پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال نهم، شماره ۲، پاییز۱۳۹۹
صص. ۸۰-۶۰

تحلیل زیستگاه‌های حاشیه‌ای رودخانه طالقان بر اساس واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای

سحر دارابی شاهماری* – دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
عزت اله قنواتی– دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
مارتین توماس– استاد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، هنر، علوم اجتماعی و آموزش، دانشگاه نیوانگلند.
علی احمدآبادی– استادیار جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
سید مروت افتخاری– استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰ تائید نهایی: ۱۳۹۹/۰۴/۲۷

چکیده

واحدهای ژئومورفیک، نمود فیزیکی فرایندهای جریان آب و انتقال رسوب می‌باشند که تحت تأثیر عوامل تاثیرگذار در مقیاس‌های بزرگتر هستند. هدف پژوهش حاضر، شناسایی و تقسیم‌بندی واحدهای ژئومورفیک رودخانه طالقان در بازه‌های مختلف، برای تشخیص تراکم و غنای واحدها و نقش عوامل انسانی بر تغییر واحدهای ژئومورفیک است. با استفاده از مطالعه پروفیل طولی براساس اختلاف شیب و ارتفاع، رودخانه طالقان به ۳ بخش بالادست، میان دست و پایین دست با میانگین ارتفاعی ۱۹۳۶ ، ۱۸۷۵ و ۱۷۹۳ متر و اختلاف شیب ۰/۰۱۳، ۰/۰۱۰ و ۰/۰۰۹ درصد تقسیم شده، سپس در هر بخش، بازه‌هایی به‌منظور مطالعه واحدهای ژئومورفیک با استفاده از روش GUS مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های مورد بررسی شامل تراکم و غنای کل واحدهای ژئومورفیک رودخانه در هر بازه است. زیرشاخص‌های مورد بررسی شامل تراکم و غنای واحدهای مطالعاتی دشت سیلابی و کانال پایه، تراکم واحدهای ژئومورفیک در ۵ واحد مطالعاتی جریان اصلی رودخانه، رسوبات رودخانه‌ای، پوشش گیاهی میان کانال، دشت سیلابی و منطقه آبگیر دشت سیلابی است. بر اساس نتایج، غنای واحدهای ژئومورفیک در واحد دشت سیلابی و کانال پایه در زیربازه‌های واقع در میان دست رودخانه و تراکم واحدهای ژئومورفیک در زیربازه‌های واقع در پایین دست رودخانه بیش از سایر بازه‌هاست. در بازه‌های بالادست به دلیل تنش هیدرولیک، تراکم واحدهای ژئومورفیک کمتر بوده و امکان تشکیل زیستگاه‌های فیزیکی در میان بستر وجود نداشته است. با این حال، به دلیل تاثیر کمتر عوامل آنتروپوژنیک، پایداری واحدهای ژئومورفیک بیش از سایر بازه‌ها است. در بازه‌های پایین دست به دلیل کاهش شیب تنش هیدرولیکی و افزایش انعطاف‌پذیری اکولوژیک، شرایط مناسب برای ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در میان بستر رودخانه وجود داشته؛ اما این واحدها در مقیاس کوچک هستند زیرا تاثیر عوامل آنتروپوژنیک، تغییر کاربری اراضی و برداشت شن و ماسه بخصوص در پایین دست رودخانه سبب کاهش غنای واحدهای ژئومورفیک شده و این امر تاثیر منفی بر ایجاد روزنه فرصت و لنگرگاه گیاهی به‌منظور استقرار پوشش گیاهی و زیستگاه‌های فیزیکی داشته است.

واژگان کلیدی: اکوژئومورفولوژی، پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک، لندفرم انباشتی بیوژئومورفیک، رودخانه طالقان، سیستم GUS.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: sahar.darabi48@yahoo.com

مقدمه

رودخانه‌ها می‌توانند به عنوان مجموعه‌ای از زیر سیستم‌های سلسله‌مراتبی دیده شوند که سطوح فضایی- زمانی کوچکتر در داخل یک مقیاس فضایی- زمانی بزرگتر را در بر می‌گیرند (فریسل[۱] و همکاران، ۱۹۸۶؛ برایرلی و فرایرز[۲]، ۲۰۱۳؛ رینلدی[۳] و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرنل[۴] و همکاران، ۲۰۱۶). در این سیستم‌های سلسله‌مراتبی، فرم و فرایندهای غالب در مقیاس‌های بزرگتر، فرم و فرایندها را در بازه‌های مکانی کوچکتر تعیین می‌نمایند (بریرلی و فریس، ۲۰۱۳؛ گرنل و همکاران، ۲۰۱۶). منظور از هر بازه مکانی بخشی از رودخانه است که در آن شرایط به اندازه کافی یکنواخت بوده و مجموعه‌ای از روابط تعاملی فرم و فرایند را در بر می‌گیرد (بریرلی و فریس، ۲۰۱۳؛ گرنل و همکاران، ۲۰۱۶). بدین ترتیب واحدهای ژئومورفیک، نمود فیزیکی فرایندهای جریان آب و انتقال رسوب هستند که تحت تاثیر عوامل تاثیرگذار در مقیاس‌های بزرگتر هستند (مانند شیب، ساختار بستر، پوشش گیاهی، شکل دره). در واقع، بازه‌های دارای مورفولوژی مشابه (به عنوان مثال، رودخانه‌های سینوسی)، معمولا مجموعه‌های مشابهی از واحدهای ژئومورفیک را نشان می‌دهند. یک واحد ژئومورفیک حاوی لندفرمی است که بواسطه فرسایش یا رسوب‌گذاری و یا برونزد سنگ بستر ایجاد شده است. واحدهای ژئومورفیک در داخل کانال رودخانه و یا در دشت سیلابی قرار گرفته‌اند و معمولا وسعتی از ۰/۱ تا ۲۰ برابر عرض کانال را در بر می‌گیرند (گرنل و همکاران، ۲۰۱۶). فرم و فرایندهای فیزیکی رودخانه به عنوان اجزای اساسی در تجزیه و تحلیل و مدیریت سیستم‌های رودخانه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. هیدروژئومورفولوژی رودخانه می‌تواند نمایانگر ساختارهای فیزیکی و دینامیکی به‌منظور ادغام در نظریه‌های بیولوژیک و اکولوژیک باشد که این امر برای برقراری ارتباط بین شرایط بیولوژیکی و فیزیکی رودخانه بسیار مفید است (پول[۵]، ۲۰۱۰). در این راستا، بررسی مقیاس فضایی واحدهای ژئومورفیک رودخانه، به همراه عناصر هیدرولیک آنها برای ارزیابی ارتباط بین شرایط اکولوژی و فیزیک رودخانه مناسب است. علاوه بر این، واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای (همچون خیزاب‌ها، حوضچه‌ها، موانع رسوبی، جزایر، و غیره) زیستگاه‌های مشخص و پناهگاه‌هایی ایمن در برابر اختلال و یا شکار، تخم‌ریزی، و غیره را برای جانوران و گیاهان آبرفتی، فراهم می‌کنند. همچنین، وجود پوشش گیاهی در هر یک از واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای می‌تواند عاملی تاثیرگذار بر فرم و فرایند رودخانه و در شرایط پیشرفته‌تر بر پایداری و یا ناپایداری فرم رودخانه باشد. بدین صورت واحدهای فضایی ژئومورفیک رودخانه، قالب فیزیکی را فراهم می‌کنند که پایه شرایط کلیدی محیطی مورد نیاز برای حمایت از زیستگاه‌های رودخانه‌ای است (ویریک[۶] و همکاران، ۲۰۱۰). بررسی واحدهای ژئومورفیک رودخانه در مقیاس‌های مختلف با در نظرگیری اهمیت اکولوژیک و ساختار آنها در ایجاد زیستگاه‌های متوسط و ریزمقیاس در بستر، میان و یا کناره‌های رودخانه، ابزاری برای برقراری ارتباط بین رشته‌ای میان ژئومورفولوژی، اکولوژی و بیولوژی می‌باشد.

در طول دهه‌های گذشته بسیاری از محیط‌های رودخانه‌ای در سراسر جهان تحت تاثیر سطوح مختلفی از فشارهای انسانی قرار گرفته‌اند که سبب تغییر الگوهای مورفولوژیک و دینامیک آنها شده است (رولت[۷] و همکاران، ۲۰۱۴؛ موریتو[۸] و همکاران، ۲۰۱۴؛ پیکو[۹]، ۲۰۱۶؛ کالس[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۵). مداخلاتی که هیدرومورفولوژی رودخانه‌ها را تغییر می‌دهد (مانند: کانالیزه‌سازی، حفاظت کناره‌ای، سدسازی و استخراج رسوب) عواقب جدی برای فرایندهای اکولوژیکی و تنوع زیستی

---

1. Frissell
2. Brierley & Fryirs
3. Rinaldi
4. Gurnell
5. Poole
6. Wyrick
7. Rollet
8. Moretto
9. Picco
10. Kaless

رودخانه‌ها دارد. رودخانه شریانی طالقان در ۱۲۰ کیلومتری استان تهران از جمله این رودخانه‌ها است. رودخانه طالقان به لحاظ قرارگیری در مجاورت استان تهران، منتهی شدن به سد طالقان و نیز استفاده از منابع آب و رسوب‌دهی برای عمر سد از اهمیت زیادی برخوردار است. تحقیقات در حوضه طالقان تایید می‌نماید که این حوضه از نظر رسوب زایی تکتونیک و ژئومورفولوژیکی از شرایط ناپایداری برخوردار است (شهبازی و احمدی، ۱۳۹۲: ۲۶۱). ساخت سد و ایجاد تغییر در شرایط محیط طبیعی توام با تشدید مداخلات انسانی ناشی از چشم انداز پرجاذبه برای احداث اقامتگاه (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۶)، توسعه ساخت و سازها و تجاوز به حریم آبراهه (یمانی، ۱۳۹۳)، و روند منفی تغییر کاربری اراضی (تبدیل اراضی جنگلی و باغی به اراضی دیم و کشاورزی) (قربانی و همکاران، ۱۳۸۹)، و برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه اثر تشدید کننده داشته و به بسط و توسعه شرایط ناپایدار آن مدد رسانده است.

دخالت‌های انسانی و تشدید تغییرات طبیعی، سبب ناپایداری واحدهای ژئومورفیک رودخانه شده است و در نتیجه واحدهای زیستگاهی ناپایدار و متعاقب آن یک اکوسیستم ناپایدار در حاشیه و نیز میان بستر رودخانه وجود دارد. در این راستا طبقه‌بندی و نیز تخمین غنا و تراکم واحدهای ژئومورفیک می‌تواند اطلاعات مربوط به محدوده زیستگاه‌های موجود در بازه‌های رودخانه را ارایه دهد و پایش واحدها در طول زمان، دینامیک این زیستگاه‌ها را نشان می‌دهد. با استفاده از تفکیک واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای می‌توان انواع واحدهای ژئومورفیک و تغییرات آنها را در بازه‌های مختلف از یک رودخانه با هم مقایسه نمود. در این پژوهش شناسایی و تقسیم‌بندی واحدهای ژئومورفیک رودخانه طالقان و مقایسه مقاطع مختلف رودخانه مورد توجه قرار گرفته است. هدف این مطالعه، تشخیص تراکم و غنای واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای، تشخیص بازه‌های دارای شرایط مناسب برای ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک، استقرار پوشش گیاهی و نقش عوامل طبیعی و انسانی بر تغییر واحدهای ژئومورفیک در بازه‌های مختلف رودخانه طالقان است. نتایج تحقیق، به‌منظور تفسیر ویژگی و رفتار هر بازه و تشخیص شرایط اکولوژیک مناسب، نقش عوامل طبیعی و انسانی در تغییر ویژگی‌های ژئومورفیک و بهبود مدیریت فرآیندی رودخانه موثر است.

