

تحلیل پایداری آبراهه رود گادر از طریق مورفومتری و مقایسه مکانی بازه‌های رودخانه‌ای

امیر صفاری* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی.
مجتبی یمانی - استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
شیرین محمد خان - استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
نادر پروین - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه پیام نور سقز.
موسی عباسی - دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲

چکیده

شناخت ویژگی‌ها و آثار متقابل فرم و فرآیندهای حاکم در سیستم‌های رودخانه‌ای که به شناخت رفتار رودخانه‌ها در محدوده‌های زمانی و مکانی منجر می‌شود اهمیت ویژه‌ای در توسعه مدل‌های مفهومی در ارتباط با محیط‌های رودخانه‌ای دارد. حوضه آبریز رودخانه گادر در شمال غرب کشور و در جنوب استان آذربایجان غربی قرار گرفته است در این پژوهش هدف این پژوهش تحلیل پایداری آبراهه رودخانه گادر بعد از واقعه سیلاب کاتاستروفیک ۲۵ فروردین ماه سال ۹۶ بر اساس مدل نانسون و نایتون جهت ارزیابی رفتار دینامیکی رودخانه گادر و تأثیر آن بر تغییرات بستر رودخانه بر اساس طرح نانسون و نایتون می‌باشد. روش تحقیق یک روش توصیفی-تحلیلی است. جهت استخراج پارامترهای مورد نیاز از آمار ایستگاه هیدرومتری دربند، کار میدانی، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه کاربری اراضی، برنامه Google Earth و نرم افزارهای Smada، WMS9.1، Auto Cad و Arc GIS استفاده شده است. این مدل رودخانه‌های آنابرنج را بر اساس پارامترهای توان جریان، میزان و اندازه بار بستر، اندازه ذرات کرانه‌ها، میزان جا به جایی جانبی، نسبت طول جزایر به پهنای مجرا در شش طبقه تقسیم بندی می‌کند که نتایج نشان داد رودخانه گادر در محدوده نوع شماره پنج و شاخص میزان به هم پیوستگی و افزایش عمودی جزایر و سینوسیته مجرا در محدوده نوع یک قرار دارد. جزایر در بازه‌های شریانی و مستقیم به دلیل پهنای بیش تر از بازه‌های دیگر رشد بیش تری داشته‌اند و در بازه ماندری واقع در بین ارتفاعات کپله شین تا روستای بیمضرته رشد کمتری است. در بازه سوم که جنس رسوبات بستر و کناره رودخانه و دره‌ای که رودخانه در آن جریان دارد از نوع فرسایش پذیری است و عرض بستر رودخانه زیاد بوده به طوری که محور رودخانه در بیشتر طول مسیر ۱۰ الی ۱۵ متر جا به جایی داشته است ولی در بازه اول که جنس رسوبات بستر و کناره رودخانه از نوع سازندهای مقاوم به فرسایش می‌باشد تغییرات رودخانه‌ای ۲ الی ۳ متر بوده است. رودخانه گادر با هر شش نوع رودخانه شاخه شاخه از منظرهایی دارای شباهت است و در حالت کلی این مجرا با طرح نانسون و نایتون انسجام و مطابقت کامل را ندارند.

واژگان کلیدی: رودخانه گادر، پایداری آبراهه، مدل نانسون و نایتون، تغییرات بستر.

مقدمه

رودخانه‌ها از بهترین مناظر ژئومورفیکی زمین هستند که در آن پیوند بین سیستم نیروها و اشکال ناهمواری به روشنی قابل درک است (چورلی و همکاران^۱، ۱۳۷۹: ۱۶۳) از این رو شناخت فرآیندهای رودخانه‌ای و عوامل کنترل‌کننده رودخانه‌ها از جمله زمین ساخت از دیدگاه‌های گوناگون به ویژه رسوب شناسی مهم است (رستمی زاد و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۲). امروزه یکی از مسائل مطرح در علم ژئومورفولوژی روند تغییر اشکال زمین در طی زمان بر اثر عوامل مختلف می‌باشد. عوامل گوناگونی نظیر اقلیم، هیدرولوژی، زمین شناسی، انسان، پوشش گیاهی موجبات تغییر لندفرم‌ها را در طی زمان فراهم می‌آورند. آگاهی و شناخت از روند تغییرات می‌تواند یک ژئومورفولوژیست را به ابزار هوشمندی به نام پیش بینی هدایت کند. بر این اساس امروزه وظیفه یک ژئومورفولوژیست تنها شناسایی و توصیف لندفرم‌ها نمی‌باشد بلکه باید بتواند با شناسایی روند تغییرات و به کارگیری مدل‌های مختلف به پیش بینی و آینده نگری برسد. بررسی الگوی مورفولوژیکی رودخانه‌ها برای درک شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن‌ها در آینده ضروری بوده و تنها از این طریق می‌توان عکس العمل‌های طبیعی آن‌ها را نسبت به تغییرات طبیعی و یا اقدامات ناشی از اجرای طرح‌های اصلاح مسیر و تثبیت کناره‌ها پیش بینی نمود و میزان جا به جایی و تغییرات ابعاد و الگوی آن‌ها را تشخیص داد (چورلی و همکاران، ۱۳۷۹: ۲۱۱). در منطقه شمال غرب کشور سیستم‌های رودخانه‌ای توسعه یافته نقش اساسی را در تحولات ژئومورفولوژیکی منطقه ایفا می‌کنند. محدوده مورد مطالعه در شهرستان اشنویه در شمال غرب کشور واقع شده است.

محققین متعددی اعم از خارجی و داخلی بر روی رودخانه‌ها با شرایط محیطی متنوع و مختلف و اغلب با نگاه مهندسی رودخانه و فرسایش کناری تحقیق کرده‌اند. توایدال^۲ (۲۰۱۱) در مقاله خود تحت عنوان الگوهای رودخانه‌ای و مفاهیم آن که یکی از کارهای اصلی در مورد مباحث رودخانه‌ای و مورفولوژی آن است به انواع الگوهای رودخانه‌ای، شناسایی آن، شرایط تغییر و تحول آنها و نیز نمونه‌هایی در سطح دنیا پرداخته است. سینگ کانگ^۳ (۲۰۱۵) در مطالعه تأثیر شهر نشینی روی مورفولوژی مجرای سه رودخانه در سنترال رددب پلینز اوکلاهاما^۴، در بخشی از کار خود پس از جمع آوری داده‌های مقاطع عرضی و شاخص‌های مورد نیاز، به ارزیابی نوع مجرا بر اساس طبقه بندی رزگن پرداختند. زاویچسکا و وایزگا^۵ (۲۰۱۷) به بررسی تغییرات کانال در قرن ۲۰ در رودخانه دوناجک^۶ در جنوب لهستان پرداختند. نتایج کار آنها نشان داد که رودخانه در قسمت‌های پایین در فاصله اوایل قرن ۲۰ بسیار تنگ شده بود. ضمن آن اختلافات قابل ملاحظه‌ای در مسیر کانال تحت تأثیر اثرات انسانی، شرایط ژئومورفولوژیکی و اکولوژیکی محلی به وجود آمده است. حسین زاده (۱۳۸۰) به تجزیه و تحلیل علل تغییر الگوی رودخانه‌های تالار و بابل با تأکید بر پدیده پیچان رودی پرداخت. او در رساله خود به مطالعه مورفولوژی این رودخانه‌ها شامل تشخیص الگوی رود، روند تغییرات و جابه‌جایی و هندسه هیدرولیکی رودخانه‌ها پرداخت. نتایج کار او نشان داد که رودهای مذکور دارای پایداری نسبی به ویژه در محدوده پیچان رودی بوده و نیز هر دو رودخانه در قسمت علیا دارای الگوی حد واسط بین پیچان رودی و شریانی و در قسمت سفلی دارای الگوی پیچان رودی‌اند. یمانی و نوحه‌گر (۱۳۸۴) وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچان رود و نقش آن را در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که پیچ قوس‌ها در طول زمان به آهستگی به سمت پایین رودخانه در حال حرکت بوده و در نتیجه طول خم‌ها و عرض آن‌ها با افزایش دبی و شیب در اثر آورد رسوب‌های بالا دست افزایش یافته است. یمانی و همکاران (۱۳۸۹) در ارتباط با نقش نو زمین

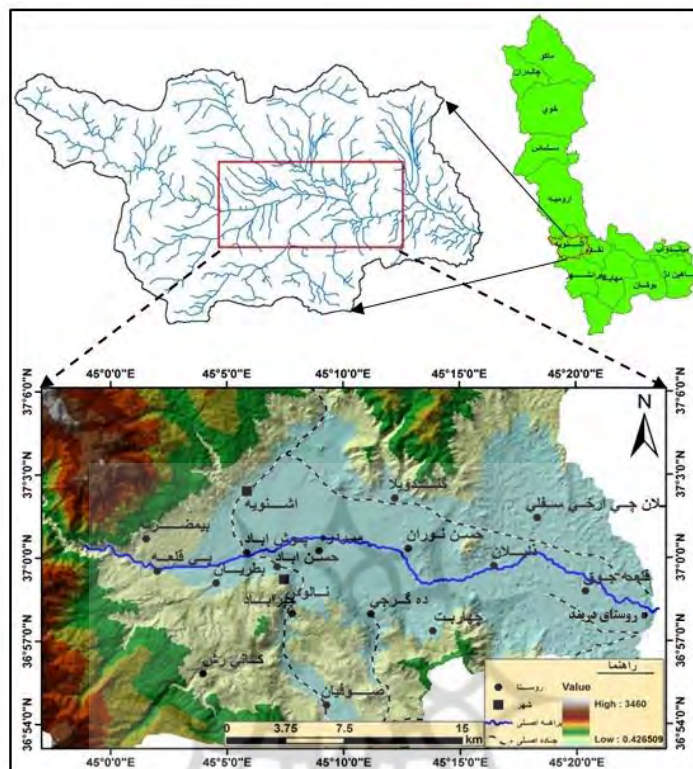
1. Chorly et al
2. Twidale
3. Singh Kang
4. The Central Redbed Plains of Oklahoma
5. Zawiejska and wyzga
6. Dunajec River

