



بررسی تغییرات الگوی پیچانرودی رودخانه دربادام، شهرستان قوچان

زهرا یونسیان^۱، فریبا همتی^{۲*}، محمدمهدی حسینزاده^۳

۱-دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران

۲-دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳-دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸

چکیده

حوضه آبریز دربادام در شمال استان خراسان رضوی واقع شده است. در این پژوهش جهت بررسی تغییرات زمانی و مکانی بستر رودخانه در منطقه‌ی مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست (سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱) استفاده گردید و تغییرات رودخانه در دوره‌ی زمانی یازده سال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تصاویر ماهواره‌ای لندست در سه محیط Auto CAD، ENVI، Arc Map با توجه به اهداف تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بر این اساس بررسی تغییرات الگوی رودخانه در سه بخش شامل بخش اول (زیرحوضه سمت راست)، بخش دوم (زیرحوضه سمت چپ) و بخش سوم (بخش انتهایی) مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، میانگین زوایای مرکزی قوس‌ها در دوره‌ی زمانی یازده سال، در بخش اول تغییری در الگوی رودخانه رخ نداده اما در بخش دوم و سوم الگوی رودخانه از الگوی مماندیری توسعه‌نیافته به الگوی رودخانه مماندیری توسعه‌یافته تبدیل شده است. میانگین ضرایب خمیدگی نیز در هر سه بخش نشان‌دهنده‌ی الگوی پیچانرودی است. لایه‌های زمین‌شناسی موجود در این منطقه که عمدتاً دارای لیتولوژی مقاوم هستند، ویژگی شیب و توپوگرافی که باعث شده قسمت اعظم این حوضه دارای ساختار کوهستانی باشد، باعث شده است جایجایی عرضی مماندر در منطقه‌ی مورد مطالعه کم باشد.

کلمات کلیدی: الگوی پیچانرودی، ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی، حوضه آبریز دربادام، شمالشرق ایران.

۱-مقدمه

مطالعات مورفولوژی رودخانه و بررسی تغییرات مکانی جریان و مشخص کردن کمربند جابجایی احتمالی پیچانرودی رودخانه یکی از بخش‌های اساسی در مطالعات مهندسی رودخانه و ساماندهی سواحل است. به منظور بررسی تغییرات پیچانرودها و پیش‌بینی حرکت آن‌ها از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. در حال حاضر سه روش توالی زمانی-استنتاج، مدل تجربی، مدل‌سازی به عنوان روش‌های پایه برای بررسی مورفولوژی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (وانگ و همکاران^۱، ۲۰۰۴: ۳۱۲۷). تغییرات الگوی رودخانه یکی از مهم‌ترین مسائل مهندسی رودخانه است که بر فعالیت‌ها و سازه‌های عمرانی حاشیه رودخانه تأثیر می‌گذارد. مطالعه‌ی تغییرات مورفولوژیکی کانال‌های رودخانه‌ای به منظور یافتن راهکارهای کنترلی مناسب برای حل مشکلات دینامیکی این نواحی اهمیت دارد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۶: ۱). خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه بواسطه ویژگی پویای آن همواره دچار تغییرات بوده و این تغییرات می‌تواند به دلیل فرسایش کناری و جابجایی مرزهای رودخانه هر ساله سطح زیادی از اراضی کشاورزی، نواحی مسکونی و تأسیسات ساختمانی را در معرض نابودی و تخریب قرار دهد. از این رو هر گونه تحلیل هیدرولیکی بر روی رودخانه نیازمند دسترسی به مشخصات دقیق مورفولوژیکی مخصوصاً شکل آن رودخانه می‌باشد (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷: ۱). در بسیاری از مناطق جهان پژوهش‌های فراوانی بر روی پدیده مائندری شدن رودخانه‌ها انجام شده و بیش از سی نظریه درباره روند پیچانرودی شدن رودخانه بیان شده است. اما به دلیل پیچیدگی فرآیندهای متفاوت حاکم بر پدیده پیچانرودی شدن که ناشی از تفاوت در ویژگی‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، مورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی، اقلیمی، فیزیوگرافی و بسیاری از عوامل شناخته شده یا ناشناخته دیگر است و همچنین به دلیل تفاوت و تغییر شرایط از رودخانه‌ای به رودخانه دیگر کاربرد نتایج ارائه شده با محدودیت‌های جدی روبه‌رو شده است (جولین^۲، ۲۰۱۸ به نقل از مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۷۶). کلیه اقدامات مهندسی رودخانه در بستر رودخانه‌ها که به منظور بهره‌برداری بیشتر و کاهش خطرات انجام می‌گیرد، مستقیماً موجب دگرگونی شرایط طبیعی رودخانه و تحمیل وضعیتی جدید می‌شود. دگرگون شدن شرایط پایدار رودخانه، فعل و انفعالات جدید و تغییرات متوالی را در مشخصه‌های فیزیکی رودخانه در پی خواهد داشت. مهم‌ترین نقش مطالعات ژئومورفولوژی در چنین رودخانه‌هایی، تعیین کمی و کیفی عکس‌العمل رودخانه و پیش‌بینی روند تغییرات آینده آن می‌باشد. خطرات جدی و جبران‌ناپذیری که جابه‌جایی‌ها و تغییرات رودخانه‌ها ممکن است به دنبال داشته باشند، ضرورت بررسی ژئومورفولوژی آن را در مرحله‌ی مطالعات، قبل از هر گونه اقدامی نمایان می‌سازد. امروزه برخی از اقدامات رایج مهندسی رودخانه‌ها را می‌توان شامل احداث سازه‌های متقاطع مانند پل، بند انحرافی، سد مخزنی، ساخت