روش‌های متعددی برای ارزیابی و طبقه‌بندی زیستگاه‌های فیزیکی در کانال‌های رودخانه‌ای و حواشی آنها از سال ۱۹۸۰ توسعه یافته است. برخی از این روش‌ها به عنوان روش‌های ارزیابی زیستگاه‌های رودخانه‌ای و یا ارزیابی زیستگاه‌های فیزیکی شرح داده شده‌اند، که اغلب منجر می‌شوند به ارزیابی شاخص‌های کیفی این زیستگاه‌ها و به همین دلیل این نوع از تحلیل، ادغام مفاهیم با علم ژئومورفولوژی را با مشکل مواجه می‌سازد (پلافکین[1] و همکاران، ۱۹۸۹؛ پلیتس[2] و همکاران، ۱۹۸۳؛ راون[3] و همکاران، ۱۹۹۷؛ لادسون[4] و همکاران، ۱۹۹۹). از روش‌های دیگر که از اوایل دهه ۱۹۹۰ به منظور طراحی، و طبقه‌بندی زیستگاه‌های فیزیکی رودخانه‌ای ایجاد شده‌اند می‌توان به تامسون و همکاران (۲۰۰۱)، کلیفورد[5] و همکاران (۲۰۰۶)، هاروی و کلیفورد (۲۰۰۹)، و زاودیل[6] و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد. در این روش‌ها به طور کامل روی زیستگاه‌های آبزی رودخانه‌ها تمرکز شده است. بسیاری از این تحقیقات بر اساس شناسایی و طبقه‌بندی انواع جریان‌ها بوده و برای نشان دادن الگوی زیستگاه‌های فیزیکی در مقیاس میکرو زیستگاه استفاده شده‌اند. از دیگر روش‌های غیر میدانی، می‌توان به روش‌های اتوماتیک و یا نیمه‌اتوماتیک متعدد برای استخراج ویژگی‌های فضایی آبرفتی (نه در قالب واحدهای ژئومورفیک) اشاره کرد (بلتی[7] و همکاران، ۲۰۱۳؛ دمارکی[8] و همکاران، ۲۰۱۶؛ ویریک[9]، ۲۰۱۶). شاخص‌های هیدرومورفولوژیکی و

---

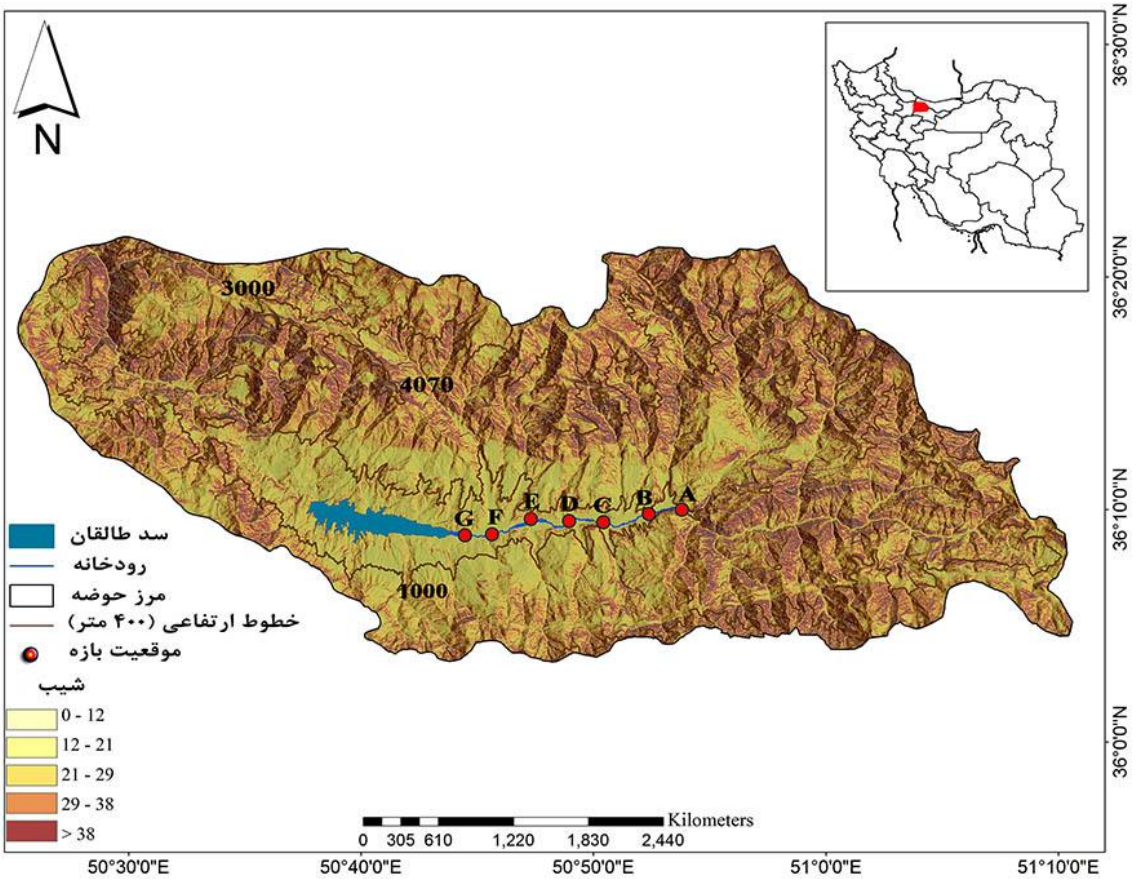
1. Plafkin
2. Platts
3. Raven
4. Ladson
5. Clifford
6. Zavadil
7. Belletti
8. Demarchi
9. Wyrick

زیستگاهی مختلف نیز به عنوان دسته‌ی دیگری از روش‌ها هستند که ارزیابی کمی تغییرات فضایی- زمانی زیستگاه‌ها را ارایه می‌دهند (وزا[1] و همکاران، ۲۰۱۵). اخیرا چارچوب‌هایی برای تشریح و تجزیه و تحلیل واحدهای ژئومورفیک بر اساس نظریه ژئومورفولوژی آبرفتی مطرح شده است. در این زمینه ویتون[2] و همکاران (۲۰۱۵) چارچوبی برای شناسایی و نقشه-برداری واحدهای ژئومورفیک بر اساس ویژگی‌هایی همچون آستانه‌های توپوگرافی، شکل واحد و ویژگی‌های مورفولوژیکی (همچون موقعیت، جنس رسوبات و ویژگی‌های پوشش گیاهی کناره‌ای) توصیف کرده‌اند. اگر چه ارتباط بین اجزای فیزیکی و بیولوژیکی رودخانه در تحقیقات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است، اما درک ضعیفی نسبت به این امر وجود دارد، زیرا روش‌های موجود برای بررسی خصوصیات و شرایط زیستگاه‌های فیزیکی، محدود هستند، به ویژه در مقیاس‌هایی که از نظر فضایی و زمانی برای پروسه‌های فیزیکی و بیولوژیک قابل توجه هستند (بلتی و همکاران، ۲۰۱۷). اخیرا، رویکردهای جدیدی در پروژه REFORM[3] (بازسازی رودخانه‌ها برای مدیریت موثر حوزه آبریز) توسعه یافته که توسط برنامه FP7[4] اتحادیه اروپا[5] بنیان‌گذاری شده است. در این پروژه مجموعه‌ای از روش‌های ارزیابی هیدروژئومورفولوژیکی با استفاده از مراحلی تعریف شده است که در ارزیابی شرایط رودخانه استفاده می‌شود (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶). سیستم طبقه‌بندی و ارزیابی واحد ژئومورفیک (GUS)[6] این روش‌ها را با هم تلفیق می‌کند و در مقیاس واحد ژئومورفیک به‌منظور ارایه طبقه‌بندی، تجزیه و تحلیل و نظارت بر مجموعه واحدهای ژئومورفیک موجود در هر بازه بکار می‌برد (بلتی و همکاران، ۲۰۱۷). روش مورد بررسی در این پژوهش، بر مبنای سیستم GUS است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز طالقان که یکی از زیر حوضه‌های مهم سفیدرود به شمار می‌رود، در دامنه جنوبی رشته کوههای البرز و در ''۳۷ ° ۳۶ بخش شمال غربی و فاصله ۱۲۰ کیلومتری شهر تهران واقع شده است. این حوضه از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین مختصات '۳۷ °۵۰ و '۱۲ °۵۱ طول شرقی و '۵ °۳۶ و '۲۰ °۳۶ عرض شمالی قرار گرفته است. وسعت حوضه آبخیز طالقان ۱۳۵۲۰۰ هکتار گزارش شده است. ارتفاع حوضه از سطح دریا از ۱۷۰۰ تا ۴۲۰۰ متر متغیر است. رودخانه طالقان در مرکز این حوضه، از گردنه عسلک در غرب کندوان سرچشمه می‌گیرد و به سمت غرب جریان دارد (شکل ۱).

1. Vezza
2. Wheaton
3. REstoring rivers FOR effective catchment Management
4. 7th Framework program
5. پروژه تأمین شده توسط کمیسیون اروپا در برنامه چارچوب هفتم (۲۰۱۳ - ۲۰۰۷)
6. Geomorphic Units survey and classification System



شکل ۱: موقعیت رودخانه مورد مطالعه و بازه‌های مورد بررسی

این رودخانه پس از دریافت شاخه‌های متعدد، سرانجام به رودخانه الموت می‌پیوندد و پس از آن با نام رودخانه شاهرود به دریاچه سد سفید رود می‌ریزد. رودخانه طالقان تحت تاثیر مداخلات وسیع انسانی از قبیل احداث سد، تغییر کاربری اراضی حاشیه‌ای و فشارهای توریستی قرار دارد. این عوامل سبب توزیع پیچیده الگوی پوشش گیاهی در حاشیه رودخانه شده است. جامعه پوشش گیاهی حاشیه‌ای در رودخانه طالقان، بیدیان ساحلی هستند که تیپولوژی عمده آنها در این منطقه، پوشش گیاهان چوبی به ویژه درختچه است. این مطالعه در امتداد تقریبا ۱۹ کیلومتر (از شرق جوستان تا محل پیوستن به سد طالقان) از کریدور رودخانه طالقان انجام شده است. رودخانه مورد مطالعه، براساس تفاوت شیب و ارتفاع، با استفاده از مطالعه‌ی پروفیل طولی، به ۳ بخش بالادست، میان‌دست و پایین‌دست با میانگین ارتفاعی ۱۹۳۶، ۱۸۷۵ و ۱۷۹۳ متر و اختلاف شیب بسیار کم از سراب تا پایاب از حداقل ۰/۰۰۹ تا ۰/۰۱۳ تقسیم شده است (با استفاده از پروفیل طولی استخراج شده از مدل رقومی ارتفاعی بر اساس تصاویر کارتوست). سپس در هر یک از این بخش‌ها، بازه‌هایی به‌منظور مطالعه مشخصات واحدهای ژئومورفیک مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱). در شکل ۱ موقعیت هریک از بازه‌های مورد مطالعه مشخص شده است (شکل ۲).

مفاهیم، مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای تحلیل وضعیت زیستگاه‌های فیزیکی حاشیه‌ای و میان رودخانه‌ای بر اساس روش GUS از واژه‌شناسی بیوژئومورفیک استفاده شده است، از این رو برای درک بهتر یافته‌ها و نتایج، هر یک از واژگان مختصرا تعریف می‌شوند.
مفهوم روزنه‌ی فرصت در یک سیستم بیوژئومورفیک عنوان "توالی دوره‌ی فارغ از اختلال در یک طول مناسب برای ایجاد لنگرگاه گیاهچه به دنبال رویداد پراکندگی" تعریف شده است. لنگرگاه گیاهی، محل مناسب (انباشت‌های رسوبی) برای

استقرار بذر و یا نهال گیاه اولیه است. در این زمینه، منطقه‌ی استقرار در داخل یک اکوسیستم بیوژئومورفیک اختلال‌محور، منطقه جغرافیایی است که پوشش گیاهی معمولا پس از یک روزنه‌ی فرصت استقرار می‌یابد (بولکا[1] و همکاران، ۲۰۱۴). لندفرم‌های انباشتی و یا انباشتی بیوژئومورفیک، از تجمع رسوبات و استقرار پوشش گیاهی در حاشیه و میان کانال رودخانه شکل می‌گیرد. لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک زمانی ایجاد می‌شوند که سن پوشش گیاهی بیشتر از یک سال باشد (کورنبلیت[2] و همکاران، ۲۰۱۸).