ساخت در مورفولوژی آبراهه‌های حوضه آبریز چله در زاگرس غربی مطالعه کردند. نتایج نشان داد که رودخانه چله با ساختمان زمین منطبق بوده و در جهت محور ناودیس جریان دارد. علاوه بر آن آبراهه‌های رتبه پایین بخصوص در قسمت شمال حوضه متأثر از گسل‌های امتداد لغز راست‌گرد دچار جا به جایی و قطع شدگی شده‌اند. سالاری (۱۳۹۰) در رساله خود به تأثیر زمین ساخت و مورفودینامیک بر تغییرات آبراهه میانی زاب بر اساس مدل نانسون و نایتون پرداخته و به این نتیجه رسید که مجرای زاب در دامنه‌های مختلفی از این مدل قرار دارد. پارامترهای اندازه بار بستر، اندازه ذرات کرانه‌ها، مواد کرانه‌ها، میزان به هم پیوستگی و افزایش عمودی جزایر در محدوده نوع یک، جا به جایی جانبی، نسبت طول جزایر به پهنای مجرا، سینوسیته مجرا در محدوده نوع شماره پنج و شاخص توان جریان در محدوده نوع چهارم قرار دارد. نیری (۱۳۹۱) بر اساس مدل نانسون و نایتون به بررسی دینامیک و شکل مجرا در رودخانه مهاباد پرداخته و به این نتیجه رسید که حوضه رودخانه مهاباد 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 داشته اما میزان جابه‌جایی و نسبت طول جزایر به پهنای مجرا در محدوده نوع ۵ قرار گرفته است. یمانی و همکاران (۱۳۹۴) بر اساس روش رزگن (سطح دوم و سوم) به طبقه بندی مورفولوژیکی آبراهه رودخانه تلوار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آبراهه مورد مطالعه دارای مقادیر مختلفی از منظر پارامترهای مؤثر در مدل شامل پارامترهای نسبت گود افتادگی بستر، ضریب خمیدگی، نسبت عرض به عمق و اندازه مواد بستر است؛ به صورتی که مورفولوژی آبراهه در بازه‌های مسیر بالا دست از نوع B، C و E، در میانی از نوع B، C، D و E و در پایین دست از نوع B، C و D می‌باشد. نیری و همکاران (۱۳۹۶) ارزیابی تعادل ژئومورفولوژیکی با استفاده از روش‌های رزگن و چهارچوب استیل رود را تحلیل کردند و به این نتایج دست یافتند که استیل‌های مئاندری و چند مجرای با بستر ماسه‌ای، سینوزیته کم با مواد ریزدانه و مئاندری با مواد ریزدانه در چم تروال و استیل آدا با بستر رسی در چم سنگ سیاه پایدارند در حالی که استیل‌های سینوزیته کم با بستر گراولی، سینوزیته کم با بستر ماسه‌ای و چند مجرای ناپایدار بودند که این ناپایداری می‌تواند به دلیل گسل‌های متعدد باشد. خیری زاده ارواق و همکاران (۱۳۹۷) بر پایه مدل رزگن به تحلیل مورفولوژیکی مجرای رودخانه زرینه رود پرداخته‌اند بازه‌های نوع G و F در امتداد سد نوروز لو تا شهر میان‌دوآب در نتیجه دخالت‌های انسانی به صورت برداشت بی رویه شن و ماسه و گود افتادگی بستر رودخانه به وجود آمده‌اند. این روند به صورت منقطع در امتداد پایین دست ادامه می‌یابد و رودخانه به بازه‌ای در حال گذر از نوع C به نوع F تبدیل می‌شود. زرینه رود در بازه انتهایی به رودخانه نوع F تغییر پیدا می‌کند. هدف این پژوهش بررسی و ارزیابی رفتار دینامیکی رودخانه گادر بعد از واقعه سیلاب کاتاستروفیک ۲۵ فروردین ماه سال ۹۶ و تأثیر آن بر تغییرات بستر رودخانه بر اساس طرح نانسون و نایتون می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه گادر از رودخانه‌های مرزی شمال غرب و غرب کشور است که یکی از پر آب‌ترین زیر حوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه گادر از دو رشته‌کوه تقریباً موازی با هم تشکیل شده است که رودخانه در همین راستا در جریان می‌باشد. مساحت این حوضه برابر با ۹۰۵/۷۹ کیلومتر مربع و محیط آن برابر با ۴۷۳/۹۷ کیلومتر می‌باشد. حوضه گادر یک حوضه نسبتاً کشیده است. بیش‌ترین ارتفاع محدوده کوه دالامپر با ارتفاع ۳۴۵۱ متر است. حوضه آبخیز رودخانه گادر و زهکش اصلی آن از ارتفاعات شمال و غرب اشنویه سرچشمه گرفته و پس از طی کردن ارتفاعات وارد دشت آبرفتی اشنویه شده که با عبور از این دشت حاصل خیز وارد رودخانه مهاباد شده و در نهایت به دریاچه ارومیه منتهی می‌شود. محدوده‌ای که در این پژوهش روی آن مطالعه انجام گرفته از ارتفاعات کیله شین واقع در شهرستان اشنویه تا روستای دربند می‌باشد که با توجه به وجود بازه ناهموار از منطقه ارتفاعات کیله

شین تا روستای بیمضرته و وجود بازه‌های هموار از روستای بیمضرته تا روستای دربند زمینه‌ای مناسب جهت مباحث رودخانه‌ای با دید مقایسه‌ای و نیز ارزیابی عوامل تأثیرگذار دینامیکی است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه گادر

مواد و روش‌ها

فرآیند انجام پژوهش شامل جمع‌آوری داده‌ها، مطالعات میدانی، تولید لایه‌های اطلاعاتی و انطباق آن‌ها با وضعیت موجود، تجزیه و تحلیل هر یک از لایه‌ها جهت بررسی نقش مورفودینامیک رود گادر در پایداری آبراهه و ارزیابی آن بر اساس مدل نانسون و نایتون^۱ می‌باشد. روش‌های جمع‌آوری داده‌ها شامل روش‌های آماری از قبیل مصاحبه، عکس-های هوایی سال ۱۳۹۵ و سال ۱۳۹۶ با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰، بازدیدهای میدانی و منابع اسنادی است. ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰ نقشه زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای لندست محدوده مشخص و استخراج گردیده است. جهت ارزیابی رودخانه گادر بر اساس این مدل از پارامترهای شامل توان جریان، میزان و اندازه بار بستر، اندازه ذرات کرانه‌ها، میزان جابه‌جایی جانبی، نسبت طول جزایر به پهنای مجرا، میزان به هم پیوستگی و افزایش عمودی جزایر و سینوسیتهی مجرا استفاده شده است. سپس در ادامه به تشریح هر کدام از پارامترهای مؤثر پرداخته و در نهایت نقش هر یک از متغیرها به عنوان عوامل مؤثر در پایداری آبراهه رود گادر مشخص شدند. توان جریان معمولاً برحسب واحد وات بر متر مربع بیان می‌شود و نشان دهنده توانایی یک رودخانه برای عملکرد ژئومورفیک است که وابسته به پراکندگی انرژی در امتداد مجرا می‌باشد. با توجه به اهمیت توان جریان در سیستم رودخانه‌ای تلاش شده تا توزیع ممتد آن بر روی نیمرخ طولی به دست آید که به صورت معادله شماره ۱ تعریف می‌شود:

$$\Omega = \gamma \cdot Q \cdot S / W$$

در این معادله γ وزن مخصوص آب، Q دبی، S شیب بستر می‌باشد که از مدل ارتفاعی رقومی استخراج می‌شود و W پهنای بستر می‌باشد. در نواحی که ایستگاه هیدرومتری کم است، مساحت حوضه آبریز به عنوان جانشینی برای دبی در نظر گرفته و در معادله توان جریان مورد استفاده واقع شود که معادله آن رابطه شماره ۲ می‌باشد:

$$Q = 2a \cdot Ab$$

در این رابطه A مساحت حوضه‌های مشترک بر حسب کیلومتر مربع، a و b ضرایبی هستند که از طریق رگرسیون به دست می‌آیند. پس توان جریان می‌تواند به صورت رابطه شماره ۳ نوشته شود:

$$\Omega = \gamma \left(\frac{2a \cdot Ab}{S} \right)^2$$

در این تحقیق برای به دست آوردن توان جریان از معادله شماره (۱) استفاده شده است:

در این معادله γ وزن مخصوص آب، Q میزان دبی رودخانه، S شیب بستر است. جهت به دست آوردن میزان و اندازه ذرات بستر و کناره‌ها ۱۵ نمونه در مقاطع دو تا سه کیلومتری از بستر و دیواره راست و چپ رودخانه برداشت شده است و در آزمایشگاه قلوه‌سنگ‌ها از نمونه‌ها جدا شده و آزمایش دانه بندی بر روی نمونه‌ها انجام شده است (شکل ۲). نتایج دانه بندی با استفاده از نرم‌افزار GRADESTAT تجزیه و تحلیل شدند. برای به دست آوردن میزان جا به جایی جانبی بستر رودخانه بعد از واقعه سیلاب فروردین ماه سال ۹۶ در ابتدا مسیر رودخانه گادر در سال ۱۳۹۵ که قبل از سیلاب می‌باشد و سال ۱۳۹۶ که بعد از رخداد سیلاب کاتاستروفیک است با استفاده از عکس هوایی رقومی گردید و سپس میزان تغییرات و جا به جایی بستر رودخانه بر اثر سیلاب کاتاستروف ۲۵ فروردین ماه ۹۶ مشخص گردید. برای محاسبه نسبت طول جزایر به پهنای مجرا و میزان رشد عمودی جزایر با استفاده از مقایسه عکس‌های هوایی سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ جزایر موجود در رودخانه شناسایی و سپس با رقومی کردن آن‌ها در محیط نرم‌افزار GIS میزان افزایش عمودی آن‌ها اندازه‌گیری شد. در سینوسیتی مجرا شاخص ضریب سینوسیتی یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم بندی شکل رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عامل نشان دهنده نسبت طول خط محور رودخانه به طول دره یا طول چم می‌باشد و میزان تکامل چم را نشان می‌دهد. با استفاده از فرمول $S = \frac{L}{\gamma/2}$ اندازه ضریب سینوسیتی برای رودخانه محاسبه شده است. در واقع با تقسیم کردن طول دره بر طول موج می‌توان ضریب سینوسیتی را محاسبه کرد. معمولاً در طول یک رودخانه تعداد متناهی چم با مشخصات گوناگون وجود دارد و این چم‌ها در طول زمان توسعه یافته و باعث افزایش ضریب سینوسیتی رودخانه می‌شوند. طبق تعریف ضریب سینوسیتی بزرگ‌تر از ۱/۴ تا ۱/۵ بیان‌گر سینوسیتی بودن رودخانه و کم‌تر از آن نشان دهنده مستقیم بودن رودخانه و بازه موردنظر است (لین، ۱۹۵۵: ۴). نانسون و نایتون (۱۹۹۶) بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای کمی و کیفی با دید سیستمی و ترکیبی رودخانه‌های آنابرنج را در شش طبقه تقسیم بندی کردند. جدول ۱ اختصاصات این شش طبقه را نشان می‌دهد. بر اساس این تقسیم بندی، رودخانه گادر مورد تفسیر و ارزیابی قرار گرفته است.