و ساز در بستر و کاهش عرض، برداشت مصالح از بستر، احداث سازه‌های جنبی مانند آب‌گیری، پمپاژ، اسکله و بارانداز، تأسیسات پرورش ماهی و تصفیه‌خانه و تغییر مسیر و محدودسازی بستر دانست. هر یک از این اقدامات بدون در نظر گرفتن اثرهای متقابل با رودخانه، منجر به حوادث بحران‌ساز پیش‌بینی نشده خواهد شد (مصباحی، ۱۳۹۱: ۲). بنابراین با توجه به تغییرات هندسی، روند رسوب‌گذاری و اهمیت زیادی که تغییرات مورفولوژیکی رودخانه در سازماندهی، کنترل سیلاب، طراحی سازه‌های خطی (جاده)، هیدرولیکی (پل، سد)، سکونتگاهی و نابودی اراضی کشاورزی بر روی رودخانه و یا حاشیه آنها دارند، لذا آشکارسازی تغییرات مورفولوژیکی این رودخانه ضروری می‌باشد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۲). در ارتباط با این موضوع نیز محققان داخلی و خارجی پژوهش‌های متعددی را انجام داده‌اند که به اختصار به بعضی از آنها اشاره می‌گردد: پیروان و همکاران (۱۳۹۵: ۱۵۲) پژوهشی در زمینه‌ی مورفولوژی رودخانه‌ی قزل‌اوزن سفلی حد فاصل سد استور تا سد منجیل در دو بازه‌ی سنگی و دشت سیلابی در پیوند زمانی ۳۷ ساله بر اساس نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی با بازدیدهای میدانی انجام دادند. نتایج نشان داد که غالب‌ترین حالت فرسایش در انحناهای مثاندر حالت توسعه‌یافتگی است که حدود ۵۶ درصد کل فرسایش در این رودخانه است. طبق مطالعاتی که توسط رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۷: ۸۱) با بررسی پلان قوسی و تنوع در شاخص سینوسی رودخانه‌ی کلیبر چای به این نتیجه رسیدند که شاخص سینوسی برای رودخانه‌ی مذکور حدود ۱ تا ۱/۳ است که در گروه مثانداری قرار می‌گیرد و فرسایش و فرآیندهای رسوبگذاری به علت مثانداری بودن رودخانه با سیل در بهار و پاییز رخ می‌دهد. سلطانی‌گرددفرامرزی و همکاران (۱۳۹۷: ۲۲۵) به بررسی مثاندرهای رودخانه گاماسیاب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتیجه این پژوهش نشان داد که تعداد مثاندر از ۱۵ عدد در سال ۱۹۹۰ به ۴۰ عدد در سال ۲۰۱۳ رسیده است و طول رودخانه از ۵۱ کیلومتر به ۶۰ کیلومتر افزایش یافته است. همچنین زاویه‌ی مرکزی و شعاع پیچانرود از خم‌دار به توسعه‌یافته تبدیل شده است. خوش‌رفتار و همکاران (۱۳۹۸: ۱۵) به بررسی ۹۱ کیلومتر از مسیر رودخانه قزل‌اوزن در شهرستان ماه‌نشان استان زنجان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رودخانه به طور میانگین در هر چهار دوره از انحنای قوس‌های خود کاسته است. همچنین تعداد قوس‌ها در سال ۱۳۷۳ نسبت به سال ۱۳۹۴ افزایش چشمگیری داشته است. رجبی و همکاران (۱۳۹۸: ۲۱) الگوی پیچانرودی رودخانه‌ی آجی‌چای (محدوده‌ی بین بخشایش تا خواجه) را با استفاده از زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که رودخانه در مسیر دارای شیب تقریباً یکنواخت است و عامل توپوگرافی به‌ویژه شیب، عامل اصلی گسترش الگوی پیچانرودی می‌باشد. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۰: ۱۱۹) به مطالعه رفتار و الگوی پیچانرود رودخانه‌ی قره‌سو واقع در استان اردبیل، بازه‌ی مکانی روستای انزاب تا پل سامیان پرداختند. به منظور تعیین الگوی این رودخانه از ضریب خمیدگی (به روش لئوپولد) و نیز زاویه مرکزی (به روش کورنایس) استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که

