



کاربرد بازیافت ژئومورفیک رود در مدیریت رودخانه

مطالعه موردی: البرز شمالی، حوضه آبریز لایوچ رود

رضا اسماعیلی^۱

چکیده

در شرایط محیطی مختلف، رودخانه‌ها دارای پیچیدگی و تنوع زیادی هستند و علوم مختلف از جمله هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، هیدرولیک، اکولوژی و غیره به فراخور نیاز خود، آن را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهند. ژئومورفولوژی رودخانه‌ای با مطالعه فرآیندها و اشکال رودخانه‌ای و بررسی تکامل چشم‌اندازهای رودخانه‌ای نقش مهمی را در شناسایی ویژگی‌ها و رفتار کانال رود دارد تا بدین وسیله رودخانه با دقت بیشتری مورد ارزیابی قرار گیرد و خسارت وارده به طرح‌های مهندسی رودخانه و ویرانی محیطی ناشی از آن به حداقل برسد. در این مطالعه براساس روش استیل رود ابتدا انواع استیل رود تعیین گردید. سپس با سه درجه آزادی مورفولوژی کانال، پلانفرم کانال و ویژگی بستر رود، ظرفیت تعدیل و زمین شاخص‌های مرتبط برای هر درجه آزادی در هر استیل رود تعیین گردید. در مرحله بعد تکامل رود با استفاده از روشهای ارگودیکی برای ارزیابی اینکه آیا تغییرات ژئومورفیک برگشت ناپذیر رخ داده است، تفسیر گردید و پتانسیل بازیافت ژئومورفیک هر بازه با ارزیابی ارتباط بازه‌ها و تفسیر عوامل محدودکننده و فشار تعیین گردید. در حوضه لایوچ رود هشت استیل رود شناسایی شدند. بیشتر سرآبهای پرشیب شرایط تقریباً دست نخورده‌ای داشته و استیل‌های رود گلوگاه، نسبتاً محدود با سینوزیته کم و دشت سیلابی ناپیوسته و پراثری با بستر گراولی پتانسیل بازیافت بالایی داشته‌اند. استیل‌های رود پرشده-فروسایی شده، نسبتاً محدود با کنترل سنگ بستر و دشت سیلابی ناپیوسته و محدود با دشت سیلابی اتفاقی و کوچک پتانسیل بازیافت متوسط داشته‌اند. استیل رود محدود با کرانه لغزشی هم پتانسیل بازیافت ضعیف داشته و شرایط آنها روبه زوال است. نتایج نشان می‌دهد که استیل‌های رود این حوضه به ترتیب ۶۵، ۲۸ و ۷ درصد پتانسیل بازیافت بالا، متوسط و پایین دارند. با توجه به شرایط ژئومورفیک و پتانسیل بازیافت رود اولویت مدیریتی هر استیل رود پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی:

رود، شرایط ژئومورفیک، پتانسیل بازیافت ژئومورفیک، روش ارگودیکی، زمین شاخص، لایوچ رود، مدیریت رود، ژئومورفولوژی رودخانه‌ای - استیل

Application of Geomorphic River Recovery in River Management

Case Study: Northern Alborz, Lavijrud Catchment

Esmaili R¹

Abstract

Rivers have a complicated, various condition in the diverse environment as studied by hydrology, geomorphology, hydraulics, ecology and engineering. River geomorphology studies the river process and landforms and examines the evolution of the river's landscape, which can play an important role in identifying river channel characteristics and behavior. Designs with river engineering enable precise examinations of rivers leading to declines in property damage. In this study we initially determined the type of river style. Then, with three degrees of freedom, the channel morphology, plan form, river bed characteristics, capacity for adjustment, and relevant geoindicators for each degree of freedom for each river style were determined. Next, we interpreted the river's evolution by using ergodic reason to assess whether irreversible geomorphic change occurred. The geomorphic recovery potential of each reach was determined by assessing the connectivity of the reaches and interpreting limiting factors and pressures. In the Lavijrud catchment eight river styles were identified. More steep headwaters have intact condition and gorges, low sinuosity planform with discontinuous floodplain and high energy with gravel bed river styles have a high river recovery potential. Cut-fill, bedrock controlled with discontinuous floodplain and confined with occasional pocket floodplain river styles have moderate river recovery potential. Confined with slump bank river style have a low river recovery potential and their conditions are degraded. Results show that river styles in this catchment also have respectively 65% high, 28% moderate and 7% low river recovery potential. Management prioritization of each river style observed the river's geomorphic conditions and recovery potential.

Keywords:

River style, Geomorphic condition, Potential of river recovery, Ergodic, Geoindicator, Lavijrud, River management, Fluvial geomorphology

مقدمه

رودخانه‌ها مهم‌ترین عامل شکل‌زایی در سطح زمین به شمار می‌آیند. ارتباط انسانها هم با رودخانه‌ها از گذشته تاکنون برقرار بوده است. از جهت ژئومورفولوژیک یک سیستم رود به صورت سیستم کنش - واکنش عمل می‌کند و تغییر در یک قسمت آن می‌تواند بر قسمت‌های دیگر تأثیر گذارد. استفاده غیراصولی انسانها از محیط طبیعی و سیستم رودخانه (حوضه و کانال رود) سبب شده است که رودخانه‌ها دچار سیر قهقراپی شده و عواملی مانند فرسایش خاک در حوضه، پهن‌شدگی کانال، ورود بیش از حد رسوب به درون کانال رود، افزایش دبی سیلابی، از بین رفتن محیط اکولوژیکی موجود در آب رودخانه، تخریب پوشش گیاهی حاشیه کانال رود، انواع حرکات توده‌ای در امتداد کانال‌های رودخانه‌ای از جمله مواردی هستند که بر سلامتی سیستم رود تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، ساختارهای مهندسی ایجاد شده بر روی کانال‌های رودخانه‌ای یا در امتداد آنها اغلب بدون شناخت فرآیندهای ژئومورفیک رود بوده و در نتیجه دچار آسیب می‌شوند. از این رو ژئومورفولوژیست‌های رودخانه‌ای در بسیاری از کشورها همگام با سایر محققین در امور مدیریت سیستم رودخانه فعال می‌باشند.

چهارچوب استیل رود روش طبقه‌بندی جدیدی است که بوسیله بریرلی و فریرس (۲۰۰۲ و ۲۰۰۵) از دانشگاه مک کواری استرالیا ایجاد گردید. در این روش که در ۴ مرحله صورت می‌گیرد، ابتدا هر بازه رودخانه‌ای به استیل‌های مبتنی بر موقعیت دره، اشکال ژئومورفیک رودخانه‌ای و اندازه ذرات بستر تقسیم می‌شوند. سپس ویژگی‌ها و رفتار این استیل‌ها در زمان حاضر مورد بررسی قرار گرفته و در مراحل بعدی تکامل و شرایط ژئومورفیک رود و بازیافت ژئومورفیک رودخانه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و در مرحله آخر با توجه به اطلاعات مراحل قبلی، اولویت‌های مدیریتی هر استیل رود تعیین می‌گردد (اسماعیلی و همکاران ۱۳۸۹).

ژئومورفولوژی رودخانه‌ای با نگرش سیستمی، حوضه و کانال رود و واحدهای ژئومورفیک آن را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. در این سیستم اجزاء مختلفی وجود دارند که از جمله آنها می‌توان به لیتولوژی، تکتونیک، اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، شیب دامنه‌ها و کانال رود، مورفومتری حوضه و شبکه آبراهه اشاره نمود. بررسی و تجزیه و تحلیل همه این اجزاء با تأکید بر کانال رود (مقیاس بازه) و شناسایی فرآیندها و لندفرم‌های آن می‌تواند راهگشای مناسبی برای تحقیقات واقعی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای گردد و در امور مربوط به مدیریت رودخانه مؤثر واقع شود. بازیافت ژئومورفیک^۱ یک فرآیند طبیعی است که رودخانه بعد از آشفتگی به حالت تعادل خود می‌رسد. تغییر در هر یک از متغیرهای رود مانند شیب، پهنای، عمق، دبی، سرعت جریان، ناهمواری مواد بستر،

بار رسوبی و اندازه رسوبات موجب یک سری تغییراتی در کانال رود می‌شود. این تغییرات می‌تواند به صورت طبیعی (مانند سیلاب، زمین لغزش، تغییر اقلیم و غیره) و یا انسانی (مانند قطع درختان، چرای بیش از حد دام، برداشت شن و ماسه و غیره) باشد، که در اصطلاح آشفتگی نام دارد. از این رو رودخانه برای تعدیل این متغیرها برای رسیدن به حالت تعادل خود تلاش می‌نماید. برای بررسی بازیافت رود تاکنون بیشتر از نگرشهای اکولوژیکی استفاده می‌شده است (مانند گور و همکاران ۱۹۹۰، ریس و همکاران ۱۹۹۰). اما در چند سال اخیر اهمیت الگوهای ژئومورفیک در امر مدیریت و توانبخشی و بازسازی رودخانه مورد توجه قرار گرفته است (سیر و همکاران ۱۹۹۵، دونز و ترن ۱۹۹۶، رترفورد و همکاران ۱۹۹۸، والرستین و ترن ۲۰۰۴، بروکز و بریرلی ۲۰۰۴).

