طبیعی که همان رودخانه ها هستند، متاثر از عوامل مختلفی چون شرایط آب وهوایی، زمین‌شناسی و جغرافیایی است (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). رودخانه‌های طبیعی تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف، پیوسته از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در حال تغییرند (ساسانی و همکارن، ۱۳۸۴: ۱). به‌طو کلی عوامل فرسایش و رسوبگذاری که به تغییرات مورفولوژیکی منجر خواهد شد، در رودخانه های آبرفتی نمود پیدا می کنند. به عبارتی علم مورفولوژی رودخانه های آبرفتی را می توان به صورت مطالعه، بررسی شکل و ساختار سطح زمین تحت تاثیر جریان آب تعریف نمود. از این رو انجام هر گونه تحلیل هیدرولیکی بر روی رودخانه نیازمند دسترسی به‌مشخصات دقیق مورفولوژیکی آن رودخانه می‌باشد (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷: ۲). بررسی مورفولوژیکی برای درک شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی رودخانه در آینده ضروری است و تنها از این طریق می‌توان عکس‌العمل طبیعی آن را نسبت به تغییرات طبیعی و یا اقدامات ناشی از اجرای طرحهای اصلاح مسیر و تثبیت کناره ها پیش بینی نمود و میزان جابجایی، تغییر ابعاد و الگوی رودخانه را تشخیص داد (یمانی و همکاران، ۱۳۸۵ : ۱۵). خصوصیات مورفولوژی رودخانه ها به واسطهٔ ویژگی پویای آن، همواره دچار تغییرات هستند و این تغییرات می تواند بر سازه های بنا شده در حاشیهٔ رودخانه ها، زمین های کشاورزی و غیره آثار منفی بگذارد(مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱). به‌دلیل دینامیک بودن رودخانه‌ها همواره تغییرات اساسی در سطح زمین به وجود آمده است که این تغییرات در رودخانه‌های مشترک بین دو کشور بر روی خطوط مرزی نیز دیده می‌شود (جوادیان و همکاران، ۱۳۹۱). رودخانه‌ها به عنوان مرزهای طبیعی دو واحد سیاسی، به‌دلیل ماهیت تغییر پذیری و تنوع ژئومورفولوژیکی خود آثار محسوسی بر روابط سیاسی دو کشور به ویژه بر مسائل سیاسی دارند.

رودخانه‌ها دارای تغییرات بستر و تغییرات دبی جریان آب بوده و هنگامی که در مرزها قرار می‌گیرند، سبب ایجاد اختلافات مرزی می‌شوند به ویژه هنگامی که تجانس فرهنگی در طرفین مرزها وجود دارد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

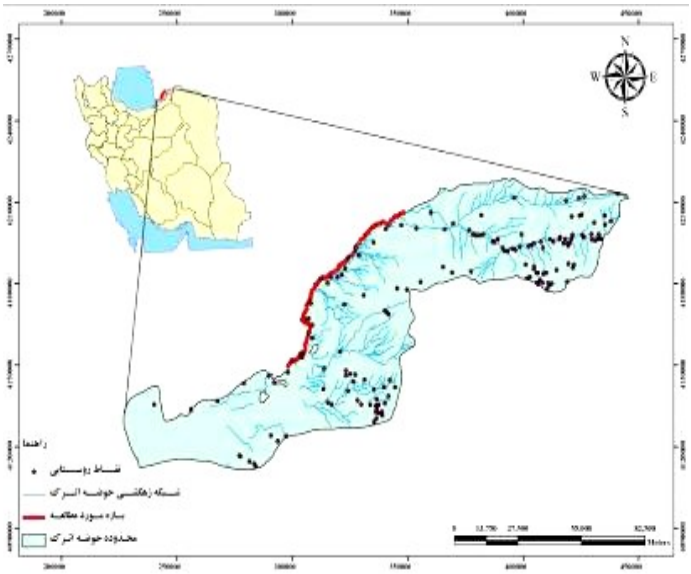
روش تحقیق

نوع تحقیق، کاربردی و روش آن ،توصیفی– تحلیلی و مقایسه‌ای است. برای فراهم‌سازی اطلاعات مورد نیاز جهت رسیدن به اهداف و نتایج در موضوع مورد مطالعه، تحقیق در مورد تغییر الگوی رودخانه‌ی اترک در سه مرحله انجام گرفته است. در مرحله‌ی اول، کسب اطلاعات مربوط به موضوع مورد مطالعه و ویژگی‌های محیط طبیعی که از طریق نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، تصاویر ماهواره‌ای ETM سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و اسناد و گزارش‌ها و کتاب‌های موجود در کتابخانه‌ها جمع آوری شده است. مرحله‌ی دوم شامل گردآوری اطلاعات مربوط به تغییرات دوره‌ای الگوی مسیر رودخانه مورد مطالعه بوده است که این مرحله با استفاده از مقایسه‌ی تصاویر ماهواره‌ای مسیر رودخانه انجام شده است. در مرحله‌ی سوم، پارامترهای مورد نیاز برای بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزارهای Arc GIS، Google earth، ENVI و Auto CAD و روش‌های توالی زمانی به دست آمده و تجزیه و تحلیل شده است. برای بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه، تصاویر ماهواره‌ای ETM ۱۹۹۴، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۳ ماهواره‌ی لندست ۸ در ماه‌های خرداد و تیر به‌دلیل ثابت بودن جریان رودخانه تهیه شد. عملیات پردازش به‌دلیل دبی ثابت رودخانه و نداشتن جریان طغیانی در هر سه دوره‌ی زمانی روی تصاویر تیرماه انجام گرفت. پس از طی مراحل مختلف، مسیر رودخانه در سه دوره بر هم منطبق شد تا مناطق تغییریافته مشخص شود. در ادامه پارامترهای مورد نیاز برای بررسی تغییرات رودخانه در سه دوره زمانی به دست آمد. سپس با مقایسه‌ی پارامترهای به دست آمده در بازه‌های زمانی مورد مطالعه، به بررسی تغییرات الگوی مورفولوژی رودخانه پرداخته شد. برای تعیین تغییرات مورفولوژی و خصوصاً تعیین محدوده‌های دارای الگوی پیچان‌رودی، با استفاده از مسیر رقومی شده‌ی رودخانه روی تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر گوگل ارث و با روش برازش قوس دوایر با حلقه‌های پیچانرودی، کار بررسی انجام شده و سپس در محیط نرم‌افزاری اتوکد، با استفاده از ترسیم دوایر با این نرم‌افزار بر هر یک از قوس‌های رودخانه که بیش‌ترین و بهترین تطابق را با قوس داشته باشند، دوایر ترسیم شد. با انجام این کار، امکان محاسبه مشخصات هندسی پلان رودخانه که برای تشخیص الگوی رود به کار می‌رود، فراهم شد. این مشخصات شامل طول رودخانه، شعاع دایره‌های محاط بر پیچان‌رودها، طول موج پیچان‌رودها، ضریب خمیدگی و زاویه‌ی مرکزی

قوس‌ها در بازه‌ی مورد مطالعه است. در پایان با استفاده از اطلاعات بـه دسـت آمـده از مرحلـه‌ی قبـل درباره‌ی مشخصات هندسی رودخانه، مسیرهایی از رودخانه که الگوی آن‌ها تغییـر کـرده و نقـاطی کـه بیش‌ترین تغییرات را داشته‌اند، مشخص و میزان تغییرات تحلیل شد. برای این کار از معیارهای ضـریب خمیدگی و زاویه‌ی مرکزی استفاده شده است.

