

M. Yamani
J. Dowlati
A. Zarei

E.mail: myamani@ut.ac.ir

مجتبی یمانی: دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

جواد دولتی: کارشناس ارشد شرکت مهندسی مشاور طوس آب

علیرضا زارعی: کارشناس ارشد شرکت مهندسی مشاور طوس آب

شماره مقاله: ۷۹۹

شماره صفحه پیاپی ۱۶۶۳۰-۱۶۶۰۶

تأثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک

چکیده

رودخانه‌ها از مهمترین عوامل مؤثر در فرایندهای ژئومورفولوژیک زمین و چرخه فرسایش بوده‌اند و تاکنون مطالعات گسترده‌ای بر روی تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها و عوامل مؤثر بر آنها صورت گرفته است. در این پژوهش، هدف شناخت عوامل ژئومورفولوژیک مؤثر بر تغییرات بستر بخش میانی رودخانه اترک و بررسی دامنه این تغییرات است. این محدوده در حدفاصل روستای قازان قاپه تا چات در استان گلستان به طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر قرار گرفته است. تکنیک اصلی کار، مقایسه زمانی و مکانی تغییرات بستر این رودخانه است. ابزارهای اصلی تحقیق را عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۶، تصاویر ماهواره‌ای اسپات سال ۱۳۸۰ و آیکونوس سال ۱۳۸۱ و نیز نقشه‌های مختلف تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، کنترل این تغییرات از طریق کار میدانی تفصیلی و ثبت موقعیت‌ها و دامنه تغییرات با دستگاه GPS و تطبیق آنها با نقشه‌ها و تصاویر زمین مرجع شده در نرم افزار Arc GIS و سایر تحلیل‌های کمی با استفاده از روابط ریاضی است. نتایج حاصل از استخراج و مقایسه آماری پارامترهای هندسی این بخش از رودخانه نظیر، طول موج، ضریب سینوسی، نسبت عرض به عمق و ... در دوره زمانی ۳۵ ساله نشان می‌دهد که ضریب سینوسی رودخانه از ۱/۵ به ۱/۳ کاهش یافته و طول موج و شعاع دایره‌های مماس بر پیچان رودها نیز افزایش یافته است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات هیدرولوژیک، دانه بندی مواد بستر و دیواره‌ها، تغییرات کاربری اراضی و

الگوی کشت بخصوص گسترش کشت برنج در سیلاب دشت رودخانه، مهمترین عوامل تغییر دهنده پلان مساحتی و مورفولوژی بازه مطالعاتی در طی سالهای اخیر است. **واژه‌های کلیدی:** رود اترک، ژئومورفولوژی، فرسایش رودخانه‌ای، تغییرات بستر رود.

مقدمه

مطالعات مورفولوژی رودخانه و بررسی روند تغییرات مکانی جریان و مشخص کردن محدوده جا به جایی پیچان رودها، یکی از بخش‌های اساسی در مطالعات مهندسی رودخانه و ساماندهی سواحل آن است. به منظور بررسی تغییرات پیچان رودها و پیش بینی حرکت آنها از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. هم اکنون، سه روش توالی زمانی - استنتاج، روش تجربی و مدل سازی بنیادی، به عنوان روش‌های پایه برای بررسی مورفولوژی رودخانه‌ها اغلب استفاده می‌شود. مشکل روش توالی زمانی - استنتاج، دسترسی محدود به نقشه‌ها و عکس‌های تاریخی است. در روش تجربی، پارامترهایی که بیشترین تاثیر را بر حرکت پیچان رودها دارند، بررسی و مشخص نموده، با توجه به آنها یک مدل تجربی پیشنهاد و استفاده می‌شود. عیب این روش، این است که ممکن است همه پارامترهای موثر در حرکت پیچان رود در نظر گرفته نشود. روش مدل سازی بنیادی شامل بررسی فرایند فرسایش در حد فاصل آب و خاک و انطباق آن برای آینده است. عیب این روش پیچیدگی مدل‌های موجود و اختلاف زیاد میان نتایج مدل‌های رایانه‌ای و واقعیت موجود در طبیعت است (وانگ و ویل^۱، ۱۳۸۵، ۵).

در طول دهه‌های گذشته، مطالعات گسترده‌ای در خصوص شناسایی تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها توسط لئوپولد^۲ (۱۹۷۵، ۴۸)، پرزدووسکی و همکاران^۳ (۱۹۹۵، ۳۸۰-۲۳۰)، براید و همکاران^۴ (۲۰۰۱، ۳۵۴-۵۴۱)، لاگازه و همکاران^۵ (۲۰۰۴،

1 Wang wel 2006

2 Leopold, et al.1965

3 Przedwojski,& et al.1995

4 Briaud J.L., & et al.2001

5 Lagasse, P.F& et al,2004

تأثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک ۳

۱۳۶-۳۰) و محققان دیگری صورت گرفته است. شن^۶ (۱۹۸۴، ۱۳۲) رودخانه‌ها را براساس معیار شعاع نسبی و کورنیش^۷ (۱۹۸۰، ۲۲۱) براساس معیار زاویه مرکزی پیچان رود، تقسیم بندی نموده اند. سیمون^۸ (۱۹۷۱، ۱۱۲) و شوم^۹ (۱۹۸۴، ۱۶۴) اثر جنس و فرسایش پذیری مواد دیواره‌ها را در تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها بررسی نموده و نتیجه گرفتند که در رودخانه‌های با مواد بستر درشت دانه، نسبت عرض به عمق رودخانه افزایش می‌یابد. در ایران نیز تلوری (۱۳۶۸) و آل یاسین (۱۳۷۹) در رودخانه کارون، غریب زاده و معصومی (۱۳۸۶) در رودخانه زهره، یمانی و حسین زاده (۱۳۸۰) در رودخانه‌های تالار و بابل، خصوصیات مورفومتری، فرسایش کناری و تغییرات زمانی و مکانی پیچان رودهای این رودخانه‌ها را بررسی نمودند. احمدیان یزدی (۲۰۰۱) تأثیرات پوشش گیاهی بر روی تغییرات ریخت شناسی رودخانه هریررود در منطقه سرخس را بررسی نمود.

در مجموع بررسی پیشینه مطالعات انجام شده بر روی رفتار دینامیکی رودخانه‌ها نشان می‌دهد که اکثر این محققان تلاش کرده‌اند رفتار دینامیکی رودخانه را با استفاده از مدل‌های ریاضی بازسازی و پیش بینی نموده، سرانجام نتایج کاربردی از آن به دست آورند. در این پژوهش نیز دیدگاه آن است که رودخانه پدیده‌ای پویا و دارای سیر تکامل خاص خود بوده، تغییرات پارامترهای هندسی ایجاد شده در آن سبب بروز رفتارهای جدید هیدرولیکی می‌شود. نکته مهم آن است که گذشت زمان و دخالت‌های انسانی در کناره‌ها و بستر رودخانه، روند این تغییرات را از حالت طبیعی خارج می‌کند؛ به طوری که در بسیاری از رودخانه‌ها، رفتاری دیده می‌شود که در گذشته آنها بسیار نادر یا بی سابقه بوده است.

