پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۳ ، پائیز ۱۳۹۶
ص ۵۴۱-۵۵۶

# ارزیابی تعادل ژئومورفولوژیکی با استفاده از روش‌های رزگن و چهارچوب استیل رود (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ تروال، کردستان)

هادی نیری*- استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
خالد اوسطی- استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
پریسا عثمانی- دانشجوی کارشناسی ارشد رشتهٔ مخاطرات طبیعی، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۶

## چکیده

**رودخانهٔ تروال، به‌عنوان سرشاخهٔ سفیدرود، در شرق استان کردستان واقع شده است. هدف اصلی در این مطالعه تحلیل تعادل ژئومورفولوژیکی و شناسایی مناطق پایدار و ناپایدار رودخانهٔ تروال است. نخست ظرفیت تعادل رودخانه با روش چهارچوب استیل رود و سپس وضعیت پایداری استیل‌ها بر اساس طبقه‌بندی رزگن تعیین شد. بر اساس چهارچوب استیل رود، استیل‌های سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه و مئاندری با بستر ماسه‌ای دارای ظرفیت تعادل محلی و استیل‌های سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی، چندمجرایی در چم ازون‌دره، سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای در چم تروال و مئاندری با مواد ریزدانه در چم سنگ‌سیاه ظرفیت تعادل بسیار زیادی دارند. برای بررسی پایداری، ۳۴ مقطع در همهٔ استیل‌ها برداشت شد. استیل‌های مئاندری و چندمجرایی با بستر ماسه‌ای، سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه و مئاندری با مواد ریزدانه در چم تروال و استیل آدا با بستر رسی در چم سنگ سیاه پایدارند؛ درحالی‌که استیل‌های سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی، سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای و چندمجرایی ناپایدار بودند. ناپایداری در چم تروال و سنگ سیاه می‌تواند به دلیل گسل‌های متعدد باشد. به‌طورکلی، مناطقی از رودخانه که بر اساس روش استیل رود دارای ظرفیت تعادل بالایی است معمولاً نتایج روش رزگن حاکی از ناپایداری وضعیت آن بخش از رودخانه است.**

***کلیدواژه‌ها: تعادل ژئومورفولوژیکی، چهارچوب استیل رود، رودخانهٔ تروال، طبقه‌بندی رزگن.***

## مقدمه

رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل گوناگونی از نظر ابعاد، شکل، راستا، و الگو تغییر می‌کنند (دفتر فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۹۱: ۲۵). این تغییرات حرکت رودخانه به سمت تعادل را نشان می‌دهند؛ شکل تعادل تابعی از پلان اولیهٔ رودخانه است (نیری و رضایی‌مقدم، ۱۳۸۴: ۳). تغییر شکل هندسی رودخانه نه‌تنها به اراضی مستعد کشاورزی و تأسیسات مجاور رودخانه خسارت وارد می‌کند، بلکه رسوبات حاصل از فرسایش نیز باعث کاهش حجم مفید سدها می‌شود و شرایط هیدرولوژیکی جریان را مختل می‌کند (مینگوی و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۹۲). هر گونه دخل و تصرف در رودخانه‌ها بدون برنامه‌ریزی و شناخت دقیق مورفولوژی رودخانه سبب می‌شود رودخانه تعادلی را که طی میلیون‌ها سال به آن رسیده از دست بدهد و مخاطراتی جدی را به‌وجود آورد. بنابراین، شناسایی پدیده‌های ژئومورفیک و زمین‌شناختی، که باعث ناپایداری بستر می‌شوند، امری ضروری است (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۲).

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۴۳۰۵۹۸۷۹
E-mail: nayyerihadi@yahoo.com

