

ارزیابی و تحلیل شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانهی لویج با استفاده از شاخص کیفیت مورفولوژیکی

رضا اسماعیلی* - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران
ساره ولی خانی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۱/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۱۰/۱۷

چکیده

استفاده انسان از رودخانه و نوع دخالت آن، می‌تواند موجب تغییراتی در کانال رود و حاشیه آن گردد. در این تحقیق کیفیت مورفولوژیکی رودخانه لویج در البرز شمالی مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد. جهت انجام این کار از روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی رود (MQI) استفاده شده است. در این روش رودخانه به بازه‌های همگن تقسیم‌بندی می‌شود و سه مؤلفه اصلی کیفیت عملکرد مورفولوژیکی، سازه‌های مصنوعی و تعدیل کانال مورد بررسی قرار می‌گیرد. این سه مؤلفه شامل مجموعه‌ای از ۲۸ شاخص هستند که در آن‌ها پیوستگی طولی و عرضی، الگوی کانال، مقطع عرضی، ساختار بستر و پوشش گیاهی حاشیه رودخانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در رودخانه لویج شش بازه مشخص گردید و سپس شاخص‌های فوق برای هر یک از بازه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. بازه‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ به علت دخالت کم عوامل انسانی امتیاز بیش از ۸۵٪ کسب نموده و در گروه بسیار خوب طبقه‌بندی شده‌اند. بازه ۲ به علت دخالت‌های انسانی محدود امتیاز ۷۶٪ کسب نموده و در طبقه خوب قرار گرفت. بازه ۶ به علت دخالت‌های زیاد انسان مانند معدن شن و ماسه، تغییر شیب، عرض و الگوی کانال و ایجاد سازه‌های مهندسی مانند آبشارهای کوتاه، کف بند بتونی و ایجاد خاک ریزهای مصنوعی بیشترین تغییرات را تحمل نموده و امتیاز ۲۲٪ را کسب نموده که در طبقه بد قرار گرفته است. اگرچه این روش در ایتالیا مورد استفاده قرار گرفته است. با وجود این در رودخانه مورد مطالعه به طور مناسبی کیفیت مورفولوژیکی رود را ارزیابی نموده است.

واژگان کلیدی: طبقه‌بندی رود، شاخص کیفیت مورفولوژیکی (MQI)، رودخانه لویج، استان مازندران.

مقدمه

رودخانه‌ها به طور طبیعی و در طی زمان بستر و کناره‌های خود را تغییر می‌دهند. اما دخالت انسان‌ها در محیط و بهره‌برداری از رودخانه‌ها، فرایند تغییر را تسریع نموده و از روال طبیعی خارج می‌نماید، به طوری که در برخی از موارد روند قبلی قابل بازیابی نخواهد بود. از این رو، جهت استفاده مطلوب از رودخانه‌ها، حفظ ویژگی‌های مورفولوژیکی رودها، کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب، حفظ اکوسیستم‌های رودخانه نیاز به مدیریت رود می‌باشد. در طی دهه‌های اخیر ژئومورفولوژی رودخانه‌ای به عنوان ابزار تجربی و مفید به مدیریت رودخانه وارد شده است (نیوسون و لارج^۱، ۲۰۰۶).

اصطلاح هیدرومورفولوژی توسط WFD^۲ اتحادیه اروپا (۲۰۰۰) برای بررسی هر نوع تغییرات در رژیم جریان، حمل رسوب، مورفولوژی رود و جابجایی‌های جانبی کانال معرفی گردید و به صورت یک موضوع میان‌رشته‌ای بین هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و اکولوژی درآمد و دیدگاه‌ها و فرصت‌های جدیدی را برای توجه به فرایندهای فیزیکی در مدیریت رودخانه به وجود آورد (رینالدی و همکاران ۲۰۱۳). یکی از راهکارهای سریع جهت درک عملکرد رودخانه، استفاده از روش‌های طبقه‌بندی رود می‌باشد. طبقه‌بندی رودها می‌تواند واکنش کانال‌ها را در بازه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار دهد تا خطرات ناشی از فرایندهای رودخانه‌ای را به حداقل برساند. در واقع طبقه‌بندی، سبب درک سریع شرایط ژئومورفیکی کانال و ارزیابی و تقویت درک مدیریت رود می‌شود (روزگن^۳، ۱۹۹۴).

تاکنون پژوهش‌های متعددی توسط محققین در زمینه طبقه‌بندی رود انجام شده است. بافینگتن و مونتگمری^۴ (۲۰۱۳) این روش‌ها را در ۸ گروه تقسیم‌بندی نموده‌اند که عبارتند از:

- ۱- رتبه‌بندی رود مانند روش هورتون (۱۹۴۵) و استرالر (۱۹۵۷).
- ۲- فرایند مبنا: رودخانه را به مناطق حفر، انتقال و نهشته‌گذاری رسوب برحسب فرایندهای رودخانه‌ای تقسیم بندی می‌کند (پاوستیان^۵ و همکاران ۱۹۹۲، روزگن ۱۹۹۴ و ۱۹۹۶)
- ۳- الگوی کانال: بیشترین طبقه‌بندی رودخانه‌ای براساس الگوی کانال می‌باشد که می‌تواند به دو روش روابط کمی (لئوپلد و ولمن^۶ ۱۹۵۷، بیچی^۷ و همکاران ۲۰۰۶) و چهارچوب مفهومی (شوم^۸ ۱۹۸۵، چورچ^۹ ۲۰۰۶) تقسیم شود.
- ۴- رابطه متقابل کانال-دشت سیلابی: این نوع طبقه‌بندی اثرات متقابل رودخانه و دشت سیلابی را مورد بررسی قرار می‌دهد (نانسون و کروک^{۱۰} ۱۹۹۲ و فریرس و بریرلی^{۱۱} ۲۰۱۰).
- ۵- مواد رسوبی بستر و حرکت آن: از جمله این طبقه‌بندی می‌توان به کار وایتینگ و برادلی^۱ ۱۹۹۳، ماسونگ^۲ و مونتگمری ۲۰۰۰ و بافینگتن ۲۰۱۲ اشاره نمود.

¹ -Newson and Large

² - Water Framework Directive

³ - Rosgen

⁴ - Buffington and Montgomery

⁵ - Paustian

⁶ - Leopold and Wolman

⁷ - Beechie

⁸ - Schumm

⁹ - Church

¹⁰ - Nanson and Croke

¹¹ - Fryirs and Brierley

۶- واحدهای کانال: این نوع طبقه بندی، اشکال ژئومورفیک کانال را تقسیم بندی می نمایند که می توان به روش های بیسون^۳ و همکاران^{۱۹۸۲}، گرن^۴ و همکاران^{۱۹۹۰} و مونتگمری و بافینگتن^{۱۹۹۷} اشاره کرد.

۷- طبقه بندی سلسله مراتبی: در این حالت، طبقه بندی رود براساس حوضه آبریز و کانال انجام می شود و درک همه جانبه ای را از فرایندهای حوضه فراهم می سازد مانند روش استیل رود بریرلی و فریرس^{۲۰۰۵}.

۸- طبقه بندی آماری: در این حالت طبقه بندی و پیش بینی مورفولوژی کانال براساس روش های آماری می باشد (بلدستو و واتسون^{۲۰۰۱}، تامسون^۶ و همکاران^{۲۰۰۶}، میلنر^۷ ۲۰۱۰).