فریرس و بریرلی (۲۰۰۰) نگرشی ژئومورفیک را برای شناسایی پتانسیل بازیافت رودخانه ارائه نمودند و آن را به صورت کاربردی در حوضه بگا (استرالیا) مورد استفاده قرار دادند. آنها با بررسی خصیصه‌های رود (ژئومتری، پلان رود، واحد ژئومورفیک و غیره) و رفتار رود در کانال و دشت سیلابی شرایط ژئومورفیک رود را ارزیابی نمودند و سپس با استفاده از داده‌های تاریخی و تحلیل‌های میدانی و روشهای ارگودیکی مراحل مختلف تکامل رود را شناسایی نمودند. آنها شرایط رودها و خط سیر تعدیل آنها را برای سه نوع از استیل رود در موقعیت‌های مختلف ارزیابی نمودند. بریرلی و فریرس (۲۰۰۵) الگوی بازیافت ژئومورفیک رود را توسعه داده و برای مدیریت رود مورد استفاده قرار دادند. کاروسو (۲۰۰۶)، برای افزایش آگاهی از برنامه‌های توانبخشی رود، پروژه بازیافت رودخانه (PRR)^۱ که در نیوزیلند صورت گرفت را ده سال بعد از انجام پروژه مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که پروژه بیشتر از هدف خود موفق بوده و خصوصا توجه وسیع‌تری به اثرات هیدرولوژیک و ژئومورفیک در آن صورت گرفته است. همچنین کاروسو و دونز (۲۰۰۷)، برنامه‌ریزی مدیریت سیلاب را در توانبخشی رودهای کوهستانی مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه کار آنها نشان می‌دهد که جهت توانبخشی و مدیریت سیلاب و بهبود سلامتی اکولوژیکی رودخانه مطالعه و تحلیل هیدرولوژی حوضه، ارزیابی ژئومرفولوژی رودخانه‌ای، تحلیل کیفیت آب و اکولوژی آبی، مدل سازی هیدرولیک و ارزیابی خطر سیل ضروری است.

بریرلی و فریرس (۲۰۰۹)، سه اصل را برای استفاده از نگرش ژئومورفیک برای برنامه‌ریزی در توانبخشی رود ارائه نمودند که عبارتند از:

- ۱- توجه به تنوع ژئومورفیک و درک رفتار رود در هر حوضه خاص جهت کار با طبیعت.
- ۲- اختلاف در رژیم رفتاری یک بازه رود که به صورت بالقوه از تعدیل در بازه رود تا تغییر به صورت نوع

متفاوتی از رود امکان پذیر است.

۳- تحلیل الگوی پایین دست روخانه‌ها و ارتباط یا عدم ارتباط چشم‌انداز برای تفسیر خط سیر تعدیل رود و پتانسیل بازیافت ژئومورفیک هر بازه در حوضه.

جاکوبسن و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و ژئومورفیکی و ارتباط کانال رود با دشت سیلابی آن، شاخصی را برای شناسایی پتانسیل توانبخشی رود میسوری در آمریکا فراهم نمودند.

محدوده مورد مطالعه در این مقاله حوضه آبریز لایوچ رود نام دارد که در استان مازندران و جنوب شهرنور در دامنه‌های شمالی البرز مرکزی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه بین عرضهای جغرافیایی $36^{\circ}16'$ تا $36^{\circ}27'$ شمالی و طولهای جغرافیایی $51^{\circ}58'$ تا $52^{\circ}5'$ شرقی واقع شده است. مساحت تقریبی حوضه آبریز لایوچ رود تا خروجی از کوهستان حدود ۱۱۶ کیلومتر مربع می باشد.

با توجه به مباحث مطروحه فوق، مدیریت رود یک موضوع چندرشته‌ای می باشد و هدف از ارائه این مقاله ارزیابی پتانسیل بازیافت ژئومورفیک رود با توجه به نقش مطالعات ژئومورفولوژی در مدیریت رودخانه می باشد.

۱- چهارچوب مفهومی بازیافت ژئومورفیک

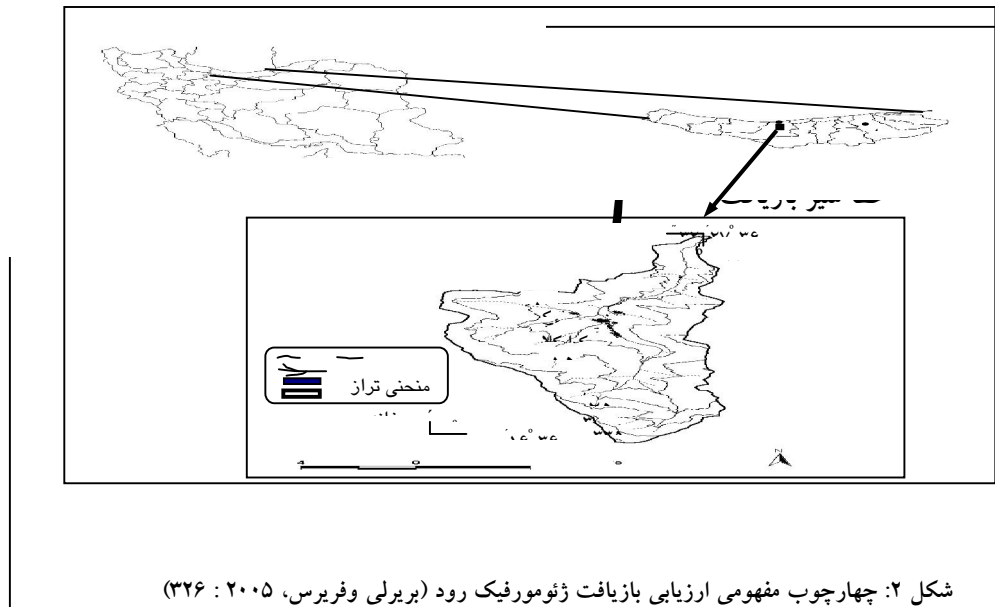
بازیافت یک فرآیند طبیعی است که ظرفیت خودترمیمی سیستم‌های رودخانه‌ای را نشان می دهد. بازیافت ژئومورفیک رود به صورت «خط سیرتغییر به سمت شرایط بهبودی» تعریف می شود (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵: ۳۲۴). ارزیابی خط سیر بازیافت ژئومورفیک یک فرآیند پیش‌بینی است. چهارچوب مفهومی ارزیابی بازیافت ژئومورفیک رود در شکل ۲ نشان داده شده است.

در این شکل دو مؤلفه وجود دارد. خط عمودی سمت چپ که به طور پیوسته شرایط رود را از حالت دست نخورده تا کاملاً تنزل یافته نشان می دهد. ویژگی و رفتار حال حاضر بازه می تواند در هر موقعیتی در امتداد این محور قرار گیرد و این به حساسیت رود نسبت به آشفتگی، ویژگی و میزان آشفتگی و زمان شروع آشفتگی بستگی دارد. در هر مرحله‌ای در امتداد این خط سیر، رودخانه می تواند ویژگی و رفتار خود را نسبت به آشفتگی تعدیل نماید. اگر یک سیستم طبیعی نسبت به آشفتگی مقاوم باشد، تقریباً به حالت دست نخورده نزدیک خواهد بود.

اگر آشفتگی بسیار شدید باشد در چنین شرایطی رود در امتداد این خط سیر در حالت تنزل قرار می گیرد و نمی تواند به تعادل مجدد برسد و یا حالت خودتعدالی پیدا کند و به سمت آشفتگی حرکت می کند. مراحل اولیه تنزل ممکن است بعد از یک دوره تأخیر به دنبال یک آشفتگی رخ دهد.

خط سیرهای تعدیل رود که در سمت راست شکل قرار گرفته اند، جهت بازیافت رودخانه را به دنبال آشفتگی های متعدد نشان می دهد (شکل ۲). به طور کلی در شکل ۲ پنج مرحله از حالت رود نشان داده شده است

که عبارتند از: دست نخورده^۱، تنزل^۲، انتقال به سمت بازیافت^۳، بازگشت^۴ و ایجاد حالت جدید^۵. ویژگی‌های رفتاری هر یک از این مراحل در جدول ۱ خلاصه شده است. پتانسیل بازیافت ظرفیت بهبود شرایط ژئومورفیک یک بازه را در ۵۰-۱۰۰ سال آینده را نشان می‌دهد. آنالیز خط سیر تعدیل و پیش‌بینی پتانسیل بازیافت، نیازمند آنالیز فاکتورهای محدودکننده بازیافت و فرایندهای ژئومورفیک مرتبط موجود در هر بازه از حوضه است.



مواد و روشها

۱- تعیین استیل رود: بر اساس چهار پارامتر کلیدی موقعیت دره، الگوی کانال رود، مجموعه واحدهای ژئومورفیک (اشکال دشت سیلابی و کانال) یک بازه و بافت مواد بستر^۶ انواع استیل رود تعیین گردید (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۹).

