

## ارزیابی نقش انسان در فرسایش کناره‌ای و گسترش جانبی مئاندرهای رودخانه‌ی

### گاماسیاب در دشت بیستون

محمود علائی طالقانی\* - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی کرمانشاه  
فرشاد حاصلی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی کرمانشاه  
مجید احمدی ملاوردی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه رازی کرمانشاه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۶/۰۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۱/۲۷

#### چکیده

در این پژوهش، نقش انسان در فرسایش کناری و گسترش جانبی مئاندرهای گاماسیاب در دشت بیستون مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای دستیابی به این هدف، شاخص‌های هندسی ۱۵ مئاندری که انسان در فرسایش و توسعه آنها نقش داشته است با ۱۹ مئاندر دیگر در محدوده دشت بیستون در یک دوره‌ی ۲۴ ساله مورد بررسی مقایسه‌ای قرار گرفته‌اند. برای این کار از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۰ استفاده شده است. پس از رقومی کردن این تصاویر در محیط جی. آی. اس، ابتدا پلان رودخانه ترسیم و سپس دوایری مماس بر قوس مئاندرها رسم شد و آنگاه شاخص‌های هندسی مورد نظر شامل طول قوس، طول مجرا، زاویه‌ی مرکزی، شعاع قوس و ضریب خمیدگی قوس‌ها اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج به‌دست آمده نشان داده است که میانگین طول قوس ۱۵ مئاندری که انسان در آنها دخالت داشته است، به‌میزان ۱۹ متر، میانگین زاویه‌ی مرکزی حدود ۵ درجه، میانگین شعاع قوس‌ها نزدیک به ۲۰ متر بیشتر از ۱۹ مئاندر دیگر افزایش داشته‌اند و میانگین طول مجرا نیز ۲۶ متر کمتر شده است. بر این اساس ضریب خمیدگی ۱۵ مئاندری که انسان در آنها دخالت داشته است، به میزان ۰/۱۳ بیشتر از ضریب خمیدگی ۱۹ مئاندر دیگر افزایش داشته است. به این صورت که ضریب خمیدگی ۱۵ مئاندر مورد دخالت انسان از ۱/۵۱ در سال ۱۹۸۶ به ۱/۷ در سال ۲۰۱۰ رسیده است، در حالی که ضریب خمیدگی ۱۹ مئاندر دیگر در همین مدت از ۱/۲۲ به ۱/۲۸ افزایش پیدا کرده است.

کلیدواژه‌ها: رودخانه‌ی گاماسیاب؛ مئاندر؛ دشت بیستون؛ فرسایش انسانی.

## مقدمه

ویژگی‌های شکل‌بندی اغلب واحدهای ژئومورفولوژی، ارتباط بسیار نزدیکی با مورفوژنز انسانی دارد. در واقع کمتر عنصر ژئومورفولوژی (لندفرم) یافت می‌شود که انسان در شکل‌بندی آن دخالت نداشته باشد. انسان براساس نیازهای روزافزون خود با از بین بردن پوشش گیاهان طبیعی، تسطیح شیب‌ها، حفاری در زمین و دخالت در رودخانه‌ها، همگام با فرآیندهای مورفوژنز در تغییر چهره‌ی زمین نقش‌آفرین شده است. به همین دلیل، امروزه مورفوژنز انسانی به‌عنوان یک عامل عمده در ژئومورفولوژی مطرح است (رجایی، ۱۳۷۳: ۶۳).

دخالت انسان در واحدهای مختلف زمین به شکل‌های گوناگون انجام می‌گیرد. برخی از این دخالت‌ها ناخواسته و غیر مستقیم است ولی برخی دیگر آگاهانه بوده و در واقع دخالت مستقیم انسان در تغییر چهره‌ی زمین را نشان می‌دهد (ریماندو همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵: ۷۰). یکی از واحدهای ژئومورفیک که انسان در شکل‌دهی آن هم به‌طور مستقیم نقش داشته است و هم اینکه غیر مستقیم در آن دخالت داشته است رودخانه است (گریگوریو همکار،<sup>۲</sup> ۲۰۰۶: ۱۷۲). انحراف بستر رودها برای مقاصد مختلف یا مستقیم کردن رودخانه‌های مئاندری به‌منظور کاهش طول آنها و نیز بهره‌برداری از مواد بستری، از دخالت‌های آشکار انسان در رودخانه‌ها هستند. اما پمپاژ آب و در ارتباط با آن، تسریع در روند فرسایش کناره‌ای، از دخالت‌های غیر مستقیم و از جمله مسائلی است که به‌تازگی نقش دخالت انسان در رودخانه‌ها را مطرح ساخته است. امروزه در ایران، پمپاژ آب از رودخانه‌ها برای آبیاری زمین‌های حاشیه، در جاهایی که زمین در سطح بالاتری نسبت به بستر قرار داشته باشد، رواج زیادی یافته است. این روش آبیاری، به‌ویژه در مناطقی که منبع دیگری برای تأمین آب وجود ندارد، به یک ضرورت تبدیل شده است. از این رود حاشیه‌ی بسیاری از رودخانه‌ها، موتورپمپ‌های زیادی را می‌بینیم که امر پمپاژ آب را برعهده دارند. در این‌گونه موارد، چون آب با فشار زیاد پمپاژ می‌شود، همیشه بخشی از آن پس از مشروب کردن زمین‌ها، بار دیگر به سوی بستر اصلی سرازیر می‌شوند. آب برگشتی از زمین‌ها نیز وقتی به حاشیه‌ی بستر می‌رسند، به‌اشکال مختلف سبب تخریب و فرسایش کناره‌ها می‌شوند. این نوع تخریب، گرچه در حاشیه‌ی همه رودها دیده می‌شود، ولی در رودهای مئاندری نمود بیشتری دارد. از آنجا که به‌طور معمول رودخانه‌های مئاندری، کناره‌های کاو‌قائمی شکل دارند؛ در نتیجه تخریب و عقب‌نشینی آن به‌آسانی قابل اندازه‌گیری است. به‌علاوه کناره‌های کاو این نوع رودها، به‌طور طبیعی تحت تأثیر فرآیندهای دامنه‌ای همچون، فروریزی و لغزش قرار دارد و این خود امکان بررسی مقایسه‌ای بین روند طبیعی فرسایش و دخالت‌های انسان در فرسایش کناری را به نحو بهتری فراهم می‌کند. رودخانه گاماسیاب در دشت بیستون از همین ویژگی برخوردار است. این رودخانه در دشت بیستون، دارای تعداد زیادی