6 Shen, H.W.1971

7 Kornish, MRS.1980

8 Simons.D.B.1971

9 Schumm, S.A.1984

مسأله اصلی تحقیق آن است که در طول ۳۵ سال گذشته تراس‌های کم ارتفاع اطراف رودخانه اترک که پیچان رودهای کوچک و متوسط رودخانه را احاطه کرده‌اند، بر اثر بروز سیلاب‌ها، کاهش حفاظت بیولوژیک کرانه‌های رودخانه، تغییرات ایجاد شده در کاربری اراضی والگویی کشت و... از بین رفته‌اند و الگوی رودخانه و برخی پارامترهای هندسی قابل اندازه‌گیری دستخوش تغییر و دگرگونی شده است. تغییرات پارامترهای هندسی این رودخانه در بخش‌های بالادست بیشتر قابل توجه است و در بخش‌های پایانی، تغییرات نمود کمتری دارد. بنابراین، هدف این پژوهش نیز بررسی رفتار دینامیکی رودخانه اترک و تأثیر آن بر بستر و سواحل این رودخانه است؛ با این فرضیه که روند تغییرات بستر رودخانه در سال‌های اخیر تحت تأثیر دخالت‌های انسانی در سطح کناره‌ها و سواحل، رژیم متفاوتی را برای آن در پی داشته است.

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز اترک با مساحت ۳۳۸۹۰ کیلومتر مربع از کوه‌های هزار مسجد در شمال قوچان سرچشمه گرفته و حدود ۲۶۵۰۰ کیلومتر مربع از مساحت این حوضه در محدوده سیاسی ایران و بقیه در ترکمنستان واقع شده است. اترک رودخانه‌ای فصلی با متوسط آورد سالانه ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلیون متر مکعب است (طوس آب، ۱۳۸۶، جلد ۲، ۴). آبراهه اصلی حوضه به سه قسمت، اترک بالایی (علیا)، میانی و پایینی (مرزی) قابل تقسیم است. این رودخانه پس از عبور از دشت‌های قوچان و شیروان و بجنورد (اترک بالایی) در دشت‌های مانه، قوری میدان و مراوه تپه تا مرز ایران و ترکمنستان (اترک میانی) ادامه مسیر داده، پس از اتصال شاخه سومبار در محل چات و تشکیل رودخانه اترک مرزی (اترک پایینی) در نهایت به دریای خزر می‌ریزد (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه بخش میانی رودخانه اترک به طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر (حد فاصل روستای قازان قایه تا چات مشترک) را در بر می‌گیرد (طوس آب، ۱۳۸۶، ۴).

تأثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک ۵



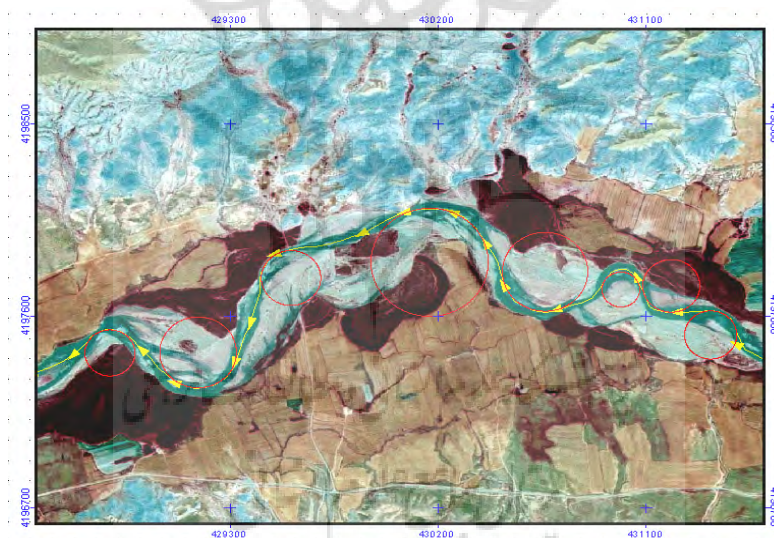
شکل ۱، موقعیت جغرافیایی مسیر اصلی رودخانه اترک و بازه مورد مطالعه در بخش میانی

آن(دولتی، ۱۳۸۷، ۲)

مواد و روش‌ها

برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی بستر رودخانه اترک در بخش میانی، ابزار اصلی پژوهش را عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۶ با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای و نیز نقشه‌های رقومی توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تشکیل داده اند. از جمله آنها، تصویر اسپات سال ۱۳۸۰ با توان تفکیک ۲/۵ متر و نیز تصویر آیکونوس سال ۱۳۸۱ با توان تفکیک ۱ متر را می‌توان نام برد. تکنیک اصلی کار تحقیق، مقایسه زمانی تغییرات بستر بوده است. برای این منظور و برای بررسی پارامترهای هندسی رودخانه، پلان مسیر مورد مطالعه رودخانه اترک، پس از زمین مرجع کردن عکس‌ها و تصاویر موجود با استفاده از نرم افزار Erdas 8.4 در سیستم مختصات تصویر WGS 84 زون ۴۰ مسیر رودخانه در سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ ترسیم شده است. رقومی سازی مسیر رودخانه در محیط نرم افزاری Arc view و AutoCAD صورت گرفته و در نهایت، وضعیت پلان رودخانه در دوره‌های زمانی مورد اشاره استخراج شده است. شکل ۲ قوس‌های ترسیم شده در بخشی از مسیر اترک را طی سال ۱۳۷۹ نشان می‌دهد.

به منظور بررسی بهتر وضعیت مورفولوژی رودخانه و تشریح و مقایسه مشخصات هندسی اندازه گیری شده با توجه به شکل مقطع رودخانه اترک، بخش مورد مطالعه به ۴ بازه فرعی؛ یعنی بازه‌های قازان قایه- مراوه تپه، مراوه تپه- آق تقه، آق تقه - قره گل غربی و قره گل غربی- چات تقسیم شده است. برای تحلیل‌های کمی نیز پارامترهای هندسی بخش میانی رودخانه اترک، نظیر: طول پیچان رود، طول موج، ضریب سینوسی، زاویه مرکزی، شعاع و شعاع نسبی پیچان رودها در دو دوره زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۴۶ با ترسیم دایره‌های مماس بر پیچان رودهای بازه‌های مورد اشاره اندازه گیری شده و مقایسه آماری بین آنها صورت گرفته است. همچنین با استفاده از مسیرهای ترسیمی، تغییرات مکانی مسیر رودخانه در گذشته و حال مشخص و نسبت به هم مقایسه شده‌اند.



شکل ۲: بخشی از بازه مورد مطالعه در تصویر اسپات سال ۲۰۰۰ و دواير برازش داده شده با پیچان رودها (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۳۴)

تجزیه و تحلیل و بحث

برای طبقه بندی و شناسایی خصوصیات هیدرولیکی و مورفولوژیک رودخانه‌ها، پارامترهای هندسی کمی رودخانه اندازه گیری و محاسبه می شود. در بررسی رودخانه‌های پیچان رودی برای تعیین الگوی رفتاری رودخانه و چگونگی تغییرات آن در طول زمان، معمولاً پارامترهای هندسی، نظیر: طول پیچان رود، طول موج، ضریب سینوسی، زاویه مرکزی، شعاع و شعاع نسبی پیچان رود اندازه گیری و تجزیه و تحلیل می شود. برخی از این پارامترهای کمی اهمیت بیشتری داشته، به عنوان شاخص‌هایی برای طبقه بندی رودخانه استفاده می شوند. تحقیقات انجام شده توسط محققان مختلف نشان دهنده آن است که بین پارامترهای هندسی رودخانه و خصوصیات هیدرولوژیک، زمین شناسی، خاک شناسی، کاربری اراضی و برخی ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های آبریز ارتباط نزدیکی وجود دارد. لئوپولد و همکاران (۱۹۶۵، ۲۶۵) بهترین تطابق را بین طول موج پیچان رود و عرض آبراهه، دامنه نوسانات و عرض آبراهه، طول موج و شعاع انحناء ارائه نموده‌اند (تلوری، ۱۳۸۳).

