

روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم آباد با استفاده از GIS، RS و Auto Cad

مهران مقصودی^{۱*}، سیامک شرفی^۲، یاسر مقامی^۳

- ۱- استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران تهران، ایران
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تهران تهران، ایران

دریافت: ۸۸ / ۵ / ۵ پذیرش: ۸۹ / ۸ / ۱۲

چکیده

خصوصیات مورفولوژی رودخانه‌ها به واسطه ویژگی بویای آن، همواره دچار تغییرات هستند و این تغییرات می‌تواند بر سازه‌های بنا شده در حاشیه رودخانه‌ها، زمین‌های کشاورزی و غیره آثار منفی بگذارد. در این پژوهش، مورفولوژی قسمتی از رودخانه خرم آباد در استان لرستان از روستای چغاخندق تا روستای غلامان سفلی به طول ۱۹/۵ کیلومتر بررسی شده است. با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴، تصاویر سنجنده TM ماهواره Land Sat سال ۱۳۷۷ و تصاویر Aster سال ۱۳۸۴ مسیر رودخانه در سه دوره زمانی و در محیط نرم‌افزار Arc GIS رقومی شده است؛ در مرحله بعد در محیط نرم‌افزاری Auto Cad پارامترهای هندسی رودخانه مانند طول موج، طول دره، ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی و شعاع دایره مماس بر قوس‌ها، برای بررسی تغییرات با روش برازش دایره‌های مماس بر قوس رودخانه اندازه‌گیری شده است. در ادامه با نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل‌های آماری بر روی پارامترهای هندسی صورت گرفته است. نتایج مطالعه این پارامترها و مقایسه آن‌ها در سه بازه زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد در این محدوده تعداد ۱۷ متاندر از سال ۱۳۳۴ تا سال ۱۳۷۷ حذف شده و تعداد متاندرها از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۴ از ۵۱ به ۵۳ افزایش یافته است. مقادیر پارامترهای هندسی به دست آمده در سه دوره نیز تغییرات شکل و پلان رودخانه را نشان می‌دهد. اصلی‌ترین دلیل این تغییرات، تغییر کاربری اراضی اطراف رودخانه و به‌طور کلی دخل و تصرف انسان در بستر رودخانه است.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی، مورفولوژی رودخانه، خرم آباد، پارامترهای هندسی، تغییر کاربری اراضی.



۱- مقدمه

رودخانه‌های طبیعی تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف، پیوسته از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در حال تغییرند (ساسانی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱). تغییرات هیدرولوژیک طبیعت به تدریج موجب تغییر موقعیت و مورفولوژی رودخانه‌ها می‌شود. تمایل رودخانه‌ها به تغییرات مورفولوژی طی حدود یک قرن، به خوبی قابل درک و اثبات است. از این لحاظ، رودخانه از نظر ژئومورفیک بی‌تردید پدیده‌ای پویاست و شواهد مورفولوژیک زمین‌شناسی حاکی از آن است که بیشتر رودخانه‌ها در معرض تغییرات مستمر قرار دارند؛ تغییراتی که بخشی از تحول مورفولوژیک آن‌هاست (پیمان، ۱۳۸۰: ۱).

در بسیاری از مناطق جهان، پژوهش‌های فراوانی بر روی پدیده مئاندری شدن رودخانه‌ها انجام شده و بیش از سی نظریه درباره روند مئاندری شدن رودخانه‌ها بیان شده است. اما به دلیل پیچیدگی فرایندهای متفاوت حاکم بر پدیده مئاندری شدن که ناشی از تفاوت در ویژگی‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، مورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، پوشش گیاهی و اقلیمی، فیزیوگرافی و بسیاری از عوامل شناخته‌شده یا ناشناخته دیگر است و همچنین به دلیل تفاوت و تغییر شرایط از رودخانه‌ای به رودخانه دیگر، کاربرد نتایج ارائه‌شده با محدودیت‌های جدی روبه‌رو شده است (Julian, 2002).

در زمینه تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها تحقیقات زیادی انجام شده و بیشتر آن‌ها در ارتباط با مسائل مهندسی رودخانه است. اما به مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه‌ها کمتر توجه شده است؛ مطالعات ژئومورفولوژی به منظور شناسایی کلی شکل، فرایند توسعه و روند تغییرات آن جهت تحلیل پایداری و فرسایش کرانه‌های رودخانه‌ها صورت می‌گیرد. شفیع‌فر (۲۰۰۱) الگوی مهاجرت رودخانه زهره را که یکی از رودخانه‌های حوضه خلیج فارس در جنوب ایران است، براساس چندسری عکس هوایی و تصویر ماهواره‌ای مطالعه کرده است. هدف این پژوهش، مکان‌یابی ساختگاه مناسب جهت پرورش ماهی در ساحل رودخانه است. فرخی و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی تغییرات پلان رودخانه دز با استفاده از سنجش از دور و GIS نتیجه گرفتند که رودخانه بیشتر از الگوی پیچانرودی

تبعیت می‌کند و سواحل آن جابه‌جایی زیادی داشته است. مرید و همکاران (۱۳۸۳) روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون را براساس چهارسری تصاویر ماهواره‌ای Landsat و IRS بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات قوس‌ها در حال تغییر است و تراکم و اندازه انحناهای قوس‌ها به سمت پایین دست جابه‌جا شده است. از پژوهش‌گران ایرانی که در این زمینه فعالیت کرده‌اند می‌توان به احمدیان یزدی (۱۳۸۰)، رنگرن (۱۳۸۱)، حقی آبی (۱۳۸۳)، یمانی (۱۳۸۵) و... اشاره کرد.