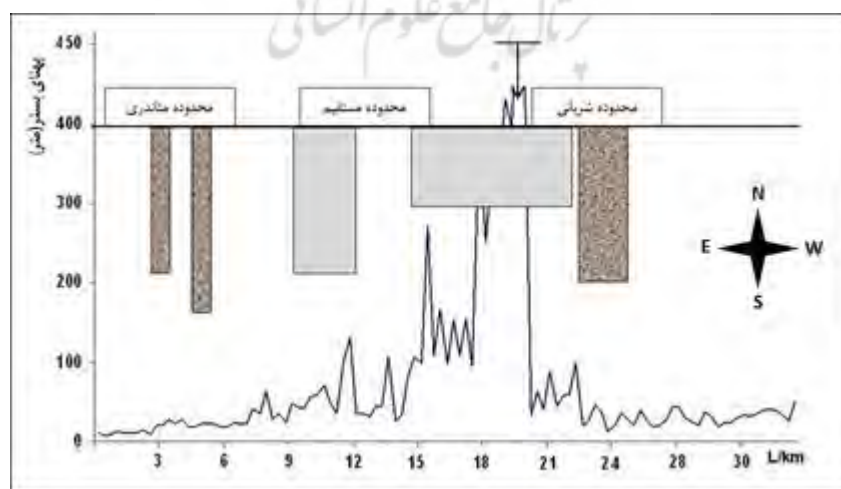
جدول ۱: نوع رودخانه و ویژگی‌های آن بر اساس مدل نانسون و نایتون

رودخانه	نوع رودخانه	ویژگی
نوع اول	رودخانه‌های آنابرنج با رسوبات چسبنده (اناستوموس)	این تیپ دارای پهنا و نسبت عرض به عمق کم، شیب کم، توان جریان خیلی کم، کرانه‌های چسبنده و نسبتاً پایدار و غالباً سینوسی هستند.
نوع دوم	مجاری با غلبه جزایر ماسه	رودخانه‌هایی دارای جزایر ماسه‌ای، توان جریان پایین، جزایر هم معلول جداشدگی و هم معلول توسعه جانبی می‌باشند.
نوع سوم	رودخانه‌های آنابرنج به صورت جانبی فعال و با بار بستر مخلوط	رودخانه‌های چند مجرای به شکل مئاندری هستند، اندازه ذرات با فاصله گرفتن از مجرا در سطح دشت سیلابی ریزتر می‌شود.
نوع چهارم	رودخانه‌های آنابرنج با بار غالب ماسه و جزایر و پشته‌های رسوبی برآمده در ارتفاع کم‌تر از کرانه‌ها	دارای توان جریان بالا به نسبت تیپ‌های قبلی، به صورت خطی توسعه می‌یابند و در این بین رستنی جات در توسعه آن‌ها نقش اساسی دارند.
نوع پنجم	رودخانه‌های آنابرنج به صورت جانبی فعال و با بار غالب گراول	این مجاری با بار بستر گراول و نسبتاً انرژی‌زا هستند، فعالیت جانبی نیز می‌تواند قابل توجه باشد.
نوع ششم	رودخانه پایدار و با بار غالب گراول	این مجاری در حوضه‌های زهکشی کوچک و شیب‌دار متشکل از قطعات سنگی، گراول و پوشش گیاهی بالا شکل می‌گیرند؛ و دارای توان جریان بالا می‌باشد

بحث و یافته‌ها

اندازه‌گیری پهناهای بستر

ولمن و میلر در سال ۱۹۶۰ به این نتیجه رسیدند که روش اندازه‌گیری پهناهای بستر در هنگام بیشترین دبی غالباً اهمیت ژئومورفولوژیکی جریان را نشان می‌دهد (بورگ، ۲۰۰۴: ۱۲). بنابراین در این تحقیق از روش پهنا در فصل بهار که آب دارای بیش‌ترین ارتفاع می‌باشد، استفاده شده است و از طریق کرانه‌ها و پوشش گیاهی که در کنار آن‌ها رشد کرده شناسایی گردید. در امتداد مسیر در هر ۱۰۰۰ متر پهناهای بستر از عکس‌های هوایی برای کل مسیر رودخانه ارتفاعات کپله شین تا روستای دربند استخراج شد (شکل ۲).

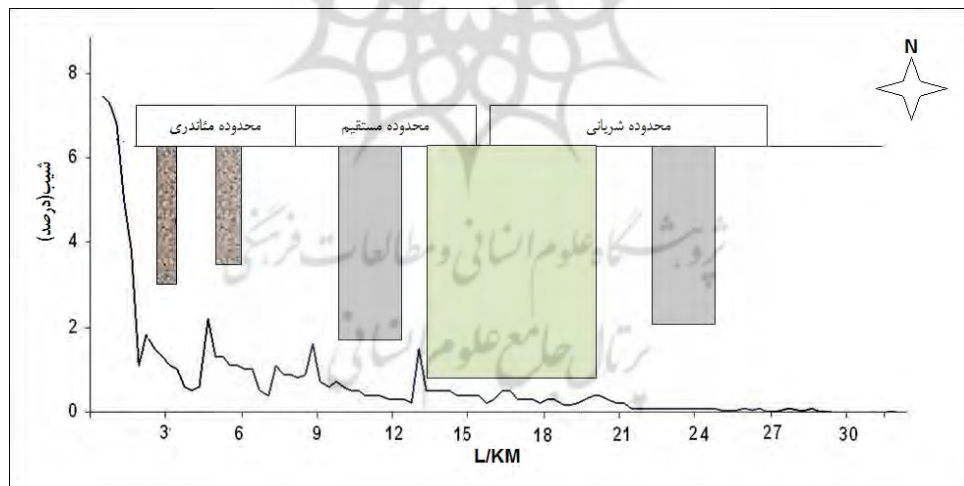


شکل ۲: تغییرات پهنا و انطباق آن با تغییرات شکل مجرای رود گادر

همان طور که در شکل ۲ دیده می‌شود محدوده مورد پژوهش دارای سه بازه می‌باشد که بازه اول در محدوده مئاندری، بازه دوم در محدوده مستقیم و بازه سوم در محدوده شریانی واقع شده است. متوسط پهنای بستر در محدوده مئاندری ۱۸ متر بوده که بیشترین و کمترین آن به ترتیب ۷۹ و ۱۱ متر است. در محدوده مستقیم این پهنای افزایش می‌یابد به طوری که در پایین روستای بیمضرته این پهنای به ۱۱۰ متر می‌رسد. مجدداً پهنای بستر در محدوده ابتدای مستقیم به متوسط ۴۰ متر کاهش می‌یابد که با وارد شدن به محدوده انتهایی بازه مستقیم پهنای بستر به ۳۵۰ متر رسیده و در ابتدای بازه شریانی پهنای بستر دوباره اوج خود رسیده و سپس به طرف پایین دست رودخانه پهنای مجدداً کاهش می‌یابد.

شیب مجرا

شیب در شکل مجرا و در مقدار توان جریان به عنوان یک متغیر دارای اهمیت است. طبق بررسی‌های ویکرن و همکاران (۲۰۰۶) مسافت کوتاه رودخانه لزوماً متوسط ویژگی مجرا را نشان نمی‌دهد به همین خاطر در این بررسی متوسط شیب مجرا با استفاده از قطعات افقی و برای محدوده‌های یک کیلومتر محاسبه شده است. تا ویژگی متوسط مجرا مورد ملاحظه قرار گیرد. شیب حاصل از مدل ارتفاعی رقومی از نقشه‌های دارای مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به دست آمده است که در بعد ارتفاعی میزان خطابه کمتر از ۱ متر می‌رسد اما تنها محدوده دشت را پوشش می‌دهد و برای محدوده بالا دست رودخانه که در بازه مئاندری قرار دارد از نقشه‌های دارای مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده است. تمامی این داده‌ها در محیط GIS با هم تلفیق و تبدیل به مدل ارتفاعی رقومی شده‌اند. در نهایت از مدل ارتفاعی رقومی حاصله، ارتفاع در هر ۱۰۰۰ متر جهت محاسبه شیب به دست آمده است (شکل ۳).



شکل ۳: تغییرات شیب و انطباق آن با تغییرات شکل مجرای رود گادر

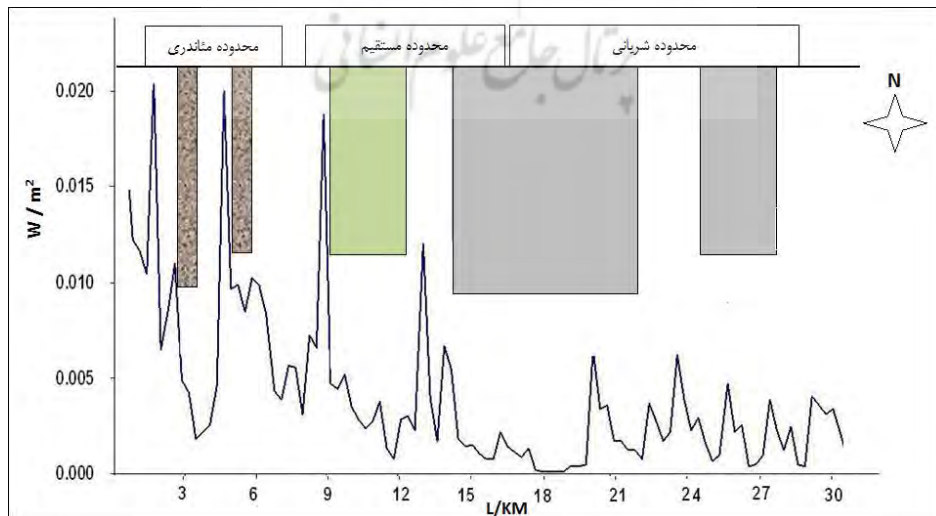
بررسی شیب نشان می‌دهد که شیب در محدوده مئاندری ۲/۵ درصد، در محدوده مستقیم ۰/۵۸ درصد و در محدوده شریانی ۰/۸ درصد است. انطباق شکل مجرا با تغییرات شیب نشان دهنده آن است که در محدوده بازه مستقیم بعد از هر کاهشی که در شیب انجام می‌گیرد نیمکت شنی شکل گرفته و رودخانه شکل مستقیم تا شریانی پیدا می‌کند. در محدوده‌ای که مجرا به شکل آنابرنج تبدیل می‌شود شیب نسبت به بالا دست جریان به حداقل می‌رسد و تغییر محسوسی خواهد کرد. در انتها که شیب کاهش خیلی زیادی پیدا می‌کند رودخانه به شکل شریانی تغییر می‌یابد (شکل ۴).



شکل ۴: وجود پشته‌های سنی در رود گادر

استخراج توان جریان

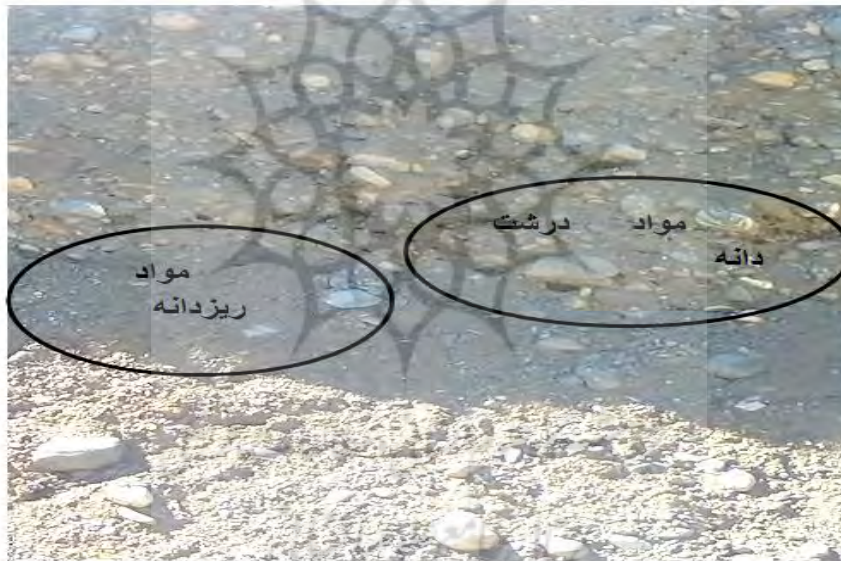
توان جریان برای هر ۱۰۰۰ متر محاسبه و سپس میانگین آن به میزان ۵/۴ وات بر متر مربع به عنوان توان جریان کل رودخانه در نظر گرفته شد. با توجه به تحقیقات انجام شده میزان توان جریان در تمام بازه‌ها یکسان نبوده بلکه در بازه ارتفاعات کپله شین تا روستای بیم‌ضرته توان جریان بیش‌تر از بازه‌های روستای بیم‌ضرته تا روستای پوش‌آباد و پوش‌آباد تا روستای دربند می‌باشد که دلیل آن بیش‌تر بودن شیب در بازه بالا دست (ارتفاعات کپله شین تا روستای بیم‌ضرته) است. شکل ۴ به روشنی این افزایش شیب بستر در بازه بالا دست حوضه را نشان می‌دهد. برای محاسبه توان جریان طول مجرا در سراسر نیمرخ طولی رودخانه بایستی ثابت باشد (ویکرنٹ و همکاران، ۲۰۰۶، ۳۰۱). بر این اساس در تمام متغیرهای محاسبه توان جریان طول ثابت در نظر گرفته شد. ابتدا نیمرخ طولی به قطعات ۱۰۰۰ متری تقسیم و در انتهای هرکدام از قطعات یک نقطه قرار داده شد. برای این نقاط متغیرهای توان جریان از جمله شیب و دبی محاسبه گردید، سپس نتایج حاصل از توان جریان با تغییرات مورفولوژی که به صورت پیوسته بوده بر روی پلات ترسیم شده است. انطباق شکل مجرا و توان جریان نشان‌دهنده این است که با کاهش توان جریان به شکل مجرا رودخانه گادر شریانی می‌گردد (شکل ۵).