1. Remondo et al.

2. Gregory et al.

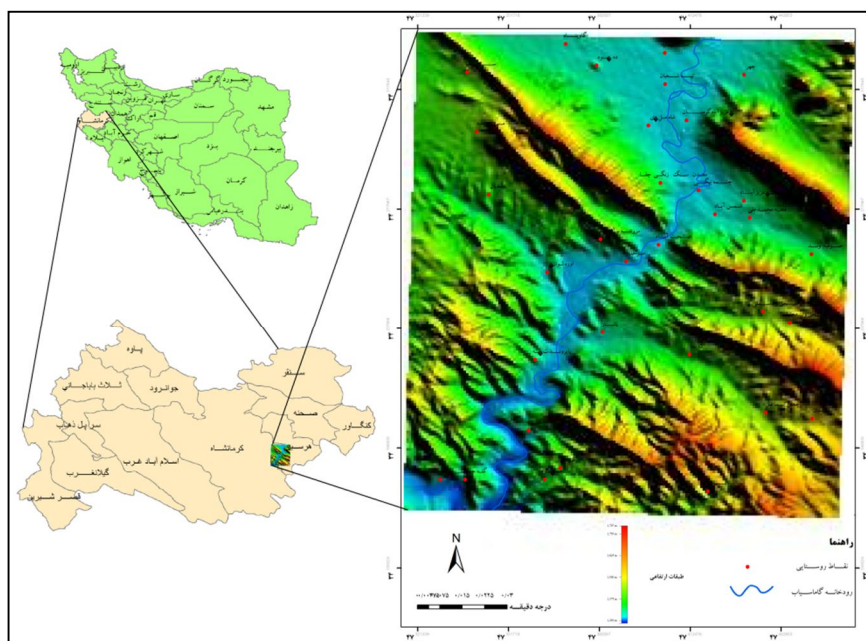
قوس با پلان مئاندری تا شبه‌مئاندری است. کناره‌های کاو این مائدرها تحت تأثیر فرسایش جانبی‌ای چون شست‌وشو، لغزش و ریزش، در حال عقب‌نشینی و جابه‌جایی هستند. مشاهدات محلی نشان داده است که میزان فرسایش و عقب‌نشینی کناره‌های گاماسیاب در همه قوس‌ها یکسان انجام نمی‌گیرد. در واقع به‌نظر می‌رسد کناره‌هایی که تحت تأثیر پساب کشاورزی قرار دارند با شدت بیشتری دستخوش تخریب و عقب‌نشینی قرار می‌گیرند. این موضوع باعث شده است تا میزان تخریب و عقب‌نشینی قوس‌هایی که تحت تأثیر فرسایش انسانی از طریق پساب کشاورزی قرار دارند با روند طبیعی فرسایش، تحت یک ارزیابی مقایسه‌ای قرار گیرد و هدف اصلی این پژوهش باشد.

مطالعات انجام شده از رودخانه‌های مئاندری و نیز، دخالت انسان در مورفولوژی رودخانه‌ها ابعاد گسترده‌ای را دربرمی‌گیرد. با این حال، مقایسه‌ی فرسایش طبیعی و دخالت انسان در عقب‌نشینی کناره‌های رودخانه‌های مئاندری به‌گونه‌ای که در این پژوهش مطرح شده، موضوع تازه‌ای است. برای نمونه چانگ و ادس<sup>۱</sup> (۱۹۷۰: ۲۴۶)، از انحنای موضعی رودخانه، به‌عنوان عامل مؤثر در مشخص کردن مئاندری شدن رودخانه و فرسایش کناری آن استفاده کرده‌اند. سایمون<sup>۲</sup> (۱۹۷۱: ۱۳۷) نقش فرسایش‌پذیری جنس دیواره‌ی کانال‌ها را در توسعه‌ی مائدرها مورد توجه قرار داده و نتیجه گرفته است که مائدرها در رسوب‌های سست بهتر گسترش می‌یابند. اسمیت<sup>۳</sup> (۱۹۹۷: ۷۹) هم معتقد است که توسعه‌ی مائدرها با سینوسیته بالاتر از ۲ در خاک رس کاتولینیت بهتر انجام می‌گیرد. لنکستر با همکارانش (۲۰۰۲: ۱۶) به این نتیجه دست یافته‌اند که دلیل عمده‌ی جابه‌جایی مائدرها، اختلاف فاز بین مسیر بستر و مسیر حداکثر سرعت آب در رودخانه است. بیاتی خطیبی (۱۳۹۱: ۹۰)، تمرکز انرژی آب در قوس کاو و حساسیت مواد کناری را در فروریزی کناره‌های رودخانه‌ی قره‌آغاج مؤثر دانسته است. محمودی و نوحه‌گر (۱۳۸۲: ۵۷) بیان کرده‌اند که برداشت شن و ماسه باعث ایجاد نابسامانی‌هایی در شکل ظاهری رودخانه‌ی میناب شده است. یمانیو شرفی (۱۳۹۱) در مطالعه‌ی خود نشان داده‌اند، در رودخانه‌ی هررود لرستان که دارای پلان مئاندری است، میزان فرسایش کناری در کناره‌هایی که از مواد سست مانند آبرفت، شیل، مارن و کنگلومرای سخت نشده وجود دارد، بیشتر از کناره‌های دیگر است. کرمی (۱۳۸۶: ۱۶۰) بیان می‌دارد که انسان با تغییرات کاربری زمین، مسدود کردن بستر رود، احداث نهرهای آبیاری و تصرف در بستر سیلابی رودخانه سعیدآباد چای، باعث بهم خوردن تعادل موجود در سیستم رودخانه شده و زمینه را برای تشدید فرسایش کناره‌ای هموار کرده است.

## محدوده‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه، قسمتی از خط سیر رودخانه‌ی گاماسیاب در دشت بیستون در فاصله‌ی بین شهر بیستون تا شهر هرسین را در بر می‌گیرد. این محدوده در مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۴۷ درجه ۲۶ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱).