پارامترهای هندسی پیچان رودها

پارامترهای هندسی نظیر طول پیچان رود، طول موج، زاویه مرکزی پیچان رود، شعاع پیچان رود، شعاع نسبی، ضریب سینوسی و ... مهمترین پارامترهای کمی قابل اندازه گیری رودخانه هستند که به طور ساده از طریق روابط ریاضی به دست می آیند. در این مطالعه، منظور از پلان مساحتی (بستر رودخانه یا بستر فعال رودخانه)، سطحی از بستر رودخانه است که آثار جریان به طور واضح بر روی آن قابل تشخیص است و یا به عبارتی دیگر، سطحی از ناوه اصلی رودخانه اترک است که توسط سیلاب غالب یا دبی غالب اشغال می شود. جداول ۱ و ۲ خلاصه پارامترهای هندسی محاسبه شده در دو دوره زمانی ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ را برای بازه‌های مورد مطالعه نشان می دهند.

مقایسه پارامترهای هندسی

در این بخش، پارامترهای هندسی بازه مورد مطالعه در دو دوره زمانی ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ تجزیه و تحلیل و باهم مقایسه شده‌اند.

جدول ۱: تغییرات پارامترهای هندسی بخش میانی رودخانه اترک (سال ۱۳۴۶) (دولتی، ۱۳۸۷،

ص ۱۲۷)

پارامترهای هندسی	قازان قایه تا شهر مراوه تپه	شهر مراوه تپه تا آق تقه	آق تقه تا قره گل غربی	قره گل غربی تا چات
تعداد پیچان رود	۱۹۳	۱۲۷	۲۹	۱۵۳
طول خط مرکزی (کیلومتر)	۶۳	۴۶	۱۵	۴۹/۵
میانگین فاصله متاندر (متر)	۳۲۶	۳۶۲	۵۱۸	۲۹۶
مساحت بستر فعال (هکتار)	۱۸۵	۱۱۰	۴۶	۲۱۰
میانگین عرض رودخانه (متر)	۵۱	۲۳	۳۲	۲۰
میانگین عمق رودخانه (متر)	۳	۶	۱۲/۵	۲۲/۵
زاویه مرکزی (درجه)	۱۳۰	۱۱۵	۱۱۵	۱۱۳
میانگین شعاع دایره (متر)	۱۰۵	۱۴۳	۲۷۶	۱۴۳
میانگین طول موج (متر)	۱۶۸	۲۱۶	۳۹۰	۲۱۲
میانگین طول دره (متر)	۲۴۹	۳۱۵	۵۲۳	۳۰۱
شاخص پیچان رودی / سینوسی	۱/۵۳	۱/۴۹	۱/۴۲	۱/۴۴
شعاع نسبی	۳/۱۲	۶/۹۸	۹/۸۸	۷/۴۶
نسبت طول دره به عرض	۷/۹۴	۱۵/۰۴	۱۸/۲۳	۱۵/۶۷
نسبت طول موج به عرض	۵/۱۸	۱۰/۳۹	۱۳/۹۶	۱۰/۹۹

تعداد پیچان رودها - طول خط مرکزی / طول دره

تعداد پیچان رودهای اترک در محدوده مورد مطالعه از ۵۰۲ پیچان رود در سال ۱۳۴۶ به ۳۲۸ پیچان رود در سال ۱۳۸۰ کاهش یافته است. این موضوع نشان دهنده حذف ۱۷۴ پیچان رود (حدود ۳۴/۷٪) در طول ۳۵ سال مورد بررسی است. بخش عمده‌ای از پیچان رودهای حذف شده در محدوده قازان قایه تا آق تقه قرار داشته و تعداد پیچان رودهای

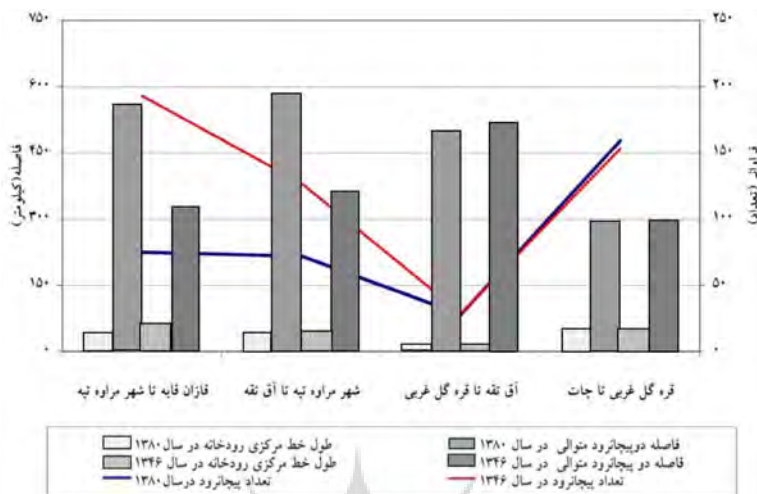
تأثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک ۹

حذف شده در سایر بخش‌های اترک میانی چندان زیاد نبوده است. فاصله طولی بین دو پیچان رود متناوب نسبت به هم در سال ۱۳۴۶ به مراتب کمتر از سال ۱۳۸۰ است که این فاصله در محدوده قازان قایه تا آق تقه بیشتر و در سایر بخش‌ها چندان زیاد نیست. همچنین طول خط مرکزی رودخانه از ۱۷۳ کیلومتر در سال ۱۳۴۶ به ۱۴۸ کیلومتر در سال ۱۳۸۰ کاهش یافته، که به طور غیر مستقیم، نشان دهنده حذف تعدادی از پیچان رودها و افزایش فاصله پیچان رودهای متوالی است. بیشترین تغییرات خط مرکزی رودخانه نیز در محدوده قازان قایه تا آق تقه به وقوع پیوسته است (شکل ۳). کم شدن فاصله طولی دو پیچان رود متوالی و کاهش طول خط مرکزی رودخانه اترک به نوعی نشان دهنده کاهش حالت پیچان رودی رودخانه بر اثر گسترش فرسایش کناری است. تغییرات الگوی جریان رودخانه شدید بوده، نتیجه‌ی این مسأله کاهش حالت سینوسی رودخانه است.

جدول ۲: تغییرات پارامترهای هندسی بخش میانی رودخانه اترک (سال ۱۳۸۰) (دولتی، ۱۳۸۷،

ص ۱۲۸)

پارامترهای هندسی	قازان قایه تا شهر مراوه تپه	شهر مراوه تپه تا آق تقه	آق تقه تا قره گل غربی	قره گل غربی تا چات
تعداد پیچان رود	۷۵	۷۲	۲۸	۱۵۳
طول خط مرکزی (کیلومتر)	۴۲	۴۲	۱۴	۵۲
میانگین فاصله مئاندر (متر)	۵۶۰	۵۸۳	۵۰۰	۲۹۶
مساحت بستر فعال (هکتار)	۵۷۶	۳۲۰	۷۵	۳۲۵
میانگین عرض رودخانه (متر)	۱۶۹	۱۰۲	۵۸	۳۹
میانگین عمق رودخانه (متر)	۳	۶	۱۲/۵	۲۲/۵
زاویه مرکزی (درجه)	۱۱۱	۱۱۸	۱۰۰	۱۱۲
میانگین شعاع دایره (متر)	۲۱۷	۲۲۸	۲۸۱	۱۳۵
میانگین طول موج (متر)	۳۳۶	۳۴۳	۴۱۶	۲۰۶
میانگین طول دره (متر)	۴۴۵	۵۰۹	۵۴۹	۲۸۹
شاخص پیچان رودی / سینوسی	۱/۳۲	۱/۵	۱/۳۵	۱/۴۸
شعاع نسبی	۲	۳/۲۷	۵/۵۳	۳/۹۲
نسبت طول دره به عرض	۳/۸۵	۶/۸۶	۱۰/۳۹	۸/۳
نسبت طول موج به عرض	۳	۴/۷	۸/۰	۵/۸



شکل ۳: مقایسه تغییر ویژگی‌های پیچان رودها طی دوره زمانی ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰

زاویه مرکزی - شعاع دایره

زاویه مرکزی به عنوان معیاری برای تقسیم بندی و شناسایی میزان توسعه پیچان رودی یک رودخانه استفاده می‌شود. اگر از مرکز دوایر مماس بر قوس‌ها دو شعاع به نقاط عطف دوایر با دره رودخانه ترسیم شود، به زاویه ایجاد شده زاویه مرکزی و شعاع دایره مماس بر قوس‌ها شعاع دایره گفته می‌شود. کورنیش^{۱۰} (۱۹۸۰، ۲۵۵) برای بیان کیفی توسعه و پیشرفت پیچان رودی شدن رودخانه‌های آبرفتی و تمایز آنها از یکدیگر از معیار زاویه مرکزی استفاده کرد و جدول ۳ را برای تقسیم بندی توسعه پیچان رودی رودخانه‌ها پیشنهاد نمود.