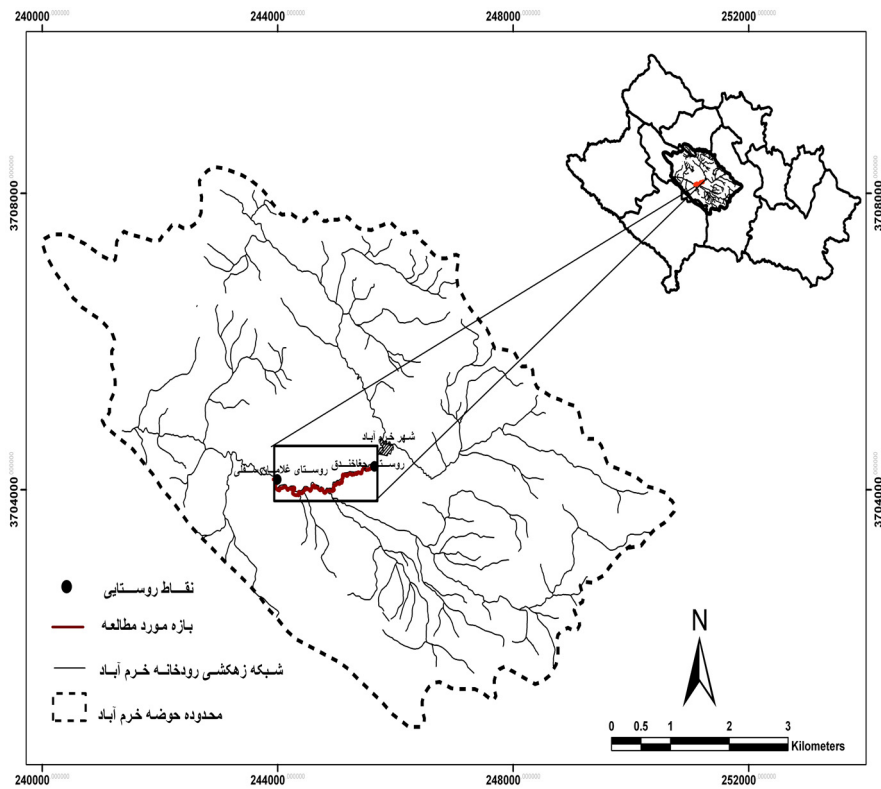
از بین پژوهش‌گران خارجی، تایمر^۱ (2003) با بررسی روش‌های کنترل تغییرات رودخانه‌های پیچانرودی بر روی رودخانه تیسز^۲ نتیجه گرفت که پیچانرودی شدن رودخانه به شدت تحت تأثیر موقعیت گسل‌ها و فرونشست‌های غیرعادی است. یانگ^۳ و همکاران (1999) درباره آشکارسازی تغییرات خط ساحلی دلتای رودخانه زرد چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تحقیقی انجام دادند. در این تحقیق شش سری تصاویر ماهواره‌ای MSS و TM استخراج شد و برای طبقه‌بندی از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. نتایج پژوهش یانگ نشان داد رودخانه از حالت شریانی مستقیم به مئاندری ضعیف تغییر شکل داده است. چو^۴ و همکاران (2006) با بررسی افزایش تغییرات الگوی رودخانه زرد کنونی (هوانگ‌هو) در قسمت دلتایی در چین با استفاده از تصاویر سنجنش از دور نتیجه گرفتند که در دوره زمانی ۱۹۷۶-۲۰۰۰م بیشترین فرسایش در بالای دماغه دیاوکو^۵ و شینگیانگو^۶ رخ داده و به طرف خط ساحلی حدود ۴/۵- تا ۷- متر عقب‌نشینی داشته است. ساندر^۷ (2000) در بررسی خود، تغییرات کانال رودخانه‌های تی^۸ و تومل^۹ را در اسکاتلند در شرایط کوتاه و میان‌مدت با استفاده از

1. Timar
2. Tisza
3. Yang
4. Chu
5. Diaokou
6. Shenxiangou
7. Sandra
8. Tay
9. Tummel



نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی بررسی کرد و نتیجه گرفت در شرایط میان‌مدت میانگین عرض کانال رودخانه‌ها، و در شرایط کوتاه‌مدت روند تغییر شکل رودخانه‌ها کاهش یافته است.

این پژوهش نیز به بررسی مشخصات هندسی قسمتی از رودخانه خرم‌آباد با استفاده از داده‌های سنجش از دور و نرم‌افزار GIS Arc پردازش شده است. هدف آن نیز تعیین و بررسی روند تغییرات مورفولوژی رودخانه است که هر ساله باعث فرسایش کناری، تخریب زمین‌های کشاورزی و تخریب سازه‌های بنا شده در اطراف رودخانه می‌شود.



شکل ۱ حوضه آبخیز رودخانه خرم‌آباد و موقعیت بازه مورد پژوهش بر روی آن

۲- محدوده پژوهش

رودخانه خرم آباد یکی از منابع سطحی جنوب غربی کشور است که با حوضه آب خیز به نسبت کوچکی به وسعت ۲۶۱/۲۷۰ هکتار در شهرستان خرم آباد استان لرستان واقع شده است (شکل ۱). این رودخانه با جمع آوری آب سرشاخه های کوچک و بزرگ با جهت شرقی - غربی به شکل نواری منصف از مرکز شهر خرم آباد عبور می کند و پس از مسافتی بالغ بر ۴۰ کیلومتر به رودخانه کشکان می پیوندد؛ رودخانه کشکان از سرشاخه های اصلی حوضه آب خیز کرخه است (خورشیدی، ۱۳۷۸: ۱). حوضه آب خیز رودخانه خرم آباد از نظر اقلیمی براساس ضریب دمارتن جزء مناطق نیمه خشک به شمار می آید و میانگین مجموع بارش سالیانه این حوضه حدود ۵۰۸ میلی متر است (عزیزی، ۱۳۷۹: ۱۱۵). دبی ماهانه رودخانه خرم آباد برابر $706/2$ مترمکعب در ثانیه است که حداکثر آن در فروردین و حداقل آن در شهریور به ترتیب با ۷۰۰ و ۱۳۰ مترمکعب در ثانیه اندازه گیری شده است (فرج زاده و همکاران، ۱۳۸۳: ۸۳).

۳- مواد و روش ها

برای بررسی تغییرات بستر رودخانه ها اغلب از سه روش تاریخی، مدل تجربی و مدل سازی بنیادی استفاده می شود. در این پژوهش تغییرات بستر رودخانه خرم آباد از روستای چغاخندق تا روستای غلامان سفلی در سه دوره زمانی با استفاده از روش تاریخی بررسی شده است. برای بررسی روند تغییرات ایجادشده در بستر این رودخانه از عکس های هوایی سال ۱۳۳۴، تصاویر سنجنده TM ماهواره Land sat سال ۱۳۷۷، تصاویر Aster سال ۱۳۸۴، تصاویر گوگل ارث^۱ سال ۱۳۸۶، نقشه های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ (برای استخراج مرز حوضه رودخانه خرم آباد) و نقشه زمین شناسی رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده شده است. علت استفاده از نقشه

