

## طبقه بندی ژئومورفیکی آثار سیلاب کاتاستروفیک رودخانه گادر

مجتبی یمانی<sup>۱</sup>

موسی عباسی<sup>۲</sup>

### چکیده

واکنش ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها به آشفته‌گی سیلاب کاتاستروف منجر به گسترش کانال، حمل و نقل رسوبات، فرسایش ساحلی کانال و ایجاد نهشته‌ها و اشکال رسوبی در بستر و حاشیه رودخانه‌ها می‌شود. رودخانه گادر در ۲۵ فروردین ۱۳۹۶ موجب سیل فاجعه بار شد که نتیجه آن تخریب بیولوژیکی و ژئومورفولوژیکی قابل توجهی در کناره‌های رودخانه شد. از تصاویر هوایی با وضوح بالا از قبل و بعد از سیلاب برای تحلیل ۳۵ کیلومتر از بستر اصلی رودخانه گادر به منظور مشخص کردن میزان آشفته‌گی‌های ژئومورفیکی و کناره رود با شدت‌های متفاوت اعم از آشفته‌گی زیاد، آشفته‌گی متوسط تا گروه بدون آشفته‌گی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد آشفته‌گی شدید در نزدیکی بستر اصلی رودخانه رخ داده و با فاصله از بستر اصلی رودخانه و رسیدن به دوره بازگشت سیلاب‌های ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله کاهش یافته است. این سیلاب موجب آشفته‌گی زیادی در نزدیکی شاخه‌های اصلی رودخانه شده است. اقدامات کنترل کننده و تعیین حریم سیل گیر موجب بهبود عملکرد بهتر کناره‌های رودخانه شده و سیستم را قادر می‌سازد تا سریعاً بهبود یابد و به رویدادهای سیلاب آینده مقاوم شود.

**واژگان کلیدی:** سیلاب کاتاستروفیک، تغییرات مورفولوژی، مدل میتزن، رودخانه گادر

۱- استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

Email: kharazmiabbasi@gmail.com – Tel: 09123197682

۲- دانشجوی دکترای دانشگاه خوارزمی تهران

## مقدمه

سیلاب‌های شدید سبب افزایش قدرت آبراهه‌ها، نرخ فرسایش و رسوب گذاری در کانال رودخانه‌ها می‌گردد (رادک، ۲۰۰۰: ۲). پوشش گیاهی در رودخانه و در امتداد آن و دشت سیلابی نقش مهمی در مواقع آشفتگی‌های مربوط به سیلاب‌های کاتاستروف را به دلیل کاهش تخریب ایفا می‌کند که نیروهای هیدرولیک از طریق زبری اضافه شده را کاهش داده و مقاومت هیدرولیکی را از طریق تقویت ریشه افزایش می‌دهد (جولیان و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶: ۳). این پوشش گیاهی در مقاوم بودن کناره‌های رودخانه در برابر فرسایش ناشی از سیلاب مؤثر هستند (اندرسون<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴: ۴) که موجب خسارت کمتر سیلاب در مواقع بحرانی می‌شوند (والکزاک<sup>۳</sup>، ۲۰۱۵: ۹)، (جیمز و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۶: ۶)؛ بنابراین هدف از تقویت پوشش گیاهی این است که در مناطقی که فاقد پوشش گیاهی و همچنین مناطقی که پوشش گیاهی توسط فرآیند سیل از بین رفته است، استفاده شود. این سیلاب از اواخر ۲۴ فروردین ۱۳۹۶ شروع و تا اوایل روز ۲۶ فروردین ماه ادامه داشت. از همان اوایل روز ۲۵ فروردین بارش شدت گرفت و در حدود ساعت ۲ بامداد به ۱۷۰/۲۵ مترمکعب بر ثانیه رسید. هر چه زمان گذشت بارش نیز شدت بیشتری به خود گرفت و در ساعت ۶ صبح بر اساس داده‌های ایستگاه هیدرومتری و مردم روستای پوش آباد و مسئولان فرمانداری سیلاب با ۳۹۰ مترمکعب بر ثانیه از رودخانه گادر سرریز شد یعنی در این لحظه سیلاب با عبور از حد آستانه آبراهه اصلی رودخانه گادر و سرریز شدن از آن، در حاشیه رودخانه طغیان کرده و با اوج گرفتن شدت سیلاب در ساعت ده با ۴۶۸/۹۸ مترمکعب بر ثانیه موجب تخریب پل پوش آباد و سرگیز گردید و نهایتاً در ساعت یازده شدت سیلاب با دبی ۴۷۰/۸ مترمکعب بر ثانیه به اوج خود رسید و موجب خسارت شدیدی به زمین‌های کشاورزی حاشیه رودخانه، تخریب کارگاه‌های بلوک‌زنی، تخریب کلبه‌ها و وارد کردن آسیب جدی به خانه‌های روستاها گردید که از دوره بازگشتی بیش از ۲۰۰ سال برخوردار بوده است. سیلاب مزبور تغییرات

1 Julian et al

2 Anderson

3 Walczak et al

4 James et al

عمده‌های در مورفولوژی آبراهه‌ها و رودخانه‌های اصلی گادر را سبب گردید که طی شواهد و قرائن موجود در چند دهه اخیر بی سابقه بوده است.

در دو دهه گذشته سیلاب‌های کاتاستروف فرآیندهای رودخانه‌ای متعددی ایجاد کرده‌اند که در زمینه واکنش رودخانه‌ها به وقایع سیلاب‌های بزرگ مطالعات موردی انجام شده است. مک‌کلین و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) مورفولوژی، ویژگی‌های رسوبی و توالی رسوبات سیلابی درشت دانه اخیر و هولوسن پایانی را در حوضه آبریز کوچکی به مساحت ۹۵ کیلومتر مربع در مناطق مرتفع شمالی انگلستان مورد بررسی قرار دادند. مطالعه نهشته‌های تخته سنگ-قلوه سنگ، صفحات شنی و باریکه‌های قلوه سنگی نشان از ثبت ۲۱ واقعه سیلابی بزرگ بود که به جز یک مورد، باقی وقایع مربوط به قرن هجدهم می‌باشد. هاور و هابرسک (۲۰۰۹) به بررسی اثرات سیلاب ۲۰۰۲ بر روی دشت سیلابی و مورفولوژی دره استرالیا در رودخانه‌هایی با سنگ بستر آبرفتی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که علاوه بر فرسایش ساحلی در بخش‌های پیچان رودی، بستر رودخانه به صورت محلی گسترش یافته است. باتورپ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) یک همبستگی مثبت بین سیلاب‌های کم شدت و غنای گونه‌ها (تعداد گونه‌های مجزا) در دشت سیلابی را نشان داد که در جنگل‌های دارای احتمال وقوع سیلاب سیل مکرر با قدر کم اتفاق می‌افتد. کوچل و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۵) به بررسی پاسخ مورفولوژیک رودخانه‌ای در فلات آپالاچی واقع در شمال مرکزی پنسیلوانی به سیلاب ۲۰۱۱ در ایالت متحده آمریکا پرداختند. نتایج مطالعه نشان از جدا شدگی ساحلی بزرگ مقیاس، فرسایش سنگ ریزه از حاشیه کانال و حمل و نقل آن به پایین دست رودخانه، فرسایش دشت سیلابی اصلی و رسوبات، تخریب خاک ریزهای انسانی و اتصال مجدد به کانال اصلی داشت. روسناک و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۵) با مطالعه عکس‌های هوایی مربوط به هفت دوره تغییرات مورفولوژیکی ایجاد شده بر یک رودخانه مئاندری به طول ۱۳/۲ کیلومتر واقع در اسلواکی را که ناشی از سیلاب‌های مکرر بود بررسی نموده و نتیجه گرفتند

1 Macklin et al

2 Pedersen

3 Kochel et al

4 Rusnak et al

سیلاب‌های کوچک و مکرر به جای تخریب سیستم رودخانه منجر به ثبات کانال، فرسایش ساحل مقعر و به شکل‌گیری پلان قوسی پر پیچ و خم در رودخانه می‌گردد. در مقابل دوره بازگشت کوتاه از سیلاب‌های شدید منجر به افزایش شدت فرآیندهای فرسایش، تغییر از پلان قوسی پر پیچ و خم به کمی شریانی، صاف شدن کانال و شکل‌گیری نهشته‌های شنی می‌شود. گریت و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) اثر سیلاب را در مکان‌های کناره رود در حوضه آبریز گولبورن - شکسته در استرالیا بررسی کردند و نتایج نشان داد که پس از سیل غنای گونه‌ها کاهش می‌یابد اما نه تنها گونه‌های بومی کاهش نیافته بلکه پوشش گونه‌های چوبی بومی پایدار و افزایش داشته است. مگیلیگان و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۵) در پژوهشی ارتباط بین پارامترهای جریان و تأثیرات ژئومورفولوژیک سیلاب‌های شدید را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که اگر چه این سیلاب از نظر بزرگی گسترش آبراهه، کم و محدود بود ولی اثرات ژئومورفیک عمیقی را مانند انتقال و رسوب‌گذاری مواد بسیار دانه درشت، فرسایش ساحلی آبراهه و رسوب مواد دانه درشت در سراسر دشت‌های سیلابی به دنبال داشت. در ایران نیز در مورد ژئومورفولوژی سیل کارهای زیادی صورت گرفته (یمانی و همکاران ۱۳۸۴، جهادی طرقي ۱۳۸۷، فرج زاده ۱۳۹۰، حسینی و همکاران ۱۳۹۳، خان بابایی و همکاران ۱۳۹۶) ولی تاکنون آثار سیلاب کاتاستروفیک در ایران طبقه بندی ژئومورفویکی نشده است. این پژوهش با هدف ارائه الگویی برای تعیین میزان آشفستگی‌های ژئومورفویکی ناشی از سیلاب کاتاستروفیک رودخانه گادر به واقعه سیلاب سال ۹۶ انجام شده است.