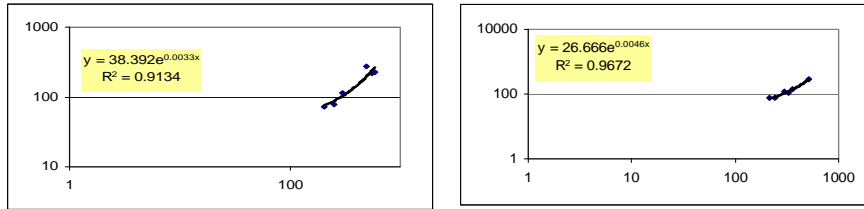
تاثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک ۱۱

جدول ۳) کاربرد زاویه مرکزی در تقسیم بندی توسعه پیچانرودی (تلوری، ۱۳۸۳، ۱۳۵).

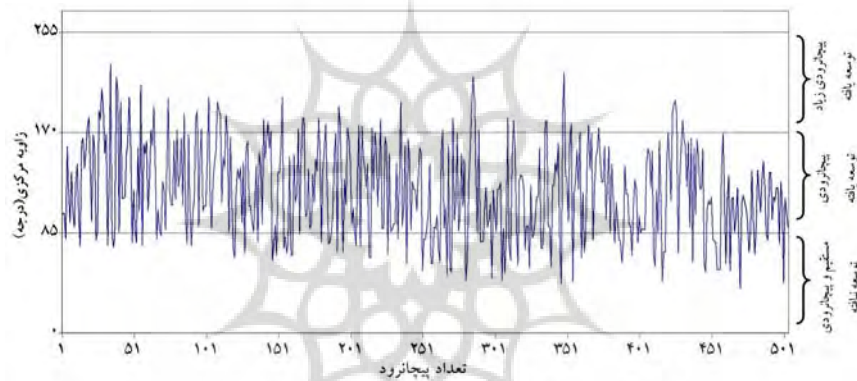
زاویه مرکزی(درجه)	شکل رودخانه
۰	مستقیم
۱-۴۱	شبه پیچانرودی
۴۱ - ۸۵	پیچانرودی توسعه نیافته
۸۵ - ۱۵۸	پیچانرودی توسعه یافته
۱۵۸ - ۲۹۶	پیچانرودی زیاد توسعه یافته
>۲۹۶	شاخ گاوی

با توجه به جدول ۳ و نیز جداول ۲ و ۱ هر چند که در هر دو دوره بخش مورد مطالعه رودخانه اترک با توجه به پیشنهاد کورنیش از نظر توسعه پیچان رودی در رده توسعه یافته قرار داشته، ولی میانگین زاویه مرکزی آنها در بخش مورد مطالعه در سال ۱۳۴۶ کمی بیشتر از سال ۱۳۸۰ است. به عبارتی دیگر، میزان توسعه یافتگی این پیچان رودها در سال ۱۳۴۶ بیشتر از سال ۱۳۸۰ بوده است. مقایسه زاویه مرکزی پیچان رودهای بخش مورد مطالعه رودخانه اترک در سال ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ نشان می دهد که در سال ۱۳۴۶، تعداد ۱۰۴ مورد از آنها دارای زاویه کمتر از ۸۵ درجه بوده، در رده پیچان رودی توسعه نیافته قرار داشته اند، ولی در سال ۱۳۸۰ با کاهش حالت پیچان رودی و حذف تعدادی از آنها، ۹۶ پیچان رود دارای زاویه کمتر از ۸۵ درجه بوده و در رده پیچان رودی توسعه نیافته قرار گرفته اند. همچنین همزمان با کاهش زاویه مرکزی پیچان رودهای رودخانه در سال ۱۳۸۰، میانگین شعاع دواير مماس بر پیچان رودها افزایش یافته که نشان دهنده کاهش حالت سینوسی بخش میانی رودخانه اترک در طول ۳۵ سال است. بررسی همبستگی بین فاصله پیچان رودهای متوالی با شعاع دواير مماس بر قوس‌ها، طول موج و طول دره رودخانه نشان می دهد که بین این متغیرها همبستگی نمایی بالایی وجود داشته و میزان این همبستگی نمایی برای سال ۱۳۴۶ بیشتر از سال ۱۳۸۰ است (شکل ۴). همچنین بین زاویه مرکزی پیچان رود و طول موج آن همبستگی معنا داری وجود دارد، اما میزان این همبستگی در سال ۱۳۸۰ نسبت به سال ۱۳۴۶ کاهش یافته و معنا دار نیست. این نمودارها به خوبی نشان می دهند که با افزایش فاصله دو پیچان رود متوالی و کاهش تراکم تعداد

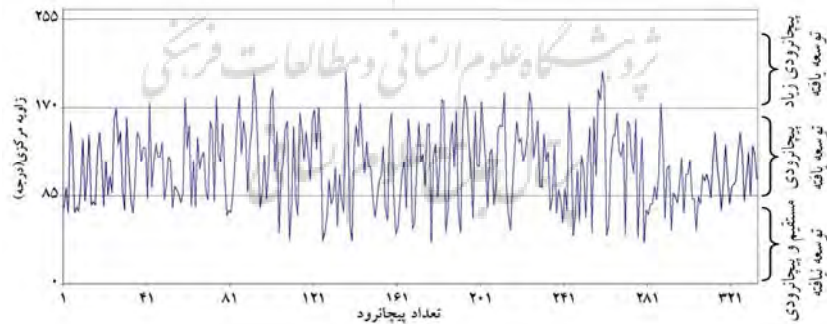
آنها در واحد طول، ضریب پیچان رودی رودخانه کاهش یافته و طول موج و طول دره نیز به پیروی از این مسأله کاهش یافته است (شکل های ۵ تا ۸).



