بسمه تعالی

سردبیر محترم مجله سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی

کد مقاله: GIRS-2211-2022

ضمن تشکر از نظرات ارزنده داوران محترم، که به راستی در بهبود نتایج و نیز رفع ابهامات بسیار موثر بوده است، بدینوسیله موارد زیر در خصوص سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی **مقاله اینجانبان حضورتان ارسال می‌گردد.**

داور محترم ۱ Professional (اصلاحات با رنگ آبی مشخص شده است)

بخش	نظر داور محترم	اصلاحات انجام شده در مقاله
ابتدای مقدمه	این مقاله با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و شاخص های انجام شده است اما در مقدمه هیچ اشاره ای به آن نشده است لطفا به این شاخص و روشها اشاره شود.	مطابق توصیه داور محترم، برخی مطالب در مقدمه افزوده شد. با توجه به نقش تغییرات خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه‌ها بر رفتار سیلاب، ارزیابی این تغییرات می‌تواند در برنامه‌ریزی و کاهش خسارت سیلاب موثر باشد. شناخت تحولات مورفولوژیک بستر رودخانه ها و تحولات پیچان رودی آنها از نظرجابجایی مرز را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور کمی نمود. با توجه به شدت و وسعت تغییرات موروفولوژی رودخانه‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش اطلاعات با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در ارزیابی سریع و دقیق مطالعات مرتبط با سیلاب موثر باشد. در سالهای اخیر سنجش از دور امکان مشاهده مستقیم رودخانه‌ها در بازه‌های زمانی مختلف را فراهم نموده است.
سابقه پژوهش	این قسمت خیلی طولانی است لطفا به صورت خلاصه نوشته شود.	خلاصه‌سازی لازم در بخش سوابق پزوهش صورت گرفت.
انتهای مقدمه	در این قسمت لازم خلاصه‌ای را از تحقیقات قبلی بیان نمایید.	در مجموع بر اساس سوابق پژوهش می‌توان گفت که ارزیابی تغییرات مورفولوژی و بستر رودخانه با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور از مواردی است که ممکن است بر اساس شرایط رودخانه در دوره‌های مختلف متفاوت باشد، لذا انجام پژوهش در مناطق مختلف می‌تواند به مشخص نمودن رفتار رودخانه و عوامل موثر بر آن منجر شود.
اهداف پژوهش	لطفا اهداف تحقیق به صورت مشخص بیان کنید.	در این راستا، هدف پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور و نیز روش‌های مختلف است. هم‌چنین تعیین عوامل موثر بر تغییرات موروفولوژی و مجرای رودخانه ارس در بازه‌های مختلف از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.
منطقه مورد مطالعه	علت انتخاب این منطقه را با دلایل فنی، زیست محصیطی و اقتصادی اجتماعی بیان نمایید.	از دلایل انتخاب منطقه می‌توان به اهمیت رودخانه از نظر مرزی و نیز پویایی بالای آن در اثر دبی بالای رودخانه اشاره نمود. از طرفی فعالیت‌های مختلف انسانی در حاشیه اطراف رودخانه دارای تاثیر مستقیمی بر رفتار و تغییرات رودخانه است
روش پژوهش	لطفا هر کدام از این شاخصها به صورت مختصر توضیح داده شود.	شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی شاخصی است که بیان‌گر پراکنش و تراکم پوشش گیاهی است و در تحلیل‌ها و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور در خصوص ارزیابی میزان پوشش گیاهی و وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی در یک منطقه کاربرد دارد. در این شاخص برای سطوح دارای پوشش گیاهی، طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک به‌ترتیب با جذب بالا و بازتاب پایین مشخص می‌شوند. شاخص تفاضل آب نرمال شده می‌تواند برای پایش تغییرات محتوای آب برگ‌ها و پایش تغییرات بدنه‌های آبی به‌کار رود. شاخص NDWI برای پهنه‌بندی بدنه‌های آبی بسیار مناسب است چون دارای قابلیت جذب قوی و تابش کم در محدوده طول موج مرئی تا مادون قرمز است که می‌تواند اطلاعات آب را به‌طور موثر در بیش‌تر موارد افزایش دهد. این شاخص به مناطق مسکونی حساس است و اغلب منجر به تخمین بیش از حد آب پهنه آبی می‌شود. شاخص آب (WI) برای تشخیص آب در

		تصاویر سنجش از راه دور طراحی شده است. کاربرد شاخص آب در تعیین محدوده پیکره‌های آبی عمدتاً بر اساس روش تعیین آستانه است. در استفاده از شاخص مذکور امکان شناسایی ناکارآمد پیکسل‌های آب مخلوط، اختلاط بدنه‌های آبی با پیکسل‌های پس‌زمینه سر و تغییر در مقادیر آستانه با توجه به مکان و زمان تصاویر وجود دارد.
روش پژوهش	لطفا روش تجزیه و تحلیل و برنامه های مورد استفاده توضیح داده شود.	در ادامه پس از محاسبه شاخص‌های مذکور، ارزیابی پلان‌فرم با شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی کورنیس و تغییرات مجرا با روش ترانسکت انجام شد و تغییرات مذکور در بازه‌های مختلف رودخانه انجام شد. سپس عوامل موثر بر تغییرات در بازه‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. سپس، متناسب با هر کدام از تغییرات در مورفومتری رودخانه نیز تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی صورت گرفت.
نتایج	لطفا جدولی که از لحاظ اماری وضعیت هر کدام از شاخصها را بیان کنید ارائه دهید تا مقایسه مبنتی براعداد باشند.	ضمن تشکر از نظر داور محترم، جدول نتایج مذکور در شکل ۴ و ۹ و جدول ۲ ارائه شده است.

داور محترم ۲ MZ (اصلاحات با رنگ سبز مشخص شده است)

بخش	نظر داور محترم	اصلاحات انجام شده در مقاله
ابتدای چکیده فارسی	یک جمله ابتدایی براش روع نیاز است	با توجه به تغییرات موروفولوژی رودخانه‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش اطلاعات با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در ارزیابی سریع و دقیق مطالعات مرتبط با سیل‌خیزی موثر باشد. Considering the morphological changes of rivers, the use of satellite images and information processing using geographic information system can be effective in quick and accurate evaluation of studies related to flooding.
چکیده	معادل انگلیسی واژه مذکور مجدد چک شود.	معادل واژه مورد اشاره مجدد بازبینی شد.
چکیده	واژه مناسب نیست بازنگری شود	واژه "وقوع متوالی" جایگزین شد.
چکیده انگلیسی	با واژه های فارسی معادل همخوانی داشته باشد	معادل واژه مورد اشاره مجدد بازبینی شد.
مقدمه	به تغییرات اقلیمی اشاره کنید	مطابق توصیه داور محترم به مورد مذمکور در متن مقاله اشاره شد.
مقدمه	در کل متن با نیم فاصله نوشته شود.	بنا بر توصیه داور محترم واژه مذمکور در کل متن بازبینی و با نیم فاصله نوشته شد.
مقدمه	جمله بازنویسی شود و با فعل پایان یابد	مئاندرها می‌توانند در نتیجه فرسایش کناره‌های مقعر و رسوب‌گذاری در کناره‌های محدب به‌صورت منظم در عرض دشت سیلابی خود (فرایند گسترش) جابجا شوند یا قادرند در جهت پایین دست دره (حرکت انتقالی) مهاجرت نمایند.
مقدمه	جمله مفهوم نیست بازنویسی لازم دارد	رودخانه‌ها به‌عنوان مرزهای طبیعی در کشور، به‌دلیل ماهیت تغییرپذیری و تنوع ژئومورفولوژیکی خود، می‌توانند منشاء بروز تنش در روابط سیاسی کشورها خصوصاً در مساله آب شوند.
مقدمه	ریاضی	اصلاح شد
سابقه پژوهش	اطمینان حاصل شود که منابع به ترتیب از قدیم به جدید ارائه شده است	مورد مذکور مجدد بازبینی شد.
سابقه پژوهش	آیا نیاز به درج زیرنویس نیست؟ به فرمت نشریه مراجعه شود.	همه موارد و خصوصا زیرنویس ها مطابق فرمت نشریه بازبینی شد. بر اساس فرمت نشریه استفاده از زیرنویس چندان توصیه نشده است.

انتهای مقدمه	جمله مفهوم نیست بازنویسی نیاز دارد	از مسائل مرتبط با تغییرات مورفولوژیکی رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل می‌توان به مواردی بدین شرح اشاره نمود: بازه مورد مطالعه رودخانه ارس مرز بین ایران و جمهوری آذربایجان است
محدوده مورد مطالعه	بازنویسی در جمله بندی	این رودخانه بیش از ۴۰۰ کیلومتر از مرز مشترک ایران با جمهوری‌های آذربایجان و ارمنستان را تشکیل می‌دهد.
روش پژوهش	در کل متن روابط در متن ارجاع داده شود	همه روابط در متن ارجاع شدند.
روش پژوهش	لازم است کل شماره های روابط استفاده شده، در متن ارجاع شود	همه روابط در متن ارجاع شدند.
نتایج	خلاصه سازی لازم است	متن مورد اشاره توسط داور محترم خلاصه‌نویسی شد.
نتایج	خلاصه سازی لازم است	متن مورد اشاره توسط داور محترم خلاصه‌نویسی شد.
نتایج	جدول در متن ارجاع نشده است.	برای مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل مقادیر زاویه مرکزی برای سه دوره زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ میلادی محاسبه شد که نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.
نتایج	خلاصه سازی متن نیاز است	متن مورد اشاره توسط داور محترم خلاصه‌نویسی شد.
نتایج	سعی شود از تکرار نتایج ارائه شده در شکل ها و نیز جدول ها پرهیز شود.	متن مورد اشاره توسط داور محترم خلاصه‌نویسی شد.
نتایج	رعایت نیم فاصله واقعی در متن	ویرایش شد
نتایج	جمله با جملات قبلی ارتباط ندارد و نیازمند بازنویسی است.	بصورت زیر بازنویسی شد: در هر دو مورد، مقادیر بالای شاخص مذکور در ارتباط با تغییر مسیر مجرا و رخداد میان‌بر بوده است که از عوامل اساسی تغییر مورفولوژی مجرای رودخانه ارس بوده‌اند.
نتایج	رعایت تنوین در جملات	اصلاح شد.
نتایج	بخشی از مطالب تکرار نتایج است لذا باید مجدد بر اساس نتایج تحلیل شوند و از پرداختن به مطالب غیرمرتبط خودداری شود	متن مورد اشاره توسط داور محترم خلاصه‌نویسی شد.
نتایج	بازنگری شود چون یک جمله کلی است	بازنگری شد.
نتایج	رعایت نیم فاصله	ویرایش شد
نتایج	به محدودیت های پژوهش اشاره نشده است.	مورد مذکور به متن مقاله افزوده شد: تعیین ارتباط میان تغییرات مورفولوژی بستر رودخانه و داده‌های دبی رودخانه از مواردی است که می‌تواند به تحلیل‌های بهتر منجر شود. هم‌چنین تعیین پهنه‌های سیلابی در دوره بازگشت‌های مختلف می‌تواند مشخص نماید که تغییرات موروفولزی و جابجایی بستر در چه دوره بازگشت‌هایی اتفاق افتاده است و می‌تواند در پیش‌بینی رفتار و تغییرات رودخانه در آنیده موثر باشد.
منابع	مجدد چک شود	مجدد مورد بازبینی قرار گرفت.
چکیده فارسی مبسوط	مطابق موارد و کامنت های چکیده اول بازبینی شود	همه موارد و کامنت های مندرج در بخش اول چکیده در چکیده مبسوط فارسی و انگلیسی نیز لحاظ و بازبینی لازم صورت گرفت.
چکیده انگلیسی مبسوط	لازم است مجدد کل چکیده انگلیسی بازخوانی شود	مجدد کل چکیده بازخوانی شد و ایرادات جزئی برطرف شد.

در پایان مجدد از داوران محترم مقاله که با دقت هر چه تمام موارد و نظرات ارزنده‌ای ارائه نموده اند، سپاسگزاری می‌گردد. قابل ذکر است که موارد ذکر شده در توضیحات صرفا ارائه مقاله نبوده و همه توضیحات در متن مقاله درج شده اند و امکان بهبود ساختار علمی و شیوه ارائه نتایج را فراهم نموده اند. از نظرات و کامنت های ارزشمند داوران محترم که زمنیه بهبود ارائه نتایج و رفع ابهامات را فراهم نموده اند، قدردانی می‌شود. امید است که نوشتار و توضیحات ارائه شده بتواند نظر داور محترم نهایی را جلب نماید.