1. Oogle Earth

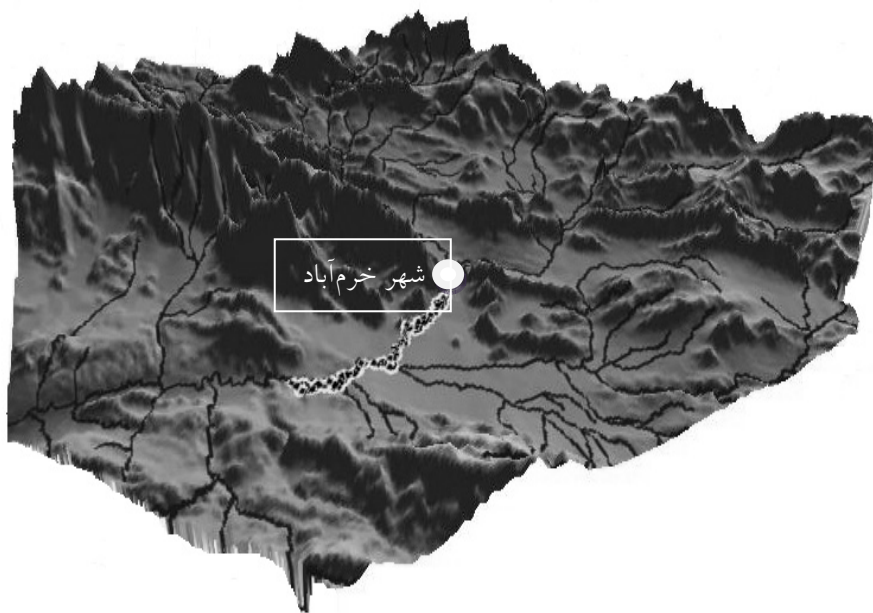


زمین‌شناسی کوچک‌مقیاس، چاپ نشدن و عدم دسترسی به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مسیر مورد پژوهش است.

نخست موقعیت حوضه آب‌خیز رودخانه خرم‌آباد و بازه مورد پژوهش با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی راقومی و نرم‌افزار Arc GIS مشخص شده است. در ادامه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی راقومی ۱:۲۵۰۰۰، مدل راقومی ارتفاع (DEM) منطقه تهیه شده و در محیط نرم‌افزاری Global Mapper تصویر سه‌بعدی حوضه آب‌خیز رودخانه خرم‌آباد و موقعیت بازه مورد پژوهش به‌دست آمده است تا بتوان با توجه به موقعیت توپوگرافی محدوده مورد پژوهش تجزیه و تحلیل بهتری انجام داد (شکل ۲). در مرحله بعد نقشه زمین‌شناسی مسیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزاری که پیشتر به آن اشاره شد، زمین‌مرجع راقومی شده است. با استفاده از این نقشه و مشاهدات میدانی، جنس رسوبات بستر و کناره‌های رودخانه مشخص شده است. بعد از انجام این مراحل، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی محدوده مورد پژوهش، که مهم‌ترین ابزار بررسی تغییرات مسیر رودخانه‌ها هستند، در سه دوره زمانی جمع‌آوری شده است. در ادامه، عکس‌های هوایی اسکن شده در نرم‌افزار فتوشاپ^۱ فتوموزائیک شده و در نرم‌افزار Arc GIS با استفاده از نقاط ثابت مانند روستاها، پل‌ها و ... زمین‌مرجع شده است. پس از ورود تصاویر و عکس‌های هوایی به محیط نرم‌افزاری Arc GIS مرز سواحل چپ و راست رودخانه خرم‌آباد در سه بازه زمانی مورد پژوهش بر روی این تصاویر راقومی شده و پس از راقومی کردن مسیر رودخانه، با فرمت اتوکد از آن‌ها خروجی گرفته شده است. در ادامه با نرم‌افزار اتوکد^۲ مشخصات هندسی قوس‌ها مانند شعاع قوس، طول موج، زاویه مرکزی، طول دره و ضریب خمیدگی در هریک از دوره‌های زمانی استخراج شده است. سپس با نرم‌افزار آماری SPSS و پارامترهای به‌دست‌آمده، تجزیه و تحلیل‌های آماری بر روی این پارامترها صورت گرفته است. پس از انجام این کارها و با استفاده از پارامترهای

1. Photo Shop
2. Auto Cad

به دست آمده، تغییرات مورفولوژی رودخانه در بازه‌های زمانی مورد نظر تجزیه و تحلیل شده است.



شکل ۲ توپوگرافی و شبکه آبریزی حوضه آبخیز رودخانه خرم‌آباد و موقعیت بازه مورد پژوهش (دید به سمت شمال)

پارامترهای هندسی رودخانه خرم‌آباد و نحوه محاسبه آنها با نرم‌افزار اتوکد در مطالعه و بررسی رودخانه‌های پیچانرودی، برای کمی کردن میزان توسعه پیچانرودی رودخانه‌های آبرفتی و تعیین الگوی رفتاری و تغییرات آن در طول زمان، باید مشخصات هندسی رودخانه‌ها همچون زاویه مرکزی، شعاع پیچانرود، طول موج، طول دره و ضریب خمیدگی، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شود تا بتوان تغییرات ایجاد شده در مسیر رودخانه را در گذشته نسبت به حال مشخص کرد. در زیر پارامترهای هندسی مورد استفاده در تحقیق خلاصه‌وار شرح داده شده است:

الف) زاویه مرکزی و شعاع پیچانرود: زاویه مرکزی به عنوان معیاری جهت تقسیم‌بندی و شناسایی میزان توسعه پیچانرودی رودخانه استفاده می‌شود. پس از ترسیم دایره‌های مماس بر



مسیر رودخانه در نرم‌افزار اتوکد، از مرکز هریک از دایره‌های مماس بر قوس‌ها دو شعاع به نقاط عطف دایره‌ها با دره رودخانه ترسیم می‌شود. به زاویه ایجادشده از محل اتصال دو شعاع، زاویه مرکزی و به شعاع مماس بر دایره قوس‌ها، شعاع دایره گفته می‌شود.