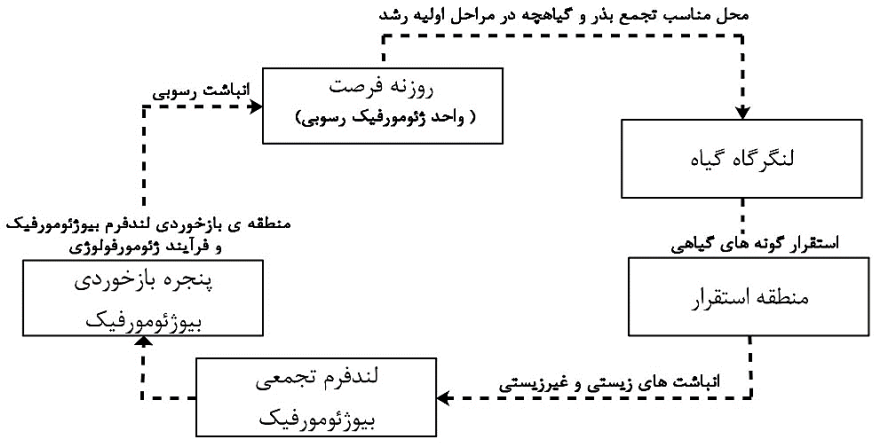
پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک، چارچوب مناسبی برای شناسایی وقوع بازخورد فضایی و زمانی بین دینامیک ژئومورفیک و پوشش گیاهی را فراهم می‌کند (ایشل[3] و همکاران، ۲۰۱۵). به طور ساده‌تر پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک بیان‌کننده این است که تا کجا و به چه اندازه گونه‌ها و ژئومورفولوژی تعامل دارند. در نمودار ۱ ارتباط متقابل روزنه فرصت و پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک نشان داده شده است. تجمع رسوبات سبب ایجاد روزنه فرصت برای استقرار پوشش گیاهی می‌شود. بدین ترتیب که انباشت اولیه رسوبات، محل مناسبی را به عنوان لنگرگاه بذر و یا گیاهچه اولیه فراهم می‌سازد و منطقه استقرار پوشش گیاهی ایجاد می‌شود. منطقه استقرار گسترش می‌یابد و تجمعات زیستی و غیرزیستی در اطراف لندفرم ژئومورفیک اولیه ایجاد می‌شود (زیستگاه فیزیکی). گسترش لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک پایدار، سبب ایجاد پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک فعال می‌شود. در پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک می‌توانیم ارتباط متقابل فرم و فرآیند را در مقیاس بزرگتر شاهد باشیم. مقیاسی که می‌تواند در جذب اختلالات رودخانه‌ای موثر باشد (کورنبلیت و همکاران، ۲۰۱۸).

با از بین رفتن روزنه فرصت، شرایط ایجاد کلنیزاسیون گیاهی جدید در میان بستر (جزایر) و یا حاشیه بستر با محدودیت مواجه می‌شود و بدین ترتیب لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک ایجاد نمی‌شوند و یا در صورت ایجاد، بسیار ناپایدار و موقتی بوده و نمی‌توانند در روند تبدیل شدن به پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک قرار بگیرند. بنابراین با کاهش غنا و تراکم واحدهای ژئومورفیک، زیستگاه‌های فیزیکی حاشیه‌ای و میان رودخانه‌ای با خطر مواجه شده و در ضمن، فرصت ایجاد پنجره‌های بازخوردی فعال و تاثیرگذار بر فرم رودخانه نیز، کاهش می‌یابد. واحدهای ژئومورفیک در مقیاس‌های مختلف در نقش لنگرگاه‌های گیاهی و بستری برای ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک هستند. لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در مقیاس وسیعتر و با پایداری بیشتر، قابلیت تبدیل به پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک مقاوم و خنثی نمودن تنش‌های هیدرولیکی را دارا هستند. گونه‌های گیاهی قابل توجه در رودخانه طالقان، بیدیان ساحلی همچون بید و صنوبر هستند که قابلیت سازماندهی بارهای آبرفتی و تاثیرگذاری بالقوه بر ژئومورفولوژی رودخانه را دارند. چنین گونه‌هایی در واکنش به اختلال‌های هیدروژئومورفیک، ویژگی‌های خاصی در خود ایجاد می‌نمایند (کارنبرگ[4] و همکاران، ۲۰۰۲؛ لایتل[5] و پاف[6]، ۲۰۰۴).

لازمه‌ی ایجاد این گونه‌ها در مقیاس وسیع برای مدلاسیون‌سازی بستر رودخانه، وجود شرایط مناسب و ایجاد لنگرگاه‌های گیاهی به‌منظور استقرار لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک است. برای مطالعه‌ی این شرایط، بازه‌هایی در امتداد کریدور رودخانه طالقان مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۲).

---

1. Balke
2. Corenblit
3. Ichel
4. Karrenberg
5. Lytle
6. Poff



نمودار ۱: ارتباط متقابل ایجاد روزنه فرصت و پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک (منبع: نگارنده)

روش شناسایی و طبقه‌بندی واحدهای ژئومورفیک رودخانه

الف. مقیاس‌های فضایی سیستم طبقه‌بندی و ارزیابی واحد ژئومورفیک (GUS)[1]

در GUS واحدهای ژئومورفیک در سطوح مختلفی سازماندهی شده و در یک چارچوب سلسله‌مراتبی ثبت می‌شوند. این سطوح از نظر مقیاس فضایی و جزییات متفاوت هستند به طوری که مقیاس‌های فضایی بزرگتر به سطوح گسترده تحلیل مرتبط می‌شوند و مقیاس‌های فضایی کوچکتر با سطوح تفصیلی در ارتباط هستند. سه سطح فضایی سیستم GUS به شکل زیر هستند:

واحد مطالعاتی (ماکرو): ترکیبی است از واحدهایی که از لحاظ آب، رسوب و پوشش گیاهی مشابه هستند. مقیاس فضایی واحد ماکرو بزرگترین مقیاس مورد مطالعه و در حقیقت بازه‌های مطالعاتی مورد نظر در این تحقیق است (بلتی و همکاران، ۲۰۱۷).

واحد اصلی: واحد اصلی ژئومورفولوژی یک ویژگی با خصوصیات مورفولوژیکی متمایز و اندازه مشخص در یک "واحد مطالعاتی" را در بر می‌گیرد (به عنوان مثال، خیزاب، مانع، جزیره، تراس جدید، دریاچه هلالی شکل و غیره: شکل ۳ و ۴). بررسی و تشخیص واحدهای اصلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت مناسب شکل می‌گیرد.

واحد فرعی: واحد فرعی پهنه‌ی نسبتا کوچک با ویژگی‌های همگن از لحاظ پوشش گیاهی، رسوب و یا شرایط جریانی واقع در یک واحد اصلی است (گیاهان چوبی، پهنه‌های گیاهی کوچک و غیره). تشخیص این واحدها بر اساس استفاده از ترکیبی از روش‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای شکل می‌گیرد.

پنج واحد مطالعاتی ماکرو در GUS تعریف شده است و در این تحقیق نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (شکل ۳) که هر یک از آنها شامل طیف وسیعی از انواع واحدها هستند:

۱. واحد مطالعاتی بستر جریان اصلی رودخانه که شامل ۸ واحد اصلی ژئومورفیک (N=۸) در داخل کانال رودخانه است (آبشار، خیزاب، پلکان رودخانه‌ای، ریفل، حوضچه، سیستم مخروطی[2]، گلاید[3]، پوتول[4]).

---

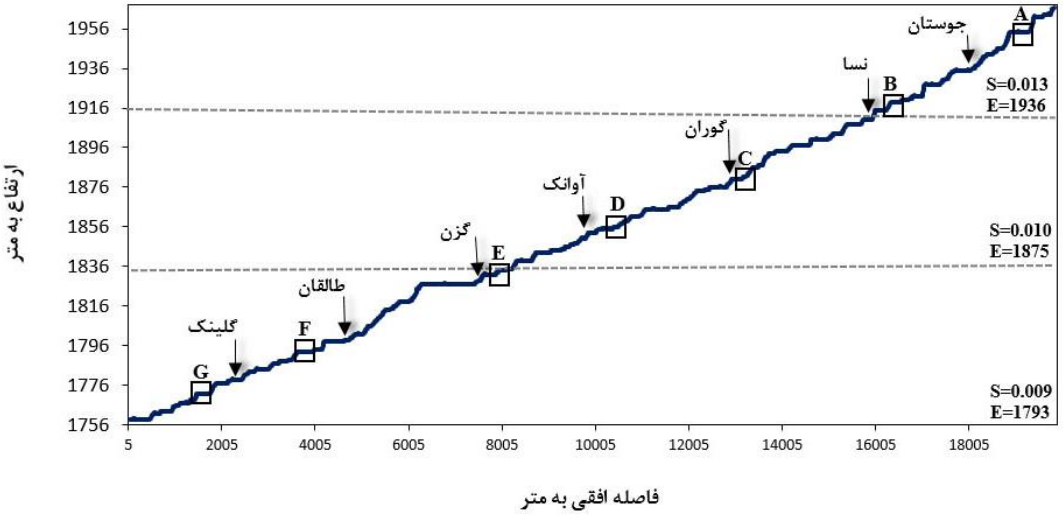
[1]. The geomorphic unit survey and classification system

[2]. جریان سطح آب تحت تاثیر برآمدگی‌های شنی در زیر آب قرار می‌گیرد و سبب ایجاد اشکال مخروطی در سطح آب می‌شود (Dune System).

[3]. گلاید، پروفیل تخت و منظم طولی با سطح آب صاف یا موجدار است که تقریباً موازی با بستر بوده و دارای تلاطم اندکی است (Glide).

[4]. پوتول، واحد ژئومورفیک فرسایشی است که معمولا در کانال‌های سنگی ایجاد می شود، این واحد یک حفره عمیق دایره‌ای است که بر اثر تمرکز شدید جریان آب در یک نقطه از بستر ایجاد می‌شود (Pothole).

۲. واحد مطالعاتی رسوبات رودخانه‌ای که خود به ۹ زیرواحد تقسیم می‌شود. این واحد شامل تمام بارهای رسوبی در بستر اصلی رودخانه است. این بارهای رسوبی در میان کانال و حواشی بستر اصلی رودخانه و در معرض جریان پایه قرار دارند (بارهای رسوبی میانی کانال، بارهای رسوبی کناری، بارهای رسوبی مرتفع میانی، بارهای رسوبی مرتفع کناری، رسوبات قلوه سنگی میانی کانال، رسوبات قلوه سنگی کناری، برونزدگی سنگ بستر، کانال خشک و کناره فاقد پوشش گیاهی). در رودخانه‌هایی که مدتی از سال خشک هستند بهتر می‌توانیم این واحدهای رسوبی را مشاهده کنیم.



شکل ۲: پروفیل طولی رودخانه طالقان و تفکیک بازه‌هاو زیربازه‌های مورد مطالعه

۳. واحد پوشش گیاهی میان کانال، شامل تمام واحدهای ژئومورفیک رسوبی در میان بستر و کناره‌های بستر است (N=۵) که دارای پوشش گیاهی هستند (جزایر، گیاهان آبزی، انباشتگی‌های چوبی بزرگ، کناره‌های با پوشش گیاهی و بنچ).