۲- آنالیز تکاملی رود: در این قسمت برای مطالعه روند تکاملی هر استیل رود از روشهای ارگودیکی^۷ استفاده شد. در این روش با مشاهده مقاطع مختلف در امتداد کانال رود، الگو و مقطع عرضی بازه رود به صورت شماتیک تهیه شده است.

۳- ارزیابی شرایط ژئومورفیک رود: پس از بازسازی مقاطع کانال رود با روشهای ارگودیکی، شرایط فعلی رود با آن مقایسه شده است. برای ارزیابی شرایط ژئومورفیک یک بازه ۳ درجه آزادی خصیصه کانال، الگوی کانال

1. Intact
2. Degraded
3. Turning point
4. Restoration
5. Creation 1- Intact

۶- اندازه‌گیری ذرات رسوبی با روش شمارش سنگ (pebble count) و لمن انجام شده است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰)

7. Ergodic

رود و ویژگی بستر رود به کار می‌رود (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵). در هر درجه آزادی از زمین‌شاخص‌هایی برای تعیین توانایی هربازه نسبت به تعدیل استفاده می‌شود (جدول ۲). برای هر زمین‌شاخص مرتبط فقط یک سؤال پرسیده می‌شود. با مقایسه شرایط مشاهده شده و شرایط معرف طبیعی (که با روش ارگودیکی تهیه می‌شود)، پاسخ‌های هر سؤال درکل بازه ترکیب می‌شود.

جدول ۱: تشریح مراحل مختلف بازیافت ژئومورفیک رود (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵: ۳۲۵)

ویژگی‌ها	حالت رود
ویژگی‌ها و رفتار رود مشابه شرایط قبل از آشفستگی است. پوشش گیاهی ری‌پارین (حاشیه کانال رود) در بازه‌ها دست‌نخورده می‌باشد این بازه‌ها به دنبال آشفستگی‌هایی مانند سیل و آتش‌سوزی به سرعت به حالت قبلی خود برگشت می‌کنند.	دست نخورده Intact
رودخانه به طور مشخصی از حالت دست‌نخورده دور می‌شود و درامداد خط سیر، بازیافت را شروع نکرده است. بازه اغلب در یک حالت عدم تعادل قرار دارد. این بازه‌ها به طور دایم نسبت به آشفستگی تعدیل می‌شود به طوری که شکل‌ها و فرآیندهای مربوطه از حالت توازن خارج می‌شوند.	تنزل Degraded
این مرحله به صورت انتقالی است. بدین مفهوم که تعدیل‌های رود در آینده در یکی از سه جهت قرار می‌گیرد: به طور پیوسته در مسیر فروسایبی قرار می‌گیرد، ویژگی‌های رودخانه حالت بازگشت پیدا می‌کند و یا به سمت حالت جدیدی پیش می‌رود. در بسیاری از موارد، این بازه‌ها علایم اولیه‌ای را از بازیافت نشان می‌دهند و در حالت عدم تعادل قرار دارند.	انتقال به سمت باز یافت Turning point
رودخانه علایمی از بازیافت طبیعی را نشان می‌دهد و تقریباً نسبت به تغییرات مقاوم می‌شود. بازه توانایی برگشت‌پذیری را بعد از یک آشفستگی کوچک دارد. ساختار و عملکرد رود در حالت خودتعادلی است. در نهایت این که، این بازه‌ها به طور مجدد حالت تقریباً دست‌نخورده پیدا می‌کنند و ویژگی و رفتار آن‌ها مانند حالت قبل از آشفستگی می‌شود.	بازگشت Restoration
تغییرات شرایط مرزی حوضه بسیار زیاد است به طوری که فرآیندهای بازیافت رودخانه، بازه رود را به سمت یک حالت جدید پیش می‌برد. در بسیاری از موارد این موضوع نشان‌دهنده شرایطی است که تحت آن رژیم جریان، حمل رسوب و الگوی پوشش گیاهی به صورت برگشت‌ناپذیری تغییر کرده است. اگرچه این بازه‌ها مانند بازه‌هایی که در مرحله بازگشت قرار دارند به سمت یک حالت خودتعادلی بازیابی می‌شوند، اما بسیاری از ویژگی‌ها و عملکردهای رودخانه در حالت قبل از آشفستگی را ندارند.	شرایط جدید Creation

باتوجه به تعداد پاسخ‌های بله یا خیر برای هر درجه آزادی، علامت تیک یا ضربدر در ماتریس مشخص می‌شود سپس شرایط ژئومورفیک رود (خوب، متوسط و ضعیف) به صورت یک ماتریس تعیین می‌شود.

۴- پتانسیل بازیافت ژئومورفیک رود: در این مرحله با توجه به شرایط ژئومورفیک هر بازه پتانسیل بازیافت ژئومورفیک آن بازه تعیین می‌شود (شکل ۳).

۵- مدیریت رودخانه: در این مرحله با استفاده از اطلاعات تهیه شده در مراحل قبلی و درک ویژگی، رفتار،

شرایط و پتانسیل بازیافت ژئومورفیک رود، یک نگرش فیزیکی برای برنامه‌ریزی توان بخشی رود ارائه می‌شود (شکل ۴). توان بخشی رود در مقیاسهای بازه، زیرحوضه و حوضه براساس پیش‌بینی‌های تغییرات احتمالی رود در آینده و پتانسیل بازیافت ژئومورفیک رود انجام می‌پذیرد (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵ : ۳۴۲).

نتایج

۴-۱- تعیین انواع استیل رود

براساس معیارهای موقعیت دره، الگوی کانال رود، مجموعه واحدهای ژئومورفیک بازه و بافت مواد بستر هشت نوع استیل رود در حوضه آبریز لایچ رود شناسایی شده‌اند (شکل ۵) که استیل‌های سرآب‌پرشیب^۱، گلوگاه^۲، محدود با کرانه ناپایدار (لغزشی) و محدود با دشت سیلابی اتفاقی و کوچک^۳ در موقعیت دره‌ای محدود وجود داشته‌اند. استیل‌های رود با سینوزیته کم و دشت سیلابی ناپیوسته و نسبتاً محدود با دشت سیلابی ناپیوسته و تحت کنترل سنگ بستر در موقعیت دره‌ای نسبتاً محدود و استیل رودهای پرشده-فروسایی شده^۴ و رود پراثری با بستر گراولی در موقعیت دره‌ای آبرفتی تشکیل شده‌اند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۹).

۴-۲- ارزیابی شرایط ژئومورفیک رود

در این قسمت ابتدا مراحل تکاملی انواع رود با استفاده از روش ارگودیکی تهیه گردید (شکل ۶). سپس سه درجه آزادی مورفولوژی کانال، پلانفرم کانال و ویژگی بستر به عنوان معیارهای ارزیابی شرایط ژئومورفیک مورد استفاده قرار گرفتند. هر درجه آزادی توانایی مؤلفه‌های خاص سیستم رود را برای تعدیل نشان می‌دهد (مونتگمری، ۱۹۹۹ به نقل از بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵). زمین‌شاخص‌های درجه آزادی ویژگی بستر شامل اندازه ذرات وجورشدگی آنها، پایداری بستر، تنوع هیدرولیک و رژیم رسوب می‌باشد. خصیصه‌های کانال هم دارای زمین‌شاخص‌هایی مانند شکل و اندازه کانال، مورفولوژی کرانه، ساختار گیاهان درون کانال و واریزه‌های چوبی بزرگ است. پلانفرم کانال هم برحسب زمین‌شاخص‌هایی مانند تعداد کانال‌ها، سینوسیته، پایداری جانبی کانال، مجموعه واحدهای ژئومورفیک درون کانال و دشت سیلابی و ترکیب گیاهان حاشیه کانال رود ارزیابی می‌شود.

