دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

بررسی وضعیت ساختار- هیدرومورفولوژی رودخانه تجن براساس روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه آلمان (LAWA-OS)

نیایش فندرسکی[۱]، محسن مسعودیان[۲] و کلاوس راتچر[۳]

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: mohsen_masoudian@yahoo.com)
۳- استاد گروه عمران دانشگاه استفالیا، سودربرگ، آلمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۳۰
صفحه: ۱۵۶ تا ۱۶۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در سراسر جهان، آب‌های سطحی به‌طور چشم‌گیر در مقابل اثرات فعالیت‌های مختلف انسانی آسیب‌پذیر بوده، به‌طوری‌که سیستم پایدار رودخانه‌ها و زیستگاه جانوری و گیاهی به خطر افتاده و مواردی چون کاربری اراضی و وضعیت کیفی آب تغییر کرده‌است. خصوصیات ساختاری- هیدرومورفولوژی از اهمیت فراوانی در وضعیت اکولوژیکی رودخانه‌ها برخوردار بوده، به‌طوری‌که بررسی وضعیت آن‌ها به‌عنوان یکی از مولفه‌های اساسی در مدیریت پایدار حوزه رودخانه و باز زنده‌سازی شرایط رودخانه به‌شمار می‌رود. در اروپا هم‌زمان با معرفی دستورالعمل چارچوب آب، وضعیت آب‌های سطحی بسیار مورد توجه قرار گرفته و نیاز ضروری به یک سیستم پایش دقیق، به‌عنوان گام اولیه در جهت رسیدن به حداقل وضعیت اکولوژیکی خوب، مطرح گردید. مرور پژوهش‌ها نشان‌دهنده تمرکز مطالعات روی وضعیت مورفولوژی رودخانه‌ها در ایران بوده، لیکن ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژی رودخانه‌ها چندان مورد بررسی قرار نگرفته‌است. از این‌رو، در مقاله حاضر به بررسی وضعیت ساختار- هیدرومورفولوژی ۱۲ کیلومتر از رودخانه تجن با استفاده از روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه آلمان پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: تمرکز اصلی روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه، شناسایی فشارهای مورفولوژی ناشی از مداخلات انسانی، به‌منظور تعیین اقدامات مناسب برای برقراری مجدد شرایط طبیعی و تقریباً طبیعی در چارچوب سیستم ارزیابی و نظارت است. این روش به طبقه‌بندی شرایط کنونی ساختار هیدرومورفولوژی رودخانه مبتنی بر یک سیستم امتیازدهی در چهار مرحله جمع‌آوری داده، تعیین بازه و سنجش از راه دور، بازدید میدانی و ارزیابی شرایط بر اساس امتیازدهی به ۲۵ پارامتر منفرد می‌پردازد. لذا، رودخانه به بازه‌های ۱۰۰ متری تقسیم و در دو مرحله سنجش از راه دور با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی حوزه، مدل رقومی ارتفاعی منطقه، تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۸ متعلق به لندست ۸ و بازدید میدانی از فروردین تا خرداد ماه ۱۳۹۸ با توجه به پارامترهای منفرد روش فوق ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج ارزیابی نشان داد که ۴۴ درصد بازه‌ها، در طبقه کیفی ۴-آشکارا تغییر یافته قرار داشته‌است. درحالی‌که، بازه‌ای بدون تغییرات (کاملاً طبیعی) مشاهده نشده، اما ۴ درصد از بازه‌ها کاملاً تغییر یافته ارزیابی شد. به‌علاوه، درصد توزیع هر طبقه کیفیت ساختاری پارامترهای منفرد و اصلی محاسبه و نتایج نشان داد که پوشش کناره رودخانه در محدوده مورد مطالعه در مقایسه با دیگر پارامترها وضعیت مناسبی ندارد. به‌منظور بررسی دقیق‌تر، درصد فراوانی طبقه‌های کیفیت ساختاری برای به‌طور مجزا در سه زیر منطقه قبل از شهر ساری (BS)، محدوده شهر ساری (SS) و بعد از شهر ساری (AS) نیز بررسی و نشان داد که وضعیت بخش شهری رودخانه تجن به وضوح تا کاملاً تغییریافته که در اثر ایجاد تغییراتی مانند تغییر بستر و عرض کانال منجر به تغییر مواد بستر، ایجاد حفاظت از کناره بتنی در بیش از دو کیلومتر از رودخانه و احداث سازه‌هایی مانند سد لاستیکی و کف‌بند بدون درنظر گرفتن پلکان ماهی به خصوص در محدوده پارک ملل می‌باشد.

نتیجه گیری: در روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه آلمان، شرایط جغرافیایی بر روی واحدهای چشم انداز و تیپ رودخانه‌های تعریف شده، فرم دره رودخانه، مواد بستر و پوشش گیاهی تاثیرگذار بوده که تاحدود زیادی با شرایط جغرافیایی شمال ایران و به‌خصوص رودخانه تجن (دارای سه واحد چشم انداز کوهستانی، دشت و ساحلی) مطابقت دارد. هم‌چنین، درصد توزیع هر طبقه کیفیت ساختاری دو پارامتر منفرد ۵-۲ پوشش کناره رودخانه با ۴۹٪ و ۵-۳ پوشش کناره ویژه با ۶۷٪، سهم بالایی از طبقه ۷-کاملاً تغییر یافته را به‌خود اختصاص داده که نقش پارامترهای تنزل‌دهنده برای رودخانه تجن در بازه مورد مطالعه را داشته که به‌عنوان هدف اولیه در برنامه‌ریزی اقدامات باز زنده‌سازی رودخانه تجن شناسایی گردید.

واژه‌های کلیدی: باز زنده‌سازی، طبقه‌بندی ساختار، هیدرومورفولوژی، مهندسی رودخانه، WFD

مقدمه

در سراسر جهان، آب‌های سطحی به‌طور چشم‌گیر در مقابل اثرات فعالیت‌های مختلف انسانی آسیب‌پذیر بوده، به طوری‌که سیستم پایدار رودخانه‌ها و زیستگاه جانوری و گیاهی به خطر افتاده و مواردی چون کاربری اراضی و وضعیت کیفی آب تغییر کرده‌است (۵،۲). در اروپا هم‌زمان با معرفی دستورالعمل چارچوب آب (WFD)[۱] در سال ۲۰۰۰، بهبود و باز زنده‌سازی[۲] وضعیت آب‌های سطحی بسیار مورد توجه قرار گرفته و نیاز ضروری به یک سیستم پایش دقیق، به‌عنوان گام اولیه در جهت رسیدن به حداقل وضعیت اکولوژیکی خوب، مطرح گردید (۲۹). WFD بیان می‌دارد که وضعیت مناسب اکولوژیکی جوامع آبزی به‌طور مستقیم تحت تاثیر عناصر بیولوژیکی، فیزیوشیمیایی و هیدرومورفولوژی بوده و در این میان، پارامترهای هیدرومورفولوژیکی مانند پیوستگی و پویایی جریان، اتصال به دشت سیلابی و ساختار بستر جریان از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (۲۶،۱۶). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که در اکثر کشورهای اروپایی تا سال ۲۰۱۵، وضعیت نامناسب هیدرومورفولوژی رودخانه‌ها، یکی از دلایل عمده عدم موفقیت در رسیدن به اهداف WFD بوده‌است (۱۶،۱۵). در نتیجه، تلاش‌های فراوانی برای توسعه روش‌های ارزیابی وضعیت رودخانه‌ها در سراسر اروپا انجام شد که از جمله آن می‌توان به روش بررسی زیستگاه رودخانه[۳] در انگلیس، روش شاخص کیفیت مورفولوژی[۴] در ایتالیا و روش ارزیابی هیدرومورفولوژی رودخانه‌های بزرگ مقیاس[۵] در ایرلند اشاره نمود (۳۳،۲۹،۶). وجه مشترک این روش‌ها، طبقه‌بندی هیدرومورفولوژی رودخانه بر اساس فاصله گرفتن از شرایط

1- WFD 2000/60/EC
2- Restoration
3- River Habitat Survey (RHS)
4- Morphological quality index (MQI)
5- River Hydromorphology Assessment Technique