۴. واحد دشت سیلابی شامل واحدهای ژئومورفولوژیکی است (N=9) که تحت تاثیر فرآیندهای آبرفتی همچون فرسایش آبی، لغزش، ریزش، تحرک کانال رودخانه، سیل و غیره قرار دارند. ممکن است که در واحد دشت سیلابی، پوشش گیاهی خود روی ساحلی، پادگانه‌ها، شرایط نسبتا طبیعی و یا آثار دخالت انسانی دیده شود. انواع واحدهای اصلی دشت سیلابی شامل دشت سیلابی مدرن، اسکارپ[1]، پادگانه، رسوبات آبرفتی مرتفع، برجستگی و فرورفتگی‌ها[2]، لوی[3]، جزایر دشت آبرفتی، جزایر تراس آبرفتی[4] و کانال ثانویه هستند.

۵. واحد مناطق آبزی دشت سیلابی، شامل واحدهای ژئومورفولوژیکی است که در دشت آبرفتی قرار گرفته و بر اثر آبگیری دشت آبرفتی در هنگام طغیان جریان رودخانه ایجاد می‌شوند و شامل دو واحد (N=۲) دریاچه‌های دشت آبرفتی و تورب‌زارها است (بلتی و همکاران، ۲۰۱۷).

1. Scarp
2. Ridges & Swales
3. Levee
4. Terrace Island

در کل ۳۵ نوع واحد مطالعاتی و ۶۳ واحد فرعی برای انواع واحدهای مطالعاتی و واحدهای اصلی در GUS[1] تعریف شده است (واحدهای فرعی که زیرمجموعه‌ی واحدهای اصلی و مطالعاتی هستند در این تحقیق مطالعه نشده‌اند). هر یک از واحدهای مطالعاتی و واحدهای اصلی دارای یک کد شناسایی هستند که توسط این کد اختصاری ثبت می‌شوند.

در GUS ساختارهای مصنوعی (ساخته دست انسان) نیز ثبت می‌شود (مانند آبشکن‌ها، بندآب، سد و غیره). ساختارهای مصنوعی، جزو واحدهای مطالعاتی و یا واحدهای فرعی نیستند، آنها به دلیل تاثیر قابل توجه در فرایندهای آبرفتی و مورفولوژی و تجمع واحدهای ژئومورفیک، عناصر مهمی از چشم انداز آبرفتی هستند. این ویژگی‌ها به‌طور جداگانه به عنوان "عناصر مصنوعی" ثبت می‌شوند (بلتی[2] و همکاران، ۲۰۱۷). هر یک از این واحدها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی برای رودخانه طالقان تشخیص داده شده و به صورت نقشه ارایه شده است.

ب- سطح توصیف مشخصات

در GUS، واحدهای ژئومورفیک را می‌توان با توجه به سه سطح مختلف به صورت زیر ارزیابی کرد (جدول ۱):

سطح گسترده: این سطح مربوط است به توصیف مشخصه‌ی واحدهای مطالعاتی از لحاظ وجود و یا عدم وجود، مساحت و یا درصد پوشش در دو مقیاس کانال پایه و دشت سیلابی.

سطح نیمه تفصیلی: یک شرح کامل از ویژگی‌های انواع واحدهای ژئومورفیک از لحاظ وجود و عدم وجود، تعداد، مساحت، و یا طول است.

سطح تفصیلی: این سطح، اطلاعات تفصیلی را برای واحدهای اصلی ژئومورفیک (و برخی واحدهای مطالعاتی) از لحاظ ویژگی‌های رسوبی، پوشش گیاهی، هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی فراهم می‌کند و به‌منظور شناسایی و تحلیل واحد مطالعاتی و واحدهای اصلی و توصیف واحدهای فرعی بکار گرفته می‌شود (بلتی و همکاران، ۲۰۱۷).

ج- داده‌های مورد استفاده

زوج‌های استریویی تصویر ماهواره‌ای IRS-P5 (Cartosat-1) به دلیل توان تفکیک مناسب، قابلیت خوبی برای تولید مدل رقومی ارتفاعی دارند (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۶). بدین منظور یک زوج تصویر از این سنجنده مربوط به سال ۱۳۹۴ از سازمان نقشه‌برداری ایران تهیه و در محیط نرم‌افزار Envi بر مبنای ۲۲ نقطه کنترل زمینی زمین‌مرجع شد. پس از اصلاح هندسی تصاویر مورد نظر، یک مدل رقومی ارتفاعی با اندازه پیکسلی ۸×۸ متر (RMSE=0.20) تولید شد. سپس مدل رقومی تهیه شده برای تهیه پروفیل طولی رودخانه مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲).

برای تقسیم‌بندی واحدهای ژئومورفیک ماکرو و واحدهای اصلی رودخانه مورد مطالعه، تصاویر با وضوح بالا مورد نیاز است، که در این راستا تصاویر ماهواره‌ای Ultracam سال ۱۳۹۵ با پیکسل سایز ۰/۲×۰/۲ متر مورد استفاده قرار گرفت (این تصاویر از سازمان نقشه‌برداری ایران خریداری شده است). زوج‌های استریویی تصاویر ماهواره‌ای Ultracam با استفاده از ۵۲ نقطه کنترل زمینی و ۱۸۰ عارضه مشترک زمین مرجع و موزاییک شدند.

در مطالعات میدانی، نوع واحدهای ژئومورفیک تشخیص داده شده بخصوص در سطح تفصیلی و نیمه تفصیلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کنترل شده و مشخصات کلنی‌های گیاهی حاشیه‌ای رودخانه همچون قطر و تراکم ساقه درختان، فاصله از بستر رودخانه، و ارتفاع پوشش گیاهی حاشیه‌ای و پوشش کف بررسی شده است.

---

[1]. The Geomorphic Unit Survey and Classification System

[2]. Belletti

جدول ۱: واحدها، روش‌های مورد استفاده، نوع اطلاعات جمع آوری شده و مشخصات سه سطح کاربردی GUS (بلتی و همکاران، ۲۰۱۷).

	تفصیلی	نیمه تفصیلی	گسترده
واحد فضایی	واحدهای مطالعاتی (ماکرو) واحدهای اصلی واحدهای فرعی	واحدهای مطالعاتی (ماکرو) واحدهای اصلی	واحدهای مطالعاتی (ماکرو)
روش	ارزیابی میدانی	ارزیابی میدانی و سنجش از دور	سنجش از دور
نوع اطلاعات گرد آوری شده	وجود/ عدم وجود مساحت/ تعداد/ مشخصات رسوبی	وجود/ عدم وجود ارزیابی تعداد (محاسبه شاخص‌های GUS) محاسبه توسعه سطحی و یا خطی	وجود/ عدم وجود محاسبه مساحت (محاسبه زیر شاخص-های GUS) محاسبه درصد فراوانی
کاربردها	کاربردها انتخابی است.	برای رودخانه‌های یکپارچه و یا تک‌کاناله، کانال‌های چند رشته‌ای و یا کانال‌های در مرحله تغییر فرم مورد نیاز است.	برای انواع مورفولوژی رودخانه‌های بزرگ مورد نیاز است (واحدهای دشت آبرفتی)

د- شاخص‌های ارزیابی GUS

به‌منظور ارایه یک تجزیه و تحلیل مناسب، طبقه بندی و تعیین مشخصات واحدهای ژئومورفیک از طریق روش GUS، دو شاخص تراکم و غنای واحدهای ژئومورفیک توسعه یافته است که از اطلاعات مربوط به ارزیابی واحدهای ژئومورفیک استفاده می‌کند. این دو شاخص ناهمگونی فضایی یک بازه را از نظر واحدهای ژئومورفیک شرح داده و می‌توانند برای تعیین دقیق تعداد واحدهای ژئومورفیک، و نظارت بر روند تغییرات آن‌ها در یک بازه مشخص از نظر کاهش یا افزایش غنا و تراکم واحدهای ژئومورفیک استفاده شوند. چنین تغییراتی ممکن است دینامیک مورفولوژیک طبیعی و یا اثر مداخلات انسانی را نمایان سازد.

شاخص غنای واحدهای ژئومورفیک (GUSI-R[1])

شاخص غنای واحدهای ژئومورفیک از مقایسه تعداد واحدهای ژئومورفیک اصلی و واحدهای مطالعاتی (مانند بار، جزایر، خیزاب، کانال ثانویه) در یک بازه، با تعداد حداکثر واحدهای محتمل به دست می‌آید:

$$GUSI{-}R = \Sigma\, NT_{GU}/n \qquad \text{رابطه ۱)}$$

که NT_{GU} تعداد کل انواع واحدها و واحدهای ماکرو در بازه مورد بررسی است (یا زیر بازه، به عنوان مثال، جایی که خیزاب، استخرها و بارهای جانبی وجود دارد، $NT_{GU}=3$)، در حالی که n تعداد کل انواع واحدهای اصلی محتمل و واحدهای مطالعاتی ماکرو است. برای محاسبه این شاخص، وجود/عدم وجود هر نوع از واحدها مورد نیاز است (ارزیابی در سطح گسترده انجام می‌شود).

شاخص تراکم واحدهای ژئومورفیک (GUSI-D[2])

شاخص تراکم واحدهای ژئومورفیک (GUSI-D) تعداد کل واحدهای ژئومورفیک (مستقل از نوع) در هر بازه مورد بررسی در واحد طول را محاسبه می‌کند.

---

[1]. Units Richness Index
[2]. Geomorphic Units Density Index

$$GUSI-D = \Sigma N_{GU}/L$$ رابطه ۲)

که N_{GU} تعداد کل واحدهای ژئومورفیک مشاهده شده در امتداد بازه مورد بررسی است (یا زیر بازه، به عنوان مثال در مورد ۷ خیزاب، ۶ استخر و ۳ بار: $N_{GU}=16$)، در حالی که L طول بازه (یا زیربازه) مورد بررسی (به کیلومتر) است. محاسبه این شاخص نیاز به تعداد واحدهای اصلی و واحدهای مطالعاتی ماکرو در هر بازه دارد (ارزیابی در سطح گسترده انجام می‌شود).