شکل ۵: تغییرات توان جریان و انطباق آن با تغییرات شکل مجرای رودخانه گادر

میزان و اندازه ذرات بستر و کناره‌ها

بر اساس نمونه رسوبات برداشت شده در مسیر رودخانه که در فواصل دو تا سه کیلومتری از یکدیگر و از ارتفاعات کیله شین تا روستای دربند صورت گرفته، به تدریج اندازه ذرات بستر از بالادست به طرف پایین دست از مواد بستری درشت‌دانه که عموم قلوه‌سنگ، شن، ماسه و به میزان کمی هم رس تشکیل شده، به مواد بستری ریزدانه تغییر می‌یابد. رسوبات کف بستر از روستای بیمضرته تا روستای پوش آباد شامل شن، ماسه و قلوه‌سنگ بوده که در نواحی غربی در بعضی نقاط با تخته سنگ همراه هستند و عمدتاً از بخش‌های بالای حوضه آبریز و آبراهه‌های فرعی به رودخانه گادر وارد می‌شوند. از روستای پوش آباد تا روستای دربند رسوبات بستر از شن و ماسه و در بعضی موارد هم سیلت در آن‌ها دیده می‌شود تشکیل شده است و در ادامه این بستر به طرف پایین تر عمدتاً رسوبات ریزدانه رسی، سیلنتی دیده می‌شود. شکل مقطع عرضی رودخانه در این بخش به صورت مقطع عرض مستطیل شکل با دیواره‌های عمودی به ارتفاع ۱/۵ تا ۴ متر است که بافت مواد ریزدانه و درشت‌دانه به خوبی مشخص است (شکل ۶). شایان ذکر است که اندازه قطر بزرگ قلوه‌سنگ‌های تشکیل دهنده بستر خشک رودخانه گادر که بیش تر در مواقع سیلابی به زیر آب می‌روند بین ۸ تا ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۷). همچنین اندازه قطر قلوه‌سنگ‌های موجود در بستر فعلی رودخانه ضخامتی بین ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متر دارند (شکل ۸).



شکل ۶: بافت مواد درشت‌دانه و ریزدانه دیواره‌های گادر در حدفاصل روستای پوش آباد تا روستای دربند



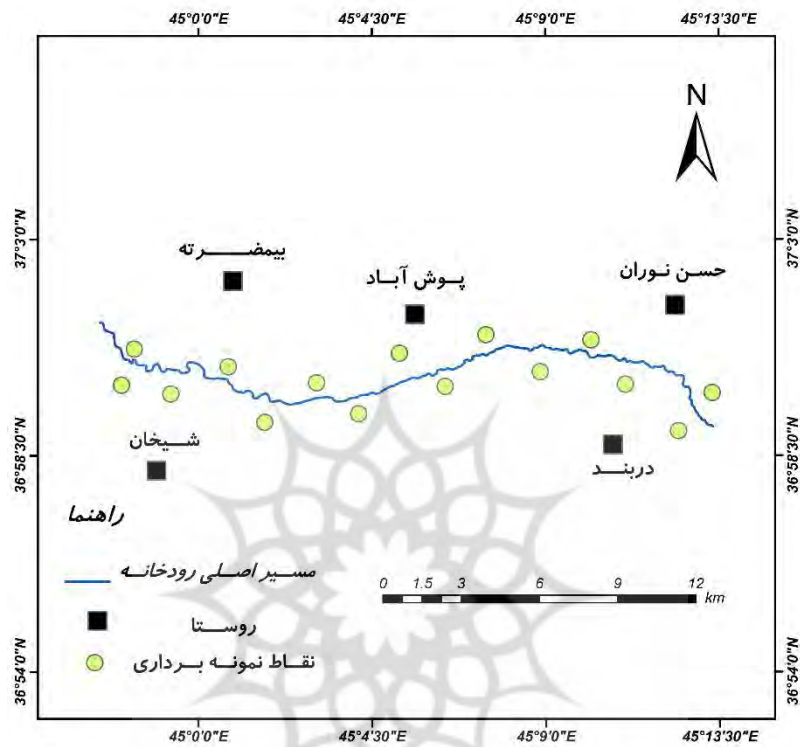
شکل ۷: بافت قلوه‌سنگ‌های تشکیل‌دهنده بستر خشک رودخانه گادر



شکل ۸: قلوه‌سنگ‌های تشکیل‌دهنده بستر فعلی رودخانه گادر در نزدیکی روستای بیمضرته

مواد بستر و کناره رودخانه نقش مؤثری در تغییرات ریخت شناسی رودخانه ایفا می‌کنند. رودخانه‌هایی با مواد بستر ریز دانه نسبت به تغییرات آبدهی و بار رسوبی حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهند (پترسون^۱، ۲۰۰۶). در بعضی رودخانه‌های مناطق نیمه کوهستانی و حوضه‌هایی که دارای بار کف زیاد و درشت دانه هستند مواد آبرفتی شنی و درشت دانه به صورت یک لایه ضخیم یا سطحی روی سنگ کف یا لایه تحت الارضی ماسه‌ای و ریز دانه قرار دارند که در مواقع پر آبی به صورت یک لایه مقاوم در برابر آب شستگی عمل کرده و میزان بارکف را محدود می‌کند (هی، ۱۹۸۶: ۱۳). این پدیده سبب ایجاد فرسایش در دیواره‌های کانال جریان و افزایش نسبت عرض به عمق رودخانه شده که تغییرات عرضی رودخانه را افزایش می‌دهد. در شکل ۹ جهت محاسبه میزان و اندازه ذرات بستر و کناره‌ها ۱۵ نمونه در مقاطع دو تا سه کیلومتری از بستر و دیواره راست و چپ رودخانه برداشت شده است که محل برداشت نمونه‌ها و تعداد آنها بر اساس تغییرات اندازه ذرات بستر و کناره‌ها در طول مسیر رودخانه می‌باشد و در آزمایشگاه قلوه‌سنگ‌ها از نمونه‌ها جدا شد

و با استفاده از دستگاه شیکر با الک‌های با قطرهای متفاوت آزمایش دانه بندی بر روی نمونه‌ها انجام گردید و سپس با استفاده از نرم‌افزار GRADESTAT تجزیه و تحلیل شدند. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود بیش از ۹۵ درصد رسوبات درشت دانه می‌باشند که علت آن را نیز می‌توان دبی زیاد رودخانه برای حمل رسوبات درشت دانه و چسبندگی بودن بیش‌تر سازندهای مسیر رودخانه که مستعد تشکیل رسوبات درشت دانه هستند، دانست.



شکل ۹: موقعیت نقاط نمونه برداری شده رودخانه گادر

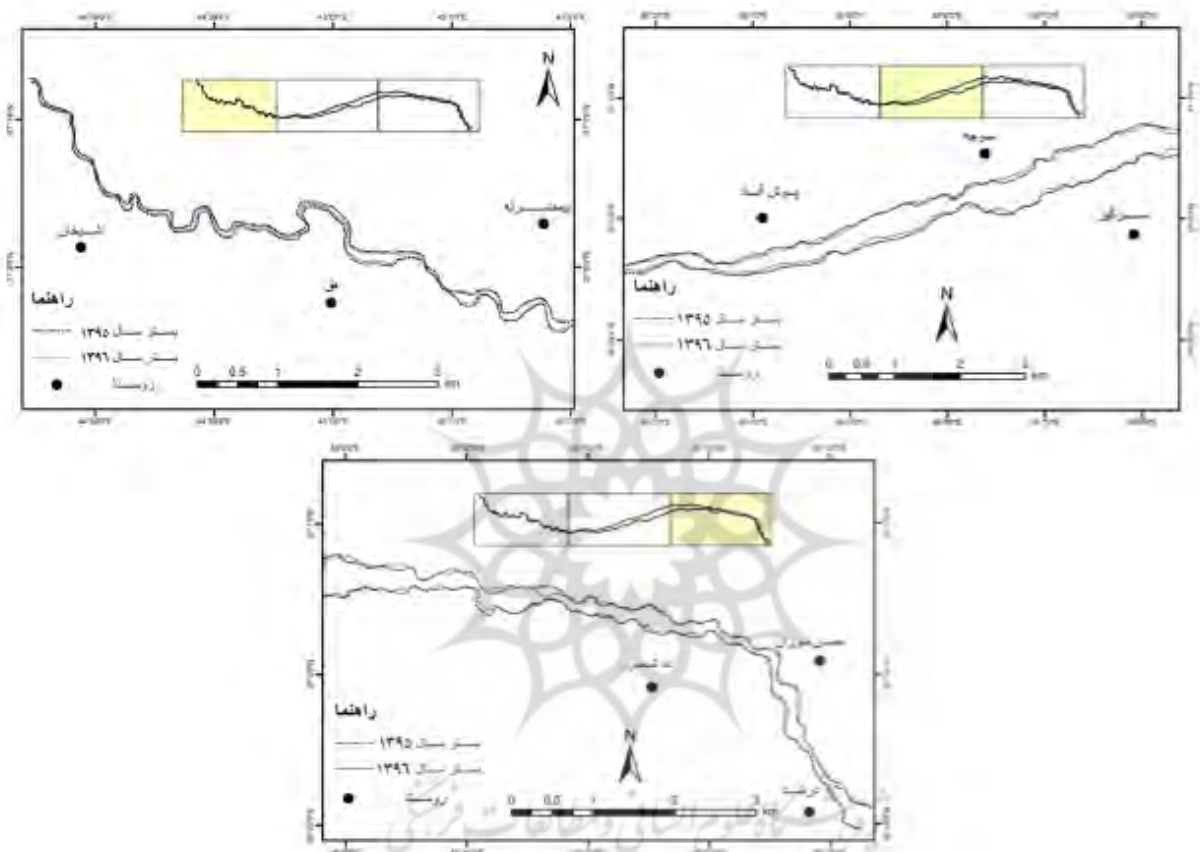
جدول ۲: مقادیر اندازه گیری شده از نمونه رسوب‌های مسیر رودخانه گادر با استفاده از نرم‌افزار GRADESTAT

