نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال پانزدهم، شماره ۳۷، تابستان ۹۴

تحلیل مورفولوژیکی مجرای رودخانه مهاباد و تأثیر احداث سد بر آن

دریافت مقاله:۹۲/۱۰/۲ پذیرش نهایی: ۹۴/۳/۱۷
صفحات:۱۷۷-۱۵۵

هادی نیری: استادیار جغرافیای طبیعی، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران[۱]
Email: nayyerihadi@yahoo.com

چکیده

موضوع موردمطالعه در این پژوهش، تحلیل شکل مجرا در حوضه آبریز رودخانه مهاباد است. این منطقه در جنوب دریاچه ارومیه قرار دارد. تغییرات سریع شکل مجرا یکی از ویژگی‌های مهم این رودخانه است که بررسی این تغییرات جهت اجرایی پروژه‌های عمرانی لازم است. برای این منظور تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه در زمان‌های مختلف با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای دوره‌های مختلف مشخص شد، سپس ارتباط بین متغیرهای مؤثر بر شکل مجرا ازجمله دبی، شیب، توان جریان، میزان رس کرانه‌ها و پهنای بستر با تغییرات مشاهده‌شده مورد تحلیل واقع گردید، نتایج نشان داد که مواد درشت‌دانه موجود در کرانه‌ها همراه با افزایش نسبت پهنا به عمق سبب شکل‌گیری مجرای گیسویی شده است. به‌طرف پایین‌دست بعد از محدوده گیسویی، رودخانه به شکل سینوسی تغییر پیدا می‌کند. به نظر می‌رسد افزایش میزان رس که سبب مقاومت بالا کرانه‌ها می‌گردد، همراه با افزایش دبی، عامل این تغییر باشد. در حدفاصل سد مهاباد در بالادست و سد کوچک انحرافی در پایین‌دست جریان، رودخانه به شکل آدا تغییر می‌یابد مقایسه عکس‌های هوایی سال‌های متوالی نشان می‌دهد این نوع مجاری در دوره کنونی توسعه پیداکرده‌اند. به نظر می‌رسد ایجاد سد سبب کاهش دبی اوج و نهشته شدن رسوبات در داخل مجرا شده که درنتیجه این امر شرایط لازم برای مجرای آدا فراهم آمده است.

کلید واژگان: شکل مجرا، ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، مجرای آدا، احداث سد، رودخانه مهاباد.

---

[۱]. **نویسنده مسئول:** سنندج- بلوار پاسداران- دانشگاه کردستان-دانشکده منابع طبیعی –گروه ژئومورفولوژی

مقدمه

در صدسال اخیر رشد اقتصادی و افزایش جمعیت نیاز به آب و سازه‌ها آبی را بیشتر و تغییرات رودخانه‌ها را سریع‌تر کرده است که این فرایند باعث شده حتی مناطق وسیعی که متعادل بودند ناپایدار شوند. قسمتی از این مشکلات از عدم شناخت قوانین و تکامل رودخانه‌ها منشأ می‌گیرد بنابراین آگاهی از چنین محیط‌هایی برای اجرای هرگونه عملیات لازم است و همان‌طور که هاورمکین در سال ۱۹۷۳ نوشتند (نقل از کندلف[1] و همکاران،۲۰۰۳:۶۳۵) مهندسین بایستی تأکید فزاینده‌ای بر مطالعه مراحل تکوین و تعادل رودخانه‌ای داشته باشند تا بتوانند با رودخانه کار کنند نه آنکه صرفاً روی آن کار کنند.

رودخانه مهاباد از به هم پیوستن شاخه بیطاس در شرق و شاخه کوتر در غرب شکل‌گرفته است. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای این رودخانه دارای تغییر شکل زیادی است که در دیگر رودخانه‌ها حوضه دریاچه ارومیه کمتر دیده می‌شود (نیری،۱۳۸۹:۲). شاخه بیطاس این رودخانه از ارتفاعات ۲۰۰۰ متری کوه‌های شاخ قل[2] سرچشمه گرفته ابتدا دارای مسیر سینوسی و سپس به شکل گیسویی می‌شود با دریافت شاخه قوره[3] در جهت شمالی حرکت و به دریاچه سد مهاباد می‌ریزد. شاخه کوتر در سمت غربی حوضه از ارتفاعات ۲۳۵۰ متری حوضه سرچشمه می‌گیرد. این شاخه به شکل سینوسی تا اتصال به شاخه پنگوئن[4] حرکت می‌کند از این محدوده به بعد آنومالی شروع و مجرای آن با مسیری گیسویی شکل تا روستای کوتر جریان پیدا می‌کند. در پایین‌تر از سد مخزنی مهاباد، شکل مجرا از سینوسی خارج و در محدوده کوچکی در مسیر خود به دو تا سه‌شاخه که به‌وسیله جزایر ثابت تقسیم‌شده‌اند، تبدیل می‌شود. در ادامه مسیر در نزدیک اگریقاش[5] مجرای چند شاخه از بین می‌رود و دوباره به شاخه اصلی متصل می‌گردند و تا مصب، حالت سینوسی تک مجرا شکل غالب رودخانه می‌شود.

بر روی این رودخانه یک سد مخزنی در محل اتصال دوشاخه بیطاس و کوتر در سال ۱۳۴۶ احداث، همزمان سد دیگری در پایین‌دست سد مهاباد جهت انحراف آب به مجراهای آبیاری ساخته‌شده است. این ویژگی‌های مجرا و تأثیر سدها روی آن‌ها بدون مطالعه باقی‌مانده است.

محققان زیادی به بررسی مورفولوژی رودخانه‌ای پرداخته‌اند و تقسیمات مختلف و بحث‌های زیادی در مورد فرایندهای مؤثر بر آن‌ها ارائه کرده‌اند. برای مثال لئوپلد و ولمن در سال ۱۹۵۷

1 .Kondolf
2 .Shakhghol
3 .Ghoreh
4 .Pengwen
5 .Agrighash

مجاری رودخانه‌ای را به سه دسته مستقیم، مئاندری و گیسویی[1] تقسیم کردند (یاسی،۱۳۸۷). بعدازآن شکل‌های جدیدی ازجمله آدا[2] توسط برایس[3] (۷:۱۹۸۴) ارائه شد.

بر روی اینکه چه متغیرهای بایستی برای تشکیل شکل خاصی از مجرا ترکیب شوند بحث-های زیادی شده است. بیشتر تحقیقات بر ارتباط بین شیب و دبی تأکید کرده‌اند. ریچارد[4] (۱۹۸۲: ۹۵) شکل‌گیری مجرای متفاوت را ناشی از دبی، شیب دره، اندازه بار بستری و ترکیب مواد کرانه‌ها دانسته است. نایتون (۲۸۹:۱۹۹۸) توان جریان را ناشی از دو متغیر فوق دانست که به نظر وی به‌عنوان شاخص مطلوبی بین انواع شکل رودخانه و عملکرد آن‌ها است.

عوامل انسانی از جمله سدهای مصنوعی میزان رسوبات و چگونگی عبور جریان از مقطع را تغییر می‌دهند. به این طریق بر شکل مجرا تأثیر می‌گذارند. بریدلی و اسمیت[5] (۱۴۳۸:۱۹۸۶) با بررسی رودخانه میلک[6] دریافتند این رودخانه به‌صورت کاهش میزان جابه‌جایی و پهنا به احداث سد واکنش نشان داده است. فریدمن و همکارانش[7] (۱۹۹۸) نشان دادند اثرات سدها روی رودخانه‌های بزرگ به‌صورت تغییر شکل، ظاهر می‌شود (نقل از ریچارد و همکاران، ۸۱:۲۰۰۵). به‌طورکلی محققین برای بررسی تغییرات مورفولوژی مجرا به فاکتورهای تغییرات دبی جریان، شیب بستر، زمین‌شناسی و لیتولوژی، سطح مقطع جریان و زمان تأکید کرده‌اند (اسوات و همکاران،۲۰۰۸؛ ماکاساکی و همکاران، ۲۰۰۹؛ رضایی‌مقدم وهمکاران، ۱۳۹۱)

خلأ مطالعاتی در ارتباط با این مسائل سبب شده که تغییرات شکل مجرا و دینامیک رودخانه مهاباد روشن نباشد و جنبه‌های زیر از طبیعت این رودخانه بدون بررسی باقی‌بماند:

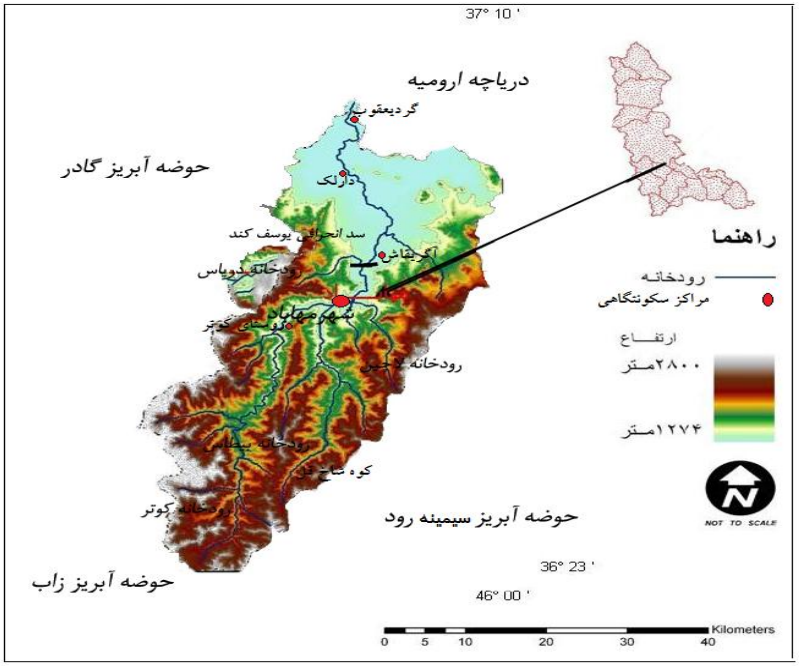
- تا اکنون مطالعه عواملی که باعث مورفولوژی متفاوت مجرا شده، صورت نگرفته است و مشخص نیست که تغییرات مورفولوژی مجرا معلول چه عاملی است.
- این رودخانه از دیدگاه ژئومورفولوژی بدون بررسی باقی‌مانده که این سبب عدم درک کنش‌ها و واکنش‌ها در این رودخانه شده است.