زیرشاخص‌ها (Sub-indices)

زیرشاخص‌ها بیانگر فراوانی و تراکم واحدهای ژئومورفیک در هر بازه هستند. غنا و تراکم زیر شاخص‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$GUSI-R_{BC}= \Sigma NT_{BCGU}/n$$ رابطه ۳)

$$GUSI-R_{FP}= \Sigma NT_{FPGU}/n$$ رابطه ۴)

$$GUSI-D_{BC}= \Sigma N_{BCGU}/n$$ رابطه ۵)

$$GUSI-D_{FP}= \Sigma N_{FPGU}/n$$ رابطه ۶)

که $GUSI\text{-}R_{BC}$ غنای زیر شاخص واحدهای ژئومورفیک کانال پایه است، NT_{BCGU} تعداد کل واحدهای ژئومورفیک کانال پایه است، $GUSI\text{-}D_{BC}$ تراکم زیر شاخص واحد ژئومورفیک کانال پایه است؛ NT_{FPGU} تعداد کل انوع واحدهای ژئومورفیک دشت سیلابی است؛ $GUSI\text{-}R_{FP}$ غنای زیر شاخص واحدهای ژئومورفیک دشت سیلابی است، N_{FPGU} تعداد کل انواع واحدهای ژئومورفیک دشت سیلابی است (مستقل از نوع). $GUSI-D_{FP}$ نیز تراکم زیرشاخص واحدهای ژئومورفیک دشت سیلابی است. در نهایت، مجموعه‌ای از زیر شاخص‌ها برای بیان تراکم ژئومورفیک در هر واحد مطالعاتی، محاسبه می‌شوند. محاسبه نیاز به اندازه‌گیری مساحت هر واحد مطالعاتی دارد (در سطح نیمه تفصیلی ارزیابی انجام می‌شود). در زیرشاخص‌های گروه D (تراکم واحدهای ژئومورفیک) اعداد بزرگتر، بیانگر نسبت تعداد به مساحت بیشتر و بالعکس هستند.

$$GUSI-D_C = \Sigma N_{CGU}/A_C$$ رابطه ۷)

$$GUSI-D_E = \Sigma N_{EGU}/A_E$$ رابطه ۸)

$$GUSI-D_V = \Sigma N_{VGU}/A_V$$ رابطه ۹)

$$GUSI-D_F = \Sigma N_{FGU}/A_F$$ رابطه ۱۰)

$$GUSI-D_W = \Sigma N_{WGU}/A_W$$ رابطه ۱۱)

در این روابط $GUSI\text{-}D_C$[۱] تراکم زیر شاخص واحدهای ژئومورفیک کانال جریان پایه است، N_{CGU} تعداد واحدهای ژئومورفیک کانال جریان پایه، A_C مساحت (به کیلومتر مربع) واحد ماکرو کانال جریان پایه است. $GUSI\text{-}D_E$[۲] تراکم زیر شاخص واحدهای ژئومورفیک رسوبات رودخانه‌ای، N_{EGU} تعداد واحدهای ژئومورفیک رسوبی و A_E مساحت (به کیلومتر مربع) واحد مطالعاتی رسوبی است. $GUSI\text{-}D_V$[۳]، تراکم زیر شاخص واحدهای ژئومورفیک پوشش گیاهی درون کانال، NVGU تعداد واحدهای ژئومورفیک پوشش گیاهی درون کانال و A_V مساحت پوشش گیاهی میان کانال در واحد

۱. Density sub-index of baseflow channel geomorphic units

۲. Density sub-index of emergent sediment geomorphic units

۳. Density sub-index of in-channel vegetation geomorphic units

مطالعاتی است. برای واحدهای مطالعاتی دشت سیلابی، $GUSI\text{-}D_F$[۱]، تراکم زیر شاخص واحدهای ژئومورفیکی دشت سیلابی، N_{FGU} تعداد واحدهای ژئومورفیک منطقه کناری، و A_F مساحت (به کیلومتر مربع) واحدهای ژئومورفیک منطقه کناری است. $GUSI\text{-}D_W$[۲] تراکم زیر شاخص واحدهای ژئومورفیک منطقه آبگیر دشت سیلابی، N_{WGU} تعداد واحدهای ژئومورفیک منطقه آبزی دشت سیلابی و A_W مساحت منطقه آبگیری واحد مطالعاتی در دشت سیلابی (به کیلومترمربع) است (رینالدی[۳] و همکاران، ۲۰۱۵).

شاخص تراکم لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک[۴] ($GUSI\text{-}D_{BAL}$)

واحدهای ژئومورفیک می‌توانند تنها از رسوب تشکیل شده باشند و یا در بر گیرنده پوشش گیاهی و یا بقایای پوشش گیاهی (کنده‌های درختان) باشند (واحدهای بیوژئومورفیک). در این مورد وجود پوشش گیاهی در هر یک از واحدهای ژئومورفیک عاملی است به‌منظور شرح عملکرد زیستگاه‌های میان بستری[۵]. بدین ترتیب برای مقایسه تراکم لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در بازه‌های مورد بررسی، شاخص تراکم لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک طراحی شده است. شاخص تراکم واحدهای بیوژئومورفیک ($GUSI\text{-}D_{BU}$) تعداد کل واحدهای بیوژئومورفیک (مستقل از نوع) را در هر بازه مورد بررسی در واحد طول محاسبه می‌کند.

$$GUSI-D= \Sigma N_{DBU} /L$$ رابطه ۱۲)

که N_{DBU} تعداد کل واحدهای بیوژئومورفیک مشاهده شده در امتداد بازه مورد بررسی است، در حالی که L طول بازه (یا زیربازه) مورد بررسی (به کیلومتر) است.

نتایج و بحث

بر اساس یافته‌های این تحقیق، غنای واحدهای ژئومورفیک ($GUSI-R$)، بخصوص در کانال پایه ($GUSI-R_{BC}$) ودشت سیلابی ($GUSI-R_{FP}$) در بازه‌های A تا E روند صعودی را به نمایش گذاشته اما در بازه‌های F و G نسبت به بازه‌های میانی رودخانه روند کاهشی را نشان می‌دهد. بیشترین غنای واحدهای ژئومورفیک کانال پایه و دشت سیلابی در سطح مطالعاتی گسترده، در بازه‌های D و E وجود دارد. تعداد کل واحدهای ژئومورفیک و تراکم آنها نسبت به واحدهای محتمل در بازه‌های A و B در مقایسه با سایر واحدها کمتر است. مساحت کانال رودخانه در این دو بازه از سایر بازه‌ها کمتر بوده و بدین ترتیب مساحت سایر واحدهای ژئومورفیک در کانال پایه، دشت سیلابی و واحد رسوبات رودخانه‌ای[۶] نیز از سایر بازه‌ها کمتر است. در بخش زیر شاخص‌ها هر چقدر مساحت واحدهای مورد بررسی نسبت به تعداد واحدها کمتر باشد، اعداد بزرگتری به دست می‌آید. در بازه‌های A و B کمترین مساحت در واحدهای رسوبات رودخانه‌ای ($GUSI-D_E$) مشاهده می‌شود. در بخش بالادست رودخانه، فرآیند حاکم، کندوکاو رودخانه‌ای و فرسایش بوده و از این رو نمود رسوبات در اطراف بستر و یا میان کانال رودخانه بسیار کمتر است. بیشترین مساحت در بخش دشت سیلابی و مربوط به دشت سیلابی مدرن و پادگانه‌های آبرفتی می‌باشد. شیب بستر در این بخش از رودخانه بیشتر است و تراکم گیاهان کف، در دشت

---

۱. Density sub-index of riparian zone geomorphic units

۲. Density sub-index of floodplain aquatic zones geomorphic units

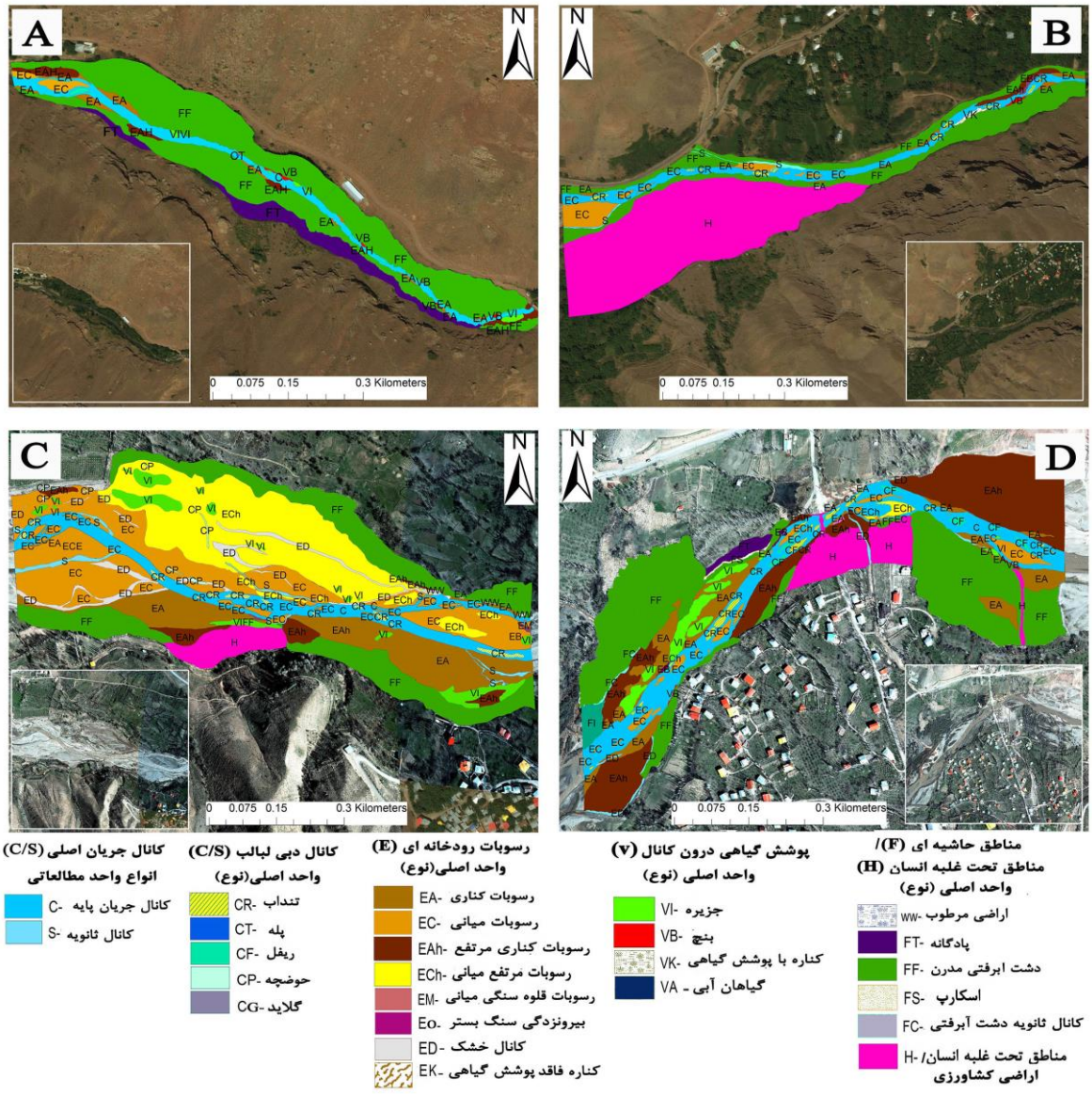
۳. Rinaldi

4. Density of Biogeomorphic Acamulation Landform

۵. انباشت‌های رسوبی در پناه موانع، زمینه ایجاد لنگرگاه‌هایی را فراهم نموده و در گذر زمان بر اثر استقرار تدریجی گونه‌های گیاهی، انباشت‌های بیوژئومورفیک ایجاد می‌شود.