توزیع اندازه بافت نمونه‌ها	ملاحظات کفیدگی	کفیدگی	ملاحظات کج شدگی	کج شدگی	ملاحظات جـور جـور شدگی	ملاحظات میانگین قطر ذرات	میانگین	D _{۱۰}	D _{۵۰}	D _{۹۰}	محل برداشت	شماره نمونه	توزیع اندازه بافت نمونه‌ها		
													گل	ماسه	تن
-/۲	۶۳/۲	۳۶/۶	۹۶/۴	۳/۲	خوب	تن ریزدانه	۲۲۲۴/۷	۶۸۹۳/۱	۴۰۲۷/۸	۳۶۵/۵	دیواره راست	۱	۹۶/۴	۳۶/۶	۶۳/۲
-/۱	۹۶/۴	۳/۵	۹۶/۴	۱/۴	خوب	تن ریزدانه	۳۵۶۰/۲	۴۱۵۶/۲	۳۴۸۹/۴	۲۹۷۸/۱	دیواره راست	۲	۹۶/۴	۳/۵	۹۶/۴
-/۳	۹۵/۱	۴/۶	۹۵/۱	۱/۳	متوسط	تن ریزدانه	۲۵۲۰/۱	۳۱۰۳/۲	۳۴۵۴/۳	۲۹۵۳/۸	دیواره راست	۳	۹۵/۱	۴/۶	۹۵/۱
-/۱	۹۱/۸	۸/۱	۹۱/۸	۱/۵	متوسط	تن ریزدانه	۲۶۲۴/۵	۳۲۷۲/۳	۳۶۹۳/۲	۲۸۵۹/۸	دیواره راست	۴	۹۱/۸	۸/۱	۹۱/۸
۰	۹۲/۶	۷/۴	۹۲/۶	۱/۵	متوسط	تن ریزدانه	۳۷۱۳/۱	۷۲۹۰/۳	۳۸۴۵/۷	۲۸۹۶/۳	دیواره چپ	۵	۹۲/۶	۷/۴	۹۲/۶
۰	۹۱	۹۱	۹۱	۱/۷	متوسط	ماسه درشت	۱۹۸۶/۲	۲۰۴۳/۱	۲۱۷۴/۶	۲۸۲۶/۵	دیواره چپ	۶	۹۱	۹۱	۹۱
-/۲	۹۷/۵	۲/۳	۹۷/۵	۱/۹	متوسط	ماسه درشت	۱۸۲۶/۴	۱۷۹۴/۷	۸۲۰/۲	۳۹۲/۵	دیواره چپ	۷	۹۷/۵	۲/۳	۹۷/۵
-/۴	۱۷/۶	۸۲	۱۷/۶	۱/۹	متوسط	تن ریزدانه	۲۸۲۷/۳	۳۱۳۵/۲	۲۵۷۷/۵	۹۸۳/۲	بستر	۸	۸۲	۱۷/۶	۱۷/۶
-/۱	۸۶/۹	۱۳	۸۶/۹	۱/۶	ضعیف	تن ریزدانه	۲۳۰۴/۹	۷۰۲۱/۳	۴۲۴۷/۵	۱۷۱۱/۲	بستر	۹	۸۶/۹	۱۳	۸۶/۹
-/۱	۸۷	۱۲/۹	۸۷	۱/۸	متوسط	تن درشت	۴۴۶۰/۲	۷۰۲۳/۵	۴۶۲۱/۴	۹۳۶/۷	بستر	۱۰	۸۷	۱۲/۹	۸۷
-/۲	۱۷/۸	۸۲	۱۷/۸	۲/۵	متوسط	ماسه درشت	۱۰۱۰/۲	۲۷۵۵/۶	۱۸۶/۸	۳۸۳/۲	بستر	۱۱	۱۷/۸	۸۲	۱۷/۸
-/۱	۹۸	۱/۹	۹۸	۱/۵	متوسط	تن درشت	۴۵۴۸/۲	۷۲۴۱/۳	۴۴۹۵/۲	۲۸۸۹/۲	بستر	۱۲	۹۸	۱/۹	۹۸
-/۹	۱۰/۱	۸۹	۱۰/۱	۱/۸	ضعیف	ماسه خیلی درشت	۱۹۴۰/۴	۲۰۲۳/۵	۱۴۴۶/۲	۱۴۰۰	بستر	۱۳	۱۰/۱	۸۹	۱۰/۱
-/۱	۸۲	۱۷/۹	۸۲	۲/۴	ضعیف	تن ریزدانه	۲۷۵۶/۲	۷۰۵۵/۸	۳۷۷۴/۲	۷۴۹/۴	بستر	۱۴	۸۲	۱۷/۹	۸۲
-/۴	۸۳	۱۶/۶	۸۳	۲/۴	ضعیف	تن ریزدانه	۲۷۹۳/۴	۶۶۹۶/۸	۴۰۳۳/۵	۷۱۴/۵	بستر	۱۵	۸۳	۱۶/۶	۸۳

میزان جا به جایی جانبی

برای به دست آوردن میزان جا به جایی در ابتدا مسیر رودخانه گادر قبل از سیلاب در سال ۱۳۹۵ و بعد از رخداد سیلاب در ۲۵ فروردین ماه سال ۱۳۹۶ با استفاده از عکس هوایی و تصاویر ماهواره‌ای لندست رقومی گردید و سپس میزان تغییرات و جا به جایی بستر رودخانه بعد از سیل مشخص گردید (شکل ۱۰). که جهت بررسی ارتباط بین نوع رسوبات و سازندهای بستر، کناره و تغییرات مورفولوژیکی رودخانه در محدوده مطالعاتی جدول ۳ تهیه گردید. بر اساس شکل ۱۱ و جدول ۳ ملاحظه می شود در مقاطعی که جنس رسوبات بستر و کناره رودخانه و دره‌ای که رودخانه در آن جریان دارد از نوع فرسایش پذیری بوده (نظیر آبرفت، شیل، ماسه سنگ و رسوبات مخروط افکنه‌ای) عرض بستر رودخانه به دنبال سیل افزایش داشته که نمونه آن در مقطع رو ستای پوش آباد تا رو ستای دربند قابل مشاهده است (بازه سوم). در این مقطع محور رودخانه قبل از سیل در سال ۱۳۹۵ از ساحل راست به طرف ساحل چپ بعد از سیلاب کاتاستروف در سال ۱۳۹۶ جا به جا شده که در بیش تر طول مسیر این مقطع حدود ۱۰ الی ۱۵ متر جا به جایی دیده می شود. در بازه‌هایی که جنس رسوبات بستر و کناره رودخانه از نوع سازندهای مقاوم به فرسایش می باشد (نظیر سازندهای آهکی) تغییرات رودخانه‌ای کم تر یا تغییرات بسیار کم بوده است مانند مقطع بازه اول که با استفاده از مقایسه عکس هوایی و تصاویر ماهواره‌ای

سواحل چپ و راست جا به جایی خیلی کمی داشته است به ویژه این که مقطع کوه ستانی بوده و قسمتی از محدوده رودخانه در درون دره محاط شده است، بنابراین تغییرات بسیار کم رودخانه بعد از سیل در این مقطع تابع تغییرات دره می باشد. هم چنین میزان تغییرات بستر رودخانه بر اثر سیلاب کاتاستروف ۲۵ فروردین ماه سال ۱۳۹۶ در مقاطع روستای بیمضرته تا روستای پوش آباد (بازه دوم) با توجه به فرسایش پذیر بودن سازندها زیاد بوده، هر چند که از لحاظ جا به جایی قوسها تغییرات چندانی نداشته است.

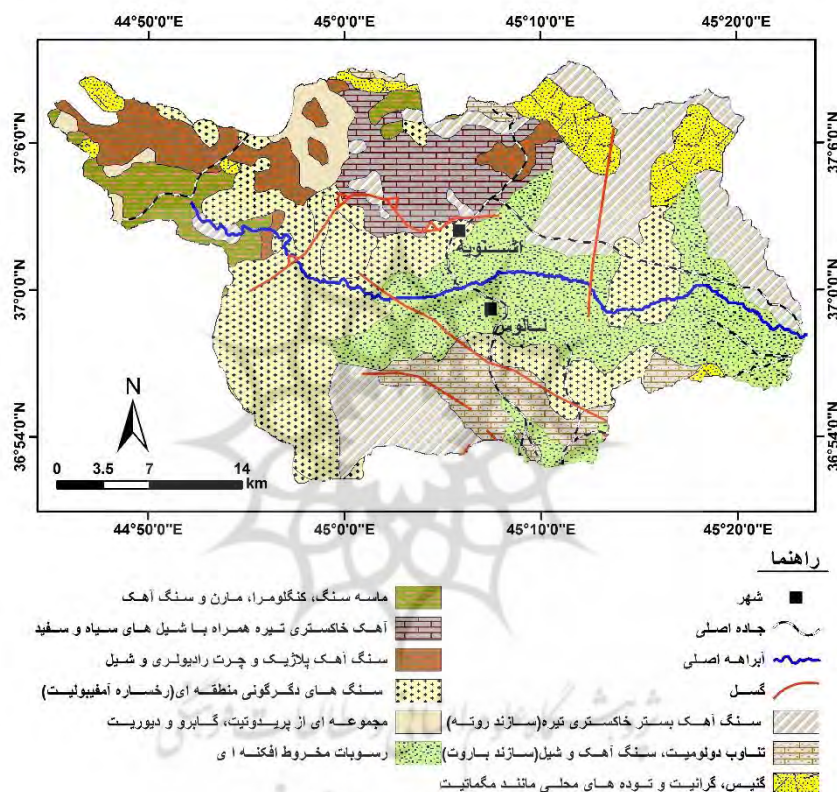


شکل ۱۰: میزان تغییرات و جا به جایی بستر رودخانه در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۶

جدول ۳: بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی رودخانه و نوع سازندهای بستر و کناره رود گادر

نام بازه	میانگین تغییرات عرض رودخانه (متر) بین سالهای		میزان تغییرات از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۶	نوع تغییرات رخ داده بین سالهای		جنس مصالح بستر و کنارهها	
	۱۳۹۵	۱۳۹۶		۱۳۹۵	۱۳۹۶	بستر	کنارهها
ارتفاعات کپله شین تا روستای بیمضرته	۲۸	۳۱	۳	جابه جایی محور به سمت راست	جابه جایی محور به سمت چپ	آبرفت	آهک، ماسه سنگ، کنگلومرا

روستای بیمضرته تا روستای پوش آباد	۳۴/۵	۸۰	۴۵/۵	جابه‌جایی محور به سمت راست	جابه‌جایی محور به سمت چپ	آبرفت	آهک، شیل، دولومیت
روستای پوش آباد تا روستای دربند	۴۰	۷۲	۳۲	جابه‌جایی محور به سمت راست	جابه‌جایی محور به سمت چپ	آبرفت	آهک، دولومیت، گنیس، ماسه سنگ

