روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانهٔ خرم‌آباد
با استفاده از RS، GIS و Auto Cad

مهران مقصودی[1*]، سیامک شرفی[2]، یاسر مقامی[3]

۱- استادیار دانشکدهٔ 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: ۵/ ۵/ ۸۸ پذیرش: ۱۲/ ۸/ ۸۹

چکیده

خصوصیات مورفولوژی رودخانه‌ها به‌واسطهٔ ویژگی پویای آن، همواره دچار تغییرات هستند و این تغییرات می‌تواند بر سازه‌های بناشده در حاشیهٔ رودخانه‌ها، زمین‌های کشاورزی و غیره آثار منفی بگذارد. در این پژوهش، مورفولوژی قسمتی از رودخانهٔ خرم‌آباد 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 دورهٔ زمانی و در محیط نرم‌افزار Arc GIS رقومی شده است؛ در مرحلهٔ بعد در محیط نرم‌افزاری Auto Cad پارامترهای هندسی رودخانه مانند طول موج، طول دره، ضریب خمیدگی، زاویهٔ 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 مطالعهٔ این پارامترها و مقایسهٔ آن‌ها در سه بازهٔ زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد در این محدوده تعداد ۱۷ مئاندر از سال ۱۳۳۴ تا سال ۱۳۷۷ حذف شده و تعداد مئاندرها از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۴ از ۵۱ به ۵۳ افزایش یافته است. مقادیر پارامترهای هندسی به‌دست‌آمده 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، خرم‌آباد، پارامترهای هندسی، تغییر کاربری اراضی.

---

* نویسندهٔ مسئول مقاله: E-mail: Maghsod@ut.ac.ir

۱- مقدمه

رودخانه‌های طبیعی تحت‌تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف، پیوسته از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در حال تغییرند (ساسانی و همکاران، ۱۳۸٤: ۱). تغییرات هیدرولوژیک طبیعت به‌تدریج موجب تغییر موقعیت و مورفولوژی رودخانه‌ها می‌شود. تمایل رودخانه‌ها به تغییرات مورفولوژی طی حدود یک قرن، به‌خوبی 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 پدیدهٔ مئاندری‌شدن رودخانه‌ها انجام شده و بیش از سی نظریه دربارهٔ روند مئاندری‌شدن رودخانه‌ها بیان شده است. اما به دلیل پیچیدگی فرایندهای متفاوت حاکم بر پدیدهٔ مئاندری‌شدن که ناشی از تفاوت در ویژگی‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، مورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، پوشش گیاهی و اقلیمی، فیزیوگرافی و بسیاری از عوامل شناخته‌شده یا ناشناختهٔ دیگر است و همچنین به دلیل تفاوت و تغییر شرایط از رودخانه‌ای به رودخانهٔ دیگر، کاربرد نتایج ارائه‌شده با محدودیت‌های جدّی روبه‌رو شده است (Julian, 2002).

در زمینهٔ 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. شفیعی‌فر (۲۰۰۱) الگوی مهاجرت رودخانهٔ زهره را که یکی از رودخانه‌های حوضهٔ خلیج‌فارس 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 (۱۳۸٤) با بررسی تغییرات پلان رودخانهٔ دز با استفاده از سنجش از دور و GIS نتیجه گرفتند که رودخانه بیشتر از الگوی پیچانرودی

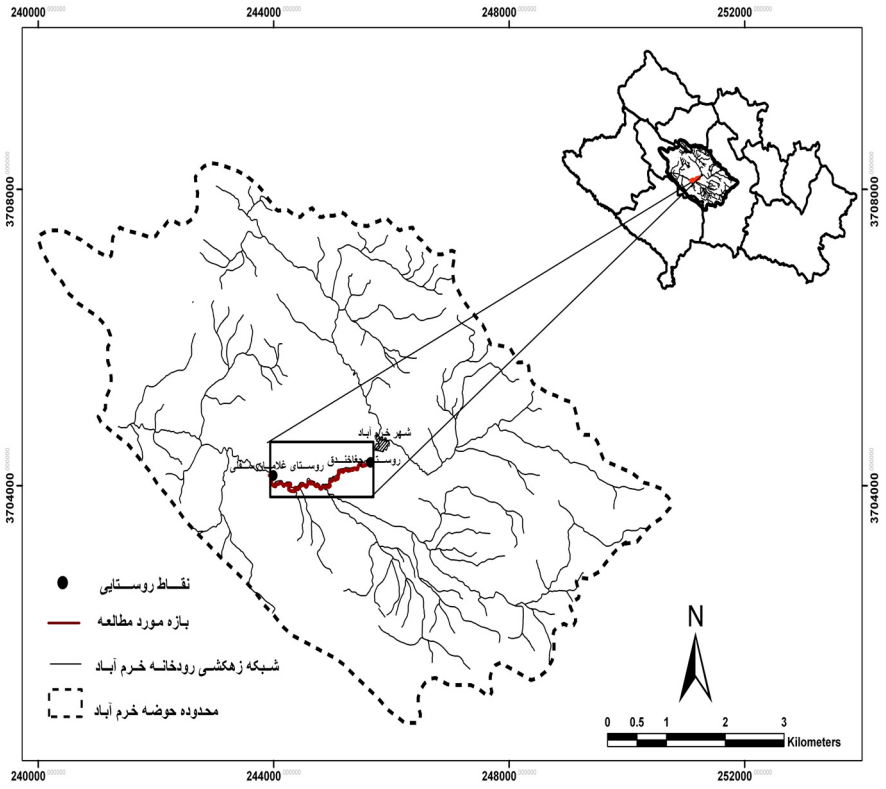
تبعیت می‌کند و سواحل آن جابه‌جایی زیادی داشته است. مرید و همکاران (۱۳۸۳) رونـد تغییرات مورفولوژیکی رودخانهٔ کارون را براساس چهارسری تصاویر ماهواره‌ای Landsat و IRS بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات قوس‌ها در حال تغییر است و تراکم و اندازهٔ انحنای قوس‌ها به سمت پایین دست جابه‌جا شده اسـت. از پـژوهش‌گـران ایرانی که در این زمینه فعالیت کـرده‌انـد مـی‌تـوان بـه احمـدیان یـزدی (۱۳۸۰)، رنگـزن (۱۳۸۱)، حقی آبی (۱۳۸۳)، یمانی (۱۳۸۵) و... اشاره کرد.