محدوده و قلمرو پژوهش

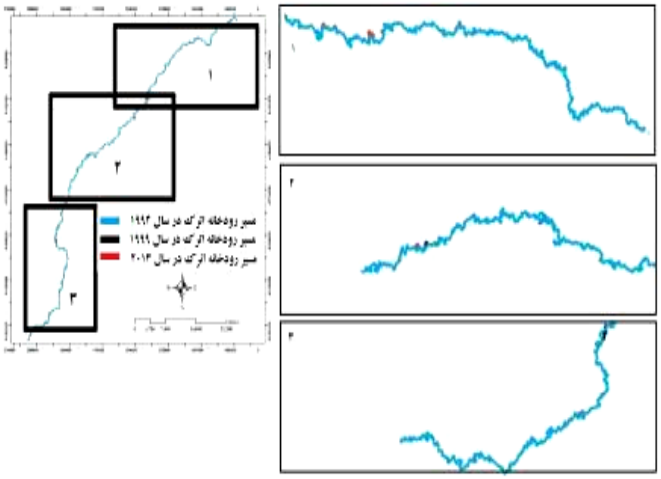
حوضه‌ی آبریز اترک در استان گلستان و شمال شرق ایران واقع شده است. مساحت حوضه‌ی اتـرک ۳۳۸۹۰ کیلومترمربع است و از کوه‌هـای هـزار مسـجد در شـمال قوچـان سرچشـمه می‌گیـرد. حـدود ۲۶۵۰۰ کیلومترمربع از مساحت این حوضه در محدوده‌ی سیاسـی ایـران و بقیـه در ترکمنسـتان واقـع شده است. اترک، رودخانه‌ای فصلی با متوسـط آورد سـالانه ۳۰۰ تـا ۵۰۰ میلیـون متـر مکعـب اسـت. رودخانه‌ی اصلی حوضه حدود ۵۲۰ کیلومتر طول دارد و جریان اصلی آن از شرق به غرب است. آبراهه اصلی حوضه به سه قسمت اترک بالایی (علیا)، میانی و پایینی (مرزی) قابل تقسیم است. ایـن رودخانـه پس از عبور از دشت‌های قوچان و شیروان و بجنورد (اترک بالایی) در دشت‌های مانـه، قـوری میـدان و مراوه تپه تا مرز ایران و ترکمنستان(اترک میانی) ادامه مسیر داده، پـس از اتصـال شـاخه‌ی سـومبار در محل چات و تشکیل رودخانه اترک مرزی (اترک پایینی) در نهایت به دریـای خـزر می‌ریـزد (یمـانی و دیگران، ۱۳۹۰: ۴). محدوده‌ی مورد مطالعه، بازه‌ی مرزی در بخـش میـانی حوضـه‌ی آبریـز اتـرک و از حوالی روستای داده الوم تا اینچه برون اسـت (شـکل ۱). از نقـاط روسـتایی اطـراف رودخانـه می‌تـوان روستاهای ترشکلی، اینچه برون و فدوی را نام برد.



شکل ۱- موقعیت بازه مورد مطالعه رودخانه اترک

بحث اصلی

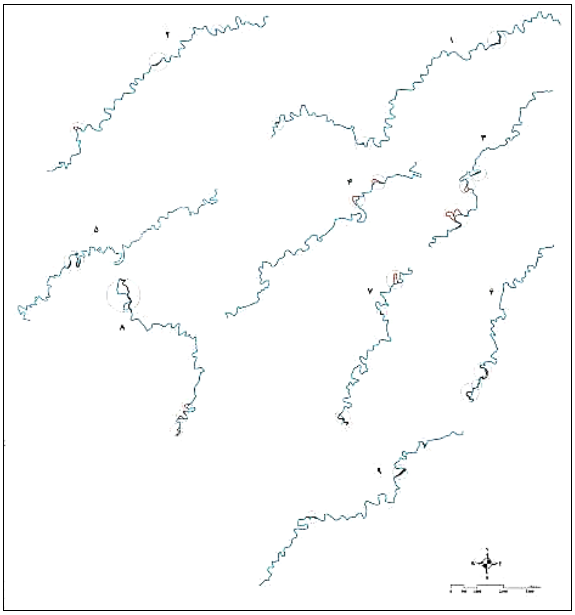
بررسی پارامترهای هندسی رودخانه‌ی اترک: بررسی پارامترهای هندسی نشان می‌دهد که بازه‌ی مورد مطالعه رودخانه‌ی اترک، تغییرات مورفولوژیکی داشته است. تغییرات مورفولوژیکی در بخش میانی، بیش‌تر از بخش‌های ابتدایی و پایانی دیده می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- هم‌پوشانی مسیر رودخانه‌ی اترک در سه بازه زمانی مورد مطالعه

در طول بیست سال گذشته در اثر بروز سیلاب‌ها، تغییرات کاربری اراضی، کاهش حفاظت بیولوژیک کناره‌های رودخانه، دخل و تصرف انسان‌ها در بستر و حاشیه‌ی رودخانه و...، الگوی رودخانه و برخی پارامترهای هندسی قابل اندازه‌گیری، دستخوش تغییر و دگرگونی شده است. با توجه به این‌که در علم مهندسی رودخانه، رودخانه به عنوان یک پدیده‌ی پویا و دارای سیر تکامل باید در نظر گرفته شود، از این‌رو تغییرات پارامترهای هندسی ایجاد شده در رودخانه‌ی اترک، سبب بروز رفتارهای جدید هیدرولیکی در این رودخانه شده است. در جدول ۱، میانگین پارامترهای هندسی محاسبه شده‌ی سه دوره‌ی زمانی ۱۹۹۴، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۳ برای بازه‌ی مورد مطالعه رودخانه‌ی اترک و پارامترهای هندسی محاسبه شده است.

مقایسه پارامترهای هندسی: حذف و یا افزایش تعداد پیچان‌رودها و تغییر پارامترهای هندسی رودخانه‌ها، بیانگر تغییراتی در طول رودخانه است. این تغییرات در رودخانه‌های مرزی بسیار مهم است، زیرا باعث تغییر مرزها می‌شود و این می‌تواند باعث مناقشات مرزی بین کشورها شود. برای بررسی این تغییرات در رودخانه مرزی اترک که در ۴۱ قوس مشاهده می‌شود، پارامترهای هندسی بررسی و تحلیل شده‌اند (شکل ۳).