این تحقیق باهدف پاسخگویی به این مسائل و تلاش برای اندازه‌گیری و فهم عوامل شکل‌گیری اشکال متفاوت مجرا در حوضه آبریز رودخانه مهاباد صورت گرفته است.

1 .Braided
2 .Anabraching
3 .Brice
4 .Richard
5 .Bradly and smith
6 .Milk
7 .Friedman et al

موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه

حوضه رودخانه مهاباد در جنوب دریاچه ارومیه، در ″۰۹ ´ ۲۵ °۴۵ الی″۵۱ ´ ۴۵ °۴۶ طول شرقی و ″۵۱ ´ ۲۳ °۳۶ الی″۱۱ ´ ۰۳ °۳۷ عرض شمالی واقع‌شده است (شکل ۱).

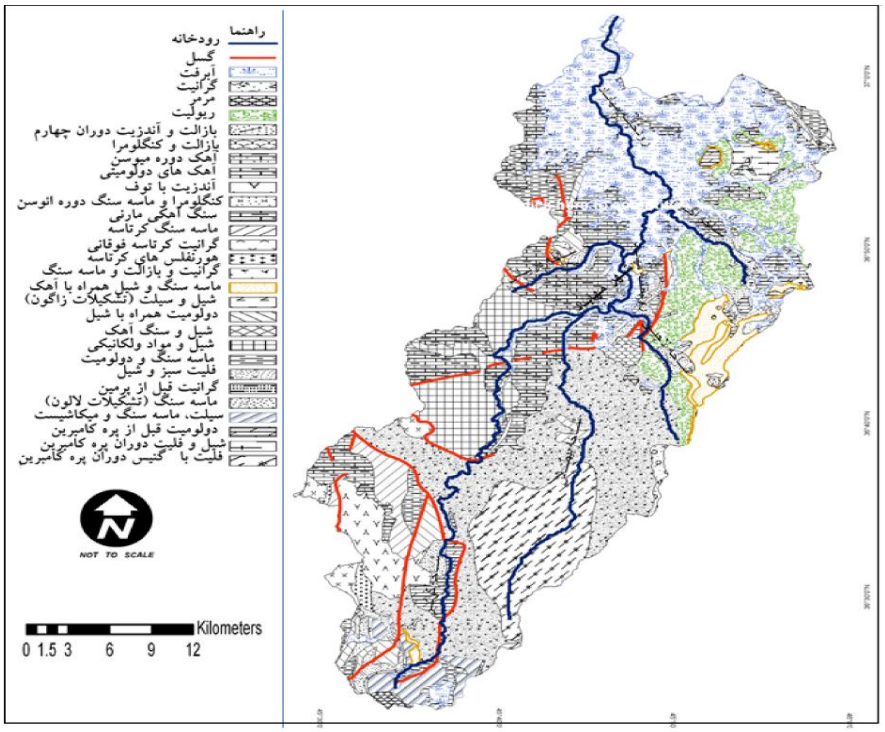


شکل (۱). موقعیت حوضه آبریز رودخانه مهاباد.

این حوضه در شمال با دریاچه ارومیه هم¬مرز است که رودخانه مهاباد پس از عبور از روستاهای دارلک و گرد یعقوب وارد آن می‌شود. حوضه آبریز رودخانه مهاباد از دو واحد توپوگرافی تشکیل شده است. قسمت جنوبی آن کوهستان و قسمت شمالی آن دشت است.

سازندها در قسمت بالایی این حوضه که رودخانه روی آن جریان دارد عمدتاً شیست، کوارتزیت و آهک‌های کرتاسه می‌باشد اما در محدوده دشت این سازندها ناپدید و رسوبات الیگو- میوسن جانشین آن می‌گردند. توزیع این سازندها در محدوده دشت به‌وسیله آبرفت مجزا می‌گردد (شکل ۲). از دیدگاه زمین‌ساختی این حوضه در حدفاصل سیستم خطواره‌های ارومیه که دریاچه ارومیه را احاطه نموده‌اند و در زون دگرگونی سنندج ـ سیرجان واقع‌شده است. (شرکت مشاور الکتروپروجکت[1]، ۱۸:۱۹۶۴).

1 .Elektroprojekt Consulting Engineers -ZAGREB



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز مهاباد.

روش کار

نخست یک بازدید مقدماتی برای مشاهده طبیعت و عملکرد کلی سیستم رودخانه انجام‌شده. مرحله دوم بازدید از منطقه، برای برداشت نقاط زمینی جهت زمین مرجع کردن عکس‌ها، نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت که شکل رودخانه با به‌کارگیری آن‌ها موردبررسی واقع شد. عکس‌ها و نقشه‌ها اسکن بر اساس سیستم UTM، زون ۳۸ زمین مرجع شدند.

۱: نحوه محاسبه شیب مجرا و استخراج نیمرخ طولی از مدل ارتفاعی رقومی

در این پژوهش از مدل ارتفاعی رقومی استر برای استخراج نیمرخ طولی و شیب مجرا استفاده‌شده است. آنالیزها با به‌کارگیری Arc_ GIS و برنامه‌های جانبی[1] ازجمله مدل هیدرولوژیکی و آنالیز مکانی[2] در دو مرحله صورت گرفته است.

1 .Extension
2 .Spatial Analyst

مرحله اول پیش‌پردازش: این مرحله شامل از بین بردن آنومالی مدل ارتفاعی رقومی، تعریف الگوهای توزیع جریان و نهایتاً شبکه‌های جریان می‌باشد. مرحله دوم شامل آماده‌سازی داده‌ها برای انتقال به فرمت قابل‌بررسی در داخل صفحه محاسبات[1] می‌باشد. تمامی نقاط در مرحله پیش‌پردازش دارای ارتفاع و جهت تمرکز شدند و به‌صورت پوشش نقطه‌ای[2] انتقال داده شدند. جداول این پوشش‌های نقطه‌ای به هم وصل و به‌عنوان یک فایل، شامل متغیرهای ارتفاع و جهت جریان برای هر نقطه گردید. جهت جریان در معادله دبی استفاده می‌شود.

۲: استخراج توان جریان در امتداد نیمرخ طولی

با توجه به اهمیت توان جریان در سیستم رودخانه‌ای تلاش شده تا توزیع ممتد آن بر روی نیمرخ طولی به دست آید که به‌صورت زیر تعریف می‌شود (یان و سانگ، ۷۷۳:۱۹۷۹).

$$\Omega = \gamma.Q.S/W \quad (۱)$$

در اینجا γوزن مخصوص آب، Q دبی،S شیب بستر وW پهنای بستر است.

در نواحی که ایستگاه هیدرومتری کافی وجود ندارد، مساحت حوضه آبریز به‌عنوان جانشینی برای دبی در معادله توان جریان مورداستفاده واقع می‌گردد که به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Q = a.A^b \quad (۲)$$

در اینجا A مساحت حوضه‌های مشترک برحسب کیلومترمربع و b و a ضرایبی هستند. پس توان جریان می‌تواند به‌صورت زیر نوشته شود: (ویکرنت و همکاران،۳۰۱:۲۰۰۶)

$$\Omega = \gamma.(a.A^b).S/ W \quad (۳)$$

۳: روش استخراج میزان رس کرانه‌ها

مزیت تصاویر ماهواره‌ای-که میزان رس را در امتداد مجرا به‌صورت پیوسته نشان می‌دهد- سبب شده که در این تحقیق میزان رس کرانه‌ها از آن‌ها به شرح زیر به دست آورده شود:

الف: تهیه داده: در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ETM^+ سال ۲۰۰۲ استفاده‌شده است. حریم رودخانه به میزان ۲۰۰ متر ترسیم و به‌عنوان ماسک به کار گرفته شد.

ب: تصحیحات رادیومتری: برای تصحیحات اتمسفری تصاویر از متد چاوز استفاده‌شده است و ارزش پیکسل‌های تیره در تصویر کاهش داده‌شده‌اند تا فرایند از صحت بالایی برخوردار باشد.