1. Steep headwater
2. Gorge
3. Confined with occasional pocket floodplain
4. Fill – Cut

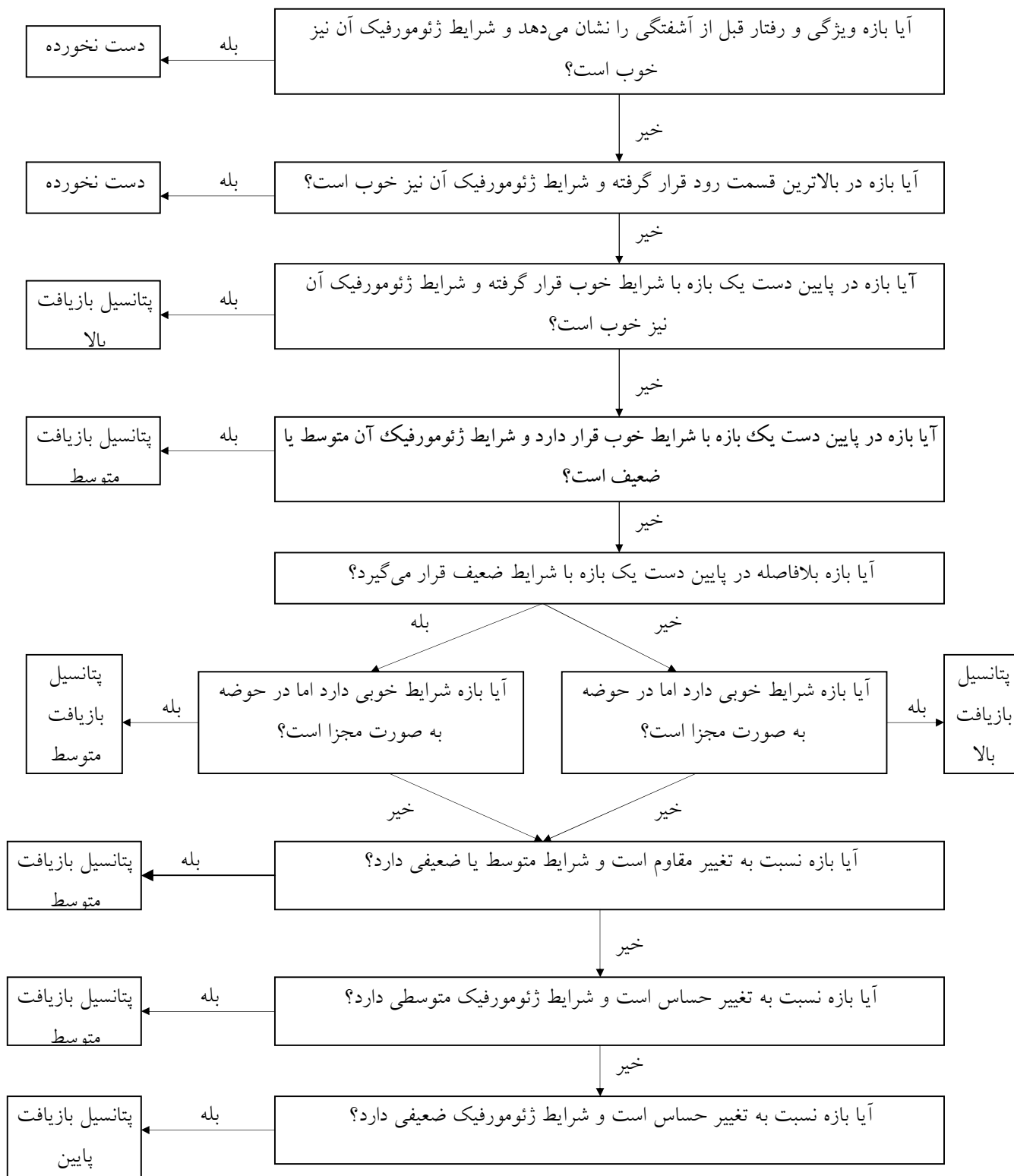


جدول ۲- روش های اندازه گیری هر زمین شاخص (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵: ۳۰۳)

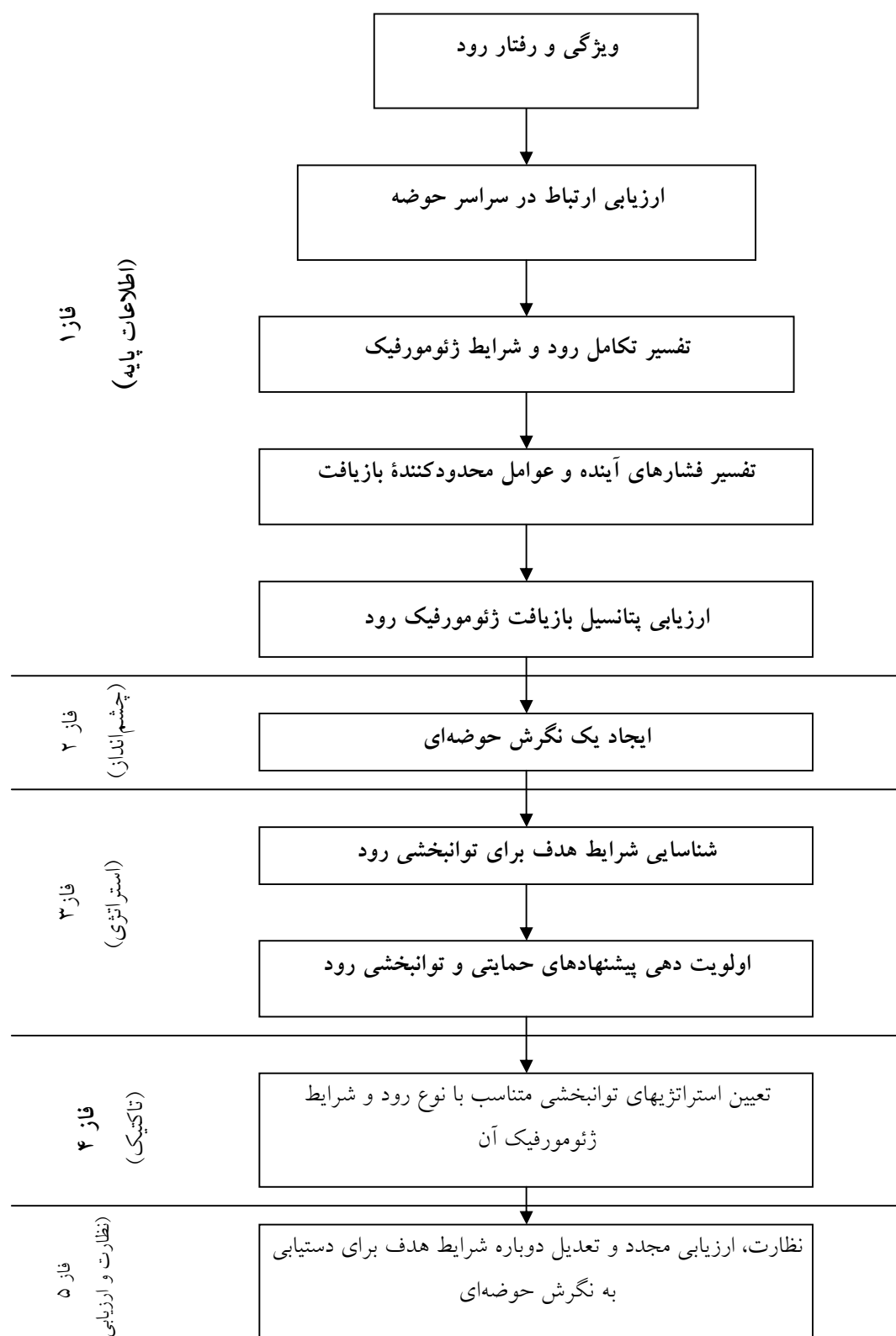
درجه آزادی زمین شاخص	تعریف	مثال هایی از ابزارها یا تکنیک های مورد استفاده برای ارزیابی هر زمین شاخص
خصیصه های کانال - ساختار کانال تابع بافت مواد بستروکرانه، پوشش گیاهی، شیب بستر و دبی است.		
اندازه	پهنا و عمق کانال	نسبت پهنا به عمق و مساحت مقطع عرضی کانال نسبت به سطح حوضه ای که آن را زهکشی می کند
شکل	شکل مقطع عرضی کانال	شناسایی کانال های نامنظم، مرکب، نامتقارن و متقارن
مورفولوژی کرانه	شکل و ویژگی هر کرانه	شناسایی کرانه های یکنواخت عمودی، لبه دار، بادرجه یکسان و زیربری شده
ساختار پوشش گیاهی رود	ویژگی و تراکم گیاهان آبی و خشکی مرتبط با ساختار ژئومورفیک و رژیم جریان	مشخص کردن بافت کرانه با استفاده از آنالیز اندازه ذرات
واریزه های چوبی	ویژگی و تراکم واریزه های چوبی و ارتباط آن با ساختار ژئومورفیک و رژیم جریان	دسته بندی کیفی ترکیب (مهاجم یا بومی) پوشش گیاهی در سطوح ژئومورفیک درون کانال
پلانفرم کانال - نما یا شکل رود از بالا که تابع بافت مواد، شیب دره، موقعیت دره و ساختار گیاهان است		
تعداد کانال ها	شمارش تعداد کانال ها	شناسایی وجود یا عدم وجود کانال، کانال های ناپیوسته، کانال های منفرد و چندکانالی ها
سینوزیته کانال ها	میزان خمیدگی کانال در امتداد طول رود	نسبت بین طول کانال در امتداد طول دره و تالوگ
پایداری جانبی	میزان جابجایی کانال در کف دره	شناسایی گسترش کانال، فرسایش کرانه، جابجایی و فرایندهای تغییر دهنده مسیر کانال
مجموعه واحدهای ژئومورفیک	اشکال ساخته شده بوسیله رود که فرایند- فرم مشخصی دارد	آنالیز شکل و رسوب شناسی برای تفسیر فرایندهای سازنده هر واحد ژئومورفیک
گیاهان ری پارین	ویژگی و تراکم پوشش گیاهی درزون ری پارین و ارتباط آنها با ساختار ژئومورفیک و رژیم جریان	ارزیابی واحدهای ژئومورفیک مجاور هم
ویژگی بستر - تابع رژیم جریان، وجود رسوب و ظرفیت هر بازه در حمل رسوب است.		
اندازه ذرات و جورشدگی	اندازه، توزیع و آرایش مواد ذخیره شده و حمل شده در بستر	تخمین چشمی از درصد مواد و رسوبات با اندازه های مختلف در بستر
پایداری بستر	پایداری بستر کانال برای تعدیل عمودی	آنالیز توزیع رسوب در واحدهای ژئومورفیک مختلف
تنوع هیدرولیک	ویژگی جریان که از سطح بستر عبور می کند	تفسیر فعالیت عمودی بستر از طریق فرسایش
رژیم رسوب	ظرفیت ذخیره، حمل و انتقال رسوب در بازه. اندازه گیری ظرفیت و یاتوانش بازه برای حمل رسوب	تخمین چشمی از جریان سطح آب
		شناسایی زون فرایند رسوبی (یعنی منشأ، حمل و انباشت رسوب)
		اندازه گیری کمی ظرفیت حمل رسوب در مقابل وجود رسوب که تدارک رسوب فراهم می کند در مقابل بازه های با حمل محدود