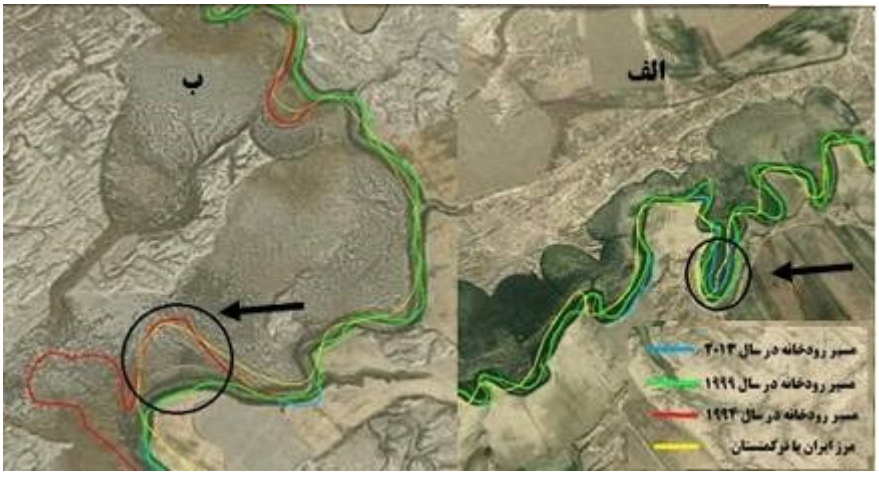


شکل ۳- دایره‌های ترسیم‌شده در نقاط تغییریافته مسیر رودخانه در سه بازه زمانی مورد مطالعه برای محاسبه‌ی پارامترهای هندسی

جدول ۱- میانگین پارامترهای هندسی رودخانه‌ی اترک در سه دوره زمانی مورد مطالعه

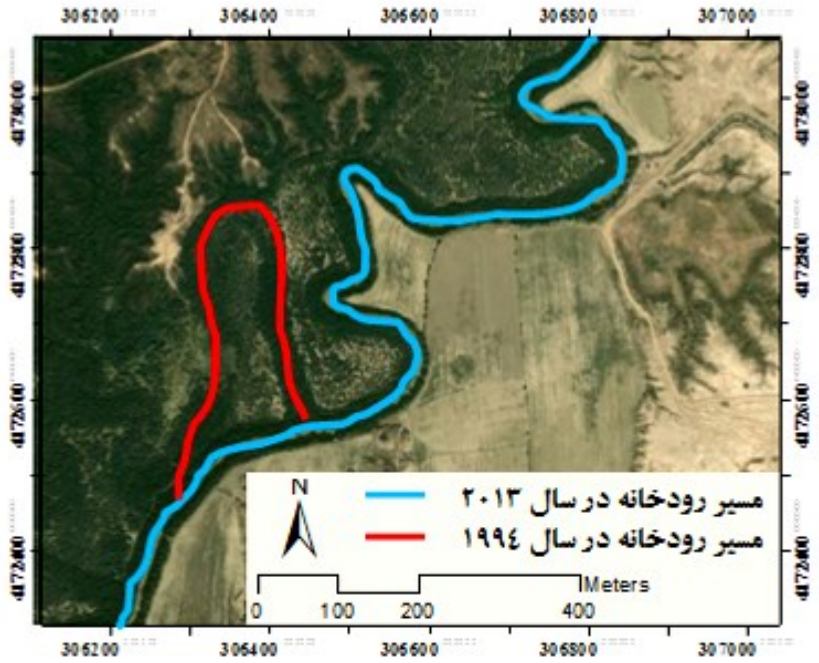
پارامتر هندسی / سال	۱۹۹۴	۱۹۹۹	۲۰۱۳
شعاع دایره(متر)	۷۳/۵	۸۲/۹	۹۳/۵
زاویه مرکزی(درجه)	۱۱۰/۳	۸۶/۲	۹۱/۸
طول دره(متر)	۴۸۶/۱	۴۳۷/۸	۵۲۸/۱
طول موج(متر)	۳۱۰/۹	۲۸۹/۸	۳۳۴/۸
ضریب خمیدگی	۱/۵	۱/۴	۱/۵
طول رودخانه(کیلومتر)	۱۵۳/۳	۱۵۵/۳	۱۵۵/۴

تعداد پیچان‌رودها و طول رودخانه: تعداد پیچان‌رودهای رودخانه‌ی اترک از ۴۱ پیچان‌رود در سال ۱۹۹۴ به ۳۶ پیچان‌رود در سال ۱۹۹۹ و در سال ۲۰۱۳ به ۳۵ پیچان‌رود کاهش یافته است. بیش‌ترین تغییرات تعداد پیچان‌رودها در بخش‌های میانی و در قسمت‌های علیا و سفلی تغییرات رودخانه کم‌تر بوده است. بررسی طول رودخانه در سه دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد که طول خط مرکزی رودخانه از ۱۵۳/۳ کیلومتر در سال ۱۹۹۴ به ۱۵۵/۳ کیلومتر در سال ۱۹۹۹ رسیده است که این نشان‌دهنده‌ی تغییرات مسیر رودخانه و در نتیجه افزایش و یا کاهش اراضی حاشیه ی رودخانه در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه است (شکل ۴).



شکل ۴- الف) تغییر الگوی رودخانه در سال ۲۰۱۳ نسبت به ۱۹۹۴ و ۱۹۹۹ و در نتیجه افزایش اراضی حاشیه رودخانه ب) تغییر الگوی رودخانه در سال ۱۹۹۹ و ۲۰۱۳ نسبت به ۱۹۹۴ و در نتیجه از دست رفتن مقداری از اراضی حاشیه رودخانه

هم‌چنین در سال ۲۰۱۳، طول رودخانه ۱۵۵/۴ کیلومتر بوده است. بنابراین در بازه‌ی زمانی شش ساله بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹، دو کیلومتر به طول رودخانه اضافه شده، در حالی که دربازه زمانی ۱۴ ساله بین ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۳، صدمتر به طول رودخانه اضافه شده است. از طرف دیگر، تغییرات طول رودخانه نیز نشان‌دهنده حذف تعدادی از پیچان‌رودها و افزایش فاصله‌ی پیچان‌رودهای متوالی در این محدوده است (شکل ۵). افزایش طول خط مرکزی رودخانه اترک به نوعی نشان‌دهنده‌ی افزایش حالت پیچان‌رودی رودخانه در اثر وجود سازندهای فرسایش‌پذیر است. زیرا بر اثر فرسایش کناری رودخانه، مئاندرها توسعه یافته و یا متروک شده و باعث تغییر مورفولوژی رودخانه شده است. این مسأله به نوعی نشان‌دهنده‌ی وجود تغییرات در وضعیت پیچان‌رودهای رودخانه است.