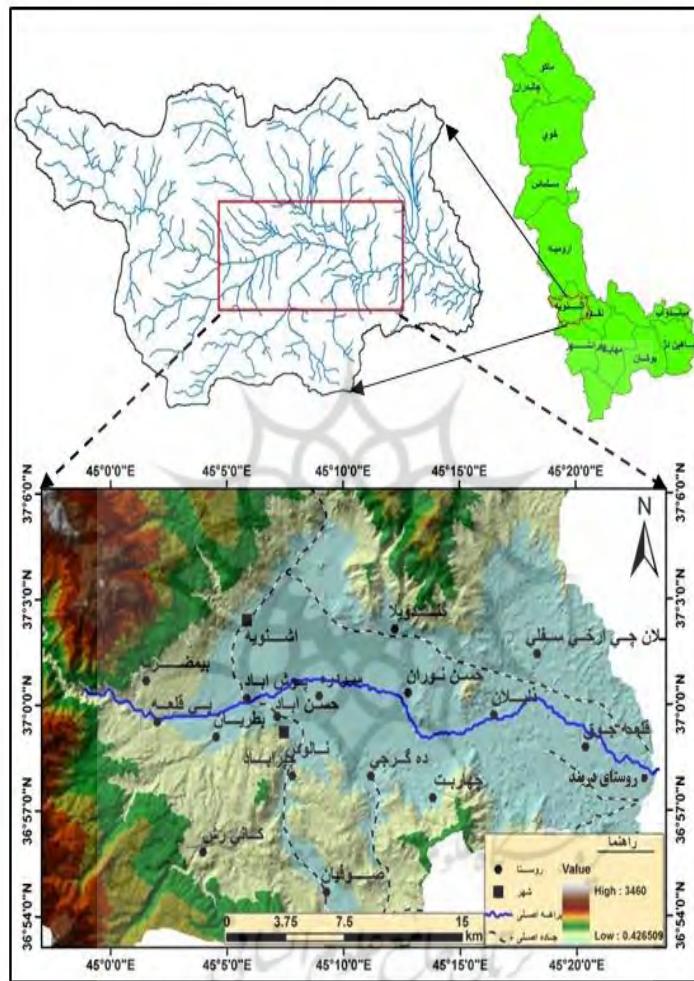
### موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه گادر در جنوب استان آذربایجان غربی از رودخانه‌های مرزی غرب کشور قرار گرفته که یکی از پر آب‌ترین زیر حوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه گادر در میان دو رشته کوه تقریباً موازی با هم قرار گرفته که رودخانه در همین راستا در جریان می‌باشد. رشته کوه‌های بخش غربی در مرز ایران و عراق و رشته کوه‌های بخش شرقی به عنوان خط تقسیم مرز حوضه گادر با حوضه زربینه رود و اشنویه

1 Greet et al

2 Magilligan et al

می‌باشند. بیش‌ترین ارتفاع محدوده کوه دالامپر با ارتفاع ۳۴۵۱ متر است. از سایر کوه‌ها و ارتفاعات منطقه می‌توان به کوه کیله شین، بز سینا و برده زرد اشاره نمود. این منطقه از دیدگاه تقسیمات واحدهای ساختمانی - رسوبی ایران از نظر اشتوکلین بخشی از کمربند دگرگونی افیولیتی زون سندج - سیرجان است. اقلیم منطقه در ارتفاعات حوضه دارای اقلیم مدیترانه‌ای سرد و مرطوب بوده و در ارتفاعات پایین‌تر دارای نیمه خشک تا معتدل می‌باشد و دما هم در ارتفاعات کوهستانی ۵ سانتی‌گراد بوده و در بازه‌های پایین‌تر دما بیشتر شده و حدود ۱۰ الی ۱۲ / ۵ سانتی‌گراد است. بیشترین بارش‌ها در ارتفاعات حوضه و نواحی کوهستانی که دارای ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ هزار متر هستند، رخ داده که میانگین بارش سالانه بین ۶۰۰ الی ۸۰۰ میلی‌متر است. مساحت این حوضه برابر با ۲۰۸۶/۹۲ کیلومتر مربع و محیط آن برابر با ۲۳۹/۶ کیلومتر می‌باشد. حوضه آبخیز رودخانه گادر و زهکش اصلی آن از ارتفاعات شمال و غرب اشنویه سرچشمه گرفته و پس از طی کردن ارتفاعات وارد دشت ابرفتی اشنویه شده که با عبور از این دشت حاصلخیز وارد رودخانه اشنویه شده و در نهایت به دریاچه ارومیه منتهی می‌شود. محدوده‌ای که در این پژوهش روی آن مطالعه انجام گرفته از ارتفاعات کیله شین واقع در شهرستان اشنویه تا روستای دربند می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه گادر

## داده‌ها و روش‌ها

داده‌ها با استفاده از داده‌های آماری، داده‌های تصویری (شامل نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی مربوط به منطقه، عکس‌های هوایی، تصاویر Google Earth و نرم افزار Arc

GIS و روش میتزن استفاده شد) و داده‌های میدانی (این مرحله شامل مشاهده مستقیم تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها، سواحل و اشکال رسوبی ایجاد شده بر اثر سیلاب در هر کدام از بازه‌ها، تعیین نقشه حریم رودخانه، مسیرها و مناطقی که اثرات سیلاب در آن‌ها قابل مشاهده بوده) گردآوری شده است. از عکس‌های هوایی سال ۹۵ و ۹۶ جهت مشخص کردن میزان آشفته‌گی‌های ژئومورفیکی ناشی از سیلاب کاتاستروف در ۳۵ کیلومتر رودخانه اصلی گادر استفاده شد و تصاویر موجود برای تاریخ قبل و بعد از سیلاب انتخاب شد. تغییرات مورفولوژی پس از سیل با استفاده از تصاویر هوایی مشخص شد که با استفاده از دیجیتال‌سازی کردن منطقه مکان‌هایی که آشفته‌گی سیلاب کاتاستروفیک در طول رودخانه گادر رخ داده‌اند به وضوح قابل مشاهده هستند. برای مدیریت ضروری با استفاده از روش میتزن از دوره بازگشت‌های شامل بستر سیلاب و دشت سیلابی ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله برای تعیین میزان آشفته‌گی‌های ژئومورفیکی رودخانه استفاده گردید. مدل میتزن شامل دو بخش آشفته‌گی کناره رود و آشفته‌گی ژئومورفیک می‌باشد که هر کدام از این دو بخش شامل گروه-های مختلف هستند. بخش آشفته‌گی کناره رود شامل شش گروه بدون آشفته‌گی، آشفته‌گی خیلی کوچک، آشفته‌گی جزئی، آشفته‌گی متوسط، آشفته‌گی زیاد و آشفته‌گی خیلی زیاد است که بر اساس شدت آشفته‌گی گروه بندی شده‌اند و بخش آشفته‌گی ژئومورفیک شامل چهار گروه بوده که از گروه بدون آشفته‌گی تا آشفته‌گی بزرگ طبقه بندی شده‌اند (شکل ۲). مساحت کل آشفته‌گی‌های کناره رود و ژئومورفیک به ترتیب برای هر تمامی گروه‌ها در هر دو بخش برای کل منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. (جدول ۱ و ۲) و میزان آشفته‌گی در هر دو بخش کناره رود و ژئومورفیک برای هر گروه بر اساس سه دوره بازگشت شامل بستر سیلاب، دشت سیلابی ۱۰۰ ساله و ۵۰۰ ساله به دست آمد (شکل ۳ و ۴). یک گروه بندی جداگانه برای تعیین میزان تأثیر فعالیت درختکاری و پوشش گیاهی در گروه‌های مختلف آشفته‌گی کناره رود و ژئومورفیک انجام شد (جدول ۴)؛ و در نهایت یک مقایسه یکپارچه سازی فضایی در هر دو بخش آشفته‌گی‌های کناره رود و ژئومورفیک که با استفاده از همبستگی پیرسون مورد آزمایش قرار گرفته، انجام شده است تا نسبت آشفته‌گی‌های تمامی گروه‌ها را در هر دو بخش تحلیل کند (جدول ۳).