از بین پژوهش‌گران خارجی، تایمر[1] (2003) با بررسـی روش‌هـای کنتـرل تغییـرات رودخانه‌های پیچانرودی بر روی رودخانهٔ تـیس‌زا[2] نتیجـه گرفـت کـه پیچـانرودی شـدن رودخانه به‌شدت تحت‌تأثیر موقعیت گسل‌ها و فرونشست‌های غیرعـادی اسـت. یانـگ[3] و همکاران (1999) دربارهٔ آشکارسازی تغییرات خط ساحلی دلتای رودخانـهٔ زرد چـین بـا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تحقیقی انجـام دادنـد. در ایـن تحقیـق شـش‌سـری تـصاویر ماهواره‌ای MSS و TM استخراج شد و برای طبقه‌بندی از روش طبقه‌بندی نظارت‌نـشدهٔ تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. نتایج پژوهش یانگ نشان داد رودخانـه از حالـت شـریانی مستقیم به مئاندری ضعیف تغییر شکل داده اسـت. چـو[4] و همکـاران (2006) بـا بررسـی افزایش تغییرات الگوی رودخانهٔ زرد کنونی (هوانگ‌هـو) در قـسمت دلتـایی در چـین بـا استفاده از تصاویر سنجش از دور نتیجه گرفتند که در دورهٔ زمانی ۱۹۷٦-۲۰۰۰م بیـشترین فرسایش در بالای دماغهٔ دیااوکو[5] و شینگیانگو[6] رخ داده و به طرف خـط سـاحلی حـدود ٤/٥- تا ۷- متر عقب‌نشینی داشته است. ساندرا[7] (2000) در بررسی خود، تغییرات کانـال رودخانه‌های تی[8] و تومل[9] را در اسـکاتلند در شـرایط کوتـاه و میـان‌مـدت بـا اسـتفاده 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 رودخانهٔ خرم‌آباد با استفاده از داده‌های سنجش از دور و نرم‌افزارGIS Arc پرداخته است. هدف آن نیز تعیین و بررسی روند تغییرات مورفولوژی رودخانه است که هرساله باعث فرسایش کناری، تخریب زمین‌های کشاورزی و تخریب سازه‌های بناشده در اطراف رودخانه می‌شود.



شکل۱ حوضهٔ آب‌خیز رودخانهٔ خرم‌آباد و موقعیت بازهٔ مورد پژوهش بر روی آن

۲- محدودهٔ پژوهش

رودخانهٔ خرم‌آباد یکی از منابع سطحی جنوب‌غربی کشور است که با حوضهٔ آب‌خیز به‌نسبت کوچکی به وسعت ۲۶۱/۲۷۰هکتار در شهرستان خرم‌آباد استان لرستان واقع شده است (شکل۱). این رودخانه با جمع‌آوری آب سرشاخه‌های کوچک و بزرگ با جهت شرقی- غربی به شکل نواری منصف از مرکز شهر خرم‌آباد عبور می‌کند و پس از مسافتی بالغ بر ٤٠کیلومتر به رودخانهٔ کشکان می‌پیوندد؛ رودخانهٔ کشکان از سرشاخه‌های اصلی حوضهٔ آب‌خیز کرخه است (خورشیدی، ۱۳۷۸: ۱). حوضهٔ آب‌خیز رودخانهٔ خرم‌آباد از نظر اقلیمی براساس ضریب دمارتن جزء مناطق نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید و میانگین مجموع بارش سالیانهٔ این حوضه حدود ۵۰۸ میلی‌متراست (عزیزی، ۱۳۷۹: ۱۱۵). دبی ماهانهٔ رودخانهٔ خرم‌آباد برابر ۷۰٦/۲ مترمکعب در ثانیه است که حداکثر آن در فروردین و حداقل آن در شهریور به‌ترتیب با ۷۰۰ و ۱۳۰ مترمکعب در ثانیه اندازه‌گیری شده است (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۳: ۸۳).