نخستین بار گیلبرت در سال ۱۸۷۷ مفهوم تعادل را به‌عنوان «جایی که ورودی سیستم برابر با خروجی است» ارائه کرد. بعد از وی، دیویس در سال ۱۹۰۲ تعادل را به صورت «توازن بین فرسایش و نهشته‌گذاری در یک رودخانه» تعریف کرد و آن را در چهارچوب زمانی سیکل فرسایشی خود گنجاند (نیری، ۱۳۸۹: ۸). فرایرس و بریرلی (۲۰۰۰: ۲۴۴) نگرش ژئومورفیکی را برای شناسایی پتانسیل تعادل رودخانه ارائه کردند و از آن در حوضهٔ بگا[1] استفاده کردند. آن‌ها با بررسی خصیصه‌های رود و رفتار رود در مجرا و دشت سیلابی شرایط ژئومورفیک رود را ارزیابی کردند و سپس با استفاده از داده‌های تاریخی، تحلیل های میدانی، و روش‌های ارگودیکی مراحل مختلف رود را شناسایی کردند. دویل و هربور (۲۰۰۳: ۲۲۱) به منظور تعیین تفاوت در زمان به تعادل رسیدن رودخانه‌هایی با بستر ماسه و گراول در پاسخ به پایین‌رفتن سطح اساس از روش مقیاسی دیورایس[2] استفاده کردند. با توجه به نتایج آن‌ها، زمان لازم برای به تعادل رسیدن کانال‌هایی با بستر ماسه‌ای حدود نصف زمان لازم برای کانال‌هایی با بستر گراولی است؛ به طوری که آن را به انتقال رسوب با سرعت زیاد در کانال‌هایی با بستر ماسه‌ای مرتبط دانسته‌اند. ساوری و همکاران (۲۰۰۷: ۶۴۱) در جنگل‌های ملی ویسکانسین ایالات متحده به ارزیابی سیستم طبقه‌بندی رزگن در سطح یک و دو پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که این سیستم طبقه‌بندی برای مناطق هموار و کم‌شیب قابل اجراست. روپر و همکاران (۲۰۰۸: ۴۱۷) از سیستم طبقه‌بندی رزگن برای بررسی دوازده رودخانه در حوضهٔ جان دی[3] بهره گرفتند و نشان دادند که روش رزگن می‌تواند روش مناسبی برای بررسی رودخانه‌های چندکاناله باشد؛ هرچند برخی از انواع رودخانه‌ها با طبقه‌بندی رزگن مطابقت نداشتند. آنجلا و همکاران (۲۰۱۵: ۶۳۳) با استفاده از روش رزگن چهار نوع $Aa^{+}$، A، B، و C از رودخانه‌ها را در حوضهٔ Magdalena° Eslava شناسایی کردند. آن‌ها همچنین خصوصیات مقطع، وضعیت فرسایش، و گنجایش کانال در هر یک از انواع رودخانه‌ها را تشریح نمودند و با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی و بیولوژیکی به مقایسهٔ رفتار متفاوت چهار نوع رودخانه پرداختند. روی و ساهو (۲۰۱۶: ۵) با استفاده از روش رزگن به مطالعهٔ ۳۴ سرشاخه از حوضهٔ بنگال غربی هند پرداختند و بیان کردند که حوضه‌هایی با کاربری غالب کشاورزی و جنگل به‌ترتیب در گروه رودخانه‌های نوع C و B قرار گرفتند. همچنین، میزان فرسایش و نوع مواد بستر رودخانه‌هایی با کاربری غالب کشاورزی و جنگلی تفاوت آشکاری را نشان دادند. پره‌گون (۲۰۱۶: ۶۱۱) با استفاده از روش رزگن خصوصیات هیدروژئومورفولویکی رودخانهٔ Berettyó را تشریح کرد. او از طبقه‌بندی رزگن استفاده کرد. بر اساس طبقه‌بندی رزگن، نوع رودخانه مئاندری و دارای سینوسیتهٔ متوسط تا زیاد (نوع C) و زیاد (نوع E) تشخیص داده شد؛ در حالی که داده‌های واقعی نشان‌دهندهٔ سینوسیتهٔ کم رودخانه بودند. اسپلینتر و داووالتر (۲۰۱۶: ۱۷۸) در بررسی فراوانی گونه‌های درختی درون کانال جریان در مناطق اکولوژیکی Oklahoma شرقی و ارتباط آن‌ها با مورفولوژی کانال جهت طبقه‌بندی رودخانه‌ها از روش رزگن استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تراکم گونه‌های درختی در انواع رودخانه‌های Oklahoma شرقی (نوع رودخانه بر اساس روش رزگن مشخص شده است) از نظر آماری اختلاف معنی‌دار داشت. موسوی (۲۰۱۲: ۱۸۴) از روش رزگن برای بررسی حوضهٔ زیارت گرگان استفاده کرد و ۵۰ مقطع را در منطقهٔ مورد مطالعه برداشت کرد. ایشان طول هر بازه را ۲۰ تا ۳۰ برابر طولانی‌تر از ارتفاع داغاب یا دو برابر طولانی‌تر از چرخش موج (خمیدگی) مجرا در نظر گرفت. نتایج ایشان نشان داد که بیشتر بازه‌های مورد مطالعه دارای نسبت عرض به عمق کم، سینوزیتهٔ متوسط، و شیب زیاد می‌باشند و فقط تعداد کمی از بازه‌ها به صورت شریانی با نسبت حفر بستر رود کم، شیب متوسط و نسبت عرض به عمق، و سینوزیتهٔ متوسط شکل گرفته‌اند. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۸۴: ۵۱) در مطالعهٔ رودخانهٔ تالار و بابل به این نتیجه رسیدند که به دلیل انطباق‌نداشتنِ بعضی از مقاطع برداشت‌شده با جدول تعیین نوع رود در سیستم طبقه‌بندی رزگن، بی‌توجهی به رژیم اقلیمی و هیدرولوژیکی و امکان خطا در تعیین نوع رود و تفاسیر مدیریتی ناشی از دخالت انسان در بعضی از بازه‌ها