جدول ۲- روش دسته‌بندی توصیفی طرح‌های آشفته‌گی کناره رود و ژئومورفیک (میتزن و همکاران، ۲۰۱۷)

آشفته‌گی کناره رود		
<p>گروه اول</p> <p>- بدون آشفته‌گی</p> <p>- این نواحی نشانه‌هایی از آشفته‌گی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود.</p>	<p>گروه دوم</p> <p>- آشفته‌گی خیلی کوچک</p> <p>- سیلاب در اکثر پوشش گیاهی این مناطق تاثیری ندارد.</p> <p>- پوشش‌های گیاهی کم ممکن است نشانه‌هایی از آشفته‌گی را نشان دهند.</p>	<p>گروه سوم</p> <p>- آشفته‌گی جزئی</p> <p>- آشفته‌گی در پوشش گیاهی کناره رودخانه‌ای به وضوح قابل مشاهده است.</p> <p>- اگر چه بعضی از درختان سقوط کرده و یا از بین رفته اند ولی اکثریت آن‌ها قائم هستند.</p>
<p>گروه چهارم</p> <p>- آشفته‌گی متوسط</p> <p>- در اکثر پوشش گیاهی کناره رودخانه آشفته‌گی وجود دارد.</p> <p>- درخت‌هایی که سقوط کرده و یا از بین رفته‌اند از درخت‌هایی که قائم هستند بیشتر می‌باشند.</p>	<p>گروه پنجم</p> <p>- آشفته‌گی زیاد</p> <p>- قسمتی از دشت سیلاب خالی شده است</p> <p>- تقریباً همه پوشش گیاهی کناره رودخانه از بین رفته است.</p> <p>- مقداری از آبرفت‌ها هنوز در محل وجود دارند.</p>	<p>گروه ششم</p> <p>- آشفته‌گی خیلی زیاد</p> <p>- تمام دشت سیلاب خالی شده است</p> <p>- پوشش گیاهی کناره رودخانه کاملاً از بین رفته است و به آبرفت‌های سنگی یا بستر سنگی رسیده است.</p>
آشفته‌گی ژئومورفیک		
<p>گروه A</p> <p>- بدون آشفته‌گی</p> <p>- این نواحی نشانه‌هایی از آشفته‌گی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود</p>	<p>گروه B</p> <p>- آشفته‌گی خیلی کم</p> <p>- شواهد فرسایش یا رسوب وجود دارد.</p> <p>- مناطقی که از کانال رودخانه دور هستند و در آن‌ها فرسایش رودخانه‌ای کم است</p>	<p>گروه C</p> <p>- آشفته‌گی متوسط</p> <p>- اشکالی که در امتداد کانال رودخانه گسترش یافته یا تغییر پیدا کرده اند. شامل چاله‌هایی می‌باشند که در این مناطق گسترده شده‌اند که نشانه‌هایی از رسوب متوسط یا فرسایش می‌باشد.</p>
<p>گروه D</p> <p>- آشفته‌گی بزرگ</p> <p>- در این مناطق فرسایش و رسوب زیاد اتفاق می‌افتد</p> <p>- اشکال جدید مانند نوارهای نقطه‌ای رسوب‌گذاری می‌شوند، کانال رودخانه گسترده می‌شود و چاله‌های جدید به وجود می‌آیند.</p>		



## نتایج و بحث

## بررسی شرایط ژئومورفیکی و آشفته‌گی کناره رود گادر

تعداد پیچان‌رودهای رودخانه گادر قبل از سیلاب، ۸۸ پیچان‌رود بوده که بعد از سیلاب به ۷۹ پیچان‌رود کاهش یافته است. به عبارت دیگر بعد از رخداد این سیل تعداد ۹ پیچان‌رود حذف شده است که بیش‌ترین تعداد پیچان‌رودهای حذف شده در محدوده روستای پوش آباد تا روستای دربند (بازه سوم) واقع شده‌اند. تغییرات تعداد پیچان‌رودها در بخش‌های بعدی رودخانه گادر کم‌تر بوده است. هم‌چنین طول خط مرکزی رودخانه گادر قبل از سیلاب ۲۲/۲۱ کیلومتر بوده که بعد از سیلاب به ۲۲/۳۱ کیلومتر رسیده است که این نشان‌دهنده تغییرات کم طول رودخانه در بازه زمانی مورد مطالعه می‌باشد. در دوره قبل سیل در بازه اول بیش‌ترین میزان ضریب خمیدگی ۱/۸ بوده در حالی که همین بازه بعد از وقوع سیل بالاترین میزان ضریب خمیدگی ۱/۴ بوده و این نشان‌دهنده تغییرات و حذف تعدادی کمی از پیچان‌رودها در این بازه می‌باشد. هم‌چنین بیش‌ترین میزان ضریب خمیدگی بعد از سیل به میزان ۲/۶ در بازه دوم وجود داشته و در دوره قبل از رخداد سیل نیز ماکزیمم بیش‌ترین تعداد ضریب خمیدگی در بازه دوم به میزان ۲/۳ بوده است. تغییرات ضریب خمیدگی قبل از سیل بین ۱/۰۴ تا ۲/۳ در نوسان بوده در حالی که این میزان بعد از سیل بین ۱/۰۵ تا ۲/۶ در نوسان بوده است. نوسان و تغییرات ضریب خمیدگی رودخانه گادر در بازه اول کمتر بوده که علت آن در بازه اول کوهستانی بوده مسیر رودخانه می‌باشد. در بازه دوم و سوم میزان ضریب خمیدگی بعد از سیلاب نسبت به دوره قبل از سیل افزایش پیدا کرده و این نشان‌دهنده افزایش پیچان‌رودها در این دو بازه و در نتیجه تغییر در مورفولوژی رودخانه در این بازه‌ها می‌باشد. در بازه اول تغییرات عرض رودخانه همانند نوسانات ضریب خمیدگی چندان زیاد نبوده است و تعداد متاندرها نیز درآید بازه در دو بازه زمانی تغییرات چندان نکرده است، پس رودخانه در این بازه تغییرات چندان نداشته است. بررسی تغییرات طول موج و طول دره در دو دوره زمانی قبل و بعد از سیل در رودخانه گادر نشان می‌دهد که در محدوده روستای پوش آباد تا روستای دربند (بازه سوم) میانگین تغییرات طول موج و طول دره بعد از سیلاب افزایش داشته و علت آن را می‌توان به این

صورت تشریح کرد که قدرت مانور رودخانه در این محدوده به علت آبرفتی و سست بودن بستر نسبت به بازه‌های کوهستانی بیش‌تر است. به همین علت این محدوده حالت ناپایدار داشته و بیش‌ترین تغییرات عرض نیز در این محدوده اتفاق افتاده است. عرض رودخانه نیز در این محدوده دو برابر شده است و میانگین طول دره در دو بازه در دوره بعد از وقوع سیل افزایش داشته است یعنی خط مرکزی رودخانه در این بازه تغییر کرده و نسبت به قبل از وقوع رخداد کاهش یافته است. از طرف دیگر این بررسی‌ها نشان می‌دهد که در قسمت‌های میانی رودخانه میزان تغییرات نسبت به قسمت‌های ابتدایی و انتهایی بیش‌تر بوده است. میزان شعاع نسبی در بعد از سیلاب روند نزولی داشته است به طوری که بازه سوم در محدوده تحت فشار قرار دارد و میزان شعاع نسبی آن در دوره بعد از سیل کاهش یافته است یعنی اینکه رودخانه نسبت به قبل از وقوع سیل بیش‌تر تحت فشار قرار گرفته است. کاهش تعداد پیچان‌رودها، افزایش ضریب خمیدگی و تغییرات عرضی به نوعی نشان دهنده تحت فشار بودن چم‌های رودخانه در این محدوده است و این مسئله و وجود ناپایداری و توسعه و گسترش فرسایش کناری را در این بازه نشان می‌دهد. بازه دوم در محدوده آزاد قرار داشته و کاهش شعاع نسبی آن بعد از سیل بیانگر کاهش آزادی‌های چم‌های رودخانه در این محدوده است. در بازه اول که چم آن در قسمت محدود شده قرار گرفته یعنی چم‌های رودخانه به علت کوهستانی بودن محدود شده‌اند. مقایسه متوسط عمق رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه در دو دوره زمانی نشان می‌دهد که عمق رودخانه تغییرات چشم‌گیری نداشته است اما مقایسه تغییرات نسبت عرض به عمق رودخانه گادر در بازه‌های مورد مطالعه نشان دهنده وجود تغییرات زیادی در بازه سوم (روستای پوش آباد تا روستای دربند) و تغییرات ناچیز در بازه اول (ارتفاعات کیله شین تا روستای بیمضرته) می‌باشد. به طوری که نسبت عرض به عمق رودخانه در بازه اول بعد از سیلاب کاهش یافته است اما در دو بازه دیگر این نسبت افزایش یافته است.