6. Emergent sediment uni

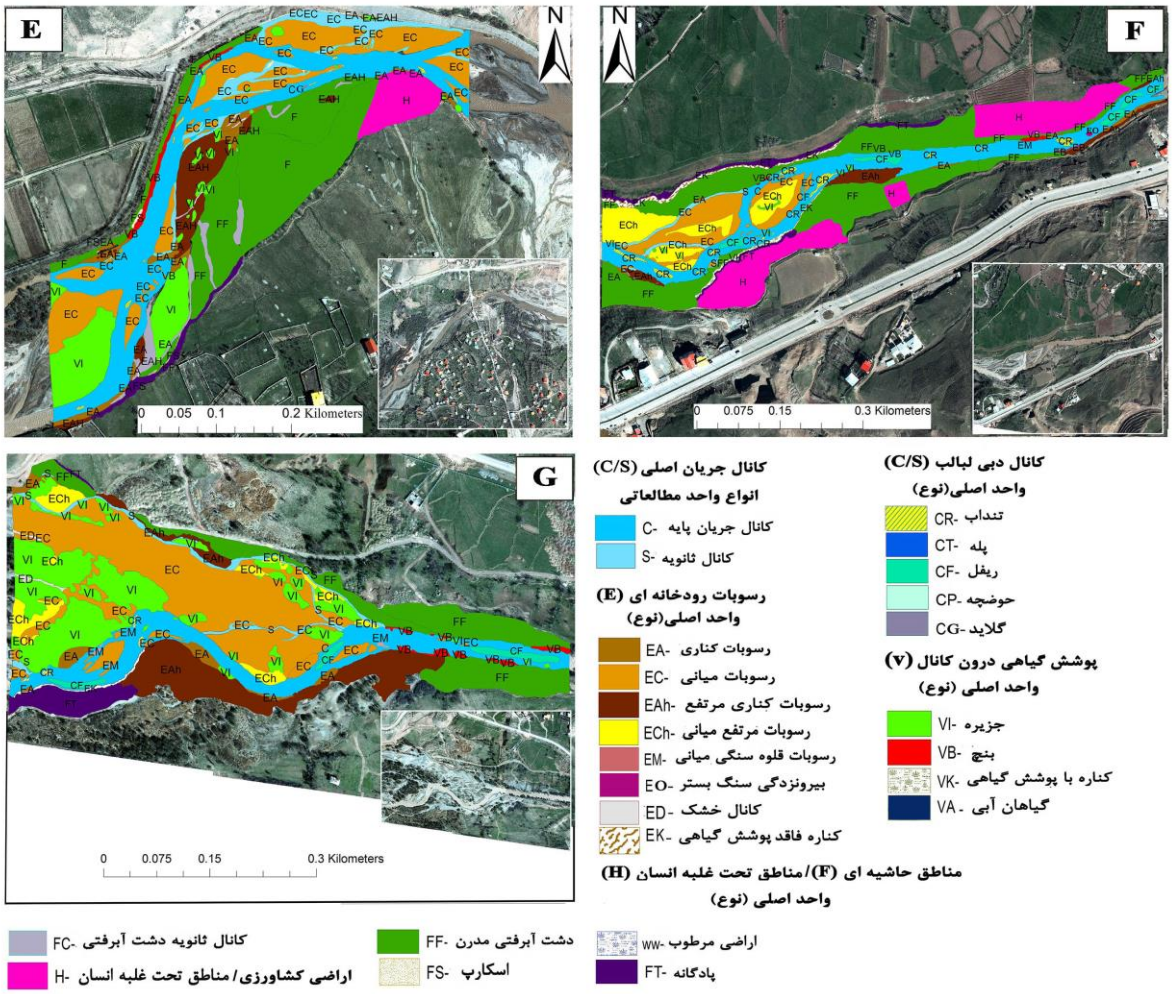
سیلابی کمتر است. گیاهان مستقر در دشت سیلابی مدرن و در حواشی بلافصل بستر، بر مقاومت لندفرم رودخانه در برابر اختلال تاثیر می‌گذارند و ترمیم آن را پس از وقوع وقایع سیلابی بهبود می‌بخشند، هرچند پوشش گیاهان مستقر در حاشیه رودخانه به دلیل تنش هیدرولیکی بالا، دائما در مسیر طغیان آب و صدمات ناشی از آن قرار دارند و تنه‌های آسیب دیده درختان و نیز پوشش گیاهی غیربیوتیک و تجمع یافته در حوالی بستر در این بخش از رودخانه قابل مشاهده است (شکل ۵). با این وجود، قطر تنه درختان در این دو بازه (بازه‌های واقع در بالادست رودخانه) از سایر بازه‌ها بیشتر است و بازخورد فعال و پایدار پوشش گیاهی در برابر اختلال هیدرولیکی در جریان رودخانه قابل مشاهده است. یکی از موارد قابل توجه که سبب افزایش تراکم واحدهای ژئومورفیک نسبت به سایر واحدها در این بازه شده است کاهش آثار آنتروپوژنیک در دشت سیلابی و حاشیه رودخانه است.



شکل ۳: تفکیک واحدهای ژئومورفیک هر یک از زیربازه‌ها مورد بررسی بر اساس سیستم GUS

بررسی بازه‌های A و B در سطح نیمه تفصیلی نمایانگر زیرشویی کناره‌های بستر رودخانه بر اثر طغیان رودخانه و نیز تراکم بیشتر واحد ژئومورفیک تنداب در مقایسه با سایر بازه‌ها است که این امر سبب رسوب‌گذاری رسوبات درشت دانه شده و

فرصت ایجاد لنگرگاه‌های مناسب به‌منظور استقرار ترجیحی پوشش گیاهی در بستر و حواشی بلافصل رودخانه را از میان برده و کلنی‌سازی گیاهان را با محدودیت مواجه ساخته است به طوری که تراکم لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در بازه‌های A (۱۴) و B (۱۹) از سایر بازه‌ها کمتر است (شکل ۳؛ جدول ۱). بیش از ۶۰٪ کلنی‌های گیاهی در نقاط مرتفع‌تر حواشی رودخانه قرار گرفته‌اند. درختان در دشت سیلابی، بلندتر و مسن‌تر با قطر ساقه بیشتر (موقعیت نسبی: < ۲ m فاصله از کانال؛ قطر ساقه: <۱۲ cm؛ ارتفاع: <۳ m) از درختان نزدیک به کانال اصلی هستند.



شکل ۴: تفکیک واحدهای ژئومورفیک هر یک از زیربازه ها مورد بررسی بر اساس سیستم GUS

در مقایسه با بازه‌های موجود در بالادست رودخانه، تراکم لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در بازه‌های میانی کانال از سایر بازه‌ها بیشتر است (E=32 و D=38 و C=35). با این وجود در بازدیدهای میدانی به وضوح مشاهده شده که این لندفرم‌ها به دلیل تحمل شیب تنش هیدرولیکی در میان کانال، پایدار نیستند و هرگونه فرصت برای ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در مقیاس ماکرو با محدودیت مواجه است. علاوه بر این، تراکم این واحدها در مقیاس میکرو است و تراکم انباشت‌های رسوبی سیار و بقایای گیاهی، که از بالادست رودخانه به بازه‌های میانی انتقال یافته‌اند، در استقرار و حذف این واحدهای بیوژئومورفیک نقش دارند. در حالی که برخی از این انباشت‌های رسوبی سیار که توسط جریان آب به این بازه‌ها انتقال یافته‌اند، موانع دایمی را در بستر و حواشی رودخانه ایجاد کرده‌اند، بیشتر آنها توسط جریان رودخانه به پایین دست انتقال یافته‌اند.

بیشترین غنای واحدهای ژئومورفیک در بازه‌های D و E و C (بازه میانی رودخانه مورد مطالعه) مشاهده می‌شود. عرض بستر رودخانه در این بازه‌ها از بازه‌های A و B بیشتر است. بار رسوبی در رودخانه طالقان عمدتا شنی- ماسه‌ای است اما رسوبات رس و گل و لای در نقاطی که شدت جریان کمتر است رسوب یافته است. افزایش رسوب‌گذاری منجر به شکل‌گیری چندین نسل از انواع مختلف بارهای آبرفتی در این بازه‌ها شده است (بارهای رسوبی کناری، بارهای رسوبی میانی کانال، بارهای رسوبی مرتفع میانی و کناری کانال، بارهای قلوه سنگی میانی و کناری کانال). تنوع بارهای آبرفتی در این بازه‌ها از بازه‌های اولیه بیشتر است. واحد بارهای میانی کانال ممکن است نیمی از عرض کانال را به خود اختصاص دهند به خصوص در بازه‌های C و G، اما طیف وسیعی از آنها ۱۰ تا ۴۵٪ عرض کانال را اشغال کرده‌اند. اندازه‌ی واحدهای فرعی با عرض کانال در ارتباط است. مساحت زیرشاخص واحدهای رسوبی ($GUSI-D_E$) نسبت به تعداد آنها در مقایسه با سایر بازه‌های مورد بررسی، در بازه‌های D و C بیشتر است، از این رو شرایط بالقوه مناسبی برای ایجاد لنگرگاه‌های گیاهی پایدارتر، استقرار ترجیحی پوشش گیاهی و ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در این بازه از رودخانه وجود دارد. زیرشاخص پوشش گیاهی درون بستری[1]، در این بازه‌ها بیشترین تراکم را دارد. جزایر گیاهی، پوشش گیاهی آبزی، بنچ، و کناره‌های با پوشش گیاهی، واحدهای اصلی ژئومورفولوژی درون بستری در این بازه‌ها هستند.

جدول ۱: شاخص‌ها و زیرشاخص‌های محاسبه شده در هر یک زیر بازه‌های مورد بررسی

شاخص ها و زیر شاخص های GUS	زیربازه A	زیر بازه B	زیر بازه C	زیر بازه D	زیر بازه E	زیر بازه F	زیر بازه G
ارتفاع (m)	۱۹۸۵	۱۹۴۵	۱۹۰۵	۱۸۸۵	۱۸۵۵	۱۸۲۵	۱۷۸۵
GUSI-D	۳۵	۲۹/۲۵	۱۰۲/۳۶	۹۶/۰۳	۱۷۰	۹۰/۵۵	۱۱۲/۱۴۹
GUSI−R	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۴	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۳۲	۰/۴۲
$GUSI-D_{BAL}$	۱۴	۱۹	۳۵	۳۸	۳۲	۲۱	۳۳
$GUSI-R_{BC}$	۰/۳۳۳	۰/۳۷۵	۰/۴۵۸	۰/۵۹۲	۰/۵۸۳	۰/۵۸۳	۰/۵۴۱
$GUSI-R_{FP}$	۰/۲۱۲	۰/۰۹۰	۰/۱۸۱	۰/۴۵۴	۰/۴۵۴	۰/۱۸۱	۰/۱۸۱
$GUSI-D_{BC}$	۳۱/۴۲	۲۶/۵۳	۸۶/۶۱	۸۴/۱۲	۱۵۸/۵۴	۶۶/۱۴	۱۰۶/۵۴
$GUSI-D_{FP}$	۳/۵۷۱	۲/۷۱	۸/۶۶۱	۱۱/۹۰۴	۱۱/۴۶	۸/۶۶	۵/۶۰۷
$GUSI-D_C$	۱۳۳/۳۳	۴۰	۱۴۲/۸۵	۷۱/۴۲	۱۷۵۴/۳۸	۴۸۷/۸۰	۱۳۳/۳۳
$GUSI-D_E$	۳۳۳/۳۳	۲۷۵/۸۶	۲۵/۸۳	۶۲/۵	۱۷۱/۴۲	۱۸۴/۲۱	۹۰/۹۰
$GUSI-D_V$	۱۶۳۹/۳	۲۹۷۰/۲۹	۷۱/۴۲	۲۲۷/۲۷	۱۵۰	۱۵۷۸/۹۴	۶۸/۹۶
$GUSI-D_F$	۱۹/۶۶	۱۷/۸۵	۱۲/۹۸	۵۶/۱۷	۱۱۶/۲۷	۲۰۰	۷۱/۴۸
$GUSI-D_W$	–	–	۲۲۱۷/۲	–	–	–	–

مساحت واحد ژئومورفیک دشت آبرفتی مدرن[2] در بازه‌های C، D و E نسبت به بازه‌های اولیه کمتر است، زیرا در حاشیه‌ی این بازه‌ها شاهد دخالت‌های انسانی از جمله تغییر کاربری اراضی و ایجاد اراضی کشاورزی و واحدهای مسکونی هستیم که بخشی از دشت آبرفتی را اشغال کرده‌اند و از وسعت زیستگاه‌های طبیعی در حاشیه رودخانه کاسته‌اند. واحدهای ژئومورفیک در درجه اول بر اساس شکل پروفیل عرضی رودخانه (از قسمت مرتفع کانال به سمت بستر) مشخص می‌شود، که تاثیرات تعامل بین فرآیندهای هیدرولوژی حاشیه کانال، مواد حاشیه‌ای، پوشش گیاهی و شیب را نشان می‌دهد. در

2. Modern Floodplain Unit

حواشی بستر رودخانه و در بخش‌هایی از جزایر رسوبی در میان بستر، پوشش‌های گیاهی بالغ بیدیان ساحلی وجود دارد. زیرشاخص گیاهان آبزی (GUSI–Dv) تنها در بازه C قابل مشاهده است و در سایر بازه‌ها پراکندگی قابل توجهی ندارد، ایجاد این واحد ژئومورفیک بستگی به رشد گیاهان در بستر و داخل جریان اصلی رودخانه، و نمود بخشی از گیاه در خارج B ری، در بازه‌های مورد مطالعه بر روی رسوبات میان بس A