میانگین ضریب خمیدگی در محدوده‌ی مورد مطالعه برابر ۱/۴۷ است، که بیانگر بالا بودن نسبت پیچ و خم رودخانه است. نتایج مطالعات اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۰: ۱۹) بر روی رودخانه قره‌سو اردبیل (محدوده‌ی پل سامیان تا سد سبلان) نشان داد که رودخانه در طی ۱۹ سال گذشته (از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی) در حدود ۰/۴ متر در سال بالغ شده است. پان^۱ (۲۰۱۳: ۱۴۹) تغییرات حوضه‌ی رودخانه‌ی بانکورا را با استفاده از فن سنجش از دور و نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای لندست در دوره‌های زمانی مختلف، مورد مطالعه قرار داد و شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه از جمله ضریب خمیدگی، تقارن مقطع عرضی دره و نسبت پیچانرودی را از تصاویر ماهواره‌ای استخراج نمود. نتایج نشان داد که شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه در فواصل زمانی مورد بررسی در حال تغییر بوده و این تغییرات در نواحی مختلف متفاوت می‌باشد. رآودس و همکاران^۲ (۲۰۱۶: ۱۷) تغییرات تاریخی در شبکه کانال و پلاتفرم کانال در یک چشم‌انداز مدیریت شده (عوامل طبیعی در مقابل اثرات ناشی از مداخله بشر) را مورد بررسی قرار دادند یافته‌های ایشان نشان داد که انسان‌ها عوامل مؤثری در تغییرات مورفولوژیکی در سیستم‌های رودخانه‌ای در این حوضه به‌شدت مدیریت شده هستند. لانگات و همکاران^۳ (۲۰۱۹: ۹۲) در مطالعه‌ای دینامیک و تحول رودخانه‌ی نانا (طولانی‌ترین رودخانه‌ی کنیا) را بررسی کرده و بیان کرده‌اند که نیروهای حرکتی بالقوه جهت تغییرات مورفولوژیکی رودخانه، شامل: تغییرات رژیم هیدرولوژیکی، شیوه‌های استفاده از زمین‌های بالادست، گرادیان کانال و تغییرات پوشش گیاهی حاشیه‌ی رودخانه است.

با توجه به تغییرات هندسی، روند رسوب‌گذاری و اهمیت زیادی که تغییرات مورفولوژیکی رودخانه در سازماندهی، کنترل سیلاب، طراحی سازه‌های خطی (جاده،...، هیدرولیکی (پل، سد،...، سکونتگاهی و نابودی اراضی کشاورزی بر روی رودخانه و یا حاشیه آنها دارند لذا آشکارسازی تغییرات مورفولوژیکی این رودخانه ضروری است. در بررسی حاضر رودخانه‌ی حوضه‌آبریز دربادام در شمال استان خراسان رضوی جهت تحلیل‌های مورفولوژیکی انتخاب شده است. محدوده‌ی مورد مطالعه این پژوهش به عنوان یک زیر سیستم از کل بزرگ‌تری به نام حوضه‌آبریز درونگر است که نسبت به زمان و مکان به واسطه‌ی عوامل ژئومورفیکی مختلف دچار تغییراتی شده است. بنابراین به منظور آشکارسازی این تغییرات تعیین ضرایب خمیدگی و زوایای مرکزی مسیر جریان رودخانه هدف انجام این پژوهش می‌باشد.

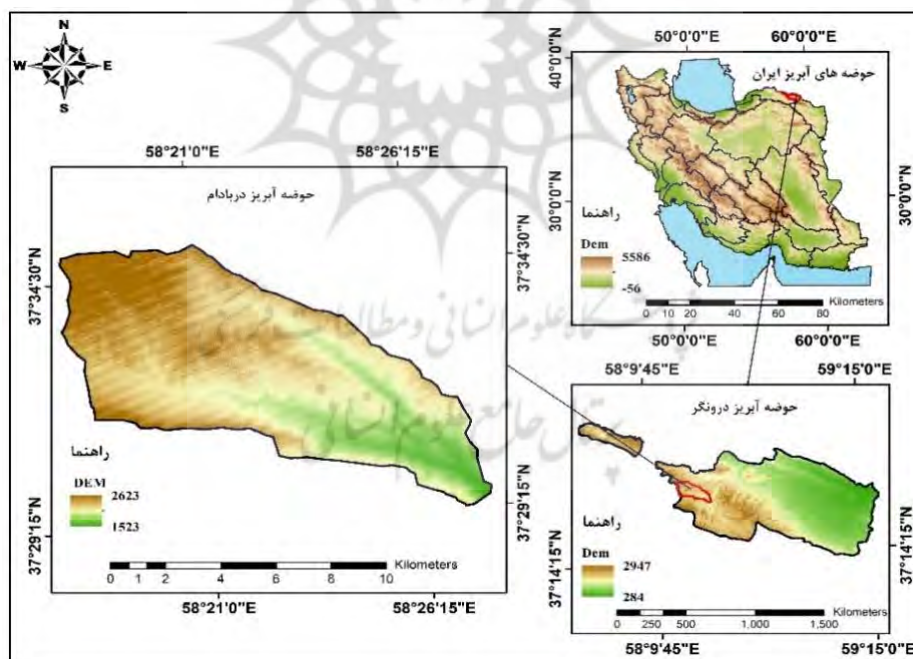
1-Pan.

2-Rhoads et al.

3-Langat et al.

۲- مواد و روش

حوضه آبریز دربادام شمال استان خراسان رضوی واقع شده است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه ۲۹ دقیقه ۵۲ ثانیه تا ۳۸ درجه ۲۸ دقیقه ۱۳ ثانیه طول شمالی بین ۵۸ درجه ۲۶ دقیقه ۰۰ ثانیه تا ۵۸ درجه ۲۷ دقیقه ۸۷ ثانیه عرض شرقی واقع شده است. بلندترین نقطه‌ی حوضه ۲۶۲۳ متر ارتفاع و پست‌ترین نقطه منطقه ۱۵۲۳ متر ارتفاع از سطح دریا دارد. نوع اقلیم آن نیمه‌مرطوب و سرد کوهستانی است و میزان بارش از ۳۵۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر در سال متغیر بوده، همچنین کمترین دما در زمستان ۱۹- درجه سانتی‌گراد و بیشترین درجه حرارت در فصل گرم به ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. پوشش گیاهی غالب منطقه درخت ارس است. این حوضه از لحاظ زمین‌شناسی در ناحیه ساختاری کپه داغ واقع گردیده است. شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دربادام در حوضه‌های آبریز ایران