ج: آشکارسازی: جهت آشکارسازی پدیده‌ها از روش نسب‌گیری باندها استفاده‌شده است این روش می‌تواند برای بازسازی اختلاف طیفی بین باندها استفاده شود (آبرا[3]، ۲۰۰۵). داده‌های

1 .Spread sheet
2 .Coverages
3 .Abera

ETM^+ در باند ۵ دارای حداکثر انعکاس و باند ۷ همین داده‌ها دارای بیشترین میزان جذب می‌باشند. بنابراین نسبت این باندها نواحی رسی را با حداکثر بازتاب نشان می‌دهند.

د: خروجی: نقشه پراکندگی میزان رس تغییرات شکل مجرا همپوشانی شد تا تأثیر این متغیر بر روی تغییرات به دست آید. نقشه خروجی با نتایج حاصل از لوگ‌های زمین‌شناسی تهیه‌شده به‌وسیله شرکت آب منطقه برای صحت سنجی مقایسه شدند.

نتایج

قبل از بررسی عوامل مؤثر در شکل متفاوت مجرا، انواع مجرا شناسایی شد در محدوده موردمطالعه با تعاریف ارائه‌شده از مجاری انطباق داده شد.

الف) مجرای آدا: نیل در سال ۱۹۷۳ و چارچ[1] (۱۹۸۳) رودخانه‌های دارای سیستم چند مجرا با توان بالا را در طبقه‌ای تحت عنوان رودخانه‌های سرگردان با بستر گراول[2] از بقیه رودخانه‌ها جدا کردند (نقل از کلمنت،۱۹۹۹: ۴). این ایده اساسی برای واژه آدا، ارائه‌شده توسط شوم (۲۰:۱۹۸۵) گردید که شامل تمام رودخانه‌ها با ویژگی فوق می‌شد. نانسون و نایتون (۲۱۸:۱۹۹۶) آدا را به‌عنوان سیستمی با مجاری چندگانه که جزایر داخل آن‌ها به‌وسیله پوشش گیاهی پایدار شده‌اند و هدایت می‌کنند جریان در دبی بالا به‌طرف کرانه‌ها، تعریف کردند. مجاری که این جزایر در آن‌ها شکل می‌گیرند، امکان دارد گیسویی، مئاندری و یا مستقیم باشد. رودخانه مهاباد در پایین‌تر از شهر مهاباد و بالاتر از سد انحرافی دارای این ویژگی است و می‌تواند در طبقه‌ی آدا قرار گیرد. جزایری که در بین بستر دیده می‌شود و پوشش گیاهی که روی آن‌ها رشد کرده‌اند، چنین ویژگی را نشان می‌دهد؛ بنابراین آدا استفاده‌شده در این تحقیق دارای مفهوم زیر است. سیستمی با مجرای چندگانه با آبرفت‌های که به‌وسیله پوشش گیاهی پایدار شده‌اند و جریان در دبی بالا به کناره کرانه‌ها منحرف می‌کنند؛ که از تعاریف برایس و شوم (۱۹۸۵) و نانسون و نایتون (۱۹۹۶) اقتباس‌شده است. بر طبق یافته‌های آن‌ها درمجموع شرایط لازم برای این نوع مجاری عبارت‌اند از:

*رژیم جریانی مساعد سیلاب *کرانه‌های مقاوم به فرسایش

*تغییر جهت جریان ناشی از وجود مانع

ب) مجرای گیسویی: پدیده گیسویی یک وضعیت تقریباً تعادلی بین متغیرهای دبی جریان، بارکف و شیب بستر است (تلوری،۳۴:۱۳۷۴). در این نوع رودخانه‌ها در پی هر سیلابی، رودخانه

1 .Church
2 .Wandering gravel –beds rivers

به چند شاخه تقسیم می‌شوند که وضعیت پایدار و ثابتی ندارند و جهت جریان و موقعیت جزایر و بارها و عرض رودخانه دائماً در معرض تغییر و تحول می‌باشند (یاسی،۱۳۸۷: ۵). تقریباً ۴۶ کیلومتر از شاخه کوتر در حدفاصل ۱۰ کیلومتر از خط الراس تا ۵۶ کیلومتری پایین‌تر از آن و ۱۵ کیلومتر از شاخه بیطاس از ۲۰ کیلومتر پایین‌تر از خط الراس تا ۳۵ کیلومتری تقریباً مشابه تعریف ارائه‌شده از این نوع مجرا می‌باشد. پهنای محدوده گیسویی، متفاوت و در نوسان است. عمق مجرا در طول محدوده گیسویی بین ۱/۵ تا ۲ متر می‌باشد. هرچند در محل تلاقی مجاری و در پایین‌تر از محدوده‌های که جریان سرعت زیاد دارد، محل‌های با اعماق بیشتر نیز دیده می‌شود. رودخانه مهاباد در این قسمت دارای سینوسیته پایین و چند مجرا است. متوسط سینوزیته ۱/۳ و تعداد گیسویی در پهنای بستر ۳ الی ۴ است. مجاری دارای خمیده غیرمنظم هستند، رسوبات کرانه‌ها این قسمت از مجرا از نوع گراولی است (شکل ۳ الف).

در این محدوده جریان‌های با دبی بالا تمام بستر را اشغال می‌کند. پوشش گیاهی بر روی بعضی از بارهای موقتی به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند به نظر می‌رسد این‌ها جزایر قدیمی باشند که به‌وسیله جریان با فرکانس بالا زیرآب می‌روند. در محدوده‌های که ارتفاع کرانه مشخص نبوده، از طریق این جزایر پهنای بستر برآورد شده است.

شکل (۳). تصویری از محدوده گیسویی (الف) و کرانه‌های آن (ب) در نزدیکی روستای کوتر

ج) مجرای سینوسی: بستر رودخانه‌ها معمولاً پیچ‌وخم‌ها منظم یا نامنظم دارند که این پیچ‌وخم‌ها یا در داخل دره و یا در جلگه‌های رسوبی واقع‌شده‌اند. مجرای رودخانه مهاباد در قسمتی از مسیر دارای این ویژگی است که می‌توان به آن رودخانه مئاندری اطلاق کرد.

مئاندر بر اساس موقعیت به دودسته تقسیم می‌شوند:

- مئاندرهای دره‌ای، این نوع مئاندر در بالادست رودخانه در هر دوشاخه در محدوده‌های که رودخانه در دره عمیق جاری است شکل‌گرفته‌اند. در هر دوشاخه مهم و اصلی بیطاس و کوتر

در قسمت سرچشمه این نوع مئاندر دیده می‌شود. در شاخه بیطاس ۲۰ کیلومتر و در شاخه کوتر ۱۰ کیلومتر از طول مجرا، شامل این شکل از مجرا است.

- مئاندر جلگه رسوبی، این نوع خمیدگی در قسمت پایین‌دست و در محل تلاقی دو رودخانه بعد از سد انحرافی مهاباد دیده می‌شود و تا انتهای جریان ادامه پیدا می‌کند. حدود ۴۰ کیلومتر از طول مجرا را شامل می‌گردد. کرانه‌ها در این محدوده عمدتاً از رسوبات ریزدانه تشکیل‌شده است کناره‌های بستر را پوشش گیاهی به‌ویژه درختان بید پوشانده است.

پیچان‌رودهای مشاهده‌شده در رودخانه مهاباد معرف یک پیچان‌رود ساده هستند. در طبقه‌بندی که شوم از رودخانه‌ها انجام داده است. خمیدگی‌های رودخانه مهاباد در طبقه‌ای که غلبه با بار معلق و پایداری جانبی است، قرار می‌گیرند. عمق در این محدوده ۴ تا ۵/۵ متر و متوسط پهنا به ۴۰ متر می‌رسد. میزان سینوزینه آن ۱/۴ می‌باشد.

بررسی عوامل مؤثر بر اشکال متفاوت مجرا

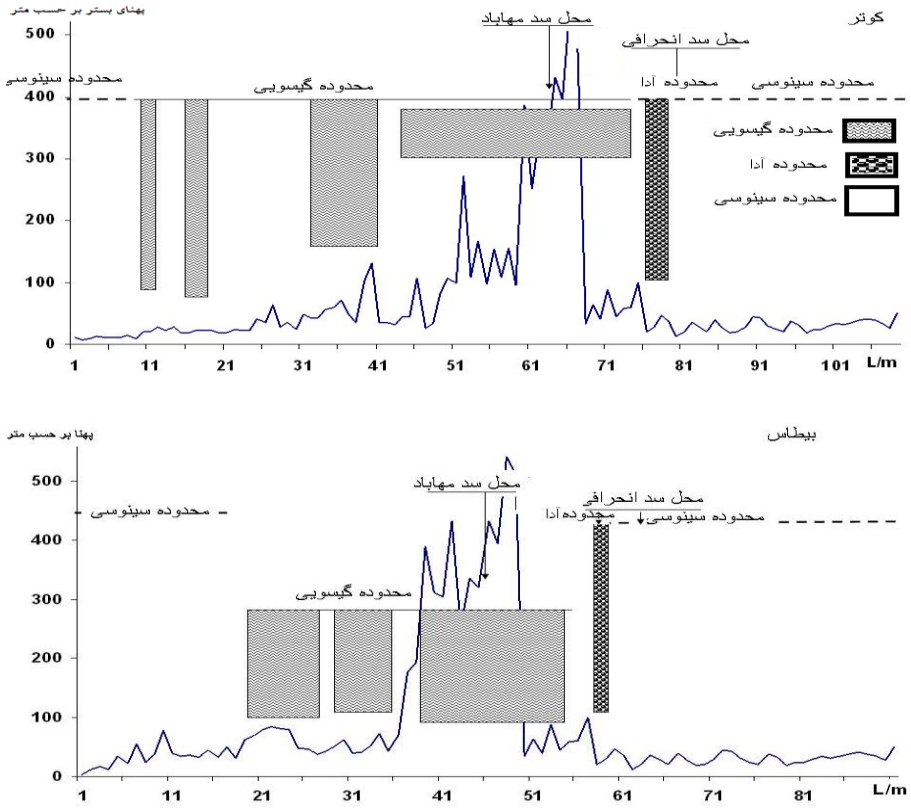
شکل ظاهری و رفتار رودخانه متأثر از توان جریان و مقاومت رسوبات در مقابل فرسایش است. با توجه به اهمیت این دو فاکتور در سیستم رودخانه‌ای تلاش شده تا میزان توان جریان از طریق توزیع ممتد آن و مقاومت رسوبات بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به دست آید که مراحل انجام کار برای تعیین ویژگی‌های فوق به شرح زیر تقسیم‌شده است:

- هندسه پهنا و شیب بستر
- تجزیه‌وتحلیل ویژگی هیدرولیکی جریان ازجمله اندازه‌ی دبی و توان جریان
- بررسی ترکیب کرانه‌ها و رسوبات بستر متغیر مؤثر بر تغییرات شکل بستر
- شناسایی تغییرات حادث‌شده در هر یک از متغیرها و شکل رودخانه و تفسیر نتایج آن‌ها

اندازه‌گیری پهنای بستر

ولمن و میلر در سال ۱۹۶۰ به این نتیجه رسیدند که اندازه‌گیری پهنای بستر در هنگام بیشترین دبی غالباً اهمیت ژئومورفولوژیکی جریان را نشان می‌دهد (نقل از نایتون،۱۹۹۸:۱۳۷). در این تحقیق از روش پهنا در موقع بالاترین ارتفاع آب استفاده‌شده است که از طریق کرانه‌ها و پوشش گیاهی که در کنار آن‌ها رشد کرده، مشخص گشته است. در امتداد مسیر در هر ۱۰۰۰ متر، پهنای بستر از عکس‌های هوایی استخراج‌شده است. متوسط پهنای بستر در محدوده سینوسی دره‌ای شاخه کوتر ۱۳ متر و در شاخه بیطاس ۳۳ متر است. در محدوده گیسویی این پهنا افزایش زیادی پیدا می‌کند. به‌طوری‌که در شاخه کوتر به ۱۰۴ متر و در شاخه بیطاس به ۱۵۵ متر می‌رسد. مجدداً پهنای بستر در محدوده سینوسی جلگه‌ای به

متوسط ۳۱ متر کاهش می‌یابد. با افزایش پهنا در هر دوشاخه، محدوده گیسویی شروع می‌شود و با کاهش مجدداً پهنا، مجرا به سینوسی شکل تغییر می‌یابد (شکل ۴).

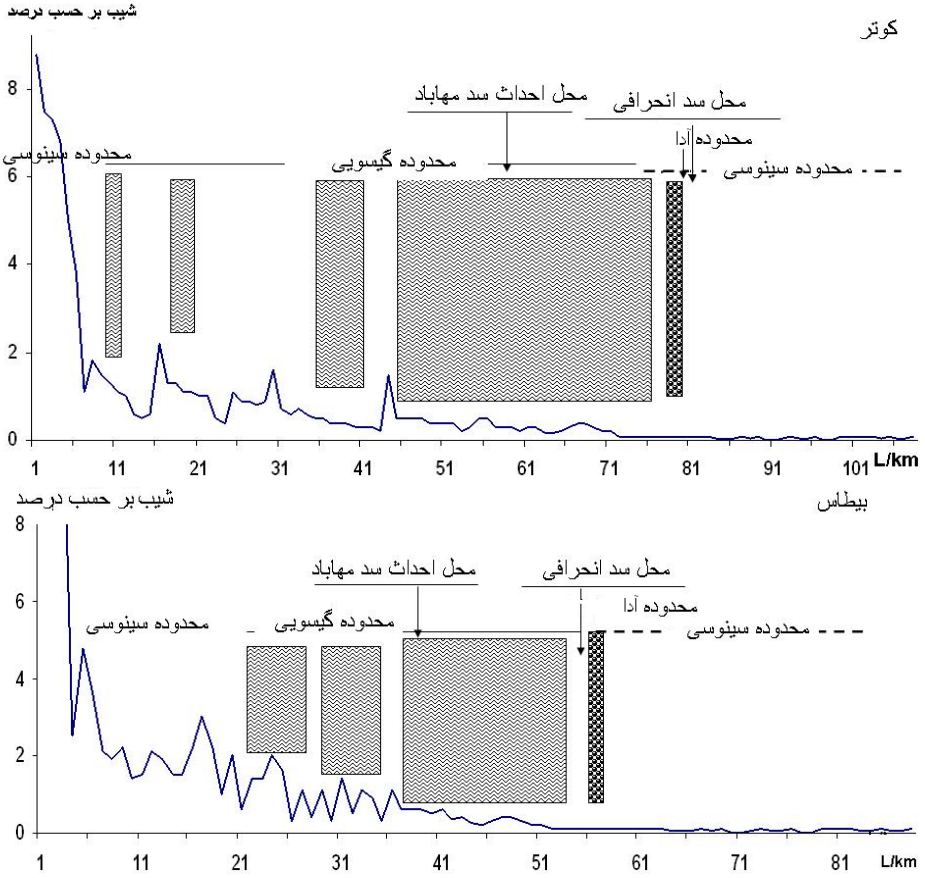


شکل (۴). تغییرات پهنا و انطباق آن با تغییرات شکل مجرا (عکس‌های هوای، ۱۳۸۵)

شیب مجرا

شیب در مقدار توان جریان و شکل مجرا به‌عنوان یک متغیر دارای اهمیت است. طبق بررسی‌های ویکرنت و همکاران (۲۰۰۶) مسافت کوتاه رودخانه لزوماً متوسط ویژگی مجرا را نشان نمی‌دهد، به همین خاطر در این بررسی متوسط شیب مجرا برای محدوده‌های یک کیلومتر محاسبه‌شده است. تا ویژگی متوسط مجرا مورد ملاحظه قرار گیرد. برای به دست آوردن شیب مجرا نقشه‌های توپوگرافی دارای مقیاس ۱۰۰۰: ۱ که با استفاده از دوربین نقشه-برداری تهیه‌شده بود، استفاده شد؛ اما این نقشه‌ها تنها محدوده دشت را پوشش می‌دادند برای محدوده بالادست سد نقشه‌های ۵۰۰۰: ۱ که برای احداث سد تهیه‌شده بودند، مورداستفاده

قرار گرفت. تنها ارتفاع محدوده کمی از منطقه از مدل ارتفاعی رقومی ۹۰ استخراج‌شده است. تمامی این نقشه‌ها در محیط GIS باهم تلفیق شدند و برای شیب به کار رفتند.



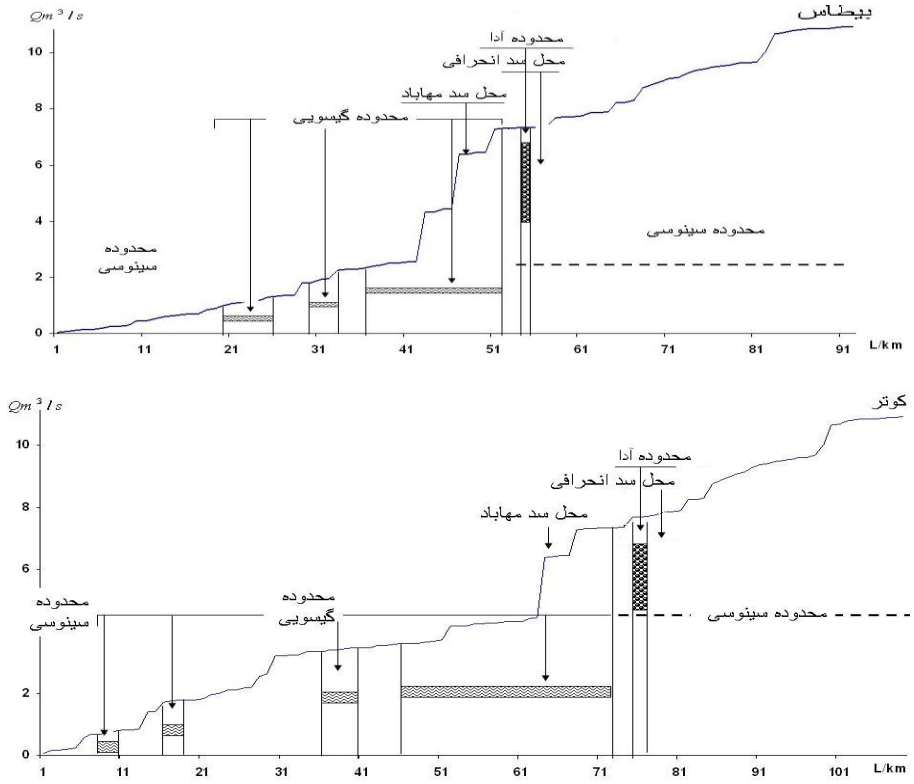
شکل (۵). تغییرات شیب و انطباق آن با تغییرات شکل مجرا