جدیدترین طبقه بندی رود توسط رینالدی^۸ و همکارانش (۲۰۱۳) در مورد شاخص کیفیت مورفولوژیک^۹ (MQI) رود در کشور ایتالیا ارائه شده است. این روش با در نظر گرفتن اشکال و فرایندهای رودخانه ای، به ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخانه می پردازد. ویژگی های اصلی و جنبه های نوآوری MQI را می توان به شرح زیر خلاصه کرد (رینالدی و همکاران^{۲۰۱۳}):

- استفاده از این روش نسبتاً ساده بوده و بیش از حد وقت گیر نیست. اما استفاده از آن باید توسط افراد آموزش دیده با زمینه مناسب و مهارت های کافی در ژئومورفولوژی رودخانه ای انجام پذیرد.
- این روش فقط با توجه به اشکال کانال طراحی نشده بلکه همه ی فرایندها مانند تداوم در شار رسوب و چوب، فرسایش کرانه، جابجایی جانبی و تعدیل کانال در نظر گرفته شده است.
- در این روش جهت استفاده از عامل زمان، تجزیه و تحلیل تاریخی در شاخص های ارزیابی کیفیت مورفولوژیک رودخانه مورد توجه قرار گرفته است.
- با توجه به مقیاس فضایی، یک رویکرد سلسله مراتبی مورد استفاده قرار گرفته است.
- شرایط مورفولوژیکی منحصرأ برحسب فرایندهای طبیعی ارزیابی شده بدون اینکه استدلالی در مورد پیامدها یا کاربردهای آن در وضعیت زیست محیطی داشته باشد. این بدین مفهوم است که کیفیت مورفولوژیکی بالا، لزوماً به معنی شرایط زیست محیطی خوب نیست. اگرچه دینامیک ژئومورفیک یک رودخانه و کارکرد فرایندهای فیزیکی طبیعی آن، ایجاد و نگهداری زیستگاه ها را تضمین می نماید.
- در این تحقیق با توجه به وجود ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانه لایچ و وجود پایگاه داده مناسب از حوضه و رودخانه مذکور، از شاخص کیفیت مورفولوژیک رود استفاده شده است تا از طرفی، کیفیت هیدرومورفولوژیکی رودخانه لایچ و از طرف دیگر، کارایی این روش در منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز و رودخانه لایچ به عنوان منطقه مورد مطالعه در این تحقیق در استان مازندران و جنوب شهر نور در دامنه های شمالی البرز قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت تقریبی حوضه آبریز لایچ رود تا خروجی از کوهستان حدود ۱۴۶ کیلومتر مربع می باشد. طول رودخانه اصلی از مرتفع ترین نقطه (۳۴۰۰ متر) تا ارتفاع ۱۰۰ متر ۲۹ کیلومتر می باشد.

¹ - Whiting and Bradley

² - Massong

³ - Bisson

⁴ - Grant

⁵ - Bledsoe and Watson

⁶ - Thompson

⁷ - Milner

⁸ - Rinaldi

⁹ - Morphological Quality Index (MQI)

میانگین دبی سالانه رودخانه لایوچ ۱/۷ مترمکعب در ثانیه است. از نظر توپوگرافی محدوده مورد مطالعه از سه واحد کوهستان، کوهپایه و دشت تشکیل شده است و نمونه‌های مورد مطالعه از همه‌ی واحدهای مذکور انتخاب شده‌اند.

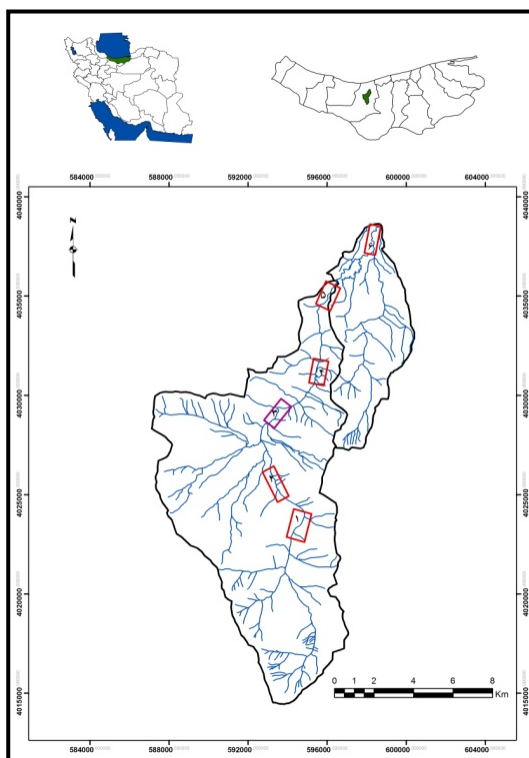
۳- مواد و روش‌ها

روش شاخص کیفیت مورفولوژیک رود (MQI) از دو فاز اصلی و چند مرحله فرعی تشکیل شده است. در فاز اول موقعیت عمومی منطقه مورد بررسی قرار گرفته و در فاز دوم با استفاده از شاخص‌های مختلف کیفیت مورفولوژیکی رود مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۳-۱- فاز اول

فاز اول روش MQI شامل چهار مرحله می‌باشد (جدول ۱) که عبارتند از :

- مرحله اول : در این مرحله ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، آب و هوا و کاربری اراضی کل حوضه آبریز مورد بررسی قرار می‌گیرد که نتیجه‌ی آن شناسایی واحدهای فیزیوگرافی است (معادل واحد چشم‌انداز در روش استیل رود بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵).



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آبریز لایوچ، شماره‌های روی نقشه نشان‌دهنده‌ی شماره بازه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

- مرحله دوم : در مرحله دوم، محدودیت جانبی رود با جزئیات بیشتری بررسی شده و سه موقعیت محدود، نسبتاً محدود و نامحدود (از طرفین آزاد) شناسایی می‌شوند (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵). این اصطلاحات درباره دره‌های طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به صورت جانبی پهنای آن‌ها به دامنه‌ها یا تراس‌های قدیمی محدود می‌شود. در حالی که عوامل مصنوعی (محافظ کرانه رود، سنگچین‌ها و مناطق شهری) به عنوان

عوامل محدودکننده در نظر گرفته نمی‌شوند. محدودیت‌های جانبی با اندازه‌گیری «درجه محدودیت»^۱ یعنی درصدی از کرانه‌ها که با دامنه‌ها یا تراس‌های قدیمی در تماس بوده و به طور مستقیم در تماس با دشت سیلابی نیستند (بریرلی و فریرس ۲۰۰۵) و «شاخص محدودیت»^۲ که نسبت بین عرض دشت آبرفتی و عرض کانال می‌باشد، تعریف می‌شوند (رینالدی و همکاران ۲۰۱۲).

مرحله سوم: در این مرحله مورفولوژی کانال بر اساس محدودیت کانال و الگوی پلانیمتری رود به هفت طبقه‌ی مستقیم، سینوسی، پیچانرودی، تک‌کانالی، شریانی سرگردان، شریانی و آناستوموسینگ تقسیم می‌شوند. برای کسب جزئیات بیشتر در این مرحله می‌توان برای محدوده تک‌کانالی از روش پیکربندی بستر رود (مونگمری و بافینگتن، ۱۹۹۷) استفاده نمود.

مرحله چهارم: با توجه به وجود ناپیوستگی‌ها در کانال رود مانند ناپیوستگی‌های هیدرولوژیکی (زیرشاخه‌های رود، سدها)، شیب بستر (خصوصاً برای بازه‌های محدود)، تغییرات مرتبط با عرض کانال، پهنای دشت آبرفتی و بار رسوب رودخانه به بازه‌های نسبتاً همگن تقسیم‌بندی می‌شود. این بازه‌ها معمولاً به طول چند کیلومتر نشان‌دهنده‌ی واحدهای اولیه برای ارزیابی شرایط مورفولوژیک می‌باشند.