Figure (1): The geographic location of Darbām catchment in the catchments of Iran

ابتدا بررسی‌های توصیفی و کتابخانه‌ای برای گردآوری آمار و اطلاعات به صورت کمی و کیفی صورت گرفت که این مرحله شامل اطلاعات زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به منطقه‌ی مطالعه می‌باشد. ابزارهای که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت شامل: نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰

(سازمان نقشه‌برداری)، نقشه‌های زمین‌شناسی باجگیران و فاروج با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی)، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ (USGS)، نرم‌افزارهای Excel, Arc Map, Auto CAD, ENVI می‌باشد. اطلاعات مربوط به تصاویر ماهواره‌ای در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول (۱): قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در سال‌های ۲۰۲۱، ۲۰۱۰

Table (1): Spatial resolution of Landsat 7 and 8 satellite images in 2010, 2021

سال	نوع سنجه	تاریخ تصویر برداری	گذر (Patch)	ردیف (Row)	قدرت تفکیک مکانی	
					انعکاسی	حرارتی
۲۰۱۰	Landsat 7	۲۰۱۰	۱۶۰	۳۴	۳۰متر	۶۰متر
۲۰۲۱	Landsat 8	۲۰۲۱	۱۶۰	۳۴	۳۰متر	۱۰۰متر

برای مطالعه و کمی کردن رفتار رودخانه دربادام و تعیین الگو و تغییرات آن در طول زمان از شاخص ضریب خمیدگی و شاخص زاویه‌ی مرکزی استفاده شده است. در ادامه مسیر رودخانه‌ی اصلی با توجه به الگوی جریان رودخانه به سه بازه تقسیم شد و در نهایت مسیر رودخانه با نقشه‌ی زمین‌شناسی، کاربری‌اراضی و شیب منطقه انطباق داده شد و از طریق آن، جنس لایه‌های زمین‌شناسی، نوع کاربری اراضی موجود و مقدار شیب در هر بازه‌های مشخص گردید.

پس از این که تصاویر ماهواره‌ای از سایت USGS تهیه شد، آنها را به محیط نرم‌افزار ENVI وارد نمودیم. تصویر ماهواره‌ای سال لندست ۷ دارای خطای gapfill بود که اصلاح شد. به منظور بارزسازی تصاویر و افزایش تفاوت بین درجات روشنایی پیکسل‌ها که خود به شناسایی بهتر پدیده‌ها منجر می‌شود، عملیات خاصی تحت عنوان افزایش کنتراست تصاویر انجام گردید. با توجه به نیاز به مشاهده‌ی جزئیات بیشتر برای دریافت تغییرات مئاندرها، در محیط نرم‌افزار ENVI، رودخانه‌ی حوضه‌آبریز دربادام در دو تصویر (سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱) رقومی گردید. این عملیات برای تعیین موقعیت هر یک از مئاندرها در مراحل بعد ضرورت دارد. جهت استخراج پارامترهای هندسی رودخانه در نرم‌افزار Auto CAD روی هر یک از قوس‌های رودخانه دایره‌هایی مماس با پیچانرود ترسیم و اندازه‌گیری شد و سپس بر اساس دایره‌های مماس اندازه‌ی طول قوس، طول موج و شعاع انحنای دست آمد و در نهایت پارامترهای زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی در نرم‌افزار Excel اندازه‌گیری و محاسبه شد. روابط مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از:

زاویه مرکزی^۱: کورنایس در سال ۱۹۸۰ برای بیان کمی میزان توسعه و پیشرفت پیچانرودی شدن در رودخانه‌ها با استفاده از زاویه مرکزی، رابطه‌ی ۱ را معرفی نمود.

$$\theta = 180 c/R\pi \quad (1)$$

در این رابطه θ زاویه مرکزی، c انحنای مئاندر، R شعاع دایره‌ای فرضی و π عدد پی می‌باشد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۲). کورنایس برای توصیف مراحل تعادل رودخانه‌های پیچانرودی، زاویه‌ی مرکزی را که زاویه بین دو شعاع متصل به نقاط عطف در دو قوس متوالی می‌باشد، مورد بررسی قرار داده و برای بیان کیفی میزان توسعه و پیشرفت پیچانرودی شدن در رودخانه‌های آبرفتی و تمایز آن‌ها از یکدیگر با استفاده از زاویه مرکزی، تقسیم‌بندی زیر را به شرح جدول ۲ انجام داده است (تلوری ۱۳۷۱ به نقل از مصباحی، ۱۳۹۱: ۹۷).