۳- مواد و روش‌ها

برای بررسی تغییرات بستر رودخانه‌ها اغلب از سه روش تاریخی، مدل تجربی و مدل‌سازی بنیادی استفاده می‌شود. در این پژوهش تغییرات بستر رودخانهٔ خرم‌آباد از روستای چغاخندق تا روستای غلامان سفلی در سه دورهٔ زمانی با استفاده از روش تاریخی بررسی شده است. برای بررسی روند تغییرات ایجادشده در بستر این رودخانه از عکس‌های هوایی سال ۱۳۳٤، تصاویر سنجنده TM ماهواره Land sat سال ۱۳۷۷، تصاویر Aster سال ۱۳۸٤، تصاویر گوگل ارث[1] سال ۱۳۸٦، نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ (برای استخراج مرز حوضهٔ رودخانهٔ خرم‌آباد) و نقشهٔ زمین‌شناسی رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده شده است. علت استفاده از نقشهٔ

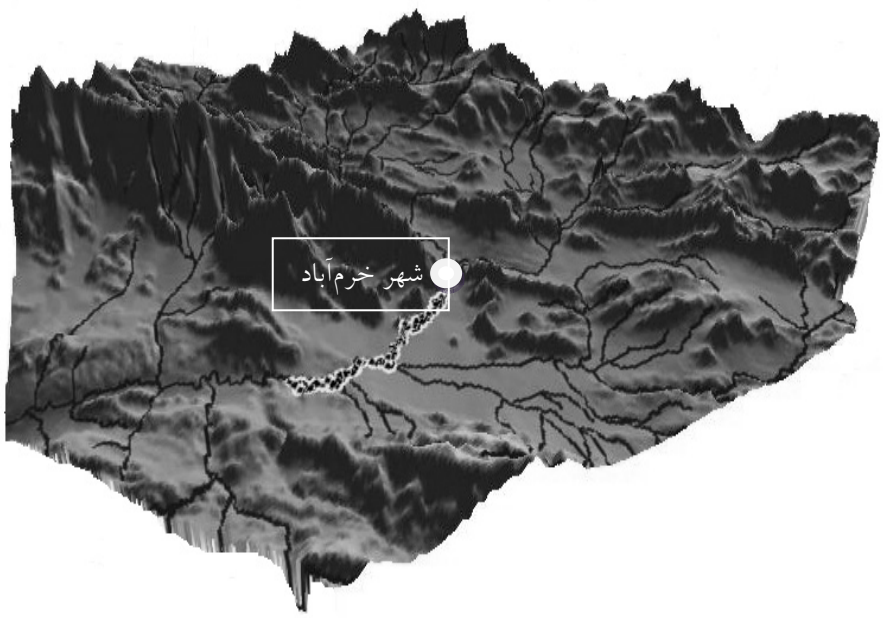
1. Oogle Earth

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

نخست موقعیت حوضهٔ آب‌خیز رودخانهٔ خرم‌آباد و بازهٔ مورد پژوهش با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی و نرم‌افزار Arc GIS مشخص شده است. در ادامه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه تهیه شده و در محیط نرم‌افزاری Global Mapper تصویر سه‌بعدی حوضهٔ آب‌خیز رودخانهٔ خرم‌آباد و موقعیت بازهٔ مورد پژوهش به‌دست آمده است تا بتوان با توجه به موقعیت توپوگرافی محدودهٔ مورد پژوهش تجزیه و تحلیل بهتری انجام داد (شکل۲). در مرحلهٔ بعد نقشهٔ زمین‌شناسی مسیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزاری که پیشتر به آن اشاره شد، زمین‌مرجع و رقومی 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 محدودهٔ مورد پژوهش، که مهم‌ترین ابزار بررسی تغییرات مسیر رودخانه‌ها هستند، در سه دورهٔ زمانی جمع‌آوری شده است. در ادامه، عکس‌های هوایی اسکن‌شده در نرم‌افزار فتوشاپ[1] فتوموزائیک شده و در نرم‌افزارArc 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 رودخانهٔ خرم‌آباد در سه بازهٔ زمانی مورد پژوهش بر روی این تصاویر رقومی شده و پس از رقومی کردن مسیر رودخانه، با فرمت اتوکد از آن‌ها خروجی گرفته شده است. در ادامه با نرم‌افزار اتوکد[2] مشخصات هندسی قوس‌ها مانند شعاع قوس، طول موج، زاویهٔ 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

به‌دست‌آمده، تغییرات مورفولوژی رودخانه در بازه‌های زمانی موردنظر تجریه و تحلیل شده است.



شکل۲ توپوگرافی و شبکهٔ زهکشی حوضه آب‌خیز رودخانهٔ خرم‌آباد و موقعیت بازهٔ مورد پژوهش (دید به سمت شمال)

پارامترهای هندسی رودخانهٔ خرم آباد و نحوهٔ محاسبه آن‌ها با نرم‌افزار اتوکد

در مطالعه و بررسی رودخانه‌های پیچانرودی، برای کمّی کردن میزان توسعهٔ پیچانرودی رودخانه‌های آبرفتی و تعیین الگوی رفتاری و تغییرات آن در طول زمان، باید مشخصات هندسی رودخانه‌ها همچون زاویهٔ مرکزی، شعاع پیچانرود، طول موج، طول دره و ضریب خمیدگی، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شود تا بتوان تغییرات ایجادشده 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) زاویهٔ مرکزی و شعاع پیچانرود: زاویهٔ مرکزی به‌عنوان معیاری جهت تقسیم‌بندی و شناسایی میزان توسعهٔ 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 درهٔ رودخانه ترسیم می‌شود. به زاویهٔ ایجادشده از محل اتصال دو شعاع، زاویهٔ مرکزی و به شعاع مماس بر دایرهٔ قوس‌ها، شعاع دایره گفته می‌شود.