با تشکر مجدد– نویسندگان مقاله

تحلیل تغییرات جانبی مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل با استفاده از شاخص‌های مورفولوژیکی

علیرضا بنی اسدی[۲*]، احمد مریدی[۱]

۱. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد ، ایران

۲.دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، ایران

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:
mazidi@yazd.ac.ir

چکیده

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای GIS می‌تواند در ارزیابی تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها ارزیابی سریع و دقیق مطالعات سیل‌خیزی مؤثر باشد. در پژوهش حاضر به ارزیابی تغییرات جانبی مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل پرداخته شد. به‌منظور ارزیابی تغییرات مجرای رودخانه، شاخص‌های کمّی ژئومورفیک شامل زاویه مرکزی کورنیس، ضریب خمیدگی، نرخ مهاجرت مجرا، میانگین جهت‌دار خطی و ترانسکت محاسبه شدند. شاخص‌های مذکور برای سه مقطع زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی حاصل شدند. یافته‌ها بیانگر این است که مهم‌ترین فرایندهای مؤثر بر تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرای رودخانه ارس شامل شکل‌گیری، توسعه و پیشروی مئاندرها در عرض دشت سیلابی، ایجاد میانبر و تغییر مسیرهای کوتاه مجرا است. وقوع میانبرها و تغییر مسیرها باعث افزایش قابل‌توجه تغییرات جانبی مجرای رودخانه شده است. سیلاب‌ها مهم‌ترین نقش را در وقوع میانبر و تغییر مسیر مجرا در امتداد رودخانه ارس دارند. نتایج نشان می‌دهد که رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل از تحرک و پویایی جانبی بالایی برخوردار است. به‌گونه‌ای که در طی ۲۰ سال گذشته مجرای رودخانه به‌طور متوسط هرسال بیش از ۵ متر جابجا شده است. بااین‌حال تمامی شاخص‌های کمّی ژئومورفیک نشان‌دهنده کاهش تغییرات و

Deleted: علبرضا

Deleted: واجتماعی

Deleted: موروفولوژی

Deleted: موثر

Deleted: شنجش از دور

Deleted: موثر

Deleted: پیش‌روی

Deleted: قابل توجه

Deleted: هر سال

Deleted: با این حال

جابجایی‌های جانبی مجرا در طی سال‌های اخیر است. مهم‌ترین دلیل کاهش قابل توجه مقادیر شاخص‌های کمّی ژئومورفیک در دوره زمانی دوم (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ میلادی) نسبت به دوره زمانی اول (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) در ارتباط با کاهش قابل توجه رخداد میان‌بر و تغییر مسیر مجرا بوده است. افت دبی رودخانه و کاهش شدت و وقوع متوالی سیلاب‌ها مهم‌ترین نقش را در کاهش وقوع میان‌بر و تغییر مسیر مجرا داشته‌اند. کاهش رخدادهای حدی از قبیل شدت و فراوانی سیلاب‌ها به‌نوبه خود باعث کاهش تمایل به الگوی گیسویی و افزایش تمایل به الگوی مئاندری توسعه‌یافته شده است.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی، مورفولوژی رودخانه، تغییرات مجرا، رودخانه ارس، استان اردبیل

Deleted: قابل توجه

Deleted: قابل توجه

Deleted: به نوبه

Deleted: گیسوئی

Deleted: توسعه یافته

Analyzing the lateral changes of Aras River channel in Ardabil province using morphological indicators

Ahmad Mazidi [1*],

Commented [1ر]: اینجا
علبرضا بنی اسدی[۲]*احمد مریدی[۱]،
نوشته نشده

1. Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities and social sciences, University of Yazd, Iran

2. PhD. Student of Climatology, Faculty of Social and Humanities, University of Yazd, Iran

* **Corresponding author e-mail address:**
mazidi@yazd.ac.ir

Abstract

Considering the morphological changes of rivers, the use of satellite images and information processing using geographic information system can be effective in quick and accurate evaluation of studies related to flooding. Quantitative geomorphic indices including the central Cornice angle, bending coefficient, Channel migration rate, Linear directional average and transect were calculated to assess Aras River morphometry. The indices were obtained in years 2000, 2010, and 2021 using RS and GIS. Results showed that the most important processes affecting the changes and lateral displacements of the Ares River channel is formation, development and advance of meanders across the floodplain, creating shortcuts and changing the routes of the channel. The development of shortcuts and changes of river path have caused a significant increase in the lateral changes of the river channel. Floods play the most important role in the shortcut formation and change of channel along Aras River. The results show that the Aras River has high mobility and lateral dynamics, which the river channel has moved more than 5 meters on average every year. However, all the quantitative geomorphic indicators show a decrease in changes and lateral displacements of the channel during recent years. The most important reason for the significant decrease in the values of quantitative geomorphic indices in the second time period (2010 to 2021) was in connection with the significant decrease in the occurrence of short-cuts and changes in the cut-off route. In general, it can be said that the decrease in the river discharge and the decrease in the intensity and frequency of floods have played the most important role in reducing the development of shortcuts and changing the path of the channel. The reduction of extreme floods has reduced the tendency for the braided pattern and increased the meander development.

Keywords: Braided rivers, River morphology, River channel change, Floodplain, River dynamics

مقدمه

از موضوعات کلیدی و اساسی در علم مهندسی و مدیریت سیستم رودخانه بحث مورفولوژی یا ریخت‌شناسی مجرای رودخانه‌ها است که براساس آن می‌توان به مجموعه اطلاعات سودمندی در خصوص شکل هندسی یا ژئومتری، مورفولوژی بستر، نیمرخ طولی، مقاطع عرضی و تغییر پلان‌فرم و مکان آن‌ها در طی زمان نائل شد (۴). در این رابطه، کانال‌های آبرفتی درنتیجه فرسایش و رسوب‌گذاری در امتداد کناره‌ها، به‌صورت عرضی یا جانبی در دشت سیلابی جابجا می‌شوند یا اصطلاحاً مهاجرت می‌کنند. مهاجرت جانبی با نرخ‌های مختلفی اتفاق می‌افتند و از فرایندهای متنوعی نشات می‌گیرند. علاوه بر این وجود پوشش گیاهی و نوع کاربری اراضی حاشیه رودخانه از مواردی است که می‌تواند بر مورفولوژی رودخانه و تغییرات آن مؤثر باشد (۶). تغییر کاربری اراضی، تغییر اقلیم، احداث سد و اثر تنظیمی آن و انحراف جریان از مواردی است که باعث تغییر در رژیم رودخانه شده و مسائل مختلفی ازجمله وقوع خشکسالی، کاهش آبدهی، تغییر در شاخص‌های جریان رودخانه‌ای، شاخص جریان پایه و سایر مسائل زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت (۱، ۱۵ و ۱۹). سازوکار جابجایی رودخانه با تغییر هیدرولوژی جریان و نوع پلان‌فرم دچار تغییر می‌شود. مئاندرها می‌توانند درنتیجه فرسایش کناره‌های مقعر و رسوب‌گذاری در کناره‌های محدب به‌صورت منظم در عرض دشت سیلابی خود (فرایند گسترش) جابجا شوند یا قادرند در جهت پایین‌دست دره (حرکت انتقالی) مهاجرت نمایند. رودخانه‌های گیسویی نیز می‌توانند به‌صورت جانبی به دلایلی از قبیل پدیده تغییر مسیر مجرا، رخداد میان‌بر، مهاجرت و تغییر عرض، دارای تحرک باشند (۲۵). نرخ مهاجرت جانبی مجرا به عوامل متعددی بستگی دارد که در این زمینه می‌توان به عوامل مهمی از قبیل مقاومت مواد کناره مقعّر در مقابل فرسایش، استمرار و بزرگی انواع جریان‌ها، شعاع خمیدگی مجرا و ظرفیت جریان برای انتقال رسوبات اشاره نمود (۵ و ۱۴). حرکت و مهاجرت جانبی مجرای رودخانه می‌تواند به شکل‌های متنوعی اتفاق افتد. برخی از انواع این حرکات عبارتنداز: تنگ‌شدگی یا کاهش عرض کانال، عریض‌شدگی یا افزایش عرض کانال، مهاجرت مئاندر، تغییر مسیر و میان‌برها. نوع حرکات بستگی به شرایط ورودی و الگوی موجود و هندسه مجرا دارد (۱۰). با توجه به نقش تغییرات خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه‌ها بر رفتار سیلاب، ارزیابی این تغییرات می‌تواند در برنامه‌ریزی و کاهش خسارت سیلاب مؤثر باشد. شناخت تحولات مورفولوژیک بستر رودخانه‌ها و تحولات پیچان‌رودی آن‌ها ازنظر جابجایی مرز را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور کمی نمود. با توجه به شدت و وسعت تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش اطلاعات با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در ارزیابی سریع و دقیق این مطالعات مؤثر باشد. در سال‌های اخیر سنجش‌ازدور امکان مشاهده مستقیم رودخانه‌ها در بازه‌های زمانی مختلف را فراهم نموده است. ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه‌های مرزی دارای اهمیت مضاعفی است. در عصر کنونی منشأ بسیاری از درگیری‌ها، منازعات منطقه‌ای میان دولت‌هایی است که حوضه‌های آبریز مشترک دارند. رودخانه‌ها به‌عنوان مرزهای طبیعی در کشور، به‌دلیل ماهیت تغییرپذیری و تنوع ژئومورفولوژیکی خود، می‌توانند منشاء بروز تنش در روابط سیاسی کشورها خصوصاً در مسئله آب شوند. بستر و دبی جریان آب رودخانه‌ها پیوسته در حال تغییر است و زمانی که به‌عنوان خطوط مرزی انتخاب می‌شوند، می‌توانند باعث ایجاد اختلافات مرزی گردند؛ به‌خصوص هنگامی‌که طرفین مرزها دارای تجانس فرهنگی باشند. تغییرات مجرای رودخانه‌ها یکی از موضوعات موردعلاقه ژئومورفولوژیست‌ها و سایر محققان با تخصص‌های مختلف بوده است. سیفی‌زاده و همکاران (۲۶) با بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی، تغییرات صورت گرفته در مورفولوژی و الگوی رودخانه پلرود

Commented [۲د]:

1.عدم ارائه تعریف واضح و کامل از شاخص‌های مورفولوژیکی که در پژوهش استفاده می‌شود، که می‌تواند به خواننده کمک کند تا مفهوم دقیق‌تری از مطالعه داشته باشد.

2.عدم ارائه توضیحات کافی در مورد روش‌های استفاده شده برای ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی، از جمله نحوه جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل داده‌ها و استنتاج‌ها.

3.نبودن ارجاع به منابع و مطالعات پیشین(فقط ۵ سال اخیر) در زمینه مورفولوژی رودخانه‌ها و استفاده از شاخص‌های مختلف در پژوهش‌های مشابه، که می‌تواند به تأیید علمی‌تر نتایج پژوهش کمک کند.

4.استفاده از عبارات تکراری و تکرار اطلاعات در مقدمه که می‌تواند باعث کاهش قابلیت فهم و جذابیت متن شود.

5.عدم بیان هدف و فرضیات پژوهش به طور واضح و کامل که برای مخاطب مهم است تا بتواند اهمیت و جهت پژوهش را درک کند.

6.نبودن ارجاع به اهمیت پژوهش در حوزه مورفولوژی رودخانه‌ها و نیاز اجتماعی و علمی به این نوع اطلاعات.
محدودیت‌های پژوهش را بیان کنید.

بهبود این موارد می‌تواند کیفیت و قابلیت فهم مقاله را افزایش دهد و جذابیت بیشتری برای خوانندگان ایجاد کند.

Commented [3د]: متن اصلی
دو ستونه با تورفتگی نیم سانت پاراگراف بندی شود
اصلاح انواع خطاهای نگارشی غلط املایی نیم فاصله + نشانه گذاری با نرم افزار ویراستیار انجام گیرد
https://virastyar.ir/

نام فارسی برای تمام نمادهای اختصاری هم بیان شود

Deleted: بر اساس...آن می‌توان به مجموعه اطلاعات سودمندی در خصوصدرخصوص...شکل هندسی یا ژئومتری، مورفولوژی بستر، نیمرخ طولی، مقاطع عرضی و تغییر پلان‌فرم و مکان آن‌هاآنها...در طی زمان نائل شد (۴). در این رابطه، کانال‌های آبرفتی درنتیجه فرسایش و رسوب‌گذاری در امتداد کناره‌ها، به‌صورت عرضی یا جانبی در دشت سیلابی جابجا می‌شوند یا اصطلاحاًاصطلاحا...مهاجرت می‌کنند. مهاجرت جانبی با نرخ‌های مختلفی اتفاق می‌افتند و از فرایندهای متنوعی نشات می‌گیرند. علاوه بر این وجود پوشش گیاهی و نوع کاربری اراضی حاشیه رودخانه از مواردی است که می‌تواند بر مورفولوژیمورومورفولوژی...رودخانه و تغییرات آن مؤثرموثر...باشد (۶). تغییر کاربری اراضی، تغییر اقلیم، ...

در بازه پایین‌دست سد را برای یک دوره کوتاه‌مدت پیش‌بینی کردند. نتایج بیان‌گر این است که پس از احداث سد، فرسایش رودخانه افزایش پیدا کرده است. شرفی و همکاران (۲۷) تغییرات صورت گرفته در مورفولوژی مجرای رودخانه اترک را در یک دوره زمانی ۲۰ ساله با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد تحلیل قرار دادند. نتایج بیان‌گر این است که بستر و مجرای سیستم رودخانه اترک در حال تغییر و دگرگونی است و عوامل کنترل‌کننده این تغییرات با نوع سازندهای زمین شناسی، میزان فرسایش‌پذیری سازندهای کناره بستر رودخانه، افزایش بار رسوبی بستر، تغییرات در دبی جریان آب، دخالت‌های انسانی و سرانجام فرسایش کناری رودخانه در ارتباط است. اسماعیلی و دلیری (۹) مئاندرهای مجرای رودخانه شلمان‌رود را از نظر مورفولوژیکی و مورفودینامیکی با کاربست تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی مورد تحلیل قرار دادند. نتایج دلالت بر این دارد که میانگین مقادیر متغیرهای ژئومتریکی مئاندرها در طی بازه زمانی ۵۱ ساله از تفاوت چشم‌گیری برخوردار نبوده‌اند. بااین‌حال، تغییرات در متغیرهای مورفودینامیک کاهش یافته است. حسینی و طباطبایی (۱۱) نسبت به آشکارسازی تغییرات مورفولوژیکی بازه‌ای از مجرای رودخانه قزل‌اوزن با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی و تصاویر دورسنجی چند زمانه اقدام نمودند. نتایج پژوهش حاکی از این است که ناپایدارترین بازه مجرای رودخانه قزل‌اوزن در قسمت چندشاخگی واقع در بازه شماره ۵، مشاهده می‌شود. بدین ترتیب کاهش زاویه شیب و افت توان هیدرولیکی مجرای رودخانه باعث ایجاد پدیده چندشاخگی در این بازه شده است. گیانگ و همکاران (۲۱) تغییرات و جابجایی‌های صورت گرفته کانال در بازه ماکو-تیانجیاژن واقع در بخش‌های میانی رودخانه یانگ‌تسه را در ۴۰ سال اخیر با استفاده از رویکرد مبتنی بر GIS موردبررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در بازه مطالعاتی فرایند آب‌شستگی و فرسایش غالبیت دارد و نرخ آب‌شستگی با گذشت زمان افزایش یافته است. یودین و همکاران (۲۸) تغییرات مورفولوژیکی و میزان آسیب‌پذیری فرسایش کناری در امتداد رودخانه‌ی جامونا را با بهره‌گیری از تکنیک‌های دورسنجی و GIS و پردازش تصاویر سنجنده ETM ماهواره لندست در پنج دوره زمانی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان دادند که فرسایش کناری از آهنگ بسیار بالایی برخوردار بوده است. مگدالنو و یوسته (۱۴) تغییرات و دگرگونی‌های مورفولوژیکی مئاندرهای بازه‌ای از مجرای رودخانه ابرو را در طول سال‌های ۱۹۲۷، ۱۹۵۶، و ۲۰۰۳ به‌واسطه روش‌های کارتوگرافیک ارزیابی نمودند. نتایج این پژوهش نمایانگر تغییرات شدید در دینامیک مئاندرها و خسارات زیاد حاصل از تحرک و مهاجرت جانبی مجرای رودخانه است که عمدتا در نیمه دوم قرن بیستم اتفاق افتاده است. دوان و همکاران (۳) به ارزیابی تغییرات کانال رودخانه‌های گنگ و پادما در بنگلادش از طریق داده‌های هیدرولوژیکی و تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداختند. نتایج این پژوهش بیان‌گر این است که شکل مسطحاتی هر دو رودخانه در طی این بازه زمانی با کاهش عرض و تنگ شدگی همراه بوده است.