کاربرد بازیافت ژئومورفیک رود در مدیریت رودخانه



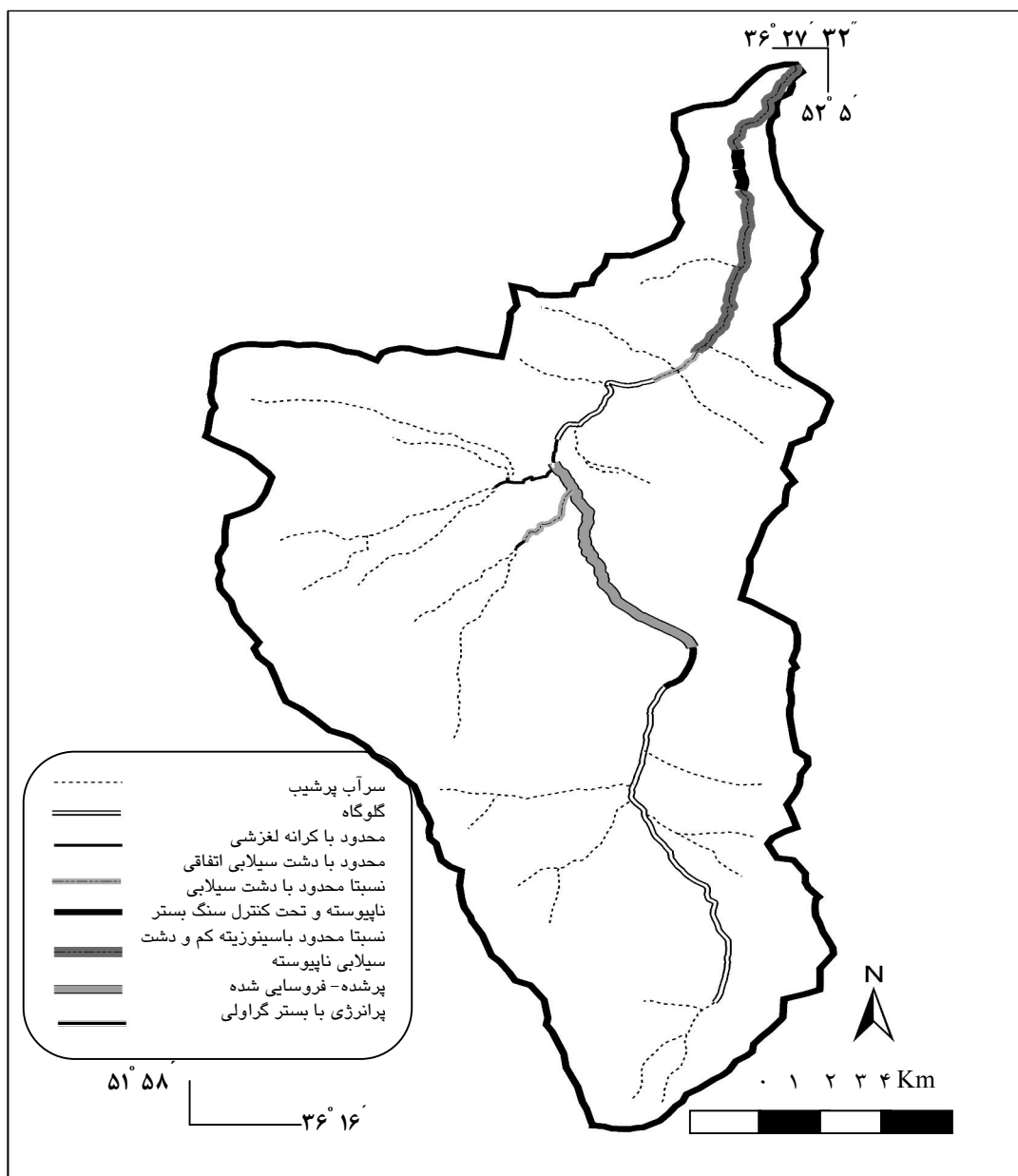
شکل ۳- نمودار تعیین پتانسیل بازیافت ژئومورفیک رود (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵: ۳۴۰)



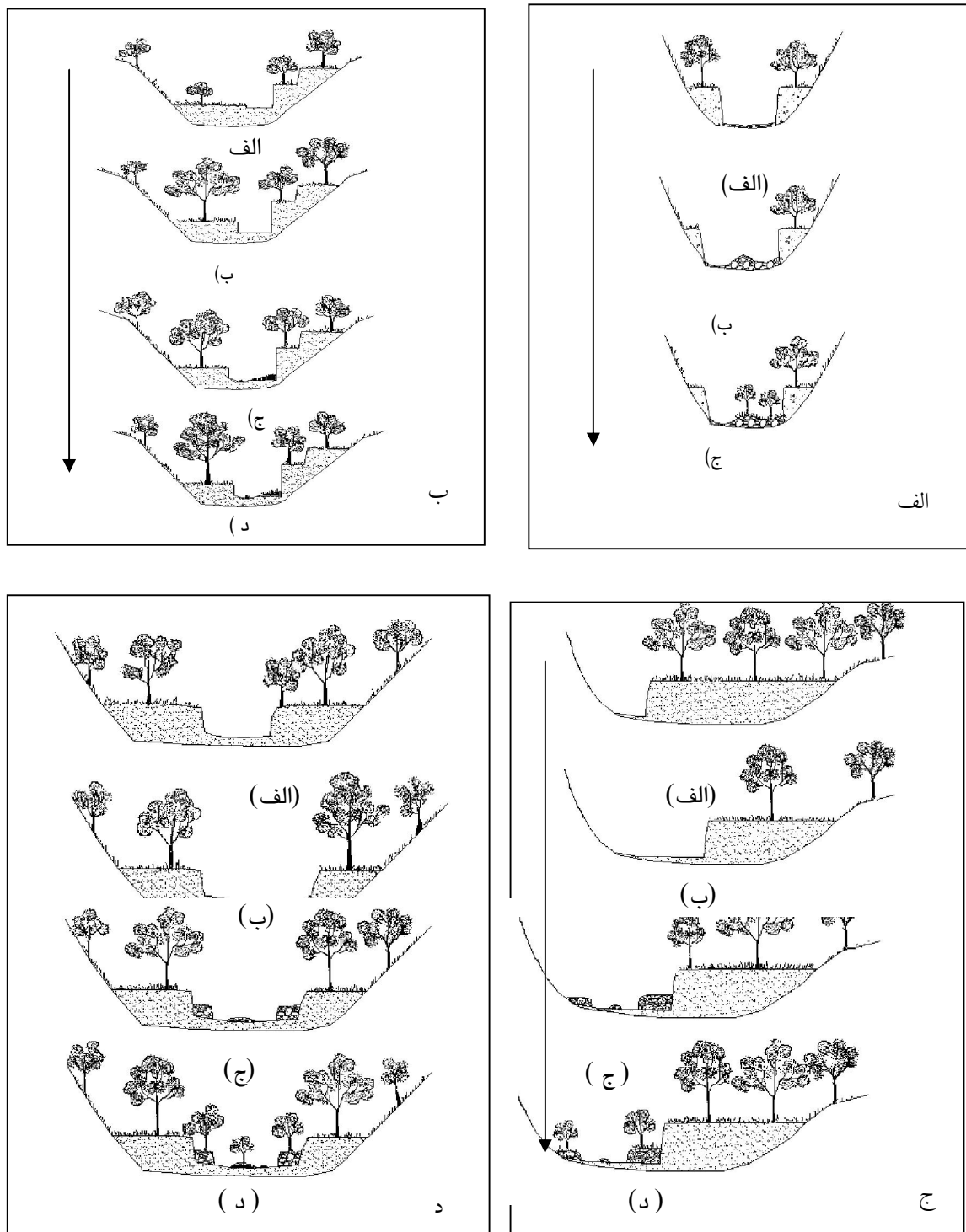
شکل ۴- گام‌های ایجاد چشم‌انداز آینده حوضه (بربرلی و فریرس، ۲۰۰۵: ۳۴۵)

کاربرد بازیافت ژئومورفیک رود در مدیریت رودخانه

جدول ۳ توان تعدیل هریک از زمین‌شاخص‌ها را برای هر استیل رود در حوضه آبریز لاویج رود نشان می‌دهد که کلمه « بله » نشان‌دهنده توان تعدیل آن زمین‌شاخص است، و کلمه « خیر » نشان می‌دهد که آن زمین‌شاخص در آن استیل رود توان تعدیل ندارد. سپس شرایط ژئومورفیک هر یک از انواع استیل رود با توجه به درجه آزادی‌ها و زمین‌شاخص‌های مرتبط به صورت خوب، متوسط و ضعیف ارزیابی گردید (جدول ۴ و شکل ۷).