شکل ۴: همبستگی نمایی فاصله پیچان رودها با شعاع دواير مماس (راست ۱۳۴۶ و چپ ۱۳۸۰) در محدوده مورد مطالعه اترک (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۳۳)

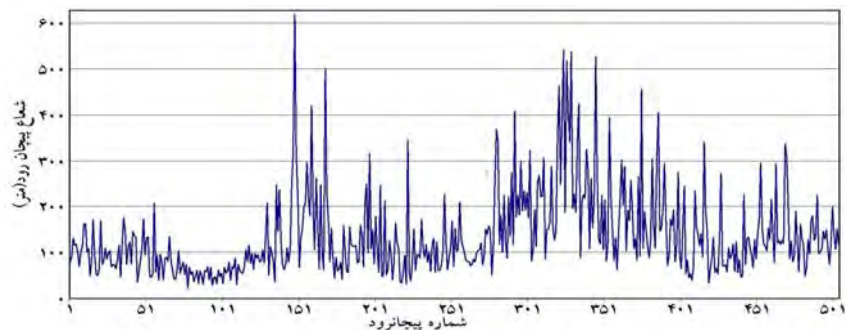


شکل ۵- تغییرات زاویه مرکزی پیچان رودهای رودخانه اترک در سال ۱۳۴۶ (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۳۴)



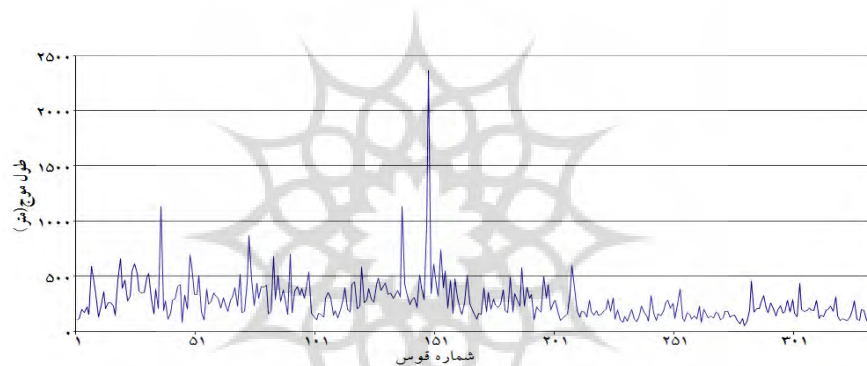
شکل ۶- تغییرات زاویه مرکزی پیچان رودهای اترک در سال ۲۰۰۰ (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۳۴)

تأثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک ۱۳



شکل ۷- تغییرات شعاع پیچان رودهای محدوده مورد مطالعه رودخانه اترک در سال

۱۳۴۶ (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۳۸۵)



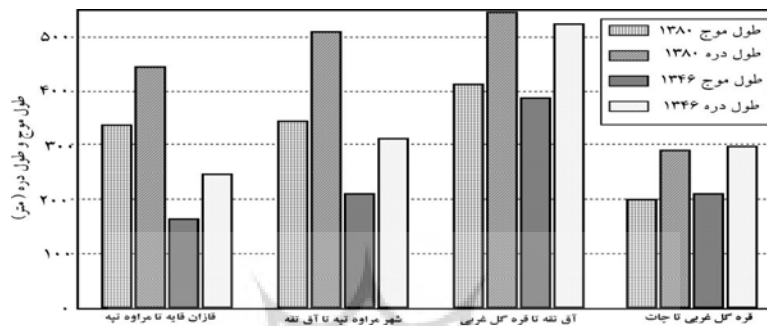
شکل ۸- تغییرات شعاع پیچان رودهای محدوده مورد مطالعه اترک در سال ۱۳۸۰ (دولتی، ۱۳۸۷،

۱۳۸۵)

طول موج - طول دره

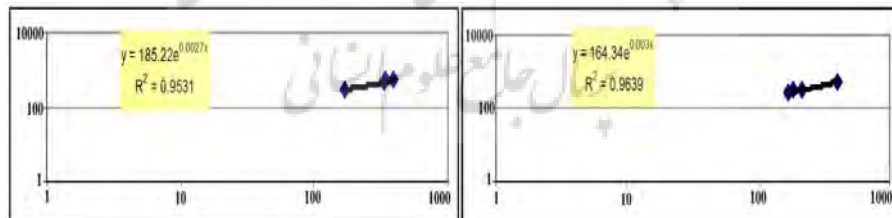
طول دره و طول موج رودخانه دو پارامتر اصلی در طبقه بندی رودخانه و تعیین ضریب پیچشی رودخانه‌ها بوده، معمولا همبستگی بالایی بین آنها وجود دارد. تغییرات طول موج و طول دره در دو دوره زمانی مورد بررسی در بخش میانی رودخانه اترک نشان می دهد که در محدوده قازان قایه تا آق تقه، طول موج و طول دره در سال ۱۳۸۰ نسبت به سال ۱۳۴۶ افزایش پیدا کرده و رودخانه حالت ناپایداری داشته است و بیشترین تغییرات عرضی و مساحتی رودخانه نیز در این محدوده رخ داده است (شکل ۹).

محدوده آق تقه تا چات طول موج و طول دره سال در ۱۳۴۶ بیشتر از سال ۱۳۸۰ است و در واقع، در بخش‌های انتهایی مورفولوژی رودخانه دستخوش تغییرات عمده نشده است و پیچان رودهای بخش انتهایی محدوده مورد مطالعه تغییر چندانی نکرده‌اند.



شکل ۹ - تغییرات طول موج و طول دره رودخانه اترک در سال ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۳۶)

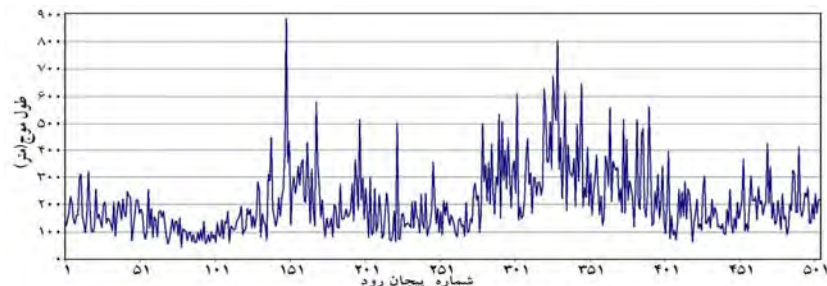
همچنین بین فاصله پیچان رودهای متوالی با طول موج و طول دره در این بخش از رودخانه همبستگی نمایی بالایی وجود دارد. میزان این همبستگی نمایی برای سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۴۶ تقریباً یکسان است. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که با افزایش فاصله دو پیچان رود متوالی و کاهش تراکم تعداد پیچان رود در واحد طول، میزان ضریب پیچان رودی رودخانه کاهش یافته، طول موج و طول دره نیز به پیروی از این مسأله کاهش پیدا می‌کند. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان دهنده توزیع زاویه مرکزی پیچان رودها و نوسان‌های آن در محدوده مورد مطالعه است.



شکل ۱۰ - همبستگی نمایی طول موج و طول دره رود اترک (سال ۱۳۴۶ راست و ۱۳۸۰ چپ)

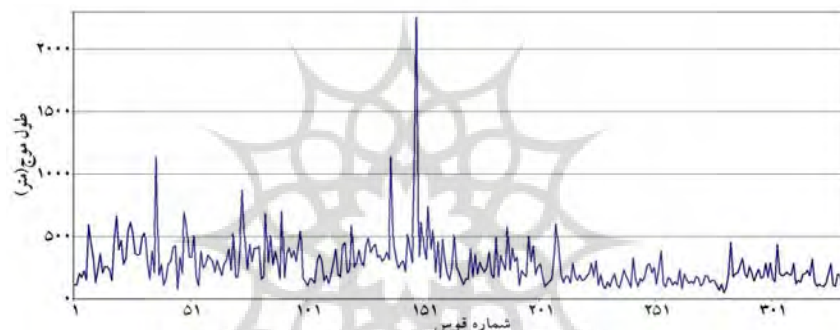
(دولتی، ۱۳۸۷، ۱۳۷)

تأثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک ۱۵



شکل ۱۱- تغییرات طول موج پیمان رودهای محدوده مورد مطالعه اترک در سال ۱۳۴۶ (دولتی،

۱۳۸۷، ۱۳۸)



شکل ۱۲- تغییرات طول موج پیمان رودهای محدوده مورد مطالعه در سال ۱۳۸۰ (دولتی، ۱۳۸۷،





۱۳۸)

شاخص پیچان رودی (سینوسی یا ضریب پیچشی) مطالعات فرسایشی

توجه به شکل الگوی رودخانه در بسیاری از مسائل طراحی و مهندسی رودخانه، از جمله تعیین محل پلها، محل انجام عملیات به سازی مسیر، ایجاد تاسیسات نظیر ایستگاه پمپاژ و ... مهم بوده، برای درک بهتر مسائل هیدرولیکی رودخانه‌های آبرفتی داشتن دانش کافی در مورد الگوی رودخانه ضروری است. ضریب پیچشی (ضریب سینوسی) نسبت طول دره به طول موج هر پیچان رود بوده، یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم بندی شکل رودخانه استفاده می‌شود و نشان دهنده نسبت طول خط محور رودخانه

به طول دره یا طول خم رودخانه است و میزان تکامل پیچ‌ها را نشان می‌دهد. پیتز^{۱۱} (۱۹۸۶، ۹۸) نیز بر حسب میزان ضریب پیچشی چهار نوع رودخانه را به شرح جدول ۴ تقسیم بندی نموده است.