رودخانه‌ی گاماسیاب در محدوده‌ی مورد مطالعه، محور چندین رشته‌کوه موازی هم با ساختار رورانده را قطع می‌کند. این کوه‌ها جزء واحد زاگرس رورانده هستند و از آهک و رادیولاریت کرتاسه ساخته شده‌اند (مهدوی، ۱۳۷۱). با این حال، بستر رود به دلیل گذر از روی زمین‌های مسطح با مواد ریزدانه، دارای پلان مئاندری است؛ به طوری که گاماسیاب در مسافتی نزدیک به ۳۰ کیلومتر در محدوده‌ی مورد مطالعه، ۳۴ قوس با پلان مئاندری تا شبه‌مئاندری را طی می‌کند. زمین‌های حاشیه‌ی رودخانه نیز زیر کشت قرار دارند و آب مورد نیاز آنها از رودخانه پمپاژ می‌شود. جریان آب گاماسیاب در محدوده‌ی مورد مطالعه بسیار متغیر است. در مواقع سیلاب‌های ناگهانی، دبی آن به ۴۰۰ مترمکعب می‌رسد، ولی در تابستان‌ها به شدت کاهش می‌یابد و در عمل فعالیتی ندارد. در چند سال اخیر بستر گاماسیاب در تابستان‌ها خشک هم می‌شود. با این حال آبی که به صورت مانداب در چاله‌های به نسبت عمیق کناره‌های کاو باقی می‌ماند، آب مورد نیاز برای پمپاژ را فراهم می‌کنند. از این رو تعداد زیادی موتور پمپ در کناره‌های کاو گاماسیاب کار گذاشته شده‌اند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی رودخانه‌ی گاماسیاب در بیستون

## مواد و روش‌ها

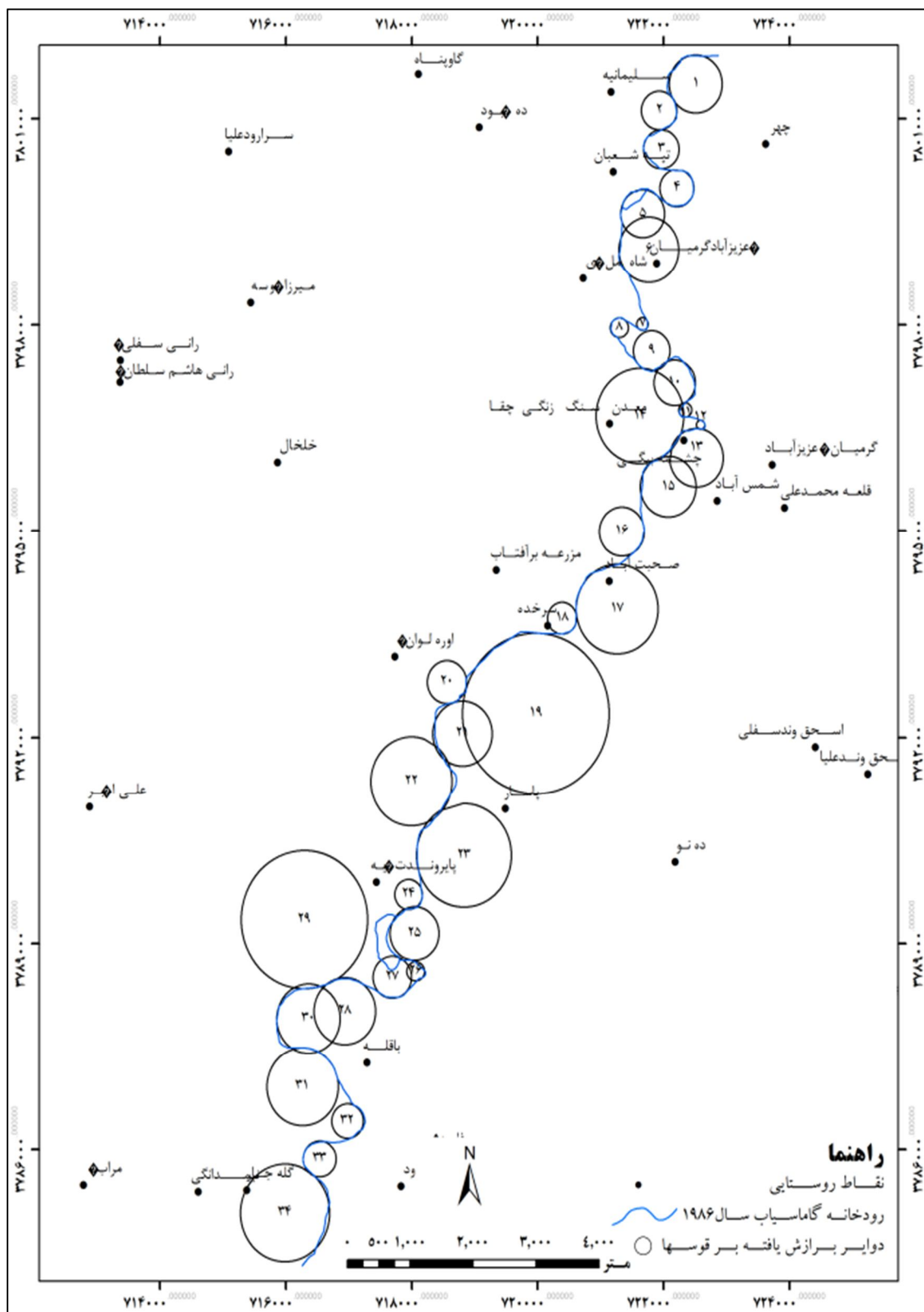
این پژوهش میزان جابه‌جایی کناره‌های کاو رودخانه‌ی گاماسیاب در دشت بیستون، در محل قوس‌هایی که طی یک روند طبیعی در حال جابه‌جایی هستند را با قوس‌هایی که انسان در جابه‌جایی آنها دخالت داشته‌اند، مورد مقایسه قرار می‌دهد. رودخانه‌ی گاماسیاب در محدوده‌ی مورد نظر، حدود ۳۴ قوس با پلان مائندری تا شبه‌مائندری را در مسافتی نزدیک به ۳۰ کیلومتر طی می‌کند. مشاهدات محلی نشان داده است که از میان این قوس‌ها، انسان در فرسایش و جابه‌جایی ۱۵ قوس به‌اشکال مختلف دخالت دارند و ۱۹ قوس نیز روند طبیعی فرسایش را طی می‌کنند. بنابراین برای نیل به هدف مورد نظر، بایستی ویژگی‌های فیزیکی این دو گروه از قوس‌ها را در یک دوره‌ی زمانی مشخص مورد بررسی مقایسه‌ای قرار داد. به این منظور مشخصات هندسی بین این دو گروه از قوس‌ها (مانند طول قوس، طول مجرا، زاویه‌ی مرکزی قوس‌ها، شعاع قوس‌ها) و همچنین ضریب خمیدگی قوس‌ها در یک دوره‌ی زمانی ۲۴ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۶) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای انجام این کارها از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۰ میلادی استفاده شده است. این تصاویر ابتدا در محیط نرم‌افزاری GIS و با سیستم مختصات تصویر WGS84 زون ۳۸، زمین‌مرجع شدند. سپس با نرم‌افزار اتوكد، دوایری مماس بر قوس‌ها ترسیم و آنگاه شاخص‌های مورد نظر اندازه‌گیری شده‌اند (شکل ۲). اندازه‌گیری این شاخص‌ها نیز به روش لئوپلد و همکاران (۱۹۶۴) بوده است. بخش تکمیلی پژوهش نیز، بررسی‌های میدانی و شامل موارد زیر بوده است:

- تصحیح داده‌های اندازه‌گیری شده از روی تصاویر؛
- شناسایی اشکال مختلف فرسایش کناره‌ای در قوس مائدرها و بررسی سازوکار عمل آنها.
- بازدید از اقدامات انسان در قوس مائدرها و کسب آگاهی از چگونگی استفاده از آب رودخانه برای آبیاری؛
- برداشت نمونه برای دانه‌سنجی<sup>۱</sup>؛
- اندازه‌گیری میزان عقب‌نشینی جدار قوس‌ها در محل کاو؛
- بررسی سطوح ضعیف یا گسیختگی مانند درز و ترک‌ها در کناره‌های بستر؛
- وضعیت توپوگرافی محل، مانند میزان شیب و ارتفاع کناره‌ها؛
- موقعیت آبراهه‌های سطحی و نحوه‌ی جریان آب در سطح و زیر زمین.

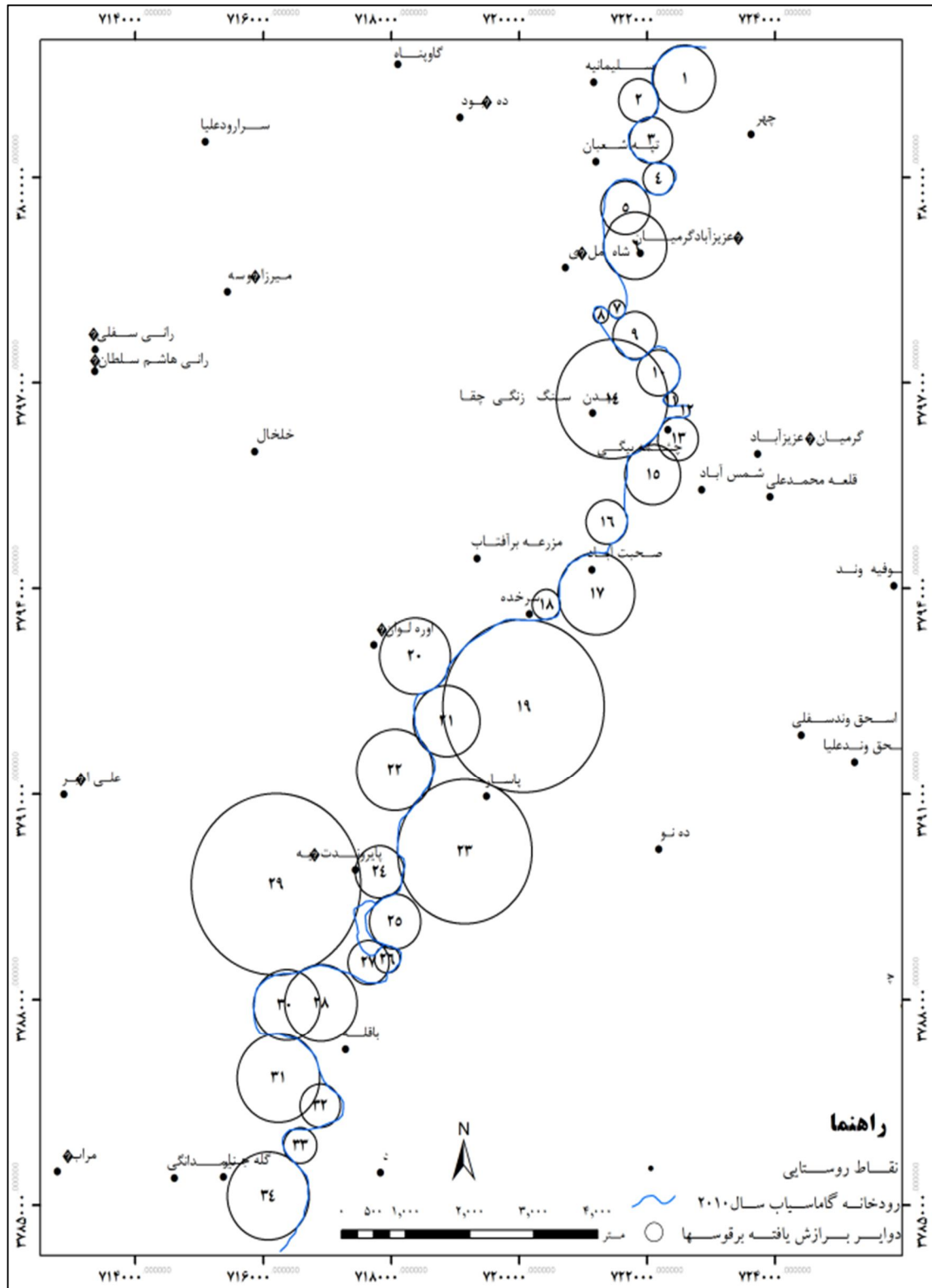
۱. برای این کار از هر قوسی که دارای شکل خاصی از فرسایش بوده است، یک نمونه رسوب از کناره‌ی بستر برداشت شده و سپس در آزمایشگاه به دو روش الک و هیدرومتری، دانه‌بندی شدند.

### یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های هندسی مئاندرهای رودخانه‌ی گاماسیاب مربوط به سال ۱۹۸۶، در جدول شماره‌ی ۱ و سال ۲۰۱۰ در جدول شماره‌ی ۲ نشان داده شده است. داده‌های این جدول‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییر چشم‌گیری در اندازه‌ی این شاخص‌ها طی یک دوره‌ی ۲۴ ساله فرسایش است. در این میان میزان تغییرات بین شاخص‌های هندسی ۱۵ مئاندری که انسان در فرسایش آنها نقش داشته، بسیار بیشتر از ۱۹ مئاندر دیگر است. چنانکه میانگین طول قوس ۱۵ مئاندر تحت تأثیر فرسایش انسانی از ۸۲۵ متر در سال ۱۹۸۶ به ۸۷۷ متر در سال ۲۰۱۰ رسیده است؛ در حالی که در همین مدت، میانگین طول قوس ۱۹ مئاندر دیگر از ۷۸۹ متر به ۸۲۲ متر رسیده است. بنابراین میانگین طول قوس مئاندرهایی که انسان طی ۲۴ سال در فرسایش آنها نقش داشته است ۲۱ متر بیشتر از میانگین طول قوس مئاندرهای دیگر افزایش داشته است. در همین راستا، میانگین طول مجرا ۱۵ مئاندر دخالت داشته‌ی انسان به میزان ۲۶ متر کمتر نسبت به میانگین طول مجرای ۱۹ مئاندر دیگر کاهش داشته است. یعنی میانگین طول مجرا مئاندرهای تحت تأثیر فرسایش انسانی، از ۵۴۴ متر در سال ۱۹۸۶ به ۵۱۴ متر در سال ۲۰۱۰ رسیده است؛ ولی میانگین طول مجرا ۱۹ مئاندر دیگر، از ۶۴۲ متر در سال ۱۹۸۶ به ۶۳۸ متر در سال ۲۰۱۰ رسیده است. افزایش طول قوس همراه با کاهش طول مجرا، نتیجه‌ی روند طبیعی تحول در مئاندرها است؛ زیرا افزایش طول قوس حاصل خمیدگی بیشتر در قوس مئاندرها است و وقتی یک مئاندر خمیده‌تر می‌شود، گردن آن نیز باریک‌تر می‌شود. این تحول اغلب با افزایش در ضریب خمیدگی مئاندرها نمود می‌یابد. با نگاهی به داده‌های مربوط به این عامل نیز در خواهیم یافت که میزان تحول یافتگی ۱۵ مئاندری که انسان در فرسایش آنها نقش داشته است، بسیار بیشتر از ۱۹ مئاندر دیگر بوده است. چنانکه داده‌های جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند، ضریب خمیدگی ۳۴ مئاندر گاماسیاب در محدوده‌ی مورد مطالعه به میزان ۰/۱۱ در طول ۲۴ سال افزایش داشته است. در این میان، ضریب خمیدگی ۱۵ قوس مورد دخالت انسان، از ۱/۵۱ در سال ۱۹۸۶ به ۱/۷ در سال ۲۰۱۰ رسیده است و در واقع حدود ۰/۱۹ افزایش داشته است؛ در حالی که ضریب خمیدگی قوس‌های دیگر طی این مدت تنها ۰/۰۶ افزایش داشته است و از ۱/۲۲ در سال ۱۹۸۶ به ۱/۲۸ در سال ۲۰۱۰ رسیده است. مقایسه‌ی داده‌های مربوط به زاویه مرکزی و شعاع قوس‌ها نیز بیانگر تحول بیشتر مئاندرهای مورد دخالت انسان نسبت به مئاندرهای دیگر است.



شکل ۲. دایره برازش یافته با مآن‌دهای رودخانه‌ی گاماسیاب در دشت بیستون الف) سال ۱۹۸۶



شکل ۲. دوایر برازش یافته با منادریهای رودخانه‌ی گاماسیاب در دشت بیستون (ب) سال ۲۰۱۰



جدول ۱. شاخص های هندسی ۳۴ مائندر گاماسیاب در دشت بیستون در سال ۱۹۸۶

شاخص ها	طول قوس ( متر )	طول مجرا ( متر )	شعاع قوس ( متر )	زاویه‌ی مرکزی ( درجه )	ضریب خمیدگی
میانگین	۸۰۷	۵۹۳	۴۵۲	۱۶۳	۱/۳۶
مائندهایی که انسان در فرسایش آنها دخالت داشته است.	۸۲۵	۵۴۴	۵۰۷	۱۷۱	۱/۵۱
مائندهایی که دارای فرسایش طبیعی بوده‌اند.	۷۸۹	۶۴۲	۳۹۷	۱۵۵	۱/۲۲

جدول ۲. شاخص های هندسی ۳۴ مائندر گاماسیاب در دشت بیستون در سال ۲۰۱۰

شاخص ها	طول قوس ( متر )	طول مجرا ( متر )	شعاع قوس ( متر )	زاویه‌ی مرکزی قوس ( درجه )	ضریب خمیدگی
میانگین	۸۴۹	۵۷۶	۴۶۶	۱۷۴	۱/۴۷
مائندهایی که انسان در فرسایش آنها دخالت داشته است.	۸۷۷	۵۱۴	۵۳۱	۱۷۸	۱/۷
مائندهایی که دارای فرسایش طبیعی بوده‌اند.	۸۲۲	۶۳۸	۴۰۱	۱۶۱	۱/۲۸