انطباق شکل مجرا با تغییرات شیب نشان‌دهنده آن است که بعد از هر کاهشی که درشیب انجام می‌گیرد رودخانه شکل گیسویی پیدا می‌کند. این ارتباط به‌ویژه در شاخه کوتر آشکارتر است در این شاخه چهار بار افزایش و کاهش متوالی شیب وجود دارد. در هر چهار مورد به دنبال کاهش شیب رسوبات شنی - ماسه‌ای نهشته شده و مجرا گیسویی می‌شود. در شاخه بیطاس این ارتباط کمتر است و در اولین کاهش شیب شکل رودخانه به حالت سینوسی دره‌ای باقی می‌ماند. در این شاخه در محدوده گیسویی سه محدوده تمرکز نیمکت شنی- ماسه‌ای وجود دارد که دو مرکز اول از تغییرات شیب تبعیت زیادی نمی‌کند. محدوده سوم که در

چشم‌انداز مورفولوژیکی این شاخه مشخص‌تر است دقیقاً به دنبال کاهش شیب در این شاخه شکل می‌گیرد. به دنبال کاهش متوالی شیب رودخانه به شکل آدا تبدیل و در انتها که شیب خیلی کاهش می‌یابد رودخانه به شکل سینوسی تغییر می‌یابد. تبدیل محدوده گیسویی به سینوسی و آدا با شکستگی شیب همراه است (شکل ۵).

تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های هیدرولیکی جریان

داده‌های حاصل از دبی واقعی امتداد رودخانه مهاباد کافی نبودند به همین خاطر به تخمین دبی در امتداد مسیر رودخانه با روش انتقال از ایستگاه هم‌جوار پرداخته‌شده و از مساحت حوضه آبریز به‌عنوان جانشینی برای دبی استفاده شد. روش جاستین[1] که بر اساس عملکرد حوضه‌ها مشابه استوار است (علیزاده،۱۳۸۱:۴۳۹) در اینجا به کار گرفته شد. برای به دست



شکل (۶). دبی برآورد شده و انطباق آن با تغییرات شکل مجرا

1 .Justin

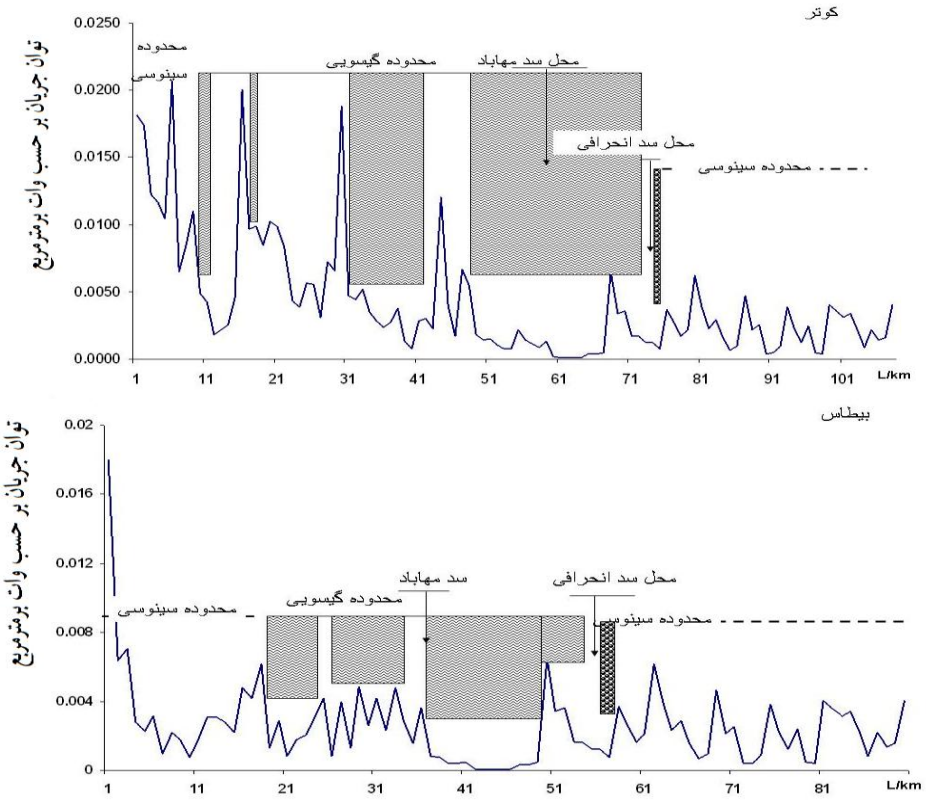
آوردن چنین رابطه‌ای برای حوضه مهاباد از ایستگاه‌های جنوب دریاچه ارومیه با آمار مشترک ۲۰ ساله استفاده گردید. بعد از تکمیل به روش منحنی مجموع. معادله آن به‌صورت زیر برآورد شد.

$$Q = 0.214A^{0.8515} \quad (۴)$$

دبی نیز به‌تبع از مساحت برای هر ۱۰۰۰ متر از طول مجرا محاسبه‌شده است. دبی محاسبه‌شده به‌صورت پیوسته بوده با تغییرات مورفولوژی بستر انطباق داده شد (شکل ۶).

نتایج توان جریان در امتداد نیمرخ طولی رودخانه

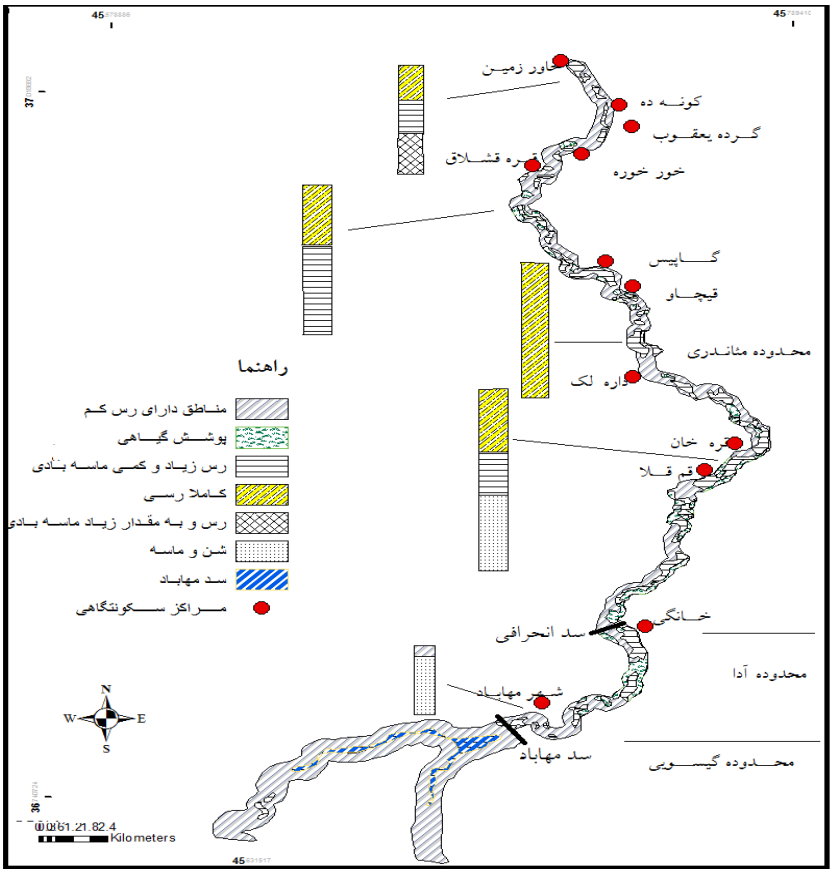
توان جریان نشان‌دهنده توانایی یک رودخانه برای عملکرد ژئومورفیک است. برای محاسبه آن، طول مجرا در سراسر نیمرخ طولی رودخانه بایستی ثابت باشد (ویکرنت و همکاران، ۳۰۳:۲۰۰۶). برای این منظور توان جریان در هر ۱۰۰۰ متر محاسبه شد، سپس نتایج حاصل از



شکل (۷). تغییرات توان جریان و انطباق آن با تغییرات شکل مجرا

آن با تغییرات مورفولوژی که به‌صورت پیوسته بوده بر روی پلات ترسیم شد. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود با کاهش توان جریان در هر دوشاخه به‌ویژه شاخه کوتر شکل گیسویی غالب می‌گردد. در محدوده سینوسی جلگه‌ای توان جریان نسبت به محدوده گیسویی کاهش زیادی ندارد و کمترین توان جریان منطبق با انتهای محدوده گیسویی است. در شاخه کوتر در چهار منطقه کاهش توان دیده می‌شود که در هر چهار مورد رودخانه به شکل گیسویی تغییریافته است. در شاخه بیطاس به‌استثنای اولین محدوده کاهش توان جریان در محدوده-هایی که جریان کاهش می‌یابد رودخانه شکل گیسویی پیدا می‌کند.