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

طبیعی رودخانه و تلاش برای درک وضعیت کنونی رودخانه به‌منظور برنامه‌ریزی اقدامات باز زنده‌سازی رودخانه‌ها می‌باشد (۲). بعد از معرفی WFD، اولین دستورالعمل مرتبط در آلمان، در سال ۲۰۰۰ توسط گروه مدیریت مسائل آب[1] برای رودخانه‌های کوچک تا متوسط در سه منطقه کوهستانی، دشت و ساحلی ارائه شد (۱۷). دستورالعمل فوق تحت عنوان روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه (LAWA-OS)[2] بسط و بر اساس آن، بیش از ۱۰ هزار کیلومتر از رودخانه‌های آلمان از نظر ساختار- هیدرومورفولوژی ارزیابی شدند (۹). کایل و همکاران (۱۴)، به بررسی رابطه بین استفاده از اراضی دشت سیلابی و هیدرومورفولوژی رودخانه در مقیاس‌های مختلف طولی در دو حوزه آبریز در مناطق کوهستانی کم ارتفاع در آلمان با استفاده از روش LAWA-OS، پرداخته و کاربری اراضی را به‌عنوان مهم‌ترین عامل موثر معرفی نمودند. مایر و همکاران (۲۱)، نتایج تحقیقات میدانی انجام شده با استفاده از روش LAWA-OS را مطالعه نموده و اظهار داشتند که به‌منظورکاربرد این روش در مناطق دیگر محدودیت‌هایی وجود دارد که نیازمند انطباق با توجه به شرایط جغرافیایی و فیزیکی آن منطقه است. گلرت و همکاران (۹)، به تشریح کلی روش LAWA-OS پرداخته و آن‌را ابزاری کاربردی برای مدیریت حوزه رودخانه معرفی نمودند. آرله و همکاران (۱)، نتایج پایش آب‌های سطحی (هیدرومورفولوژی و فیزیوشیمیایی) در آلمان، تا سال ۲۰۱۶ را منتشر کردند. گرول (۱۰)، به بررسی دو پروژه باز زنده‌سازی رودخانه متمرکز بر روی مورفولوژی بستر جریان در مناطق کوهستانی کم‌ارتفاع در آلمان، با استفاده از روش LAWA-OS پرداخت. شیفاخن و همکاران (۳۱)، نتایج حاصل از ارزیابی هیدرومورفولوژی به روش‌های[3] UA-FS و LAWA-OS را مقایسه و بیش‌ترین انطباق بین دو روش را در جنبه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و تنوع جریان بیان داشتند. بنجانکار و همکاران (۳)، با استفاده از روش‌های LAWA-OS و URS[4] شرایط هیدرومورفولوژی رودخانه بویز آمریکا را بررسی و نتیجه گرفتند که روش‌های فوق به تنهایی توانایی ارزیابی صحیح بستر رودخانه را نداشته و پیشنهاد نمودند که با توجه به ویژگی‌های فیزیکی حوزه، رودخانه به بخش‌های مختلف تقسیم شده و بررسی هیدرومورفولوژی از طریق روش منطبق با آن بخش انجام گیرد. بیرن باوم و لمبرتی (۴)، به‌منظور بررسی امکان انطباق روش LAWA-OS در رودخانه‌های گرمسیری، وضعیت هیدورمورفولوژی رودخانه‌های کوچک در برزیل را ارزیابی و بیان داشتند که این روش از پتانسیل در ارزیابی برخوردار است. ارزیابی شرایط هیدرمورفولوژی رودخانه به روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه‌ها (LAWA-OS) تاکنون در ایران مورد استفاده قرار نگرفته‌است، هرچند در تحقیقاتی با استفاده از دیگر روش‌ها به بررسی شرایط مورفولوژی و هیدرومورفولوژی رودخانه پرداخته شده‌است، که از آن‌جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود. حافظی مقدس و همکاران (۱۱)، به بررسی نقش عوامل تاثیرگذار در تغییرات مورفولوژی رودخانه سیستان و ارزیابی بازه‌های رودخانه از نظر پایداری پرداختند. روستایی و همکاران (۳۰) و لایقی و کرم (۱۸)، با استفاده از روش طبقه‌بندی رزگن به‌ترتیب مورفولوژی رودخانه‌های لیقوان و جاجرود را بررسی نموده و نشان دادند که این روش، توانایی تمرکز روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی رودخانه مانند نسبت عرض به عمق و مواد بستر را دارد. رضایی مقدم و همکاران (۲۸) با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای از طریق محاسبه شاخص‌های شریانی و خمیدگی به بررسی تغییرات رودخانه گاماسیاب پرداختند. حسینی و طباطبایی (۱۲)، با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه، تغییرات مورفولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن را بررسی نمودند. در پژوهشی دیگر رضایی مقدم و همکاران (۲۷)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل‌اوزن را بر اساس شاخص‌های ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی و تحلیل هندسه فراکتالی بررسی نمودند. همچنین، مقصودی و همکاران (۱۹) به ارزیابی تغییرات الگوی پیچان‌رودی و تحلیل هیدروژئومورفولوژی رودخانه مارون پرداخته و علت تغییر انحنا و جهت رودخانه را مسائل زمین‌شناسی و توپوگرافی و دبی بالای رودخانه بیان نموده و کاهش تغییر انحنای رودخانه در اثر عوامل انسانی را به عنوان یکی از پارامترهای موثر در وضعیت نامناسب موروفولوژیکی رودخانه معرفی کردند. اسماعیلی و ولی خانی (۷)، نصرتی و همکاران (۲۴) و ایلانلو و همکاران (۱۳) به‌ترتیب رودخانه‌های لاویج، طالقان و جاجرود را بر اساس شاخص کیفیت مورفولوژی طبقه‌بندی نمودند. یعقوب‌نژاد اصل و همکاران (۳۵) وضعیت مورفولوژی رودخانه طالقان را با استفاده از روش شاخص کیفیت مورفولوژی بازبینی‌شده ارزیابی و نتیجه گرفتند که رودخانه از وضعیت خوبی برخوردار نبوده که دلیل اصلی آن تغییرات شدید کاربری اراضی می‌باشد.

مرور پژوهش‌ها نشان‌دهنده تمرکز مطالعات روی وضعیت مورفولوژی رودخانه‌ها در کشور بوده، لیکن ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژی رودخانه‌ها چندان مورد بررسی قرار نگرفته‌است. مشکلاتی چون تغییر کاربری اراضی و ساخت و ساز در محدوده رودخانه، برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه، تغییر بستر کانال، حفاظت از کناره رودخانه و کانالیزه شدن[5] طول بیش از دو کیلومتر از رودخانه، منجر به ایجاد تغییرات چشم‌گیر رودخانه تجن شده که اهمیت مطالعه این رودخانه از منظر ساختاری و هیدرومورفولوژی را دو چندان می‌نماید. لذا در تحقیق حاضر به ارزیابی وضعیت کنونی ساختار- هیدرومورفولوژی رودخانه تجن با استفاده از روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه آلمان (LAWA-OS) به‌عنوان یکی از روش‌های شناخته شده در مدیریت رودخانه پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

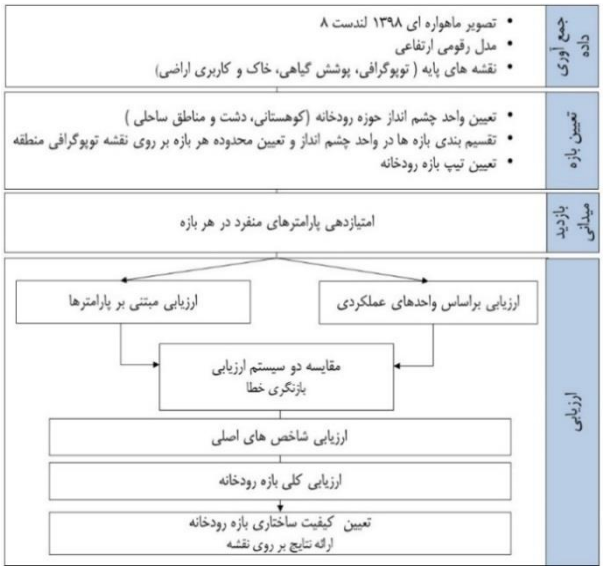
روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه (LAWA-OS)

تمرکز اصلی روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه (LAWA-OS)، شناسایی فشارهای مورفولوژی ناشی از مداخلات انسانی، به‌منظور تعیین اقدامات مناسب برای

1- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
2- Gewässergütekarteirung (LAWA-OS)
3- Ukrainian Field survey
4- Urban River Survey
5- Channelization

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

برقراری مجدد شرایط طبیعی و تقریباً طبیعی در چارچوب سیستم ارزیابی و نظارت است. این روش به طبقه‌بندی شرایط کنونی ساختار- هیدرومورفولوژی رودخانه مبتنی بر یک سیستم امتیازدهی در چهار مرحله جمع‌آوری داده، تعیین بازه و سنجش از راه دور، بازدید میدانی و ارزیابی شرایط بر اساس امتیازدهی به ۲۵ پارامتر منفرد می‌پردازد. شکل ۱، نمودار اجرای مرحله به مرحله ارزیابی با استفاده از روش LAWA-OS را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمودار گام به گام مراحل ارزیابی وضعیت ساختار- هیدرومورفولوژی رودخانه با استفاده از روش LAWA-OS (نگارنده، ۱۳۹۹)
Figure 1. Step by step classification process of evaluating the river structural/hydromorphological condition using LAWA-OS method (Author, 2020)