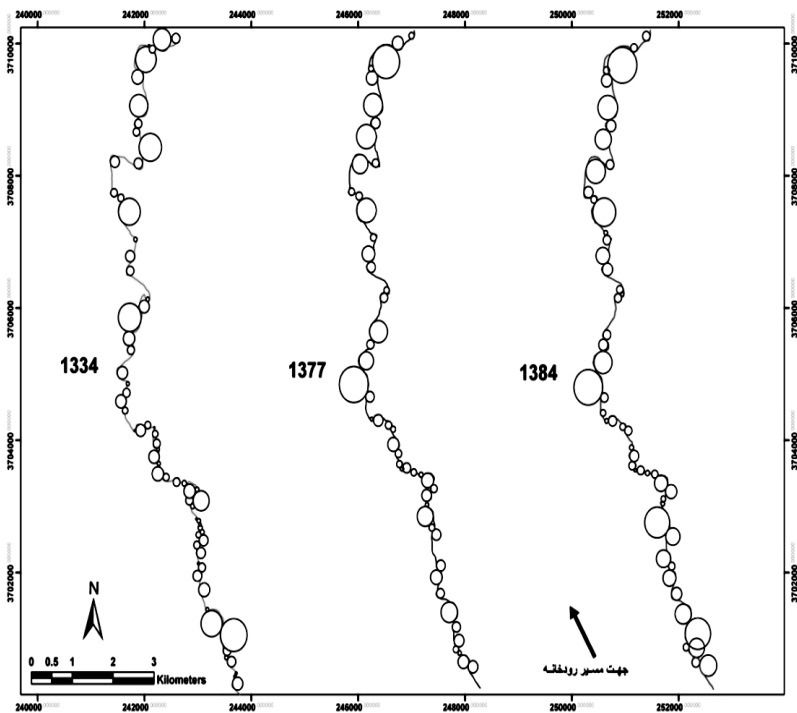
ب) طول موج و طول دره: طول موج و طول دره رودخانه، دو پارامتر اصلی در طبقه‌بندی رودخانه و تعیین ضریب خمیدگی آن است. معمولاً بین این دو پارامتر همبستگی بالایی وجود دارد. برای به‌دست آوردن طول موج روی نقشه محور مسیر رودخانه، ابتدا نقاط عطف یا نقاط تغییر انحنای محور رودخانه با دقت زیاد مشخص می‌شود، سپس هر دو نقاط عطف مربوط به یک قوس به یکدیگر متصل می‌شود و طول پاره‌خط به‌دست‌آمده (وتر مقابل به قوس محور رودخانه) با نرم‌افزار اتوکد با دقت زیاد اندازه‌گیری می‌شود. این طول معادل نصف طول موج $(\frac{\lambda}{2})$ هر قوس رودخانه است. در ادامه مقدار طول موج برای هر قوس و مقدار میانگین حسابی آن برای بازه مورد پژوهش محاسبه می‌شود. برای به‌دست آوردن طول دره نیز نقطه عطف یک قوس تا نقطه عطف قوس بعدی در روی مسیر محور رودخانه مشخص، و با استفاده از نرم‌افزار برای هر قوس اندازه‌گیری می‌شود.

ج) ضریب خمیدگی: شاخص ضریب خمیدگی یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم‌بندی شکل رودخانه استفاده می‌شود. این عامل نشان‌دهنده نسبت طول خط محور رودخانه به طول دره یا طول چم است و میزان تکامل چم را می‌نماید. طبق تعریف، ضریب خمیدگی بزرگ‌تر از $1/4$ تا $1/5$ نشان‌دهنده پیچشی بودن رودخانه و کمتر از آن نشان‌دهنده مستقیم بودن رودخانه و بازه موردنظر است (دولتی، ۱۳۸۷: ۱۴۰ به نقل از آلباسین). برای محاسبه میزان ضریب خمیدگی هر یک از قوس‌ها، از فرمول $S = \frac{L}{\lambda/2}$ استفاده شده است.

۴- بحث و تجزیه و تحلیل

نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و پارامترهای هندسی به‌دست‌آمده در بازه مورد مطالعه از رودخانه خرم‌آباد نشان می‌دهد مورفولوژی رودخانه در هر سه دوره تغییر کرده است؛ اما میزان تغییرات در سال ۱۳۳۴ بیشتر از سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۴ است. میزان

تغییرات ایجادشده در مسیر رودخانه با الگوی پیچش‌ها و دایره‌های مماس بر آن‌ها، پس از رقومی کردن مسیر رودخانه از روی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی برای هر دوره در محیط نرم‌افزاری Arc GIS به دست آمده و در شکل شماره سه نشان داده شده است. همچنین پارامترهای هندسی مورد استفاده برای بررسی تغییرات (شامل شعاع، طول موج، زاویه مرکزی، طول دره و ضریب خمیدگی) پس از محاسبه در محیط نرم‌افزاری اتوکد، تجزیه و تحلیل شده و نتایج آن‌ها در جدول‌های یک تا سه در سه دوره زمانی آمده است. بر اساس داده‌های این سه جدول، میانگین شعاع قوس‌ها از سال ۱۳۳۴-۱۳۸۴ روند افزایشی داشته است. علت این افزایش را می‌توان تغییر الگوی رودخانه از حالت شریانی به سمت پیچانرودی دانست. این تغییر الگو در عکس‌ها و تصاویر آشکارا دیده می‌شود (شکل ۴).



شکل ۳ تغییرات مورفولوژی و موقعیت دایره‌های مماس بر مسیر رودخانه خرم‌آباد از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۴ در محدوده روستای چغاخندق تا غلامان سفلی



جدول ۱ نتایج تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای هندسی قوس‌های رودخانه خرم‌آباد از روستای چغاخندق تا روستای غلامان سفلی در سال ۱۳۳۴

| نام رودخانه | پارامترهای هندسی | شعاع (RL) متر | زاویه مرکزی (R) درجه | طول موج (WL) متر | طول دره (AL) متر | ضریب خمیدگی (S) |
|------------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------|
| رودخانه خرم‌آباد | میانگین | ۱۰۰/۶ | ۱۰۹/۳ | ۳۸۸/۷ | ۵۲۲/۵ | ۱/۳ |
| | انحراف معیار | ۸۷/۶ | ۳۹ | ۲۳۷/۱ | ۳۳۲/۳ | ۰/۲ |
| | دامنه تغییرات | ۳۰۷ | ۱۵۵ | ۸۲۸ | ۱۱۰۰ | ۱ |
| | حداقل | ۱۷ | ۶۰ | ۹۵ | ۱۲۰ | ۱ |
| | حداکثر | ۳۳۴ | ۲۱۵ | ۹۲۳ | ۱۲۲۰ | ۲ |
| | چولگی | ۱ | ۰/۷ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۱/۱ |
| | کشیدگی | ۰/۲ | ۰/۶ | ۰/۲ | -۰/۵ | ۰/۴ |