ترکیب کرانه‌ها: از سد مهاباد تا دریاچه ارومیه که شامل نهشته‌های دوران چهارم هست در امتداد کرانه مقدار رس استخراج گردید نرم‌افزار ER maper برای به این منظور استفاده شد.



شکل (۸). نقشه پراکندگی میزان رس در کرانه‌های رودخانه مهاباد

همان‌طور که در شکل شماره ۸ دیده می‌شود، بیشترین تمرکز رس‌ها در حدفاصل شهر مهاباد تا سد انحرافی می‌باشد. به‌طرف بالادست بیشتر کرانه‌ها را مناطق، دارای رس کم اشغال کرده است. با توجه به شکل مناطقی که دارای رس کم می‌باشند منطبق با محدوده گیسویی است. پایین‌تر از سد انحرافی گسترش این کانی‌ها بیشتر می‌شود که این قسمت منطبق با محدوده سینوسی جلگه‌ای است. بیشترین منطقه تمرکز رس‌ها منطبق با محدوده آدا است.

توضیح و تفسیر عوامل مؤثر بر شکل متفاوت مجرا

در رودخانه مهاباد پیوسته از گیسویی به سینوسی پهنای مجرا، شیب و اندازه ذرات کرانه‌ها کاهش می‌یابد اما دبی و میزان رس موجود در کرانه‌ها افزایش پیدا می‌کند. ولی توان جریان تغییر زیاد پیدا نمی‌کند. بر این اساس چنین استنباط می‌شود که توان جریان برای محدوده گیسویی وابسته به شیب و برای محدوده سینوسی وابسته به فاکتوری غیر از شیب است، به نظر می‌رسد با توجه به افزایش دبی در این محدوده تابع توان جریان وابسته به دبی است.

کناره‌های بستر در محدوده گیسویی از رسوبات دانه‌درشت و فرسایش‌پذیری تشکیل‌شده است. تحقیقات روبرت اتما[1] در سال ۱۹۸۴ نشان داده که فرسایش‌پذیری کرانه‌ها توأم با تنش برشی می‌تواند عامل گیسویی شدن رودخانه باشد (نقل از یاسی،۵:۱۳۸۷). بر این اساس به نظر می‌رسد ازیک‌طرف مواد فرسایش‌پذیری کرانه‌ها تحت تأثیر نیروی برشی جریان قرارگرفته است مواد ریزتر آن حمل و درشت‌دانه برجای‌مانده است از طرف دیگر تداوم عمل فرسایش کرانه‌ها و به‌تبع از آن عریض شدن بستر سبب نهشته شدن رسوبات درشت‌دانه در داخل مجرا شده است چنین شرایطی مجاری گیسویی را در محدوده شکل داده است. بر اساس یافته‌های هی[2] در سال ۱۹۲۸ (نقل از یاسی،۵:۱۳۸۷) و شوم (۲۵:۱۹۸۵) وقتی نسبت پهنا به عمق افزایش یابد امکان تشکیل مجاری گیسویی وجود دارد.

لئوپلد و ولمن در سال ۱۹۶۴ نیز به این نتیجه رسیدند شیب زیاد موجب عریض شدن رودخانه توأم با رسوب‌گذاری به‌صورت بار رسوبی می‌گردد (تلوری،۳۳:۱۳۷۴). به‌تدریج که بارکف زیاد می‌شود بستر بالا می‌آید و شیب و سرعت در پایین‌دست افزایش می‌یابد درنتیجه گردش سریع آب در بستر در حال ته‌نشینی، مسیرهای چند شاخه‌ای را توسعه می‌دهد. عملکرد مداوم این فرآیندها موجب ناپایداری نسبی جزایر و تغییر موضعی خط‌القعر جریان و نهایتاً گیسویی شدن جریان می‌گردد. در رودخانه مهاباد این شرایط در محدوده گیسویی وجود دارد در این محدود شیب و پهنا نسبت به محدوده سینوسی جلگه بیشتر است.

1 .Robert Ettema
2 .Hey

در پایین‌دست (محدوده سینوسی جلگه‌ای) همگام با تغییر شکل مجرا، دبی رودخانه و میزان رس کرانه‌ها افزایش ولی شیب کاهش می‌یابد و به کمتر از یک‌پنجم محدوده گیسویی می‌رسد. در این محدوده از سوی کاهش اندازه ذرات و نهشته شدن مواد در بالادست سبب می‌شود انرژی که بایستی صرف حمل مواد می‌شد، باقی بماند از طرف دیگر دبی که یکی از فاکتورهای مؤثر در توان جریان است افزایش پیدا می‌کند در چنین شرایطی رودخانه بایستی به حالت گیسویی باقی می‌ماند اما رودخانه رسوباتی را که در محدوده طولانی حمل کرده، در بالادست ته‌نشین کرده است و مواد درشت‌دانه به منطقه سینوسی منتقل نمی‌شود. از طرفی وجود رس زیاد در کرانه‌ها سبب مقاومت کرانه‌ها و مانع افزایش نسبت پهنا به عمق که ویژگی لازم برای گیسویی می‌باشد، شده است. بر این اساس چنین استنباط می‌شود رودخانه در این محدوده برای کاهش انرژی (توان)، شیب خود را کاهش و به شکل سینوسی ظاهرشده است.

تحلیل شکل‌گیری مجرا آدا و جزایر ثابت[1]

تمام رودخانه‌ها دارای تاریخ تحول هستند برای فهم شکل آن‌ها بایستی نخست دریافت رودخانه چه وضعیتی درگذشته داشته است و چه چیزی باقی‌مانده از نتایج قبلی که هنوز بر روی سیستم جدید تأثیر می‌گذارد (نانسون و نایتون،۱۹۹۶:۲۳۰). با عنایت به اینکه دو زیر حوضه اصلی کوتر و بیطاس در محل ورود به دشت به هم وصل می‌شوند که درواقع محل تمرکز اغلب آب‌های حوضه می‌باشد استعداد زیادی برای وقوع سیل وجود دارد. با احداث سد، طغیان‌های رودخانه مهاباد که همه‌ساله به وقوع می‌پیوست کنترل‌شده است (تماب،۱۳۷۶).

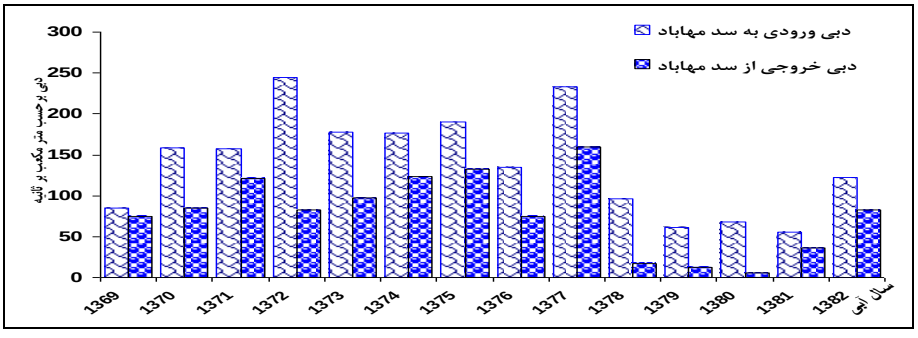
بر اساس مطالعات حبیبی (۱۳۸۱) رسوب زیاد سبب شده که سد مهاباد ازلحاظ وضعیت بحرانی در رده پنجم سدهای مخزنی کشور قرار گیرد (طالب‌پوراصل،۱۴:۱۳۸۴). تحقیقات و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته نشان‌دهنده این است که روند فرسایش و تولید رسوب در حوضه مهاباد در ده‌های اخیر براثر تغییر کاربری افزایش‌یافته است. عمده‌ترین منابع رسوبی تراس‌های آبرفتی هستند که غالباً از ذرات ریز و منفصل تشکیل‌شده‌اند (تماب،۱۳۷۶؛ طالب‌پور اصل،۹۱:۱۳۸۴). وجود ویژگی‌های فوق ازجمله پتانسیل سیل‌خیزی بالا و رسوبات زیاد به‌ویژه در دوره‌های جدید که میزان آن افزایش‌یافته است، شرط لازم برای مجاری نوع آدا را فراهم آورده است، زیرا فرایند سیلاب از سوی شرط لازم را برای پهن شدن مجرا که موجب می‌شود در میانه بستر رسوبات ته‌نشین شوند که نهایتاً می‌توانند منجر به شکل‌گیری جزایر گردند، فراهم می‌آورد. از سوی دیگر رسوبات لازم برای شکل‌گیری جزایر را فراهم می‌کند؛ اما چه

1 .Slogh

عاملی باعث شده درگذشته در این محدوده آدا به‌صورت بسیار محدود باشد و چه تغییری در رودخانه صورت گرفته که سبب تشکیل و تسریع این نوع مجاری گشته است؟