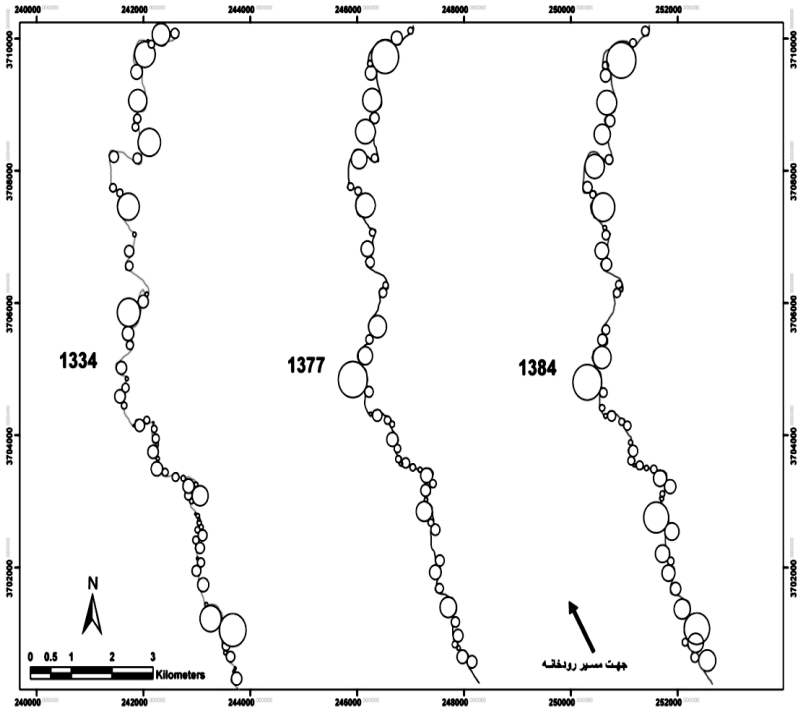
ب) طول موج و طول دره: طول موج و طول درهٔ رودخانه، دو پارامتر اصلی در طبقه‌بندی رودخانه و تعیین ضریب خمیدگی آن است. معمولاً بین این دو پارامتر همبستگی بالایی وجود دارد. برای به‌دست آوردن طول موج روی نقشهٔ محور مسیر رودخانه، ابتدا نقاط عطف یا نقاط تغییر انحنای محور رودخانه با دقت زیاد مشخص می‌شود، سپس 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 بازهٔ مورد پژوهش محاسبه می‌شود. برای به‌دست آوردن طول دره نیز نقطهٔ عطف یک قوس تا نقطهٔ 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 کمّی است که در تقسیم‌بندی شکل رودخانه استفاده می‌شود. این عامل نشان‌دهندهٔ نسبت طول خط محور رودخانه به طول دره یا طول چم است و میزان تکامل چم را می‌نمایاند. طبق تعریف، ضریب خمیدگی بزرگ‌تر از ۱/٤ تا ۱/٥ نشان‌دهندهٔ پیچشی‌بودن رودخانه و کمتر از آن نشان‌دهندهٔ مستقیم بودن رودخانه و بازهٔ موردنظر است (دولتی، ۱۳۸۷: ۱٤۰به‌نقل از آل‌یاسین). برای محاسبهٔ 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 بازهٔ مورد مطالعه از رودخانهٔ خرم‌آباد نشان می‌دهد مورفولوژی رودخانه در هر سه دوره تغییر کرده است؛ اما میزان تغییرات در سال ۱۳۳٤ بیشتر از سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۸٤ 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 به‌دست آمده و در شکل شماره سه نشان داده شده است. همچنین پارامترهای هندسی مورد استفاده برای بررسی تغییرات (شامل شعاع، طول موج، زاویهٔ 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 دورهٔ زمانی آمده است. بر اساس داده‌های این سه جدول، میانگین شعاع قوس‌ها از سال ۱۳۳٤– ۱۳۸٤ 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 (شکل٤).



شکل۳ تغییرات مورفولوژی و موقعیت دایره‌های مماس بر مسیر رودخانهٔ خرم‌آباد از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۴ در محدودهٔ روستای چغاخندق تا غلامان سفلی

جدول۱ نتایج تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای هندسی قوس‌های رودخانهٔ خرم‌آباد از روستای چغاخندق تا روستای غلامان سفلی در سال۱۳۳۴

نام رودخانه	پارامترهای هندسی	شعاع (RL) متر	زاویهٔ مرکزی (R) درجه	طول موج (WL) متر	طول دره (AL) متر	ضریب خمیدگی (S)
رودخانهٔ خرم‌آباد	میانگین	۱۰۰/۶	۱۰۹/۳	۳۸۸/۷	۵۲۲/۵	۱/۳
	انحراف معیار	۸۷/۶	۳۹	۲۳۷/۱	۳۳۲/۳	۰/۲
	دامنهٔ تغییرات	۳۰۷	۱۵۵	۸۲۸	۱۱۰۰	۱
	حداقل	۱۷	۶۰	۹۵	۱۲۰	۱
	حداکثر	۳۲۴	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