جدول ۳- تغییرات پارامترهای هندسی رودخانه گادر قبل و بعد از سیلاب ۲۵ فروردین سال ۹۶

روستای پوش آباد تا روستای دربند		روستای بیمضرته تا روستای پوش آباد		ارتفاعات کپله شین تا روستای بیمضرته		موقعیت محدوده پارامترهای هندسی
بعد سیلاب	قبل سیلاب	بعد سیلاب	قبل سیلاب	بعد سیلاب	قبل سیلاب	وقوع سیل
۳۰	۳۶	۲۵	۲۷	۲۴	۲۵	تعداد پیچان رودها
۲۲/۳۱	۲۲/۲۱	۱۱/۱۲	۱۱/۱۱	۲۲/۹۸	۲۲/۹۵	طول خط مرکزی (کیلومتر)
۱۲۵	۸۰	۸۵	۷۲	۳۲	۳۱	میانگین عرض رودخانه (متر)
۸	۵	۷	۴	۵/۵	۵	میانگین عمق رودخانه (متر)
۱۳۶	۱۲۴	۹۱	۸۵	۹۵	۱۰۵	زاویه مرکزی (درجه)
۱۲۳	۱۷۴	۱۱۷	۱۶۲	۱۳۷	۱۹۲	میانگین شعاع دایره (متر)
۷۲۱	۷۱۶	۴۸۳	۳۱۲	۵۱۲	۴۸۴	میانگین طول موج (متر)
۸۰۳	۸۴۸	۶۸۰	۴۱۹	۶۹۲	۶۵۷	میانگین طول دره (متر)
۱/۳	۱/۱	۱/۵	۱/۳	۱/۴	۱/۲۴	ضریب خمیدگی / پیچشی
۱/۲	۲/۱	۱/۵	۴/۲	۷/۳	۷/۷	شعاع نسبی
۱۸/۵	۳۱/۲	۹/۳	۲۳/۱	۳۲/۱	۳۵/۴	نسبت طول دره به عرض دره
۱۴/۱۷	۲۰/۱۵	۷/۱۹	۱۶/۱۴	۳۲/۶۷	۲۹/۸۷	نسبت طول موج به عرض

کل مساحت ناشی از آشفته‌گی کناره رود و ژئومورفیک هر گروه برای کل منطقه مورد مطالعه و نسبت به سه دوره بازگشت سیلاب محاسبه شده است. طبقه‌بندی کلی مقادیر داده‌های آشفته‌گی ژئومورفیک و کناره رود به‌عنوان درصدی از کل مساحت‌های به دست آمده از طبقه‌بندی ژئومورفیک آبراهه (جدول ۴ و ۵) و به‌عنوان درصد آشفته‌گی هر گروه در هر بخش بیان شد (جدول ۶)، (شکل ۲ و ۳). مقایسه فضایی پوشش کناره رود رودخانه و آشفته‌گی ژئومورفیک با استفاده از همبستگی پیرسون برای تطبیق گروه‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۷). همچنین یک طبقه‌بندی درصد مساحت را برای کاشت درخت که در محدوده‌های مختلف کناره رود و آشفته‌گی ژئومورفیک صورت گرفته بود، انجام شد (جدول ۸).

جدول ۴- طبقه بندی مقادیر داده‌های آشفستگی کناره رود به عنوان درصدی از کل مساحت‌های به دست آمده از طبقه بندی ژئومورفیک آبراهه (متر مربع)

کل مساحت (متر مربع)	خارج از سیلاب		دشت سیلابی ۵۰۰ ساله		دشت سیلابی ۱۰۰ ساله		بستر سیل		آشفستگی
	درصد	مساحت (متر مربع)	درصد	مساحت (متر مربع)	درصد	مساحت (متر مربع)	درصد	مساحت (متر مربع)	
۲۷۰۱۰۲۵۴	۰	۰	۲۹/۱۱	۱۱۷۹۵۴۲	۴۳/۱۰	۲۰۶۳۹۴۰/۷	۶۷/۳۵	۵۱۹۱۳۰۵/۸	۰
۱۵۰۵۰۸۴	۱/۳۳	۲۱۹/۷۳۶	۱/۰۹	۶۶۵۷۲۴	۴/۲۶	۱۲۳۶۰۵/۰۲	۱۶/۸	۳۳۳۱۴۰/۵۳	۱
۲۵۰۸۷۲۱	۴۳/۵۵	۳۸۱/۸۹۵	۳/۲۵	۴۴۷۵۶۲	۸/۱۵	۹۲۱۲۲۵/۷۸	۱۱/۰۵	۹۹۴۵۴۵/۲۶	۲
۴۲۹۱۶۹۱	۱۵/۸۲	۱۰۱/۵۷۹	۰/۶۸	۱۸۵/۷۸۹	۲۰/۴۴	۲۰۹۵۸۱/۰۵	۲۶/۷۶	۳۲۲۲۸۷۲/۲	۳
۱۰۹۵۶۷۹۳	۳۷/۹۵	۴۰۱/۰۵۳	۶/۳۱	۴۲۱۸۷۵	۱۰/۴۱	۲۰۹۷۱۱۳/۷	۹/۳۲	۸۳۷۲۴۰۳/۲	۴
۶۵۷۲۴۷	۱/۳۳	۵۲۰/۵۷	۰/۳۱	۵۱۹۰۹۹	۰/۳۳	۳۷۸۳۸/۴۲	۱۲/۸۱	۹۷۶۸۷/۸	۵
۲۵۰۴۲۰۸۷	۰/۴۱	۱۹۶۰۴۷	۸/۶۳	۱۱۸۱۷۸۲	۲۵/۶۶	۵۴۵۳۳۰۴	۶۵/۲۹	۱۸۲۱۱۹۵۴	مجموع

جدول ۵- طبقه بندی مقادیر داده‌های آشفستگی ژئومورفیک رود به عنوان درصدی از کل مساحت‌های به دست آمده از طبقه بندی ژئومورفیک آبراهه (متر مربع)

کل مساحت	خارج از سیلاب		دشت سیلابی ۵۰۰ ساله		دشت سیلابی ۱۰۰ ساله		بستر سیل		آشفستگی
	درصد	مساحت (متر مربع)	درصد	مساحت (متر مربع)	درصد	مساحت (متر مربع)	درصد	مساحت (متر مربع)	
۳۷۱۶۰۸۴۶	۰	۰	۹۴/۱۰	۲۶۱۳۶۹۷۸	۸۶/۱۶	۹۳۲۷۱۵۶	۴۶/۵۸	۱۶۹۶۷۱۲	A
۵۷۸۹۶۹	۸/۰۱	۱۳۵۶۸۷	۰/۴۱	۱۲۹۸۶۳	۱/۴۵	۱۵۶۴۸۸	۳/۵۷	۱۷۸۹۳۱	B
۱۷۴۷۱۳۹	۱۸/۰۲	۱۴۲۸۱۰	۰/۵۱	۴۱۸۹۳۵	۴/۱۶	۴۴۹۸۱۳	۲۰/۲۱	۷۳۶۲۸۱	C
۴۹۷۲۱۰۵	۷۳	۸۹۲۳۴۶	۴/۹۸	۱۰۷۹۶۸۳	۸/۲۴	۱۲۸۳۶۹۲	۲۹/۶۴	۱۶۱۶۳۸۴	D
۴۴۴۵۹۷۵۹	-	۱۱۷۰۸۴۳	۵/۹	۳۷۷۶۵۴۵۹	۱۳/۸۵	۱۱۳۱۷۱۴۹	۵۳/۴۲	۴۲۲۸۳۰۸	مجموع

جدول ۶- مساحت کل محدوده مقاطع بین مقادیر داده‌های ژئومورفیک و آشفستگی رود به عنوان درصدی از کل مساحت‌های به دست آمده از طبقه بندی ژئومورفیک آبراهه (متر مربع)

آشفستگی ژئومورفیک									
	گروه A	درصد	گروه B	درصد	گروه C	درصد	گروه D	درصد	
آشفستگی سواحل	۰	۱۰۲۸۲۸۷۴	۲۹/۵۵	۱۳۸۵۱۲۰	۲۷/۸۵	۲۸۷۱۱۱	۱۶/۴۲	۲۱۸۷۱۴	۳۷/۷۷
	۱	۱۰۷۶۸۴۸۷	۲۸/۹۸	۷۶۷۸۵۸	۱۵/۴۴	۱۶۵۶۷۱	۹/۴۸	۱۰۲۶۵۰	۱۷/۷۳
	۲	۹۰۲۳۵۰۷	۲۴/۲۸	۹۸۲۲۲۹	۱۹/۷۵	۱۰۶۸۹۲	۶/۱۱	۶۹۷۲۸	۱۲/۰۴
	۳	۵۲۰۵۹۸۷	۱۴/۰۱	۱۰۹۲۳۵۱	۲۱/۹۶	۳۶۸۲۲۹	۲۱/۰۶	۴۸۴۰۹	۸/۳۶
	۴	۷۵۷۹۸۳	۲/۰۴	۶۹۱۰۴۹	۱۳/۹۰	۶۲۱۴۷۱	۳۵/۵۵	۸۹۶۳۱	۱۵/۴۸
	۵	۴۲۲۰۰۸	۱/۱۳۶	۵۳۴۹۸	۱/۰۷	۱۹۸۴۶۵	۱۱/۳۶	۴۹۸۳۷	۸/۶۰
کل		۳۷۱۶۰۸۴۶		۴۹۷۲۱۰۵		۱۷۴۷۸۳۹		۵۷۸۹۶۹	

مقادیری که به وضوح نشان می‌دهد همپوشانی گروه‌ها با قوی‌ترین روابط بین شدت آشفستگی در کناره رود و ژئومورفیک را نشان می‌دهد

جدول ۷- همبستگی پیرسون بین همپوشانی گروه‌های آشفستگی کناره رود و ژئومورفیک.