به‌منظور بررسی وضعیت ساختار- هیدرومورفولوژی رودخانه تجن، ابتدا نقشه‌های توپوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی حوزه از شرکت آب منطقه‌ای مازندران، مدل رقومی ارتفاعی منطقه[1] حاصل از تصاویر ماهواره‌ای ALOS-PALSAR با ابعاد ۱۲/۵ متر و نیز تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۸ متعلق به لندست ۸ با قدرت تفکیک ۶ متر از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا[2] تهیه شد. در مرحله بعد موقعیت عمومی حوزه بررسی و تعداد سه واحد چشم‌انداز[3] (مناطق کوهستانی، دشت و مناطق ساحلی) با ترکیب نقشه زمین‌شناسی و خصوصیات فیزیولوژی حوزه (ارتفاع و شیب) مشخص گردید. سپس محدوده مورد مطالعه به بازه‌های ۱۰۰ متری تقسیم و ابتدا و انتهای هر بازه بر روی نقشه توپوگرافی منطقه در محیط Arc-GIS 10.1 تعیین و شماره‌گذاری شد. ارزیابی اولیه هر بازه از طریق سنجش از راه دور با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و تصاویر هوایی گوگل ارث انجام شده و مشخصات پیچان‌رودی[4] (نسبت اندازه طولی کانال جریان به فاصله مستقیم آن)، وضعیت شریانی شدن[5] (تعداد جریان‌های فعال جداشده به‌وسیله موانع رسوبی)، جزایر رسوبی و رسوب‌گذاری‌های طولی، محدودیت کانال و اتصال به دشت سیلابی برای هر بازه مشخص شد. در گام بعدی، تیپ مورفولوژی کانال[6] بازه‌های مورد مطالعه، با توجه به ۱۲ تیپ ارائه شده در روش LAWA-OS، مطابق جدول ۱، با درنظر گرفتن شاخصه‌های نوع مواد بستر، شکل دره، شکل پروفیل کانال و ارتفاع تعیین شد (۲۲،۲۵). به‌منظور ارزیابی نهایی، بازدید میدانی در طول بازه‌ها از فروردین تا خرداد ماه ۱۳۹۸ انجام و شش پارامتر اصلی توسعه جریان، پروفیل طولی، پروفیل عرضی، ساختار بستر جریان، ساختار کناره جریان و دشت سیلابی با استفاده از ۲۵ پارامتر منفرد (جدول ۲)، بر اساس مقایسه بین شرایط کنونی و شرایط مرجع[7] ارزیابی شد. سیستم امتیازدهی این روش بدین‌گونه‌است که پرسشنامه شامل تمامی ۲۵ پارامتر و حالات آن‌ها برای هر ۱۲۰ بازه (۱۰۰ متر) در محدوده مطالعه بر اساس شناسه بازه منطبق با نقشه تهیه شده در محیط Arc-GIS 10.1 تهیه و بر اساس مشاهدات در ساحل سمت راست و چپ بازه و درجه تغییرات شرایط کنونی نسبت به شرایط مرجع (عدم وجود یا وجود ناچیز مداخلات انسانی)، به هر حالت با توجه به تیپ رودخانه مشخص شده برای بازه، امتیاز از پیش تعیین شده‌ای (از ۱ تا ۷) تعلق می‌گیرد (۹). حالات و امتیازهای مختلف پارامتر منفرد ۱-۱ انحنای جریان مطابق جدول ۳ آورده شده‌است (۲۳). در نهایت با توجه به امتیازات تعلق گرفته در هر پرسشنامه، امتیاز شش پارامتر اصلی و امتیاز کل محاسبه و بر اساس آن طبقه کیفیت ساختاری هر بازه رودخانه طبق جدول ۴، از میان ۷ کلاس ۱- بدون تغییرات، با مفهوم حداقل مداخلات و تغییرات کانال که شرایط مرجع فرضی طبیعی یا تقریباً طبیعی بر اساس از تیپ رودخانه و یا وضعیت طبیعی بالقوه رودخانه تا ۷-کاملاً تغییریافته (رودخانه مصنوعی[8]) تعیین می‌شود (۳۲،۱۵).

1- Digital Elevation Model (DEM)
2- The United States Geological Survey (USGS)
3- Landscape unit
4- Sinuosity
5- Braiding
6- River typology
7- Reference condition
8- Artificial water body

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

جدول ۱- انواع تیپ رودخانه براساس روش LAWA-OS (۲۵)

Table 1. River types according to LAWA-OS method (25)

واحد چشم انداز	تیپ رودخانه	نام اختصاری
مناطق کوهستانی	رودخانه در مناطق کوهستانی	B
	رودخانه با دره V شکل	B_K
	رودخانه با دره U شکل دارای بستر عریض و دشت سیلابی	B_S
	رودخانه با دره عمیق	B_M
	رودخانه با دره تالابی دارای بستر عریض	B_A
مناطق دشت	رودخانه در دشت با مناطق فرسایشی در دشت	T
	رودخانه غالباً رس با دره U شکل	T_K
	رودخانه غالباً شنی با دره U شکل	T_S
	رودخانه غالباً مواد ارگانیک	T_O
	رودخانه غالباً رس و لسی	T_L
	رودخانه غالباً مواد ریزدانه	T_F
مناطق ساحلی	رودخانه مرداب ساحلی	Kü

جدول ۲- پارامترهای منفرد و اصلی روش LAWA-OS در سیستم‌های ارزیابی مبتنی بر شاخص و واحدهای عملکردی (۹)

Table 2. Single and main parameters of LAWA-OS method for Index-based and Functional unit evaluation systems (9)

ارزیابی توسط واحدهای عملکردی (FU)			بخش رودخانه	ارزیابی مبتنی بر شاخص (IB)		
پارامتر منفرد	کد	واحد ارزیابی عملکردی		پارامتر منفرد	کد	پارامتر اصلی
انحنای جریان	۱-۱	انحنا	بستر رودخانه	انحنای جریان	۱-۱	توسعه جریان
رسوب‌گذاری کناره طولی	۱-۳			انحنای فرسایش	۱-۲	
ساختارهای ویژه جریان	۱-۴			رسوب‌گذاری کناره طولی	۱-۳	
انحنای فرسایش	۱-۲	قابلیت جابجایی		ساختارهای ویژه جریان	۱-۴	
عمق پروفیل	۲-۳			سازه‌های عرضی	۲-۱	پروفیل طولی
پوشش کناره رودخانه	۲-۵			برگشت آب	۲-۲	
چالاب و ایجاد پله در جریان	۲-۴			لوله کشی	۲-۳	
تنوع جریان	۲-۵	سازه‌های طولی طبیعی		چالاب و ایجاد پله در جریان	۲-۴	
تغییرات عمق	۲-۶			تنوع جریان	۲-۵	
سازه‌های عرضی	۲-۱	موانع مهاجرت در اثر مداخلات انسانی		تغییرات عمق	۲-۶	
برگشت آب	۲-۲			نوع پروفیل	۳-۱	پروفیل عرضی
لوله کشی	۲-۳			عمق پروفیل	۳-۲	
تغییرات در مسیر گذر جریان	۳-۵			فرسایش عرض	۳-۳	
نوع پروفیل	۳-۱	نوع پروفیل		تغییرات عرض	۳-۴	
عمق پروفیل	۳-۲	عمق بروفیل		تغییرات در مسیر گذر جریان	۳-۵	
فرسایش عرض	۳-۳	تغییرات عرض		مواد بستر	۴-۱	ساختار بستر جریان
تغییرات عرض	۳-۴			پوشش بستر	۴-۲	
مواد بستر	۴-۱	نوع و توزیع مواد بستر		تنوع مواد بستر	۴-۳	
پوشش بستر	۴-۲			ساختار بستر ویژه	۴-۴	
ساختار بستر ویژه	۴-۴			پوشش گیاهی کناره رودخانه	۵-۱	ساختار کناره جریان
مواد بستر	۴-۱	تثبیت بستر	کناره رودخانه	پوشش کناره رودخانه	۵-۲	
ساختار بستر ویژه	۴-۳			پوشش کناره ویژه	۵-۳	
پوشش گیاهی کناره رودخانه	۵-۱	پوشش گیاهی معمول کناره		کاربری اراضی	۶-۱	دشت سیلابی
پوشش کناره رودخانه	۵-۲	پوشش کناره		فضای باز اطراف رودخانه	۶-۲	
پوشش کناره ویژه	۵-۳	مشخصات معمول		موارد خاص کاربری اراضی	۶-۳	
کاربری اراضی	۶-۱	حاشیه اطراف	زمین مجاور			
موارد خاص کاربری اراضی	۶-۳					
فضای باز اطراف رودخانه	۶-۲	نواره کناری				

جدول ۳- حالات و امتیازهای اختصاص یافته به پارامتر منفرد ۱-۱ انحنای جریان براساس روش LAWA-OS (۲۳)

Table 3. States and value range of single parameter 1-1 curvature/bends according to LAWA-OS method (23)

شاخص منفرد	حالات	ملاحظات	امتیاز بر اساس تیپ رودخانه	
۱-۱ انحنای جریان			B_M B_A T Kü	B_S
	مآندری	منحنی	۱	۱
	موجدار (سینوسی)		۲	۱
	شدیداً منحنی		۳	۲
	انحنای متوسط	غیر منحنی	۴	۳
	انحنای کم		۵	۴
	کشیده شده		۶	۵
	کانال مستقیم		۷	۷

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

جدول ۴- تعریف طبقه‌های کیفیت ساختاری رودخانه براساس روش LAWA-OS (۲۳)

Table 4. Definition of structural quality classes according to LAWA-OS method (23)

رنگ نمایش‌گر طبقه	آبی تیره	آبی روشن	سبز تیره	سبز روشن	زرد	نارنجی	قرمز
طبقه کیفیت ساختاری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
محدوده امتیاز	۱-۱/۷	۱/۸ – ۲/۶	۲/۷ – ۳/۵	۳/۶ – ۴/۴	۴/۵ – ۵/۳	۵/۴ – ۶/۲	۶/۳ – ۷
توضیح طبقه	بدون تغییرات (شرایط مرجع)	کمی تغییر یافته	نسبتاً تغییر یافته	آشکارا تغییر یافته	به وضوح تغییر یافته	شدیداً تغییر یافته	کاملاً تغییر یافته

صحت نتایج با استفاده از مقایسه سیستم‌های ارزیابی مبتنی بر شاخص (IB)[1] و واحدهای عملکردی (FU)[2] مطابق جدول ۲ بررسی می‌شود (۹). به‌منظور درک بهتر، مثالی از حالات مشاهده شده و شاخص مربوطه در بازدید میدانی یکی از بازه‌ها برای پارامتر اصلی ۲- پروفیل طولی در جدول ۵ آورده شده‌است. امتیاز سیستم ارزیابی مبتنی بر شاخص و واحدهای عملکردی مثال فوق، به‌ترتیب مطابق رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند که SP در آن علامت اختصاری پارامتر منفرد است.