در مجموع بر اساس سوابق پژوهش می‌توان گفت که ارزیابی تغییرات مورفولوژی و بستر رودخانه با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور از مواردی است که ممکن است بر اساس شرایط رودخانه در دوره‌های مختلف متفاوت باشد، لذا انجام پژوهش در مناطق مختلف می‌تواند به مشخص نمودن رفتار رودخانه و عوامل موثر بر آن منجر شود. در پژوهش حاضر به ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل پرداخته شد. رودخانه ارس در محدوده مطالعاتی، مرز بین ایران و جمهوری آذربایجان را تشکیل می‌دهد و درنتیجه جزو رودخانه‌های مرزی ایران به‌شمار می‌رود. این رودخانه به‌دلیل دبی زیاد و شرایط ژئومورفولوژیکی حاکم بر منطقه از تغییرات مورفولوژیکی زیادی برخوردار بوده که خود منجر به مسائل مختلفی شده است. از مسائل مرتبط با تغییرات مورفولوژیکی رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل می‌توان به مواردی بدین شرح اشاره نمود: بازه مورد مطالعه رودخانه ارس مرز بین ایران و جمهوری آذربایجان است و بدیهی است که تغییرات و پویایی عرضی رودخانه می‌تواند مسائل و مشکلاتی را در تعیین مرز بین دو کشور ایجاد کند؛

Deleted: پایین دست

Deleted: نبوده اند

Deleted: با این حال

Deleted: بازه ای

Deleted: جابجایی های

Deleted: مورد بررسی

Deleted: آنها

Deleted: آبشستگی

Deleted: آبشستگی

Deleted: آسیب پذیری

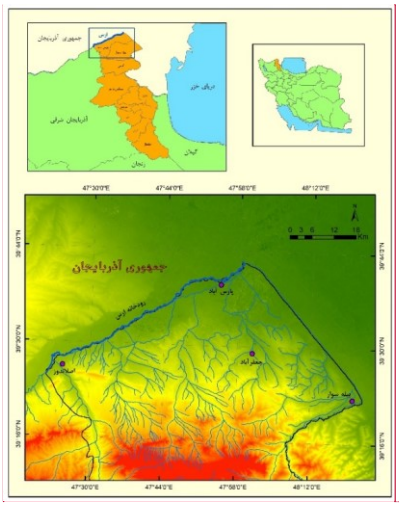
Deleted: رودخانه ی

تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه می‌تواند باعث فرسایش و تخریب خاک و از دسترس خارج شدن خاک‌های حاصلخیز منطقه شود؛ دینامیک عرضی مجرا می‌تواند تاسیسات و زیرساخت‌های موجود در حاشیه رودخانه را مورد تهدید قرار دهد؛ هم‌چنین می‌توان به مسائل متعدد دیگر از قبیل آلودگی منابع آب منطقه، خسارت به اکولوژی و محیط زیست دشت سیلابی، افزایش مخاطرات ناشی از سیلاب‌ها و غیره اشاره نمود. در واقع، در بازه مطالعاتی از رودخانه ارس تغییرات مورفولوژیکی مجرا یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مسائل مرتبط با مدیریت سیستم رودخانه‌ای به‌شمار می‌رود. در این راستا، هدف پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور و نیز روش‌های مختلف است. هم‌چنین تعیین عوامل موثر بر تغییرات موروفولوژی و مجرای رودخانه ارس در بازه‌های مختلف از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.

مواد و روش پژوهش

محدوده مورد مطالعه

در پژوهش حاضر تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفت. رودخانه ارس یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های مرزی ایران است. این رودخانه از ارتفاعات بین گؤل‌داغ ترکیه سرچشمه گرفته و پس از پیمودن مسافتی درحدود ۱۰۰۰ کیلومتر به رود کورا و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. این رودخانه بیش از ۴۰۰ کیلومتر از مرز مشترک ایران با جمهوری‌های آذربایجان و ارمنستان را تشکیل می‌دهد. رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل عمدتاً در بستر یک دشت سیلابی توسعه یافته و وسیع در حال جریان است. از دلایل انتخاب منطقه می‌توان به اهمیت رودخانه از نظر مرزی و نیز پویایی بالای آن در اثر دبی بالای رودخانه اشاره نمود. از طرفی فعالیت‌های مختلف انسانی در حاشیه اطراف رودخانه دارای تاثیر مستقیمی بر رفتار و تغییرات رودخانه است. رسوبات و آبرفت‌های جوان کواترنری مواد اصلی تشکیل دهنده این دشت هستند که از فرسایش‌پذیری بالایی برخوردارند. هم‌چنین بخش عمده‌ای از خط مرزی ایران و جمهوری آذربایجان منطبق بر این رودخانه است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

Commented [د٤]:
** تداخل متن**: برخی اطلاعات در مورد محدوده مطالعه در دو بخش مختلف ارائه شده‌اند. بهتر است این اطلاعات را در یک بخش ترکیب کرده و مرتب کنید.

۱. عدم توضیح کامل و دقیق از روش‌های استخراج مجرای رودخانه از تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از شاخص‌های مختلف مورد استفاده، مانند NDVI، WI و NDWI. باید اطلاعات بیشتری در مورد روش‌های مورد استفاده، محاسبات دقیق و مزایا و معایب هر شاخص ارائه شود.

۲. عدم ارائه توضیحات کافی در مورد ارزیابی پلان‌فرم مجرا و استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی کورنیس. باید فرآیند محاسبات و دلیل انتخاب این شاخص‌ها به طور دقیق توضیح داده شود.

۳. عدم ارائه توضیحات کافی در مورد روش ترانسکت برای ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی مجرا و نقدهای مرتبط با این روش. باید اطلاعات بیشتری در مورد چگونگی انجام ترانسکت‌ها، تحلیل داده‌ها و دقت این روش ارائه شود.

٤. نیاز به بیان دقیق‌تر و کامل‌تر در مورد تجزیه و تحلیل نتایج و روابط میان تغییرات مورفولوژیکی مجرا و عوامل محیطی موثر بر آن‌ها. باید ارتباط میان داده‌های به دست آمده و متغیرهای محیطی با دقت بیشتری توضیح داده شود.

٥. عدم ارجاع به منابع مناسب برای توضیحات ارائه شده. باید از منابع معتبر و مرجع در زمینه مورد مطالعه استفاده شود و هر بخش از مقاله باید ارجاعات مناسبی داشته باشد.

با بهبود این نکات، مقاله شما درست‌تر و قابل فهم‌تر خواهد بود و ارزیابی علمی و فنی بهتری خواهد داشت.

** استفاده از متون انگلیسی در متن فارسی**: برخی اصطلاحات و عبارات به انگلیسی آمده‌اند که در یک متن فارسی علمی مناسب نیستند. برای مثال، "NDVI"و "WI" باید به فارسی ترجمه شوند یا حداقل با توضیح کوتاه به فارسی در پرانتز همراه شوند.

** 4.استفاده از منابع معتبر در ٥ سال اخیر **: مشخص نیست که منابعی که به آنها ارجاع داده شده، منابعی معتبر و علمی جدید هستند یا خیر. بررسی دقیق‌تر و اطمینان از اعتبار منابع می‌تواند ارزش علمی مقاله را افزایش دهد.

** معرفی و توضیح متداول متدولوژی**: بخش مربوط به متداولوژی تحقیق به شکلی ناقص و کامل نیست. باید به طور دقیق‌تر به این موارد پرداخته شود و از مفاهیم فنی بیشتری استفاده شود تا خواننده بتواند فرایند تحقیق را به طور کامل درک کند.

** اشتباهات در فرمول‌ها و محاسبات**: برخی از فرمول‌ها و محاسبات بدون توضیح یا با اشتباهات جزئی ارائه شده‌اند. باید این اشتباهات رفع شوند و محاسبات به طور دقیق توضیح داده شوند.

...

Commented [د5]: شکل فاقد کیفیت است
نقشه‌ها خوانا بزرگ و باکیفیت (هر نقشه با حداقل اندازه ۱۳×۱۰ سانتي¬متر) با داشتن جهت شمال، اعداد گرید در حاشیه و اعداد مقیاس و راهنماي نقشه ارخوانا و با کیفیت و با نوشته ها فونت فارسی ارائه گردد Blotus.
درضمن نسبت مقیاس طول و عرضی هنگام درج نقشه ثابت باشد

Fig 1. Location of the study area

استخراج مجرای رودخانه با تکنیک‌های دورسنجی

پس از آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای نسبت به آشکارسازی مجرای رودخانه اقدام شد (۱۲ و ۱۶). در این رابطه رویکردهای متعددی به‌منظور تفکیک و مجزا نمودن آب و پهنه آبی از سایر عوارض زمین ارائه شده است (۲۹). در این راستا می‌توان به شاخص‌های تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص آب (WI) و شاخص تفاضل آب نرمال شده (NDWI) اشاره نمود (۲، ۲۳)، که به‌ترتیب با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه شده است:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}. \quad [۱]$$

$$WI = \frac{B_1 + B_2 + B_3}{B_4 + B_5 + B_7} \quad [۲]$$

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad [۳]$$

در روابط فوق الذکر NIR یک باند مادون قرمز نزدیک؛ Red باند قرمز؛ Green باند سبز و B_i شماره باند در تصاویر لندست است (۲۴). شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی شاخصی است که بیانگر پراکنش و تراکم پوشش گیاهی است و در تحلیل‌ها و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور در خصوص ارزیابی میزان پوشش گیاهی و وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی در یک منطقه کاربرد دارد. در این شاخص برای سطوح دارای پوشش گیاهی، طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک به‌ترتیب با جذب بالا و بازتاب پایین مشخص می‌شوند. شاخص تفاضل آب نرمال شده می‌تواند برای پایش تغییرات محتوای آب برگ‌ها و پایش تغییرات بدنه‌های آبی به‌کار رود. شاخص NDWI برای پهنه‌بندی بدنه‌های آبی بسیار مناسب است چون دارای قابلیت جذب قوی و تابش کم در محدوده طول موج مرئی تا مادون قرمز است که می‌تواند اطلاعات آب را به‌طور موثر در بیش‌تر موارد افزایش دهد. این شاخص به مناطق مسکونی حساس است و اغلب منجر به تخمین بیش از حد آب پهنه آبی می‌شود. شاخص آب (WI) برای تشخیص آب در تصاویر سنجش از راه دور طراحی شده است. کاربرد شاخص آب در تعیین محدوده پیکره‌های آبی عمدتاً بر اساس روش تعیین آستانه است. در استفاده از شاخص مذکور امکان شناسایی ناکارآمد پیکسل‌های آب مخلوط، اختلاط بدنه‌های آبی با پیکسل‌های پس‌زمینه سر و تغییر در مقادیر آستانه با توجه به مکان و زمان تصاویر وجود دارد.

ارزیابی پلان‌فرم مجرا

در این تحقیق برای ارزیابی پلان‌فرم مجرای رودخانه ارس از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی کورنیس استفاده شد. ضریب خمیدگی با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (۷ و ۱۵ و ۲۲):

$$P = \frac{L}{\lambda/2} \quad [۴]$$

که در این رابطه: L طول آبراهه و λ طول موج مئاندر است.

برای محاسبه زاویه مرکزی کورنیس با در اختیار داشتن طول خم و شعاع خمیدگی با بهره‌گیری از رابطه ۵ می‌توان نسبت به محاسبه زاویه مرکزی خم مئاندر اقدام نمود:

$$A = \frac{180L}{R\pi} \quad [۵]$$

در این رابطه A زاویه مرکزی، L طول قوس و R شعاع خمیدگی است (۸).

ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی مجرا

به‌منظور برآورد و سنجش آهنگ مهاجرت یا جابجایی مجرا می‌توان از رابطه ۶ بهره گرفت (۱۴):

$$R_m = (A / L) / y \qquad [۶]$$

که در آن: R_m آهنگ (نرخ) مهاجرت یا جابجایی مجرا؛ A مساحت مابین دو خط مرکزی مجرای رودخانه؛ L نشان دهنده طول خط مرکزی مجرا در زمان t_1؛ و y معرف تعداد سال است.

روش میانگین جهت‌دار خطی به‌عنوان یکی دیگر از شاخص‌های کمّی مورد استفاده به‌منظور ارزیابی تغییرات مجرای رودخانه ارس مورد استفاده قرار گرفت که در ارتباط با مسیرهای خطی است. هر خطی دارای یک نقطه شروع و یک نقطه انتهاست و مسیری را نشان می‌دهد که در طول آن، حرکت انجام می‌گیرد (۱۹). میانگین جهت‌دار خطی از طریق رابطه ۷ قابل محاسبه است (۱۸):

$$LDM = \arctan \frac{\sum_{i=1}^{n} \sin \theta_i}{\sum_{i=1}^{n} \cos \theta_i} \qquad [۷]$$

که در آن θ_i جهت‌های یک مجموعه از عوارض خطی از یک منشا خاص هستند.

در نهایت روش ترانسکت جزو رویکردهایی به‌شمار می‌رود که به‌منظور کمی‌سازی و بررسی تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرای رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۳). در رویکرد مذکور دو خط (به‌عنوان خطوط مبنا) در دست راست و دست چپ کانال رودخانه رسم می‌شود. خطوط رسم شده برای تمامی دوره‌های زمانی به‌صورت ثابت باقی خواهند ماند و به واقع به‌عنوان خطوط مبنایی به شمار می‌روند که تغییرات مجرا نسبت به آنها مورد سنجش قرار می‌گیرد. این روش می‌تواند برای ارزیابی میزان فرسایش و نهشته‌گذاری مجرای رودخانه نیز استفاده شود. در ادامه پس از محاسبه شاخص‌های مذکور، ارزیابی پلان‌فرم با شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی کورنیس و تغییرات مجرا با روش ترانسکت انجام شد و تغییرات مذکور در بازه‌های مختلف رودحانه انجام شد. سپس عوامل موثر بر تغییرات در بازه‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. سپس، متناسب با هر کدام از تغییرات در مورفومتری رودخانه نیز تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی صورت گرفت.