جدول ۴: تقسیم بندی رودخانه‌ها بر حسب ضریب پیچشی (وزارت نیرو، ۱۳۸۶، ۸۸)

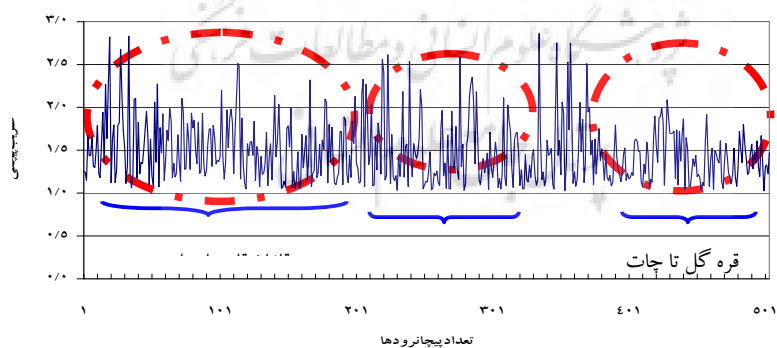
ضریب پیچشی	۱ - ۱/۰۵	۱/۰۶ - ۱/۲۵	۱/۲۵ - ۲	> ۲
شمای رودخانه				
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچانرودی	پیچانرودی شدید

اگر ضریب بزرگتر از ۱/۴ تا ۱/۵ باشد، بیانگر پیچشی بودن رودخانه و کمتر از آن نشان دهنده مستقیم بودن رودخانه است (آل یاسین، ۱۳۷۹، ۱۳۱). لثوپولد و ولمن (۱۹۶۵، ۲۵۵) در تحلیل تعدادی از رودخانه‌های آمریکا بیان داشتند که مقدار ضریب پیچشی می‌تواند از ۱ تا ۲/۸ تغییر کند (وزارت نیرو، ۱۳۸۶، ۸۸).

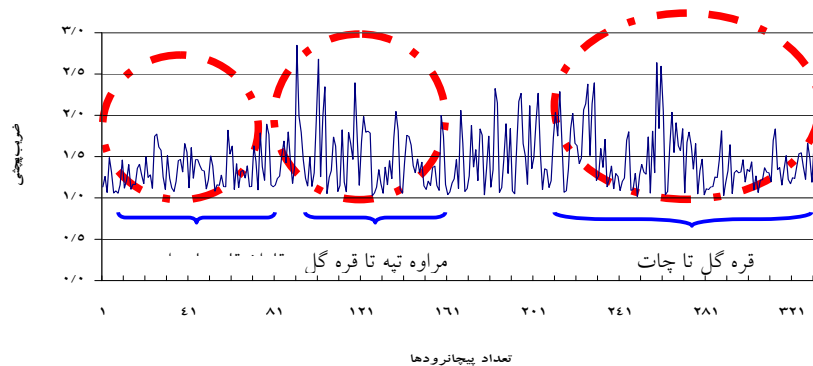
با توجه به جدول ۴ رودخانه اترک در دو دوره ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ در گروه رودخانه پیچان رودی قرار دارد. در محدوده قازانقایه تا آق تقه رودخانه حالت ناپایداری داشته، در نتیجه تداوم تخریب و ریزش دیواره‌های رودخانه و از بین رفتن تعداد زیادی از خم‌ها، الگوی رودخانه در حال گذر از حالت پیچان رودی به سمت سینوسی و در بعضی مناطق مستقیم است. شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان دهنده تغییرات ضریب پیچشی رودخانه اترک در محدوده مطالعاتی در دو دوره زمانی مورد بررسی است. دامنه تغییرات ضریب پیچشی محدوده مطالعاتی رودخانه اترک بین ۱ و ۳ در نوسان بوده، تقریباً ۸۵ درصد پیچان رودهای رودخانه اترک در محدوده ضریب پیچشی ۱/۳ تا ۱/۷ واقع شده‌اند. بررسی

تأثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک ۱۷

نمودارهای ترسیمی نشان می دهد که در سال ۱۳۸۰ نوسان و تغییر ضریب پیچشی رودخانه اترک در بخش های اولیه کمتر شده که علت آن حذف تعدادی از پیچان رودهای رودخانه و به تبع، تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی رودخانه اترک در طول ۳۵ سال گذشته است. مقایسه شکل های ۱۳ و ۱۴ نشان دهنده نوسان های ضریب پیچشی رودخانه اترک در کل محدوده مطالعاتی در دو دوره زمانی ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ است. این شکل ها به خوبی نشان می دهند که در سال ۱۳۴۶ در محدوده قازان قایه تا حوالی گوندر و فرق سر (پیچان روده های شماره ۱ تا ۱۱۰) نوسان های ضریب پیچشی رودخانه زیاد و متوسط عرض رودخانه در سال ۱۳۴۶ در این محدوده حدود ۵۰ متر بوده است. در سال ۱۳۸۰ در همین محدوده نوسان های ضریب پیچشی رودخانه کمتر شده و عرض متوسط رودخانه به حدود ۱۸۰ متر رسیده است، یعنی عرض متوسط رودخانه ۱۳۰ متر افزایش یافته است. با افزایش عرض رودخانه پیچان رودهای رودخانه اترک در همین محدوده از ۱۱۰ پیچ در سال ۱۳۴۶ به ۳۵ پیچ در سال ۱۳۸۰ کاهش یافته و متوسط ضریب پیچشی از ۱/۵ به ۱/۳ کاهش پیدا کرده است. تغییرات کاربری اراضی، الگوی کشت، الگوی جریان، حذف پیچان رودها و پروفیل طولی نشان دهنده علت کاهش نوسانات ضریب پیچشی رودخانه در محدوده قازان قایه تا گوندر در سال ۱۳۸۰ است. این نوسان ها تقریباً به همین شکل در تمامی طول مسیر مورد مطالعه وجود دارد.



شکل ۱۳- نوسانات ضریب پیچشی کل پیچان رودها در سال ۱۳۴۶ (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۴۲)



شکل ۱۴- تغییرات ضریب پیچشی کل بیجان رودها در سال ۱۳۸۰ (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۴۲)

شعاع نسبی

شعاع نسبی شاخصی برای شناسایی میزان پایداری و تحت فشار بودن قوس‌های رودخانه است. شعاع نسبی نسبت شعاع دایره محاط بر قوس و خم رودخانه به عرض رودخانه است. اهمیت شعاع نسبی قوس در این است که بین پارامترهای پارامترهای طول موج و عرض رودخانه رابطه مشخصی با سایر متغیرهای رودخانه وجود دارد (آل یاسین، ۱۳۷۹، ۲۲۱). براساس تقسیم بندی ارائه شده توسط شن^{۱۲} (۱۳۵، ۱۹۷۱) برای دامنه شعاع نسبی (جدول ۵) هر چه شعاع نسبی بزرگتر باشد، نشانه ملایم بودن آن و هر قدر شعاع نسبی کم باشد، نشان دهنده تحت فشار و ناپایدار بودن آن قوس است.