شکل ۵- حذف یکی از پیچانرودهای رودخانه در سال ۱۹۹۴ نسبت به سال ۲۰۱۳ و تبدیل شدن آن به یک مئاندر متروک روی تصاویر گوگل ارث

زاویه‌ی مرکزی- شعاع دایره: زاویه مرکزی به عنوان معیاری برای تقسیم‌بندی و شناسایی میزان توسعه پیچان‌رودی یک رودخانه استفاده می‌شود. کورنیس برای بیان کیفی توسعه و پیشرفت پیچان‌رودی شدن رودخانه‌های آبرفتی و تمایز آن‌ها از یکدیگر، از معیار زاویه مرکزی استفاده کرده است. بر این اساس وی جدول ۲ را پیشنهاد نموده است (تلوری، ۱۳۷۱: ۱۰۰).

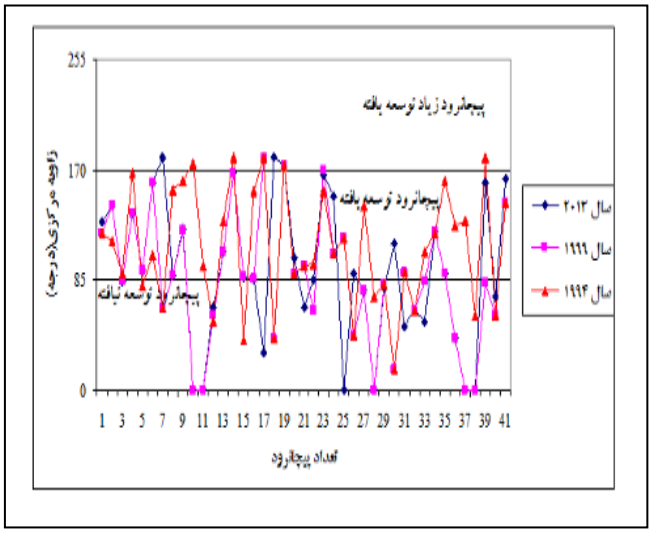
جدول ۲- استفاده از زاویه مرکزی برای تقسیم‌بندی توسعه پیچان‌رودی رودخانه

شکل رودخانه	زاویه‌ی مرکزی (درجه)
مستقیم	۰
شبه پیچان‌رودی	۰-۴۱
پیچان‌رودی توسعه‌نیافته	۴۱-۸۵
پیچان‌رودی توسعه‌یافته	۸۵-۱۵۸
پیچان‌رودی زیاد توسعه‌یافته	۱۵۸-۲۹۶
شاخ گاوی	>۲۹۶

(مأخذ: تلوری، ۱۳۷۱)

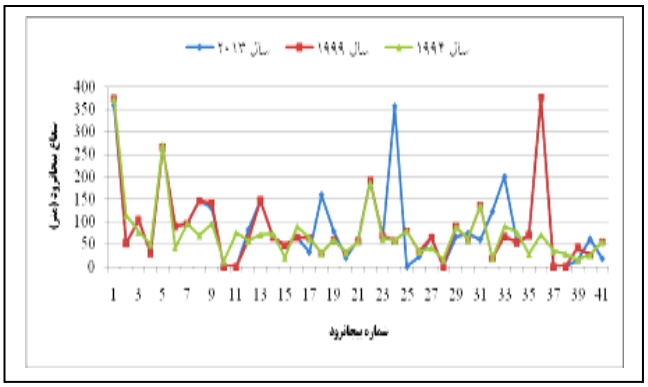
با توجه به جدول بالا، در هر سه بازه زمانی مورد مطالعه، رودخانه‌ی اترک در رده‌ی پیچان‌رودی توسعه‌یافته قرار داشته است. در سال ۱۹۹۴ میانگین زاویه مرکزی، ۱۱۰/۳ درجه بوده، ولی در سال ۱۹۹۹ این مقدار به ۸۶/۲ درجه رسیده است؛ یعنی از میزان پیچان‌رودی شدن رودخانه نسبت به سال ۱۹۹۴ کاسته شده است. ولی میانگین زاویه‌ی مرکزی پیچان‌رودها در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۱۹۹۹ افزایش داشته است. به عبارت دیگر میزان توسعه‌یافتگی پیچان‌رودهای سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۱۹۹۹ بیش‌تر و نسبت به سال ۱۹۹۴ کم‌تر بوده است. هم‌چنین با کاهش زاویه‌ی مرکزی رودخانه در سال ۱۹۹۹ نسبت به ۱۹۹۴، میانگین شعاع دوایر مماس بر پیچان‌رودهای رودخانه در سال ۱۹۹۹ افزایش یافته است که علت آن عمدتاً شریانی بودن رودخانه در طول این بازه زمانی است و به همین دلیل بیش‌ترین تغییر شکل‌ها در این بازه، تغییرات عرضی بستر بوده که این امر ناشی از فرسایش‌پذیری کناره‌ی رودخانه بوده است که غالباً آبرفتی است. در سال ۲۰۱۳ افزایش زاویه‌ی مرکزی نسبت به سال ۱۹۹۹ با افزایش میانگین شعاع نیز همراه بوده که این حالت نشان‌دهنده‌ی تغییرات مورفولوژی رودخانه در طول این مسیر است (شکل ۶).

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در سال ۱۹۹۴ بیش‌تر پیچان‌رودهای رودخانه‌ی اترک در رده‌ی پیچان‌رودهای توسعه و زیاد توسعه‌یافته قرار گرفته‌اند. تغییرات زاویه‌ی مرکزی پیچان‌رودهای رودخانه‌ی اترک در سال ۱۹۹۹ نشان می‌دهد که به دلیل حذف تعدادی از پیچان‌رودها، از تعداد پیچان‌رودهای زیاد توسعه‌یافته نسبت به سال ۱۹۹۴ کاسته شده و تعداد پیچان‌رودهای توسعه‌نیافته افزایش یافته است. تغییرات زاویه‌ی مرکزی پیچان‌رودها در سال ۲۰۱۳ حاکی از آن است که از میزان پیچان‌رودهای توسعه‌نیافته کاسته و بیش‌تر پیچان‌رودها در رده‌ی پیچان‌رود توسعه‌یافته قرار گرفته‌اند.