جدول ۱: خلاصه‌ای از موقعیت عمومی و روش تقسیم‌بندی رود

مراحل	معیار	خروجی
مرحله ۱: موقعیت عمومی و شناسایی واحدهای فیزیوگرافی	ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی	- واحد فیزیوگرافی - بخش‌ها
مرحله ۲: تعریف انواع محدودیت‌های دره	محدویت جانبی	انواع حالت‌های محدودیت رود - محدود (C) - نسبتاً محدود (PC) - نامحدود (U)
مرحله ۳: شناسایی تیپ‌های مختلف مورفولوژیکی	ویژگی پلانیمتری (شاخص‌های سینوسی، شریانی، آناستوموسینگ)	تیپولوژی مورفولوژیکی - محدود: تک‌کانالی، شریانی سرگردان، آناستوموسینگ نسبتاً محدود و نامحدود: مستقیم، سینوسی، پیچانرودی، سینوسی با موانع متناوب، شریانی، سرگردان، آناستوموسینگ انشعابی
مرحله ۴: تقسیم‌بندی بازه‌های کانال رود	ناپیوستگی‌های بیشتر در هیدرولوژی شیب بستر، عرض کانال، عرض دشت آبرفتی، رسوبات بستر	بازه‌ها

۳-۲- فاز دوم: ساختار و شاخص‌های ارزیابی

برای ارزیابی کیفیت مورفولوژیک بازه‌های رودخانه‌ای سه جنبه زیر مورد توجه بوده است:

(۱) پیوستگی فرایندهای رودخانه‌ای، شامل پیوستگی طولی و عرضی

(۲) شرایط مورفولوژیکی کانال شامل الگوی کانال، شکل مقطع عرضی و رسوبات بستر

¹ - degree of confinement

² - confinement index

۳) پوشش گیاهی

این جنبه‌ها در قالب سه مؤلفه‌ی ۱) عملکردهای ژئومورفولوژیکی فرآیندها و اشکال رودخانه‌ای (F)، ۲) مصنوعی (A) و ۳) تعدیل‌های کانال (CA)، مورد تحلیل قرار می‌گیرد. مجموعه‌ی ۲۸ شاخص مورد استفاده در روش MQI به صورت شماتیک در جدول ۲ نشان داده شده است که شامل جنبه‌ها (در سطرها) و مؤلفه‌ها (در ستون‌ها) می‌شود.

جدول ۲: فهرست شاخص‌ها به عنوان یک تابع از جنبه‌های اصلی (پیوستگی، مورفولوژی و پوشش گیاهی) و اجزای ارزیابی (عملکردی، مصنوعی و تعدیل کانال)				
تعدیل‌های کانال (CA)	مصنوعی (A)	عملکردی (F)		
	A1,A2,A3,A4,A5	F1	طول	پیوستگی
	A6,A7	F2,F3,F4,F5	جانبی	مورفولوژی
CA1	A8(A6)	F6,F7,F8	الگوی کانال	
CA2,CA3	(A4,A9,A10)	F9	مقطع عرضی	
	A9,A10,A11	F10,F11	رسوبات بستر	
	A12	F12,F13	پوشش گیاهی	

در فاز تقسیم‌بندی رود براساس محدودیت کانال، سه طبقه‌ی ۱) محدود ۲) نسبتاً محدود و ۳) نامحدود قابل‌شناسایی است (جدول ۱). اما در این روش، جهت ارزیابی شاخص‌ها از دو طبقه‌ی ۱- محدود (C) و ۲- نسبتاً محدود (PC) و نامحدود (U) استفاده می‌شود. این بدین معنی است که برخی از شاخص‌ها برای هر دو طبقه فوق‌اشتراک داشته و برخی فقط برای گروه خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند مثلاً وجود و گسترش دشت سیلابی جدید فقط در کانال‌های نسبتاً محدود و نامحدود مورد توجه قرار گرفته و در کانال‌های محدود بررسی نمی‌شوند.

شاخص ارزیابی کیفیت مورفولوژیکی رود

گروه اول شامل شاخص‌های عملکردی ژئومورفولوژیکی است. این مجموعه شاخص‌ها (F1-F13) برای بررسی اینکه آیا اشکال و فرآیندهای کانال منطبق با نوع مورفولوژی مورد انتظار هستند یا خیر، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نوع مورفولوژی در مرحله ۳ فاز اول «موقعیت عمومی» مشخص می‌شوند. جدول ۳ پارامترها، روش‌های ارزیابی و محدوده کاربرد هر یک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد. در جدول ۴ نیز هر یک از شاخص‌ها طبقه‌بندی شده و طبقات و امتیازهای آن‌ها توصیف و تعیین می‌گردند.

شاخص‌های گروه دوم (A1-A12)، شاخص‌های مصنوعی هستند و عناصر مصنوعی را در حوضه و امتداد بازه‌ها ارزیابی می‌کنند. این عناصر مصنوعی هم در سه جنبه پیوستگی (ایجاد سدها و تغییرات دبی و رسوب از بالادست به پایین‌دست)، مورفولوژی (مانند سازه‌های عرضی، کف بندها، محافظ‌های کرانه، خاک ریزهای مصنوعی و غیره) و پوشش گیاهی (جابجایی واریزه‌های چوبی موجود در بازه و قطع و تخریب گیاهان حاشیه

رود به وسیله انسان) مورد بررسی قرار می‌گیرند (جداول ۳ و ۵). شاخص‌های گروه سوم (CA1-CA3) تغییرات و تعدیل الگوی کانال، عرض و سطح اساس بستر رود را برای رودهای با عرض بیش از ۳۰ متر مورد ارزیابی قرار می‌دهند (جداول ۳ و ۶).

جدول ۳: تعریف پارامترها، روش‌های ارزیابی و محدوده کاربرد هر یک از شاخص‌های ارزیابی

محدوده کاربرد	روش‌های ارزیابی	شاخص‌ها و پارامترهای ارزیابی
همه‌ی انواع رود	سنجش از راه دور و یا پایگاه داده مداخلات سازه‌های عرضی؛ بررسی میدانی؛ ارزیابی گیرش رسوب به صورت جزئی یا کلی (کیفی).	F1- پیوستگی طولی در شار رسوب و چوب، وجود سازه‌های عرضی (سدهای سیم و توری، سدهای کنترلی، پل‌ها و...) به صورت بالقوه ممکن است شار طبیعی رسوب و چوب را در امتداد رود تغییر دهد.
PC-U: در مورد رودخانه‌های کوهستانی با شیب بیش از ۳٪ و مخروط افکنه‌ها بررسی نمی‌شود.	- سنجش از راه دور و GIS: اندازه‌گیری از بخش طولی و عرضی (کمی) بررسی میدانی؛ شناسایی/ بررسی از دشت سیلابی جدید (کیفی)	F2- وجود یک دشت سیلابی جدید، عرض و طول یک دشت سیلابی جدید
C	سنجش از راه دور و GIS؛ شناسایی و اندازه‌گیری طول عناصر قطع کننده (کمی)، بررسی میدانی؛ بررسی عناصر قطع کننده (کیفی)	F3- پیوستگی رودخانه و دامنه و وجود عناصر قطع کننده (مثلاً جاده‌ها) در حریم ۵۰ متری از رودخانه
PC-U: در مورد کانال‌های مستقیم- سینوسی با انرژی کم (رودخانه‌های پایین دست، کم شیب و یا بار بستی) محاسبه نمی‌شود.	سنجش از دور / ویا بررسی میدانی؛ شناسایی کناره‌های در حال فرسایش (کیفی)	F4- فرایندهای پسروری کرانه، وجود یا عدم وجود پسروری کرانه
PC-U	سنجش از راه دور و GIS: اندازه‌گیری از عرض و طول (کمی)	F5- عرض و طول کریدور فرسایش پذیر یعنی محدوده بدون سازه‌های مرتبط (مثلاً محافظ‌های کرانه و خاکریزها) یا زیرساخت‌ها مانند جاده‌ها و خانه‌ها
تک کانالی C: برای رودهای سنگ بستری و برای رودهای عمیق جایی که مشاهده بستر امکان پذیر نمی‌باشد ارزیابی نمی‌شود.	نقشه‌های توپوگرافی؛ میانگین شیب دره (کمی) بررسی میدانی؛ شناسایی پیکر بندی بستر (کیفی)	F6- پیکربندی بستر مرتبط با شیب دره (یعنی کاسکاد، سکو، چالاب و...) شناسایی پیکربندی بستر در مورد وجود ساختارهای عرضی و مقایسه با پیکر بندی مورد انتظار بر اساس شیب دره
PC-U: کانال‌های با موانع طولی یا C: چند کانالی	سنجش از راه دور و GIS: شناسایی و اندازه‌گیری از طول بخش‌های تغییر یافته (کمی) بررسی میدانی؛ شناسایی / کنترل (کیفی)	F7- اشکال و فرایندهای خاص الگوی کانال: درصد طول مسیر با تغییرات طبیعی و ناهمگنی اشکال مورد انتظار برای آن نوع رود که به وسیله عوامل انسانی ایجاد شده است.
PC-U: تنها در مورد رودخانه‌های پیچانرودی در دشت پست (کم شیب) ارزیابی می‌شود.	سنجش از راه دور یا بررسی میدانی؛ شناسایی کنترل اشکال رودخانه (کیفی)	F8- وجود اشکال رودخانه‌ای نمونه در دشت آبرفتی، وجود/عدم وجود اشکال رودخانه در دشت آبرفتی (به عنوان مثال: دریاچه نعلی شکل، کانال‌های ثانویه...)
همه‌ی انواع رود: در مورد کانال‌های مستقیم، سینوسی یا پیچانرودی که به صورت طبیعی فاقد موانع باشند (رودخانه‌های مناطق پست، کم شیب و یا بار بستی کم) ارزیابی نمی‌شود.	بررسی میدانی؛ شناسایی / کنترل (کیفی) سنجش از راه دور و GIS: شناسایی و اندازه‌گیری از طول قسمت‌های تغییر یافته (کمی)	F9- تغییرپذیری مقطع عرضی: درصد طول بازه با تغییرات طبیعی ناهمگن مقاطع عرضی مورد انتظار برای آن نوع رودخانه که به وسیله عوامل انسانی ایجاد شده است.
همه‌ی انواع رود: برای رودهای سنگ بستری یا بستر ماسه‌ای و یا برای کانال‌های عمیق که مشاهده بستر امکان پذیر نیست ارزیابی نمی‌شود	بررسی میدانی؛ ارزیابی بصری (کیفی)	F10- ساختار بستر کانال: وجود یا عدم وجود تغییرات رسوبات بستر (بستر زره مانند، فراوانی رسوبات ریزدانه، رخنمون سنگ بستری، بستر سنگ‌چین)
همه‌ی انواع رود: در بالاتر از مرز جنگل در رودهای با عدم وجود گیاهان ری پاران (حاشیه رود) ارزیابی نمی‌شود.	بررسی میدانی؛ ارزیابی بصری (کیفی)	F11- وجود چوب‌های بزرگ در کانال: وجود و یا عدم وجود چوب‌های بزرگ
همه‌ی انواع رود: در بالای مرز جنگل و در رودخانه‌هایی که گیاهان طبیعی وجود ندارد ارزیابی نمی‌شود.	سنجش از راه دور و GIS: شناسایی و اندازه‌گیری عرض متوسط پوشش گیاهی خودرو (کمی)	F12- محدوده‌ی گیاهان عملکردی: میانگین عرض (یا سطح گسترش) گیاهان در کریدور رودخانه که بالقوه با فرایندهای رودخانه‌ای ارتباط دارد.