جابه‌جایی قوس بستر از خصوصیت‌های بارز مجاری مائندری است. این جابه‌جایی به‌دلیل تخریب و انتقال مواد از کناره‌های کاو و برجای گذاشتن آنها در کناره‌های کوژ است. در نتیجه‌ی این سازوکار، کناره‌های کاو در مائندها معمولاً به شکل قائم درمی‌آیند و کناره‌های کوژ هم به‌صورت دشت سیلابی در داخل بستر توسعه می‌یابند (هیکن<sup>۱</sup>، ۱۹۷۴: ۴۳۲؛ گریگوری، ۱۹۷۷). بستر گاماسیاب در دشت بیستون نیز همین ویژگی را دارد. ارتفاع کناره‌های کاو آن بین ۵ تا ۱۰ متر است و از سیلت، ماسه و رس تشکیل شده است. در مقابل، کناره‌های کوژ بیشتر از شن و ریگ است و پهنای آنها گاهی تا ۶۰ متر می‌رسد. این ویژگی حاصل دخالت عوامل مختلف در فرسایش کناره‌ای این رودخانه است. سیلاب مهم‌ترین عامل فرآیند شست‌وشو است. رودخانه گاماسیاب دارای رژیم سیلابی است. دبی آن به‌هنگام سیلاب‌های ناگهانی به ۴۰۰ متر مکعب در ثانیه می‌رسد. در چنین شرایطی، سیلاب‌ها به‌راحتی می‌توانند مواد سست و منفصل کناره‌های کاو را ساییده و باعث عقب‌نشینی آن شوند. این دو عامل، یعنی سستی مواد کناره و دبی سیلابی، از مهم‌ترین عوامل تخریب کناره‌های رودخانه‌ی گاماسیاب است که محققان دیگر نیز آن را اثبات کرده‌اند (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۱؛ سایمون، ۱۹۷۱ و اسمیت، ۱۹۹۷؛ کرمی، ۱۳۸۸). علاوه‌بر سیلاب، فرآیندهای دامنه‌ای، مانند ریزش و لغزش

نیز از عوامل مؤثر در جابه‌جایی مئاندرهای رودخانه‌ی گاماسیاب هستند. چگونگی عمل این فرآیندها نیز کاملاً شناخته شده است و پژوهشگران زیادی آن را تشریح کرده‌اند (ریچاردز<sup>۱</sup>، ۱۹۸۲؛ گریگوری و همکار، ۱۹۷۷؛ تلوری، ۱۳۷۱). به‌رحال در اثر دخالت این عوامل، کناره‌های گاماسیاب رو به فرسایش و جابه‌جایی هستند که نتیجه‌ی آن، تحول مئاندرها به‌صورت افزایش در ضریب خمیدگی آنها است. افزایش ضریب خمیدگی ۱۹ مئاندر گاماسیاب در دشت بیستون، از ۱/۲۲ در سال ۱۹۸۶ به ۱/۲۸ در سال ۲۰۱۰، نتیجه‌ی روند طبیعی فرسایش در ۲۴ سال گذشته است (جدول‌های ۱ و ۲). اما همان‌گونه که اشاره شد، ضریب خمیدگی تعداد ۱۵ مئاندر گاماسیاب، طی این مدت افزایش بسیار بیشتری داشته‌اند و از ۱/۵۱ در سال ۱۹۸۶ به ۱/۷ در سال ۲۰۱۰ رسیده است. این افزایش در واقع ناشی از دخالت انسان در تسریع فرسایش کناره‌های گاماسیاب بوده است که چگونگی آن در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرد.

گفته شد آب مورد نیاز برای آبیاری زمین‌های کناره‌ی گاماسیاب، به‌طور عمده از طریق پمپاژ از رودخانه تأمین می‌شود. به‌همین دلیل در حاشیه‌ی ۱۵ مئاندر، تعداد زیادی موتورپمپ کار گذاشته شده است (شکل ۴-الف). تعداد موتورپمپ‌ها در حاشیه‌ی بعضی از مئاندرها به ۶ تا ۸ عدد می‌رسد. این موتورها آب را با فشار زیاد پمپاژ می‌کنند. آب پمپاژ شده نیز به کمک نهرهای آبیاری در زمین‌ها هدایت می‌شوند. بنابراین همیشه مقدار قابل توجهی از آب آبیاری به طرف بستر اصلی برمی‌گردد. آب برگشتی یا به‌بیانی پساب کشاورزی نیز، وقتی به کناره‌های رودخانه می‌رسند، به‌اشکال مختلف باعث فرسایش کناره‌ای می‌شوند یا اصولاً روند فرسایش کناری را تسریع می‌بخشند.

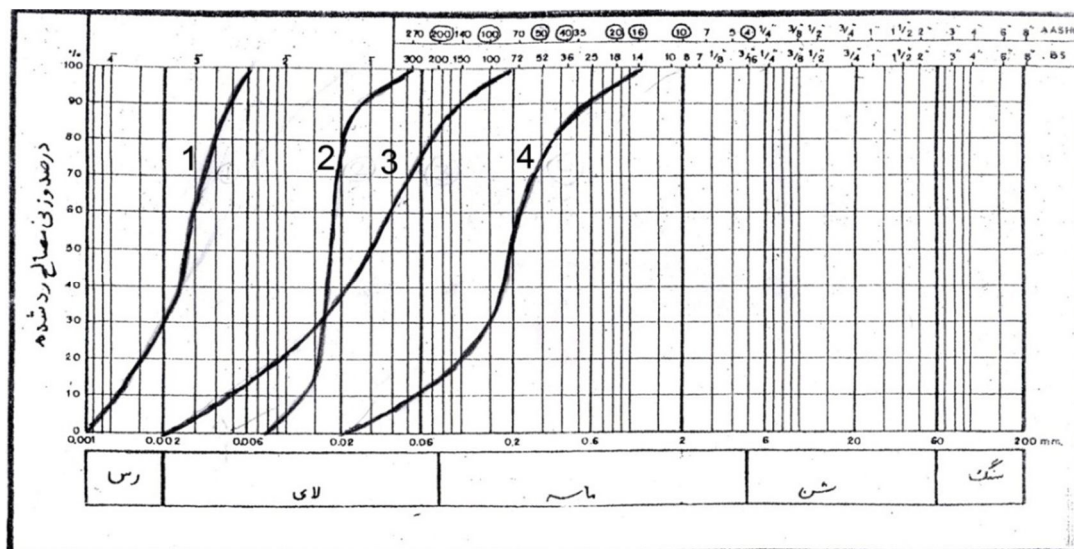
در قوس‌هایی که بخش عمده‌ی رسوب کناره‌ای از رس و سیلت ریزدانه باشد، پساب‌ها با نفوذ در زمین شرایط را برای حرکات توده‌ای فراهم می‌کنند. پساب‌ها پس از نفوذ از طریق درز و شکاف‌ها، از قاعده‌ی کناره‌ها به بیرون تراوش می‌کنند. این آب‌ها موجب خیس خوردگی و ناپایداری کناره‌ها می‌شوند که سرانجام، فروریزی پیامد آن خواهد بود (شکل ۴-ج). شکل غالب این حرکات واژگونی است. ابعاد توده‌ی واژگون شده به ارتفاع کناره‌ها و ابعاد ترک‌ها بستگی دارد. در کناره‌هایی که ارتفاع آنها به ۱۰ متر می‌رسد و ترک‌های متقاطع نیز باعث تقطیع سطح زمین شده باشند، حجم مواد فرو ریخته ابعاد چندین متر مکعب را شامل می‌شود. به‌دلیل سستی مواد، بلوک‌های واژگون شده به سرعت متلاشی می‌شوند و به‌این ترتیب به‌سادگی توسط سیلاب‌های فصلی از محل تخلیه می‌شوند. این سازوکار باعث شده است تا در بعضی از کناره‌ها مانند کناره‌ی قوس شماره‌ی ۱۱، میزان عقب‌نشینی به ۳۰ متر برسد. این میزان عقب‌نشینی باعث شده است تا طول قوس این مئاندر تا ۱۳۰ متر افزایش پیدا کند. لغزش چرخشی نیز شکل دیگری از فروریزی کناره‌ها به‌شمار می‌آید. وقوع این پدیده نیز بیشتر در قوس‌های متشکل از رس و سیلت ریزدانه دیده می‌شود. شکل ۳ منحنی