شکل ۶- تغییرات زاویه مرکزی پیچانرودهای رودخانه اترک در سه بازه زمانی مورد مطالعه

در مورد تغییرات شعاع پیچان‌رودها می‌توان نتیجه گرفت که شعاع پیچان‌رودها در هر سه دوره‌ی زمانی، بین ۰-۳۰۰ متر و ۳ الی ۴ قوس در دوره‌های زمانی مختلف بیش‌تر از ۳۰۰ متر بوده است (شکل ۷). هم‌چنین در سال ۱۹۹۴، ۳۶ پیچان‌رود دارای شعاعی بین ۰-۱۰۰ بوده و افزایش شعاع پیچان‌رودها در سال ۱۹۹۹ و ۲۰۱۳، نشان‌دهنده‌ی کاهش پیچان‌رودی شدن رودخانه است. به عبارت دیگر در سال ۱۹۹۴، شدت پیچان‌رودی شدن رودخانه بیش‌تر بوده است. هر چند کاهش شعاع پیچان‌رودها در یک بازه‌ی زمانی نسبت به بازه‌ی دیگر، به معنای تغییر مورفولوژی رودخانه در این بازه نیست، بلکه تنها نشان‌دهنده‌ی توسعه‌ی شعاع حلقه‌های پیچان‌رودی در بعضی قوس‌هاست. واقعیت این است که در بستر آبرفتی، فرسایش کناری نقش عمده را در پیچان‌رودی شدن دارد.



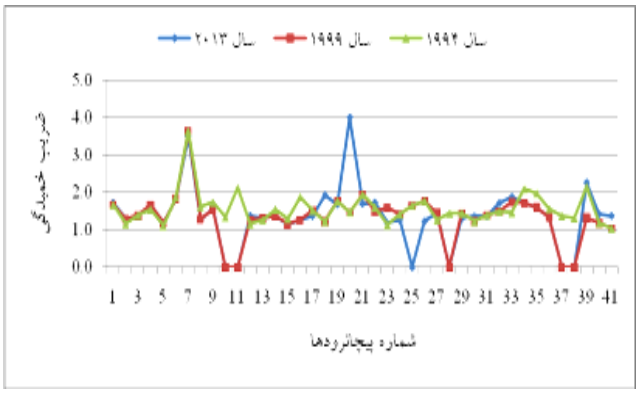
شکل ۷- تغییرات شعاع پیچان‌رودهای رودخانه‌ی اترک در بازه‌های زمانی مورد مطالعه

ضریب خمیدگی: شاخص ضریب خمیدگی (ضریب پیچشی)، یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم‌بندی شکل رودخانه‌ها استفاده می‌شود. طبق تعریف، ضریب پیچشی بزرگ‌تر از ۱/۴ تا ۱/۵ بیانگر پیچشی بودن رودخانه و کم‌تر از آن نشان‌دهنده‌ی مستقیم بودن رودخانه و بازه مورد نظر است (دولتی، ۱۳۸۷: ۱۳۹). پیتز[1] (۱۹۸۶) نیز بر حسب میزان ضریب پیچشی، چهار نوع رودخانه را به شرح جدول زیر تقسیم‌بندی می‌کند (جدول ۳).

جدول ۳- تقسیم‌بندی رودخانه‌ها بر حسب ضریب پیچشی

ضریب پیچشی	۱-۱/۰۵	۱/۰۶-۱/۲۵	۱/۲۵-۲	>۲
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچانرودی	پیچانرودی شدید

با توجه به جدول بالا، رودخانه‌ی اترک در سه دوره‌ی زمانی مورد بررسی، در کلاس رودخانه پیچان‌رودی قرار دارد؛ به طوری که میانگین ضریب خمیدگی در سال ۱۹۹۴ برابر با ۱/۵، در سال ۱۹۹۹ به میزان ۱/۴ و در سال ۲۰۱۳ برابر با ۱/۵ بوده است. بنابراین میزان پیچان‌رودی شدن رودخانه‌ی اترک در سال ۱۹۹۴ نسبت به ۱۹۹۹ کاهش و دوباره افزایش یافته است. کاهش میزان ضریب خمیدگی در سال ۱۹۹۹، نشان‌دهنده‌ی کاهش میزان پیچان‌رودی شدن رودخانه و افزایش آن در سال ۲۰۱۳، نشان‌دهنده‌ی افزایش پیچان‌رودها در این بازه‌ی زمانی و در نتیجه تغییر در مورفولوژی رودخانه است. با بررسی نوسانات ضریب خمیدگی می‌توان گفت که تغییرات ضریب خمیدگی به جز در قوس ۷، در یک دامنه‌ی محدود مشاهده می‌شود و نشان‌دهنده‌ی وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول رودخانه است. تغییرات ضریب خمیدگی در سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۹ بین ۱ تا ۳/۶ در نوسان بوده، درحالی که این میزان در سال ۲۰۱۳، بین ۱/۱ تا ۳/۴ در نوسان بوده است (شکل ۸).

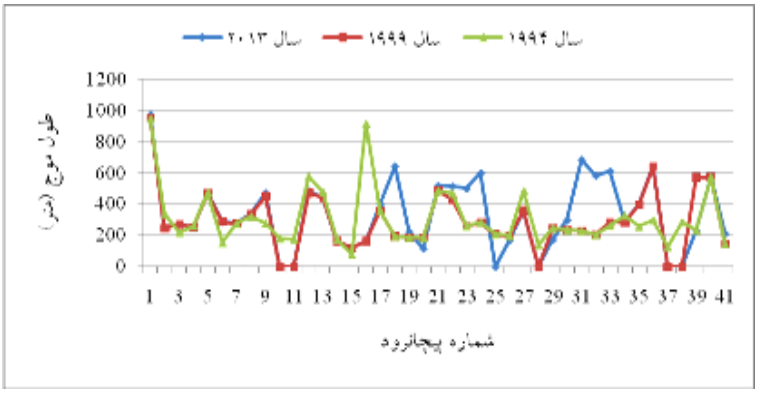


شکل ۸- نوسانات ضریب خمیدگی پیچان‌رودهای رودخانه اترک در بازه‌های زمانی مورد مطالعه

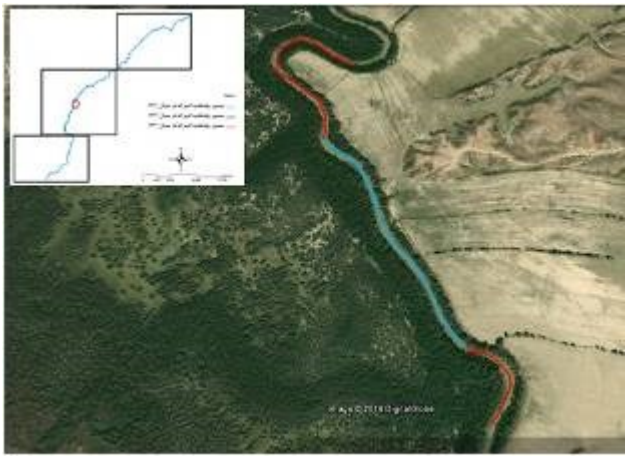
1- Pitts

طول موج و طول دره: طول موج از پارامترهای اصلی در طبقه‌بندی رودخانه و تعیین ضریب خمیدگی رودخانه‌ها است. بررسی تغییرات طول موج و طول دره در سه دوره‌ی زمانی مورد مطالعه در رودخانه‌ی اترک نشان می‌دهد که میانگین تغییرات طول موج و طول دره در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۹ بیش‌تر بوده و به همین علت، ناپایداری رودخانه در این دوره نسبت به ۱۹۹۴ و ۱۹۹۹ بیش‌تر بوده است. میانگین طول موج در سال ۱۹۹۴ به میزان ۳۱۰/۹ بوده و این پارامتر در سال ۱۹۹۹ به ۲۸۹/۸ رسیده است. در سال ۲۰۱۳، میزان طول موج ۳۳۴/۸ بوده است.