نتایج

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

برای استخراج مجرای رودخانه ارس در سه دوره زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ میلادی از پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست بهره گرفته شد. در پژوهش حاضر چندین شاخص در محیط نرم‌افزار ENVI استخراج شد که در نهایت با مقایسه نتایج شاخص‌ها با تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، شاخص تفاضل آب نرمال شده (NDWI) به‌عنوان بهترین و کارآمدترین شاخص برای تفکیک آب از سایر عوارض زمین انتخاب شد. این شاخص از باند سبز و باند مادون قرمز نزدیک برای نمایان‌سازی آب و سطوح مرطوب از سایر عوارض زمین استفاده می‌کند. در شکل (۲) نتایج این شاخص برای بخش‌هایی از رودخانه ارس نشان داده شده است. همان‌گونه که از روی تصویر نیز مشخص می‌شود مجرای رودخانه به‌صورت بسیار مطلوبی از سایر عوارض و پدیده‌های سطح زمین تفکیک شده است. بدین ترتیب شاخص مذکور به‌عنوان مبنا و اساس استخراج مجرای رودخانه ارس در طی دوره‌های زمانی مختلف در نظر گرفته شد.

Commented [د٦]: اینجا چند ایراد فنی و علمی در مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد:

** .1استفاده از شکل و جدول بدون شرح کافی**: شکل و جدول‌های ارائه شده بدون توضیحات کافی واضح نیستند. برای فهم بهتر نتایج، نیاز به توضیحات بیشتری است.

** .2عدم ارجاع جدید (۵ سال اخیر) به منابع مناسب**: در بخش‌هایی از مقاله، به مراجع و منابع مورد استفاده ارجاع داده نشده است که می‌تواند به اعتبار و اعتماد به مقاله ضربه بزند.

** .3نبود شرح دقیق از روش‌های استفاده شده برای انتقال اطلاعات **: در برخی از بخش‌ها، به ویژه در فرآیند پردازش تصاویر ماهواره‌ای و استخراج شاخص‌ها، جزئیات کافی فراهم نشده است که محققان دیگر بتوانند نتایج را تکرار کنند.

** .4عدم بررسی تاثیر عوامل محیطی**: در مقاله به صورت کامل بررسی نشده که عوامل محیطی مثل تغییرات اقلیم فیزیوگرافی و تغییرات در استفاده از خاک چه تاثیری بر مورفولوژی مجرای رودخانه ارس داشته‌اند.

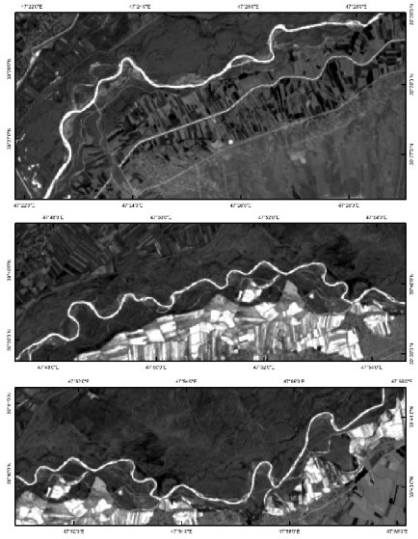
** .5نبود تفسیر مناسب از نتایج**: تفسیر نتایج و روابط موجود بین آن‌ها کافی نیست. نتایج باید به‌گونه‌ای تفسیر شوند که خواننده بتواند دقیق‌تر درک کند که چه اطلاعاتی از مقاله به‌دست می‌آورد.

** .6نیاز به بررسی بیشتر در مورد روش‌های ارزیابی**: برای ارزیابی پلان‌فرم و مورفولوژی رودخانه، باید از روش‌های استاندارد و به‌روز استفاده شود. این مقاله نیازمند توضیحات بیشتری در این زمینه است.

** .7نبود بخش مقایسه با مطالعات پیشین /مرور ادبیات**: مقاله باید یک بخش مقایسات مرور ادبیات داشته باشد که تحقیقات پیشین در این زمینه را مورد بررسی قرار دهد و به نتایج حاصل از تحقیق خود ارتباط دهد. این بخش در این مقاله وجود ندارد.

** .8عدم بررسی تنوع محیطی**: مقاله به طور کامل به بررسی تنوع محیطی در اماکن مختلف مجرای رودخانه پرداخته نشده است که می‌تواند تاثیر مستقیمی بر مورفولوژی داشته باشد.

برای اصلاح این ایرادات، نیاز است که مقاله با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد و جوانب فنی و علمی آن بهبود یابد.



شکل ۲. نمایان‌سازی مجرای رودخانه ارس با استفاده از شاخص NDWI
Fig 2. Representation of Aras River channel using NDWI index

بازه‌بندی مجرای رودخانه و ویژگی‌های آنها

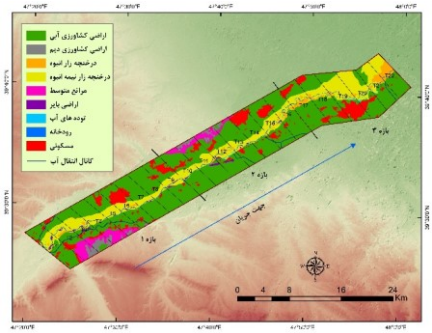
مجرای مطالعاتی رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل به سه بازه تفکیک شد. ویژگی‌های این بازه‌ها به شرح زیر است:

– بازه اول (بازه اصلاندوز): این بازه از محل سد میل مغان اصلاندوز شروع می‌شود و تا محدوده روستاهای حاج حسن کندی و اوزون تپه سفلی امتداد می‌یابد. طول این بازه بالغ بر ۲۹/۵ کیلومتر است. در محدوده این بازه ترانسکت‌های شماره (۱) تا شماره (۹) ترسیم شده‌اند. بازه اول به‌عنوان یک دشت میان‌کوهی است که توسط ارتفاعات قفقاز در شمال و ارتفاعات صلوات داغ و خروسلو (امتداد رشته کوه‌های قره‌داغ) در جنوب محصور شده است. با این حال عرض دره در بیش‌تر مقاطع از هشت کیلومتر فراتر می‌رود و درنتیجه، وجود واحد کوهستان تاثیرات مستقیم چندانی بر روی مورفولوژی مجرای رودخانه ارس در این بازه ندارد. هم‌چنین در بازه مذکور انشعابات پرآبی هم از جهت جمهوری آذربایجان و هم از سمت ایران وارد مجرای این رودخانه می‌شود. رودخانه قره‌سو (دره‌رود) از پایین‌دست سد میل مغان وارد مجرای رودخانه ارس می‌شود. در شکل (۳) کاربری اراضی پیرامون مجرای مطالعاتی از رودخانه ارس ارائه شده است. در بازه اول دو کاربری عمده پیرامون مجرای رودخانه ارس مشتمل بر درختچه‌های پراکنده تا نیمه‌انبوه و کاربری کشاورزی است.

بازه دوم (بازه مغان): این بازه به طول ۲۵/۵ کیلومتر از انتهای بازه اول شروع می‌شود و تا محدوده روستای ایازکندی امتداد می‌یابد. ترانسکت‌های شماره (۱۰) تا شماره (۱۶) در محدوده بازه مذکور ترسیم شده‌اند. از قسمت‌های بالادست این بازه دره ارس به تدریج از کوهستان‌های پیرامون آزاد شده و وارد دشت مغان می‌شود. همانند بازه اول تمایل کلی مجرای رودخانه ارس به سمت ایران است. دلیل اساسی این امر ورود دو انشعاب بزرگ از سمت رشته کوه‌های قفقاز جمهوری آذربایجان به رودخانه ارس است. انشعابات مذکور مخروط افکنه به‌هم‌پیوسته و نسبتاً بزرگی را بوجود آورده‌اند. بخش عمده

کاربری اراضـی پیرامون مجرا در این بازه از نوع کاربری کشـاورزی (عمدتاً زراعت) است. با این حال، بخش قابل توجهی از رودکنار مجرای رودخانه مشتمل بر درختچه‌های نیمه‌انبوه است.

– بازه ســوم (بازه پارس‌آباد): این بازه از انتهای بازه دوم شــروع می‌شــود و تا خروج رودخانه ارس از محدوده ایران امتداد می‌یابد. طول این بازه بالغ بر ۲۵/۵ کیلومتر بوده و ترانســکت‌های شــماره (۱۷) تا شــماره (۲۲) در محدوده این بازه ترســیم شــده‌اند. الگوی مئاندری توســعه یافته این بازه باعث افزایش طول مجرای رودخانه شده است. این بازه منطبق بر دشت هموار و فراخ (دشــت مغان) است که شیب کم، فراوانی مواد ریزدانه، اراضی کشاورزی غالب، الگوی مئاندری توسعه یافته مهم‌ترین مشخصه‌های مورفولوژیکی این منطقه به‌شمار می‌روند.



شکل ۳. کاربری اراضی منطقه مطالعاتی، موقعیت بازه‌ها و ترانسکت‌ها

Fig 3. Land use of the study area, the location of river reaches and transects

ارزیابی پلان‌فرم با استفاده از شاخص زاویه مرکزی

بر اســاس شــاخص زاویه مرکزی کورنیس رودخانه‌ها به پنج نوع الگو تقســیم‌بندی می‌شوند. در جدول (۱) این پنج الگو ارائه شده است. بدین ترتیب الگوی مجرای رودخانه‌ها از شبه‌مئاندری تا نعل اسبی متغیر است.

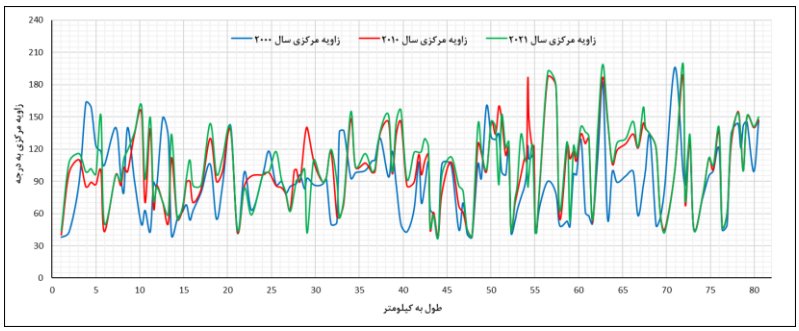
جدول ۱. میزان توسعه قوس‌های مئاندر براساس زاویه مرکزی

Table 1. The rate of development of meander arcs based on the central angle

شکل رودخانه	زاویه مرکزی (درجه)
شبه‌مئاندری	۴۱>
مئاندری توسعه نیافته	۴۱–۸۵
مئاندری توسعه یافته	۸۵–۱۵۸
مئاندری بیش از حد توسعه یافته	۱۵۸–۲۹۶
نعل اسبی	بیش از ۲۹۶

(مقصودی و همکاران (۱۳))

برای مجرای رودخانه ارس در محدوده اســتان اردبیل مقادیر زاویه مرکزی برای ســه دوره زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ میلادی محاســبه شــد که نتایج در جدول ۲ ارائه شــده است. در شکل (۴) مقادیر زاویه مرکزی کورنیس و در در امتداد رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل ارائه شده است.



شکل ۴. زاویه مرکزی کورنیس در امتداد رودخانه ارس

Fig 4. The central angle of the Cornice along the Aras River

مطابق محاسبات صورت گرفته، میانگین زاویه مرکزی کورنیس در امتداد رودخانه ارس در سال ۲۰۰۰ میلادی بالغ بر ۹۰/۶ درجه با انحراف معیار ۳۳/۵ درجه، در سال ۲۰۱۰ میلادی حدود ۱۰۲/۴ درجه با انحراف معیار ۳۵ درجه و در سال ۲۰۲۱ میلادی بالغ بر ۱۰۴/۸ درجه با انحراف معیار ۳۵/۷ درجه بوده است. بر این اساس رودخانه ارس در زمره رودخانه‌های با الگوی مئاندری توسعه یافته قرار می‌گیرد. هم‌چنین در طی سه دوره زمانی مورد بررسی، زاویه مرکزی مجرای رودخانه با آهنگ ملایمی افزایش یافته است. در نمودار مقادیر زاویه مرکزی کورنیس در امتداد رودخانه ارس (شکل ۴) افت و خیزهای ناگهانی در مقادیر این کمیت دلالت بر توسعه مئاندرها یا برعکس رخداد میان‌بر است. افزایش زاویه مرکزی بیان‌گر توسعه مئاندر به‌واسطه فرایند فرسایش کناره مقعر و رسوب‌گذاری کناره محدب است. هم‌چنین، کاهش ناگهانی این کمیت بیان‌گر رخداد میان‌بر است که باعث کوتاه‌شدگی مجرا شده است. در همین رابطه طول مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل در سال ۲۰۰۰ میلادی بالغ بر ۷۶/۹ کیلومتر، در سال ۲۰۱۰ بالغ بر ۷۷/۶ کیلومتر و در سال ۲۰۲۱ میلادی بالغ بر ۸۰/۳ کیلومتر بوده است. بدین ترتیب در طی ۲۰ سال گذشته افزایش مئاندرشدگی باعث افزایش طول مجرای رودخانه نیز شده است.