F13-گسترش خطی پوشش گیاهی عملکردی: امتداد پوشش گیاهی طبیعی در امتداد کرانه‌های متصل به کانال	سنجش از راه دور و GIS: شناسایی و اندازه‌گیری امتداد طولی پوشش گیاهی در حاشیه رود(کمی)	همه‌ی انواع رود: در بالای مرز جنگل و در رودخانه‌هایی که گیاهان طبیعی وجود ندارد ارزیابی نمی‌شود.
A1-تغییرات در بالادست جریان رود: مقدار تغییرات در دبی که به علت مداخلات در بالادست رود رخ داده است (سدها، بندهای انحرافی....)	داده‌های هیدرولوژیکی: ارزیابی افزایش/کاهش دبی که به علت مداخلات ایجاد شده است (کمی) در صورت فقدان داده‌های موجود ارزیابی براساس مداخلات موجود و کاربرد آن می‌باشد(کیفی)	همه‌ی انواع رود
A2-تغییر در بالادست دبی رسوب: وجود، نوع و مکان(مساحت زهکشی) سازه‌های مرتبط که موجب گیر افتادن بار بستر می‌شود(سد، بند تنظیمی، سد کوچک)	سنجش از راه دور و GIS یا پایگاه داده مداخلات، شناسایی ساختارها و مساحت زهکشی مربوطه (کمی)	همه‌ی انواع رود
A3-تغییر جریان در بازه: مقدار تغییرات دبی که به وسیله مداخلات انسانی در بازه ایجاد شده است.	مراجعه کنید به A1	همه‌ی انواع رود
A4-تغییر دبی رسوب در بازه: تیپولوژی و تراکم فضایی سازه‌های گیرنده‌ی بار بستر در امتداد بازه. (بند تنظیمی، سد کوچک)	سنجش از راه دور، GIS و پایگاه داده مداخلات: شناسایی نوع سازه‌ها (کمی)	همه‌ی انواع رود
A5-سازه‌های عرضی: تراکم فضایی سازه‌های عرضی(پل‌ها، پایاب‌ها، پل آب گذر)	سنجش از راه دور، GIS و پایگاه داده مداخلات: شناسایی و تعداد سازه‌ها (کمی)	همه‌ی انواع رود
A6-محافظت کناره: طول کرانه‌های محافظت‌شده(دیوارها، پوشش‌های سنگی، تور سنگی یا گایون، سازه آیشکن، کارهای زیست مهندسی)	سنجش از راه دور، GIS و پایگاه داده مداخلات: طول سازه‌ها (کمی)	همه‌ی انواع رود
A7-خاک‌ریزهای مصنوعی: طول و فاصله کانال از خاکریزهای مصنوعی	سنجش از راه دور، GIS و پایگاه داده مداخلات: طول و فاصله سازه‌ها (کمی)	PC-U
A8-تغییرات مصنوعی در مسیر رودخانه: درصد طول بازه با تغییرات مصنوعی مسیر رود به صورت مستند (قطع‌شدگی مماندر، اشغال مجدد کانال رود...)	اطلاعات تاریخی و کتابخانه‌ای و یا پایگاه داده از مداخلات انسانی (کمی)	PC-U
A9-سایر سازه‌های تثبیت‌کننده بستر: وجود، تراکم فضایی و تیپولوژی سایر سازه‌های تثبیت‌کننده بستر(کف‌بند و رمپ)	سنجش از راه دور، GIS و پایگاه داده مداخلات: شناسایی، تعداد یا طول سازه‌ها (کمی)	همه‌ی انواع رود
A10-جابجایی رسوبات: وجود و شدت نسبی فعالیت‌های معادن رسوب قدیمی(از دهه‌ی ۱۹۵۰ با تمرکز در طی ۲۰ سال اخیر)	پایگاه داده مداخلات و یا اطلاعات فراهم‌شده توسط ادارات دولتی: برداشت میدانی و یا سنجش از دور: شواهد غیرمستقیم(کیفی)	همه‌ی انواع رود: در مورد رودهای سنگ بستری ارزیابی نمی‌شود.
A11-جابجایی چوب: وجود و شدت نسبی (ناقص یا کامل) جابجایی چوب از کانال در طول ۲۰ ساله گذشته.	پایگاه داده مداخلات و یا اطلاعات فراهم آمده توسط ادارات دولتی: برداشت میدانی: شواهد بیشتر (کیفی)	همه‌ی انواع رود: در بالای مرز جنگل و در رودخانه‌هایی که گیاهان ری پارین (حاشیه رود) وجود ندارد ارزیابی نمی‌شود.
A12-مدیریت پوشش گیاهی: وجود و شدت نسبی قطع (انتخابی یا کلی) گیاهان ری پارین(حاشیه رود) که طی ۲۰ سال اخیر	پایگاه داده مداخلات و یا اطلاعات فراهم آمده توسط ادارات دولتی: برداشت میدانی: شواهد بیشتر (کیفی)	همه‌ی انواع رود: در بالای مرز جنگل و در رودخانه‌هایی که گیاهان ری پارین (حاشیه رود) وجود ندارد ارزیابی نمی‌شود.
CA1-تعدیل الگوی کانال: تغییرات در الگوی کانال از دهه‌ی ۱۹۵۰، براساس تغییرات شاخص‌های سینوسی و شریانی و آناسوموسینگ	سنجش از راه دور و GIS (کمی)	همه‌ی انواع رود: ارزیابی تنها برای کانال‌های بزرگ انجام می‌گیرد ($W>30$)
CA2-تعدیل عرض کانال: تغییرات در پهنای کانال از دهه ۱۹۵۰	سنجش از راه دور و GIS (کمی)	همه‌ی انواع رود: ارزیابی تنها برای کانال‌های بزرگ انجام می‌گیرد ($W>30$)
CA3-تعدیل سطح اساس بستر: تغییرات سطح اساس بستر طی ۱۰۰سال گذشته	مقطع عرضی یا پروفیل طولی(چنانچه قابل دسترس باشد): برداشت میدانی: نشانه‌های از حفر یا رسوب‌گذاری (به صورت کیفی یا کمی)	همه‌ی انواع رود: ارزیابی تنها برای کانال بزرگ انجام می‌گیرد ($W>30$) جایی که شواهد میدانی یا اطلاعات قابل دسترس باشد