بررسی روند تغییرات طول موج (شکل ۹) نشان می‌دهد که ماکزیمم طول موج در سه دوره‌ی زمانی مورد مطالعه، در پیچان‌رود ۱(بیش‌تر از ۹۰۰) بوده است و علت آن را می‌توان به این صورت تشریح کرد که با افزایش فاصله‌ی دو پیچان‌رود متوالی در این محدوده و به عبارتی کاهش تراکم تعداد پیچان‌رودها در واحد طول، میزان ضریب خمیدگی نیز کاهش می‌یابد. کاهش میزان طول موج در هر بازه‌ی زمانی نسبت به بازه‌ی زمانی دیگر، بیانگر کاهش فاصله پیچان‌رودهای متوالی از همدیگر است. افزایش میزان طول موج نیز نشان‌دهنده‌ی افزایش فاصله‌ی پیچان‌رودها از همدیگر و یا به عبارت دیگر مستقیم شدن مسیر رودخانه است (شکل ۱۰). هم‌چنین بیش‌ترین میزان طول موج در هر سه دوره‌ی زمانی در قوس ۱ و نوسانات طول موج در سال ۲۰۱۳ نسبت به دو دوره زمانی دیگر بیش‌تر بوده است.

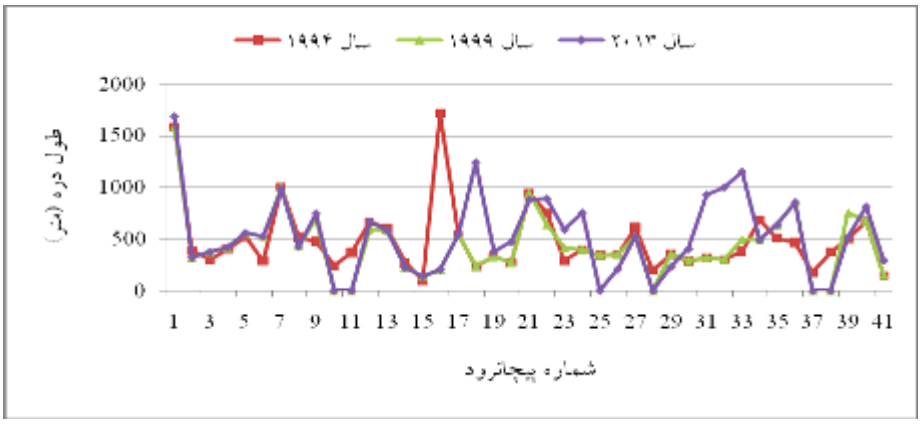


شکل ۹- تغییرات طول موج پیچان‌رودهای رودخانه‌ی اترک در بازه‌های زمانی مورد مطالعه



شکل ۱۰- افزایش فاصله پیچان‌رودها از همدیگر و مستقیم شدن مسیر رودخانه

نوسانات طول دره رودخانه اترک، بیانگر این است که در سال ۲۰۱۳ میزان نوسانات بیش‌تر بوده، ولی بین سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۹ تغییرات چشمگیری مشاهده نمی‌شود (شکل ۱۱). عدد صفر در نمودارهای سال ۱۹۹۹ و ۲۰۱۳ به‌دلیل حذف تعدادی از پیچان‌رودها نسبت به سال ۱۹۹۴ است.

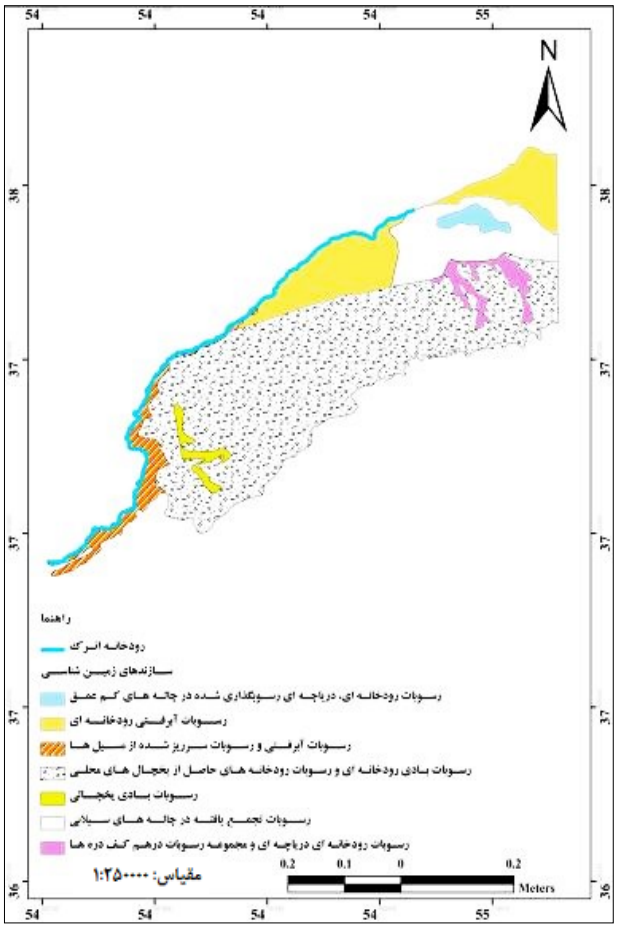


شکل ۱۱- نوسانات طول دره‌ی رودخانه اترک در سه بازه‌ی زمانی مورد مطالعه

نیمرخ طولی رودخانه: یکی از ویژگی‌های مهم رودخانه‌ها، نیمرخ طولی بستر رودخانه است که تغییرات طولی بستر رودخانه بر حسب ارتفاع می‌باشد. نیمرخ طولی بستر جریان رودخانه‌ها در پاسخ به انواع آشفتگی‌هایی که به دست انسان و یا به طور طبیعی در دره‌ها صورت می‌گیرد، تغییر می‌یابند و برای برابرسازی میزان این تغییرات در سراسر طول دره، مجبور به تغییر و تنظیم نیمرخ طولی خود

می‌گردند. در این تحقیق نیز برای بررسی پروفیل طولی رودخانه‌ی اترک، از قابلیت‌های نرم‌افزار Google earth استفاده شده است (شکل ۱۲).