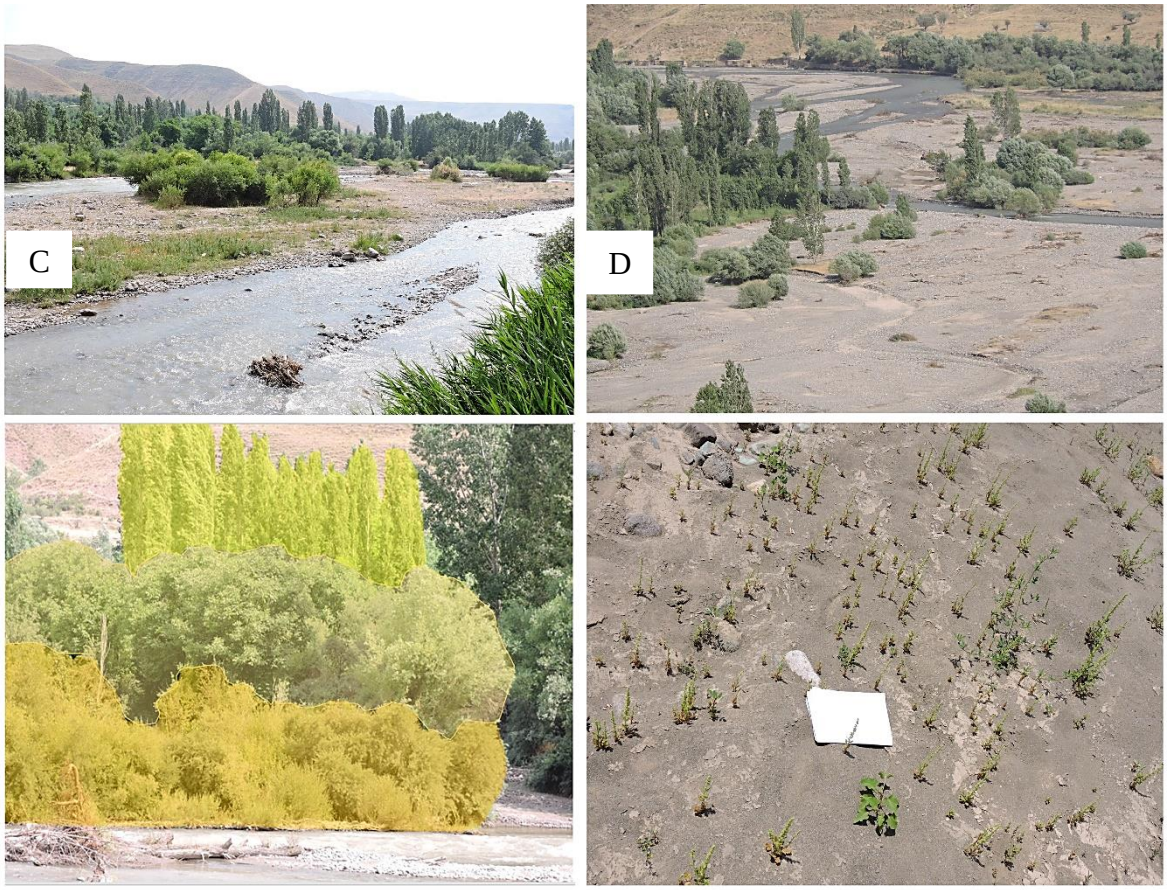
شکل ۵: بستر رودخانه در بازه‌های A و B

در بخش پایین دست رودخانه طالقان، دو بازه مورد بررسی قرار گرفته‌اند (بازه‌های F و G؛ شکل ۴). در این بازه‌ها، تاثیر عوامل آنتروپوژنیک بیشتر در بازه F قابل مشاهده است. بازه‌های F و G به ترتیب پس از شهرک طالقان و گلینک قرار گرفته‌اند. تراکم واحدهای ژئومورفیک در بازه F، ۹۰/۵۵ است. زیرشاخص تراکم واحد پوشش گیاهی میان بستری در این بازه در مقایسه با بازه‌های C و D و نیز بازه G کمتر است (GUSI–Dv=1578.94). کاهش عرض بستر رودخانه، اختصاص بخش‌هایی از دشت سیلابی به اراضی کشاورزی و مسکونی، احداث پل بر روی رودخانه، تغییر فرم رودخانه به حالت تک کاناله از جمله دلایل عدم وجود شرایط مناسب برای استقرار پوشش گیاهی در بستر کانال در این بازه است. کمترین تراکم واحد ژئومورفیک دشت سیلابی در بازه F دیده می‌شود که عمده‌ترین دلیل آن تغییر کاربری اراضی حاشیه‌ای رودخانه و تجاوز به حریم رودخانه است.

بازه G در فاصله کمی از محل پیوستن رودخانه به سد طالقان قرار دارد. در این بازه بیشترین تراکم پوشش گیاهی میان بستری (GUSI–Dv) وجود دارد. تعداد جزایر گیاهی در این بازه برابر با ۳۰ است که نسبت به تمامی بازه‌ها بیشتر است. شرایط مناسب برای ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در این بازه بیش از سایر بازه‌ها است. تراکم واحدهای ژئومورفیک (GUSI-D=112.149) از تمام بازه‌ها بیشتر است. نسبت رسوب‌گذاری گسترده‌ی جریان و افزایش عرض بستر کانال سبب شده که "واحد رسوبات رودخانه‌ای" بیش از ۵۰٪ عرض بستر رودخانه در این بازه را به خود اختصاص دهد. بیشترین مساحت مربوط به واحد رسوبات میان بستری است. لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک بر روی "واحد رسوبات رودخانه‌ای" در میان بستر رودخانه و نیز در حاشیه بستر در فواصل بیش از یک متر از کانال دیده می‌شود. بیدیان ساحلی در میان بستر با دوام کمتر و ارتفاع کمتر وجود دارند. با فاصله از کانال رودخانه و کاهش تنش هیدرولیک، به تدریج بیدیان ساحلی بالغ‌تر و مرتفع‌تر مشاهده می‌شود (شکل ۶: C).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج، با توجه به شیب طولی، تفاوت‌های قابل توجهی میان تراکم و غنای واحدهای ژئومورفیک و بخصوص تراکم لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک، در بازه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانه طالقان وجود دارد. بازه‌های موجود در بخش بالادست رودخانه، یک ماتریس رسوبی درشت دانه ا به نمایش می‌گذارد در حالیکه ماتریس موقعیت‌های پایین دست و میانی، ماسه و ترکیبی از رسوبات گلی است. ر B کم ارتفاع‌تر و ناپایدارتر، پوشش‌های گیاهی سالانه با ا A ساقه کمتر را در بر دارند (۴–۸ cm). رسوبات مرتفع‌تر موقعیت‌های مناسبی برای ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک هستند.



شکل ۶) تصاویر B و A : جزایر رسوبی بالغ و جوان بر رسوبات میان کانال (VI). C: ترتیب رشد گیاهان حاشیه بستر رودخانه که با رنگ‌بندی تفکیک شده‌اند، در فواصل کمتر از بستر رودخانه، گیاهان جوان به شکل درختچه با ریشه‌های آسیب پذیر وجود دارند و هرچه فاصله بیشتر می‌شود ارتفاع، استحکام و عمر درختان بیشتر می‌شود. D: انباشت رسوبات و روزنه فرصت برای ایجاد لنگرگاه‌های گیاهی به‌منظور تشکیل لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در رسوبات میان بستری رودخانه.

غنای واحدهای ژئومورفیک (GUSI–R)، بخصوص در کانال پایه ($GUSI–R_{BC}$) و دشت سیلابی ($GUSI–R_{FP}$) در بازه‌های بالادست (بازه‌های A و B) رودخانه روند صعودی را به نمایش گذاشته اما در بازه‌های پایین دست روند کاهشی را نشان می‌دهد. بیشترین غنای واحدهای ژئومورفیک در کانال پایه و دشت سیلابی (و یا دره رودخانه) در سطح مطالعاتی گسترده، در بازه‌های A و B در بالادست رودخانه وجود دارد. تراکم واحدهای ژئومورفیک با عرض کانال رابطه مستقیم دارد. تعداد کل واحدهای ژئومورفیک و تراکم آنها در بازه‌های A و B، در مقایسه با سایر واحدها کمتر است. شیب بستر رودخانه، غلبه‌ی فرآیندهای فرسایشی، زیرشویی کناره کانال رودخانه و بالا بودن تنش هیدرولیک، فرصت ایجاد لنگرگاه-های مناسب به‌منظور استقرار ترجیحی پوشش گیاهی در بستر و حواشی بلافصل رودخانه را از میان برده است و کلنی‌سازی

گیاهان توسط پوشش گیاهی پیشگام حاشیه‌ی رودخانه را با محدودیت مواجه ساخته است. تراکم واحدهای بیوژئومورفیک در میان کانال و هرگونه فرصت به‌منظور ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک و مدلاسیون‌سازی بستر رودخانه در میان کانال در این بازه‌ها به شدت با محدودیت مواجه شده است. اما قطر تنه درختان و تراکم پوشش گیاهی در کناره کانال بیشتر است و قدرت جذب اختلال هیدرولیکی در آنها بالاتر است. بنابراین پنجره‌های بازخوردی فعال و مقاومی در این بازه‌ها قابل مشاهده است و این امر سبب شده که پایداری بستر رودخانه در این بازه‌ها بیشتر باشد. کاهش آثار دخالت‌های از دلایل اصلی تراکم واحدهای ژئومورفیک و ثبات بستر رودخانه در بازه‌های واقع در بالادست رودخانه طالقان (بازه‌های A و B) است.

در بازه میانی رودخانه، مساحت زیرشاخص واحدهای رسوبی ($GUSI-D_E$) نسبت به تعداد آنها در مقایسه با سایر بازه‌های مورد بررسی بیشتر است. از این رو شرایط بهتری برای ایجاد لنگرگاه‌های گیاهی پایدارتر، استقرار ترجیحی پوشش گیاهی و ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در میان کانال و کناره‌های آن وجود دارد و در نتیجه پراکنش زیستگاه‌های فیزیکی مطلوب است. زیرشاخص پوشش گیاهی درون بستری، در بازه‌های میانی (بازه‌های D و C) بیشترین تراکم را دارد. بر اثر دخالت‌های انسانی از جمله تغییر کاربری اراضی و ایجاد اراضی کشاورزی و واحدهای مسکونی، بخش قابل توجهی از دشت آبرفتی در بازه‌های D وC از بین رفته و از وسعت زیستگاه‌های طبیعی در حاشیه رودخانه کاسته شده است. این عامل در بازه F در پایین دست رودخانه نمود بیشتری یافته است و سبب شده که کمترین تراکم واحد ژئومورفیک پوشش گیاهان میان بستری و نیز کمترین پراکنش زیستگاه‌های فیزیکی در بازه F وجود داشته باشد ($GUSI-D_V$ = 1578.94). در این بازه، رسوبات انباشته در بستر و حواشی کانال نیز مساحت کمتر از ۳۵٪ عرض کانال را به خود اختصاص داده‌اند. در بازه G بیشترین تراکم پوشش گیاهی میان بستری $GUSI-D_V$ وجود دارد. تعداد جزایر گیاهی در این بازه نسبت به تمامی بازه‌ها بیشتر است. شرایط مناسب برای ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک و نیز تراکم واحدهای ژئومورفیک (GUSI-D) از تمام بازه‌ها بیشتر است. نسبت رسوب‌گذاری گسترده‌ی جریان و افزایش عرض بستر کانال سبب شده که "واحد رسوبات رودخانه‌ای" بیش از ۵۰٪ عرض بستر رودخانه در این بازه را به خود اختصاص دهد و میکرو زیستگاه‌های مناسبی ایجاد شود.