جدول ۴: شاخص عملکردی ژئومورفولوژیکی: توصیف طبقه‌ها و تعریف امتیازات

امتیازات	طبقه‌ها	شاخص‌ها
۰ ۳ ۵	A: عدم تغییرات در تداوم حمل رسوب و چوب B: تغییرات کم (موانع، سیلاب را به هر حال جلوگیری نمی‌کند) C: تغییرات قابل ملاحظه (کاملاً از حرکت رسوب و چوب جلوگیری می‌کند)	F1
۰ ۳ ۵	A: وجود دشت سیلابی پیوسته و عریض (< ۶۶٪ از طول بازه) و عریض‌تر از nW که W عرض کانال و n ضریبی است که برای کانال شریانی ۱ و منفرد ۲ است. B: وجود یک دشت سیلابی ناپیوسته (۱۰ - ۶۶٪) یا هر عرضی یا بیش از ۶۶٪ طول بازه اما باریک C: عدم وجود دشت سیلابی یا قابل اغماض (کمتر از ۱۰٪ پهنا)	F2
۰ ۳ ۵	A: اتصال کامل بین دامنه‌ها و رودخانه بیش از ۹۰٪ B: اتصال به یک بخش قابل ملاحظه‌ای از بازه (۳۳ - ۹۰٪) C: اتصال به یک بخش کوچکی از بازه کمتر از ۳۳٪	F3
۰ ۲ ۳	A: وجود پسروی‌های مکرر کرانه خصوصاً در امتداد خمیدگی‌های بیرون کرانه B: پسروی‌های کمتر کرانه‌ها به علت محافظت از کرانه‌ها و یا دینامیک کانال C: عدم وجود پسروی کرانه‌ها یا گسترش کرانه‌های ناپایدار به علت حرکات توده‌ای	F4
۰ ۲ ۳	A: وجود یک کریدور بالقوه فرسایش پذیر (EC) برای بیش از ۶۶٪ طول بازه و عرض (بیش از nW که W عرض کانال و n ضریبی است که برای کانال شریانی ۱ و کانال منفرد ۲ است). B: وجود یک EC باریک (< nW) در ۶۶٪ طول بازه یا EC عریض در ۳۳-۶۶٪ طول بازه C: وجود یک EC بالقوه با هر عرضی در کمتر از ۳۳٪ طول بازه	F5
۰ ۳ ۵	A: اشکال بستری سازگار با میانگین شیب دره B: اشکال بستری ناسازگار با میانگین شیب دره C: دگرگونی کامل اشکال بستر به واسطه وجود یک بستر مصنوعی	F6
۰ ۳ ۵	A: فقدان (کمتر از ۵٪) تغییر نامتجانس اشکال طبیعی مورد انتظار برای آن نوع رودخانه B: تغییر بخش محدودی از بازه (کمتر از ۳۳٪) C: تغییرات پایدار برای بخش مهمی از بازه (بیش از ۳۳٪)	F7
۰ ۲ ۳	A: حضور اشکال دشت آبرفتی (دریاچه نعلی شکل، کانال فرعی و...) B: وجود بقایای اشکال دشت آبرفتی (متروکه بعد از دهه‌ی ۱۹۵۰) اما با احتمال فعالیت مجدد C: عدم وجود اشکال دشت آبرفتی	F8
۰ ۳ ۵	A: فقدان ($\geq 5\%$) تغییرات مقطع عرضی طبیعی ناهمگن (پهنا و عمق) B: وجود تغییرات برای یک قسمت محدود از بازه (کمتر از ۳۳٪) C: وجود تغییرات برای یک قسمت قابل ملاحظه از بازه (بیشتر از ۳۳٪)	F9
۰ ۲ ۵ ۶	A: ناهمگنی طبیعی از رسوب بستر و بدون رسوبات ریزدانه مشخص B: بستر زره مانند قابل رویت (تنها-PC) یا رسوبات ریزدانه فراوان در قسمت‌های مختلف از سایت C1: بستر زره مانند قابل رویت و گسترده (بیش از ۹۰٪) فقط برای PC-U یا رسوبات ریزدانه فراوان یا رخنمون‌های رسوبی اتفاقی (فقط-PC-U) C2: رخنمون‌های سنگی گسترده (بیش از ۳۳٪ از بازه) تنها-PC-U یا تغییرات بستری گسترده ایجادشده توسط سنگ چینی بستر (< ۳۳٪ از بازه)	F10
۰ ۳	A: وجود چوب‌های بزرگ B: فقدان یا وجود ناچیز چوب‌های بزرگ	F11
۰ ۲ ۳	A: پوشش گیاهی عملکردی عریض (< nW که مقدار n، ۱ و ۲ به ترتیب برای کانال‌های شریانی و کانال‌های منفرد است و W = عرض کانال) B: عرض متوسط پوشش گیاهی مرتبط با کانال فعال (nW - ۰/۵W) C: پهنا کم پوشش گیاهی مرتبط با کانال کمتر از ۰/۵W	F12
۰ ۳ ۵	A: گسترش خطی پوشش گیاهی فعال بیش از ۹۰٪ از حداکثر طول قابل دسترس B: گسترش خطی پوشش گیاهی فعال ۳۳ - ۹۰٪ از حداکثر طول قابل دسترس C: گسترش خطی پوشش گیاهی فعال کمتر از ۳۳٪ از حداکثر طول قابل دسترس	F13