شماره ۱، مواد سازنده‌ی قوس شماره ۱۶ را نشان می‌دهد که از یک توده‌ی لغزشی برداشت شده است. این توده‌ی لغزشی حجمی از مواد کناره به‌ابعاد ۷ متر طول و ۱۱ متر پهنا را شامل می‌شده است. در این قوس کناری کاو بستر ۲۴ متر عقب‌نشینی داشته است.

کناره‌هایی که بیشتر از سیلت تا سیلت ماسه‌دار تشکیل شده باشند (منحنی ۲ در شکل ۳، پساب کشاورزی با ایجاد خندق در تخریب کناره‌ها نقش پیدا می‌کنند. کناره‌های کاو گاماسیاب در فصل خشک شکاف‌های زیادی پیدا می‌کنند. پساب‌ها وقتی به کناره‌یستر می‌رسند، از طریق این شکاف‌ها نفوذ می‌کنند و مواد منفصل سیلتی را به‌راحتی می‌شویند و در نتیجه موجب ایجاد تونل در زیرزمین می‌شوند. توسعه‌ی تونل‌ها سرانجام به فروریزی سقف آنها می‌انجامد که تشکیل خندق پیامد آن خواهد بود. به هر حال خندق‌زایی نیز سازوکاری است که از سوی زانگ و اسوانسون<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶؛ سایمون، ۱۹۷۱ و ریماندو، ۲۰۰۵)، به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در تخریب کناره‌های کاو مائدرها معرفی شده است

فرسایش آبراهه‌ای نیز شکل دیگری از فرسایش کناره‌ای گاماسیاب توسط پساب‌های کشاورزی است. این فرآیند در کناره‌هایی نقش دارد که حجم زیادی از پساب به کناره می‌رسند و مواد سازنده‌ی کناره نیز از سیلت و ماسه باشد. در این موارد پساب‌ها با ایجاد آبراهه‌های عمیق کناره را برش می‌دهند که در شکل ۴-ب، نمونه‌ای از آن نشان داده شده است. این تصویر از قوس شماره‌ی ۲۱ برداشت شده است و مطابق منحنی شماره ۴ در شکل ۳، مواد سازنده کناره کاو آن از سیلت و ماسه است

در کناره‌هایی که از ماسه و شن تشکیل شده‌اند، برداشت مواد در عقب‌نشینی کناره‌ها نقش داشته‌اند. هر چند مواد رودخانه‌ای بیشتر از بستر برداشت می‌شود ولی در قوس شماره ۵ ادامه کار به کناره نیز کشیده شده است به‌طوری که کناره کاو این قوس در اثر برداشت شن و ماسه تا ۱۷ متر عقب‌نشسته است. البته در این کناره‌ها همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود (شکل ۴-د)، حفاری پرندگان برای لانه‌سازی نیز در ریزش و عقب‌نشینی دامنه نقش بسزایی دارند. در کناره‌ی برخی از قوس‌ها، تعداد حفره‌های ایجاد شده توسط پرندگان به صدها عدد می‌رسد. این حفره باعث ریزش مواد دامنه‌ای می‌شوند و مواد فروریخته نیز به‌وسیله‌ی سیلاب‌ها تخلیه می‌شوند. به هر حال، هرچند عوامل زیادی در تخریب و جابه‌جایی مائدرهای گاماسیاب نقش دارند؛ ولی همان‌طور که این مطالعه نشان داده است نقش انسان در این فرآیند طی سال‌های اخیر، بسیار پُررنگ‌تر بوده است.