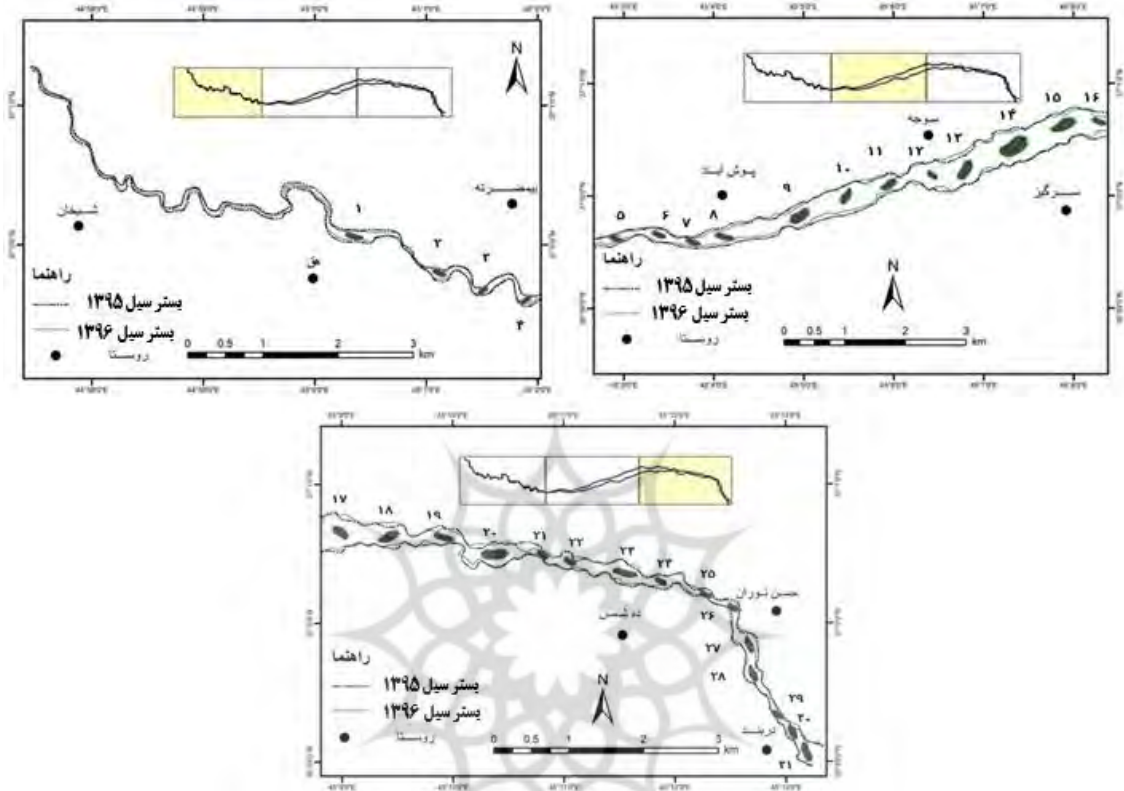


شکل ۱۱: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد پژوهش

نسبت طول جزایر به پهنای مجرا و میزان رشد عمودی جزایر

نخستین مرحله برای شکل‌گیری جزایر ته‌نشینی رسوبات در داخل مجاری می‌باشد. پوشش متوالی بر روی این اشکال با گیاهان شروع شده سپس جگن، درختان بید و گز در ریشه آن‌ها رشد می‌کند. محدوده‌های دارای درخت قدیمی‌تر و دارای پایداری و بقای زیادی می‌باشند. به تدریج مواد ریز دانه در کناره و پشت گیاهان افزایش می‌یابد و رشد آن‌ها سریع‌تر شده و فضای بیشتری را اشغال می‌کنند. قطعات کوچک شکل‌گرفته و مانعی برای حرکت سریع آب و رسوب بالا دست می‌شوند که نهایتاً به تسریع شکل‌گیری جزایر کمک می‌کند. وجود پوشش متفاوت نشان‌دهنده شکل‌گیری این جزایر در طول زمان و توسعه آن‌ها است. یکی از عوامل گسترش و شکل‌گیری جزایر به هم پیوستن خود آن‌ها در داخل یک توده بزرگ‌تر می‌باشد. جهت اندازه‌گیری نسبت طول جزایر به پهنای مجرا با توجه به عکس‌های هوایی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ که در شکل ۱۲ نشان داده است در ابتدا جزایر موجود شناسایی و سپس در جدول ۴ اندازه‌گیری شدند. این جزایر در بازه‌های شریانی و مستقیم به دلیل پهنای بیش‌تر از بازه‌های دیگر رشد بیش‌تری داشته‌اند و در بازه مئاندری واقع در بین ارتفاعات کیله شین تا روستای بیمضرته رشد کمتری داشته است. به همان ترتیب که توسعه جزایر ادامه می‌یابد

قسمت خارجی کرانه‌ها شسته شو یافته جریان به طرف کرانه‌ها حرکت کرده که نتیجه آن به وجود آمدن یک مجرای جداگانه که به طور جانبی فعال می‌باشد. به تدریج که زاویه بین جهت جریان اصلی از جزایر فاصله می‌گیرد جریان بیشتر به کناره‌ها هدایت می‌شود. این وضعیت منجر به انباشت رسوبات بر روی جزایر و توسعه جانبی و عمودی آن‌ها می‌گردد.



شکل ۱۲: شناسایی و اندازه گیری نسبت طول جزایر به پهنای مجرا در رودخانه گادر

جدول ۴: اندازه گیری طول جزایر در رود گادر

بازه	شماره جزایر	طول جزایر (متر)
بازه اول	۱	۱۸
	۲	۲۷
	۳	۴۲
	۴	۲۱
بازه دوم	۵	۶۵
	۶	۷۴
	۷	۴۲
	۸	۴۳
	۹	۶۹
	۱۰	۵۰
	۱۱	۴۱
	۱۲	۱۷
	۱۳	۷۲
	۱۴	۱۳۱

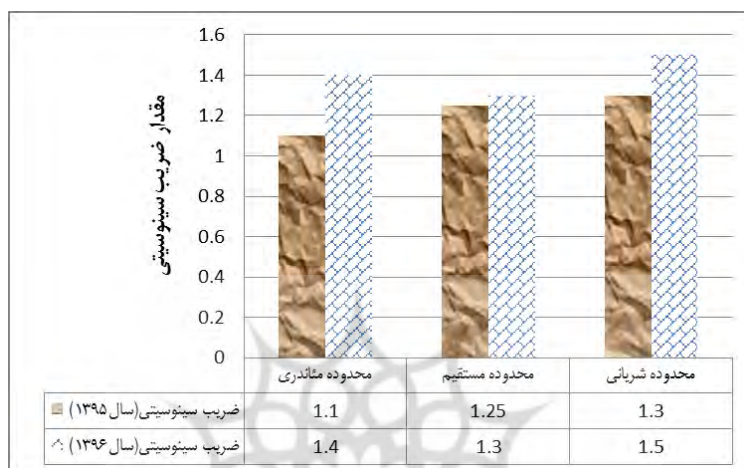
۶۹	۱۵	بازه سوم
۳۲	۱۶	
۴۷	۱۷	
۵۳	۱۸	
۵۶	۱۹	
۸۲	۲۰	
۲۵	۲۱	
۱۷	۲۲	
۳۴	۲۳	
۲۰	۲۴	
۲۲	۲۵	
۲۷	۲۶	
۳۱	۲۷	
۳۷	۲۸	
۱۹	۲۹	
۲۴	۳۰	
۴۲	۳۱	

سینوسیتی مجرا

با توجه به جدول ۵ رودخانه گادر در دو دوره زمانی قبل و بعد از وقوع سیل مورد بررسی در کلاس‌های پیچان رودی و سینوسی قرار دارد. به طوری که در سال ۱۳۹۵ بازه‌های دوم و سوم در کلاس رودخانه‌های پیچان رودی و بازه اول در کلاس رودخانه‌های سینوسی قرار دارد. چنانچه در سال ۱۳۹۶ هم بازه دوم و سوم در کلاس رودخانه پیچان رودی بودند ولی بازه اول همچنان در کلاس رودخانه سینوسی قرار دارد. هم چنین میزان ضریب سینوسیتی در دو بازه دوم و سوم در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۵ افزایش پیدا کرده است و این افزایش ضریب سینوسیتی در سال ۱۳۹۶ بیان‌گر این موضوع است که مسیر رودخانه پیچ و خم دار شده است. شکل ۱۲ تغییرات ضریب سینوسیتی رودخانه گادر را در دو دوره زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد. در دوره قبل سیل در بازه اول بیش‌ترین میزان ضریب خمیدگی ۱/۸ بوده در حالی که همین بازه بعد از وقوع سیل بالاترین میزان ضریب خمیدگی ۱/۴ بوده و این نشان دهنده تغییرات و حذف تعدادی کمی از پیچان‌رودها در این بازه می‌باشد. هم چنین بیش‌ترین میزان ضریب خمیدگی بعد از سیل به میزان ۲/۶ در بازه دوم وجود داشته و در دوره قبل از رخداد سیل نیز ماکزیمم بیش‌ترین تعداد ضریب خمیدگی در بازه دوم به میزان ۲/۳ بوده است. تغییرات ضریب خمیدگی قبل از سیل بین ۱/۰۴ تا ۲/۳ در نوسان بوده در حالی که این میزان بعد از سیل بین ۱/۰۵ تا ۲/۶ در نوسان بوده است. همان‌طور که در شکل ۱۳ نیز مشاهده می‌شود نوسان و تغییرات ضریب خمیدگی رودخانه گادر در بازه اول کمتر بوده که علت آن در بازه اول کوهستانی بوده مسیر رودخانه می‌باشد. در بازه دوم و سوم میزان ضریب خمیدگی بعد از سیلاب نسبت به دوره قبل از سیل افزایش پیدا کرده و این نشان دهنده افزایش پیچان‌رودها در این دو بازه و در نتیجه تغییر در مورفولوژی رودخانه در این بازه‌ها می‌باشد.