جدول ۵: شاخص‌های مصنوعی: توصیف طبقه‌ها و تعریف امتیازات

امتیازات	طبقه‌ها	شاخص‌ها
۰ ۳ ۶	A: بدون تغییرات مشخص ($\geq 10\%$) دبی شکل‌دهنده‌ی کانال و دبی با دوره‌ی بازگشت بیشتر از ۱۰ سال B: تغییرات مشخص (بیش از 10%) از دبی با دوره بازگشت بیشتر از ۱۰ سال C: تغییرات مشخص (بیش از 10%) دبی شکل‌دهنده‌ی کانال	A1
۰ ۳ ۶ ۹ ۱۲	A: فقدان یا وجود ناچیز سازه‌هایی که از شار رسوب جلوگیری می‌کنند. B1: وجود سدهایی برای ۵-۳۳٪ سطح زهکشی و یا سدهای کوچک یا بندهای تنظیمی با جلوگیری کامل بار بستر و در ۳۳-۶۶٪ سطح زهکشی و یا سدهای کوچک یا بند تنظیمی با جلوگیری بخشی از بار بستر و سطح زهکشی بیش از ۳۳٪ (نواحی دشتی یا تپه‌ها) یا بیش از ۶۶٪ در نواحی کوهستانی B2: وجود سدها برای ۳۳-۶۶٪ سطح زهکشی و یا سدهای کوچک و بندهای تنظیمی با جلوگیری کامل از بار بستر و سطح زهکشی بیش از ۶۶٪ C1: وجود سدها برای سطح زهکشی بیش از ۶۶٪ C2: وجود یک سد در بالادست بازه	A2
۰ ۳ ۶	A: تغییرات ناچیز ($\geq 10\%$) دبی شکل‌دهنده‌ی کانال و دبی با دوره بازگشت بیشتر از ۱۰ سال B: تغییرات مهم ($< 10\%$) از Q با دوره بازگشت بیشتر از ۱۰ سال C: تغییرات قابل ملاحظه بیش از 10% دبی شکل‌دهنده‌ی کانال	A3
۰ ۴ ۶	A: عدم وجود سازه‌های جلوگیری کننده از شار رسوب (سدهای تنظیمی، بندها، سدهای کوچک) B: وجود بندهای تنظیمی تثبیت‌شده یا باز با تراکم نسبتاً کم (کمتر از ۱ مورد در هر n که در مناطق کوهستانی ۲۰۰ متر و در نواحی دشتی یا تپه‌ای ۱۰۰۰ متر است). C: وجود سدهای کوچک یکپارچه با تراکم بالا (بیشتر از ۱ مورد در هر n) - اگر تراکم کل سازه‌های عرضی، شامل کف بندها و رمپ‌ها بسیار زیاد باشد یعنی بیش از یک مورد در ۱۰۰ متر در مناطق کوهستانی یا بیش از یک مورد در هر ۵۰۰ متر در نواحی دشتی و کوهپایه‌ای امتیاز ۱۲ هم به امتیازهای قبلی اضافه می‌شود.	A4
۰ ۲ ۳	A: عدم وجود سازه‌های عرضی (پل‌ها، پایاب‌ها، آبگذرها) B: وجود تعدادی سازه عرضی (≥ 1 مورد در هر ۱۰۰۰ متر در بازه) C: وجود سازه‌های عرضی متعدد بیش از ۱ مورد در هر ۱۰۰۰ متر در بازه	A5
۰ ۳ ۶	A: فقدان یا وجود محافظ‌های کناره به صورت محلی ($\geq 5\%$ طول کل کناره‌ها) B: وجود حفاظ‌های کرانه برای $\geq 33\%$ طول کل از کناره‌ها (مجموع دو کناره) C: وجود حفاظ‌های کرانه برای بیش از ۳۳٪ طول کل کناره‌ها (مجموع دو کناره) - در مواردی که حفاظ‌های کرانه‌ای بیش از ۸۰ درصد طول بازه باشند امتیاز ۱۲ به سایر امتیازات اضافه می‌شود.	A6
۰ ۳ ۶	A: عدم وجود خاکریز یا فاصله‌دار بودن آن‌ها و یا وجود خاکریزهای نزدیک به رودخانه در کمتر از 10% طول کل کناره‌ها B: وجود خاکریزهای نزدیک و یا در تماس با رود (در تماس بودن $\geq 50\%$ طول کل کناره) C: وجود خاکریزهای زیاد در نزدیکی و یا در تماس با رود (در تماس بودن بیش از 50% طول کل کناره) - در مواردی که خاکریزها بیش از ۸۰ درصد در تماس با رود هستند امتیاز ۱۲ به سایر امتیازات اضافه می‌شود.	A7
۰ ۲ ۳	A: عدم وجود تغییرات مصنوعی در مسیر رودخانه در گذشته (بریدگی حلقه مئاندر، تغییرمسیر کانال و...) B: وجود تغییرات در کمتر از ۱۰ درصد طول بازه C: وجود تغییرات در بیش از ۱۰ درصد طول بازه	A8
۰ ۳ ۶ ۸	A: عدم وجود سازه‌ها (کف‌بندها یا رمپ‌ها) و فقدان سنگچین‌ها یا محلی بودن آن‌ها (کمتر از 5%) B: وجود کم سازه‌ها (≥ 1 مورد در n که مقدار n در نواحی کوهستانی ۲۰۰ متر و در نواحی دشتی یا تپه‌ای ۱۰۰۰ متر است) و یا سنگفرش‌های کمتر از ۱۵ درصد نفوذناپذیر یا کمتر از ۲۵ درصد نفوذپذیر C1: وجود سازه‌های زیاد (بیش از ۱ مورد در هر n) و یا سنگفرش قابل ملاحظه در بستر (کمتر از 33% نفوذ ناپذیر و یا کمتر از 50% نفوذ پذیر) C2: وجود سنگفرش‌های نفوذ ناپذیر در بستر (بیش از 33%) و یا سنگفرش نفوذپذیر بیش از 50% - در مورد سنگفرش‌های گسترده در بستر رود (بیش از 80%) امتیاز ۱۲ به سایر امتیازات اضافه می‌شود.	A9

۰ ۳ ۶ ۰ ۳ ۶	PC-U A: عدم وجود فعالیت‌های جابجایی رسوب، جدید (۲۰ سال اخیر) و قدیمی (از دهه‌ی ۱۹۵۰) B: فعالیت‌های متوسط جابجایی رسوب در گذشته (از دهه‌ی ۱۹۵۰) و عدم وجود این فعالیت‌ها در طی ۲۰ سال گذشته، یا عدم وجود این فعالیت‌ها در گذشته و وجود آن طی ۲۰ سال اخیر C: فعالیت شدید در گذشته یا فعالیت متوسط در گذشته و فعال در طی ۲۰ سال اخیر = C A: عدم وجود فعالیت‌های جابجایی رسوب در طی ۲۰ سال اخیر B: فعالیت جابجایی رسوب به صورت محلی در طی ۲۰ سال اخیر C: فعالیت گسترده جابجایی رسوب طی ۲۰ سال اخیر	A10
۰ ۲ ۵	A: عدم جابجایی مواد چوبی حداقل در طی ۲۰ سال اخیر B: برش‌های انتخابی یا برش‌های واضح در کمتر از ۵۰٪ بازه‌ها طی ۲۰ سال اخیر C: جابجایی کل مواد چوبی طی ۲۰ سال اخیر	A11
۰ ۲ ۵	A: عدم مداخله انسان در قطع پوشش گیاهی کنار رود در طول ۲۰ سال اخیر B: قطع انتخابی و یا قطع واضح درختان در کمتر از ۵۰٪ از بازه در طول ۲۰ سال اخیر C: قطع واضح گیاهان حاشیه رود در بیش از ۵۰٪ از بازه در طول ۲۰ سال اخیر	A12

جدول ۶: شاخص‌های تعدیل کانال: توضیح طبقه‌ها و تعریف امتیازات

امتیازات	طبقه‌ها	شاخص‌ها
۰ ۳ ۶	A: فقدان تغییرات در الگوی کانال از دهه‌ی ۱۹۵۰ B: تغییر یک الگوی کانال مشابه از دهه‌ی ۱۹۵۰ (PC-U) یا تغییر الگوی کانال از دهه‌ی ۱۹۵۰ (C) C: تغییر با یک الگوی کانال متفاوت از دهه‌ی ۱۹۵۰ (فقط PC-U)	CA1
۰ ۳ ۶	A: عدم وجود تغییرات یا تغییرات محدود ($\geq 15\%$) از دهه‌ی ۱۹۵۰ B: تغییرات متوسط (۱۵-۳۵٪) از دهه‌ی ۱۹۵۰ (PC-U) یا تغییرات بیش از ۱۵٪ از دهه‌ی ۱۹۵۰ (C) C: تغییرات شدید (بیش از ۳۵٪) از دهه‌ی ۱۹۵۰ (فقط PC-U)	CA2
۰ ۴ ۸ ۱۲	A: تغییرات ناچیز سطح اساس بستر (کمتر از ۰/۵ متر) B: تغییرات محدود یا متوسط سطح اساس بستر (۰/۵ - ۳ متر) C1: تغییرات شدید سطح اساس بستر (بیش از ۳ متر) C2: تغییرات خیلی شدید سطح اساس بستر (بیش از ۶ متر)	CA3

پس از امتیازدهی شاخص‌ها، ابتدا با استفاده از رابطه زیر شاخص تغییرات مورفولوژیکی^۱ (MAI) محاسبه می‌گردد:

$$MAI = S_{tot} / S_{max}$$

که S_{tot} : مجموع امتیازات و S_{max} : حداکثر امتیاز طبقه C هر شاخص است. بنابراین، دامنه‌ی MAI از ۰ (بدون تغییرات) تا ۱ (حداکثر تغییرات) شامل می‌شود. سپس با رابطه زیر، شاخص کیفیت مورفولوژیکی محاسبه می‌گردد:

$$MQI = 1 - MAI$$

^۱ - Morphological Alteration Index

بنابراین شاخص، نسبت مستقیمی با کیفیت بازه و نسبت معکوسی با تغییرات بازه دارد و از ۰ (حداقل کیفیت) تا ۱ (حداکثر کیفیت) متغیر است. طبق این ساختار، شرایط مرجع (یعنی طبقه A هر شاخص برابر است با $MQI=1$) که به صورت زیر مشخص می‌شود:

۱- عملکرد کامل فرایندهای ژئومورفیک در طول بازه

۲- عدم وجود یا وجود ناچیز عناصر مصنوعی در طول بازه یا کمی گسترش در سطح حوضه (برحسب شار جریان آب و رسوب)

۳- عدم وجود تعدیل‌های مشخص در کانال (پیکر بندی بستر، عرض و ارتفاع بستر) در یک دوره زمانی حدود ۱۰۰ سال

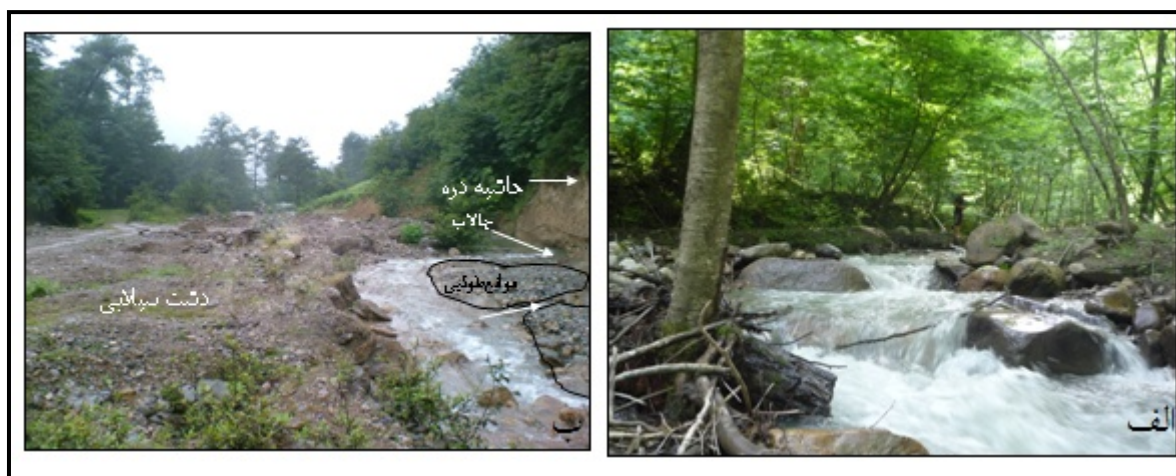
در نهایت مقادیر MQI به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند: (۱) خیلی خوب: $0.85 \leq MQI \leq 1$; (۲) خوب: $0.7 \leq MQI < 0.85$; (۳) متوسط: $0.5 \leq MQI < 0.7$; (۴) ضعیف: $0.3 \leq MQI < 0.5$; (۵) بد: $0 \leq MQI < 0.3$

نتایج

با توجه به مباحث مطروحه در قسمت مواد و روش‌ها، ویژگی‌های شش بازه در رودخانه لایوچ (شکل ۱) با توجه به شاخص‌های کیفیت مورفولوژیکی رود به صورت زیر تشریح می‌شود:

بازه ۱: در این بازه، رودخانه از یک طرف در مجاورت حاشیه دره (۵۰ تا ۹۰ درصد) قرار داشته و از طرف دیگر دارای دشت سیلابی می‌باشد. شیب رود حدود ۰/۰۸ متر بر متر بوده و بستر کانال از رسوبات قله‌سنگی و ریگ تشکیل شده و دارای مورفولوژی سکو-چالاب ۱ می‌باشد (شکل ۲ الف). عرض کانال از ۳ تا ۱۰ متر متغیر بوده و الگوی آن به صورت تک‌کانالی با سینوسیته کم است. دخالت انسان در بخش محدودی از بازه، موجب قطع و تخریب گیاهان حاشیه رود شده و رسوبات دشت سیلابی توسط افراد محلی برداشت شده است (شکل ۲ ب). در مجموع مقدار MQI این بازه ۰/۸۵ محاسبه شده است که در گروه خیلی خوب قرار می‌گیرد.

بازه ۲: این بازه رودخانه‌ای در بستری کاملاً آبرفتی قرار داشته و رودخانه به صورت عمودی دشت سیلابی خود را حفر نموده و سه سطح پادگانه آبرفتی را در حاشیه رود به وجود آورده است. از این رو کانال به صورت نسبتاً محدود با تراس‌های آبرفتی مجاور در تماس است (شکل ۳ الف). شیب بستر کانال در این بازه رودخانه‌ای بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۶ متر بر متر می‌باشد و بستر رودخانه از توالی سکو-چالاب تشکیل شده است. واحدهای ژئومورفیک موجود در کانال رود شامل موانع طولی و جانبی می‌باشند (شکل ۳ ب). رسوبات بستر شامل ریگ، قله‌سنگ و قطعه سنگ و واریزه‌های چوبی بزرگ می‌باشد. این بازه به علت نزدیکی به آبدی‌های اطراف دارای تغییراتی بوده است که شامل (۱) تغییر کاربری و ساخت و سازهای جدید در اطراف رودخانه خصوصاً بر روی تراس‌های آبرفتی مجاور (۲) برداشت رسوب از بستر رود به صورت محلی و جایجایی واریزه‌های چوبی بزرگ در امتداد رود از جمله دخالت‌های انسان در بستر این رود می‌باشد.



شکل ۲: بازه رودخانه‌ای ۱، الف) تصویر سکو-چالاب، واریزه‌های چوبی بزرگ و گیاهان حاشیه رود (ب) تصویر قسمتی از همین بازه با تخریب پوشش گیاهی اطراف کانال و برداشت رسوب.



شکل ۳: تصاویر بازه ۲، الف) بستر رودخانه در مجاورت تراس آبرفتی قدیمی (ب) کانال سیلابی و مانع میان کانالی **بازه ۳**: این بازه در موقعیت محدود با دره‌ای تنگ و عمیق که عرض آن از ۵ تا ۲۰ متر متغیر است قرار گرفته و بیش از ۹۰ درصد آن به دیواره دامنه اتصال داشته و شکل گلوگاه می‌باشد (شکل ۴ الف). الگوی رود به صورت تک کانالی بوده و مسیر رود تابع پیچ و خم دره است. متوسط شیب دره $0/04$ متر بر متر است. اشکال بستری غالب در کانال سکو-تالاب‌های متوالی بوده و در قسمت‌های محدب کانال به صورت محلی، از رسوبات انباشته شده (شکل ۴ ب) و گیاهان بر روی آن‌ها استقرار یافته‌اند. این بازه به علت قرارگیری در یک دره عمیق و باریک و همچنین وجود دیواره‌های سنگی



مورد بهره‌برداری انسان قرار نگرفته است. فقط وجود جاده ارتباطی در نزدیکی این بازه و ایجاد ناپایداری دامنه‌ای موجب افزایش بار رسوبی در این بازه شده است. با این وجود مقدار MQI این بازه ۱ به دست آمده است که نشان‌دهنده‌ی حداقل تغییر بوده و در گروه بسیار خوب طبقه‌بندی می‌شود.

شکل ۴: تصاویر بازه ۳، الف) دیواره سنگی بازه ب) بستر رودخانه به همراه مانع رسوبی در قسمت محدب **بازه ۴:** این بازه رودخانه‌ای به صورت نسبتاً محدود بوده و ۱۰ تا ۵۰ درصد موارد کانال رود در حاشیه دره قرار گرفته است. شیب کانال رود ۰/۰۳ متر بر متر بوده و بستر آن از توالی چالاب- خیزاب^۱ تشکیل شده و به صورت محلی دارای سکوه‌های قطعه‌سنگی و واریزه‌های چوبی بزرگ می‌باشد (شکل ۵ الف). دشت سیلابی در این بازه به علت مجاورت با حاشیه دره به صورت ناپیوسته می‌باشند. کرانه‌های کانال در جاهایی که متصل به دشت سیلابی است به علت وجود رسوبات منفصل نسبت به زیربری و فرسایش حساس بوده و باعث پهن‌شدگی کانال می‌گردند که این پهن‌شدگی نیز با موانع رسوبی و سکوه‌های آبرفتی منطبق می‌باشد. این بازه تا ۲۰ سال گذشته به صورت محلی مورد استفاده قرار می‌گرفت اما وجود پوشش گیاهی متراکم در امتداد کانال رود و اشکال دشت سیلابی نشان‌دهنده‌ی دخالت ناچیز عوامل انسانی در این بازه می‌باشد (شکل ۶ ب). مقدار MQI در این بازه ۰/۹۸ محاسبه شده که در طبقه بسیار خوب قرار می‌گیرد.