شکل ۵: نقشه انواع استیل رود در حوضه آبریز لاویج رود



شکل ۶: مراحل تکاملی انواع استیل رود در حوضه آبریز لایویج رود. جهت پیکان از بالا تا پایین به ترتیب نشان‌دهنده‌ی حالت دست نخورده تا شرایط جدید را نشان می‌دهد. الف) محدود با دشت سیلابی اتفاقی و کوچک ب) پرشده-فروسایی شده ج) نسبتاً محدود با دشت سیلابی ناپوسته د) پرانرژی با بستر گراولی. توضیح این‌که در مطالعات رودخانه‌ای معمولاً بسترهای با رسوبات شنی و درشت‌تر را به طور کلی بستر گراولی می‌نامند.



کاربرد بازیافت ژئومورفیک رود در مدیریت رودخانه

جدول ۳- زمین شاخص‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری شرایط ژئومورفیک استیل‌های رود در

حوضه آبریز لایچ رود

استیل رود	محدود	محدود با دشت سیلابی اتفاقی و کوچک	نسبتاً محدود با دشت سیلابی ناپیوسته	پر شده - فروسایی شده	پر انرژی با بستر گراولی
زمین شاخص‌ها					
خصیصه‌های کانال					
اندازه	خیر	بله	بله	بله	بله
شکل	بله	بله	بله	بله	بله
مورفولوژی کرانه	خیر	بله	بله	بله	بله
ساختار گیاهان درون کانال	بله	بله	بله	بله	بله
واریزه‌های چوبی بزرگ (LWD)	خیر	خیر	بله	خیر	بله
پلانفرم کانال					
تعداد کانال‌ها	خیر	خیر	خیر	خیر	بله
سینوسیته کانال	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر
پایداری جانبی	خیر	بله	بله	بله	بله
واحدهای ژئومورفیک	بله	بله	بله	بله	بله
گیاهان حاشیه کانال رود	خیر	بله	بله	بله	بله
ویژگی بستر					
اندازه ذرات و جورشدگی	بله	بله	بله	بله	بله
پایداری بستر	خیر	بله	بله	بله	بله
تنوع هیدرولیک	بله	بله	بله	بله	بله
رژیم حمل رسوب	بله	بله	بله	بله	بله



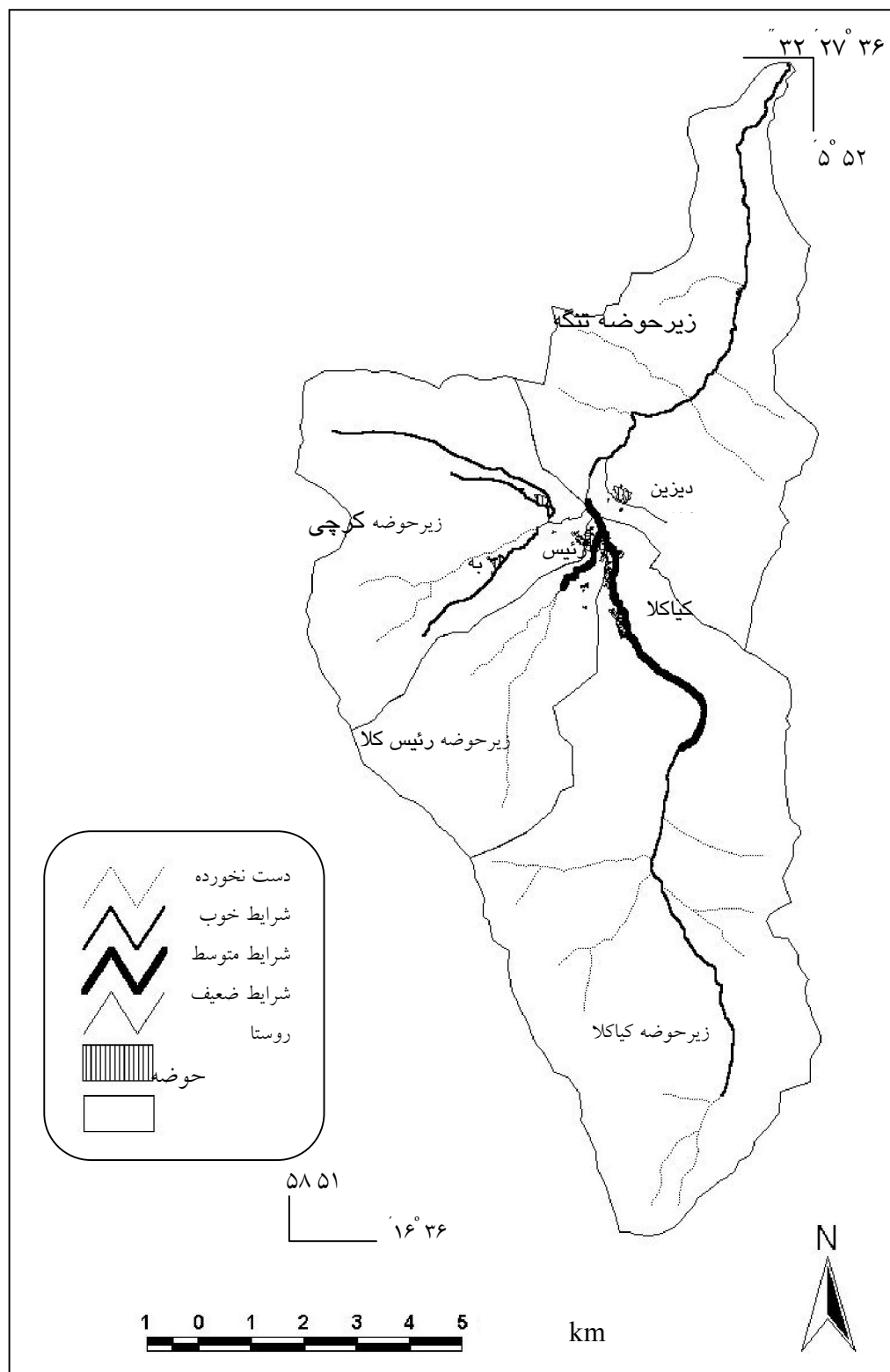
جدول ۴ - ماتریس تعیین شرایط ژئومورفیک استیل رود در حوضه لاویج رود

موقعیت دره	نام استیل رود	خصیصه‌های کانال	پلانفرم کانال	ویژگی بستر	شرایط ژئومورفیک
محدود	سرآب پرشیب	✓	✓	✓	خوب
	گلوگاه	✓	✓	✓	خوب
	محدود با کرانه ناپایدار (لغزشی)	*	*	*	ضعیف
	محدود با دشت سیلابی اتفاقی و کوچک (زیرحوضه رئیس‌کلا)	✓	✓	*	متوسط
نسبتاً محدود	نسبتاً محدود با دشت سیلابی ناپیوسته (زیرحوضه کیاکلا)	✓	*	✓	متوسط
	نسبتاً محدود با سینوزیته کم و دشت سیلابی ناپیوسته	✓	✓	✓	خوب
به صورت جانبی نامحدود	پر شده - فروسای شده	✓	*	*	متوسط
	پرانرژی با بستر گراولی	✓	✓	✓	خوب

- علامت ✓ نشان دهنده‌ی توان تعدیل رود و علامت * نشان‌دهنده‌ی ناتوانی تعدیل رود می‌باشد. سه علامت تیک شرایط ژئومورفیک خوب، سه علامت ضربدر شرایط ژئومورفیک ضعیف و دو علامت تیک یا ضربدر شرایط ژئومورفیک متوسط را نشان می‌دهند.

۳-۴- تعیین پتانسیل بازیافت ژئومورفیک رود

در هر ارزیابی از پتانسیل بازیافت ژئومورفیک رود باید به فشارهای ایجادشده بوسیله انسان که بر روی عملکرد فرآیندها در آینده و روابطشان در محیط طبیعی اثر می‌گذارد، توجه نمود. فشارهای ایجادشده در حوضه لاویج رود به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد. فشارهای غیرمستقیم که در سطح حوضه صورت گرفته شامل تغییرات کاربری اراضی، تخریب جنگل‌ها، فعالیت معدن کاری و احداث جاده می‌باشد. فشارهای مستقیم که در امتداد کانال رود صورت گرفته شامل برداشت شن و ماسه از بستر رود و حاشیه آن و حذف گیاهان حاشیه کانال رود^۱ می‌باشد.