جدول ۵- نوع رودخانه بر مبنای شعاع نسبی (شن، ۱۹۷۱)

نوع چم	زاویه مرکزی (درجه)
آزاد	۴/۵-۵
محدوده شده	۷-۸
تحت فشار	۲/۵-۳

تأثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک ۱۹

در محدوده مورد مطالعه هر سه نوع قوس وجود دارد. میزان شعاع نسبی از سال ۱۳۴۶ تا سال ۱۳۸۰ روند نزولی داشته است. کاهش طول خط مرکزی، تعداد پیچان رودها، ضریب سینوسی و تغییرات عرضی و مساحتی رودخانه در طول ۳۵ سال گذشته، به خصوص در محدوده قازن قایه تا آق تقه نشان دهنده تحت فشار قرار داشتن خم‌های این بخش از رودخانه بوده، وجود بازه‌های ناپایدار و توسعه و گسترش فرسایش کناری را در این محدوده نشان می‌دهد. بخش عمده خم‌های واقع در محدوده آق تقه تا چات در رده خم‌های آزاد و محدود شده قرار دارند. تغییرات شعاع نسبی در بازه مورد مطالعه در دو دوره زمانی ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ و موقعیت بازه‌های پایدار و ناپایدار در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۵: موقعیت بازه‌های پایدار و ناپایدار در محدوده مورد مطالعه (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۴۴)

تغییرات الگوی رودخانه و نسبت عرض - عمق

بررسی رودخانه اترک در سال ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ به خوبی تغییرات الگوی جریان این رودخانه را نشان می‌دهد. براساس الگوی جریان، محدوده مورد مطالعه به دو بخش شریانی و پیچان رودی تقسیم شده است. در حدفاصل روستاهای قازن قایه تا همت آباد (شکل ۱۵) رودخانه دارای الگوی شریانی و به طور محدود مستقیم بوده، در حدفاصل روستای همت آباد تا چات مشترک رودخانه الگوی پیچان رودی دارد. بیشترین تغییرات شکل

بستر رودخانه در بخش اول و به خصوص در بازه قازان قایه تا شهر مراوه تپه رخ داده است.

برای بررسی تغییرات عمق رودخانه در دو دوره زمانی مورد مطالعه، برای سال ۱۳۴۶ از روی عکس‌های هوایی منطقه و با توجه به اختلاف پارالاکس زوج عکس‌های منطقه، عمق رودخانه در مقاطع مختلف اندازه‌گیری شده و در سال ۱۳۸۶ نیز با انجام بازدید میدانی، عمق رودخانه برآورد شده است. مقایسه نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که عمق رودخانه در دو دوره زمانی مورد بررسی، تغییرات در خور توجهی نداشته است. تغییرات نسبت عرض به عمق رودخانه اترک در بازه‌های اصلی رودخانه اترک نشان دهنده وجود تغییرات شدید در بازه قازان قایه و مراوه تپه است. با وجود این، میزان اختلاف نسبت عرض به عمق در بازه قازان قایه به مراتب بیشتر است (جدول ۶).

جدول ۶- تغییرات نسبت عرض به عمق رودخانه اترک در محدوده مورد مطالعه (دولتی، ۱۳۸۷، ۱۴۶)

سال ۱۳۸۰			سال ۱۳۴۶			محدوده / بازه مطالعاتی
نسبت عرض	عمق متوسط	عرض متوسط	نسبت عرض به عمق	عمق متوسط	عرض متوسط	
به عمق	(متر)	(متر)	عمق	(متر)	(متر)	
۵۶	۳	۱۶۹	۱۷/۰	۳	۵۱	قازان قایه تا شهر مراوه تپه
۱۷	۶	۱۰۲	۳/۹	۶	۲۳	شهر مراوه تپه تا آق تقه
۴/۴	۱۳	۵۷	۱/۸	۱۳	۲۲	آق تقه تا قره گل غربی
۱	۲۳	۳۲	۰/۸	۲۳	۱۸	قره گل غربی تا چات

تغییرات الگوی جریان بخش دوم رودخانه نیز چندان زیاد نیست. تغییرات عرضی محدوده مورد مطالعه رودخانه اترک در طی ۳۵ سال سبب حذف بعضی از پیچان رودها و کاهش تعداد آنها شده است. تعداد کل پیچان رودهای محدوده مورد مطالعه از ۵۰۴ در سال ۱۳۴۶ به ۳۳۴ پیچان رود در سال ۱۳۸۰ کاهش یافته و ۲۰۰ پیچان رود رودخانه در طول ۳۵ سال گذشته تغییر مکانی چندان را نشان نمی‌دهند که درصد عمده‌ای از این

تأثیر گذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک ۲۱

پیچان رودها در بخش دوم واقع شده اند. حذف پیچان رودهای بخش اول رودخانه عموماً به علت ویژگی‌های ژنتیکی رودخانه (خصوصیات زمین شناسی، دانه بندی، پروفیل طولی و ...) و همچنین تغییرات ایجاد شده در پوشش گیاهی و کاربری اراضی و الگوی کشت اراضی اطراف رودخانه است. علت حذف پیچان رودهای بخش دوم نیز عموماً متاثر از تغییرات ایجاد شده در وضعیت کاربری اراضی حریم رودخانه است.

نتایج

مقایسه وضعیت مورفولوژی، کاربری اراضی و مقادیر پارامترهای هندسی بازه مطالعاتی در پنج دوره زمانی، نشان دهنده تغییرات شدید در این بخش از رودخانه است. تکامل قوس‌های رودخانه سیری نزولی داشته؛ به طوری که ضریب سینوسی این بخش از رودخانه از $1/5$ به $1/3$ کاهش یافته است. در همین مدت شعاع دایره‌های مماس بر پیچان رودها و در نتیجه طول موج پیچان رودهای رودخانه نیز افزایش یافته است. این مسأله به نوعی نشان دهنده تغییر حالت پیچان رودی رودخانه و کاهش ضریب سینوسی رودخانه است. شکل مقطع رودخانه در طول بازه عموماً مستطیلی شکل، عریض و کم عمق با شیب پروفیل طولی حدود ۲ درصد باقی مانده است. وجود جزایر و تل ماسه‌های ایجاد شده در داخل رودخانه و جریان چند شاخه، به خصوص در مواقع کم آبی، نشان دهنده قرار گرفتن بازه مورد مطالعه در وضعیت رسوب گذاری است. مواد رودخانه‌ای درشت دانه، عموماً از سرشاخه‌های بالادست به این منطقه حمل می‌شوند. تغییرات هیدرولوژیک، دانه بندی مواد بستر و دیواره‌ها، تغییرات کاربری اراضی و الگوی کشت، به خصوص گسترش کشت برنج در سیلاب دشت رودخانه، مهمترین عوامل تغییر دهنده پلان مساحتی و مورفولوژی بازه مطالعاتی هستند. رشد جمعیت محدوده مورد بررسی به میزان چهار برابر در طول ۵۰ سال گذشته به خوبی نشان دهنده افزایش فشار جمعیت بر کاربری اراضی و به تبع توسعه فعالیت‌های کشاورزی در اطراف رودخانه است. با توجه به وقوع چندین سیلاب با دبی بیش از ۴۵۰ متر مکعب در ثانیه و به دنبال آن ایجاد جریان

ثانویه^{۱۳} در رودخانه، می‌توان گفت که سیلاب‌های به وقوع پیوسته در طول ۵۰ سال گذشته در ایجاد تغییرات مورفولوژیک رودخانه نقش اساسی داشته است. نتایج آزمایش‌های مکانیک خاک تایید کننده نظرات سیمون (۱۹۷۱، ۱۴۷) و شوم (۱۹۸۴، ۴۵) در ارتباط با نقش و اثر دانه بندی مواد رودخانه‌ای در تغییرات عرض به عمق رودخانه و مورفولوژی رودخانه است.