جدول (۲): انواع رودخانه بر طبق نظر کورنایس (مصباحی، ۱۳۹۱: ۹۷)

Table (2): The types of rivers according to Corneis

شکل رودخانه	زاویه‌ی مرکزی (درجه)
مستقیم	۰
شبه پیچانرودی	۱-۴۱
پیچانرودی توسعه‌نیافته	۴۱-۸۵
پیچانرودی توسعه‌یافته	۸۵-۱۵۸
پیچانرودی زیاد توسعه‌نیافته	۱۵۸-۲۹۶
شاخ‌گاو	>۲۹۶

ضریب خمیدگی^۲: ضریب خمیدگی را می‌توان از نسبت طول آبراهه (Lc) به طول دره‌ی آبراهه (Lv) و یا از نسبت بین شیب دره (Sv) به شیب کانال (Sc) بدست آورد. این محاسبات باید در طول مشابهی از دره رودخانه صورت گیرد (چورلی و همکاران، ۱۹۸۵).

$$p \cong \frac{Lc}{Lv} \cong \frac{Sv}{Sc} \quad (2)$$

که Lc برابر با طول کانال، Lv برابر با طول دره، Sv معادل شیب دره و Sc نیز معادل شیب کانال است. براساس معیار ولفرت^۳ در مورد تقسیم‌بندی رودخانه‌ها بر حسب میزان ضریب پیچشی، چهار نوع الگوی رودخانه معرفی شده است. این تقسیم‌بندی در جدول ۳ نشان داده شده است (ولفرت ۲۰۰۱ به نقل از مصباحی، ۱۳۹۱: ۹۶).

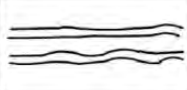



1- Central angle

2- Sinusity

3- Wolfert

جدول (۳): تقسیم‌بندی رودخانه بر حسب ضریب خمیدگی (ولفرت به نقل از مصباحی، ۱۳۹۱: ۹۶)

Table (3): River segmentation by bending coefficient

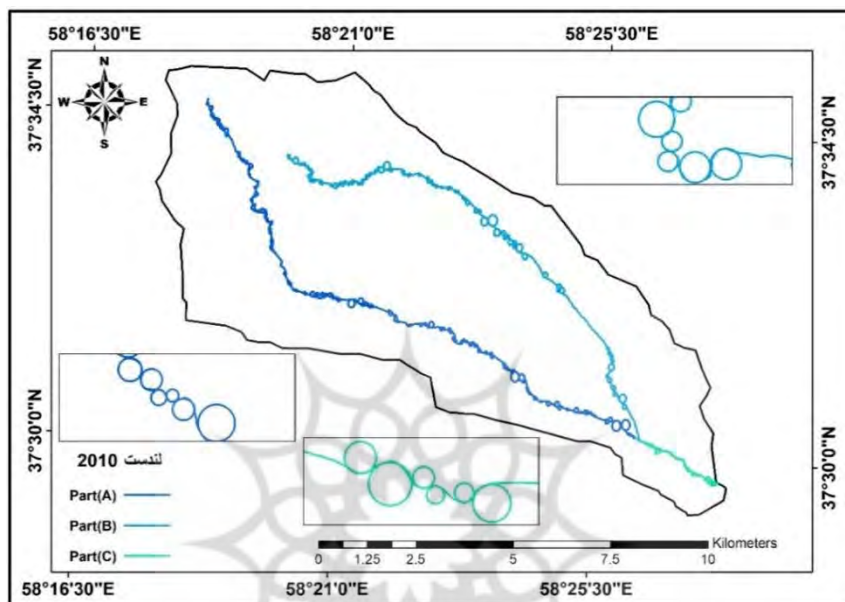
ضریب پیچشی	۱-۱/۰۵	۱/۰۶-۱/۲۵	۱/۲۵-۲	> ۲
شمای رودخانه				
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچانرودی	پیچانرودی شدید

۳- یافته‌ها و بحث

رودخانه دربادام از دو شاخه اصلی تشکیل شده که در بخش انتهایی حوضه به یکدیگر متصل شده و رودخانه دربادام را تشکیل داده است. بر این اساس بررسی تغییرات الگوی رودخانه در سه بخش شامل بخش اول (زیرحوضه سمت راست)، بخش دوم (زیرحوضه سمت چپ) و بخش سوم (بخش انتهایی) مورد مطالعه قرار گرفت. در هر یک از بخش‌ها منطبق بر قوس‌های رودخانه در دو دوره‌ی زمانی، داپیری ترسیم گردید که مبنای تحلیل در شاخص زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی قرار گرفت. شکل ۲ و ۳ دایره‌های رسم شده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

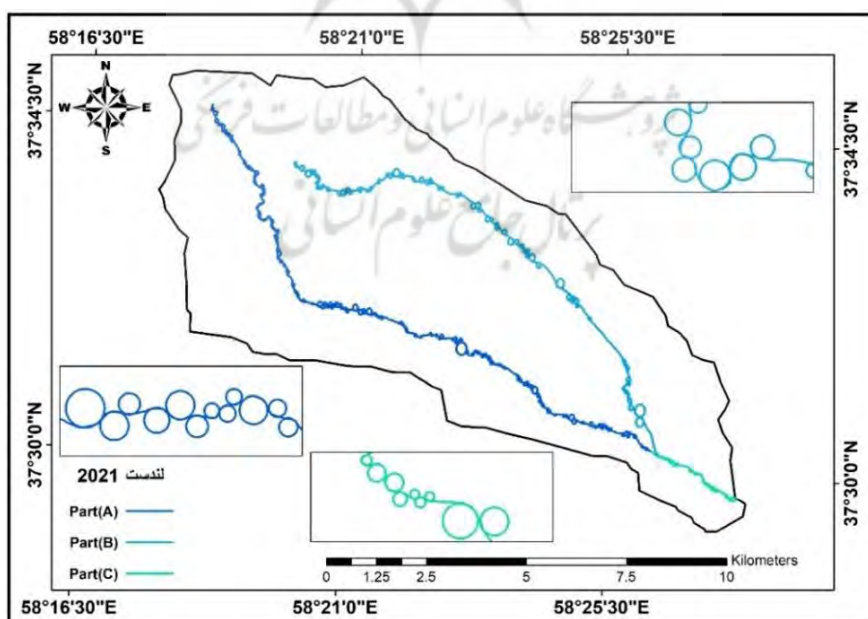
بر اساس محاسبه‌ی میانگین زاویه مرکزی که نتایج آن در جدول ۴ ملاحظه می‌گردد، در بخش اول بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ الگوی رودخانه‌ی مئاندری توسعه‌یافته بوده است اما در بخش دوم و سوم در سال ۲۰۱۰ الگوی رودخانه، مئاندری توسعه‌نیافته است که در سال ۲۰۲۱ به الگوی رودخانه مئاندری توسعه‌یافته تبدیل شده است.