جدول ۲. زاویه مرکزی و طول مجرا در امتداد بازه‌های رودخانه ارس

Table 2. The central angle and the length of the channel along the reaches of Aras River

بازه	طول به کیلومتر			زاویه مرکزی کورنیس به درجه		
	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۱	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۱
بازه (۱)	۳۰/۱۹	۲۸/۵۳	۲۹/۴۱	۸۹/۰۹	۸۹/۷۵	۹۳/۱۸
بازه (۲)	۲۴/۴۶	۲۴/۶۱	۲۵/۵۱	۹۱/۸۵	۱۰۰/۷۱	۱۱۵/۱۳
بازه (۳)	۲۲/۲۵	۲۴/۴۷	۲۵/۴۰	۹۵/۴۳	۱۰۲/۲۵	۱۱۷/۳۱

در بازه اصلاندوز (بازه ۱) میانگین زاویه مرکزی کورنیس در سال ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ به‌ترتیب بالغ بر ۸۹/۰۹، ۸۹/۷۵ و ۹۳/۱۸ درجه بوده است. لذا میانگین زاویه مرکزی در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی تقریباً ثابت بوده است. با این حال طول رودخانه در طی دوره زمانی مذکور از ۳۰/۲ کیلومتر به ۲۸/۵ کیلومتر کاهش یافته است. علت اساسی این کاهش در ارتباط با وقوع چند میان‌بر و تغییر مسیر کوتاه (شکل ۵) در امتداد این بازه بوده است. وقوع میان‌بر و کوتاه‌شدگی مجرا

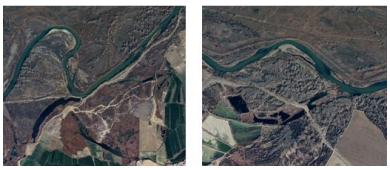
به‌صورت محلی باعث افزایش شیب بستر شده که به‌نوبه خود منجر به فرسایش و آبشستگی مجرا می‌شود. در دشت سیلابی ارس تعداد زیادی کانال متروک وجود دارد که غالبا به‌دلیل وجود خاک مناسب و رطوبت کافی توسط پوشش درختچه‌ای یا درختان اشغال شده‌اند. پوشش نواری درختچه‌ها و درختان موجود در دشت سیلابی ارس مربوط به این پدیده است (شکل ۶). در برخی از موارد کانال‌های متروک تبدیل به برکه شده‌اند (شکل ۷). در نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی (شکل ۳) توده‌های آب یا برکه‌های پیرامون رودخانه ارس مربوط به همین کانال‌های متروک هستند که عموماً شکل هلالی دارند. در نقطه مقابل، توسعه مئاندرها در عرض دشت سیلابی باعث تطویل مجرای رودخانه شده است. در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی چندین مئاندر جدید در امتداد مجرای رودخانه ارس در بازه اصلاندوز قابل مشاهده است که از جمله می‌توان به توسعه مئاندر در محدوده ترانسکت‌های شماره (۳)، شماره (۶) و شماره (۸) اشاره نمود. این فرایند باعث حفظ تعادل دینامیک مجرای رودخانه شده است. با این حال، تحولات و پویایی عرضی مجرای رودخانه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی شدید بوده است. در این رابطه، میانگین زاویه مرکزی کورنیس در سال ۲۰۲۱ میلادی حدود ۹۳/۲ درجه محاسبه شد. هم‌چنین در بازه اصلاندوز طول رودخانه با مقداری افزایش به حدود ۲۹/۴ کیلومتر رسید. در حالت کلی، در دوره زمانی دوم دینامیک عرضی مجرای رودخانه ارس تا حد قابل توجهی کاهش یافته است. به همین دلیل در طی دوره زمانی مذکور تغییر مسیر خاصی در امتداد مجرای رودخانه اتفاق نیفتاده و تعداد میان‌برها به شدت کاهش یافته است. عدم رخداد میان‌بر و تغییر مسیر مجرا در کنار توسعه عرضی آرام مئاندرها به‌صورت افزایش زاویه مرکزی کورنیس و درنتیجه افزایش طول مجرا بازتاب یافته است.

شکل ۵. تغییر مسیر در محدوده ترانسکت شماره (۲)

Fig 5. Changing the river path along the transect number (2)

شکل ۶. نوارهای پوشیده از درخت و درختچه در کانال‌های متروک

Fig 6. Strips covered with trees and shrubs in abandoned canals



شکل ۷. برکه‌های هلالی (نعل اسبی) در پیرامون مجرای رودخانه ارس
Fig 7. Crescent ponds (Oxbow lakes) around the channel of Aras River

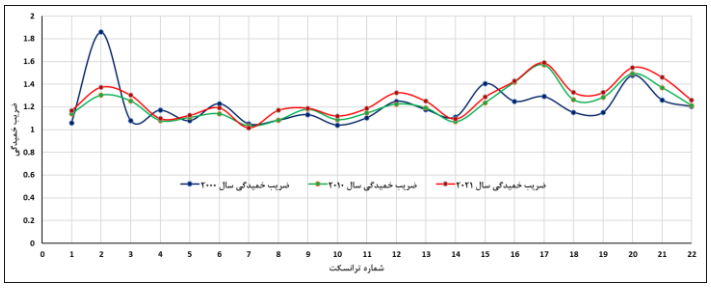
در بـازه مغـان (بـازه دوم) میانگین زاویه مرکزی کورنیس در طی سـال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ میلادی به‌ترتیب در حدود ۹۱/۹، ۱۰۰/۷ و ۱۱۵/۱ درجه حاصـل شـد. طول مجرا نیز برای دوره‌های زمانی مذکور بالغ بر ۲۴/۵، ۲۴/۶ و ۲۵/۵ کیلومتر محاسـبه شد. بدین ترتیب بازه مغان نیز جزو رودخانه‌های با الگوی مئاندری توسعه یافته است. تحولات معمول رودخانه‌های مئاندری در امتداد این بازه نیز به وضـوح قابل مشـاهده و اندازه‌گیری اسـت. تراس‌ها، پشـته‌های نقطه‌ای، پشـته‌های پیچشـی، کـانـال‌هـای متروک، در برخی نقاط برکه‌های نعل اسـبی، کناره‌های خارجی پرشـیب و کناره‌های داخلی محدب مهم‌ترین لنـدفرم‌های مرتبط با فرایندهای مئاندرشـدگی در بازه دوم مجرای رودخانه ارس اسـت. با اینکه طول مجرا در دوره زمانی نخسـت (سـال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) تقریبا ثابت باقی مانده اما رودخانه در طی این دوره زمانی از دینامیک عرضـی قابل توجهی برخوردار بوده اسـت. چندین میان‌بر در امتداد رودخانه اتفاق افتاده اسـت. این فرایند در محدوده اکثر ترانسـکت‌های ترسیمی دیده می‌شـود. هم‌چنین دو تغییر مسـیر کوتاه در محدوده ترانسـکت‌های شـماره (۱۲) و (۱۶) حادث شده است. با این حال، وقوع میان‌بر و کوتاه‌شـدگی مجرا به سـرعت توسـط توسـعه مئاندرها و تطویل مجرای رودخانه جبران شـده اسـت. افزایش حدود ۹ درجه‌ای زاویه مرکزی دلالت بر توسـعه و گسـترش جانبی پرشـتاب مئاندرها در دشـت سیلابی پیرامون دارد. در بازه زمانی دوم (سـال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱) آهنگ تغییر و تحولات مئاندرها افت محسـوسی داشته است. محدود شدن رخداد میان‌بر و عدم وقوع تغییر مسـیر منجر به افزایش حدود یک کیلومتری طول مجرا شـده اسـت. زاویه مرکزی نیز به‌واسـطه توسـعه و پیش‌روی مئاندرها (فرسـایش در کناره‌های مقعر و رسوب‌گذاری در کناره‌های محدب) بیش از ۴ درجه افزایش نشان می‌دهد. در حالت کلی، کاهش دبی رودخانه مهم‌ترین نقش را در افت نرخ دینامیک عرضـی مجرا داشـته اسـت. نکته قابل توجه در ویژگی‌های پلانیمتریک مجرای رودخانه در بازه مغان تمایل برخی از قسـمت‌های مجرا به الگوی گیسـوئی اسـت. در مقاطعی از رودخـانـه(بـه‌ویژه در ترانسـکـت‌ها شـماره ۱۵ و ۱۶) الگوی مجرای رودخانه رفتار آسـتانه‌ای (بین مئاندرشـدگی و گیسـوئی‌شـدن) را نشـان می‌دهد (شـکل ۸). با توجه به مشاهدات میدانی و هم‌چنین مراجعه به تصاویر ماهواره‌ای این امر را می‌توان به دلایل متعددی نسـبت داد. در این رابطه افزایش فرسـایش‌پذیری محلی کناره‌های رودخانه و از بین رفتن پوشـش گیاهی رودکنار را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین دلیل تمایل موضـعی به گیسـوئی شـدن برشـمرد. زمانی که کناره‌های مجرای رودخانه از مواد فرسـایش‌پذیر (مخصوصاً ترکیبی از ماسه و گراول) تشکیل شده باشد و پوشش گیاهی نیز نقش محدودی در حفاظت از فرسـایش ایفا نماید گیسـوئی‌شـدن اتفاق می‌افتد. یعنی عرضـه رسـوب افزایش می‌یابد و رسـوب مازاد به‌صورت پشـته‌های آبرفتی نهشـته‌گذاری می‌شوند. هم‌چنین عرض مجرا نیز افزایش یافته که خود باعث افزایش اتلاف انرژی و تشکیل پشـته‌های رسـوبی می‌شود. با این حال، گیسوئی شدگی در مقاطعی از این بازه به اندازه‌ای نیست که بتوان مقاطع مذکور را در گروه رودخانه‌های گیسوئی در نظر گرفت. به همین دلیل این مقاطع تحت عنوان مقاطع با رفتار آستانه‌ای مشخص شدند.

شکل ۸. تمایل محلی الگوی رودخانه به گیسوئی در قسمتی از بازه دوم
Fig 8. The local tendency of the river pattern to Braided in a part of the second reach

در بازه پارس‌آباد (بازه سوم) میانگین زاویه مرکزی در طی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ به‌ترتیب ۹۵/۴، ۱۰۲/۳ و ۱۱۷/۳ درجه و طول مجرا به‌ترتیب در حدود ۲۲/۳، ۲۴/۵ و ۲۵/۴ کیلومتر محاسبه شد. بدین ترتیب مشخص می‌شود که در بازه پارس‌آباد میانگین زاویه مرکزی کورنیس بیش‌تر از دو بازه بالادست بوده و درنتیجه، میزان مئاندرشدگی نیز بیش‌تر است. دلایل متعددی برای این امر وجود دارد که از جمله می‌توان به کاهش محسوس شیب، وجود درصد قابل توجهی از مواد رسی در کناره‌ها و بستر رودخانه و وجود پوشش گیاهی مطلوب اشاره کرد. لازم به ذکر است که حضور رس در مواد کناره باعث افزایش چسبندگی و کاهش فرسایش‌پذیری کناره‌ها می‌شود. توسعه و گسترش مئاندرها در این نوع کناره‌ها از طریق زیربری و ریزش یا لغزش مواد کناره اتفاق می‌افتد. مئاندرشدگی این بازه در طی ۲۰ سال گذشته افزایش یافته است. این افزایش به اندازه حدود ۷ درجه در طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ و حدود ۱۵ درجه در طی دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ میلادی بوده است. افزایش قابل توجه این کمیت در دوره زمانی دوم عمدتا در ارتباط با عدم وقوع میان‌بر در طی این سال‌ها بوده است. این امر باعث شده است که کوتاه‌شدگی و مستقیم‌شدگی قابل توجهی در مجرای رودخانه رخ ندهد و بدین ترتیب با توسعه جانبی مئاندرها در دشت سیلابی، طول و زاویه مرکزی این بازه افزایش پیدا کرده است. در بازه مذکور شیب بستر و دشت سیلابی مجاور به‌دلیل نزدیک شدن به سطح اساس به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. این امر شرایط مساعدی را برای تغییر مسیر مجرا ایجاد کرده است. این نوع تغییر مسیر در دوره زمانی اول (سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی) در بالادست بازه (ترانسکت‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹) اتفاق افتاده است. با این حال، در طی تغییر مسیر مجرا نیز الگوی مئاندری رودخانه حفظ شده است. به‌دلیل مکان‌گزینی شهر پارس‌آباد در مجاورت مجرای رودخانه ارس در محدوده بازه سوم دخالت‌های انسانی (مخصوصاً در قسمت‌های بالادست این بازه) افزایش می‌یابد. با این حال، در طرف جمهوری آذربایجان اراضی رودکنار و دشت سیلابی رودخانه تا گستره قابل توجهی مشتمل بر پوشش درختچه‌ای تنک تا متراکم است و درنتیجه رودخانه در سمت شمال (دست چپ) از آزادی عمل بیش‌تری برخوردار است.

ارزیابی تغییرات مجرای رودخانه با شاخص ضریب خمیدگی

در شکل (۹) میانگین شاخص ضریب خمیدگی در محدوده ۲۲ ترانسکت ترسیمی ارائه شده است.



شکل ۹. ضریب خمیدگی در ترانسکت‌های ترسیم شده بر روی رودخانه ارس

Fig 9. Bending coefficient in the transects measured on Aras River

نتایج حاصل از تغییرپذیری مکانی شاخص ضریب خمیدگی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

-میانگین ضریب خمیدگی برای کل مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ به‌ترتیب در حدود ۱/۲۱، ۱/۲۲ و ۱/۲۷ محاسبه شد. این مقادیر یافته‌های مرتبط با زاویه مرکزی را تایید می‌کند. در حالت کلی، میانگین شاخص ضریب خمیدگی در طی ۲۰ سال گذشته روند افزایشی داشته است. این روند در طی دوره زمانی اول حدود ۰/۱ و در دوره زمانی دوم حدود ۰/۶ بوده است. در طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ تحرک جانبی در کل مجرای رودخانه ارس دارای آهنگ پرشتابی بوده است. مئاندرها با نرخ بالایی توسعه می‌یافتند و سپس درنتیجه فرایند میان‌بر از بین می‌رفتند. بدین ترتیب، توسعه جانبی پرشتاب مئاندرها از طریق وقوع میان‌بر و در برخی موارد تغییر مسیر مجرا خنثی می‌شد. با این حال در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ به‌دلیل افت دبی رودخانه تحرک و پویایی جانبی مجرا به‌طور محسوسی کاهش یافت. این امر باعث محدود شدن رخداد میان‌بر و تغییر مسیر مجرا شد. در نهایت، توسعه مئاندرها (هر چند با نرخ آرام) باعث افزایش زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی در کل مجرای رودخانه ارس شد. در سال ۲۰۰۰ میلادی بیش‌ترین میزان ضریب خمیدگی مربوط به ترانسکت شماره (۲) با مقدار ۱/۸۶ است که مجرای رودخانه در محدوده این ترانسکت مشتمل بر چهار مئاندر توسعه یافته مجاور هم بود. در سال‌های بعدی در محدوده همین مئاندرها تغییر مسیر اتفاق افتاد و تمامی مئاندرهای مذکور حذف شدند. پایین‌ترین میزان ضریب خمیدگی نیز با مقدار ۱/۰۴ مربوط به ترانسکت شماره (۱۰) است که مجرای رودخانه در محدوده این ترانسکت در نتیجه وقوع میان‌بر دچار کوتاه‌شدگی و مستقیم شدگی شده بود. در طی سال ۲۰۱۰ میلادی بیش‌ترین میزان ضریب خمیدگی متعلق به ترانسکت شماره (۱۷) با مقدار ۱/۵۷ بود که در این مورد هم مجرای رودخانه شامل چندین مئاندر توسعه یافته بود. کم‌ترین میزان ضریب خمیدگی نیز با مقدار ۱/۰۳ مربوط به ترانسکت شماره (۷) بود که رودخانه به‌صورت محلی در خط السیری مستقیم جریان می‌یافت. در نهایت در طی سال ۲۰۲۱ میلادی بیش‌ترین میزان ضریب خمیدگی با مقدار ۱/۵۹ مربوط به ترانسکت شماره (۱۷) و کم‌ترین میزان این شاخص نیز با مقدار ۱/۰۲ مربوط به ترانسکت شماره (۷) بود.