SP (۲-۱+۲-۲+۲-۳+۲-۴+۲-۵+۲-۶)/۶ (۱)

۳/۸=(۳+۶+۷+۲+۴+۴)/۶

SP (۲-۴+۲-۵+۲-۶)/۳ (۲)

۳/۳۳=(۲+۴+۴)/۳

SP (۲-۱+۲-۲+۲-۳+۳-۵)/۴

۴=(۳+۶+۷+۰)/۴

۳/۶۶ =(۳/۳۳+۴)/۲

در این مثال، امتیاز نهایی محاسبه شده برای سیستم ارزیابی مبتنی بر شاخص و واحدهای عملکردی ۳/۸ و ۳/۶۶ است، که با توجه به محدوده امتیاز برای هر طبقه (جدول ۴)، هر دو در طبقه کیفیت ساختاری ۴- آشکارا تغییر یافته قرار گرفته‌اند. اختلاف نتایج دو سیستم ارزیابی نباید از یک طبقه کیفیت ساختاری بیشتر شود. انحرافات قابل توجه، به‌دلایلی از جمله بروز مشکل در بازدید میدانی، تعیین اشتباه نوع جریان و یا عدم تجربه کارشناس اشاره داشته و مستلزم بازنگری خطا در بازه مورد نظر می‌باشد و باید ارزیابی حاصل از نظر کارشناس در بازه اصلاح شود (۲۶،۹).

جدول ۵- مثال امتیازدهی پارامترهای منفرد حاصل از بازدید میدانی برای پارامتر اصلی ۲-پروفیل طولی

Table 5. Example of survey mapping result of single parameters for the main parameter 2-longitudinal profile

پارامتر منفرد	مشخصات	شاخص امتیازدهی (T_k)
۱-۲ سازه‌های عرضی	کف‌بند ناهموار	۳
۲-۲ برگشت آب	۱۰-۵۰ متر	۶
۳-۲ لوله کشی	۵-۲۰ متر بدون رسوب	۷
۴-۲ چالاب و ایجاد پله در جریان	مشاهده بیش از ۲ مورد	۲
۵-۲ تنوع جریان	متوسط	۴
۶-۲ تغییرات عمق	متوسط	۴
۳-۵ تغییرات در مسیر گذر جریان	ندارد	X

منطقه مورد مطالعه

رودخانه تجن از رودخانه‌های مهم حوزه آبریز دریای خزر می‌باشد که از ارتفاع ۳۲۵۱ متری کوه‌های هزار جریب در دامنه شمالی سلسله جبال البرز سرچشمه می‌گیرد. حوزه آبریز این رودخانه از شمال به دریای‌خزر، از شرق به حوزه دارابکلا و نکارود، از جنوب به استان سمنان و از غرب به حوزه سیاه رود و رودخانه تالار محدود می‌شود. طول شاخه اصلی رودخانه ۱۷۲ کیلومتر و بر روی آن سد مخزنی شهید رجایی و سد انحرافی تجن (در محدوده شهر ساری) اجرا شده‌است. مساحت حوزه تا ایستگاه کردخیل واقع در پایاب رودخانه حدود ۴۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. رژیم جریان رودخانه برفی-بارانی و دارای جریان پایه‌ای دائم، به صورت دره-رودخانه در محدوده کوهستانی است. میزان متوسط دبی سالانه برای یک دوره آماری ۴۲ ساله منتهی به سال ۱۳۹۴ برابر ۱۲/۸۱ مترمکعب بر ثانیه و آورد سالانه آن ۴۶۰ میلیون متر مکعب برآورد شده‌است (۲۰). محدوده مورد مطالعه، ۱۲ کیلومتر واقع در منطقه دشت دارای دره U-شکل که از روستای تنگه‌لته شروع شده و تا تصفیه‌خانه عالیواک ادامه می‌یابد. عرض رودخانه از بالادست به سمت پایین دست به‌طور متوسط از ۵۵ تا ۱۵ متر متغیر بوده، اما در طول ۱/۳ کیلومتر از رودخانه در محدوده پارک ملل (داخل شهر ساری) مسیر رودخانه کانالیزه شده و و عرض کانال تا ۱۰۰ متر افزایش یافته است. عمق متوسط رودخانه در بازه مورد مطالعه ۰/۴۵ متر با شیب متوسط ۰/۰۰۶ است. مواد بستر جریان در این منطقه عمدتاً از مخلوطی از شن و ماسه تشکیل شده است.

جدول ۶- مشخصات بازه‌های مورد بررسی رودخانه تجن

Table 6. River reaches characteristics of Tajan River

زیرمنطقه	نام اختصاری	تعداد بازه (n)	محدوده	طول (کیلومتر)	درصد از کل محدوده	تیپ رودخانه
۱	BS	۵۶	تنگه لته تا پل داراب	۵/۶	۴۷	T_k - T_S
۲	SS	۳۹	پل داراب تا پل کمربندی	۳/۹	۳۲	T_S
۳	AS	۲۵	پل کمربندی تا عالیواک	۲/۵	۲۱	T_S

1- Index-based

2- Functional unit

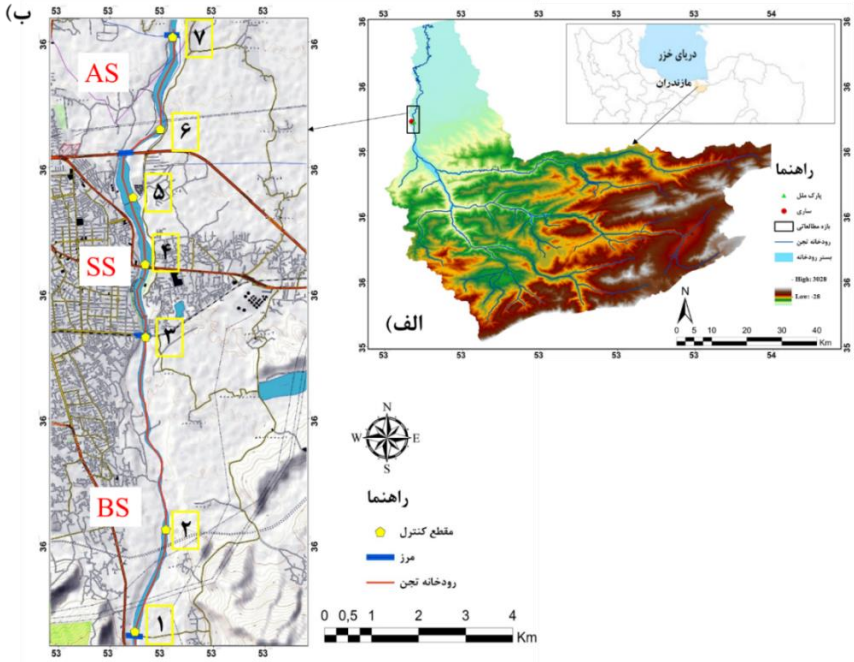
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

کاربری اراضی به‌غیر از محدوده شهر ساری (زیرمنطقه SS)، غالباً مزارع شالیزار و مرکبات است که در بیشتر مناطق در مجاورت کانال اصلی رودخانه قرار دارند. حدود ۳/۵ کیلومتر از منطقه مورد مطالعه از منطقه شهری (شهر ساری) عبور کرده و سازه‌های آبی مختلف مانند پل‌ها، سد انحرافی، دو سد لاستیکی، کف‌بند و سرریز در مسیر جریان احداث شده‌است. به‌منظور ارزیابی وضعیت، تعداد ۱۲۰ بازه در محدوده مورد مطالعه تعریف که مسیر رودخانه در سه زیرمنطقه قبل از شهر ساری (BS)، محدوده شهر ساری (SS) و بعد از شهر ساری (AS)، مطابق جدول ۶ تقسیم شده‌است. با توجه به شاخصه‌های اصلی، تیپ رودخانه از تنگه‌لته تا ایستگاه پل داراب، ابتدا غالباً رسی (T_k) و در انتهای بازه غالباً شنی (T_S) و از پل داراب تا انتهای محدوده، غالباً شنی (T_S) تعیین شد (جداول ۱ و ۶). متوسط عرض، عمق و سرعت جریان در ۷ مقطع کنترل، به‌ترتیب از بالادست به سمت پایین‌دست (تنگه لته، روستای نوده، پل داراب، پل تجن، موزه سپاه، روستای مقام و عالیواک) در بازدید میدانی اندازه‌گیری شده‌است. سرعت جریان به روش صحرایی، عرض جریان با استفاده از متر لیزری، عمق متوسط جریان با استفاده از شاخص اندازه‌گیری (۲ متر) در فاصله یک سوم عرض رودخانه برداشت شده‌است (جدول ۷). شکل‌های ۲-الف و ب به‌ترتیب حوزه آبریز تجن و موقعیت آن، شهر ساری، پارک ملل، محدوده مورد مطالعه و مرز زیر منطقه‌ها و مقاطع کنترل را نشان می‌دهند.