طبق نتایج به دست آمده در جدول (۵) ملاحظه می‌شود مقادیر ضریب خمیدگی برای سال ۲۰۱۰ در بخش اول ۱/۶۷، در بخش دوم ۱/۶۸ و در بخش سوم ۱/۳۹ به دست آمد که این مقادیر در سال ۲۰۲۱، در بخش اول: ۱/۶۸، در بخش دوم: ۱/۷۴ و در بخش سوم: ۱/۵۳ افزایش پیدا کرده است. تمامی مقادیر به دست آمده نشان‌دهنده‌ی الگوی پیچانرودی است.



شکل (۲): تغییرات زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی رودخانه دربادام در سال ۲۰۱۰

Figure (2): Central angle variations and curvature coefficient of the Darbadam River in 2010



شکل (۳): تغییرات زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی رودخانه دربادام در سال ۲۰۲۱

Figure (3): Central angle variations and curvature coefficient of the Darbadam River in 2021

جدول (۴): تغییرات مقادیر زاویه مرکزی رودخانه در بادهام در سال‌های ۲۰۲۱، ۲۰۱۰
Table (4): Changes in central angle values Darbadam River in 2010, 2021

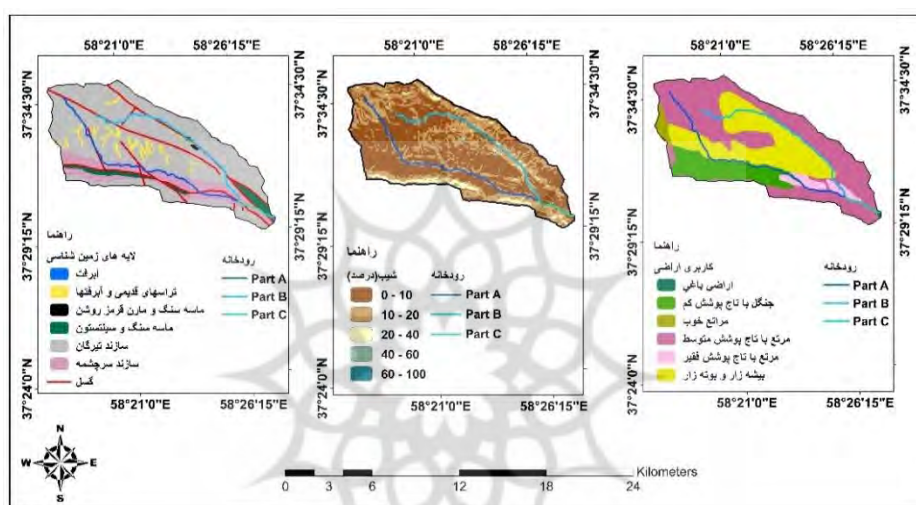
شکل رودخانه	میزان زاویه مرکزی به درجه	بخش اول		بخش دوم		بخش سوم	
		سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۲۱	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۲۱	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۲۱
رودخانه مستقیم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
رودخانه شبه‌مئاندری	۱-۴۱	۳۶/۷۴	۳۳	۳۴/۳۳	۰	۳۷/۳۷	۳۸
رودخانه مئاندری توسعه‌نیافته	۴۱-۸۵	۶۷/۱۲	۶۷/۴۷	۶۴/۶۳	۷۲/۹۵	۶۰/۸۰	۶۳/۶۴
رودخانه مئاندری توسعه‌یافته	۸۵-۱۵۸	۱۱۷/۷۷	۱۰۹/۰۵	۱۲۱/۹	۱۱۲/۲۵	۱۰۵/۹۰	۱۱۰/۷۲
رودخانه خیلی توسعه‌یافته	۱۵۸-۲۹۶	۱۷۳/۰۴	۱۷۱/۳۶	۱۷۳/۳۳	۱۷۷/۶۶	۱۷۲/۰۶	۱۷۷/۶
رودخانه نعل اسبی	>۲۹۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
میانگین (درجه)	۹۵/۱۰	۹۷/۵۴	۸۳/۷۸	۹۵/۴۶	۸۲/۳۴	۸۸/۰۳	
شکل رودخانه	پیچانرود	پیچانرود	پیچانرود	پیچانرود	پیچانرود	پیچانرود	پیچانرود
	توسعه‌یافته	توسعه‌یافته	توسعه‌یافته	توسعه‌یافته	توسعه‌یافته	توسعه‌یافته	توسعه‌یافته

جدول (۵): تغییرات مقادیر ضریب خمیدگی رودخانه در بادهام در سال‌های ۲۰۲۱، ۲۰۱۰
Table (5): Changes in Curvature coefficient values Darbadam River in 2010, 2021