به طور کلی در پایین دست رودخانه و نیز در بازه‌های میانی نسبت به بازه‌های بالادست رودخانه، تنوع زیادی از واحدهای ژئومورفیک وجود دارد. با اینکه جنبه‌های زیست محیطی در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته است، اما این بازه‌ها به دلیل کاهش شیب تنش هیدرولیکی و افزایش انعطاف‌پذیری اکولوژیک، از تنوع زیستگاهی برخوردارند. به خصوص شرایط مناسب برای ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در میان بستر رودخانه، عاملی بسیار اثرگذار در این زمینه است. اگرچه تنوع ذکر شده ممکن است برای ماکرو فون و فلور قابل اهمیت نباشد زیرا در اکثر موارد در مقیاس‌های کوچک هستند (در سطح تفصیلی) اما برای دیاتومه‌ها، آلگ‌ها، جلبک‌ها و فون و فلور در مقیاس کوچکتر دارای اهمیت قابل ملاحضه‌ای است. در بازه‌هایی که بستر رودخانه عریض‌تر است تراکم و غنای بیشتری از واحدهای ژئومورفیک وجود دارد. با وجود تنوع، تراکم و غنای بیشتر واحدهای ژئومورفیک و شرایط مطلوب به‌منظور ایجاد زیستگاه‌های فیزیکی و پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در بازه‌های میانی کانال رودخانه، این زیستگاه‌ها پایداری بسیار کمی دارند. تاثیر دخالت‌های انسانی، دست اندازی به محدوده دشت سیلابی رودخانه و برداشت شن و ماسه از عرض بستر رودخانه بخصوص در پایین دست رودخانه طالقان سبب کاهش زیرشاخص تراکم واحد دشت سیلابی شده و این امر تاثیر منفی بر ایجاد جزایر رسوبی و پوشش‌های گیاهی حاشیه‌ای داشته است (مورد بارز آن در بازه F دیده می‌شود). عوامل آنتروپوژنیک سبب اختلال در رسوب‌گذاری بستر رودخانه شده و برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه، شرایط طبیعی را با اختلال مواجه ساخته و سبب شده که رسوب‌گذاری بیشتر، روزنه‌های فرصت برای ایجاد لنگرگاه‌های گیاهی را از بین برده و حتی در مواردی سبب مدفون شدن جزایر گیاهی میان بستری شود. کاهش دخالت‌های انسانی می‌تواند سبب مدلاسیون‌سازی متعادل بستر رودخانه توسط

رسوبات و ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک شود. در این حالت، فرصت برای ایجاد پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک با گونه‌های گیاهی بالغ‌تر از ۱ سال ایجاد می‌شود و شرایط به‌منظور تشکیل واحدهای ژئومورفیک به عنوان واحدهای زیستگاهی در میان بستر و حاشیه بستر رودخانه بهبود می‌یابد. علاوه بر این، بازخورد فعال پوشش گیاهی در جذب اختلال هیدرولیک و پایداری بستر نیز شکل می‌گیرد. بهبود موارد ذکر شده در تاثیرگذاری بر فرم رودخانه و نیز خنثی نمودن اختلالات فرآیندی حائز اهمیت است و در مدیریت فرآیندی و موثر رودخانه برای حفظ اکوسیستم رودخانه و مقاومت در برابر تنش‌های هیدرولیک نقش کلیدی را ایفا می‌نماید. در این زمینه، شناسایی موانع ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک، پایش تغییر واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای در دوره‌های مختلف به‌منظور تشخیص تغییر در زیستگاه‌های فیزیکی رودخانه‌ای، شناخت مناطق حساس در اکوسیستم‌های حاشیه‌ای رودخانه‌ای، تاثیر فعالیت‌های انسانی بر از بین رفتن زیستگاه‌های رودخانه‌ای و تلاش در راستای بهبود وضعیت، از جمله اقداماتی است که به‌منظور بهبود مدیریت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای می‌توان انجام داد.

منابع

- شریفی‌کیا، م.، شایان، ش.، افتخاری، م.، و کرم، ا.، ۱۳۹۶. تحلیل تغییرات مورفولوژیکی رودخانه ناشی از احداث سد طالقان بر پایه تفاضل سنجی زمانی داده‌های سنجش از دور، فصلنامه فضا در ژئومورفولوژی، دوره ۲۱، شماره ۲، صص۲۶۳-۲۴۳.
- شهبازی، ع.، و احمدی، ح.، ۱۳۹۲. بررسی نحوه ته‌نشست رسوبات در طول و میزان تاثیر بر حجم مخازن، نشریه آبیاری و زه‌کشی ایران، شماره ۲، جلد ۷، صص ۲۶۹-۲۵۹.
- قربانی، م.، نظری سامانی، ع.، کوهبنانی، ح.، اکبری، ف.، جلیلی، زهرا.، ۱۳۸۹. ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ۲۵-۲۷ فروردین ۱۳۸۹، زاهدان.
- یمانی، م.، تورانی، م.، ۱۳۹۲، طبقه بندی ژئومورفولوژیکی الگوی آبراهه طالقان رود در محدوده شهرک طالقان از طریق روش رزگن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۶، شماره ۵۲، صص ۱۸۳-۱۹۸.

- *Balke, T. Bouma, T. Horstman, E. Webb, E. Erftemeijer, P. and Herman, P., 2011. Windows of opportunity: Thresholds to mangrove seedling establishment on tidal flats. Marine Ecology Progress Series, 440, pp.1–9.*
- *Barbour, MT. Gerritsen, J. Snyder, BD. and Stribling, JB., 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish. second edition. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.*
- *Belletti, B. Dufour, S. and Piégay, H., 2013. Regional variability of aquatic pattern in braided reaches (example of the French Rhône basin). Hydrobiologia, 712, pp.25–41.*
- *Brierley, GJ. Fryirs, K. Cullum, C. Tadaki, M. Huang, HQ. and Blue, B., 2013. Reading the landscape: Integrating the theory and practice of geomorphology to develop placebased understandings of river systems. Progress in Physical Geography, 37(5), pp.601–621*
- *Clifford, NJ. Harmar, OP. Harvey, G. and Petts, G., 2006. Physical habitat, eco-hydraulics and river design: A review and re-evaluation of some popular concepts and methods. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 16 (4), pp.389–408.*
- *Corenblit, D. Steiger, J. and Peiry, JL., 2018. Niche construction within riparian corridors. Part I: Exploring biogeomorphic feedback windows of three pioneer riparian species (Allier River, France). Geomorphology, 305, pp.94-111.*

- *Demarchi, L. Bizzi, S. and Piégay, H., 2016. Remote sensing hierarchical object-basedmapping of riverscape units and in-stream mesohabitats using LiDAR and VHR imagery. Remote Sensing, 8 (2), pp.97.*
- *Eichel, J. Corenblit, D. and Dikau, R., 2015. Conditions for feedbacks between geomorphic and vegetation dynamics on lateral moraine slopes: A biogeomorphic feedback window. Earth Surface Process and Landform, 41, pp.406–419.*
- *Frissell, CA. Liss, WJ. Warren, CE. and Hurley, MD., 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. Environment Management, 10 (2), pp.199–214.*
- *Fryirs, KA. and Brierley, GJ., 2013. Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape: John Wiley and Sons. Chichester, UK.*
- *Gurnell, AM. Corenblit, D. De Jalón, G. González Del Tánago, M. Grabowski, RC. O'Hare, MT. and Szewczyk, M., 2016a. A conceptual model of vegetation hydromorphology interactions within river corridors. River Research and Application, 32, pp.142–163.*
- *Gurnell, AM. Rinaldi, M. Belletti, B. Bizzi, S. Blamauer, B. and Braca, G., 2016b. A multiscale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. Aquatic Sciences, 78(1), pp.1–16.*
- *Kaless, G. Mao, L. Moretto, J. Picco, L. and Lenzi, MA., 2015. The response of a gravel-bed River planform configuration to flow variations and bed reworking: A modelling Study. Hydrological Processes, 29, pp.3812–3828.*
- *Ladson, AR. White, LJ. Doolan, JA. Finlayson, BL. Hart, BT. Lake, PS. and Tilleard, JW., 1999. Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia. Freshwater Biology. 41, pp.453–468.*
- *Moretto, J. Rigon, E. Mao, L. Picco, L. Delai, F. and Lenzi, MA., 2014. Channel adjustments and vegetation cover dynamics in the Brenta River (Italy) over the last 30 years. River Research and application, 30, pp.719–732.*
- *Picco, L. Comiti, F. Mao, L. Tonon, A. and Lenzi, MA., 2017, Mediumand short termriparian vegetation, island and channel evolution in response to human pressure in a regulated gravel bed river (Piave River, Italy). CATENA, 149(3), pp.760-769.*
- *Platts, WS. Megahan,WF. and Minshall, GW., 1983. Methods for evaluating stream, riparian, and biotic conditions. US Department of Agriculture, Forest Service. Ogden, UT, Intermountain Forest and Range Experiment Station.*
- *Poole, GC., 2010. Stream hydrogeomorphology as a physical science basis for advances in stream ecology. Journal of the North American Benthological Society, 29(1), pp.12–25.*
- *Raven, PJ. Fox, PJA. Everard, M. Holmes, NTH. and Dawson, FH., 1997. River habitat survey: A new system for classifying rivers according to their habitat quality. Stationery Office, Edinburgh UK, pp.215–234.*
- *Rinaldi, M. Belletti, B. Bussettini, M. Comiti, F. Golfieri, B. Lastoria, B. Marchese, E. Nardi, L. and Surian, N., 2016. Newtools for hydromorphological assessment andmonitoring of European streams. Jornal of Environmental Management, 202(2), pp.363-378.*
- *Rinaldi, M. Belletti, B. Comiti, F. Nardi, L. Bussettini, M. Mao, L. and Gurnell, AM., 2015. The Geomorphic Units Survey and Classification System (GUS), Deliverable 6.2, Part 4, of REFORM.*
- *Rollet, AJ. Piégay, H. Dufour, S. Bornette, G. and Persat, H., 2014. Assessment of consequences of sediment deficit on a gravel river bed downstream of dams in restoration perspectives: application of a multicriteria, hierarchical and spatially explicit diagnosis. River Research and application, 30, pp.939–953.*

- *Thomson, JR. Taylor, MP. Fryirs, KA. and Brierley, GJ., 2001. A geomorphological framework for river characterization and habitat assessment. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 11, pp.373–389.*
- *Vezza, P. Goltara, A. Spairani, M. Zolezzi, G. Siviglia, A. Carolli, M. Bruno, MC. Boz, B. Stellin, D. Comoglio, C. and Parasiewicz, P., 2015. Habitat indices for rivers: quantifying the impact of hydro-morphological alterations on the fish community. Engineering Geology for Society and Territory, 3, pp.357-360.*
- *Wheaton, JM. Fryirs, KA. Brierley, G. Bangen, SG. Bouwen, N. and O'Brien, G., 2015. Geomorphicmapping and taxonomy of fluvial landforms. Geomorphology, 248, pp.273–295.*
- *Wyrick, JR. and Pasternack, GB., 2014. Geospatial organization of fluvial landforms in a gravel–cobble river: beyond the riffle–pool couplet. Geomorphology, 213, pp.48–65.*
- *Wyrick, JR. Senter, AE. and Pasternack, GB., 2014. Revealing the natural complexity of fluvial morphology through 2D hydrodynamic delineation of river landforms. Geomorphology, 210, pp,14–22.*
- *Zavadil, EA. Stewardson, MJ. Turner, ME. and Ladson, AR., 2012. An evaluation of surface flow types as a rapidmeasure of channel morphology for the geomorphic component of river condition assessments. Geomorphology, 139–140, pp.303–312.*