جدول ۷- مشخصات مقاطع کنترل و اندازه‌گیری در محدوده مورد مطالعه رودخانه تجن
Table 7. Characteristics of control and measurement sections of study area of Tajan River

شماره مقطع	نام مقطع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	عمق متوسط (m)	متوسط سرعت جریان (ms^{-1})	متوسط عرض کانال (m)
S۱	تنگه لته	۵۳°۰۴'۴۸/۰"E	۳۶°۳۰'۰۰/۰"N	۸۱	۰/۷	۱/۰۵	۲۷
S۲	روستای نوده	۵۳°۰۵'۲۴/۰"E	۳۶°۳۱'۱۲/۰"N	۶۷	۰/۵۷	۱/۲	۱۲
S۳	پل داراب	۵۳°۰۵'۰۷/۵"E	۳۶°۳۳'۱۲/۶"N	۴۳	۰/۵	۱	۵۵
S۴	پل تجن	۵۳°۰۵'۰۸/۳"E	۳۶°۳۳'۵۴/۶"N	۳۰	۰/۳	۱/۰۵	۲۱
S۵	موزه سپاه	۵۳°۰۵'۰۱/۱"E	۳۶°۳۴'۳۶/۷"N	۲۵	۰/۶	۰/۹	۱۹
S۶	روستای مقام	۵۳°۰۵'۲۰/۵"E	۳۶°۳۵'۱۹/۸"N	۱۴	۰/۵۸	۱/۱	۳۸
S۷	عالیواک	۵۳°۰۵'۲۹/۳"E	۳۶°۳۶'۱۷/۹"N	۹	۰/۵۲	۱	۳۳



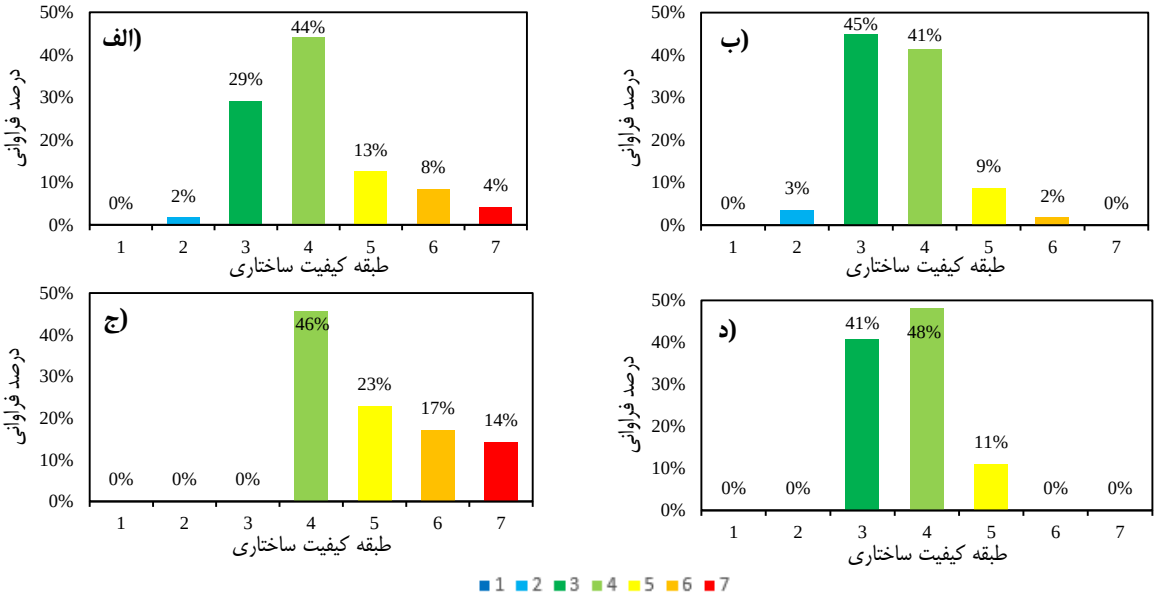
شکل ۲- الف) موقعیت حوزه آبریز تجن، مدل رقومی ارتفاعی حوزه آبریز تجن، موقعیت شهر ساری، پارک ملل و محدوده مورد مطالعه تولید شده در محیط ArcGis 10.1 و ب) مرز زیرمنطقه‌ها و موقعیت مقاطع کنترل و اندازه‌گیری در محدوده مورد مطالعه
Figure 2. a) Tajan catchment location, Tajan catchment DEM, City of Sari, Mellal park and study area location produced in ArcGIS 10.1, and b) Subregions boundaries and control and measurement sections location in the study area

نتایج و بحث

نتایج حاصل از ارزیابی وضعیت کلی ساختار-هیدرومورفولوژی رودخانه تجن به روش LAWA-OS در کل محدوده مورد مطالعه، را نشان می‌دهد (شکل ۳-الف). با توجه به نتایج، طبقه کیفیت ساختاری رودخانه تجن در کل محدوده با احتساب ۴۴ درصد بازه‌های مورد مطالعه، ۴-آشکارا

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

تغییر یافته (در محدوده ۴/۴-۳/۶) ارزیابی شده‌است. در محدوده مورد مطالعه، بازه‌ای بدون تغییرات (کاملاً طبیعی) مشاهده نگردیده، اما ۲ درصد بازه‌ها کمی تغییر یافته و ۴ درصد کاملاً تغییر یافته ارزیابی شده‌اند. به‌منظور بررسی دقیق‌تر، درصد فراوانی طبقه‌های کیفیت ساختاری برای به طور مجزا در سه زیر منطقه قبل از شهر ساری (BS)، محدوده شهر ساری (SS) و بعد از شهر ساری (AS)، به‌ترتیب در شکل‌های ۳- ب، ج و د، آورده شده‌است. نتایج حاکی از آن است که وضعیت بخش شهری رودخانه تجن به وضوح تا کاملاً تغییریافته که در اثر ایجاد تغییراتی مانند تغییر بستر و عرض کانال منجر به تغییر مواد بستر، ایجاد حفاظت از کناره بتنی در بیش از دو کیلومتر از رودخانه و احداث سازه‌هایی مانند سد لاستیکی و کف‌بند بدون درنظر گرفتن پلکان ماهی به‌خصوص در محدوده پارک ملل می‌باشد (شکل ۵-ب). همچنین، طبقه کیفی ۲-کمی تغییریافته مشاهده شده، تنها در مواردی معدود در بالادست جریان، قبل از ورود به شهر واقع شده و وضعیت کیفیت ساختاری رودخانه تجن قبل و بعد از شهر ساری در محدوده مورد مطالعه عمدتاً ۳-نسبتاً یا ۴-آشکارا تغییریافته (در طبقه متوسط تغییرات) ارزیابی شده‌است.

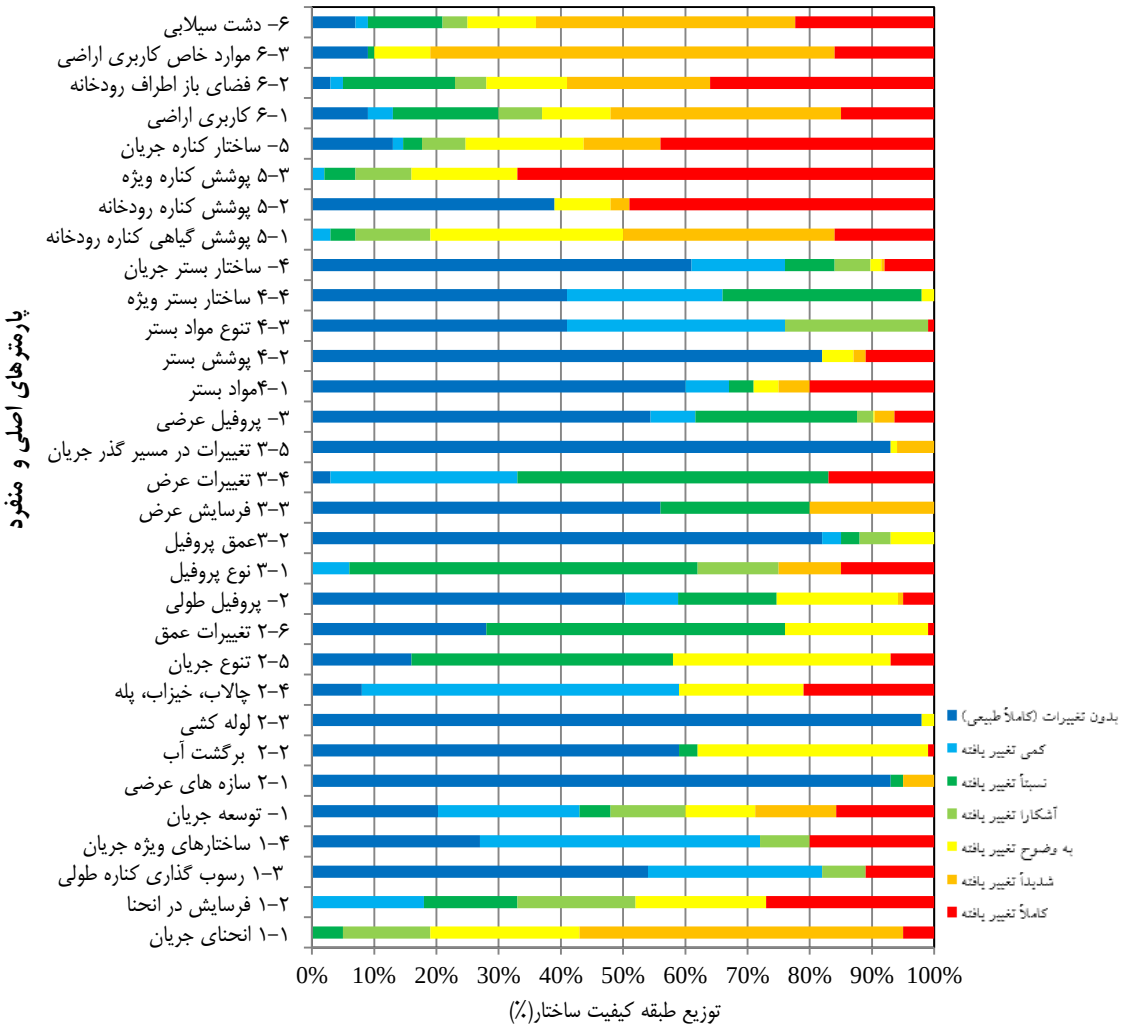


شکل ۳- وضعیت کلی ساختار- هیدرومورفولوژی رودخانه تجن، الف) کل محدوده مورد مطالعه (تعداد=۱۲۰)، ب) زیرمنطقه قبل از شهر ساری- BS (تعداد=۵۶)، ج) زیر منطقه شهر ساری- SS (تعداد=۳۹) و د) زیر منطقه بعد از شهر ساری- AS (تعداد=۲۵)