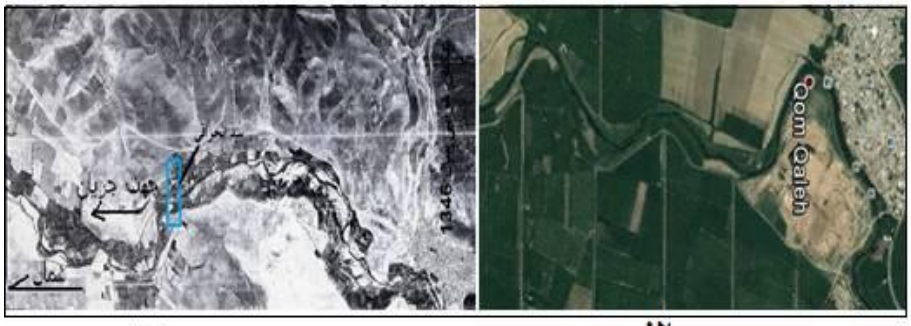
نانسون و نایتون (۲۳۵:۱۹۹۶) تأکید کردند که یکی از عوامل شکل‌گیری این مجاری مسدود شدن مجرا می‌باشد، به نظر می‌رسد که در مجرا رودخانه مهاباد احداث سد چنین نقشی را ایفا می‌نماید. برگشت آب ناشی از احداث سد انحرافی سبب کاهش توان جریان شده است که با تراکم بار رسوبی همراه بوده است زیرا توانایی برای حمل رسوبات کاهش می‌یابد؛ بنابراین به‌طور تئوریکی رودخانه بایستی قسمتی از رسوبات را ته‌نشین نماید. ته‌نشین شدن رسوبات در داخل مجرا بزرگ ناشی از سیلاب‌های گذشته با تمایل رودخانه به کانالیزه شدن همراه است که عامل شکل‌گیری مجرا به شکل آدا می‌باشد.

بر اساس داده‌های فوق چنین استنباط می‌شود که قبل از احداث سد، جریان با دبی بالا از رودخانه عبور کرده است که سبب شکل‌گیری بستر با پهنای زیاد شده است. ازآنجاکه کنترل دبی صورت نمی‌گرفت جریان در دبی‌های بالا از بستر خارج و بر روی کرانه‌ها و دشت‌ها جریان پیدا می‌کرد به‌این‌ترتیب بار معلق از بستر خارج می‌شد وجود رس زیاد در بالای کرانه‌ها (شکل ۸) به نظر می‌رسد ناشی از این عامل باشد. بعد از احداث سد مهاباد دبی کنترل‌شده و دبی‌های ماکزیمم (شکل ۹) کاهش پیداکرده است درنتیجه از طرفی قسمت‌های از بستر که قبلاً به‌وسیله آب اشغال می‌شد به‌وسیله رسوب اشغال گشته است از سوی دیگر با توجه به اینکه جریان از کرانه‌ها خارج نشده است رسوبات حمل شده به‌وسیله آن در بین دو کرانه برجای گذاشته است سد انحرافی نیز که در پایین‌دست سد مخزنی ایجادشده با برگشت آب و ایجاد مانع به تسریع رسوب رودخانه که از سد مخزنی عبور نموده، کمک کرده است شکل‌گیری جزایر بزرگ در نزدیک سد انحرافی نشان‌دهنده نقش آن به‌عنوان یک عامل می‌باشد.



شکل (۹). میزان دبی ورودی و خروجی سد

عکس‌های هوایی گذشته اطلاعات خوبی از تحول مناطق فراهم می‌آورند به همین خاطر از آن‌ها برای بررسی استفاده شد، در این عکس‌ها محدوده‌ای که اکنون به شکل آدا است (شکل ۱۰ ب). دارای رسوبات درشت‌دانه بود بنابراین شکل‌گیری آدا معلول تشکیل سد می‌باشد.



شکل (۱۰) (الف) تصویر منطقه مئاندری و (ب) عکس هوایی سال ۱۳۴۶ محدوده‌ای از مجرا که در حال حاضر به شکل آدا تبدیل‌شده است. مستطیلی محدوده سد را در تصویر نشان می‌دهد.

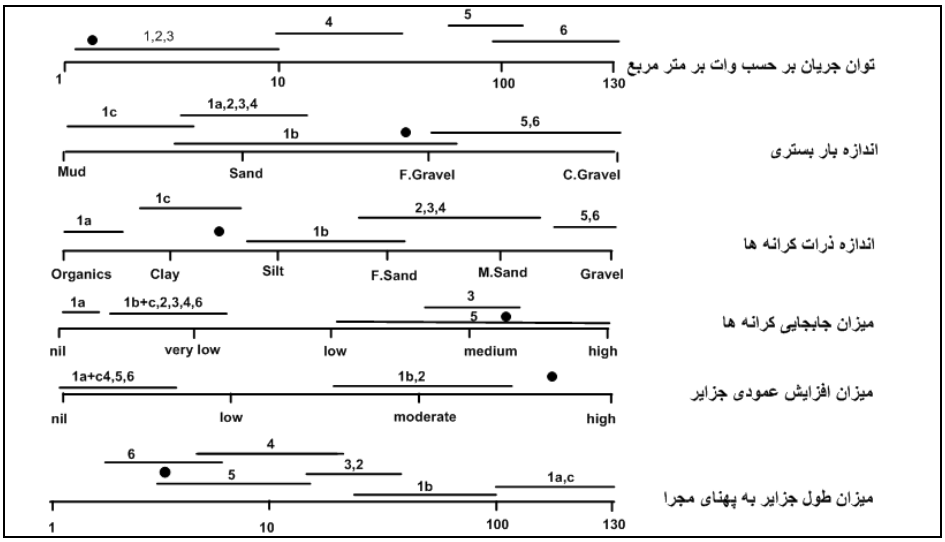
تحقیقات صورت گرفته بر روی نحوه تشکیل سیستم چند مجرا تکامل و شکل‌گیری آن‌ها را ناشی از فرایند حرکت جانبی و جداشدگی دانسته‌اند. نانسون و نایتون (۲۳۵:۱۹۹۶) آدا را عمدتاً ناشی از فرایند جداشدگی و ایجاد مجراهای جدید در داخل دشت‌های موجود دانسته‌اند که در بعضی از موارد به‌طور عمودی جزایر تا ارتفاع دشت سیلابی به خاطر بار رسوبی که براثر گیاهان داخل مجرا راسب شده‌اند، توسعه پیدا می‌کنند (شکل ۱۱). تحول و گسترش جزایر نشان‌دهنده آن است که در دشت مهاباد فرایند جداشدگی به نظر نمی‌رسد نقش داشته باشد و مجاری ناشی از تغییرات کرانه‌های مجرا و انباشت رسوب در داخل مجرا باشد.

شکل (۱۱). پوشش گیاهی متوالی و متفاوت بر روی جزایر

ارزیابی رودخانه مهاباد بر اساس طرح نانسون و نایتون

نایتون و نانسون (۲۳۵:۱۹۹۶) بر اساس توان جریان، میزان بار بستری، اندازه ذرات کرانه‌ها، میزان افزایش عمودی و نسبت بین طول جزایر به پهنای مجرا آدا را طبقه‌بندی کردند. شکل ۱۲ موقعیت رودخانه مهاباد را در تمام این معیارها نشان داده است. این رودخانه در این طرح، با تمام شش نوع رودخانه آدا اختلاف دارد میزان توان جریان، اندازه بار بستری و اندازه ذرات کرانه‌ها و میزان افزایش عمودی، در محدوده نوع یک قرار می‌گیرد اما میزان جابه‌جایی و نسبت طول جزایر به پهنای مجرا در محدوده نوع ۵ قرار می‌گیرد.

نتایج تطبیق رودخانه مهاباد با طرح نانسون و نایتون نشان می‌دهد که این رودخانه نتوانسته با این طرح مطابقت نماید. کلمنت (۱۸۳:۱۹۹۹) نیز با بررسی رودخانه یوکا به نتیجه مشابهی رسید وی عدم تطابقت رودخانه یوکا با این طرح به‌ویژه در شاخص توان جریان را به بزرگی رودخانه نسبت داد. به نظر می‌رسد که در رودخانه مهاباد عامل اصلی عدم مطابقت ناشی از نحوه شکل‌گیری غیرطبیعی این مجرا باشد. سد انحرافی با برگشت آب و رسوبات مانع از توسعه و گسترش طولی جزایر شده است و رسوبات بیشتر در حاشیه جزایر رسوب کنند به همین دلیل از یک‌سو سبب افزایش پهنا و جابه‌جای بستر شده و از سوی دیگر با کاهش یافتن طول جزایر در معادله نسبت طول جزایر به پهنا این شاخص، اندازه بسیار پایینی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۲). طبقه‌بندی نانسون و نایتون (۱۹۹۶) برای رودخانه‌های آدا و موقعیت رودخانه مهاباد در این طبقه‌بندی

نتیجه‌گیری

شکل مجرای رودخانه مهاباد در پایین‌تر از شهر مهاباد از گیسویی به سینوسی تغییر پیدا می‌کند بر اساس بررسی‌های صورت گرفته چنین نتیجه‌گیری شده است:

- توان جریان در محدوده گیسویی ناشی از عامل شیب می‌باشد و در محدوده سینوسی پایین‌دست جریان (دشت) برعکس شیب کاهش می‌یابد و توان جریان ناشی از افزایش دبی به علت دریافت شاخه‌های بیشتر است.