شکل ۱۲- نیمرخ طولی محدوده مورد مطالعه‌ی رودخانه اترک



شکل ۱۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه. مسیر مورد بررسی رودخانه اترک در سازندهای آبرفتی جریان دارد

وجود قسمت‌های مقعر و محدب در نیمرخ طولی رودخانه، بیانگر فرسایش در قسمت‌های محدب و رسوب‌گذاری در قسمت‌های مقعر است. با مراجعه به نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه مشخص می‌شود که از نظر ساختمانی، گسلی در مسیر رودخانه وجود نداشته و فرسایش و رسوب‌گذاری در مسیر رودخانه به دلیل وجود رسوبات رودخانه‌ای، دریاچه‌ای، بادی و یخچالی کواترنری است (شکل ۱۳). هم‌چنین شکل‌های بالا نشان می‌دهند که ارتفاع و شیب رودخانه از قسمت بالا به سمت دریای خزر کاهش می‌یابد. هم‌چنین در هر سه دوره زمانی، تغییرات فاحشی در ارتفاع و شیب مسیر رودخانه دیده نمی‌شود. این اشکال نشان می‌دهد که بین سراب و پایاب رودخانه حدود ۸۵ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد. هم‌چنین با استفاده از این اشکال می‌توان گفت که رودخانه در یک دید کلی در قسمت‌های ابتدایی و انتهایی، حالت مستقیم و در قسمت‌های میانی، حالت پیچان‌رودی دارد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر مورفولوژی بازه‌ی مرزی رودخانه‌ی اترک، نتایج تحقیق را به شرح زیر می‌توان خلاصه کرد: در طول مقطع زمانی بیست ساله در بازه‌ی مرزی رودخانه‌ی اترک، تغییر الگوی زیادی در رودخانه‌ی اترک دیده نمی‌شود. با توجه به این‌که بیش‌تر مسیر، الگوی پیچان‌رودی دارد، مشخصات هندسی پیچان‌رودها در طول مسیر در مقطع زمانی فوق، تغییر زیادی نکرده است. بررسی پارامترهای هندسی که شامل تعداد پیچان‌رودها، طول رودخانه، زاویه‌ی مرکزی، شعاع پیچان‌رودها، زاویه‌ی مرکزی، طول موج، طول دره و ضریب خمیدگی است، حاکی از وجود تغییراتی در طول مسیر رودخانه‌ی اترک است. این تغییرات در برخی از پارامترها، تفاوت‌های فاحشی را نشان نداده است، در صورتی که در برخی از پارامترها، تغییراتی در بازه‌های زمانی مورد مطالعه دیده می‌شود. تعداد پیچان‌رودهای محدوده‌ی مورد مطالعه از ۴۱ پیچان‌رود در سال ۱۹۹۴ به ۳۶ پیچان‌رود در سال ۱۹۹۹ و در سال ۲۰۱۳ به ۳۵ پیچان‌رود کاهش یافته است. بنابراین حذف و یا افزایش تعداد پیچان‌رودها از یک دوره نسبت به دوره‌ی دیگر، حاکی از تغییر در الگوی مورفولوژی رودخانه است. طول رودخانه نیز در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال‌های ۱۹۹۹ و ۱۹۹۴ افزایش‌یافته که این افزایش در سال ۲۰۱۳ حدود ۲۱۰۰ متر بوده است. بنابراین کاهش تعداد قوس‌ها و افزایش طول رودخانه بیانگر تغییر و ناپایداری رودخانه‌ی اترک در بازه‌ی مرزی است. از دیگر پارامترهای هندسی که برای بررسی تغییر و یا عدم تغییر مورفولوژی رودخانه‌ها استفاده می‌شود، می‌توان به زاویه‌ی مرکزی و ضریب خمیدگی اشاره کرد. بررسی زاویه‌ی مرکزی رودخانه نشان می‌دهد که رودخانه‌ی اترک در هر سه بازه‌ی زمانی، در دسته پیچان‌رودی توسعه‌یافته قرار دارد. میانگین زاویه‌ی مرکزی در سال ۱۹۹۴ نسبت به ۱۹۹۹ و ۲۰۱۳ بیش‌تر بوده، یعنی رودخانه در این بازه‌ی زمانی، پیچان‌رودهای متکامل‌تری داشته است. کاهش زاویه‌ی

مرکزی در سال ۱۹۹۹ به معنی میل رودخانه به سمت پیچان‌رودهای توسعه‌نیافته و افزایش دوباره‌ی زاویه‌ی مرکزی در سال ۲۰۱۳، به معنی میل رودخانه به سمت پیچان‌رودهای توسعه‌یافته است. درصد فراوانی زاویه‌ی مرکزی نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۴، ۵۱/۲ درصد، در سال ۱۹۹۹، ۴۷/۲ درصد و در سال ۲۰۱۳، ۴۵/۷ درصد پیچان‌رودها در رده‌ی پیچان‌رودهای توسعه‌یافته قرار داشته‌اند. در هر سه دوره‌ی زمانی، هیچ‌یک از قوس‌ها در رده‌ی رودخانه‌های مستقیم و شاخ گاوی واقع نشده‌اند. بنابراین تغییرات میانگین زاویه‌ی مرکزی رودخانه در سه بازه‌ی زمانی، نشان از ناپایداری رودخانه دارد.

هم‌چنین نتایج حاصل از تحلیل ضریب خمیدگی نشان می‌دهد که رودخانه‌ی اترک در هر سه بازه‌ی زمانی در کلاس رودخانه‌ی پیچان‌رودی قرار داشته و کاهش آن در سال ۱۹۹۹ نسبت به سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۱۳، بیانگر تغییر در مورفولوژی رودخانه بوده که این تغییرات ناشی از عوامل هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، هیدرولیکی و انسانی در محدوده است. بررسی تغییرات طول موج و طول دره در سه دوره‌ی زمانی مورد مطالعه در رودخانه‌ی اترک نشان می‌دهد که میانگین تغییرات طول موج و طول دره در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۹ بیش‌تر بوده و علت آن به نظر نگارنده این است که قدرت مانور رودخانه در این بازه‌ی زمانی بیش‌تر بوده و به همین علت ناپایداری رودخانه در این دوره نسبت به ۱۹۹۴ و ۱۹۹۹ بیش‌تر بوده است. هم‌چنین هم‌پوشانی مسیر رودخانه در سه بازه‌ی زمانی مورد مطالعه با مرز ایران روی تصاویر گوگل ارث نشان می‌دهد که در برخی موارد این تغییرات به نفع ایران بوده، یعنی به اراضی ایران در این منطقه افزوده شده و در موارد دیگر به ضرر ایران بوده است، یعنی این تغییرات باعث شده‌اند تا در مناطق تغییریافته بر مساحت کشور ترکمنستان افزوده شود. بررسی تغییرات مسیر رودخانه نشان می‌دهد که در ۲۶ مورد تغییرات به نفع ترکمنستان و ۱۱ مورد به نفع ایران بوده است. بنابراین تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ی اترک باعث از دست رفتن مقداری از مساحت کشور ایران شده که با اقدامات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح حدود ۸۰ کیلومتر از این اراضی به کشور الحاق شد. با توجه به بررسی الگوی رودخانه در بازه‌های زمانی مورد مطالعه و مشاهده‌ی تغییر در ۴۱ مئاندر، پیشنهاد می‌شود از برداشت غیر اصولی شن و ماسه از بستر و کناره‌ها و تغییر کاربری رودخانه‌ی اترک تا حد امکان، جلوگیری شود. هم‌چنین با مشخص شدن نقاط دارای بیش‌ترین تغییر الگوی رودخانه مانند حوالی روستاهای دماغ، ترشکلی، قلاق بورته و دانشمند و انجام مطالعات میدانی دقیق‌تر با استفاده از سازه‌ها یا روش‌های دیگر، این نقاط کنترل شوند تا باعث فرسایش بیش از حد بستر و کناره‌ها و در نتیجه از دست رفتن بخش‌هایی از مساحت کشور نشوند.