جدول۲ نتایج تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای هندسی قوس‌های رودخانهٔ خرم‌آباد از روستای چغاخندق تا روستای غلامان سفلی در سال ۱۳۷۷

نام رودخانه	پارامترهای هندسی	شعاع(RL) متر	زاویهٔ مرکزی (R) درجه	طول موج (WL) متر	طول دره (AL) متر	ضریب خمیدگی (S)
رودخانهٔ خرم‌آباد	میانگین	۱۲۰/۴	۱۱۰/۵	۴۸۶/۷	۶۳۵	۱/۳
	انحراف معیار	۹۵/۶	۴۰/۳	۲۳۴/۶	۳۵۸/۱	۰/۲
	دامنهٔ 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

جدول۳ نتایج تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای هندسی قوس‌های رودخانهٔ خرم‌آباد از روستای چغاخندق تا روستای غلامان سفلی در سال ۱۳۸۴

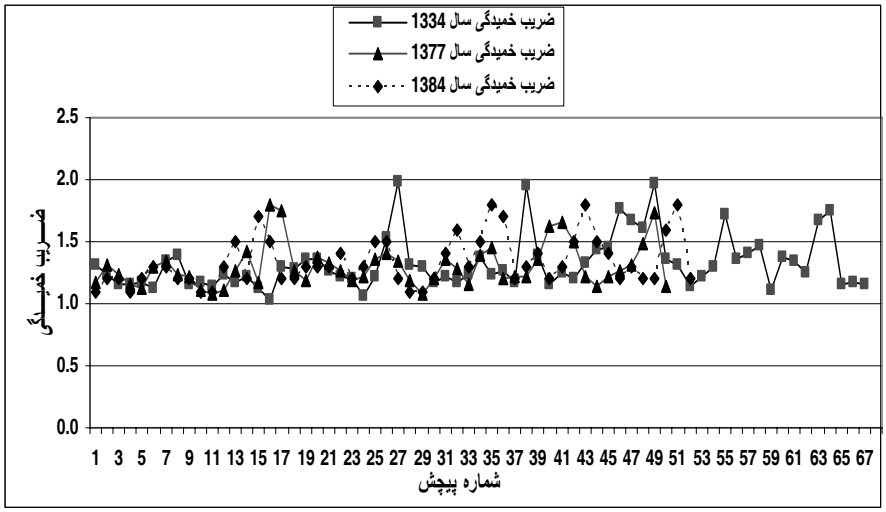
نام رودخانه	پارامترهای هندسی	شعاع (RL) متر	زاویهٔ مرکزی (R) درجه	طول موج (WL) متر	طول دره (AL) متر	ضریب خمیدگی (S)
رودخانهٔ خرم‌آباد	میانگین	۱۳۰/۸	۱۰۸	۴۸۱/۲	۶۳۹/۱	۱/۳
	انحراف معیار	۱۰۱/۴	۳۷/۲	۲۲۹/۳	۳۵۸/۸	۰/۲
	دامنهٔ تغییرات	۳۲۴	۱۳۹	۷۷۲	۱۱۵۲	۰/۷
	حداقل	۳۱	۴۱	۱۵۸	۲۵۷	۱/۱
	حداکثر	۳۵۵	۱۸۰	۹۳۰	۱۴۰۹	۱/۸
	چولگی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

شکل۴ تغییر الگوی رودخانه از حالت شریانی در سال ۱۳۳۴ به حالت پیچانرودی در سال ۱۳۸۶

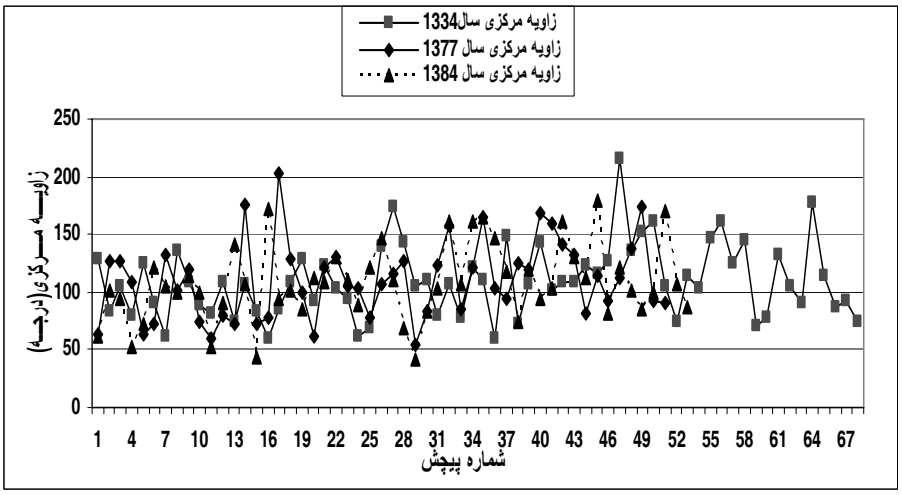
میانگین ضریب خمیدگی در سه دورهٔ مورد پژوهش نشان می‌دهد رودخانه حالت پیچانرودی داشته است. تغییرات ضریب خمیدگی در این سه دوره در یک دامنهٔ محدود مشاهده می‌شود و وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول رودخانه را نشان می‌دهد. دامنهٔ تغییرات ضریب خمیدگی از سال ۱۳۳٤- ۱۳۷۷ روند کاهشی و از سال ۱۳۷۷- ۱۳۸٤ روند ثابتی داشته است که در شکل شماره پنج نشان داده شده است. بررسی زاویهٔ مرکزی نیز نشان می‌دهد این پارامتر از سال ۱۳۳٤- ۱۳۷۷ روند افزایشی داشته و در سال ۱۳۸٤ میزان زاویهٔ