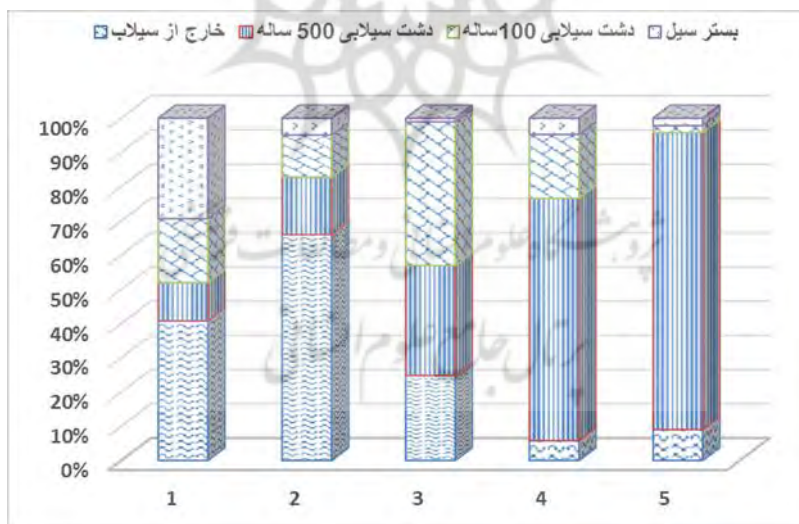
CAT-0	CAT-A	CAT-B	CAT-C	CAT-D
	۰,۵۲۹ <sup>**</sup>	-۰,۱۵۹ <sup>**</sup>	-۰,۲۱۷ <sup>**</sup>	۰,۰۵۸ <sup>**</sup>
CAT-1	۰,۱۱۲ <sup>**</sup>	۰,۲۰۴ <sup>**</sup>	-۰,۱۶۳ <sup>**</sup>	-۰,۰۰۷
CAT-2	۰,۰۲۹ <sup>*</sup>	۰,۲۸۳ <sup>**</sup>	-۰,۱۹۶ <sup>**</sup>	-۰,۰۰۶
CAT-3	-۰,۱۷۱ <sup>**</sup>	۰,۳۷۸ <sup>**</sup>	-۰,۰۴۴ <sup>**</sup>	-۰,۲۹۳ <sup>**</sup>
CAT-4	-۰,۱۰۸ <sup>**</sup>	-۰,۳۱۱ <sup>**</sup>	۰,۳۶۸ <sup>**</sup>	-۰,۰۵۸ <sup>**</sup>
CAT-5	-۰,۲۲۴ <sup>**</sup>	-۰,۳۰۹ <sup>**</sup>	۰,۱۱۰ <sup>**</sup>	-۰,۳۷۸ <sup>**</sup>

<sup>\*</sup> همبستگی در سطح ۰,۰۵ معنی دار است، مقادیر بیشتر قوی‌ترین روابط را نشان می‌دهد.

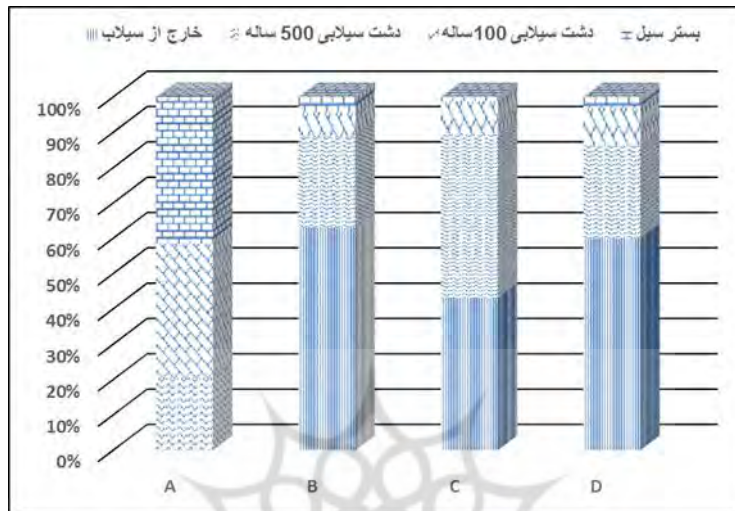
<sup>\*\*</sup> همبستگی در سطح ۰,۰۱ معنی دار است.

جدول ۸- درصد مناطق کاشت درختان بومی نسبت به گروه‌های آشتگی

درصدی از مساحت کاشت در هر طبقه	مساحت (متر مربع)	طبقه بندی
آشتگی کناره رود		
۴/۳۵	۱۹۳۵۸	گروه ۱
۶/۷۰	۲۹۸۳۶	گروه ۲
۱۳/۹۲	۶۱۹۸۳	گروه ۳
۲۰/۱۹	۸۹۸۷۳	گروه ۴
۲۲/۴۴	۹۹۸۹۳	گروه ۵
۳۲/۴۱	۱۴۴۳۰۲	خارج از محدوده
آشتگی ژئومورفیک		
۱۷/۶۲	۹۹۳۸۹	گروه B
۳۵/۷۱	۲۰۱۳۶۹	گروه C
۱۶/۲۸	۹۱۸۱۷	گروه D
۳۰/۳۹	۱۷۱۳۱۹	خارج از محدوده



شکل ۲- درصد ناحیه آشتگی در پنج گروه کناره رود (بستر سیلاب، ۱۰۰ ساله و ۵۰۰ ساله) نسبت به کل آشتگی



شکل ۳- درصد چهار گروه ناحیه آشفته‌گی ژئومورفیکی (بستر سیلاب، ۱۰۰ ساله و ۵۰۰ ساله) نسبت به کل آشفته‌گی

### آشفته‌گی کناره رود

آشفته‌گی کناره رود شامل آشفته‌گی‌هایی می‌باشد که در ویژگی‌های پوشش گیاهی، عوارض انسانی و توپوگرافی حاشیه و کناره‌های رودخانه اتفاق می‌افتد. مساحت ناشی از آشفته‌گی کناره رود شامل پنج گروه با مساحت ۴۶۹۳۸۷۸۹ مترمربع در جدول ۴ نشان داده شده است. در مجموع در منطقه آشفته‌گی کناره رود بیشترین میزان آشفته‌گی در گروه ۱ (۱۰۹۶۵۷۹۳ مترمربع) و کمترین میزان آن در گروه ۵ (۶۵۷۲۴۷ مترمربع) بوده است و گروه ۰ با دارا بودن بیشترین مساحت بدون تغییر در گروه دشت‌های سیلابی بوده است. این الگوها در مقیاس وسیع نیز با افزایش فاصله از رودخانه برای دوره‌های بازگشت سیلاب‌های ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله سازگار است. نسبت به هر گروه از آشفته‌گی‌ها شدیدترین آشفته‌گی‌ها در نزدیکی آبراهه در جریان سیلاب رخ داده و با افزایش، آشفته‌گی کاهش می‌یابد (شکل ۲). یکی دیگر از الگوی مشاهده شده مرتبط با گروه‌های سیلاب کاهش ناحیه آشفته‌گی برای هر نوع آشفته‌گی با افزایش فاصله از کانال می‌باشد که نشانگر مرزهای سیلاب است (جدول ۴).

به طوری ۶۵/۲۹ درصد از محدوده مورد پژوهش در بستر سیلاب واقع شده و بستر سیلاب ۱۰۰ ساله و بستر سیلاب ۵۰۰ ساله به ترتیب ۲۵/۶۶ و ۸/۶۳ درصد از کل مساحت را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴-۷۷). آشفته‌گی مربوط به هر پنج گروه در خارج از سیلاب مساحتی در حدود ۱۹۶۰۴۷ مترمربع را پوشش داده است که این امر مربوط به ۰/۴۱ درصد از کل آشفته‌گی است. منطقه آشفته‌گی نیز با شدت آشفته‌گی در محدوده خارج از سیلاب به جز گروه ۱ و ۲ کاهش یافته است.

### آشفته‌گی ژئومورفیک

آشفته‌گی ژئومورفیکی شامل آشفته‌گی‌هایی است که در جنس رسوبات بستر و مورفولوژی رودخانه رخ می‌دهد. مساحت مجموع آشفته‌گی ژئومورفیک ۴۴۴۵۹۷۵۹ مترمربع را پوشش داده و به‌طور کلی منطقه آشفته‌گی با افزایش شدت آشفته‌گی و همچنین با افزایش فاصله از کانال برای دوره‌های سیلاب و دشت‌های سیلاب ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله کاهش یافت (جدول ۵ و شکل ۳). بیشترین میزان آشفته‌گی ژئومورفیکی مربوط به طبقه A بوده که در مجموع ۳۷۱۶۰۸۴۶ مترمربع را پوشش داد در حالی که آشفته‌گی طبقه D با مساحتی معادل ۵۷۸۹۶۹ مترمربع کمترین میزان آشفته‌گی را پوشش داده است. برای محدوده بستر سیلاب بیشترین میزان آشفته‌گی ژئومورفیک متعلق به گروه A بوده که دارای ۹۴/۱۰ درصد می‌باشد که مساحتی حدود ۲۶۱۳۶۹۷۸ مترمربع را در بر گرفته است در حالی که کمترین میزان آشفته‌گی مربوط به گروه D با میزان ۰/۴۱ درصد می‌باشد که دارای مساحت ۱۱۳۶۸۷ مترمربع است. برای دشت سیلابی ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله هم مشابه منطقه بستر سیلابی بوده که بیشترین و کمترین میزان آشفته‌گی به ترتیب مربوط به گروه A و D می‌باشد. الگوی مشابهی نیز در محدوده خارج از سیلاب رخ داده است: در ۷۳ درصد از این ناحیه آشفته‌گی در گروه B رخ داده است، ۱۸/۹۲ درصد در رده C و ۸/۰۸ درصد باقی مانده نشان دهنده آشفته‌گی در گروه D است. کل ناحیه‌ای که در خارج از سیلاب قرار دارد ۲۲۱۴۲۵۰ مترمربع را پوشش می‌دهد که ۴/۹۸ درصد از آشفته‌گی ژئومورفیک کل را شامل می‌شود. با این حال نسبت به هر گروه از آشفته‌گی، شدیدترین آشفته‌گی در نزدیکی کانال در بستر سیلاب رخ می‌دهد و با افزایش به سمت سیلاب ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله آشفته‌گی کاهش می‌یابد (جدول ۵).