Figure 3. Overall structural/hydromorphological quality of a) Tajan river, whole study area (n=120), b) before city of Sari subarea-BS (n=56), c) city of Sari subarea-SS (n=39), and d) after of Sari subarea-AS (n=25)

درصد توزیع هر طبقه کیفیت ساختاری پارامترهای منفرد و اصلی در محدوده مورد مطالعه برای کل بازه‌ها، مطابق شکل ۴ آورده شده‌است. دو پارامتر منفرد ۵-۲ پوشش کناره رودخانه با ۴۹٪ و ۵-۳ پوشش کناره ویژه با ۶۷٪، سهم بالایی از طبقه ۷-کاملاً تغییر یافته را به‌خود اختصاص داده و در نتیجه پارامتر اصلی ۵-ساختار کناره جریان، در ۴۴٪ از بازه‌ها کاملاً تغییر یافته طبقه‌بندی شده‌است. دو پارامتر مذکور، نقش پارامترهای تنزل‌دهنده برای رودخانه تجن در بازه مورد مطالعه را داشته که بهبود شرایط آن‌ها می‌تواند در برنامه‌ریزی اقدامات باز زنده‌سازی به‌عنوان هدف اولیه رودخانه تجن مدنظر قرار گیرد. هم‌چنین مجموع درصد توزیع طبقه‌های ۶ و ۷ (تغییرات شدید و کاملاً تغییر یافته) برای پارامترهای منفرد ۱-۱ انحنای جریان، ۶-۲ فضای باز اطراف رودخانه و ۶-۳ موارد خاص کاربری اراضی، به‌ترتیب با ۵۷٪، ۵۹٪ و ۸۱٪ ارزیابی شده که نشان‌دهنده تغییرات شدید در وضعیت دشت سیلابی محدوده مورد مطالعه است. با توجه به حالات بیان شده برای پارامترهای فوق، در برنامه‌ریزی اقدامات باز زنده‌سازی برای رودخانه تجن، می‌توان با اجرای تمهیداتی مانند جلوگیری از دفع زباله و نخاله ساختمانی در دشت سیلابی، طبقه کیفیت ساختاری کلی رودخانه تجن در بازه مورد مطالعه را بهبود داد. از طرف دیگر، درصد توزیع طبقه کیفیت ساختاری ۱-بدون تغییرات، برای پارامترهای منفرد ۲-۱ سازه‌های عرضی، ۹۳٪ ، ۲-۲ برگشت آب با ۵۹٪، ۳-۲ لوله‌کشی ۹۸٪، ۳-۲ عمق پروفیل ۸۲٪، ۳-۳ فرسایش در عرض ۵۶٪، ۳-۵ تغییرات در مسیر گذر جریان (پل‌ها و زیرگذرها) ۹۳٪، ۴-۱ مواد تشکیل‌دهنده بستر جریان ۶۰٪ ، ۲-۴ پوشش بستر جریان ۸۲٪ و پارامتر اصلی ۴-ساختار بستر جریان با ۶۱٪ گزارش شده و حاکی از شرایط مناسب ساختار بستر جریان رودخانه تجن در بازه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از شکل ۴ نشان می‌دهد که بررسی محدوده در بازه‌های به طول ۱۰۰ متر، اطلاعات دقیق و جزیی درباره شرایط هر بازه نشان می‌دهد؛ به‌عنوان مثال، هرچند پارامتر منفرد ۳ -۳ فرسایش در عرض در ۵۶٪ بازه‌ها شرایط خوبی را نشان می‌دهد، اما در ۲۰٪ بازه‌ها نیز دستخوش تغییرات شدید شده است (شکل ۵-الف).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]



شکل ۴ – درصد توزیع طبقه کیفیت ساختاری پارامترهای منفرد و اصلی رودخانه تجن با استفاده از روش LAWA-OS (n=۱۲۰)
Figure 4. Structural quality classes percentage of single and main parameters of Tajan River using LAWA-OS method (n=120)

اجرای روش LAWA-OS در خارج از منطقه اصلی (آلمان)، منجر به وجود انحراف بین ارزیابی مبتنی بر شاخص و واحدهای عملکردی ناشی از تیپ‌های تعریف شده رودخانه یا ویژگی‌های واحدهای چشم انداز خاص منطقه تحقیق می‌شود (۴). به‌منظور بررسی انحراف بین دو سیستم ارزیابی، آزمون رتبه‌های علامت دار ویل‌کاکسون دوطرفه[1] برای داده‌های ترتیبی (در این مطالعه از ۱ تا ۷) و نمونه‌های مطابقت داده شده (دو روش ارزیابی مبتنی بر شاخص و واحدهای عملکردی برای هر پارامتر اصلی) با سطح آماری معنی‌دار در p-value<۰/۰۵ تعیین گردید (۳۴). میانگین ارزیابی واحدهای عملکردی و مبتنی بر شاخص، فاصله‌ی هر داده از مقدار متوسط (Z-score) و معناداری (p-value) براساس آزمون دار ویل‌کاکسون برای پارامترهای اصلی مطابق جدول ۸ آورده شده‌است. پارامتر اصلی ۵- ساختار کناره جریان از لحاظ کیفی میانگین شاخص بسیار کمتری نسبت به میانگین واحد عملکردی نشان می‌دهد (با اختلاف ۰/۶۷+ ، p-value<۰/۰۱). دلیل این امر را می‌توان در نتیجه امتیازدهی کارشناس در بازدید میدانی منجر به افزایش تاثیر پارامترهای حفاظت از کناره‌ها (پارامتر منفرد ۵-۲) و پوشش ویژه کناره (پارامتر منفرد ۵-۳) در جمع امتیاز پارامتر اصلی شده‌است. این بدان معناست که تمامی حالات ذکر شده در پارامتر ۵-۳، در منطقه مورد مطالعه قابل ارجاع نبوده و کارشناس در هنگام امتیازدهی نتوانسته این حالات را تشخیص دهد. برای پارامتر اصلی ۲-پروفیل طولی، نمرات واحد عملکردی بالاتر از نمرات شاخص گزارش شده‌است (اختلاف ۰/۲۶ و p-value<۰/۰۰۱). امتیازدهی کارشناس بیان‌گر این است که پارامتر ۲-۱ سازه‌های عرضی به‌ندرت درون جریان مشاهده شده‌اند (طبقه کیفیت ساختاری ۱)؛ در حالی‌که چندین سازه عرضی اعم از پل‌ها، کف‌بند، سد لاستیکی، سد انحرافی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد که بر جریان رودخانه تأثیر زیادی می‌گذارد، اما این تأثیرات به دلیل کوچک بودن بازه‌های مورد ارزیابی (۱۰۰ متر) کم اثر برآورد شده‌است (رجوع شود به شکل‌های ۵- ب و ج). میانگین پارامترهای اصلی ۴- پروفیل عرضی و ۶- دشت

1- Wilcoxon signed-rank test

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

سیلابی بین دو روش ارزیابی تفاوت معنی‌داری نشان نمی‌دهد. این به این معنی است که فقط انحراف قابل قبول (کمتر از ۱ کلاس) رخ داده است. ارزیابی واحدهای عملکردی و مبتنی بر شاخص برای پارامتر اصلی ۶- دشت سیلابی نشان داد که بهترین تطبیق بین دو سیستم ارزیابی برای رودخانه تجن در منطقه مورد مطالعه را دارد (با اختلاف ۰/۱۳- P-value<۰/۰۰۱). این امر حاکی از آن است که پارامترهای بیان شده برای کاربری از زمین مانند جنگل، زمین بدون کشت، زمین کشاورزی و توسعه با مناطق بسته و باز مناسب این منطقه می‌باشد.