شکل رودخانه	ضریب خمیدگی	بخش اول		بخش دوم		بخش سوم	
		سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۲۱	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۲۱	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۲۱
مستقیم	۰-۱/۰۵	۰/۸۶	۰/۹۰	۰/۸۴	۱/۰۳	۰/۸۵	۰/۸۴
سینوسیته	-۱/۲۵	۱/۱۳	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳
پیچانرودی	۱/۲۵-۲	۱/۵۷	۱/۶۰	۱/۴۷	۱/۵۷	۱/۶۳	۱/۴۴
پیچانرودی شدید	>۲	۲/۴۳	۲/۳۹	۲/۵۵	۲/۶۳	۲/۶۵	۲/۶۲
میانگین (درجه)	۱/۶۷	۱/۶۸	۱/۵۱	۱/۷۴	۱/۳۹	۱/۵۳	
شکل رودخانه	پیچانرودی	پیچانرودی	پیچانرودی	پیچانرودی	پیچانرودی	پیچانرودی	پیچانرودی

بررسی شیب حوضه در بادهام واقع نشان می‌دهد که ۷۹/۴ درصد از مساحت منطقه دارای شیب بین صفر تا بیست درصد است. در مرکز منطقه‌ی مورد مطالعه که منطبق بر مرتفعترین کوهستان حوضه است، شیب تا ۱۰۰ درصد افزایش پیدا کرده است که ۰/۰۵ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. از نظر زمین‌شناسی سازندهای تیرگان، سرچشمه و ماسه‌سنگ و سیلتستون متعلق به دوره کرتاسه، بیشترین قسمت منطقه (۹۵/۴۹ درصد از مساحت کل) را پوشش داده است. ماسه‌سنگ و مارن قرمز روشن متعلق به دوران نئوژن (۰/۳۰ درصد از مساحت کل) در مرکز حوضه‌آبریز در بادهام مشاهده می‌شود و آبرفت و تراس‌های آبرفتی قدیمی مربوط به دوران کواترنر که به صورت پراکنده در مرکز و جنوب منطقه مشاهده می‌شود ۴/۱۴ درصد از مساحت کل را شامل می‌شود. واحدهای کاربری اراضی منطقه شامل اراضی باغی (۰/۱۲ درصد از مساحت کل)، جنگل

با تاج پوشش کم (۱۳/۸۲ درصد از مساحت کل)، مراتع خوب (۱/۷۶ درصد از مساحت کل)، مرتع با تاج پوشش متوسط (۵۰/۲۳ درصد از مساحت کل)، مرتع با تاج پوشش فقیر (۳/۶۰ درصد از مساحت کل) و بیشه‌زار و بوته‌زار (۳۰/۴۳ درصد از مساحت کل) را شامل می‌شود (شکل ۴).



شکل (۴): نقشه زمین‌شناسی، کاربری اراضی و شیب حوزه‌آبریز دربادام
Figure (4): Geological map, landuse and slope of Darbadam catchment

بر اساس سازندهای تشکیل‌دهنده‌ی بخش اول که به طور عمده مقاوم هستند همچنین مقادیر بالای شیب این بخش (صفر تا ۲۰ درصد) و پوشش گیاهی مناسب و بازدارنده فرسایش کرانه سبب شد میزان تغییرات کانال کم بوده و در طول زمانی مورد مطالعه تغییرات قابل توجه در الگو و کانال صورت نگیرد. در مقابل بخش دوم بدلیل غلبه سازندهای سست از جمله مارن و وضعیت شیب و فقر پوشش گیاهی باعث شده شرایط برای تغییر الگو مهیا باشد. در بخش سوم مهمترین عامل فرسایش کرانه و تغییر کانال شیب کم و نوع کاربری اراضی از جمله باغی، مرتع با تاج پوشش متوسط و فقیر است.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مطالعه و شناسایی متاندرهای رودخانه‌ی حوزه‌آبریز دربادام پرداخته شد و هدف از انجام این پژوهش، بازسازی تغییرات متاندردی رودخانه و شناسایی نوع متاندرها، میزان توسعه، چگونگی و میزان تغییرات آنها طی بازه‌ی زمانی ۲۰۱۰ میلادی تا سال ۲۰۲۱ بوده است. بر این اساس مسیر رودخانه از روی

تصاویر ماهواره‌ای رقومی گرید و بر اساس میزان جابجایی رودخانه و پارامترهای هندسی رودخانه استخراج گردید.

طبق نتایج به دست آمده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و بر اساس میانگین زوایای مرکزی قوس‌ها در دوره مورد مطالعه، در بخش اول تغییری در طبقه الگو رخ نداده اما در بخش دوم و سوم الگوی رودخانه از الگوی مئاندری توسعه نیافته به الگوی رودخانه مئاندری توسعه یافته تبدیل شده است. بر اساس میانگین ضرایب خمیدگی نیز در هر سه بخش نشان‌دهنده الگوی پیچانرودی است. با توجه به ویژگی‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از جمله وجود لایه‌های زمین‌شناسی که عمدتاً دارای لیتولوژی مقاوم هستند، شیب منطقه و همچنین ویژگی‌های توپوگرافی منطقه که قسمت اعظم آن کوهستانی تشکیل می‌دهد، باعث شده است جابجایی عرضی مئاندر در منطقه کم باشد. طبق ضرایب به دست آمده، الگوی کلی رودخانه الگوی پیچانرودی است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در حوضه آبریز دوربادام، مئاندرهای توسعه یافته وجود دارد که در صورت بروز جریان‌هایی که بیش از ظرفیت مجرای رودخانه باشند، اراضی کشاورزی و مسکونی در معرض خطر قرار می‌گیرند. ثابت ماندن وضع کانال مئاندری در برنامه‌ریزی اهمیت بسیار دارد. در این زمینه، تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت مئاندرهای رودخانه مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به فعال بودن تکتونیک در منطقه پیشنهاد می‌گردد تحقیقات آتی به مطالعه تغییرات مئاندرها تحت تأثیر نئوتکتونیک بپردازد.