## مقاطع آشفته‌گی و مناطق پوشش گیاهی و درختان کاشت شده

منطقه به شدت آشفته‌گی کناره رود و ژئومورفیک تقسیم می‌شود (جدول ۶). گروه B با کمترین آشفته‌گی ژئومورفیک با ۵۷/۱۶ درصد با گروه‌های ۱، ۲ و ۳ آشفته‌گی کناره رود همپوشانی دارد. گروه C ژئومورفیک نسبتاً آشفته‌گی شده ۵۶ درصد با مقادیر متوسط تا شدید گروه‌های ۳ و ۴ کناره رود همپوشانی دارد و گروه‌های شدیدتر در گروه D که نشان دهنده بستر سیلاب برای آشفته‌گی‌های کناره رود و ژئومورفیک است دارای ۲۴ درصد همپوشانی می‌باشد (جدول ۶). همبستگی پیرسون در محدوده کل منطقه آشفته‌گی کناره رود و ژئومورفیک توافق معنی‌دار ( $\alpha = 0,05$ ) برای شاخص‌های مربوط به آشفته‌گی را نشان می‌دهد (جدول ۷). گروه بدون تغییر ژئومورفیک (رده A) یک رابطه مثبت با گروه بدون تغییر کناره رود را نشان داد. گروه B ژئومورفیک دارای قوی‌ترین رابطه با گروه ۳ کناره رود است، گروه C ژئومورفیک دارای قوی‌ترین رابطه با گروه ۴ کناره رود و گروه D دارای قوی‌ترین رابطه با گروه ۵ کناره رود بود. یکی دیگر از الگوی همبستگی نشان داد که کمتر گروه‌های ژئومورفیک دارای روابط منفی ضعیف با گروه‌های کناره رود دارند و به همین ترتیب گروه‌های کناره رود دارای رابطه قوی و مثبت با گروه‌های ژئومورفیک هستند. کاشت درختان بومی توسط مردمان محلی تمام مقادیر مساحت کناره رود و ژئومورفیک را شامل می‌شود (جدول ۸). در جایی که این دو عامل همپوشانی داشتند ۵۶ درصد از مناطق کاشت در گروه‌های ۳، ۴ و ۵ کناره رود و ۵۱/۹۹ درصد از کاشت آن‌ها در گروه‌های C و D ژئومورفیک واقع شده‌اند. ۳۰/۳۹ درصد از منطقه کاشت درختی که در خارج از منطقه مطالعه رخ داده است که شامل مناطق بالادست یا پایین دست جریان منطقه‌ای است که برای آشفته‌گی و نواحی بدون آشفته‌گی طراحی شده است. بیشتر آشفته‌گی‌ها و مکان‌هایی با حداکثر آشفته‌گی ژئومورفیکی بر اثر سیلاب کاتاستروف رود گادر در محدوده بستر سیل رخ داده و این آشفته‌گی‌ها برای تمامی گروه‌های بخش کناره رود و ژئومورفیک با فاصله گرفتن از رودخانه و حرکت به سمت دوره بازگشت‌های دشت سیلابی ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله کاهش می‌یابد. این روند به خصوص در بیشتر آشفته‌گی‌های کناره رود و ژئومورفیک مشهود است. بیشتر آشفته‌گی‌های شدید در بستر و بستر میانی آبرفتی و بستر تخته سنگ‌های جزیره‌ای و

یا مستقیماً در امتداد بستر کانال به وقوع پیوسته و آشفته‌گی‌های با شدت کمتر عمدتاً در دشت سیلابی ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله و خارج از محدوده سیلاب قرار گرفته‌اند. این الگوی مشابه مشاهدات پارسونز و همکاران (۲۰۰۶) بود که در آن سیل‌ها منجر به فرسایش دشت سیلابی در مکان‌های نزدیک بستر شدند و سبب عریض شدن بستر از طریق از بین بردن پوشش گیاهی کناره رود و آبرفتی شده بود. این الگوی آشفته‌گی شیب‌دار در حال حرکت به خارج از بستر با چندین مئاندر توضیح داده شده است که پیچ و خم‌های داخل مئاندرها به طور کامل فرسایش پوشش گیاهی را نشان می‌دهند. در نزدیکی بستر فرسایش شدید هنوز واضح است اما برخی از چمن و پوشش گیاهی همچنان در محدوده قابل مشاهده است. در داخل سطح دشت سیلاب در گروه ۴ از آشفته‌گی کناره رود چندین درخت را که از بین رفته است نشان می‌دهد که بیشتر درختان افتاده یا از بین رفته‌اند اما هنوز در جای خود قرار دارند و بیشتر پوشش گیاهی رودخانه از بین رفته است که این نمونه در بازه یک رود گادر به وضوح قابل مشاهده است. در هر دو طرف رودخانه نشانه‌هایی از آشفته‌گی ژئومورفیک و کناره رود جزئی وجود دارد که می‌توان آن‌ها را در گروه B آشفته‌گی ژئومورفیک و گروه ۱ آشفته‌گی کناره رود قرار داد (شکل ۴). روند خاصی بین گروه‌های ۱، ۲ و ۳ آشفته‌گی کناره رود و گروه‌های ژئومورفیک B و C وجود دارد که مکان‌هایی را که در این گروه از آشفته‌گی قرار گرفته‌اند در گروه آشفته‌گی متوسط قرار می‌گیرند. سیل ظرفیت و توانایی انتقال مقادیر متوسط رسوب و یا ایجاد فرسایش متوسط را دارد اما به عنوان یک نیروی بزرگ که بتواند به طور کامل بستر رودخانه آبرفتی را فرسایش دهد و پوشش گیاهی رو حذف کند کافی نیست بنابراین فقط دور از آستانه فرسایش دشت سیلابی خواهد بود. این احتمالاً به دلیل افزایش مقاومت گیاه و تقویت ریشه است و تأثیر این بر روی زبری دشت سیلابی و کاهش سرعت جریان بستر می‌باشد.

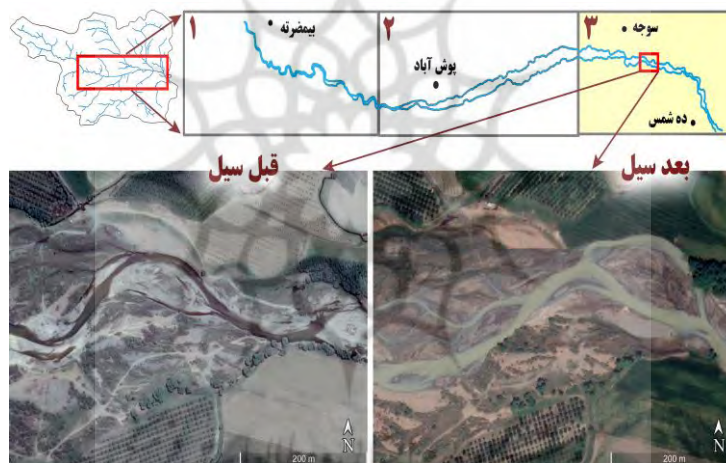


شکل ۴- فرسایش و از بین رفتن درختان در بستر رودخانه بر اثر سیلاب

#### الف) فرسایش دشت سیلابی، منادرها، شاخه‌ها

فرسایش دشت سیلابی بیشتر در بستر و در مجاورت کانال منطقه مورد مطالعه رخ داده است. علاوه بر فرآیندهای فرسایشی آشکار، سیل به ویژه در جایی که رسوبات درشت دانه وجود داشته و قابل حمل نبوده به پهنا بودن دشت سیلابی کمک کرده است. این نهشته‌های رسوبی با توجه به مقدار رسوب نهشته شده به عنوان دسته B یا C طبقه بندی می‌شوند. یکی دیگر از اشکال ژئومورفیک که در سراسر منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است وجود پشته‌های رسوبی بزرگ در مجرای جانبی و کانال میانی جزایر می‌باشد. این پشته‌ها نشان دهنده آشفته‌گی عمده ژئومورفیکی هستند که به عنوان اشکال جدید ایجاد شده و از نظر آشفته‌گی ژئومورفیکی بر اثر سیلاب کاتاستروف در گروه D قرار گرفته‌اند که بیشتر این پشته‌ها در بازه ۳ رودخانه که بازه‌ای شریانی و شامل رسوبات سست می‌باشد، واقع شده‌اند (شکل ۵). در بسیاری از مناطق در امتداد سیل بخش‌هایی از چوب سخت، درختچه‌ای و پوشش گیاهی یا به طور کامل از بین رفته‌اند. با این حال اکثر آبرفت‌ها و چمن زارهای زیرین باقی مانده است که این مناطق در گروه‌های آشفته‌گی کناره رود ۲ و ۳ و در

گروه ژئومورفیک A و B قرار می‌گیرند که به احتمال زیاد علفزارها و ریشه‌های عمیق‌تر آن‌ها باعث افزایش چسبندگی خاک‌ها شده اما نیرویی که روی زیست توده بزرگ بوته‌ها و درختان اعمال شده است بسیار قوی بوده و سبب شده ریشه‌های کم عمق آن‌ها را در زمین نگه دارد. الگوهای مشابهی از فرسایش و تخریب سیلاب در هر سه بازه منطقه مورد مطالعه رخ داده است. مکانیسم‌هایی که باعث ایجاد این الگوهای آشفته‌گی شده‌اند در محل تلاقی کاملاً واضح نیست اما به احتمال زیاد حاصل نیروهای پیچیده هیدرولیک و پوشش زمینی آبراهه از لحاظ هندسه کانال (زاویه اصلی و شاخه‌ای)، زاویه تلاقی، شیب محلی و نوع / ساختار پوشش گیاهی می‌باشد.