مرکزی کاهش یافته است؛ یعنی میزان توسعه‌یافتگی پیچانرودها در سال ۱۳۳٤ نسبت به سال ۱۳۷۷ کمتر و نسبت به سال ۱۳۸٤ بیشتر بوده است. در هر سه دوره نیز شکل رودخانه با توجه به زاویهٔ مرکزی در ردهٔ خم‌دار توسعه‌یافته قرار داشته است.

روند افزایشی تغییرات طول موج و طول دره از سال ۱۳۳٤ نسبت به سال ۱۳۸٤ نشان می‌دهد با افزایش فاصلهٔ دو پیچانرود متوالی در این محدوده و به‌عبارتی کاهش تراکم تعداد پیچانرودها در واحد طول، فاصلهٔ پیچانرودهای متوالی نسبت به هم بیشتر شده است. اما روند کاهشی طول موج از سال ۱۳۷۷ نسبت به سال ۱۳۸٤ نشان‌دهندهٔ کاهش فاصلهٔ پیچانرودهای متوالی نسبت به هم است؛ یعنی تعداد پیچانرودها افزایش یافته است که با توجه به افزایش قوس‌ها از ۵۱ قوس در سال ۱۳۷۷ به ۵۳ قوس در سال ۱۳۸٤ این مطلب تأیید می‌شود. بررسی تعداد مئاندرها نیز گویای آن است که شمار آن‌ها در سال ۱۳۳٤ بیشتر از دو دورهٔ دیگر بوده و در سال ۱۳۸٤ نیز تعداد آن‌ها بیشتر از سال ۱۳۷۷ و کمتر از سال ۱۳۳٤ بوده است (جدول۵). کاهش و افزایش تعداد مئاندرها تغییرات بستر و مورفولوژی رودخانه را در سه دورهٔ زمانی مورد پژوهش نمایان می‌کند (شکل۷).



شکل۵ مقادیر ضریب خمیدگی قوس‌های رودخانهٔ خرم‌آباد در هر سه دورهٔ زمانی



شکل۶ مقادیر زاویهٔ مرکزی قوس‌های رودخانهٔ خرم آباد در هر سه دورهٔ زمانی

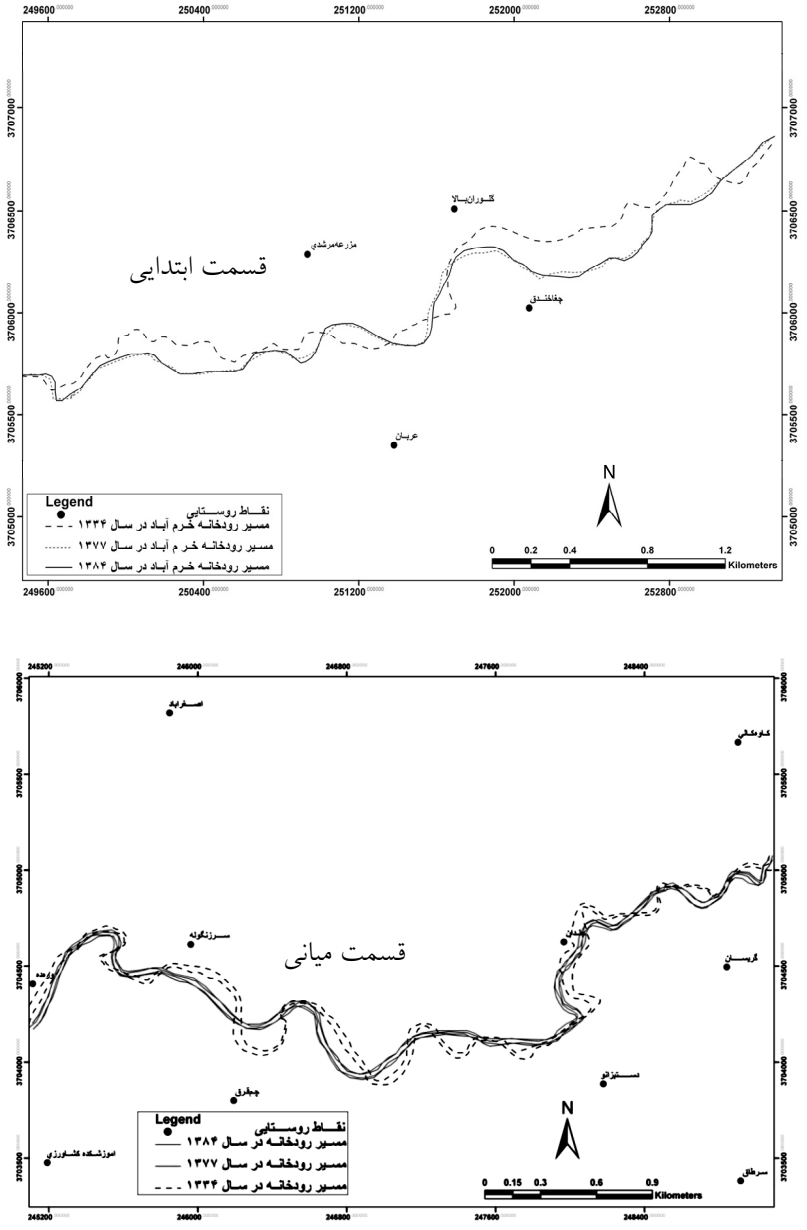
جدول۴ میزان رشد پیچش قوس‌ها براساس مقدار زاویهٔ مرکزی در ۳ دورهٔ زمانی