شکل ۵: تصاویر بازه ۴، الف) واریزه چوبی بزرگ در درون کانال ب) بستر رود و پوشش گیاهی دشت سیلابی **بازه ۵:** این بازه در واحد کوهپایه قرار گرفته و کانال رود به صورت نسبتاً محدود در مجاورت تراس‌های قدیمی می‌باشد (شکل ۶ الف). شیب کانال حدود ۰/۰۲ متر بر متر بوده و بستر رود و کرانه‌های کانال آبرفتی می‌باشد. بستر کانال از چالاب - خیزاب‌های متوالی تشکیل شده و اشکالی مانند موانع رسوبی طولی، موانع جانبی و سکوه‌های آبرفتی هم در درون کانال مشاهده می‌شوند (شکل ۶ ب). دشت سیلابی ناپیوسته با گیاهان درختی پوشیده شده و اشکال دشت سیلابی مانند کانال‌های سیلابی هم بر روی آن‌ها مشاهده می‌شود. عدم وجود عوامل مصنوعی در بالادست بازه و تغییرات ناچیز انسانی موجب شده است که مقدار MQI بازه ۰/۹۸ به دست آمده که در گروه بسیار خوب طبقه‌بندی می‌شود.



شکل ۶: تصاویر بازه ۵، الف) تراس آبرفتی قدیمی در کرانه رود ب) بستر رود و دشت سیلابی مجاور رود



شکل ۷: تصاویر بازه ۶ الف) بخشی از پلان بازه ب) بستر رود ج) آبشار مصنوعی کوتاه د) بستر مصنوعی بتونی بازه ۶: این بازه در واحد دشت قرار گرفته و به علت مجاورت با تراس‌های قدیمی به صورت نسبتاً محدود می‌باشد (شکل ۷ الف). شیب کانال به صورت طبیعی ۰/۰۲ متر بر متر می‌باشد. اندازه رسوبات بستر از ریگ تا قلوه‌سنگ متغیر است. این بازه بیش از ۲۰ سال است که به علت برداشت رسوبات از بستر رود (معدن شن و ماسه) و حاشیه آن تغییرات بسیار زیادی را تجربه نموده است (شکل ۷ ب). در گروه سؤالات F یا عملکرد ژئومورفیکی رود تقریباً تمامی پارامترها شامل شاخص‌های طولی، جانبی، الگوی کانال، مقطع عرضی، رسوبات بستر رود می‌باشد، تغییر کرده است. ایجاد یک کانال فرعی جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی بخشی از آب و رسوب ورودی به رود را کاهش داده است. در نتیجه تغییرات ایجاد شده تعدادی سازه مصنوعی در آن ایجاد شده تا فرایندهای رودخانه‌ای را کنترل نماید. لذا تمامی

شاخص‌های گروه A در این بازه، امتیاز تغییر را کسب کرده‌اند. از جمله تغییرات عوامل مصنوعی می‌توان به تغییر کاهش شیب بستر، ایجاد خاک ریزهای مصنوعی، ساخت آبشارهای کوتاه بتونی (شکل ۷ج)، ایجاد بستر بتونی (شکل ۷د)، ایجاد ریپ‌رپ در برخی از کناره‌های رود اشاره نمود. به علت تغییرات فوق‌الذکر رود در مسیر خود تعدیل‌های را ایجاد نموده است که می‌توان به تغییر الگوی رود به حالت شریانی، تغییرات شدید سطح اساس بستر (بیش از ۶ متر) اشاره نمود. در مجموع، مقدار MQI در این بازه رودخانه‌ای ۰/۲۲ محاسبه شده که در گروه بد طبقه‌بندی می‌شود.

نتیجه‌گیری

تاکنون روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی رود در سطح جهان به وجود آمده است بیشتر این روش‌های طبقه‌بندی، رودهای طبیعی را مورد مطالعه قرار داده‌اند اما روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی رود (MQI) به بازه‌های رودخانه‌ای که تحت تأثیر دخالت‌های انسانی و تغییرات ناشی از آن قرار گرفته‌اند را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد که مهم‌ترین مزیت این روش است. اما طبق نظر رینالدی و همکاران (۲۰۱۳) این روش فقط کیفیت مورفولوژیکی رود را ارزیابی می‌کند و به مطالعه دقیق و پیچیده رودخانه‌ای نمی‌پردازد از این رو نقاط ضعف و قوت خاص خود را دارد. در این مطالعه که روش MQI بر روی رودخانه لاریج انجام شده است، نشان می‌دهد که بازه‌های با امتیاز بیشتر کمترین تغییر و بازه‌های با امتیاز کمتر، بیشترین تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی را تجربه نموده‌اند. نتایج به دست آمده برای بازه‌های ۱ تا ۵ با نتایج طبقه‌بندی استیل رود (اسماعیلی، ۱۳۹۰) تقریباً همسو می‌باشد. داده‌های بازه ۶ هم با نتایج به دست آمده از اثرات ژئومورفیک برداشت رسوب (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۲) تطبیق دارد. از این رو نتایج به دست آمده از روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی رود در منطقه مورد مطالعه ارزیابی مناسبی را ارائه نموده است.

با این وجود، در شاخص‌های پیوستگی طولی تغییرات شار آب و رسوب عمدتاً با وجود سازه‌های مصنوعی با تغییرات کاهش‌ی همراه هستند و برای سایر تغییرات که موجب افزایش رسوب به داخل کانال می‌شوند، امتیازی در نظر گرفته نشده است. با توجه به این که روش MQI به صورت سلسله‌مراتبی است تغییرات سطح حوضه و فعال شدن برخی از پدیده‌های ژئومورفیک هم نیاز به امتیازدهی دارند تا تغییرات افزایش شار رسوب نیز اعمال گردد. همچنین استفاده از سنجش از دور در ارزیابی‌ها پیشنهاد شده است که این موضوع برای رودخانه‌های کوچک و پوشیده از جنگل البرز شمالی با مشکلاتی همراه بوده و به مطالعات میدانی بیشتری نیازمند است. در کشور ایران، با توجه به وجود پوشش عکس‌های هوایی سراسری در دوره‌های مختلف این ارزیابی برای رودخانه‌های بزرگ و با پوشش گیاهی کم امکان‌پذیر می‌باشد. در نهایت بر اساس نظر رینالدی و همکاران (۲۰۱۳) آزمون این روش در سایر مناطق نیز پیشنهاد می‌گردد تا نقاط ضعف و قوت روش مورد ارزیابی قرار گیرد.

References

- Brierley, G.J., Fryirs, K.A., 2005. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell, Oxford, UK, 398 pp.
- Buffington, J.M., Montgomery, D.R., 2013. *Geomorphic Classification of Rivers*, *Treatise on Geomorphology* 9: 730-767. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00263-3>
- Esmaili, R., 2012, Application of Geomorphic River Recovery in river management, case study, Northen Alborz, Lavij Rud cathment, *Enviromental Erosion Researches* 4: 87-108.
- Esmaili, R., Hosseinzadeh, M.M. and Eghbali, R., 2013, Geomorphic effects of gravel extraction in gravel bed river: the river Lavij, Northen Alborz, *Geography and Natural Hazard*, <http://jm.um.ac.ir/index.php/geo/article/view/19935>.

- Newson, M.D. and Large, A.R.G., 2006, 'Natural' rivers, 'hydromorphological quality' and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology, *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 1606–1624.
- Montgomery, D.R., Buffington, J.M., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* 109 (5), 596–611.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F. & Bussettini, M., 2013, A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI), *Geomorphology* 180–181: 96–108.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussettini, M., 2012. Guidebook for the Evaluation of Stream Morphological Conditions by the Morphological Quality Index (MQI). Version 1.1. 85 pp Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma. <http://www.isprambiente.it/publicazioni/manuali-e-linee-guida/guidebook-for-the-evaluation-of-stream>.
- Rosgen, D.L., 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22, 169–199.