منابع

۱- اسماعیلی، رضا. ۱۳۹۰. کاربرد بازیافت ژئومورفیک رود در مدیریت رودخانه (مطالعه‌ی موردی: البرز شمالی- حوضه‌ی آبریز لاویج رود)، فصل‌نامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۴.

۲- بدیعی، مرجان، سعید رحیمی هرآبادی و سعید گودرزی مهر. ۱۳۹۰. نقش تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ی مرزی هیرمند در روابط سیاسی ایران و افغانستان، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۸.

۳- پاک‌نژاد متکی، حمیدرضا و عزت‌اله عزتی. ۱۳۹۰. هیدروپلیتیک رودخانه‌ی مرزی اترک و تأثیر آن بر روابط ایران و ترکمنستان، چشم‌انداز جغرافیایی (مطالعات انسانی)، سال ششم، شماره‌ی ۱۴.

۴- تلوری، عبدالرسول. ۱۳۷۱. شناخت فرسایش کناری رودخانه در دشت‌های رسوبی. محل نشر تهران؟ مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.

۵- جوادیان، سیدحمید؛ مجید ابراهیمی، سمیرا شریفیان و حمید نژاد سلیمانی. ۱۳۹۱. پیامدهای ژئوپلتیکی- امنیتی تغییر بستر رودخانه مرزی هریرود، همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت، چالشها و رهیافتها، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۶- حافظ‌نیا، محمدرضا، پیروز مجتهدزاده و جواد علیزاده. ۱۳۸۲. هیدروپلیتیک هیرمند و اثرات آن بر ایران و افغانستان، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، استاد راهنما: زهرا پیشگاهی فرد، دانشگاه تهران، دانشکده؟ جغرافیا.

۷- حسین‌زاده، محمدمهدی، خه‌بات درفشی و سعید قره‌چاهی. ۱۳۹۱. پایش روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌های مرزی و نقش آن در روابط سیاسی کشورها (مطالعه‌ی موردی: رودخانه ارس)، پنجمین کنگره بین‌المللی جغرافی‌دانان اسلام.

۸- دولتی، جواد. ۱۳۸۷. بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی بخش میانی رودخانه‌ی اترک با استفاده از GIS، استاد راهنما: مجتبی یمانی، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیای طبیعی.

۹- رحیمی هرآبادی، سعید. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر ویژگی‌های الگوی رودخانه‌ای در مسائل و اختلافات مرزی (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی مرزی هیرمند)، اولین همایش توسعه‌ی پایدار نواحی مرزی.

۱۰-رنگزن، کاظم، بهرام صالحی و پروین سلحشوری. ۱۳۸۷. بررسی تغییرات منطقه پایین‌دست سد کرخه قبل و بعد از ساخت سد با استفاده از تصاویر چندزمانه Land sat، اولین همایش ژئوماتیک ایران.

۱۱-رضایی مقدم؛ محمدحسین، محمدرضا ثروتی و صیاد اصغری سراسکانرود. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه قزل اوزن با تاکید بر عوامل ژئومورفولوژیک و زمین شناسی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۶، شماره ۲.

۱۲-سازمان نقشه‌برداری کشور. ۱۳۸۰. بررسی مسائل رودخانه‌های مرزی، مرکز سنجش از دور ایران.

۱۳-ساسانی، فاطمه؛ حسین افضلی مهر، حسین و منوچهر حیدرپور. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر فاکتور تنش برشی بر تغییر مکان ها ی جانبی در طول بازه ها ی قوس دار در یک رودخانه درشت دانه، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۱۴-مقصودی، مهران؛ سیامک شرفی و یاسر مقامی. ۱۳۸۹. روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم‌آباد با استفاده از RS، GIS و Auto Cad، مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره چهاردهم، شماره ۳.

۱۵-یمانی، مجتبی؛ جواد دولتی و علیرضا زارعی. ۱۳۹۰. تأثیرگذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه‌ی اترک، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۹۹.

۱۶-یمانی، مجتبی؛ محمد مهدی حسین زاده و احمد نوحه گر. ۱۳۸۵. هیدرودینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییرات مشخصات هندسی آنها، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۵.

17-Hawasd, C. 2008. River morphology and river channel changes, Tianjin University and springer, 14: 254-262.

18-Judith Ramos, and Gracia, J. 2012. Spatial–temporal fluvial morphology analysis in the Quelite River: its impact on communication systems, Journal of Hydrology, 269–278.

19-Ortega, J.A., Razola, L., and Garzón, G. 2014. Recent human impacts and change in dynamics and morphology of ephemeral rivers, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14:713–730.

20-Leopold, L.B. and Wolman, M.G. 1957. River Channel Pattern- Braided Meandring and Straight. USGS. Professional Paper. 282. B.

21-Petts, G.E. et al. 1986. Historical Change Large Alluvial River, John Wiley and Sons.

22-Ribolin, A., and Pagnolo, M. 2007. Drainage Network Geometry versus Tectonics in the Argentera Massif (French-Italian Alps), Geomorphology, 93(3-4): 253-266.

23-Sabita madhvi singh, 2014. Morphology Changes of Ganga River over Time at Varanasi, Journal River of engineering, 2(2).

24-Sainath P., Aher, Shashikant I., Bairagi, Pragati P., Deshmukh, and Ravindra D. Gaikwad, 2012. River Change Detection and Bank Erosion Identification using Topographical and Remote Sensing Data, International Journal of Applied Information Systems (IJAIS), 2(3).

25-Uddin, K., Shrestha, B., and Alam, M.S. 2011, Assessment of morphological Changes and Vulnerability of River Bank Erosion alongside the River Jamuna Using Remote Sensing, Journal of Earth Science and Engineering, 1(1):29-34.

26-Qiang, Z.C., Yongqin David, Tong, J., and Maotian, L. 2007. Channel changes of the makou- tianjiazhen reach in the middle Yangtze River during the past 40 years, Journal geographical sciences- science in china, press-springer-vetlag.