- میانگین شاخص ضریب خمیدگی بازه اول (ترانسکت‌های شماره ۱ تا ۹) برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ میلادی به‌ترتیب بالغ بر ۱/۱۹، ۱/۱۵ و ۱/۱۸ محاسبه شد. کاهش مقدار این شاخص در سال ۲۰۱۰ میلادی مربوط به وقوع یک تغییر مسیر قابل توجه در محدوده ترانسکت شماره (۲) و کوتاه و مستقیم شدن قابل توجه مجرای رودخانه در ترانسکت مذکور است. در سایر قسمت‌های رودخانه در بازه اصلاندوز کوتاه و مستقیم شدن مجرا درنتیجه وقوع میان‌بر از طریق توسعه و

پیش‌روی عرضی مئاندرها در دشت سیلابی جبران شده است. در دوره زمانی دوم (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱) به‌دلیل کاهش دبی، نرخ تغییرات عرضی مجرا افت محسوسی داشته است.

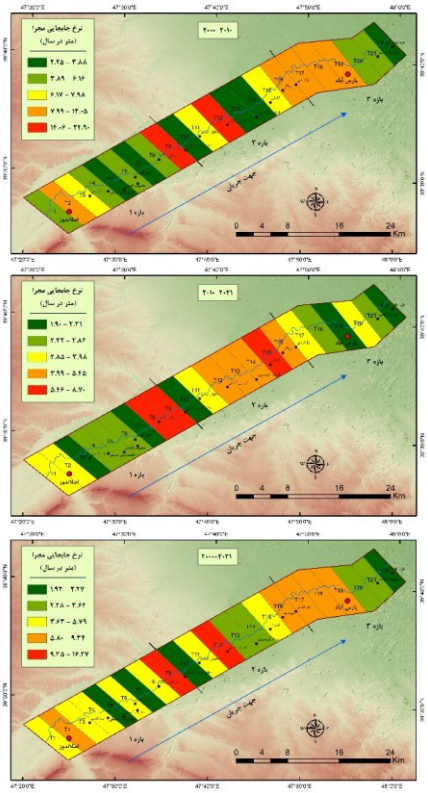
– در بازه مغان (بازه دوم) میانگین شاخص ضریب خمیدگی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ درحدود ۱/۱۹، ۱/۲۰ و ۱/۲۴ برآورد شد. در دوره‌های زمانی مورد مطالعه بیش‌ترین مقادیر این ضریب در ترانسکت شماره (۱۶) و کم‌ترین مقدار آن در ترانسکت‌های شماره (۱۰) و (۱۴) مشاهده شد. در حالت کلی در محدوده این بازه روند افزایشی در ضریب خمیدگی دیده می‌شود که در شکل (۹) به روشنی در اکثر ترانسکت‌های ترسیمی قابل مشاهده است. روند افزایشی ضریب خمیدگی در ارتباط با کاهش قابل توجه وقوع میان‌برها و تغییر مسیر مجرا است. این امر خود معلول کاهش قابل توجه دبی رودخانه ارس به‌شمار می‌رود.

– در بازه پارس‌آباد (محدوده ترانسکت‌های شماره ۱۷ تا ۲۲) میانگین ضریب خمیدگی برای سه دوره زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ به‌ترتیب در حدود ۱/۲۶، ۱/۳۷ و ۱/۴۲ محاسبه شد. این ضریب برای ۲۰ سال گذشته دارای روند افزایشی بوده است. افزایش در طی دوره زمانی دوم محسوس‌تر بوده است. در طی دوره زمانی اول چندین میان‌بر و تغییر مسیرکوتاه اتفاق افتاده که باعث کوتاه و مستقیم شدن مجرای رودخانه به‌صورت محلی شده است. این امر در مقادیر کم شاخص ضریب خمیدگی انعکاس یافته است. این بازه از رودخانه ارس جزو تیپیک‌ترین الگوهای مئاندری محسوب می‌شود. مئاندرها از نوع توسعه یافته یا بیش از حد توسعه یافته هستند. وجود الگوی مئاندری توسعه یافته و بیش از حد توسعه یافته باعث افزایش زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی در محدوده این بازه شده است.

ارزیابی تغییرات جانبی مجرا با شاخص آهنگ مهاجرت

در شکل (۱۰) شاخص مهاجرت جانبی مجرا (Rm) در دوره‌های زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ ارائه شده است. از نظر شاخص آهنگ مهاجرت مجرا تغییرپذیری مکانی زیادی در امتداد رودخانه ارس دیده می‌شود. میانگین این شاخص برای کل مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی در حدود ۸/۱۵ متر در سال محاسبه شد. بیش‌ترین میزان نرخ مهاجرت مجرا مربوط به ترانسکت‌های شماره (۱۲) و (۹) به‌ترتیب با مقدار ۲۴/۹ و ۲۲/۸ متر در سال است. در هر دو مورد، مقادیر بالای شاخص مذکور در ارتباط با تغییر مسیر مجرا و رخداد میان‌بر بوده است که از عوامل اساسی تغییر مورفولوژی مجرای رودخانه ارس بوده‌اند. در این رابطه، وجود دشت سیلابی هموار و گسترده و دبی زیاد رودخانه همراه با وقوع سیلاب‌ها مهم‌ترین نقش را ایفا نموده‌اند. کم‌ترین میزان آهنگ مهاجرت مجرا در طی دوره زمانی مذکور مربوط به ترانسکت شماره (۵) با مقدار ۲/۲ متر در سال و ترانسکت شماره (۱۴) با مقدار ۲/۶ متر در سال بوده است. در هر دو ترانسکت مذکور مجرای رودخانه دارای الگوی شبه‌مئاندری یا مستقیم است. در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ میلادی آهنگ مهاجرت مجرای رودخانه ارس به حدود ۳/۸۴ متر در سال کاهش می‌یابد. بدین ترتیب نرخ مهاجرت جانبی مجرا در دوره زمانی دوم نسبت به دوره زمانی اول بیش از ۵۰ درصد کاهش یافته است. شاخص‌های کمّی زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نیز قبلا نشان داده بودند که تحرک و پویایی جانبی مجرا در طی ۲۰ سال اخیر دارای روند کاهشی بوده است. در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ میلادی بیش‌ترین میزان نرخ مهاجرت مجرا مربوط به ترانسکت‌های شماره (۸) و (۹) به‌ترتیب با مقدار ۸/۷ و ۶/۸ متر در سال بوده است. این امر در هر دو ترانسکت در ارتباط با توسعه و گسترش عرضی مئاندرها در داخل دشت سیلابی و متعاقب آن، رخداد میان‌بر بوده است. کم‌ترین میزان شاخص مذکور نیز در محدوده ترانسکت شماره (۱۰) با مقدار۱/۹ متر در سال مشاهده شد. در محدوده این ترانسکت مجرای

رودخانه در طی دوره زمانی مذکور دارای الگوی مستقیم یا شبه‌مئاندری بوده است. اگر میانگین نرخ مهاجرت مجرا در طی ۲۰ سال گذشته محاسبه شود رقم ۵/۷ متر در سال با انحراف معیار ۳/۷ حاصل می‌شود. این ارقام نشان می‌دهند که اولا نرخ مهاجرت مجرا برای رودخانه ارس رقم قابل توجهی است و دلالت بر پویایی و دینامیک جانبی بالای رودخانه حتی با وجود کاهش این روند در طی سال‌های اخیر دارد. ثانیاً نرخ مهاجرت مجرا در امتداد رودخانه ارس از تغییرپذیری مکانی زیادی برخوردار است. بیش‌ترین میزان نرخ مهاجرت مجرای رودخانه ارس در محدوده ترانسکت شماره (۱۲) با میانگین ۱۶/۳ متر در سال و ترانسکت شماره (۹) با میانگین ۱۳/۶ متر در سال دیده می‌شود. هم‌چنین در ترانسکت‌های شماره (۱۶) تا (۱۹) نرخ مهاجرت مجرا بین مقادیر تقریبی ۸ تا ۹ متر در سال متغیر بوده است. مقادیر بالای این شاخص در ارتباط با تغییر مسیر مجرا و رخداد میان‌بر بوده است. وقوع این فرایندها می‌تواند مخاطراتی را نیز به‌همراه داشته باشد.

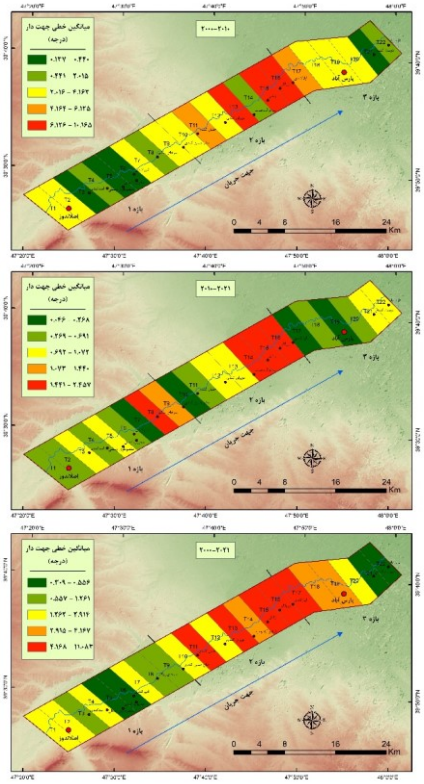


شکل ۱۰. تغییرپذیری زمانی- مکانی مقادیر شاخص آهنگ مهاجرت مجرا در امتداد رودخانه ارس

Fig 10. Temporal-spatial variability of channel migration rate index values along Aras River

ارزیابی تغییرات جانبی مجرا با شاخص میانگین جهت‌دار خطی

شـــاخص میانگین جهت‌دار خطی برای ارزیابی تغییرات ناگهانی مســـیر مجرا کاربرد دارد. در شـــکل (۱۱) تغییرات زمانی و مکانی این شـاخص به‌صـورت فضـایی در محدوده ترانسـکت‌های ترسـیمی بر روی مجرای رودخانه ارس نمایش داده شده اسـت که با شـاخص آهنگ جابجایی مجرا همخوانی دارد. همانند سـایر شاخص‌ها، در دوره زمانی نخست (از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) تغییرات میـانگین خطی جهت‌دار در تمامی بازه‌های مطالعاتی شـــدیدتر بوده اســـت. در مجرای مطالعاتی از رودخانه ارس وقوع میان‌بر و تغییر مسـیر به کرات اتفاق افتاده اسـت. هر دو فرایند به‌صـــورت ناگهانی باعث تغییر در امتداد یا جهت مجرای رودخانه می‌شـــود. بدین ترتیب در ترانســـکت‌هایی که تغییر ناگهانی در شـــاخص میانگین خطی جهت‌دار مشـــاهده می‌شـود تغییر مسـیر یا میان‌بر اتفاق افتاده اسـت. زمانی که هر دو پدیده به‌صورت توامان در محدوده ترانسکت خاصی اتفاق افتاده باشـد تغییرات شـاخص مذکور بسیار شدید و ناگهانی است. هم‌چنین توسعه و پیش‌روی عرضی سریع خم‌مئاندرها در داخل دشـت سـیلابی می‌تواند منجر به تغییرات قابل توجه در جهت و امتداد مجرای رودخانه گردد که به‌صـورت تغییرات در شـاخص میانگین خطی جهت‌دار بازتاب می‌یابد. بیش‌ترین تغییرات در شـاخص میانگین خطی جهت‌دار در پایین‌دسـت بازه مغان (بازه دوم) و بالادسـت بازه پارس‌آباد (بازه سـوم) مشـاهده می‌شـود. در قسـمت‌های مورد اشـاره درجه مئاندرشـدگی رودخانه و روند توسـعه و گسـترش این مئاندرها در دشـت سـیلابی از آهنگ پرشـتابی برخوردار بوده اسـت. به همین دلیل رخداد میان‌بر یکی از مهم‌ترین تحولات مورفولوژیکی مجرای رودخانه در این قسـمت‌ها اسـت. این امر با تغییرات مداوم در جهت و امتداد مجرای رودخانه مشـخص می‌شـود. افزون بر این، در قسمت‌های یاد شده چندین تغییر مسیر کوتاه مجرا اتفاق افتاده (مخصوصاً در دوره زمانی قبل از سال ۲۰۱۰ میلادی) و منجر به تغییرات شدید در جهت و امتداد رودخانه شده است.



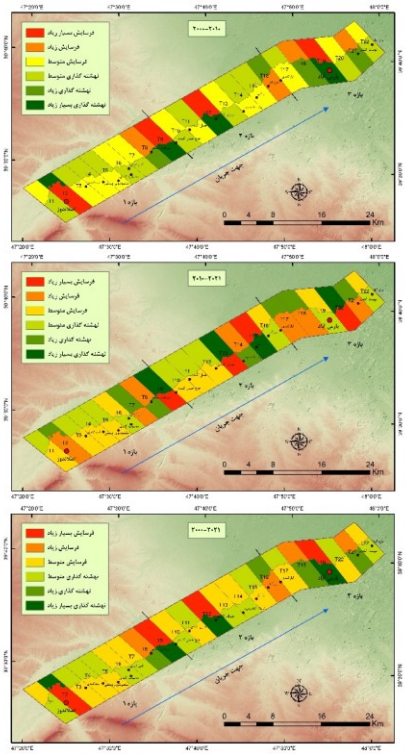
شکل ۱۱. تغییرپذیری شاخص میانگین خطی جهت‌دار در امتداد رودخانه ارس

Fig 11. Variability of the directional linear average index along Aras River

ارزیابی تغییرات جانبی مجرا با استفاده از روش ترانسکت

محاسبات صورت گرفته بر اساس روش ترانسکت (شکل ۱۲) نشان می‌دهد که در طی ۲۰ سال گذشته به‌طور میانگین بالغ بر ۵۴۸ هکتار از اراضی حاشیه رودخانه ارس درنتیجه فرایندهای فرسایش و تحرک جانبی رودخانه از دسترس خارج شده‌اند. بخش عمده‌ای از این تحرکات در دوره زمانی نخست (از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی) اتفاق افتاده است. اگر عدد مذکور بر تعداد سال‌ها تقسیم شود حاصل ۲۶/۱ هکتار خواهد بود. یعنی به‌طور متوسط در هر سال حدود ۲۶ هکتار از اراضی مجاور رودخانه ارس درنتیجه دینامیک جانبی رودخانه از دسترس خارج شده‌اند. هر چند مجرای رودخانه ارس در حالت تعادل دینامیک قرار دارد و تقریبا به همان نسبت فرسایش، رسوب‌گذاری نیز اتفاق می‌افتد. رسوب‌گذاری مخصوصاً در کناره‌های خارجی (محدب) مئاندرها و داخل کانال‌های متروک و برکه‌های نعل اسبی صورت می‌گیرد. با این حال باید توجه نمود که در اغلب موارد، موادی که فرسایش می‌یابند جزو خاک‌های حاصل‌خیز کشاورزی هستند. در حالی که نهشته‌های جدید جزو خاک‌های نارس و تکامل‌نیافته هستند و از توان کشاورزی پایینی برخوردار هستند.