جدول ۲ نتایج تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای هندسی قوس‌های رودخانه خرم‌آباد از روستای چغاخندق تا روستای غلامان سفلی در سال ۱۳۷۷

| نام رودخانه | پارامترهای هندسی | شعاع (RL) متر | زاویه مرکزی (R) درجه | طول موج (WL) متر | طول دره (AL) متر | ضریب خمیدگی (S) |
|------------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------|
| رودخانه خرم‌آباد | میانگین | ۱۲۰/۴ | ۱۱۰/۵ | ۴۸۶/۷ | ۶۳۵ | ۱/۳ |
| | انحراف معیار | ۹۵/۶ | ۴۰/۳ | ۲۳۴/۶ | ۳۵۸/۱ | ۰/۲ |
| | دامنه تغییرات | ۳۱۹ | ۱۴۷ | ۷۸۵ | ۱۲۵۶ | ۰/۷ |
| | حداقل | ۳۶ | ۵۵ | ۱۷۷ | ۱۹۱ | ۱/۱ |
| | حداکثر | ۳۵۵ | ۲۰۲ | ۹۶۲ | ۱۴۴۷ | ۱/۸ |
| | چولگی | ۱/۲ | ۰/۵ | ۰/۰۵ | ۰/۴ | ۰/۹ |
| | کشیدگی | ۱/۱ | -۰/۴ | -۰/۷ | -۰/۵ | ۰/۲ |

جدول ۳ نتایج تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای هندسی قوس‌های رودخانه خرم‌آباد از روستای چغاخندق تا روستای غلامان سفلی در سال ۱۳۸۴

| نام رودخانه | پارامترهای هندسی | شعاع (RL) متر | زاویه مرکزی (R) درجه | طول موج (WL) متر | طول دره (AL) متر | ضریب خمیدگی (S) |
|------------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------|
| رودخانه خرم‌آباد | میانگین | ۱۳۰/۸ | ۱۰۸ | ۴۸۱/۲ | ۶۳۹/۱ | ۱/۳ |
| | انحراف معیار | ۱۰۱/۴ | ۳۷/۲ | ۲۲۹/۳ | ۳۵۸/۸ | ۰/۲ |
| | دامنه تغییرات | ۳۲۴ | ۱۳۹ | ۷۷۲ | ۱۱۵۲ | ۰/۷ |
| | حداقل | ۳۱ | ۴۱ | ۱۵۸ | ۲۵۷ | ۱/۱ |
| | حداکثر | ۳۵۵ | ۱۸۰ | ۹۳۰ | ۱۴۰۹ | ۱/۸ |
| | چولگی | ۱/۳ | ۰/۵ | -۰/۰۵ | ۰/۳ | ۰/۷ |
| | کشیدگی | ۱/۲ | ۰/۱ | -۰/۶ | -۰/۷ | -۰/۵ |



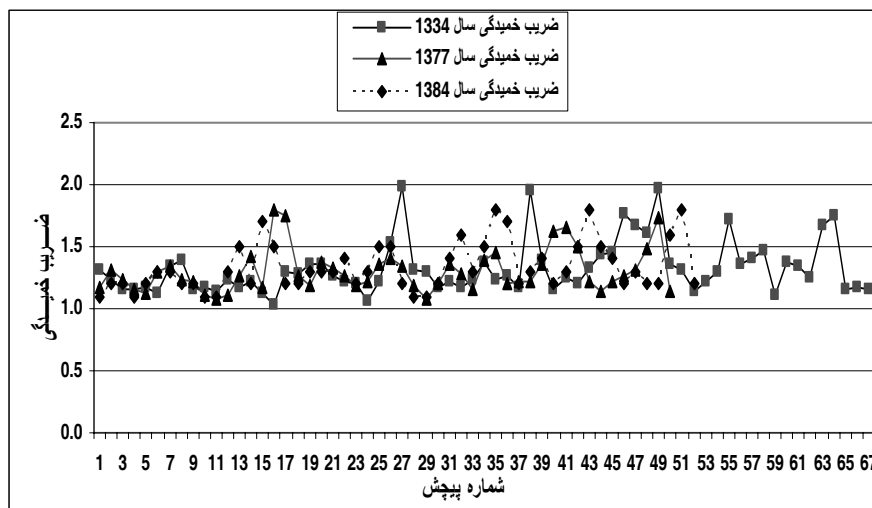
شکل ۴ تغییر الگوی رودخانه از حالت شریانی در سال ۱۳۳۴ به حالت پیچانرودی در سال ۱۳۸۶

میانگین ضریب خمیدگی در سه دوره مورد پژوهش نشان می‌دهد رودخانه حالت پیچانرودی داشته است. تغییرات ضریب خمیدگی در این سه دوره در یک دامنه محدود مشاهده می‌شود و وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول رودخانه را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات ضریب خمیدگی از سال ۱۳۳۴-۱۳۷۷ روند کاهشی و از سال ۱۳۷۷-۱۳۸۴ روند ثابتی داشته است که در شکل شماره پنج نشان داده شده است. بررسی زاویه مرکزی نیز نشان می‌دهد این پارامتر از سال ۱۳۳۴-۱۳۷۷ روند افزایشی داشته و در سال ۱۳۸۴ میزان زاویه

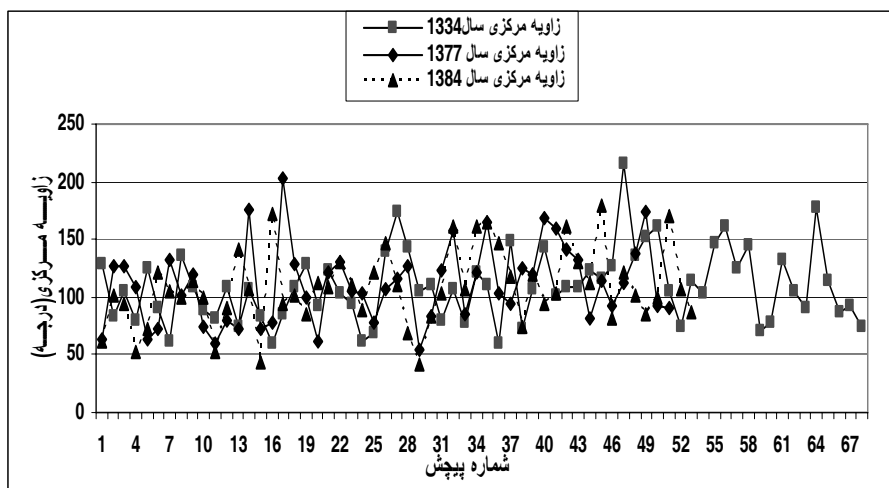


مرکزی کاهش یافته است؛ یعنی میزان توسعه یافتگی پیچانرودها در سال ۱۳۳۴ نسبت به سال ۱۳۷۷ کمتر و نسبت به سال ۱۳۸۴ بیشتر بوده است. در هر سه دوره نیز شکل رودخانه با توجه به زاویه مرکزی در رده خم دار توسعه یافته قرار داشته است.