شکل ۷- نقشه شرایط ژئومورفیک استیل‌های مختلف رود در حوضه لایچ رود

باتوجه به شکل ۸، استیل رود سرآب‌های پرشیب به علت دسترسی مشکل، بیشتر حالت دست نخورده یا تقریباً دست نخورده دارند. گلوگاههای موجود در زیرحوضه کیاکالا نسبت به تغییرات مقاوم بوده و پتانسیل بازیافت



بالایی دارد. اما گلوگاههای زیرحوضه تنگه باوجود مقاومت زیاد چون در پایین‌دست بازه‌هایی با شرایط ضعیف قرار گرفته و حجم رسوبات ورودی به این بازه زیاد می‌باشد، پتانسیل بازیافت متوسط تا بالا دارد. استیل رود محدود با کرانه ناپایدار به علت حساسیت نسبت به تغییر کرانه، ورود حجم زیادی از رسوب به درون کانال و تغییراتی که بوسیله انسان انجام شده شرایط ژئومورفیک ضعیف و پتانسیل بازیافت پایینی دارد. استیل رود محدود با دشت سیلابی اتفاقی و کوچک در زیرحوضه رئیس کلا، به صورت محلی تغییرات نسبتاً زیادی را تحمل نموده و به علت قرارگیری در پایین دست یک بازه با شرایط ضعیف و ورود حجم زیادی از رسوبات به درون کانال پتانسیل بازیافت متوسطی دارد. همین استیل رود در زیرحوضه تنگه به علت مقاومت کرانه‌های سنگ بستری و تغییرات کمتر، پتانسیل بازیافت بالایی دارد.

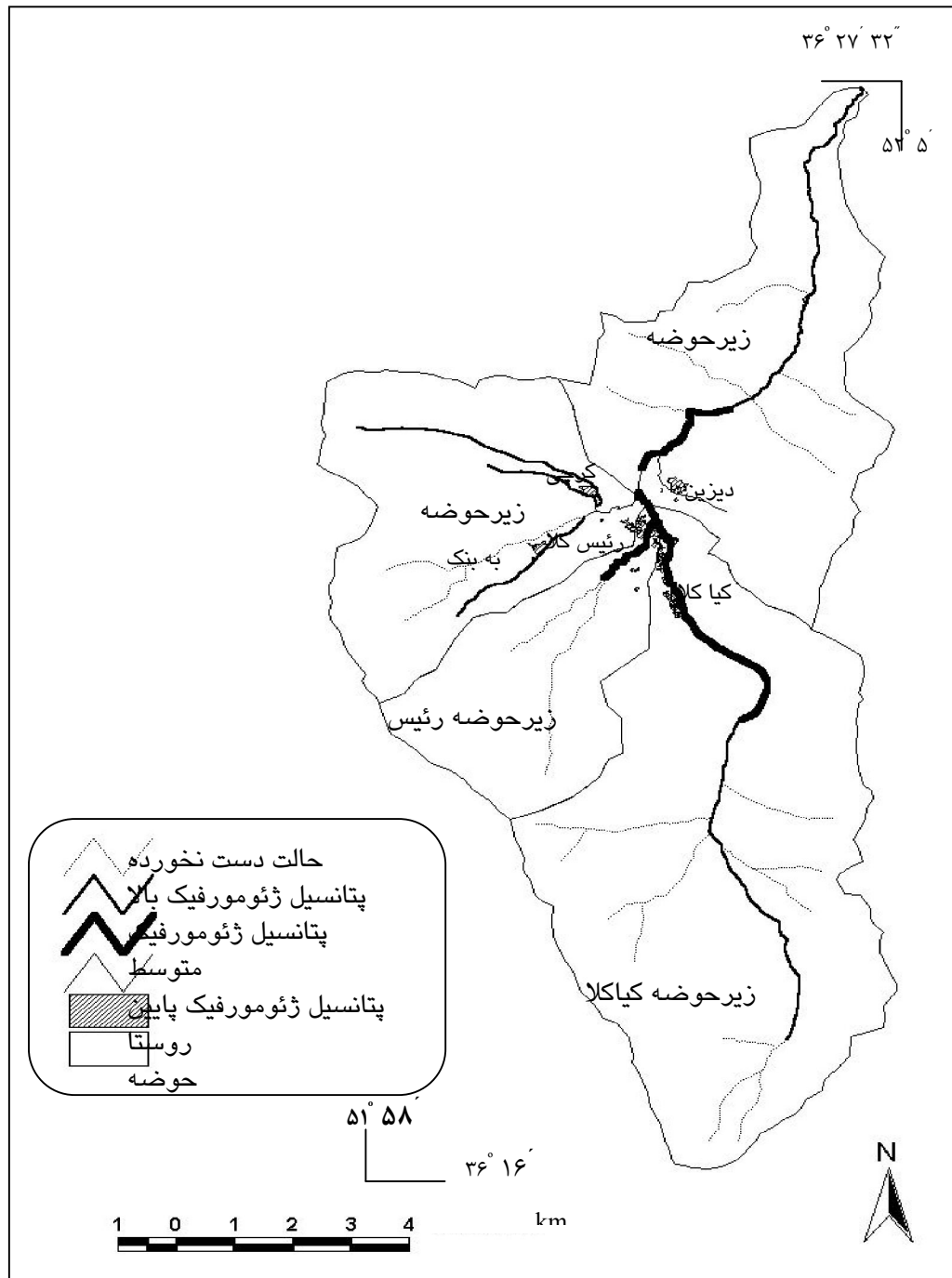
استیل‌های رود نسبتاً محدود با دشت سیلابی ناپیوسته در زیرحوضه کیاکلا حساسیت متوسطی نسبت به تغییر داشته و تغییرات برگشت‌پذیری را تجربه کرده است این بازه پتانسیل بازیافت متوسطی دارد. این استیل‌های نسبتاً محدود در زیرحوضه تنگه نسبت به تغییرات حساسیت متوسطی داشته و تغییرات برگشت‌پذیری را تجربه کرده‌اند. این بازه‌ها عمدتاً شرایط ژئومورفیک خوب و پتانسیل بازیافت بالایی دارند.

استیل رود پرشده - فروسایی شده در زیرحوضه کیاکلا نسبت به تغییرات حساس بوده و وجود موانع میان کانالی ورود زیاد رسوب را از کرانه‌های رود و بالادست نشان می‌دهد. این بازه پتانسیل بازیافت متوسطی دارد. استیل رود پرانرژی با بستر گراولی تغییرات برگشت‌پذیری را تجربه نموده است. باوجود حساسیت زیاد این بازه نسبت به تعدیل پوشش گیاهی درختی نقش مهمی در پایداری کرانه‌ها دارد. اگرچه ورود رسوبات به درون کانال از بالادست زیاد است با این وجود شواهد بازیافت ژئومورفیک مانند سکوه‌های آبرفتی در آن وجود داشته و پتانسیل بازیافت بالا تا متوسطی دارد.

به جز سرآبهای پرشیب که عمدتاً حالت تقریباً دست نخورده دارند، ۶۵ درصد استیل‌های رود در حوضه پتانسیل بازیافت بالایی دارند و عمدتاً شامل بازه‌هایی می‌شوند که کمتر تحت تأثیر دخالت انسان قرار گرفته‌اند یا از فشارهای انسانی رها شده و نشانه‌هایی از بهبودی شرایط ژئومورفیک در آنها مشاهده می‌شود. ۲۸ درصد استیل‌های رود در حوضه پتانسیل بازیافت متوسطی دارند و شامل استیل‌های رود نسبتاً محدود با دشت سیلابی ناپیوسته با کنترل سنگ بستر و پرشده - فروسایی شده زیرحوضه کیاکلا و محدود با دشت سیلابی اتفاقی و کوچک زیرحوضه رئیس کلا می‌شوند که هم اکنون نیز تحت تأثیر فشارهای انسانی قرار دارند. ۷ درصد از استیل‌های رودخانه‌ای پتانسیل بازیافت ضعیفی داشته که به علت بهره برداری نامناسب انسان از محیط طبیعی می‌باشد. تنها

کاربرد بازیافت ژئومورفیک رود در مدیریت رودخانه

بازه‌ای که در حوضه چنین شرایطی دارد استیل رود محدود با کرانه ناپایدار (لغزشی) است. در نتیجه بدون در نظر گرفتن استیل‌های تقریباً دست نخورده حدود ۶۵ درصد بازه‌های رود در حوضه لایوچ رود پتانسیل بازیافت بالایی دارند (شکل ۸).