در ۱۳ ترانسکت از ۲۲ ترانسکت ترسیمی، فرسایش به نفع خط ساحلی ایران بوده است. به بیان دیگر، تمایل فرسایش کناره و تحرک جانبی مجرا عمدتا به سمت اراضی جمهوری آذربایجان بوده است و در سواحل ایران نهشته‌گذاری غالب‌تر بوده است. بر این اساس در طی ۲۱ سال گذشته حدود ۴۰۸ هکتار به اراضی ساحلی ایران افزوده شده است. یکی از دلایلی که باعث شده است تمایل فرسایش عمدتاً به سمت جمهوری آذربایجان باشد نوع کاربری اراضی است. در طرف جمهوری آذربایجان بخش قابل توجهی از رودکنار و حریم رودخانه ارس مشتمل بر درختچه‌های پراکنده، نیمه‌انبوه و انبوه است. همچنین اراضی تحت تاثیر فرایندهای سیلابی یا اراضی جدیدا نهشته‌گذاری شده فاقد پوشش گیاهی هستند. این در حالی است که بخش قابل توجهی از رودکنار و حریم رودخانه ارس در طرف ایران به اراضی کشاورزی اختصاص یافته است. حتی سکونتگاه‌های متعددی در پیرامون مجرای رودخانه استقرار یافته‌اند که به‌دلیل فرسایش کناره شدید مجرای رودخانه گاها اقدامات حفاظتی متعددی به‌منظور جلوگیری یا کاهش فرسایش کناره مجرای رودخانه صورت گرفته است. در نتیجه این اقدامات فرسایش تا حدودی کاهش یافته است. کاری که فعلا در اراضی پیرامون رودخانه ارس در محدوده کشور آذربایجان صورت گرفته است.



شکل ۱۲. ارزیابی فرسایش و نهشته‌گذاری مجرای رودخانه با روش ترانسکت

Fig 12. Evaluation of river channel erosion and deposition by transect method

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرای رودخانه ارس از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های کمّی ژئومورفیک استفاده شد. به‌منظور نمایان‌سازی و تفکیک آب از سایر عوارض شاخص تفاضل آب نرمال شده (NDWI) مناسب تشخیص داده شد که یک نسبت باندی به‌شمار می‌رود و از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌کند. قبل از اجرای این نسبت باندی، تصحیح اتمسفری فلش بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد که این امر باعث افزایش دقت شاخص مذکور می‌شود. در مرحله بعد به‌منظور ارزیابی تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرای رودخانه شاخص‌های کمّی ژئومورفیک محاسبه شدند. این شاخص‌ها عبارتنداز: زاویه مرکزی کورنیس، ضریب خمیدگی، نرخ مهاجرت (جابجایی) مجرا، میانگین جهت‌دار خطی و ترانسکت. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شاخص‌های کمی ژئومورفیک را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

– رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل از تحرک و پویایی جانبی بالایی برخوردار است. به‌گونه‌ای که در طی ۲۰ سال گذشته مجرای رودخانه به‌طور متوسط هر سال بیش از ۵ متر جابجا شده است.

– مهم‌ترین فرایندهای موثر بر تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرای رودخانه ارس شامل شکل‌گیری، توسعه و پیش‌روی مئاندرها در عرض دشت سیلابی، ایجاد میانبر و تغییر مسیرهای کوتاه مجرا است. وقوع میانبرها و تغییر مسیرها باعث افزایش قابل توجه تغییرات جانبی مجرای رودخانه شده است. وقوع سیلاب‌ها مهم‌ترین نقش را در وقوع میانبر و تغییر مسیر مجرا در امتداد رودخانه ارس دارند.

– تمامی شاخص‌های کمّی ژئومورفیک نشان‌دهنده کاهش تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرا در طی سال‌های اخیر است. به گونه‌ای که مطابق نتایج اکثر شاخص‌های کمّی ژئومورفیک، دینامیک جانبی مجرا در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ نسبت به دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بیش از ۵۰ درصد کاهش داشته است.

– مهم‌ترین دلیل کاهش قابل توجه مقادیر شاخص‌های کمّی ژئومورفیک در دوره زمانی دوم (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ میلادی) نسبت به دوره زمانی اول (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) در ارتباط با کاهش قابل توجه رخداد میانبر و تغییر مسیر مجرا بوده است. افت دبی رودخانه و کاهش شدت و تواتر سیلاب‌ها مهم‌ترین نقش را در کاهش وقوع میانبر و تغییر مسیر مجرا داشته‌اند.

– در طی ۲۰ سال گذشته در سمت خاک ایران فرایندهای رسوب‌گذاری و در سمت خاک جمهوری آذربایجان فرایندهای فرسایشی غلبه داشته است. این امر باعث شده است که در طی ۲۱ سال گذشته حدود ۴۰۸ هکتار به اراضی ساحلی ایران افزوده شود.

– مطابق مشاهدات میدانی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای حریم اکولوژیکی مجرای رودخانه ارس در سمت ایران در بسیاری از موارد توسط اراضی کشاورزی اشغال شده است. این در حالی است که در سمت آذربایجان بخش قابل توجهی از رودکنار و دشت سیلابی رودخانه ارس مشتمل بر کاربری درختچه‌ای پراکنده، نیمه انبوه و انبوه است و مجرای رودخانه از آزادی عمل بیش‌تری برخوردار است.

تعیین ارتباط میان تغییرات مورفولوژی بستر رودخانه و داده‌های دبی رودخانه از مواردی است که می‌تواند به تحلیل‌های بهتر منجر شود. هم‌چنین تعیین پهنه‌های سیلابی در دوره بازگشت‌های مختلف می‌تواند مشخص نماید که تغییرات موروفولزی و جابجایی بستر در چه دوره‌بازگشت‌هایی اتفاق افتاده است و می‌تواند در پیش‌بینی رفتار و تغییرات رودخانه در آینده موثر باشد.

Commented [Vd]: ** .1استفاده از شاخص‌های کمّی ژئومورفیک**: در بحث و نتیجه‌گیری، اشاره شده است که از شاخص‌های کمّی ژئومورفیک برای ارزیابی تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرای رودخانه استفاده شده است. اما نام این شاخص‌ها و نحوه محاسبه آنها مشخص نشده است، که این می‌تواند ابهاماتی در تفسیر نتایج ایجاد کند.

** .2اعتبارسنجی شاخص‌ها**: در مورد شاخص NDWI (شاخص تفاضل آب نرمال شده) اشاره شده است که از آن برای تفکیک آب از سایر عوارض زمین استفاده شده است. اما هیچ اطلاعاتی در مورد اعتبارسنجی این شاخص و مقایسه آن با داده‌های زمینی (مانند داده‌های میدانی) ارائه نشده است که می‌تواند قابلیت تعمیم نتایج را محدود کند.

** .3تحلیل دوره‌های زمانی**: در بحث نتایج، تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرا در سه دوره زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ مورد بررسی قرار گرفته است. اما دلایل انتخاب این دوره‌های زمانی و روش مقایسه آنها مشخص نشده است که می‌تواند اعتبار نتایج را کاهش دهد.

** .4تفسیر نتایج و ارتباط با داده‌های میدانی**: در بحث نتایج، تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرای رودخانه با تغییرات دبی رودخانه و فرایندهای مورفولوژیکی دیگر ارتباط داده شده است. اما توضیحات کافی در مورد نحوه تفسیر این ارتباط و ارتباط آن با داده‌های میدانی (مشاهدات مستقیم و اندازه‌گیری‌های میدانی) ارائه نشده است.

** .5محدودیت‌ها و پیشنهادات برای تحقیقات آینده**: در بحث و نتیجه‌گیری، به محدودیت‌ها و پیشنهادات برای تحقیقات آینده اشاره نشده است که می‌تواند برای جامعیت و کاربردی بودن مقاله مفید باشد.

منابع مورداستفاده

1- Amini H, Esmali-Ouri A, Mostafazadeh R, Sharari M, Zabihi M. 2019. Hydrological drought response of regulated river flow under the influence of dam reservoir in Ardabil Province. J. Earth Space Phys. 45(2): 473-486. (In Persian).

2- Amiri F, Tabatabaie T. 2022. The effect of land use change/land cover on land surface temperature in the coastal area of Bushehr. J GIS RS for Natur Res, 13(2):130-147. (In Persian)

3- Dewan A, Corner R, Saleem A, Rahman MM, Haider MR, Rahman MM, Sarker MH. 2017. Assessing channel changes of the Ganges-Padma River system in Bangladesh using Landsat and hydrological data. Geomorphology, 276, 257-279.

4-Edwards B.F, Smith DH. 2001. River meandering dynamics, National Energy Laboratory, Morgantown, West Virginia, USA.

5- Esfandiyari Darabad F, Bakhshandeh R, Rahimi M, Haji Kh, Mostafazadeh R. 2021. Geomorphological classification and analysis of Hamzekhanloo River using the Rosgen classification model. Hydrogeomorphology, 7(25): 39-59. (In Persian)

6- Esfandiyari darabad F, Hamzeei M, Alaei N, Mostafazadeh R. 2021. Spatial variations of landscape metrics in riparian area vegetation of Gharesou River reaches under the effect of different land uses, Ardabil province. Geogr Plann Space, 10(38):219-234. (In Persian)

7- Esfandyari-darabad F, Mostafazadeh R, Abyat A, Naseri A. 2021. Determination of meander pattern in Gharehsou river using sinuosity coefficients and central angle in Anzab-Samian bridge reach. Journal of App Res in Geogr Sci, 21(61):119-131. (In Persian)

8- Esmaieli R, Hosseinzadeh MM, Motevalli S. 2011. Field techniques in river geomorphology, Lahut publishing Institute, 1st Edition. (In Persian)

9- Esmaili R, Daliri R. 2019. Morphological and morphodynamic analysis of meanders in Shalmanrood River, Gilan Province. Earth Sci Res. 10(3):141-153. (In Persian)

10- Friedman J, M Osterkamp W R, Scott ML, Auble GT. 1998. Downstream effects of dams on channel geometry and bottomland vegetation: Regional patterns in the Great Plains. Wetlands, 18: 619-633.

11- Hosseini SA, Tabatabaei M. D (2020). etection of River Morphological Changes Using Aerial Photographs and Multi- Time Satellite Imagery (Case Study of Part of the Ghezel-Ouzan River from Pircham Village to Gilvan Village). J Watershed Mgmt Res, 11 (21):186-197. (In Persian)

12- Kazemi R, Yeganeh H, Khajeddin SJ, Amiri F. (2014). Comparing land use maps produced from IRS-WiFS and MODIS satellite images (Case study: Semirom- Borujen region). J GIS RS for Natur Res, 5(3):1-12. (In Persian)

13- Magdaleno, Fernando and Yuste, Jose A. Fernandez. 2011. Meander dynamics in a changing river corridor. Geomorphology, Vol. 130, pp. 197-207.

14- Maghsoudi M, Sharafi S, maghami Y. (2010) The process of changes in the morphological pattern of Khorram Abad river using RS, GIS and Auto Cad. J Spatial Plann, 14(3): 275-294. (In Persian)

15- Mehry S, Mostafazadeh R, EsmaliOuri A, Ghorbani A. 2017. Spatial and temporal variations of Base Flow Index (BFI) in the Ardabil Province rivers, Iran. Earth and Space Phys. 43(6):623-634. (In Persian)

16- Mirghasemi SH, Banejad H, Faridhaseini A. (2023). Application of remote sensing in hydraulic modeling and determination of riverbed boundaries (Case study: Ardak River). J GIS RS for Natur Res, 14(1):9-12. (In Persian)

17- Mitchell A. 2005. The ESRI guide to GIS analysis, volume 2. ESRI press.

18- Moghimi I. 2009. Ecogeomorphology and river rights. Tehran University Press. (In Persian)

19- Mostafazadeh R, Esfandiyari Darabad F, Mohammadirad L, Haji Kh. 2020. Quantitative changes and statistical comparison of river flow hydrological indicators after the construction of Yamchi Dam, Ardabil, Iran. Env & Water Eng, 6(2): 107-121. (In Persian)

20- Qiang ZC, Yongqin D, Tong J, Maotian L. 2007. Channel changes of the makou- tianjiazhen reach in the middle Yangtze River during the past 40 years, J Geogr Sci press-springer-vetlag.

21- Rezaei Moghadam MH, Tharvati MR, Asghari Saraskanroud S. (2013). investigation of the meandering pattern of Qezl-Ozen River using curvature coefficient and central angle indices. Geography, 10(34): 85-102. (In Persian)

22- Rezaei Moghaddam M.H, Keirizadeh M, Rahimi M. 2016. Investigating the Lateral Movement of Aras River from 2000-2014 (15 km away from West of Aslanduz City to Exit of the River in Iran's Border). Geogr and Env Plann, 27(3):15-32. (In Persian)

23- Richard GA. 2001. Quantification and prediction of lateral channel adjustments downstream from Cochiti Dam, Rio Grande, NM. Ph.D Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 229p.

Commented [8د]: یکسان ساز قالب رفرنس براساس راهنمای نویسندگان ضروری است
تمام رفرنسها شماره صفحات بایدداشته باشد
https://sanad.iau.ir/Journal/girs/Page/authors

Deleted: (

Deleted:)

Deleted: (

Deleted: .