روند افزایشی تغییرات طول موج و طول دره از سال ۱۳۳۴ نسبت به سال ۱۳۸۴ نشان می دهد با افزایش فاصله دو پیچانرود متوالی در این محدوده و به عبارتی کاهش تراکم تعداد پیچانرودها در واحد طول، فاصله پیچانرودهای متوالی نسبت به هم بیشتر شده است. اما روند کاهش طول موج از سال ۱۳۷۷ نسبت به سال ۱۳۸۴ نشان دهنده کاهش فاصله پیچانرودهای متوالی نسبت به هم است؛ یعنی تعداد پیچانرودها افزایش یافته است که با توجه به افزایش قوس ها از ۵۱ قوس در سال ۱۳۷۷ به ۵۳ قوس در سال ۱۳۸۴ این مطلب تأیید می شود. بررسی تعداد مائدرها نیز گویای آن است که شمار آن ها در سال ۱۳۳۴ بیشتر از دو دوره دیگر بوده و در سال ۱۳۸۴ نیز تعداد آن ها بیشتر از سال ۱۳۷۷ و کمتر از سال ۱۳۳۴ بوده است (جدول ۵). کاهش و افزایش تعداد مائدرها تغییرات بستر و مورفولوژی رودخانه را در سه دوره زمانی مورد پژوهش نمایان می کند (شکل ۷).



شکل ۵ مقادیر ضریب خمیدگی قوس های رودخانه خرم آباد در هر سه دوره زمانی



شکل ۶ مقادیر زاویه مرکزی قوس‌های رودخانه خرم آباد در هر سه دوره زمانی

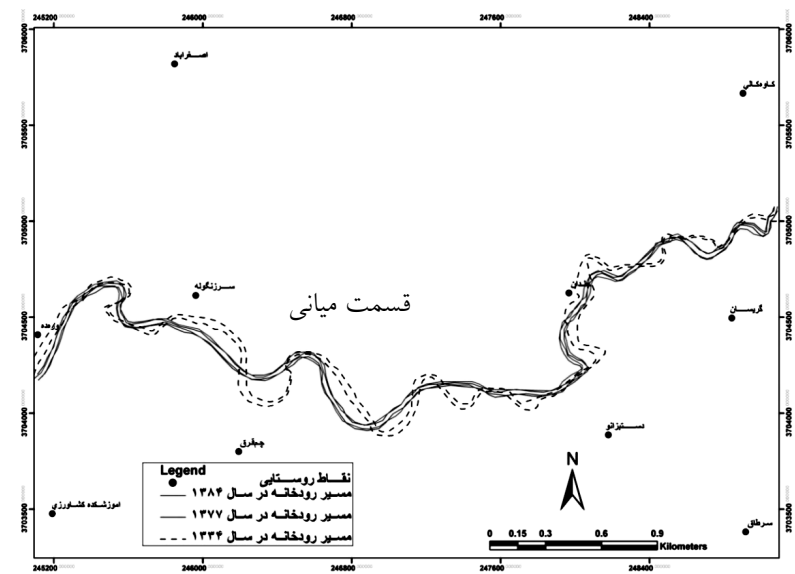
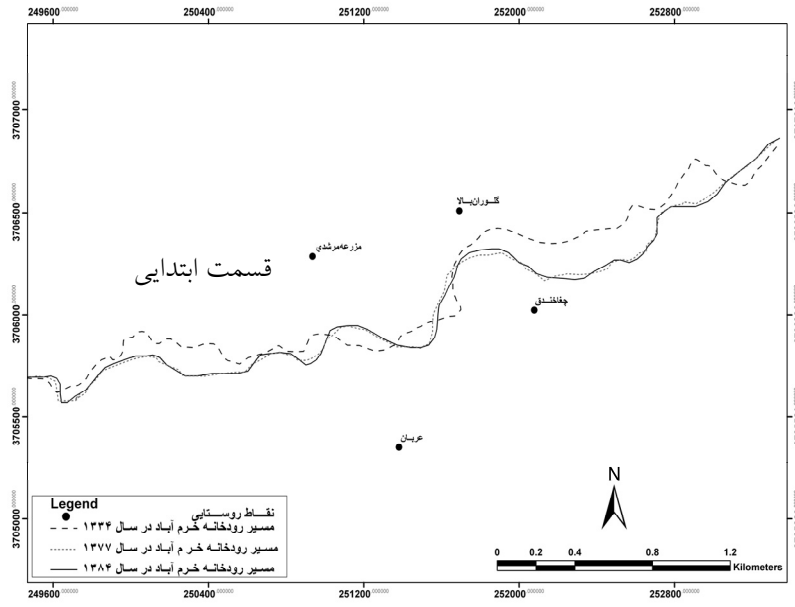
جدول ۴ میزان رشد پیچش قوس‌ها براساس مقدار زاویه مرکزی در ۳ دوره زمانی

| درصد فراوانی | | | زاویه مرکزی خم (درجه) | شکل رودخانه |
|--------------|-------|-------|--------------------------|------------------------------|
| ۱۳۸۴ | ۱۳۷۷ | ۱۳۳۴ | | |
| ۱/۸۸ | ۰ | ۰ | ۰-۴۱ | شبه خم‌دار |
| ۱۶/۹۸ | ۲۹/۴۱ | ۲۶/۴۷ | ۴۱-۸۵ | خم‌دار توسعه‌نیافته |
| ۶۷/۹۳ | ۵۸/۸۲ | ۶۶/۱۷ | ۸۵-۱۵۸ | خم‌دار توسعه‌یافته |
| ۱۳/۲۱ | ۱۱/۷۷ | ۷/۳۶ | ۱۵۸-۲۹۶ | خم‌دار بیش از حد توسعه‌یافته |
| ۰ | ۰ | ۰ | >۲۹۶ | شاخ گاوی ^۱ |