شکل رودخانه	زاویهٔ مرکزی خم (درجه)	درصد فراوانی		
		۱۳۳۴	۱۳۷۷	۱۳۸۴
شبه خم‌دار	۰-۴۱	۰	۰	۱/۸۸
خم‌دار توسعه‌نیافته	۴۱-۸۵	۲۶/۴۷	۲۹/۴۱	۱۶/۹۸
خم‌دار توسعه‌یافته	۸۵-۱۵۸	۶۶/۱۷	۵۸/۸۲	۶۷/۹۳
خم‌دار بیش از حد توسعه‌یافته	۱۵۸-۲۹۶	۷/۳۶	۱۱/۷۷	۱۳/۲۱
شاخ گاوی[1]	>۲۹۶	۰	۰	۰

جدول۵ تعداد مئاندرهای رودخانهٔ خرم‌آباد در سه دورهٔ زمانی

پارامتر / سال	۱۳۳۴	۱۳۷۷	۱۳۸۴
تعداد مئاندرها	۶۸	۵۱	۵۳
تعداد مئاندرها	۶۸	۵۱	۵۳

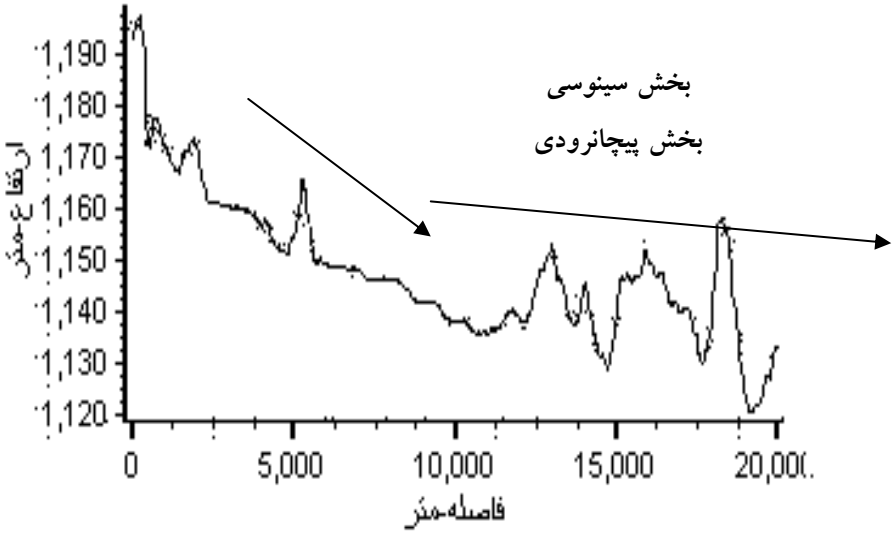
1. Ox-Bow



شکل۷ تغییر مسیر قسمت‌های ابتدایی و میانی بازهٔ مورد پژوهش رودخان**i** خرم‌آباد در سه دورهٔ 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 به‌دست آمده است. بررسی نیم‌رخ طولی رودخانه نشان می‌دهد رودخانه دارای نیم‌رخی مقعر است و شیب بستر آن از بالادست به طرف پایین‌دست کاهش می‌یابد (شکل۸). همچنین پروفیل طولی نمایان می‌کند که در ابتدای طول بازهٔ مورد پژوهش که دارای شیب بیشتری است، میزان تغییرات زیاد است و رودخانه حالت سینوسی دارد. اما با کاهش شیب به طرف پایین‌دست، 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 رودخانهٔ خرم‌آباد در بازهٔ مورد پژوهش، شیب رودخانه از بالادست به سمت پایین‌دست درحال کاهش است