۵-منابع

- Asghari Saraskanrood, S., Madadi, A., Bashokoh, Z., Ghale, E. (2021). Investigation of pattern and dynamics of Gharasu Ardabil River (from Samian Bridge to Sabalan dam). *Hydrogeomorphology*, 8(27): 35-19.
- Chorley, R., Schumm, S., Sugden, D. (1985). *Geomorphology (slidhill, waterway, coastal and wind processes)*. Motamed, A., Moghimi. E. (2014). SAMT.
- Esfandyari- dorabad, F., Mostafazadeh, R., Abyat, A., Naseri, A. (2021). Determination of Mean Pattern in Gharehsou River Using Sinuosity Coefficients and Central Angle in Anzab- samian Bridge Reach. *Journal of Applied researches in Geographical sciences*, 21 (16): 119- 131.
- Geology organization. Description of the square geological maps of Farooj and Bajgiran.
- Julien, P. Y. (2018). *River mechanics*. Cambridge University Press, P.526.
- khoshraftar, R., ahmadi, A., fayzolah poor, M., hamed, N. (2019). A Study of Gezel Ozan River Meanders in Mahneshan County-Zanjan province. *Quantitative Geomorphological Research*, 7(4), 15-30.
- Langat, P.K., Kumar, L. and Koech, R. (2019). Monitoring River Channel Dynamics Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Geomorphology*, 325: 92-102.
- Maghsoudi. M., Sharafi. S., Maghami. Y. (2010). Change Detection of Khoram Abad River Morphological Pattern with Rs, Gis and Auto Cad. *SPATIAL PLANNING (MODARES HUMAN SCIENCES) FALL*, 14, 3 (67): 275-294.
- Mesbahi. J. (2012). *Guide to river morphology studies*, Deputy for Strategic Supervision, Office of Engineering and Technical Standards for Water and Alpha.
- Pan, S. (2013). Application of remote sensing and GIS in studying changing river course in Bankura District, West Bengal. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 4(1), 149-163.
- Peyrowan, H., Jafari Ardekani, A Shariat Jafari, M. (2016). Morphological classification of Ghezel Ouzan River and its changes trend. *Watershed Engineering and Management*, 8(2): 152-164.
- Rajabi, M., Roostaei, S., Akbari, B. (2019). Investigation of Meandering Pattern of Aji-Chay River Using Central Angle Indices and Curvature coefficient (Area between Bakhshayesh and Khajeh). *Hydrogeomorphology*, 6(20): 21-40.
- Rangzan, K., Salehi, B., Salahshouri, P. (2009). Study of downstream changes of Karkheh dam before and after construction of the dam using Landsat multi-time images. *Geomatics Conference and the fourth conference on unification of geographical names*, Tehran.

- Rezaei Mogaddam, M., Nikjoo, M., Mokhtari, D., Fakeri Far, A., Koshdel, K. (2018). The Review of Plan form and Variation in Sinuosity Index of Kaleibar Chai. *Geography and Planning*, 22(64): 81-101.
- Rezaei Moghaddam, M. Hossein ., Nikjoo, M. Reza., Maleki , H. (2018). An Investigation of Morphological Changes of Azadroud River Pattern using Geometric Indices. *GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL PLANNING (UNIVERSITY OF ISFAHAN) WINTER*, 28, 4 (68), 1-16.
- Rezaei Moghaddam, M., Sarvati, M., Asghari Sareskanrood, S. (2012). Investigation of geometric alterations of Gezel Ozen River considering Geomorphologic and Geologic parameters. *Geography and Environmental Planning*, 23(2), 1-14.
- Rezaei Moghaddam, M.H, Sarvati, M.R, and Asghari Saraskanrud, S, (2012). Examining Meandering Pattern of River, Using the Indexes of Curvature Coefficient and Central Angle (Case Study: Ghezel Ozen River: Range between 30km from Mianeh City to Political Border Zanjan), *Geography Society of Iran*, 10rd Year, 1: 85-102.
- Rhoads, B. L., Lewis, Q. W., & Andresen, W. (2016). Historical changes in channel network extent and channel planform in an intensively managed landscape: Natural versus human-induced effects. *Geomorphology*, 252, 17-31.
- Soltani-Gerdefaramarzi, S., Asgari Varzideh, S., Tazeh, M. (2018). Investigation of change trend of the central angel and radius in the meanders of Gamasiab River using RS and GIS. *Geography and Planning*, 22(63): 225-240.
- Telluri, A.R. (1992). Recognition of riverine erosion in sedimentary plains, Forests and Rangelands Research Institute, First Edition.
- Wang, J., Rich, P. M., Price, K. P., & Kettle, W. D. (2004). Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, 25(16): 3127-3138.
- Wolfert, H. P. (2001). Geomorphological change and river rehabilitation: case studies on lowland fluvial systems in the Netherlands. Wageningen University and Research.