شکل ۸- نقشه پتانسیل بازیافت ژئومورفیک در حوضه آبریز لایوچ رود

۴- مدیریت انواع استیل‌های رود

در این مرحله باتوجه به اطلاعات بدست آمده از مراحل مختلف چهارچوب استیل رود مسایل و مشکلات بازه‌های مختلف اولویت‌های مدیریتی ارائه می‌گردد (جدول ۵). استراتژی‌های اولویت‌دهی برای مدیریت در

چهارچوب استیل رود به صورت زیر است (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵):

- حفاظت مقدم بر توانبخشی، حفاظت از استیل‌های تقریباً دست نخورده در مسیر رود اولین اولویت است.

- بازه‌های استراتژیک، این بازه‌ها که به صورت بالقوه مورد تهدید اثرات خارج از محل قرار دارند، دومین اولویت می‌باشند. صرف نظر از شرایط ژئومورفیک آنها، این بازه‌ها باید زودتر در فرآیندهای توانبخشی رود مورد توجه قرار گیرند.

- بازه‌های با پتانسیل بازیافت طبیعی بالا: که احتمال موفقیت مدیریت در این بازه‌ها زیاد است.

- توجه به کارهای مشکل‌تر: در بازه‌های تنزل یافته که تعدیل‌های مداوم را تجربه کرده‌اند، برنامه‌های توانبخشی رود ممکن است نتیجه واقعی ندهد. بازه‌های تنزل یافته اغلب نیاز به تکنیک‌های توانبخشی هجومی با مراقبت دایمی و گران دارند. اگرچه به صورت متداول می‌توان از فعالیت‌های مهندسی رودخانه استفاده نمود.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به مباحثی که به صورت فشرده در این مقاله مطرح گردید. روش چهارچوب استیل رود برای پیش‌بینی رفتار رود و ارائه راهکارهای مدیریتی در حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها قابلیت استفاده دارد. این روش می‌تواند راهنمای مناسبی برای ژئومورفولوژیست‌ها جهت ارائه راهکارهای مدیریتی باشد. اگرچه ماهیت این روش به صورت نیمه کمی است اما می‌توان آن را در شرایط مختلف اقلیمی انجام داد و نتایج آن را مورد واسنجی قرار داد. علاوه بر آن بازیافت ژئومورفیک رود که نیاز به مطالعات کمی بیشتری دارد به عنوان مفهومی که تغییر رفتار رود و جریان آب و رسوب را در خود نهفته دارد می‌تواند به عنوان یک موضوع مهم در مطالعات ژئومورفیک رود مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد. نتایج این تحقیقات می‌تواند برای مدیریت رودخانه در زمینه‌های اکولوژی رود و طرحها و سازه‌های مهندسی مفید واقع شده و مشارکت هرچه بیشتر ژئومورفولوژیست‌ها را در برنامه ریزی و مدیریت محیط به همراه داشته باشد.



نام استیل رود	مسأله	شرایط ژئومورفیک	پتانسیل بازیافت	شرایط هدف	اولویت مدیریتی
سرآب پرشیب	حمایت از شرایط دست نخورده حال حاضر	دست نخورده	بالا	حفاظت از شرایط دست نخورده و پیشگیری از فرسایش و ورود بیش از حد رسوبات به دره	حفاظتی (۱)
گلوگاه	حمایت از شرایط خوب کنونی	خوب	خوب تا متوسط	حفاظت از شرایط خوب	حفاظتی (۱)
محدود با کرانه ناپایدار	ورود حجم زیادی از رسوبات از دامنه‌های لغزشی مجاور دره	ضعیف	ضعیف	کنترل دامنه‌ها برای جلوگیری از ورود رسوب به درون کانال و بازه‌های پایین دست	استراتژیک (۲)
محدود با دشت سیلابی اتفاقی و کوچک	ورود حجم زیادی از رسوب به درون کانال انتقال آن به پایین دست	متوسط	متوسط	کنترل ورود رسوب به درون کانال و بازه‌های پایین دست	استراتژیک (۲)
نسبتاً محدود با دشت سیلابی ناپیوسته و تحت کنترل سنگ بستر	پهن شدگی کرانه کانال و تخریب پوشش گیاهی ری‌پارین	متوسط	متوسط	بهبود پوشش گیاهی بر روی دشت سیلابی با جوامع گیاهی بومی	بازه‌های با پتانسیل بازیافت متوسط (۴)
نسبتاً محدود با سینوزیته کم و دشت سیلابی ناپیوسته	رها شدن حجم زیادی از رسوبات در دشت سیلابی ناپیوسته که بالقوه می‌تواند باعث افزایش رسوب برای بازه‌های پایین دست و کاهش پتانسیل بازیافت آنها گردد.	خوب	خوب	گسترش ارتباط بازه‌های با شرایط ژئومورفیک خوب	بازه‌های مرتبط با پتانسیل بالا (۳)
پرسده - فروساییده شده	رها شدن زیاد رسوبات از کرانه، بازه‌های پایین دست را تهدید می‌کند و پوشش گیاهی ری‌پارین تخریب شده است	متوسط	متوسط	بهبود پوشش گیاهی بومی و جلوگیری از پهن‌شدگی کانال و کاهش ورود رسوب به درون کانال	استراتژیک (۲)
پرانرژی با بستر گراولی	پهن شدگی کانال و ورود حجم زیادی از رسوبات آبرفتی موجود در کرانه	خوب	خوب تا متوسط	گسترش ارتباط بازه‌های با شرایط خوب	بازه‌های مرتبط با پتانسیل بالا (۳)

جدول ۵- اولویت‌های مدیریتی انواع استیل رود در حوضه آبریز لاریج رود

منابع

- ۱- اسماعیلی، رضا، محمدحسین رضایی مقدم و محمدمهدی حسین زاده، (۱۳۸۹)، طبقه بندی انواع رودها براساس روش استیل رود، مطالعه موردی: البرز شمالی، حوضه آبریز لایوچ رود، محیط جغرافیایی، سال یکم، شماره ۱. دانشگاه تهران.
- ۲- اسماعیلی، رضا، محمدمهدی حسین زاده و صدرالدین متولی، (۱۳۹۰)، تکنیک‌های میدانی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، انتشارات لاهوت، چاپ اول.
- 3- Brierley, G.L. and Fryirs, K. 2005. *Geomorphology and River Management: Application of the River Style framework*. Blackwell publishing, UK. pp 398.
- 4- Brierley, G.L. and Fryirs, K. 2009, Don't Fight the site: Three geomorphic considerations in catchment-scale river rehabilitation planning, *Environmental Management*, 43:1201-1218.
- 5- Brierley, G.L. and Fryirs, K., Outhet, D. and Massey, C. 2002. Application of the river Style framework in the catchment, New South Wales, Australia, *Applied Geography* 22: 91-122.
- 6- Brooks, A.P. and Brierley, G.L. 2004. Framing realistic river rehabilitation targets in light of altered sediment supply and transport relationship: lessons from East Gippsland, Australia. *Geomorphology* 58: 107-123.
- ۷- Caruso, B.S. 2006, Project River Recovery: restoration of braided gravel-bed river habitat in New Zealand's high country, *Environmental management*, Vol.37, No.6, pp.840-861.
- 8- Caruso, B.S and Downs, P.W. 2007, Rehabilitation and flood management planning in a steep boulder-bedded stream. *Environ Manage*, 40:256-271.
- 9- Downs, P.W. 1994. Characterization of river channel adjustment in the Thames Basin, Southeast England. *Regulated Rivers: Research and Management* 9: 151-175.
- 10- Fryirs, K. and Brierley, G. 2000. A Geomorphic approach to the identification of river recovery potential. *Physical Geography* 21: 244-277.
- 11- Gore, J.A., Kelly, J.R. and Young, J.D. 1990. Application of ecological theory to determining recovery potential of disturbed lotic ecosystems: research needs and priorities. *Environmental Management*, 14: 755-762.
- 12- Jacobson, R.B., Janke, T.P. and Skold, J.J. 2011, Hydrologic and geomorphic considerations in restoration of river-floodplain connectivity in a highly altered river system, Lower Missouri River, USA, *Wetland Ecol Manage*, 19:295-316.
- 13- Reice, S.R., Wissmar, R.C. and Naiman, R.J. 1990. Disturbance regimes, resilience, and recovery of animal communities and habitats in lotic ecosystems. *Environmental Management*, 14:647-659.
- 14- Rutherford, I.D., Ladson, A., Tilleard, J., Stewardson, M., Ewing, S., Brierley, G.L. and Fryirs, K. 1998. Research and development needs for river restoration in Australia. Report to the National River Health program Management Committee of land and Water Resources Research and Development Corporation, Canberra. LWRDC Occasional Paper 15/98.
- 15- Sear, D.A., Newson, M.D. and Brooks, A. 1995. Sediment related river maintenance: the role of fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20: 629-647
- 16- Wallerstien, N.P. and Thorn, C.R. 2004. Influence of large woody debris on morphological



evolution of incised, sand-bed channels. *Geomorphology* 57: 53-73.

17-Wilson, W.E., and Moore, J.E. 1998, Glossary of hydrology, American Geological Institute Alexandria, Virginia. pp: 248.