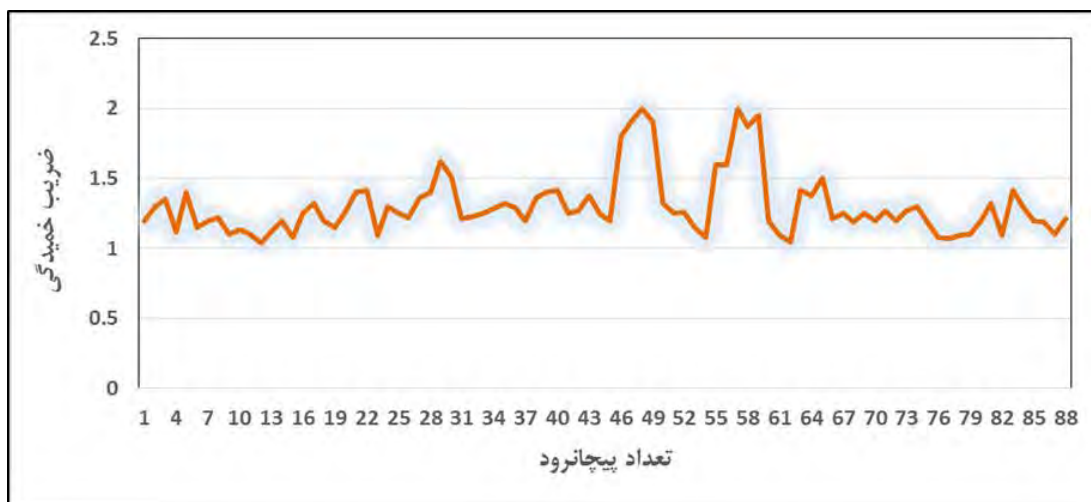
جدول ۵: تقسیم بندی رودخانه‌ها بر حسب ضریب سینوسی

ضریب سینوسی	۱ - ۱/۰۵	۱/۰۶ - ۱/۲۵	۱/۲۵ - ۲	> ۲
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچان رودی	پیچان رودی شدید

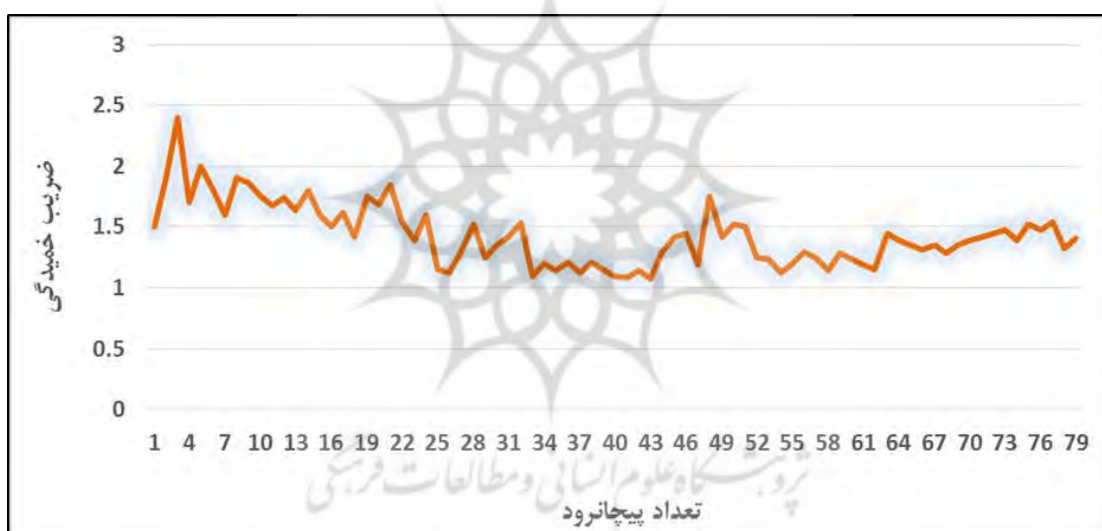


شکل ۱۳: میانگین تغییرات ضریب سینوسی رودخانه گادر در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

هم چنین با مقایسه اشکال ۱۴ و ۱۵ که نشان دهنده نوسانات ضریب سینوسی رودخانه گادر در دو دوره زمانی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ هـ هستند به خوبی مشخص می شود که در سال ۱۳۹۵ در محدوده مائندری (بازه اول) نوسانات زیادی در ضریب سینوسی رودخانه وجود نداشته است. در حالی که نوسانات ضریب سینوسی در بازه شریانی از دیگر بازه‌ها بیش تر بوده است. از طرف دیگر متوسط عرض رودخانه در بازه سوم در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۶ تقریباً دو برابر بوده است و با افزایش عرض رودخانه در همین محدوده تعداد پیچان رودها از ۳۶ پیچان رود در سال ۱۳۹۵ به ۳۰ پیچان رود در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته است اما میزان نوسانات ضریب سینوسی در بین این دو بازه زمانی تغییر چندانی نداشته است که علت آن را می توان شریانی بودن رودخانه، خصوصیات ژنتیکی رودخانه، وجود فرسایش کناری و رسوب گذاری در نظر گرفت هر چند که عوامل دیگری نیز می تواند در این مورد مؤثر باشد که شناسایی این عوامل نیاز به بررسی بیشتری دارد. در بازه اول تغییرات عرض رودخانه همانند نوسانات ضریب سینوسی چندان زیاد نبوده است و تعداد مائندرها نیز در این بازه در دو بازه زمانی تغییرات چندانی نکرده است پس رودخانه در این بازه تغییرات چندانی نداشته است.



شکل ۱۴: نوسانات ضریب سینوسیتهی بیجان رودهای رودخانه گادر در سال ۱۳۹۵



شکل ۱۵: نوسانات ضریب سینوسیتهی بیجان رودهای رودخانه گادر در سال ۱۳۹۶

ارزیابی رودخانه گادر بر اساس طرح نانسون و نایتون

رود گادر با هدف شناخت دقیق رودخانه‌های دارای سیستم‌های آنابرنج^۱ بر اساس مدل نانسون و نایتون ارزیابی شده است. این مدل مجموعه‌ای از پارامترها شامل توان جریان، میزان و اندازه بار بستر، اندازه ذرات کرانه‌ها، میزان جابه‌جایی جانبی، نسبت طول جزایر به پهنای مجرا، میزان به هم پیوستگی و افزایش عمودی جزایر را در نظر می‌گیرد. شکل ۱۶ شماتیک این طرح با پارامترهای آن را نشان می‌دهد و رودخانه گادر نیز در تمامی این پارامترها در قالب طرح موجود سنجیده شده است و در جدول ۶ چهار چوب کلی طرح و حالت غالب برآورده شده پارامترهای محیطی مؤثر در الگوی مجرای گادر گردید. تحلیل پارامترهای جدول ۶ نشان دهنده این است که مجموعه پارامترهای توان جریان و شیب بالا همراه با بار بستر درشت دانه و لیتولوژی مقاوم با متأثر کردن پارامترها منجر به ایجاد و توسعه الگوی مانداری در بازه ارتفاعات کپله شین تا روستای بیمضرته شده‌اند. یکی دیگر از نتایج توسعه الگوی مستقیم در بخش‌هایی از رودخانه گادر

^۱. Anabench

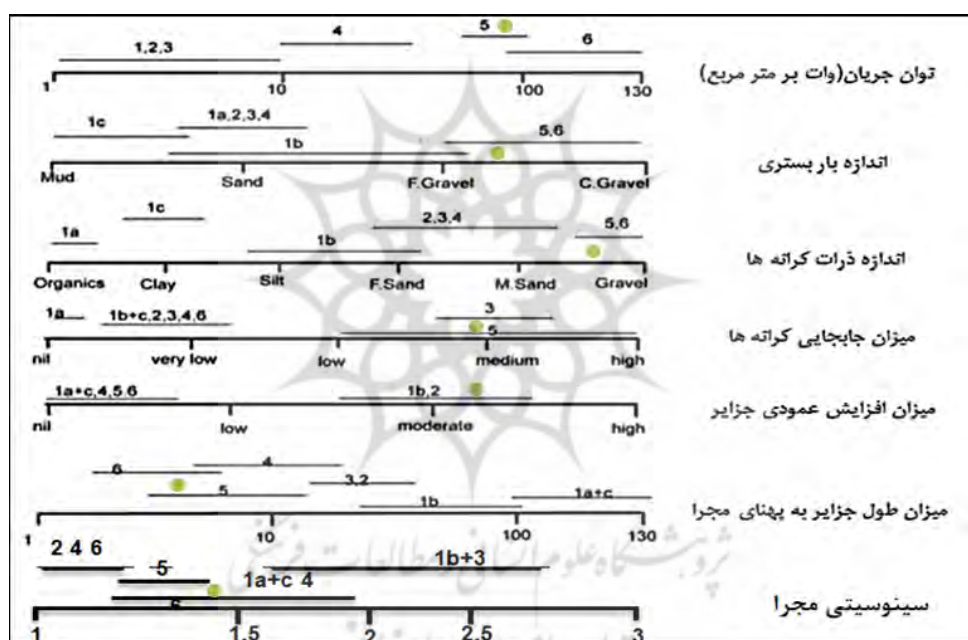
(بازه دوم) متأثر از افزایش مقادیر دبی، افت مقادیر شیب، توان جریان و در ادامه سست شدن لیتولوژی و به تبع آن افزایش شاخص پهنا و نسبت عرض به عمق است. کاهش قابل توجه شیب و نیز ورود به منطقه‌ای با لیتولوژی سست‌تر (بازه سوم) متشکل از رسوبات کواترنری در سطح حوضه کششی دشت پوش آباد همراه با کاهش قابل توجه توان جریان منجر به ته نشینی رسوبات و نیز ایجاد پشته‌های رسوبی شده و سپس در ارتباط با پوشش گیاهی موجود به عنوان عامل جدا شدگی جریان و نیز رشد پوشش بر روی پشته‌ها، زمینه توسعه جزایر و افزایش پهنای مجرا، نسبت عرض به عمق در یک سیستم محلی فراهم کرده است. نتایج ارزیابی برای رودخانه گادر بر اساس این طرح سیستماتیک نشان داد که در پارامترهای مختلف موجود در طرح مجرای مورد مطالعه در دامنه‌های مختلفی قرار گرفت. به این صورت که پارامترهای توان جریان، میزان و اندازه بار بستر، اندازه ذرات کرانه‌ها، میزان جا به جایی جانبی، نسبت طول جزایر به پهنای مجرا، در محدوده نوع شماره پنج و شاخص میزان به هم پیوستگی و افزایش عمودی جزایر و سینوسیته مجرا در محدوده نوع یک قرار گرفت. نتایج تطبیقی بر اساس ارزیابی و نحوه قرار گیری پارامترهای رودخانه گادر در تیپ‌های مختلف طرح بیان‌گر آن است که رودخانه گادر با هر شش نوع رودخانه آنابرنج از منظرهایی دارای شباهت است و در حالت کلی این مجرا با طرح نانسون و نایتون انسجام و مطابقت کامل را ندارند. با این اوصاف به نظر می‌رسد که با نوع پنج هم‌خوانی و شباهت کارکردی بیش‌تری دارد. مقایسه مقادیر پارامترهای گادر بر اساس طرح موجود و نیز شکل از منطقه مذکور به همراه مطالعات میدانی نشان دهنده این مسئله است. بررسی تفسیر این عدم مطابقت، انسجام در ارتباط با عوامل اصلی تأثیر گذار بر رودخانه‌ها و متعاقب آن شرایط محلی پارامترهای مؤثر است. بر اساس مجموعه مطالعات انجام شده در این تحقیق به نظر می‌رسد که نقش محدوده شرایط اقلیمی، لیتولوژی و پوشش گیاهی باعث شده است که الگوی آنابرنج به صورت محلی در بازه‌هایی از مجرای گادر شکل بگیرد که منطقه منجر به ایجاد بالا آمدگی در قسمت بالا دست این حوضه و ایجاد یک حوضه سوبسیدانسی در ادامه آن در دشت پوش آباد تا روستای دربند شده است که متعاقب آن کاهش گرادبان رودخانه، افزایش رسوب گذاری کانال، جا به جایی جریان و جدا شدگی را که علت‌های پیوسته آنابرنج هستند را ایجاد و به دنبال آن این الگو را در این محدوده شکل داده است. در این ارتباط با وجود توان نسبی بالای جریان رودخانه نقش پوشش گیاهی در این بازه بسیار چشمگیر است که به صورت مانع در توسعه آنابرنج و نیز گسترش حاشیه‌ای رسوبات و افزایش پهنای بالا است. در این ارتباط ترکیبات بار بستر، بار معلق و ته نشینی آن در امتداد حاشیه مجرا در شکل پشته‌ها و نیز ترکیبات کرانه‌ها و نسبت بین آن‌ها در ارتباط با سایر عوامل باعث شده است که شاخص جا به جایی جانبی و پهنای مجرا زیاد شوند و پشته‌ها و جزایر نیز دارای فرم خطی باشند. مجموعه این عوامل که به صورت محلی توسعه یافته‌اند، عاملی برای عدم مطابقت و انسجام کامل رودخانه گادر با طرح نانسون و نایتون شده‌اند. در تأیید این شرایط گریگوری و شوم^۱ (۱۹۸۷) نقش خاص تکنونیک را در تنظیم شرایط مکانی را که منجر به آنابرنج شدن می‌شود مورد تأکید قرار داده‌اند (نانسون و نایتون، ۱۹۹۶). در همین ارتباط چارچ^۲ نیز در ۱۹۸۳ نقش ته نشینی بالای رسوبات را به صورت محلی در توسعه آنابرنج مورد تأکید قرار داده است (نانسون و نایتون، ۱۹۹۶). پس وجود شرایط خاص مکانی عاملی در ایجاد الگوی شریانی - آنابرنج در گادر و نیز عامل عدم انطباق آن با طرح نانسون و نایتون شده است.