جدول ۸- مقایسه نتایج ارزیابی واحدهای عملکردی و مبتنی بر شاخص پارامترهای اصلی با استفاده از روش LAWA-OS (n=۱۲۰)
Table 8. The comparison of index-based and functional unit evaluation results of main parameters using LAWA-OS method (n=120)

نتایج	۱- توسعه جریان	۲- پروفیل طولی	۳- ساختار بستر جریان	۴- پروفیل عرضی	۵- ساختار کناره جریان	۶- دشت سیلابی
میانگین ارزیابی واحدهای عملکردی	۳/۶۸	۴/۰۱	۲/۹۵	۳/۵۱	۵/۴۶	۵/۸۶
میانگین ارزیابی مبتنی بر شاخص	۳/۳۲	۳/۷۵	۲/۸۵	۳/۴۹	۵/۲۶	۵/۷۳
z-score	۲/۸۲	۵/۰۶	۲/۰۷	۲/۳۱	۳/۱۳	۲/۱۱
p-value	<۰/۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۵	۰/۰۵	<۰/۰۱	<۰/۰۰۱

شکل ۵- الف) سیلابدشت و وقوع فرسایش عرضی در مقطع کنترل ۶ ، ب) سد لاستیکی و پوشش کناره جریان در مقطع کنترل ۴ و ج) سازه کف‌بند در مقطع کنترل ۷ (عکس: نیایش فندرسکی، ۱۳۹۸)
Figure 5. a) Floodplain and occurrence of width erosion in control section 6, b) Robber dam and bank protection in control section 4, and c) Ramp structure in control section 7 (Photos: Niayesh Fendereski, 2019)

نتیجه‌گیری کلی

تامین آب کشاورزی منطقه و نیز توسعه شهر ساری در اطراف رودخانه، منجر به ایجاد تغییرات زیادی در بستر و کانال رودخانه تجن شده‌است. طی دو دهه اخیر حفظ و بهبود شرایط رودخانه‌ها تحت عنوان باز زنده‌سازی رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده‌است. طبق دستورالعمل WFD، گام اول پیش از اجرای اقدامات باز زنده‌سازی رودخانه‌ها، بررسی وضعیت کنونی رودخانه از منظر بیولوژیکی، فیزیوشیمیایی و هیدرومورفولوژی است. موقعیت رودخانه تجن و عبور آن از مناطق کوهستانی، دشت و ساحلی و نیز اقلیم منطقه، انطباق خوبی با شرایط مرجع ذکر شده به روش طبقه‌بندی کیفیت ساختاری رودخانه آلمان (LAWA-OS) برخوردار است. لذا در این تحقیق به بررسی وضعیت ساختار- هیدرومورفولوژی طول ۱۲ کیلومتر از رودخانه تجن در محدوده شهر ساری با استفاده از سنجش از راه دور و بازدیدهای میدانی، در ۱۲۰ بازه ۱۰۰ متری، پرداخته شد. نتایج کلی ارزیابی نشان داد که ۴۴ درصد بازه‌های مورد مطالعه، در طبقه کیفی ۴-آشکارا تغییر یافته (در محدوده ۴/۴-۳/۶) قرار داشته، حال آنکه بازه‌ای بدون تغییرات (کاملاً طبیعی) مشاهده نگردیده، اما ۲ درصد بازه‌ها کمی تغییر یافته و ۴ درصد کاملاً تغییر یافته ارزیابی شده‌اند. هم‌چنین به‌منظور بررسی دقیق‌تر، بازه‌ها به سه زیر منطقه قبل، داخل و بعد از شهر ساری تقسیم شد که وضعیت بخش شهری رودخانه تجن به وضوح تا کاملاً تغییریافته ارزیابی شد که دلیل آن ایجاد تغییراتی مانند تغییر بستر و عرض کانال منجر به تغییر مواد بستر، ایجاد حفاظت از کناره بتنی در بیش از دو کیلومتر از رودخانه و احداث سازه‌هایی مانند سد لاستیکی و کف‌بند بدون درنظر گرفتن پلکان ماهی به‌خصوص در محدوده پارک ملل است. به‌علاوه، درصد توزیع هر طبقه کیفیت ساختاری پارامترهای منفرد و اصلی در محدوده مورد مطالعه برای کل بازه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و دو پارامتر منفرد ۵-۲ پوشش کناره رودخانه با ۴۹٪ و ۵-۳ پوشش کناره ویژه با ۶۷٪، سهم بالایی از طبقه ۷-کاملاً تغییر یافته را به‌خود اختصاص داده که نقش پارامترهای تنزل‌دهنده برای رودخانه تجن در بازه مورد مطالعه را داشته و به‌عنوان هدف اولیه در برنامه‌ریزی اقدامات باز زنده‌سازی رودخانه تجن پیشنهاد می‌گردد. از طرفی به‌دلیل صرفه‌جویی در وقت و هزینه توصیه می‌شود که بازه‌های ۵۰۰ متری برای رودخانه تجن در نظر گرفته شود و در صورت مشاهده تغییرات و مداخلات انسانی، مانند وجود سازه‌های عرضی، پوشش بستر و پوشش کناره در هنگام بازدید میدانی در بازه تعریف شده، بازه فوق به بازه‌های ۱۰۰ متری تقسیم شده و در نهایت ارزیابی ترکیبی (طول بازه‌های متفاوت) در امتداد رودخانه انجام گیرد.

پژوهش‌های پیشین، مانند بررسی وضعیت مورفولوژی رودخانه‌های طالقان و لاویج با استفاده از روش شاخص کیفیت مورفولوژی MQI و رودخانه‌های دراو[1] و ناراو[2] در آلمان با استفاده از روش LAWA-OS (روش‌های ارزیابی رودخانه براساس WFD)، بیان نمود که رودخانه‌های مذکور از

1- Drau River
2- Naraw River

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

نظر مورفولوژیکی از شرایط خوبی برخوردار نبوده و به تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان دلیل اصلی شرایط موجود اشاره شده است (۷، ۳۵ و ۱۴). نتایج تحقیق حاضر نیز نشان می‌دهد که پارامترهای منفرد ۶-۱ کاربری اراضی و ۶-۲ فضای باز اطراف رودخانه به شدت تغییر یافته (به‌ترتیب ۵۲٪ و ۵۹٪) که بر نقش موثر کاربری اراضی در ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی آشکارا تغییر یافته رودخانه تجن اشاره داشته که با نتایج مطالعات پیشین هم‌خوانی دارد. از طرفی، ارزیابی تغییرات الگوی پیچان‌رودی و تحلیل هیدروژئومورفولوژی رودخانه مارون، کاهش تغییر انحنای رودخانه در اثر عوامل انسانی را به عنوان یکی از پارامترهای موثر در وضعیت نامناسب موروفولوژیکی رودخانه معرفی نمود (۱۹). این مسأله در بررسی شرایط رودخانه تجن نیز مشاهده شده‌است. ارزیابی پارامتر منفرد ۱-۱ انحنای جریان، براساس مشخصات پیچان‌رودی (نسبت اندازه طولی کانال جریان به فاصله مستقیم آن)، نشان داد که در بیش از نیمی از بازه‌های مورد مطالعه رودخانه تجن (۵۹٪)، فرم جریان کشیده شده یا مستقیم بوده، کانال جریان دستخوش تغییر و از فرم طبیعی خارج شده‌است.

در نهایت، در روش مورد ارزیابی حاضر، شرایط جغرافیایی بر روی واحدهای چشم انداز و تیپ رودخانه‌های تعریف شده، فرم دره رودخانه، مواد بستر و پوشش گیاهی تاثیرگذار بوده که تاحدود زیادی با شرایط جغرافیایی شمال ایران و به‌خصوص رودخانه تجن (دارای سه واحد چشم انداز کوهستانی، دشت و ساحلی) مطابقت دارد. با توجه به آنکه روش مورد بحث برای اولین بار در این تحقیق معرفی و تشریح شده، لذا پیشنهاد می‌گردد که با استفاده از روش LAWA-OS، شرایط هیدرومورفولوژیکی رودخانه‌های دیگر در ایران ارزیابی شده و نیز پارامترهای منفرد به‌طور مجزا بررسی شده تا بتوان یک روش کالیبره شده مطابق با شرایط جغرافیایی در ایران تعریف نمود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از راهنمایی آقای Marvin Behrens در به کارگیری روش تحقیق و همراهی خانم وحیده لطفی در بازدید میدانی کمال قدردانی را دارند.

منابع

1. Arle, J., V. Mohaupt and I. Kirst. 2016. Monitoring of Surface Waters in Germany under the Water Framework Directive-A Review of Approaches, Methods and Results. Water, 8(6): 217-239.
2. Belletti, B., M. Rinaldi, A.M. Gurnell, A.D. Buijse and E. Mosselman. 2015. A review of assessment methods for river hydromorphology. Environmental Earth Sciences, 73(3): 2079-2100.
3. Benjankar, R., F. Koenig and D. Tonina. 2013. Comparison of hydromorphological assessment methods: Application to the Boise River, USA, Journal of Hydrology, 492(1): 128-138.
4. Birnbaum, D. and G. Lamberty. 2019. Applicability of the German Hydromorphological Assessment Approach to Tropical Rivers. In: Nehren U., S. Schlöter, C. Raedig, D. Sattler and H. Hissa (eds.) Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro. Springer Series on Environmental Management. Springer, 173-189 pp. Cham, Switzerland.
5. Clews, E., I.P. Vaughan and S.J. Ormerod. 2010. Evaluating the effects of riparian restoration on a temperate river-system using standardized habitat survey. Aquatic Conservative: Freshwater Ecosystem, 20(1): 96-104.
6. Environment Agency. 2003. River Habitat Survey in Britain and Ireland. Field Survey Guidance manual. 1st edn, Bristol, England, 136 pp.
7. Esmaili, R. and S. Valikhani. 2015. Evaluation and Analysis of the hydromorphological condition of Lavij River using MQI method, J. of Quantitative Geomorphological Research, 2(4): 37-53 (In Persian).
8. European Commission. 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water. Official Journal for the European Communities, 327(1): 1-72.
9. Gellert, G., T. Pottgiesser and T. Euler. 2014. Assessment of the structural quality of streams in Germany, basic description. Environmental Monitoring Assessment. 186(1): 3365-3378.
10. Groll, M. 2017. The passive river restoration approach as an efficient tool to improve the hydromorphological diversity of rivers – Case study from two river restoration projects in the German lower mountain range, Geomorphology, 293(1): 69-83.
11. Hafezi Moghaddas, N., H. Solouki, R. Jalilvand, and J. Rahnamarad. 2012. Geomorphological study of River engineering of Sistan River, Journal of Geotechnical Geology, 8(1): 1-18 (In Persian).
12. Hosseini, S.A. and M. Tabatabaei. 2020. Detection of River Morphological Changes Using Aerial Photographs and Multi- Time Satellite Imagery (Case Study of Part of the Ghezel Ouzan River from Pircham Village to Gilvan Village). Journal of Watershed Management Research, 11(21): 186-197 (In Persian).
13. Ilanlou, M. and A. Karam. 2020. Evaluating the hydromorphological condition of Jajroud River using MQI method. Journal of Applied researches in Geographical Sciences, 20(56): 35-53 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