جدول ۵ تعداد مماندهای رودخانه خرم‌آباد در سه دوره زمانی

| سال | پارامتر | | |
|---------------|---------|------|------|
| | ۱۳۸۴ | ۱۳۷۷ | ۱۳۳۴ |
| تعداد مماندها | ۵۳ | ۵۱ | ۶۸ |
| تعداد مماندها | ۵۳ | ۵۱ | ۶۸ |

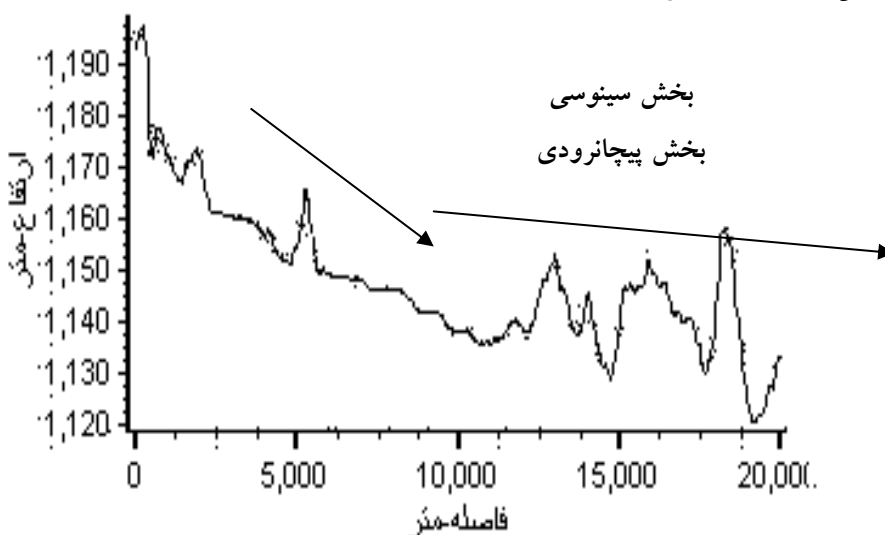
1. Ox-Bow



شکل ۷ تغییر مسیر قسمت‌های ابتدایی و میانی بازه مورد پژوهش رودخانه ۱ خرم‌آباد در سه دوره زمانی

۵- بررسی پروفیل طولی رودخانه

برای رسم پروفیل طولی بستر رودخانه از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده شده است. این مدل با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و روش درونیابی IDW به دست آمده است. بررسی نیم‌رخ طولی رودخانه نشان می‌دهد رودخانه دارای نیم‌رخی مقعر است و شیب بستر آن از بالادست به طرف پایین دست کاهش می‌یابد (شکل ۸). همچنین پروفیل طولی نمایان می‌کند که در ابتدای طول بازه مورد پژوهش که دارای شیب بیشتری است، میزان تغییرات زیاد است و رودخانه حالت سینوسی دارد. اما با کاهش شیب به طرف پایین دست، رودخانه حالت پیچانرودی پیدا می‌کند و تغییرات کمتری دارد که این تغییرات اغلب به شکل فرسایش کناری سواحل رودخانه دیده می‌شود.



شکل ۸ نیم‌رخ طولی رودخانه خرم‌آباد در بازه مورد پژوهش، شیب رودخانه از بالادست به سمت پایین دست در حال کاهش است

۶- نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که در سه دوره زمانی مورد پژوهش تغییرات چشمگیری در رودخانه دیده می‌شود؛ به طوری که میزان تغییرات ایجادشده در ابتدای این بازه بیشتر از



قسمت پایانی آن است و رودخانه از حالت شریانی به حالت پیچانرودی درآمده است. تغییرات طول رودخانه از ۲۱ کیلومتر در سال ۱۳۳۴ به ۱۹/۷۷۰ کیلومتر در سال ۱۳۷۷ و ۱۹/۹۰۰ کیلومتر در سال ۱۳۸۴ نشان می‌دهد کاهش طول رودخانه از سال ۱۳۳۴ نسبت به سال ۱۳۷۷ و در نتیجه افزایش شیب بستر، افزایش طول رودخانه در سال ۱۳۸۴ نسبت به سال ۱۳۷۷ و در نتیجه آن کاهش شیب بستر، تغییر کاربری اراضی و وجود سازنده‌های فرسایش‌پذیر مانند شیل می‌تواند از علل ناپایداری رودخانه در این بازه باشد.

بررسی پارامترهای هندسی به‌دست‌آمده نیز گویای آن است که با کاهش تعداد مئاندرها از ۶۷ قوس در سال ۱۳۳۴ به ۵۱ قوس در سال ۱۳۷۷ و افزایش تعداد آن‌ها در سال ۱۳۸۴ به ۵۳ قوس، تغییرات مورفولوژی قابل‌توجهی در این بازه از مسیر رودخانه دیده می‌شود؛ به‌گونه‌ای که با توجه به روند افزایشی شعاع پیچانرودها از سال ۱۳۳۴ نسبت به سال ۱۳۸۴ رودخانه از حالت شریانی به حالت پیچانرودی درآمده است. همچنین افزایش و کاهش پارامترهای هندسی دیگر تغییرات مورفولوژی رودخانه خرم‌آباد از روستای چغاخندق تا غلامان سفلی را در بازه زمانی پنجاه‌ساله نشان می‌دهد که در ادامه به اصلی‌ترین دلایل آن اشاره می‌شود. گسترش شهر خرم‌آباد به طرف قسمت ابتدایی بازه مورد مطالعه و ساخت‌وسازهای غیراصولی در حریم رودخانه باعث شده است بیشترین تغییرات در این قسمت‌ها رخ دهد. سازنده‌های فرسایش‌پذیر نیز بخش بیشتری از سطح رودخانه و زمین‌های اطراف آن را تشکیل می‌دهد. تغییر کاربری زمین‌ها و به‌ویژه تغییر الگوی کشت از گندم و جو به برنج در سال‌های اخیر در زمین‌های مجاور رودخانه و آبیاری غرقابی آن باعث نفوذ آب در خاک و کاهش چسبندگی آن شده است؛ کاهش چسبندگی خاک نیز سبب تشدید فرسایش کناری و در نتیجه ایجاد تغییرات مئاندری شده است. سیلاب‌های مخرب، دخل و تصرف انسان در محیط رودخانه، ساخت و سازهای مسکونی و احداث تأسیسات آبی و... را در تمام بازه مورد مطالعه می‌توان از دیگر دلایل این تغییرات ذکر کرد.