1. Grigoury & Schumm

2. Charch

جدول ۶: پارامترهای محیطی مؤثر در الگوی مجرای گادر بر اساس مدل نانسون و نایتون

پارامترهای مؤثر	الگوی مناندری	الگوی مستقیم	الگوی شریانی
شیب	زیاد	کم	کم
عرض به عمق	کم	زیاد	خیلی زیاد
شکل مقطع عرضی	تنگ و محدود	نیمه عریض و باز	عریض و باز
توان جریان	زیاد	متوسط	متوسط
دبی	کم	متوسط	زیاد
لیتولوژی	مقاوم	سست	سست
مواد بستر و کناره (اندازه)	درشت‌دانه	درشت‌دانه	درشت‌دانه
سینوسیتی مجرا	زیاد	متوسط	کم



شکل ۱۶: طبقه بندی شماتیکی نانسون و نایتون (۱۹۹۶) برای رودخانه‌های آنابرنج و موقعیت رودخانه گادر در این طرح

نتیجه گیری

مورفولوژی هر سیستم رودخانه‌ای در ارتباط و تحت تأثیر فرایندهای حاکم بر آن از جمله شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، وضعیت فرسایش و رسوب گذاری و نیز خصوصیات زمین شناسی و توپوگرافی محیط رودخانه‌ای و حوضه بالا دست آن است. شکل گیری جزایر آبرفتی یک فرآیند طبیعی است که تحت تأثیر هیدرولوژی و میزان انتقال رسوب در سیستم است که در نتیجه رسوب گذاری مواد درشت‌تر از بار معلق تشکیل می‌شوند. مطالعه نحوه تشکیل جزایر درک اساسی به بررسی روند مورفولوژیکی رودخانه‌ها به ما می‌دهد. عدم توانایی رودخانه برای جا به جایی بار بستر و انباشته شدن آن شکل اولیه جزیره را به وجود می‌آورد و پس از رسوب گذاری بیشتر در جهت طولی و عرضی گسترش می‌یابد. نتایج تحقیق نشان داد در رودخانه گادر جزایر در بازه‌های شریانی و مستقیم (بازه‌های دوم و سوم) به دلیل پهنای بیش‌تر با دارا بودن ۲۷ جزایر نسبت به بازه اول رشد بیش‌تری داشته‌اند و در بازه مناندری (اول) واقع در بین ارتفاعات کپله شین تا روستای بیمضرته با ۴ جزیره دارای رشد کمتری می‌باشد. تغییرات ضریب سینوسیتی در بازه اول نسبت به دو بازه دیگر کمتر بوده به طوری که در دوره قبل سیل بیش‌ترین میزان ضریب خمیدگی ۱/۸ بوده در حالی که همین بازه در دوره بعد از

وقوع سیلاب ۲۵ فروردین ماه ۱۳۹۶ بالاترین میزان ضریب خمیدگی ۱/۴ می‌باشد. هم چنین بیشترین میزان ضریب خمیدگی بعد از سیل به میزان ۲/۶ در بازه دوم وجود داشته و در دوره قبل از رخداد سیل نیز ماکزیمم بیشترین تعداد ضریب خمیدگی در بازه دوم به میزان ۲/۳ بوده است. در بازه سوم که جنس رسوبات بستر و کناره رودخانه و دره‌ای که رودخانه در آن جریان دارد از نوع فرسایش پذیری است و عرض بستر رودخانه زیاد بوده که در بیش‌تر طول مسیر این مقطع حدود ۱۰ الی ۱۵ متر جا به جایی دیده می‌شود ولی در بازه اول تغییرات رودخانه‌ای حدود ۳ متر بوده است بنابراین تغییرات بسیار کم رودخانه در این مقطع تابع تغییرات دره می‌باشد. هم چنین میزان تغییرات بستر رودخانه در مقاطع روستای بیمضرته تا روستای پوش آباد (بازه دوم) با توجه به فرسایش پذیر بودن سازندها زیاد بوده، هر چند که از لحاظ جا به جایی قوس‌ها با حذف ۲ قوس تغییرات چندانی نداشته است. رودخانه با این مدل انسجام و مطابقت کامل را ندارند که این عدم کامل مطابقت، انسجام در ارتباط با عوامل اصلی تأثیرگذار بر رودخانه‌ها و پارامترهای محلی مؤثر است که نقش محدوده شرایط اقلیمی، لیتولوژی موجب شده که الگوی آنابرنج به صورت محلی در محدوده‌هایی از مجرای گادر شکل بگیرد. در کل مجموعه این عوامل که به صورت محلی توسعه یافته‌اند عاملی برای عدم مطابقت و انسجام کامل رودخانه گادر با طرح نانسون و نایتون شده است. نیری ۱۳۹۱ بر اساس مدل نانسون و نایتون به بررسی دینامیک و شکل مجرا در رودخانه مهاباد پرداخته است ولی تا به حال به بررسی تغییرات بستر رودخانه بر اساس مدل نانسون و نایتون پرداخته نشده است در حالی که در این مقاله تمامی عوامل مؤثر بر تغییرات آبراهه بر پایه این مدل بررسی گردیده است.

منابع

- چورلی، ریچارد جی؛ (۱۳۷۹)، ژئومورفولوژی، ترجمه: احمد معتمد، تهران، انتشارات سمت، جلد اول.
- حسین زاده، محمد مهدی؛ (۱۳۸۰)، تجزیه و تحلیل علل تغییر الگوی رودخانه‌های بابل و تالار با تأکید بر مورفولوژی پیچان رودی، رساله دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- رستمی زاد، قاسم، موسوی حرمی، رضا و محبوبی، اسدالله (۱۳۸۶)، شناسایی فرایندهای مؤثر در پیوستگی رسوبات بافتی در رسوبات رودخانه‌ای حوضه آبریز بیداوز - شرق اصفهان، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۳ شماره ۱، صص ۷۵-۸۵.
- سالاری، مهندس؛ (۱۳۹۰)، بررسی تأثیرگذاری مورفودینامیک جریان و زمین ساخت بر مورفولوژی و الگوی آبراهه میانی رودخانه زاب، رساله دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.
- نیری، هادی (۱۳۹۱)، پژوهشی در فرایندهای مؤثر بر شکل‌گیری آدا در رودخانه مهاباد، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۲۹، تابستان ۹.
- نیری، هادی، اوسطی، خالد و عثمانی، پریسا (۱۳۹۶)، ارزیابی تعادل ژئومورفولوژیکی با استفاده از روش‌های رزگن و چهارچوب استیل رود، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۳، صص ۵۴۱-۵۵۶.
- یمانی، مجتبی؛ کامرانی دلیر، حمید؛ باقری، سجاد؛ (۱۳۸۹)، تأثیر مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس غربی)، مجله محیط جغرافیایی، شماره ۱، صص ۱۲-۳۴.
- یمانی، مجتبی و محمد مهدی حسین زاده و احمد نوحه‌گر (۱۳۸۵)، هیدرودینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییر مشخصات هندسی آن، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، دانشگاه تهران، شماره ۵۵، صص ۱۵-۳۳.
- یمانی، مجتبی، مقصودی، مهران، محمدخان، شیرین، مرادی، انور (۱۳۹۴)، طبقه بندی مورفولوژیکی آبراهه رود تلوار بر اساس مدل رزگن و کارایی آن، مجله پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲۳، صص ۱-۱۰.

۲۰.

- یمانی، مجتبی؛ نوحه‌گر، احمد (۱۳۸۴)، بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچان رود و نقش آن در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۱، صص ۳۷-۵۴.
- خیری زاده اروق، منصور، رضایی مقدم، محمد حسین، دانش فراز، رسول و رجبی، معصومه (۱۳۹۷)، تحلیل مورفولوژیکی مجرای رودخانه زربینه رود با استفاده از مدل رزگن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۱، صص ۱۰۱-۱۲۲.

- ∇ Atshumm, (1985), *The investigation of Chanel- reach morphology in two mountain drainage basins, ogontz cake and sandy pond NH, Geomorphology final project, university of Vermont, 15p.*
- *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.*
 - *Goswami, U., Sanna Patgiri. A (1999). River channel changes of the Subansiri in Assam. India. Geomorphology. 30: 11-14.*
 - *Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S. K., Mauger, A.J., (2005) Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia, Remote Sensing of Environment, Vol 99, 159-172.*
 - *Hey R. D, and et al, (1986), River Response to hydrolic structure.*
 - *Lane, E.W. (1955). The importance and Fluvial Morphology in Hydrolic Engineering in River Mechanics. Voll II. Ch _&. For Collins. Colorado. USA.*
 - *Makarte, A t. alB., (1991). Anastomose Rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. Earth -Science Reviews. 53: 149-196.*
 - *Nanson, G.C., Knighton, A.D (1993). Anabranching rivers: Their cause, character and classification: Earth Surface processes and landforms. 21: 217- 239.*
 - *Nanson, G. C., and. Knighton, A. D., (1996) Anabranching river: the cause, character and classification: Earth Surface Processes and Landform. Vol. 21: 217- 239.*
 - *Peterson, A., et al., (2006). Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low-rate active folding (eastern Betic Cordillera, Spain). Geomorphology. I 05: 218- 231.*
 - *Petts, G. E., and Gurnell, T. A. M., (2005) Dams and geomorphology: Research progress and future directions, Geomorphology. Vol. 71: 27-47.*
 - *Smith, (1985). Anastomosing river deposits Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data, Earth Planet. Sci. Lett. 223: 177 - 185.*
 - *Schumm, J.S., (1980). Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. Geomorphology.*
 - *Singh Kang, R., 2011, Effects of Urbanization on Channel Morphology of Three Streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma, Ph.D Thesis, the Faculty of the Graduate College of Oklahoma State University.*
 - *Twidale, R.C., (2015). River patterns and their meaning. Earth-science reviews. 67: 159-218.*
 - *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.*
 - *Zawiejskam, J., Wyzga, B., (2017). Twentieth-century channel change on the Dunajec river southern Poland: pattern causes and controls. Geomorphology. 117: 234-246.*