۶- نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که در سه دورهٔ زمانی مورد پژوهش تغییرات چشمگیری در رودخانه دیده می‌شود؛ به‌طوری‌که 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 ۱۳۳٤ به ۱۹/۷۷۰ کیلومتر در سال ۱۳۷۷ و ۱۹/۹۰۰ کیلومتر در سال ۱۳۸٤ نشان می‌دهد کاهش طول رودخانه از سال ۱۳۳٤ نسبت به سال ۱۳۷۷ و در نتیجه افزایش شیب بستر، افزایش طول رودخانه در سال ۱۳۸٤ نسبت به سال ۱۳۷۷و در نتیجهٔ 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 ٦۷ قوس در سال ۱۳۳٤ به ۵۱ قوس در سال ۱۳۷۷ و افزایش تعداد آن‌ها در سال ۱۳۸٤ به ۵۳ قوس، تغییرات مورفولوژی قابل‌توجهی در این بازه از مسیر رودخانه دیده می‌شود؛ به‌گونه‌ای‌که با توجه به روند افزایشی شعاع پیچانرودها از سال ۱۳۳٤ نسبت به سال ۱۳۸٤ رودخانه از حالت شریانی به حالت پیچانرودی درآمده است. همچنین افزایش و کاهش پارامترهای هندسیِ دیگر تغییرات مورفولوژی رودخانهٔ خرم‌آباد از روستای چغاخندق تا غلامان سفلی را در بازهٔ زمانی پنجاه‌ساله نشان می‌دهد که در ادامه به اصلی‌ترین دلایل آن اشاره می‌شود. گسترش شهر خرم‌آباد به طرف قسمت ابتدایی بازهٔ 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 مخرّب، دخل و تصرف انسان در محیط رودخانه، ساخت و سازهای مسکونی و احداث تأسیسات آبی و... را در تمام بازهٔ مورد مطالعه می‌توان از دیگر دلایل این تغییرات ذکر کرد.

بررسی پروفیل طولی بستر رودخانه نشان می‌دهد پروفیل رودخانه حالت کاوگونه[1] دارد. این حالت ویژهٔ رودخانه‌هایی است که نیروهای بازدارندهٔ آن‌ها به تعادل رسیده است. تغییر حالتی که

1. Concave

به‌طور ناهنجار در قسمت انتهایی بازهٔ مورد پژوهش دیده می‌شود، گویای رویداد آشفتگی 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 مقایسهٔ جایگاه این تغییر با تغییرات سینوسیتی 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 تغییردهندهٔ مورفولوژی بازهٔ مورد مطالعه رودخانهٔ خرم‌آباد است (شکل۹). 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.

شکل۹ تغییرات ایجادشده در بستر و کناره‌ها و محاط شدن درهٔ 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.*** پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. آب‌خیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- پیمان، ریحانه. (۱۳۸۰). «بررسی خصوصیات و تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها». ***باشگاه پژوهشگران جوان.*** صص۱-۹.
- تصاویر Aster سال ۲۰۰۵ محدودهٔ مورد پژوهش.
- تصاویر گوگل‌ارث سال ۱۳۸٦ محدودهٔ مورد مطالعه.
- تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM ماهواره Land sat سال ۱۹۹۸ محدودهٔ مورد پژوهش.
- حقی آبی، 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 رودخانهٔ خرم‌آباد». ***همایش دستاوردهای پژوهشی سازمان حفاظت محیط زیست در برنامهٔ دوم توسعه.***
- دولتی، جواد. (۱۳۸۷). ***بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی بخش میانی رودخانهٔ اترک با استفاده از GIS.*** پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- رنگزن، کاظم، بهرام صالحی و پروین سلحشوری. (۱۳۸۷). «بررسی تغییرات منطقهٔ پایین‌دست سد کرخه قبل و بعد از ساخت سد با استفاده از تصاویر چندزمانه Land Sat». ***اولین همایش ئوماتیک ایران.*** صص۱-۱۱.
- ساسانی، فاطمه، حسین افضلی‌مهر و منوچهر حیدرپور. (۱۳۸٤). «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. صص۱-۸.
- عزیزی، قاسم. (۱۳۷۹). «برآورد بارش مؤثر در رابطه با کشت گندم دیم (دشت خرم‌آباد)». ***پژوهش‌های جغرافیایی.*** ش۳۹. صص۱۱۵-۱۲۳.

- عکس هوایی ۱:۵۰۰۰۰ سال ۱۳۳٤ محدودهٔ مورد مطالعه. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- فرج‌زاده، منوچهرو تاج‌الدین کرمی. (۱۳۸۳). «برنامه‌ریزی کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (منطقهٔ موردپژوهش: خرم‌آباد)». ***پژوهش‌های جغرافیایی***. ش٤٧. صص ۸۱-۹٤.
- فرخی، زهرا، غلام‌عباس بارانی و صالح ارشد. (۱۳۸٤). «بررسی تغییرات پلان رودخانهٔ دز با استفاده از سنجش از دور و GIS». ***پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران***. دانشگاه شهید باهنر کرمان. صص۱-۹.
- مرید، س و همکاران. (۱۳۸۳). ***بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانهٔ کارون با استفاده از سنجش از دور***. طرح تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس.
- مفاخریان، سیدعلی. (۱۳۸٤). «اثرات تکتونیک پویا در منطقهٔ خرم‌آباد». ***بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین‌شناسی***. سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نقشهٔ توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ محدودهٔ مورد پژوهش، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- نقشهٔ توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ محدودهٔ مورد پژوهش، سازمان مدیریت منابع آب ایران.
- نقشهٔ زمین‌شناسی رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ محدودهٔ مورد پژوهش، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- یمانی، مجتبی، محمدمهدی حسین‌زاده و احمد نوحه‌گر. (۱۳۸۵). «هیدرودینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییرات مشخصات هندسی آن‌ها». ***پژوهش‌های جغرافیایی***. ش۵۵. صص۱۵-۳۳.
- 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 Univercity 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.