Deleted: (

Deleted:)

Commented [9د]: یکسان ساز قالب رفرنس ضروری است

Deleted: (

Deleted:)

Deleted: (

Deleted:)

24- Samiei M, Ghazavi R, Pakparvar M, Vali AA. (2017). The effect of climate change on Maharlo lake level change using satellite image processing. J GIS RS for Natur Res, 8(1):1-18. (In Persian)
25- Sayfizadeh M, Emadi AR, Fazlola R. (2013). Polerood river morphological variations in the downstream of dam, pre and post dam construction in short term scale. Irrig & Water Eng, 3(4): 59-70. (In Persian)
26- Sharafi S, Shami A, Yamani M (2014). Morphological changes of river Atrak a period of 20 years. Geographical Planning of Space, 4(14): 129-150. (In Persian)
27- Talebi khiavi H, Mostafazadeh R. 2022. The spatiotemporal dependencies of terrain indices with soil characteristics in a steep hillslope mountainous area. Arab J Geosci, 15(973).
28- Uddin K, Shrestha B, Alam M.S. 2011. Assessment of morphological Changes and Vulnerability of River Bank Erosion alongside the River Jamuna Using Remote Sensing, J Earth Sci & Eng, 1(1):29-34.
29- Valizadeh Kamran Kh, Delire Hasannia R, Azari Amghani Kh. (2019). Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images and GIS. J GIS RS for Natur Res, 10(3):59-75. (In Persian)

تحلیل تغییرات جانبی مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل با استفاده از شاخص‌های مورفولوژیکی

چکیده

با توجه به تغییرات موروفولوژی رودخانه‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش اطلاعات با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در ارزیابی سریع و دقیق مطالعات مرتبط با سیل‌خیزی موثر باشد. مقدمه و هدف: کانال‌های آبرفتی درنتیجه فرسایش و رسوب‌گذاری در امتداد کناره‌ها، به‌صورت عرضی یا جانبی در دشت سیلابی جابجا می‌شوند و مهاجرت می‌کنند. مهاجرت جانبی با نرخ‌های مختلفی اتفاق می‌افتند و از فرایندهای متنوعی نشات می‌گیرند. علاوه براین وجود پوشش گیاهی و نوع کاربری اراضی حاشیه رودخانه از مواردی است که می‌تواند بر موروفولوژی رودخانه و تغییرات آن موثر باشد. ساز و کار جابجایی رودخانه با تغییر هیدرولوژی جریان و نوع پلان‌فرم دچار تغییر می‌شود. مئاندرها می‌توانند در نتیجه فرسایش کناره‌های مقعر و رسوب‌گذاری در کناره‌های محدب به‌صورت منظم در عرض دشت سیلابی خود جابجا شوند (فرایند گسترش) یا قادرند در جهت پایین دست دره (حرکت انتقالی) مهاجرت نمایند. رودخانه‌های گیسوئی نیز می‌توانند به‌صورت جانبی به دلایلی از قبیل پدیده تغییر مسیر مجرا، رخداد میان‌بر، مهاجرت و تغییر عرض، دارای تحرک باشند. نرخ مهاجرت جانبی مجرا به عوامل متعددی بستگی دارد که در این زمینه می‌توان به عوامل مهمی از قبیل مقاومت مواد کناره مقعّر در مقابل فرسایش، استمرار و بزرگی انواع جریان‌ها، شعاع خمیدگی مجرا و ظرفیت جریان برای انتقال رسوبات اشاره نمود. حرکت و مهاجرت جانبی مجرای رودخانه می‌تواند به شکل‌های متنوعی اتفاق افتد. برخی از انواع این حرکات شامل تنگ‌شدگی یا کاهش عرض کانال، عریض‌شدگی یا افزایش عرض کانال، مهاجرت مئاندر، تغییر مسیر و میان‌برها هستند. نوع حرکات بستگی به شرایط ورودی و الگوی موجود و هندسه مجرای کانل اصلی رودخانه دارد. در پژوهش حاضر به ارزیابی تغییرات جانبی مجرای رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: پس از آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای نسبت به تفکیک آب از سایر عوارض زمین اقدام شد که شامل شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی، شاخص آب، و شاخص نرمال‌شده آب بودند. برای ارزیابی پلان‌فرم مجرا در پژوهش حاضر از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی کورنیس استفاده شد. در ادامه برای ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی مجرا از شاخص آهنگ مهاجرت استفاده شد. از روش میانگین خطی جهت‌دار نیز به‌عنوان یکی دیگر از شاخص‌های کمّی استفاده شد تا تغییرات مجرای رودخانه ارس بصورت کمی محاسبه شود. در نهایت از روش ترانسکت برای بررسی تغییرات و جابجایی‌های

جانبی مجرای رودخانه‌ها استفاده شد. شاخص‌های مذکور برای سه مقطع زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی حاصل شدند.

نتایج و بحث: بر این اساس رودخانه ارس در زمره رودخانه‌های با الگوی مئاندری توسعه یافته قرار می‌گیرد. هم‌چنین در طی سه دوره زمانی مورد بررسی، زاویه مرکزی مجرای رودخانه با آهنگ ملایمی افزایش یافته است. در نمودار مقادیر زاویه مرکزی کورنیس در امتداد رودخانه ارس (شکل ۴) افت و خیزهای ناگهانی در مقادیر این کمیت دلالت بر توسعه مئاندرها یا برعکس رخداد میانبر است. افزایش زاویه مرکزی بیانگر توسعه مئاندر به‌واسطه فرایند فرسایش کناره مقعر و رسوب‌گذاری کناره محدب است. هم‌چنین، کاهش ناگهانی این کمیت بیانگر رخداد میانبر است که باعث کوتاه‌شدگی مجرا شده است. با این حال طول رودخانه در طی دوره زمانی مذکور از ۳۰/۲ کیلومتر به ۲۸/۵ کیلومتر کاهش یافته است. علت اساسی این کاهش در ارتباط با وقوع چند میانبر و تغییر مسیر کوتاه در امتداد بازه اصلاندوز (بازه ۱) بوده است. وقوع میانبر و کوتاه‌شدگی مجرا به‌صورت محلی باعث افزایش شیب بستر شده که به‌نوبه خود منجر به فرسایش و آبشستگی مجرا می‌شود. در دشت سیلابی ارس تعداد زیادی کانال متروک وجود دارد که غالبا به‌دلیل وجود خاک مناسب و رطوبت کافی توسط پوشش درختچه‌ای یا درختان اشغال شده‌اند. پوشش نواری درختچه‌ها و درختان موجود در دشت سیلابی ارس مربوط به این پدیده است. یافته‌ها بیانگر این است که مهم‌ترین فرایندهای موثر بر تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرای رودخانه ارس شامل شکل‌گیری، توسعه و پیش‌روی مئاندرها در عرض دشت سیلابی، ایجاد میانبر و تغییر مسیرهای کوتاه مجرا است. وقوع میانبرها و تغییر مسیرها باعث افزایش قابل توجه تغییرات جانبی مجرای رودخانه شده است. سیلاب‌ها مهم‌ترین نقش را در وقوع میانبر و تغییر مسیر مجرا در امتداد رودخانه ارس دارند. نتایج نشان می‌دهد که رودخانه ارس در محدوده استان اردبیل از تحرک و پویایی جانبی بالایی برخوردار است. به‌گونه‌ای که در طی ۲۰ سال گذشته مجرای رودخانه به‌طور متوسط هر سال بیش از ۵ متر جابجا شده است. با این حال تمامی شاخص‌های کمّی ژئومورفیک نشان‌دهنده کاهش تغییرات و جابجایی‌های جانبی مجرا در طی سال‌های اخیر است. مهم‌ترین دلیل کاهش قابل توجه مقادیر شاخص‌های کمّی ژئومورفیک در دوره زمانی دوم (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱) نسبت به دوره زمانی اول (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) در ارتباط با کاهش قابل توجه رخداد میانبر و تغییر مسیر مجرا بوده است.

نتیجه‌گیری: در طی دوره مطالعاتی، در ساحل جنوب رودخانه ارس (بخش واقع در کشور ایران) فرایندهای رسوب‌گذاری و در سمت شمال (بخش جمهوری آذربایجان) فرایندهای فرسایشی غلبه داشته است. بر اساس مشاهدات میدانی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای حریم اکولوژیکی مجرای رودخانه ارس به کاربری کشاورزی اختصاص داده شده است، این در حالی است که در بخش شمالی بخش قابل توجهی از کناره‌های رودخانه و دشت سیلابی رودخانه ارس شامل پوشش درختچه‌ای پراکنده، نیمه انبوه و انبوه بوده و رودخانه دارای تغییرات جانبی بیش‌تری بوده است. در مجموع می‌توان گفت که افت دبی رودخانه و کاهش شدت و تواتر سیلاب‌ها مهم‌ترین نقش را در کاهش وقوع میانبر و تغییر مسیر مجرا داشته‌اند. کاهش رخدادهای حدی از قبیل شدت و فراوانی سیلاب‌ها به نوبه خود باعث کاهش تمایل به الگوی گیسوئی و افزایش تمایل به الگوی مئاندری توسعه یافته شده است.

واژگان کلیدی: رودخانه‌های گیسوئی، مورفولوژی رودخانه، تغییر مسیر رودخانه، دشت سیلابی، پویایی رودخانه

Analyzing the lateral changes of the Aras River channel in Ardabil province using morphological indicators

Extended Abstract

Background and purpose:

Considering the morphological changes of rivers, the use of satellite images and information processing using geographic information system can be effective in quick and accurate evaluation of studies related

Commented [10ه]: 1. "Ares River" should be corrected to "Aras River" throughout the abstract.
2. "Laterally migration" should be "lateral migration."
3. "Cornice" should be "concave" in the sentence "the central angle of the Cornice."
4. "Duct" should be "river channel" for clarity in the sentence "evaluate the planform of the duct."
5. "Aslandoz reach" should be "Aslandoz Reach" for consistency in capitalization.
6. "Shrubs and trees" should be "shrubs or trees" for parallel structure in the sentence "often occupied by shrubs or trees."
7. "Quantitative geomorphic indices" should be hyphenated as "quantitative-geomorphic indices" for clarity.
8. "Short-cuts" should be "shortcuts" for consistency.
9. "Ecological zone of the Aras River channel has been allocated to agricultural use" may benefit from clarification or rephrasing for improved clarity.
10. "Decrease in the river discharge" could be revised to "reduced river discharge" for clarity.
1. "Ares River" should be corrected to "Aras River" throughout the abstract.
2. In the "Background and purpose" section, "cornice" should be corrected to "concave."
3. The phrase "bending coefficient and the central angle of the Cornice" should be revised to "bending coefficient and the central angle of the concave."
4. In the "Results and discussion" section, "Ares River" should be corrected to "Aras River."
5. "Aslandoz reach" should be "Aslandoz Reach" for consistency in capitalization.
6. "Striped cover of shrubs" could be revised to "dense cover of shrubs" for clarity.
7. "Geomorphical" should be "geomorphic."
8. In the "Conclusion" section, "short-cuts" should be "shortcuts" for consistency.
9. "Decrease in the river discharge" could be revised to "reduced river discharge" for clarity.
10. "Ecological zone of the Aras River channel has been allocated to agricultural use" may benefit from clarification or rephrasing for improved clarity.

Deleted: Abstract

to flooding. The analysis of lateral changes of rivers can be used in predicting the behavior of the river and changing its path in the future. Erosion and sedimentation along the banks lead to the laterally migration of the alluvial channels in the floodplain. Lateral migration occurs at different rates and originates from different processes. In addition, the presence of vegetation and the type of land use along the river are among the factors that can affect the morphology of the river and its changes. The construction of the dam and its regulatory effect and flow diversion can cause the changes in the river regime and will lead to various issues such as the occurrence of flow deficit, reduction of river flow, changes in river flow indicators, base flow index and other environmental issues. The migration mechanism of the river changes with the change of flow regime and the type of planform. Meanders can move regularly across their floodplain as a result of erosion of concave sides and deposition on convex sides (propagation process) or they can migrate downstream of the valley (transitional movement). Braided rivers can also have mobility laterally due to the phenomenon of changing the path of the channel, the river cutting, migration and width change. The rate of lateral migration of the channel depends on several factors, in this context, important factors such as the resistance of the concave side materials against erosion, the continuity and magnitude of all types of flood flows, the bending radius of the channel, and the capacity of the river flow to transport sediments can be mentioned. Lateral movement and migration of the river channel can happen in various ways. Some types of these movements are: narrowing or reducing the channel width, widening or increasing the channel width, meandering migration, changing the river patch and river cutting. The type of movements depends on the input conditions and the existing pattern and geometry of the river channel. In the present study, the lateral changes of the Ares River channel in the Ardabil province were evaluated.

Materials and methods: After preparing and pre-processing the satellite images, water was separated from other land features, which included Normalized difference water index (NDVI), water index, and Normalized difference water index (NDWI). In order to evaluate the planform of the duct in the present study, the indicators of the bending coefficient and the central angle of the Cornice were used. In the following, the migration rate index was used to evaluate the morphological changes of the duct. The Linear Directional Mean method was also used as another quantitative index to quantitatively calculate the changes in the Aras River channel. Finally, the transect method was used to investigate the changes and lateral displacements of the river channel. The mentioned indices were obtained for three time periods of 2000, 2010 and 2021 using remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) techniques.

Results and discussion: Accordingly, Ares River is among the rivers with a developed meandering pattern. Also, during the three investigated time periods, the central angle of the river channel has increased with a gentle rate. According to the central angle of the Cornice along the Aras River, sudden fluctuations in the values of this quantity indicate the development of meanders or, on the contrary, the cutting event. The increase of the central angle indicates the development of the meander due to the process of erosion of the concave side and sedimentation of the convex side. Also, the sudden decrease of this quantity indicates the river cutting event that caused the cut-off to shorten. However, the length of the river has decreased from 30.2 km to 28.5 km during the mentioned period. The main reason for this decrease was related to the development of several shortcuts and cutoffs along the Aslandoz reach (Reach 1). Local cut-off and shortening of the conduit has increased the slope of the bed, which in turn leads to erosion and scouring of the cut-off. There are many abandoned canals in Aras floodplain, which are often occupied by shrubs or trees due to the presence of suitable soil and sufficient humidity. The striped cover of shrubs and trees in Aras floodplain is related to this phenomenon. The findings show that the most important processes affecting the changes and lateral displacements of the Ares River channel include the formation, development and advance of meanders across the floodplain, creating shortcuts and changing the routes of the channel. The development of shortcuts and changes of routes have caused a significant increase in the lateral changes of the river channel. Floods play the most important role in the occurrence of a shortcut and change of channel along Aras River. The results show that Aras River in Ardabil province has high mobility and lateral dynamics. In such a way that during the last 20 years, the river channel has moved more than 5 meters on average every year. However, all the quantitative geomorphic indicators show a decrease in changes and lateral displacements of the

channel during recent years. The most important reason for the significant decrease in the values of quantitative geomorphic indices in the second time period (2010 to 2021) compared to the first time period (2000 to 2010) was in connection with the significant decrease in the occurrence of short-cuts and changes in the cut-off route.
Conclusion: During the study period, sedimentation processes prevailed on the south side of Aras River (the part located in Iran) and erosion processes prevailed on the north side (part of the Republic of Azerbaijan). Based on field observations and processing of satellite images, the ecological zone of the Aras River channel has been allocated to agricultural use, while in the northern part, a significant part of the banks of the river and the floodplain of the Aras River includes scattered, and dense shrub cover, and the river has had more lateral changes. In general, it can be said that the decrease in the river discharge and the decrease in the intensity and frequency of floods have played the most important role in reducing the occurrence of shortcuts and changing the path of the channel. The reduction of extreme events, such as the intensity and frequency of floods, in turn, has reduced the tendency for the braided pattern and increased the tendency for the developed meander pattern.
Keywords: Braided rivers, River morphology, River channel change, Floodplain, River dynamics.