شکل ۵- وجود پشته‌های رسوبی که نشان از آشفته‌گی عمده ژئومورفیکی می‌باشند.

#### ب) توسعه و تغییرات پوشش گیاهی کناره رود

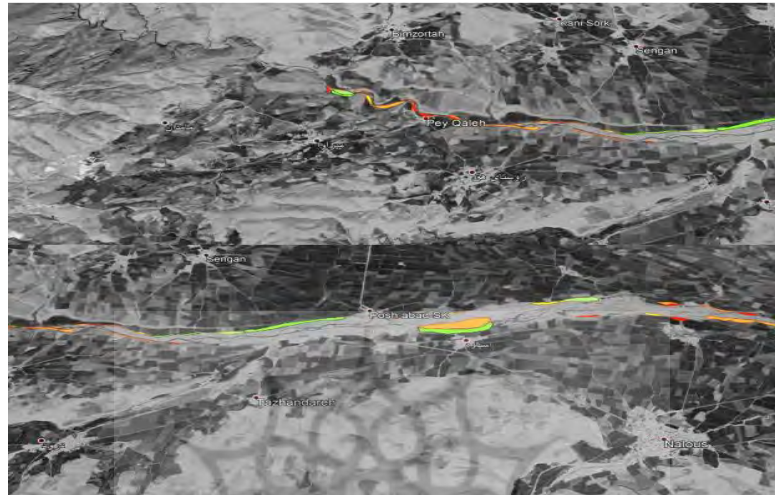
آشفته‌گی سیل کاتاستروف فروردین ۱۳۹۶ موجب از بین رفتن پوشش گیاهی شد. این آشفته‌گی به طور معمول در مناطقی که قبلاً در معرض خطر قرار دارند بیشتر شده است و آشفته‌گی‌های مکرر می‌تواند در نهایت منجر به تخریب کناره رود شود. این آشفته‌گی‌های مکرر می‌تواند سلامت اکوسیستم را کاهش داده و منجر به حالت کم پویایی شود که در ساختار و عملکرد متفاوت از شرایط پایدار است. گیاهان عوامل زیست محیطی مهمی در

سیستم‌های رودخانه‌ای هستند که در توسعه اراضی دشت‌های سیلاب و روند سیل نقش مهمی دارند. پوشش‌های ایجاد شده توسط جنگل‌های کناری جریان را کنترل می‌کند و بر فرآیندهای اکوژئومورفیکی جریان تأثیر می‌گذارد. مهم‌تر از همه در مورد ترمیم و مقاومت رودخانه گادر پوشش گیاهی درون دشت سیلاب بوده که برای کند کردن سیلاب عمل می‌کند. پوشش گیاهی ناهمواری ایجاد می‌کند که سرعت جریان‌ها را کاهش می‌دهد به ویژه برای سیلاب‌های با انرژی و جریان کم که تکه‌های پوشش گیاهی در تعدیل سرعت سیل نسبت به گیاهان انفرادی عملکرد بهتری دارند زیرا مقادیر زیادی از تراکم شاخ و برگ بیشترین زبری را ایجاد می‌کند. در حال حاضر اثرات تغییر آب و هوا در مورد آشفستگی، از بین رفتن زیستگاه و فرسایش در مناطق خاص مشاهده می‌شود که باید شیوه‌های ترمیم با معیارهای پیش بینی شده تغییرات آب و هوا به منظور افزایش مقاومت در اکوسیستم تطبیق داده شود. با مقایسه مدل بومی گادر با مدل میتزن می‌توان دریافت که مدل طبقه بندی بومی رودخانه گادر در مقایسه با مدل میتزن از جهاتی دارای تشابه بوده ولی دارای تفاوت‌های ویژه‌ای نیز می‌باشد. در مدل میتزن در بخش آشفستگی کناره رود به ویژگی‌های توپوگرافی، پوشش اراضی محدوده رودخانه، عوارض انسانی و در بخش آشفستگی ژئومورفیکی به جنس رسوبات بستر و مورفولوژی رودخانه به طور کامل توجه نشده است در حالی که در حوضه گادر وجود اراضی واقع در کنار بستر رودخانه با پوشش‌های مختلف همراه با جنس رسوبات بستر و کناره‌ها نقشی مهمی در میزان گسترش یا کنترل سیلاب - دارد. در حالت کلی مدل میتزن با مدل بومی گادر از یک سری جهات و ویژگی‌ها تشابه داشته ولی به جهت وجود عوامل محلی تأثیر گذار در رخداد سیلاب دارای تفاوت‌های خاصی است. مدل بومی گادر برای رودخانه‌های مشابه داخل ایران که دارای ویژگی‌های اقلیمی و مورفولوژیکی مشابه بوده قابل اجرا می‌باشد (شکل ۶). و در ادامه جهت مشخص کردن آشفستگی‌های ژئومورفیکی ناشی از آشفستگی کناره رود رودخانه گادر از طریق عکس هوایی در شکل ۷ نشان داده شد.

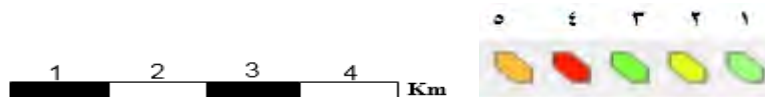
<p>دسته A: بدون آشفستگی ۱. این نواحی نشانه‌هایی از آشفستگی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود. ۲. بستر از جنس رسوبات مقاوم بوده. ۳. مورفولوژی رودخانه تغییر نکرده است</p>	<p>دسته اول: بدون آشفستگی ۱. این نواحی یا تحت تأثیر سیلاب نبوده یا به دلیل توپوگرافی و پوشش اراضی آشفستگی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود. ۲. دارای پوشش گیاهی مرتعی متراکم بوده. ۳. آسیبی به عوارض انسانی وارد نشده</p>	<p>آشفستگی کنار رود</p>
<p>دسته B: آشفستگی خیلی کم ۱. شواهد فرسایش یا رسوب وجود دارد. ۲. مناطقی که از کانال رودخانه دور هستند و در آن‌ها فرسایش رودخانه‌ای کم است و مناطقی که رسوبات مناسب در نواحی وسیعی از دشت سیلاب ته‌نشین شده باشند را شامل می‌شود. ۳. بستر دارای رسوبات سست و مقاوم بوده. ۴. مورفولوژی رودخانه تغییر نکرده است</p>	<p>دسته دوم: آشفستگی خیلی کم ۱. سیلاب در اکثر پوشش گیاهی این مناطق تأثیری نداشته است. ۲. در اراضی بدون پوشش و رسوبات نا مقاوم ممکن است نشانه‌هایی از آشفستگی قابل مشاهده باشد ۳. دارای پوشش گیاهی مرتعی متراکم بوده - آسیبی به عوارض انسانی وارد نشده</p>	
<p>دسته C: آشفستگی متوسط ۱. اشکال جدیدی در امتداد کانال رودخانه گسترش یافته یا تغییر پیدا کرده‌اند. شامل چاله‌هایی می‌باشند که در این مناطق گسترده شده‌اند که نشانه‌هایی از رسوب متوسط یا فرسایش است. ۲. رسوبات سست بستر بیشتر بوده. ۳. مورفولوژی رودخانه در برخی نقاط تغییرات جزئی کرده است</p>	<p>دسته سوم: آشفستگی کم ۱. آشفستگی در پوشش گیاهی کنار رودخانه‌ای به وضوح قابل مشاهده است. ۲. تعداد اندکی از درختان آسیب دیده، افتاده و یا خم شده‌اند؛ اما اکثر درختان در حالت قائم و بدون آسیب هستند. ۳. در برخی از مناطق دارای پوشش گیاهی مرتعی کم تراکم بوده. ۴. در برخی نقاط عوارض انسانی آسیب دیده</p>	
<p>دسته D: آشفستگی زیاد و خیلی زیاد ۱. در این مناطق فرسایش و رسوب زیاد اتفاق می‌افتد. ۲. اشکال جدید مانند نوارهای نقطه‌ای رسوب‌گذاری می‌شوند، کانال رودخانه گسترده می‌شود و چاله‌های جدید به وجود می‌آیند. ۳. رسوبات بستر سست و تخریب شده می‌باشد. ۴. مورفولوژی رودخانه کاملاً تغییر کرده و مائندهای جدید ایجاد شده است.</p>	<p>دسته چهارم: آشفستگی متوسط ۱. در بخش وسیعی از پوشش گیاهی کنار رودخانه آشفستگی وجود دارد. ۲. تعداد درختان افتاده، خم شده و آسیب دیده از تعداد درختان سالم بیشتر است. ۳. در برخی از مناطق دارای پوشش گیاهی مرتعی کم تراکم و دیم بوده. ۴. بخشی از عوارض انسانی آسیب جدی دیده</p>	
<p>دسته پنجم: آشفستگی زیاد ۱. بخشی از دشت سیلابی از پوشش گیاهی و درختان خالی شده است. ۲. تقریباً همه پوشش گیاهی کنار رودخانه از بین رفته است. ۳. برخی آبرفت‌های مرتفع هنوز در محل وجود دارند. ۴. مخلوط باغ و مراتع کم تراکم تا بدون پوشش مرتعی. ۵. عوارض انسانی مانند موتور آب و کلبه در محل خالی شده و بدنه پل‌ها آسیب جدی دیده</p>	<p>دسته پنجم: آشفستگی زیاد ۱. تمامی دشت سیلابی از پوشش گیاهی و درختان خالی شده است. ۲. پوشش گیاهی کنار رودخانه کاملاً از بین رفته است و به آبرفت‌های سنگی یا بستر سنگی رسیده است. ۳. مخلوط باغ، کشت آبی و زمین‌های لخت. ۴. عوارض انسانی نظیر پل‌ها و کلبه‌ها کاملاً تخریب شده.</p>	