14. Kail, J., S. Jähnig and D. Hering. 2009. Relation between floodplain land use and river hydromorphology on different spatial scales–a case study from two lower-mountain catchments in Germany, Fundamental and Applied Limnology. Journal of Hydrobiologie, 174(1): 63-73.
15. Kamp U., W. Binder and K. Hölzl. 2007. River habitat monitoring and assessment in Germany. Environmental Monitoring and Assessment, 127(1): 209-226.
16. Lamberty, G., T. Zumbroich and L. Ribbe. 2016. Quantifying bias in hydromorphological monitoring: an evaluation of the German LAWA-OS method. Environmental Earth Sciences, 75(22): 1-17.
17. LAWA. 2000. Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland: Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer-Empfehlung. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA, German Working Group on Water Issues. Schwerin, Germany, 190 pp.
18. Layeghi, S. and A. Karam. 2015. Hydro-geomorphological classification of Jajroud River using Rosgen model, Journal of Quantitative Geomorphological Research, 3(3): 130-143 (In Persian).
19. Maghsoudi, M., S.M. Zaman Zadeh, M. Yamani and A. Hajizadeh. 2017. Assess the changes in Maroon River sinuosity pattern and hydrogeomorphological analysis of the case study area: Maroon River (from the source to entrance to the Jarahi River). Journal of Natural Geography, 10(1): 1-28 (In Persian).
20. Mazandaran Regional Water Company. 2015. Tajan River Hydrological study Report. Sari, Iran, 56 pp (In Persian).
21. Meier, G., T. Zumbroich and J. Roehrig. 2013. Hydromorphological assessment as a tool for river basin management: the German field survey method. J. of Natural Resources, 3(1): 14-26.
22. Niedersächsischer Landesbbetrieb für Wasserwirtscgaft, Küsten-und Naturschutz (NLWKN). 2017. Gewässergestalten, Bäche und Flüsse in Niedersachsen und Bremen, Hannover, Germany, 100 pp.
23. Niedersächsisches Landsamt für Ökologie. 2001. Gewässerstrukturgütekartierung in Niedersachsen-Detailverfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer, Hildesheim, Germany, 100 pp.
24. Nosrati, K., M. Rostami and Z. Etminan. 2020. Evaluating the hydromorphological condition of Taleghan River using morphological quality index, Journal of Hydrogeomorphology, 6(21): 133-154 (In Persian).
25. Rasper, M. 2001. Morphologische Fließgewässertypen in Niedersachsen-Leitbilder und Referenzgewässer, Niedersächsisches Landsamt für Ökologie. Hildesheim, Germany, 98 pp.
26. Raven P.J., N.T.H. Holmes, P. Charrier, F.H. Dawson, M. Naura and P.J. Boon. 2002. Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: A qualitative comparison of three survey methods. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 12(4): 405-424.
27. Rezaei Moghadam, M.H., M.R. Sarvati and S. Asghari Sareskanrood. 2011. Compared Investigation Meandering Pattern by Fractal Geometrical Analysis and Central Angles and Sinuosity Ratio Indices. Journal of Watershed Management Research, 2(3): 1-18 (In Persian).
28. Rezaei Moghaddam, M.H., I. Jabbary and N. Pirozynezhad. 2016. A Study of meandering, braided and ana branching channel plan forms, using sinuosity and braided indexes in Gamasiab River. Journal of Watershed Management Research, 7(1): 272-283 (In Persian).
29. Rinaldi, M., N. Surian, F. Comiti and M. Bussettini. 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index. Geomorphology, 180(181): 96-108.
30. Roustaee, Sh., A. Khorshiddoost and S. Khaleghi. 2013. Evaluation of Lighvan River Duct Morphology using Rosgen Classification Method. Quantitative Geomorphological Research, 1(4): 1-16 (In Persian).
31. Scheifhacken, N., U. Haase and L. Gram-Radu. 2012. How to assess hydromorphology? A comparison of Ukrainian and German approaches. Environmental Earth Sciences. 65(2): 1483-1499.
32. Šípek V., M. Matoušková and M. Dvořák. 2010. Comparative analysis of selected hydromorphological assessment methods. Environmental Monitoring and Assessment 169(1-4): 309-319.
33. Toland, M. and M. Murphy. 2013. River Hydromorphology Assessment Technique (RHAT). Training Manual -Version 2. 1st edn, Northern Ireland Environment Agency. Belfast. England, 97 pp.
34. Wilcoxon, F. 1945. Individual comparisons by ranking methods. 1. Biometrics Bulletin, 1(6): 80-83.
35. Yaghoub Nezhad Asl, N., F. Esfandyari Dorabad Sayyad and S. Asghari Sareskanroud. 2020. Evaluation of the morphological condition of Taleghan River between 2006-2016. Journal of quantitative geomorphological researches, 9(1): 67-85 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]

Evaluating the Structural-Hydromorphological Status of Tajan River Based on German River Structural Quality Mapping Method (LAWA-OS)

Niayesh Fendereski[1], Mohsen Masoudian[2] and Klaus Röttcher[3]

1- PhD Candidate of Water structures, Department of Water engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Associate Professor, Water engineering Faculty, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (Corresponding Author: mohsen_masoudian@yahoo.com)
3- Professor, Faculty of civil Engineering, Ostfalia University of Applied Sciences
Received: 18 May, 2021 Accepted: 21 August, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: All around the world, surface waters are dramatically vulnerable to the Impacts of various human activities, as sustainable river systems and animal and plant habitats are widely endangered, and the land use and the quality of water has been changed. Structural-hydromorphological characteristics are of great importance in the ecological status of rivers, so that the study of their status as one of the basic components in the sustainable management of the river basin and the revitalization of river conditions Is going. In Europe, simultaneous with the introduction of the Water Framework Directive, the status of surface water has received much attention and the urgent need for an accurate monitoring system, as a first step towards achieving a minimum good ecological status, was introduced. The Literature review shows that, the focus of studies in Iran are mostly on the morphological status of rivers, but so far, the assessment of the hydromorphological status of rivers has not been studied. Hence, the present paper studies the structural-hydromorphological status of 12 km of Tajan River using the German river structural quality mapping method.

Material and Methods: The main focus of the German river structural quality mapping method is to identify the morphological pressures caused by human interventions, in order to determine appropriate measures for re-establishing natural and semi natural condition within the assessment and monitoring system. This method classifies the current condition of the structural-hydromorphological of the river based on a scoring system in four phase including, data collection, definition of river sections and remote sensing, field survey and status assessment based on scoring of 25 single parameters. The study area is divided into 100-meters reaches and each reach was evaluated in two phases of remote sensing using the catchment topographic, soil, vegetation, and land use maps, digital elevation model of the region, the Landsat 8 satellite image of 2019, and the field survey from April to June 2019.

Results: The results showed that 44% of reaches evaluated as structural quality class 4-Distinctly changed. While no Unchanged (completely natural) reaches were observed, but 4% strongly changed. In addition, the distribution percentage of each structural quality class of the single and main parameters were investigated, and the results showed that the riverbank protection of the study area has not a suitable condition in comparison to the other parameters. In order to have a more detailed investigation, Structural quality classes percentage of three subarea including, before city of Sari (BS), city of Sari (SS) and after city of Sari (AS) was examined. The results showed that the situation of Tajan River along Urban area, due to interventions such as change in bed structure, more than two km concrete bank protection and construction transverse structures like robber dam, Ramp structure, without fishway consideration, especially at Mellal park area, led to completely change of river bed and channel width.

Conclusion: In the German river structural quality mapping method, geographical condition has a strong relation to the landscape units and defined river types, the form of the river valley, bed structure and vegetation. Which is to a large extent compatible with the geographical condition of northern Iran, especially with Tajan River that has three mountain, plain and coastal landscape units. Besides, Structural quality classes percentage of two single parameters, 2-5 bank protection with 49% and 3-5 special bank features with 67%, are in completely changed situation (class 7), and plays the role of status decreasing parameters for Tajan river at the studied area, which is identified as the priority in restoration measurements of Tajan River.

Keywords: Hydromorphology, Restoration, River engineering, Structural classification, WFD

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-04]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.25.156]