- از سوی دیگر اندازه ذرات بستر و استحکام کرانه‌ها تغییر مهمی و آشکاری می‌یابد و اندازه آن در محدوده سینوسی ریزتر و چسبنده‌تر می‌گردد. اثرات این تغییر در کرانه‌ها در ویژگی بستر دارای نقش مهمی است زیرا آوارها پایدارتر می‌شوند و انتقال و جابه‌جایی آن‌ها توسط آب به خاطر چسبندگی مواد ریز، مشکل می‌گردد. بافت ریز کرانه‌ها همچنین استحکام کرانه‌ها را افزایش می‌دهد و توان زیادتری برای گیسوی شدن، لازم است. ارتباط بالا بین بار بستر و شکل رودخانه نشان‌دهنده آن است که تغییر بار بستری عامل بالقوه‌ای برای تغییر شکل مجرا است.

- تفاوت آشکاری بین شیب دره با شیب مجرا در محدوده سینوسی دیده می‌شود. در محدوده گیسویی این تفاوت وجود ندارد. تغییر شیب می‌تواند سبب تغییر الگو و شکل مجرا از گیسویی به مئاندری گردد.

بر اساس مطالب فوق این نتیجه حاصل شد که شکل اولیه تغییر از مجرای گیسویی به سینوسی حاصل ارتباط بین افزایش دبی، کاهش اندازه ذرات رسوبی و وجود درصد رس زیاد در کرانه‌ها است افزایش توان جریان و نبود ذرات درشت ازیک‌طرف و از طرف دیگر چسبندگی کرانه‌ها سبب شده رودخانه در واکنش به این متغیرها شیب خود را از طریق افزایش طول مجرا که با سینوسی شدن آن همراه است، کاهش دهد. به نظر می‌رسد رودخانه از طریق تغییر شکل و هندسه مجرا به افزایش دبی به خاطر دریافت شاخه‌های متعدد و تغییر ترکیب کرانه‌ها و کاهش اندازه ذرات واکنش نشان داده و به تعادل رسیده است.

احداث سد بر روی این رودخانه سبب کاهش دبی اوج شده است که نتیجه آن نهشته شدن رسوبات ریز در داخل بستر است. مقایسه عکس‌های هوایی سال‌های متوالی نشان‌دهنده شکل‌گیری این جزایر براثر نهشته شدن رسوبات و فرسایش جانبی مجرا است به این صورت که نخست رسوبات در داخل مجرا ته‌نشین شده، سپس بر روی رسوبات پوشش گیاهی رشد کرده و آن‌ها تثبیت‌شده‌اند به‌تدریج ارتفاع آن‌ها افزایش‌یافته است تا به سطح دشت سیلابی رسیده‌اند. معمولاً جزایر بزرگ از به هم پیوستن جزایر پراکنده و کوچک شکل می‌گیرند به‌تدریج رشد و گسترش جانبی سبب شده است از قسمت مرکزی مجرا، شاخه‌ها فاصله بگیرند.

بر اساس یافته‌های فوق به نظر می‌رسد که هیدرولیک جریان کنترل‌شده به‌وسیله سد مهاباد و پهنای ایجادشده به‌وسیله سیلاب‌های گذشته عامل تغییر شکل از گیسویی به آدا است؛ و سد انحرافی با برگشت آب و کاهش سرعت جریان و تجمع رسوبات در محدوده خاصی، این روند را توسعه داده است.

بر اساس تجزیه‌وتحلیل‌های صورت گرفته در این تحقیق کاهش اندازه ذرات در محدوده مجرای سینوسی از گراول به رس این امکان را فراهم آورده است تا تغییر کرانه‌ها کمتر و پهنا بستر در مقایسه با افزایش دبی افزایش زیادی نداشته باشد؛ که این به‌نوبه خود سبب شده دبی در محدوده‌های زیادی از بستر خارج و رسوباتی که همراه آن‌ها بوده‌اند سیستم را ترک و بر روی کرانه‌ها ته‌نشین شوند چنین ویژگی درگذشته سبب شده که شکل آدا، در رودخانه بسیار محدود باشد و تنها یک جزیره که حاصل برگشت آب به‌وسیله تنگ‌شدگی بستر می‌باشد، شکل بگیرد.

منابع و مأخذ

۱. تلوری، عبدالرسول. (۱۳۷۴). **عوامل مختلف فرسایش رودخانه‌ای و بررسی اجمالی چگونگی تأثیر آن‌ها**. انجمن هیدرولیک ایران. کارگاه آموزشی تخصصی کنترل فرسایش در رودخانه‌ها.

۲. دفتر بهره‌برداری از سد و شبکه آبیاری. (۱۳۷۶). **رسوب‌سنجی و رسوب‌شناسی مخزن سد مهاباد**. گزارش مرکز تحقیقات منابع آب (تماب).

۳. رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ محمدرضا ثروتی و صیاد اصغری سراسکانرو. (۱۳۹۱). **بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه قزل‌اوزن با تأکید بر عوامل ژئومورفیک و زمین-شناسی**. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۲. سال ۲۳ پیاپی ۴۶.

۴. سازمان زمین‌شناسی کشور، **نقشه زمین‌شناسی مهاباد**، تهیه‌شده به‌وسیله افتخار نژاد، مقیاس ۱۰۰۰۰۰: ۱

۵. طالب‌پور اصل، داود. (۱۳۸۴). **مطالعه علل کاهش عمر مفید سد مهاباد و شناسایی نواحی مستعد تولید رسوب در بالادست آن**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی کرمانشاه.

۶. علیزاده، امین. (۱۳۸۱). **اصول هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ پانزدهم.

۷. نیری، هادی. (۱۳۸۹). **تحلیل دینامیک و شکل مجرا در حوضه آبریز رودخانه مهاباد**. پایان‌نامه دوره دکتری. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.

۸. یاسی، مهدی. (۱۳۸۷)، **جزوه هیدرولیک، مقطع کارشناسی**، رشته کشاورزی – آب، دانشگاه ارومیه. ۱۵۲ صفحه.

Abera, B.J., (2005), ***Application of remote sensing and spatial data integration modeling to predicative mapping of apatite-mineralized zones in the Bikilal Layerd Gabbro complex***, Western Ethiopia, MSC thesis, ITC, Holland.

Aswath, M. V., V. R. Satheesh., (2008). ***Factors Influencing the Sinuosity of Pannagon. River Kottayam, Kerala, India: An assessment using remote and GIS***. Environmental Monitoring and Assessment, 138(1-3), p173-180.

Bradley, C.E., and Smith, D.G., (1986). ***Plains cottonwood recruitment on a prairie meandering river floodplain, Milk River, southern Alberta and northern Montana***. Canadian Journal of Botany, Vol. 64: 1433-1442.

Brice.J .C, (1984), ***Plan form properties of meandering streams in river meandering***, New York American society of civil engineers. M . Eliot 1-15.

Clement, D. T., (1999). **Fluvial Geomorphology of thy Yukon River, Yukon Flats, Alaska. MSC Thesis.Calgary, Alberta**.

Elektroprojekt Consulting Engineers -ZAGREB-Yugoslavia ,.(1964), ***Ministry of water and power Azarbaijan: water and Power Authority final Hydrogeological report of Mahabad, Plain and Shahpur dam***.,Vol 1 and 2.

Knighton, A.D., (1998). ***Fluvial forms and processes :a new perspective*** , New York. Oxford.

Kondolf, G. M., Piegay, H., and Sear. D., (2003). ***Tools in fluvial geomorphology: Integrating geomorphological tools in ecological and management studies***. , Jhon wily and sons.

Makaske, A. D. G., Smith, H. J. A., Berendsen, A. G. de.Boer, M.F.van, Nielen-Kiezebrink and T. Locking. (2009). ***Hydraulic and sedimentary processes causing anastomosing morphology of the upper Columbia River***, Geomorphology, 111(3-4), p194–205.

Nanson, G. C., and. Knighton, A. D., (1996), ***Anabranching river : the cause, character and classification:*** Earth Surface Processes and Landform. Vol.21: 217-239.

Richard. A.M, John.D.M and David. R.W., (2005), ***Effect of Jackson lake dam on the snake river and its floodplain. Grand Teton national park. Wyoming. u. s. a***, Geomorphology, Vol.71, P.79-98.

Richards, K. S., (1982). ***River Form and Process in Alluvial Channels.*** Methuen: London.
Rosgen, D.L., (1996). ***Applied River Morphology***. Wildland Hydrology, Pagosa Springs, CO.

Schumm, A. S., Mosley, P. M., and William. E. W.,(1987). ***Experimental fluvial geomorphology***, Jhon wily and sons.
Schumm, S.A. (1985) Patterns of alluvial rivers. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 13, 5-27.

Schumm, S.A. and Lichty, R.W.(1997): ***Time, space and causality in geomorphology***. American Journal of Science 263, 110-19 Progress in Physical Geography 21: 419-423.

Vikrant, J., Preston, N., Frystie, K., and Brierley, G.,(2006) ***Comparative assessment of tree approaches for deriving stream power plots along long profiles in the upper Hunter River catchment***, New South Wales Australia. Geomorphology. Vol. 74: 297-317.

Yang, C.T., and Song, C.S., (1979). ***Theory of minimum rate of energy dissipation***. Journal of the Hydraulic Division of American Society of Civil Engineers, Vol. 105:769-784.6