آشفستگی رودخانه

مطالعات فرسایشی رسوبات علوم انسانی



شکل ۶- طرح طبقه بندی بومی برای توصیفی آشفستگی کناره رود و ژئومورفیک رودخانه گادر



شکل ۷- آشفستگی کناره رود رودخانه گادر در بازه‌های ارتفاعات کيله شين تا روستای دربند

## نتیجه گیری

تغییرات مورفولوژیک آبراهه رودخانه نسبت به سیلاب‌های شدید می‌تواند در کوتاه‌مدت و بلند مدت اثراتی را در هیدرولیک رودخانه ایجاد کند. از تصاویر هوایی با وضوح بالا از قبل و بعد از سیلاب برای تحلیل ۳۵ کیلومتر از بستر اصلی رودخانه گادر به منظور مشخص کردن میزان آشفته‌گی‌های ژئومورفیکی و کناره رود با شدت‌های متفاوت استفاده شد. بیشترین آشفته‌گی‌های ناشی از سیلاب کاتاستروف رود گادر که به وقوع پیوسته شامل گروه ۵ برای آشفته‌گی کناره رود و گروه D برای آشفته‌گی ژئومورفیک می‌باشد که عمدتاً در محدوده بستر سیل رخ داده و این آشفته‌گی برای تمامی گروه‌های بخش کناره رود و ژئومورفیک با فاصله گرفتن از رودخانه و حرکت به سمت دوره‌های بازگشت دشت سیلابی ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله کاهش یافته است. در گروه ۵ آشفته‌گی کناره رود ۹۰/۲ درصد از آشفته‌گی‌ها در بستر سیلاب رخ داده است در حالی که تنها ۸/۶ درصد در دشت سیلابی ۱۰۰ ساله و ۰/۶ درصد در دشت سیلابی ۵۰۰ ساله اتفاق افتاده است. به همین ترتیب در گروه D آشفته‌گی ژئومورفیک ۹۲ درصد در بستر سیلاب رخ داده است و تنها ۸ درصد از میزان آشفته‌گی در گروه‌های دیگر سیلابی به وقوع پیوسته است؛ بنابراین بیشتر آشفته‌گی‌های شدید در بستر کانال قرار گرفته‌اند و آشفته‌گی‌های با شدت کمتر عمدتاً در دوره‌های بازگشت دشت سیلابی ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله و خارج از محدوده سیلاب واقع شده‌اند. شدیدترین نوع فرآیند آشفته‌گی ژئومورفیک گروه D دارای ۵۸ درصد با دو گروه ۴ و ۵ کناره رود، به ترتیب به عنوان فرسایش دشت سیلابی جزئی و کامل شناخته شدند. جنگل زایبی و پوشش گیاهی باعث افزایش تراکم و ساختار پوشش گیاهی دشت سیلابی در طول رودخانه گادر و به طور بالقوه در آینده خواهد شد. فرآیندهای تأثیر پذیر طبیعی و فعال توسط درختان و گیاهان در یک سیلاب در نهایت پوششی به وجود می‌آورد که مزایای قابل توجهی برای ساکنین حوضه رودخانه گادر و کسانی که در پایین رودخانه هستند فراهم می‌کند که آمادگی زمین داران محلی برای بازگرداندن حریم کناره رود رودخانه اقدام ضروری برای اطمینان از انعطاف پذیری این سیستم و توانایی آن در رفع حوادث ناگهانی سیلاب‌های بزرگ است.



## منابع

- جهادی طرقي، مهناز (۱۳۸۷)، علل و آثار ژئومورفیک سیلاب‌های شدید (کاتاستروفیک) رودخانه مادرسو سال ۸۰ و ۸۱، رساله دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- حسینی، موسی، بیگلر، منصور، یمانی، مجتبی، گراوند، فاطمه (۱۳۹۴)، پیش بینی سیلاب تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HMS-HMS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴، صص ۱۱۸-۱۳۳.
- خان بابایی، زهرا، مقیمی، ابراهیم، مقصودی، مهران، یمانی، مجتبی، علوی پناه، کاظم (۱۳۹۶)، پاسخ رسوبی ژئومورفیک رودخانه‌های کوهستانی ایلام به سیلاب شدید سال ۹۴، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۲، پاییز ۹۶، صص ۶۴-۷۸.
- فرج زاده، منوچهر (۱۳۹۱)، بررسی خطر سیل خیزی در زیر حوضه‌های استان آذربایجان غربی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۱، صص ۶۸-۵۹.
- یمانی، مجتبی، عنایتی، مریم (۱۳۸۴)، ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومورفولوژیک حوضه‌های فشنند و بهجت آباد)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، زمستان ۱۳۸۴، دوره ۳۷، شماره ۵۴، صص ۵۷-۴۷.
- Anderson, B., Rutherford, I., Western, A., 2006. An analysis of the influence of riparian vegetation on the propagation of flood waves. *Environ. Model. Softw.* 21, 1290-1
- Baattrup-Pedersen, A., Jensen, K., Thodsen, H., Andersen, H., Andersen, P., Larsen, S., Riis, T., Andersen, D., Audet, J., Kronvang, B., 2013. Effects of stream flooding on the distribution and diversity of ground water-dependent vegetation in riparian areas *Freshw. Biol.* 58, 817-827.
- Greet, J., Webb, J., Cousens, R., 2015. Floods reduce the prevalence of exotic plant species within the riparian zone: evidence from natural floods. *Appl. Veg. Sci.* 18 (3), 503-512.
- Hauer, C., Habersack, H. 2009. Morphodynamics of a 1000-year flood

- in the Kamp River, Austria, and impacts on floodplain. *Earth Surf. Process. Land forms* 34, 654–682.
- James, C., Mackay, S., Arthington, A., Capon, S., Barnes, A., Pearson, B., 2016. Does stre structure woody riparian vegetation in subtropical catchments? *Ecology and Evolution* 6 (16), 5950 - 5963.
  - Julian, J.P., Podolak, C.J.P., Meitzen, K.M., Doyle, M.W., Manners, R.B., Hester, E.T., Ensign, S., Wilgruber, N.A., 2016. In: Jones, J.B., Stanley, E.H. (Eds.), *Shaping the Physical Template: Biological, Hydrological, and Geomorphic Connections in Stream Channels In-Stream Ecosystems in a Changing Environment*. Elsevier Academic Press, Amsterdam, pp. 85–133.
  - Kochel, R.C., Hayes, B.R., Muhlbauer, J., Hancock, Z., Rockwell, D. 2015. Geomorphic response to catastrophic flooding in north-central Pennsylvania from Tropical Storm Lee (September 2011): Intersection of fluvial disequilibrium and the legacy of logging. *Geosphere*, published online on 23 December 2015 as doi:10.1130/GES01180.1.
  - Magilligan, F.J., Buraas, E.M., Renshaw, C.E., 2015. The efficacy of stream power and flow duration on geomorphic responses to catastrophic flooding. *Geomorphology* 228, 175– 188.
  - Meitzen, K.M., Phillips j n., Thaïs Perkins, Aspen Manning, Jason P. Julian. 2017. Catastrophic flood disturbance and a community's response to plant resilience in the heart of the Texas Hill Country, Texas Univ. Texas Undergr. Res. J. 4 (1), 34–47.
  - Walczak, N., Hammerling, M., Sychala, M., Niec, J., 2015. The influence of the presence of vegetations in flood plains on flood risks. *J. Ecol. Eng.* 16 (5), 160–167.
  - Radek, Ch. T. 2000. *Sediment transport: Theory and practice*. New York: McG raw-Hill.
  - Rusnák, M., Lehotský, M., Sládek, J. 2015. Geomorphic adjustment of a gravel bed meandering river a response to contemporary floods and management issues (The Eastern Slovakia). *Mobility & river management* .A4 ,1-3.