بررسی پروفیل طولی بستر رودخانه نشان می‌دهد پروفیل رودخانه حالت کاوگونه^۱ دارد. این حالت ویژه رودخانه‌هایی است که نیروهای بازدارنده آن‌ها به تعادل رسیده است. تغییر حالتی که

1. Concave

به‌طور ناهنجار در قسمت انتهایی بازه مورد پژوهش دیده می‌شود، گویای رویداد آشفستگی در بستر رودخانه است. از آنجایی که ترکیب سنگ‌شناسی بستر رود در این فاصله تغییری در جهت افزایش مقاومت فرسایشی ندارد، دلیل آن را باید در تغییر ساختاری مسیر جست‌وجو کرد. از مقایسه جایگاه این تغییر با تغییرات سینوسیته و شاخص گرادیان شیب، با اطمینان زیاد، می‌توان آن را ناشی از پویایی زمین‌ساختی تاقدیس خرم‌آباد و گسل‌های پیرامون آن دانست. با توجه به آنچه گفته شد، تغییر کاربرد اراضی و به‌طور کلی دخل و تصرف در محیط رودخانه، مهم‌ترین عامل تغییردهنده مورفولوژی بازه مورد مطالعه رودخانه خرم‌آباد است (شکل ۹). بنابراین، پیشنهاد می‌شود قبل از تغییر کاربری اراضی، مکان‌یابی منازل مسکونی در مجاورت رودخانه‌ها، احداث تأسیسات آبی و طرح‌هایی که برای کنترل سیلاب و فرسایش کناری انجام می‌گیرد، بررسی‌هایی از این قبیل انجام شود.



شکل ۹ تغییرات ایجادشده در بستر و کناره‌ها و محاط شدن دره رودخانه از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۴ بر اثر فعالیت‌های انسانی



۷- منابع

- احمدیان یزدی، محمدجواد. (۱۳۸۰). *بررسی نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش کناری پیچانرود تجن- هریررود*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. آب‌خیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- پیمان، ریحانه. (۱۳۸۰). «بررسی خصوصیات و تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها». *باشگاه پژوهشگران جوان*. صص ۱-۹.
- تصاویر Aster سال ۲۰۰۵ محدوده مورد پژوهش.
- تصاویر گوگل ارث سال ۱۳۸۶ محدوده مورد مطالعه.
- تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM ماهواره Land sat سال ۱۹۹۸ محدوده مورد پژوهش.
- حقی‌آبی، امیرحمزه، مهدی حبیبی، محمدرضا احمدی‌پور و نصراله جواهری. (۱۳۸۳). *نظریه‌های ایجاد و تحول پیچانرودها*. تهران: فرهنگ زبان.
- خورشیدی، افشین. (۱۳۷۸). «تأثیر فاضلاب‌های شهری و صنعتی بر کیفیت آب رودخانه خرم‌آباد». *همایش دستاوردهای پژوهشی سازمان حفاظت محیط زیست در برنامه دوم توسعه*.
- دولتی، جواد. (۱۳۸۷). *بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی بخش میانی رودخانه اترک با استفاده از GIS*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- 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*. صص ۱-۱۱.
- ساسانی، فاطمه، حسین افضل‌مهر و منوچهر حیدرپور. (۱۳۸۴). «بررسی تأثیر فاکتور تنش برشی بر تغییر مکان‌های جانبی در طول بازه‌های قوس‌دار در یک رودخانه درشت‌دانه». *پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران*. دانشگاه شهید باهنر کرمان. صص ۱-۸.
- عزیز، قاسم. (۱۳۷۹). «برآورد بارش مؤثر در رابطه با کشت گندم دیم (دشت خرم‌آباد)». *پژوهش‌های جغرافیایی*. ش ۳۹. صص ۱۱۵-۱۲۳.

- عکس هوایی ۱:۵۰۰۰۰ سال ۱۳۳۴ محدوده مورد مطالعه. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- فرج‌زاده، منوچهر و تاج‌الدین کرمی. (۱۳۸۳). «برنامه‌ریزی کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (منطقه مورد پژوهش: خرم‌آباد)». *پژوهش‌های جغرافیایی*. ش ۴۷. صص ۸۱-۹۴.
- فرخی، زهرا، غلام‌عباس بارانی و صالح ارشد. (۱۳۸۴). «بررسی تغییرات پلان رودخانه دز با استفاده از سنجش از دور و GIS». *پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران*. دانشگاه شهید باهنر کرمان. صص ۱-۹.
- مرید، س و همکاران. (۱۳۸۳). *بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون با استفاده از سنجش از دور*. طرح تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس.
- مفاخریان، سیدعلی. (۱۳۸۴). «اثرات تکتونیک پویا در منطقه خرم‌آباد». *بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین‌شناسی*. سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نقشه توپوگرافی رقوم ۱:۲۵۰۰۰۰ محدوده مورد پژوهش، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- نقشه توپوگرافی رقوم ۱:۲۵۰۰۰۰ محدوده مورد پژوهش، سازمان مدیریت منابع آب ایران.
- نقشه زمین‌شناسی رقوم ۱:۲۵۰۰۰۰ محدوده مورد پژوهش، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- یمانی، مجتبی، محمد مهدی حسین‌زاده و احمد نوحه‌گر. (۱۳۸۵). «هیدرودینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییرات مشخصات هندسی آن‌ها». *پژوهش‌های جغرافیایی*. ش ۵۵. صص ۱۵-۳۳.
- Gabor Timer. (2003). "Controls on channel sinuosity changes. A case study of the Tisza River, The Great Hungarian plain" *Quaternary science Reviews*. 22. P. 2206.
- Julien, p. y. (2002). *Book, River Mechanic*. Cambridge University press. P.4034.

- Sandra j. winterbotton. (2000). Medium and short – Term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel. Scotland. Geomorphology. PP. 195-208.
- Shafieefar, M. (2001). Migeration Pattern of Final Bends of Zohreh River Case Study of a young river. Proc. of XXIX IAHR Hydraulic. PP. 413- 422
- Yang, X. Et. al. (1999). Satellite Remote Sensing and Geographic Information System for Monitoring and Morphodynamics of the Active Yellow River Delta. Chaina. 0- 7803-
- Chu, Z. X. X. G. Sun, S. k. Zhai, K. H. XU. (2006). Changing Pattern of Accretion/Erosion of the Modern Yellow River(Huanghe) Subaerial delta. china: Based on Remote Sensing Images. PP. 13-30.