وجود سازندهای فرسایش پذیر سرچشمه و سنگانه در اطراف رودخانه سبب شده در بخش‌هایی از رودخانه که این دو سازند رخنمون دارند، تغییرات عرضی بیشتری مشاهده شود، ولی در قسمت‌هایی که سازند نسبتاً مقاوم اتامیر رخنمون دارد، تغییرات عرضی بستر رودخانه کمتر بوده است. در تعیین پایداری و ناپایداری پیچان رودهای رودخانه، علاوه بر شاخص شعاع نسبی، نوع تشکیلات زمین شناسی و کاربری اراضی خم‌های رودخانه نیز نقش دارد، به طوری که علی‌رغم اینکه شعاع نسبی ۱۵ پیچانرود ثابت محدوده مطالعاتی کمتر از ۳ است، اما این پیچان رودها در طول ۵۰ سال گذشته ثابت بوده اند. این مسأله نشان دهنده اثر تشکیلات زمین شناسی و کاربری اراضی در تغییرات مورفولوژی رودخانه است.

بررسی‌ها میدانی نیز این نکته را تایید می‌کند که در طول ۵۰ سال گذشته پادگانه‌های کم ارتفاع اطراف رودخانه که احاطه کننده پیچان رودهای کوچک و متوسط است، بر اثر بروز سیلاب‌ها، تخریب پوشش درختچه‌های گز و کاهش حفاظت بیولوژیک کرانه‌های رودخانه و تغییرات ایجاد شده در کاربری اراضی و الگوی کشت از بین رفته و الگوی رودخانه دچار تغییر و دگرگونی شده است.

منابع

۱. آل یاسین، احمد. (۱۳۷۹). کاربرد مهندسی رودخانه در رودخانه‌های دز و کارون، چاپ ، وزارت نیرو، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، نشریه ۳۳، صفحه ۶۵.
۲. احمدیان یزدی، محمد جواد. (۱۳۸۰). بررسی نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش کناری رودخانه مرزی تجن، نادر بیرویدیان ، دانشگاه علوم کشاورزی گرگان. گروه آبخیزداری
۳. افشارحرب، عباس. (۱۳۷۳). زمین شناسی ایران- زمین شناسی کپه داغ، سازمان زمین شناسی ایران.
۴. تلوری، عبدالرسول. بررسی پدیده پیچان رودی و فرسایش کناری رودخانه‌ای در قسمتی از رودخانه کارون (۱۳۶۸) ، مهدوی، محمد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران. دانشکده منابع طبیعی. گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی. رشته آبخیزداری، ۳۲۰ صفحه.
۵. تلوری، عبدالرسول. (۱۳۸۳). اصول مقدماتی مهندسی و ساماندهی رودخانه، وزارت جهادسازندگی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، صص ۱۶ و ۱۵۴.
۶. دولتی، جواد. بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی بخش میانی رودخانه اترک با استفاده از GIS. (۱۳۸۷). استاد راهنما یمانی، مجتبی. دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیای طبیعی، ۲۷۸ صفحه.
۷. طوس آب، شرکت مهندسی مشاور. (۱۳۸۶). گزارش هواشناسی، مطالعات توسعه بهره برداری و مهندسی رودخانه و تعیین حد حریم و بسترو حفظ حریم رودخانه اترک در استان گلستان، وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای، ۸۲ صفحه.
۸. طوس آب، شرکت مهندسی مشاور. (۱۳۸۶). گزارش هیدرولوژی، مطالعات توسعه بهره برداری و مهندسی رودخانه و تعیین حد حریم و بسترو حفظ حریم رودخانه اترک در استان گلستان، وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان، ۱۰۴ صفحه.
۹. غریب زاده، محمد رضا و حمیدرضا معصومی. (۱۳۸۵). مورفولوژی رودخانه زهره و تغییرات آن در جلگه ساحلی هندیجان، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، بهمن ۸۵ دانشگاه شهید چمران، صص ۱۲۴-۱۳۰.
۱۰. وزارت نیرو. (۱۳۸۶). پیش نویس راهنمای مطالعات ریخت شناسی رودخانه‌ها، نشریه شماره ۳۱۴.
۱۱. یمانی، مجتبی و محمد مهدی حسین زاده. (۱۳۸۱). بررسی تغییرات الگوی رودخانه تالار در جلگه ساحلی دریای مازندران، پژوهش‌های جغرافیایی، موسسه جغرافیا، سال ۳۲، ش. ۴۳. ص. ۱۲۲-۱۰۹.
12. Briaud J.L., Chen H.C., and Park S. 2001. Predicting Meander Migration: Evaluation of Some Existing Techniques. Texas Transportation Institute Report No. 2105-1 for Texas Department of Transportation, The Texas A&M University System, College Station, TX. Pp 320.
13. Kornish, MRS. 1980. Meander Travel in Alluvial Streams' (4) 35-82 in Proceeding of the International Work ship on Alluvial River Problems. India. Sarita Prakashan Meerut. New Delhi, Pp 263-342.
14. Lagasse, P.F., Spitz, W.J., Zevenbergen, L.W., and Zachmann, D.W. 2004. "Handbook for Predicting Stream Meander Migration Using Aerial Photographs and Maps." Report for National Cooperative Highway Research Program Project 24-16, Owen Ayres & Associates, Inc, Fort Collins, CO, Pp 111.
15. Lane, E.W. 1955. The Importance and Fluvial Morphology in Hydraulic Engineering in River Mechanics. Vol II. Ch20. For Collins. Colorado. USA, P 230.

16. Langbein, W.B. 1964. Profiles of Rivers Of Uniform Discharge U.S. Geological Survey. Professional Paper.501b.Pp.119-24.
17. Leopold, et al.1965. Fluvial Process in Geomorphology. W.H Freeman And Company Sanfrenisco, P257.
18. Leopold, L.B and M.G, Wolman.1957. River Channel Pattern - Braided Meandering and Straight. USGS, Professional Paper.282-B.
19. Petts, G.E. et al. 1986. Historical Change Large Alluvial River. John Wiley and Sons,Pp 324.
20. Przedwojski, et al.1995. River Training Techniques. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
21. Simons.D.B.1971.River and Channel Morphology. Fort Collins Colorado, Pp120.
22. Schumm, S.A.1984.Channel Morphology. Symposium on River Meandering-June 1984, Colorado State University, Fort Collins Colorado, Pp250-260.
23. Shen H.W.1984.River and Related Problems. Symposium on River Meandering -june1984, Colorado state University, Fort Collins Colorado, P 34.
24. Shen, H.W.1971. River Mechanics. Vol I and II. Colorado State University, Fort Collins Colorado,Pp 251.
25. Tabatabai, M. R. M. and Rezaee-Banisi, N.2001.River Classifications Based On Hydraulic Parameters. Omranshareef Journal, No. 28, pp. 36-40 (Persian).
26. Taher-Shamsi, A. and Tabatabai, M. R. M.2000.Longitudinal and Lateral Migration Rate of Sistan River Bends.International Conference on Hydro science Engineering, September 26-29, 2000, Korea, CD-ROM.