شکل ۳. منحنی دانه‌سنجی رسوبات کناری گاماسیاب در دشت بیستون

### بحث و نتیجه‌گیری

رودخانه‌ی گاماسیاب در دشت بیستون دارای ۳۴ مئاندر است. بر اساس جدول ۳، ترکیب آنها در سال ۱۹۸۶ به صورت ۱۴ شبه‌مئاندر، ۷ مئاندر کم‌توسعه‌یافته، ۹ مئاندر توسعه‌یافته و ۳ مئاندر از نوع نعل اسبی یا بسیار توسعه‌یافته بوده است. در سال ۲۰۱۰ این ترکیب به صورت ۱۳ شبه‌مئاندر، ۸ مئاندر کم‌توسعه‌یافته، ۱۰ مئاندر توسعه‌یافته و ۵ مئاندر بسیار توسعه‌یافته شده است. این تغییرات نشان‌دهنده تحول یافتگی مئاندرها بصورت افزایش در ضریب خمیدگی آنها در اثر دخالت عوامل مختلف بوده است. با این حال مطالعات نشان داده است که ضریب خمیدگی در تعدادی از مئاندرها (۱۵ مئاندر) بسیار بیشتر از تعدادی دیگر (۱۹ مئاندر) بوده است. این تفاوت‌ها حاصل دخالت انسان در تخریب و عقب‌نشینی کناره‌های کاو مئاندرهای گاماسیاب در ۲۴ سال گذشته بوده است. انسان از طریق برداشت مصالح رودخانه‌ای و پمپاژ آب برای کشاورزی زمین‌های حاشیه، باعث تغییر الگوی مجرای گاماسیاب در سال‌های اخیر شده است؛ زیرا همیشه مقداری از آب پمپاژ شده پس از آبیاری زمین‌ها، به صورت پساب کشاورزی بار دیگر به رودخانه برمی‌گردد. آبهای برگشتی وقتی به کناره‌های بستر می‌رسند، بسته به جنس مواد کناره، ارتفاع آن و سایر ویژگی‌های طبیعی، به اشکال مختلف لغزش، ریزش، واژگونی و خندقی، باعث تخریب کناره‌ها می‌شوند. این موضوع باعث شده است تا کناره‌های کاو ۱۵ مئاندری که انسان در فرسایش آن دخالت داشته است، نسبت به ۱۹ مئاندر دیگر، تخریب و عقب‌نشینی بیشتری داشته باشد، به طوری که این تغییرات در میانگین طول قوس‌ها به مقدار ۱۹ متر، در شعاع قوس‌ها به مقدار ۲۰ متر و در زاویه‌ی مرکزی قوس‌ها به مقدار ۵ درجه بیشتر و در میانگین طول مجرا نیز به میزان ۲۶ متر کمتر بوده است. براین اساس ضریب خمیدگی ۱۵ مئاندر مورد دخالت انسان از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۰ به میزان ۰/۱۳ بیشتر از ضریب خمیدگی ۱۹ مئاندر دیگر افزایش داشته است.

جدول ۳. طبقه‌بندی مآندرهای گاماسیاب براساس ضریب خمیدگی لئوپولد و ولمن ۱۹۵۷

مآندر نعل اسبی ضریب خمیدگی $> 2$ (تعداد)	مآندر توسعه یافته ضریب خمیدگی $2 - 1/51$ (تعداد)	مآندر توسعه نیافته ضریب خمیدگی $1/5 - 1/21$ (تعداد)	شبه مآندر ضریب خمیدگی $1 - 1/2$ (تعداد)	نوع پیچان رود
۳	۹	۷	۱۴	۱۹۸۶
۵	۱۰	۸	۱۳	۲۰۱۰



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۴. نمونه‌هایی از فرسایش کناری در جدار کاو رودخانه‌ی گاماسیاب در دشت بیستون

## منابع

بیاتی خطیبی، مریم. (۱۳۹۱). بررسی و تحلیل نوع و مدت زمان جابه‌جایی‌ها در مسیر رودخانه‌های مآندری و نقش جابه‌جایی در فرسایش کناری در نواحی نیمه خشک (مورد: رودخانه‌ی قره‌آغاج)، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، صص. ۱۰۲ - ۸۹.

- تلوری، عبدالرسول. (۱۳۷۱). شناخت فرسایش کناری رودخانه در دشت‌های رسوبی، تهران، مؤسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، شماره‌ی ۷۸، صص. ۱۰۳-۸۵.
- رجایی، عبدالحمید. (۱۳۷۳). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی و عمران ناحیه‌ای، تهران: انتشارات قومس.
- کرمی، فریبا. (۱۳۸۶). فرسایش کناره‌ای رودخانه (نمونه‌ی موردی: حوضه‌ی زهکشی سعیدآباد چای)، فصلنامه فضای جغرافیایی، ۱۸، صص. ۱۶۰-۱۷۸.
- محمودی، فرج‌ا. و نوحه‌گر، احمد. (۱۳۸۲). بررسی اثرات برداشت مصالح (شن و ماسه) بر شکل بستر و رژیم رودخانه‌ی میناب، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۵، صص. ۴۵-۵۸.
- مهدوی، محمد حسین. (۱۳۷۱). شرح نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰۰ چهار گوش کرمانشاه، تهران: سازمان زمین‌شناسی کشور.
- یمانی، مجتبی و شرفی، سیامک. (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی و عوامل مؤثر در فرسایش کناری رودخانه‌ی هررود در استان لرستان، مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۴۵، صص. ۳۲-۱۵.
- Charless, E. S., 1997, **Modeling High Sinuosity Meanders in a Small Flume**, Geomorphology, Vol. 25, No. 1-2, PP. 19-30.
- Chang, T. P & Toebes, G. H, 1970; **A Statistical Comparison of Meander Plan form in the Wabash Basin**, Water Resources Research, Vol. 6, No. 2, PP. 557-578.
- Gregory, K. J & Hoque, N., 1977, **River Channel Changes**, John Wiley & Sons, New York.
- Hickin, E. J., 1974, **The Development of Meanders in Natural River Channels**, American Journal of Science, Vol. 247, No. 4, PP. 414-442.
- Lancaster, S. T & Bras, R. L, 2002, **A Simple Model of River Meandering and its Comparison to Natural Chandelles**, Hydro- Process, No. 16, PP. 1-26.
- Leopold, L.B., Wolman, M. G., Miller, J, P, 1964, **Fluvial Processes in Geomorphology**, Courier Dover Publications, San Francisco.
- Remondo, J. et al, 2005, **Human Impact on Geomorphic Processes and Hazards in Mountain Areas in Northern Spain**, Geomorphology, Vol.66, PP. 69-84.
- Richards, K., 1982, **Rivers form and Process in Alluvial Channels**, Methuen, London.
- Simon, D. B, 1971, **River and Channel Morphology**, Fort Collins, Colorado.
- Smith, Ch., 1997, **Modeling High Sinuosity Meanders in a Small Flum**, Geomorphology, Vol. 25, No. 1-2, PP. 19-30.
- Zonge, L. & Swanson, 1996, **Hydrography Based Prediction of Meander Migration**, Texas & University USA.