1. Bega
2. deVries(T50 = L23WS/bQs)
3. John Day

پیش‌بینی نوع رود بر اساس سیستم طبقه‌بندی رزگن نمی‌تواند جای‌گزین تحقیقات واقعی شود و می‌تواند به شکست طرح‌های مدیریتی منجر شود؛ در حالی که روستایی و همکاران (۱۳۹۲: ۱) در رودخانهٔ لیقوان به نتایج متفاوتی رسیدند. آن‌ها دریافتند که استفاده از روش رزگن در طبقه‌بندی مورفولوژیکی مجاری رودخانه می‌تواند در توسعهٔ طرح‌های مهندسی، بحث‌های مدیریتی، و احیای رودخانه استفاده شود. یمانی و تورانی (۱۳۹۳: ۱۹۲) با استفاده از روش طبقه‌بندی رزگن در سطح I و II به طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی الگوی شبکهٔ آبراهه‌ای طالقان‌رود پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که نوع رود در بالادست پل‌های شهرک به صورت شریانی با پایداری کم و فرسایش کنارهٔ زیاد و در سراسر شهرک تا پل گلینک با شکل کلی تک‌آبراهه‌ای و پایدار است. همچنین، یمانی و همکاران (۱۳۹۳: ۱) به طبقه‌بندی مورفولوژیکی رودخانهٔ تلوار در حد فاصل روستای کچی‌گرد تا حسن‌خان بر اساس روش رزگن در سطح دوم و سوم پرداختند. آن‌ها برای شبیه‌سازی رودخانه و استخراج پارامترهای مورد نیاز از نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، و کاربری اراضی و ابزارهای مفهومی شامل نرم‌افزارهای ARC GIS10، WMS9.1، و HEC-RAS استفاده کردند. نتایج ارزیابی سطح دوم نشان داد که مورفولوژی آبراهه در بازه‌های مسیر بالادست از نوع B، C، و E در بخش میانی از نوع B، C، D، و E و در پایین‌دست از نوع B، C، و D است. نتایج ارزیابی سطح سوم نیز بخش‌های میانی رودخانه را از نظر پایداری در سطح ضعیف و سایر بخش‌ها را در سطح متوسط و خوب نشان می‌دهد. شایان ذکر است که این بررسی محدود به بخش کوچکی از رودخانهٔ تروال به طول ۱۵/۱ کیلومتر بوده است. لایقی و کرم (۱۳۹۳: ۱۳۰) با استفاده از روش روزگن به مطالعهٔ ۲۳ کیلومتر از رودخانهٔ جاجرود در حد فاصل سدهای لتیان و ماملو پرداختند و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این روش به تحلیل نقش فعالیت‌های مدیریتی و عملیات انسانی بر رودخانهٔ جاجرود اقدام کردند. اسماعیلی و حسین‌زاده (۱۳۹۴: ۶۴) با استفاده از روش‌های رزگن و مرحلهٔ اول روش چهارچوب استیل رود رودخانهٔ لاویج‌رود را طبقه‌بندی کردند. آن‌ها، بر اساس روش چهارچوب استیل رود، هشت استیل را شناسایی و بر اساس نتایج روش رزگن بیان کردند که بیشتر بازه‌ها در هیچ یک از گروه‌های طبقه‌بندی روش رزگن قرار نگرفتند. آن‌ها بیان کردند که عامل اصلی تطبیق‌نیافتنِ روش رزگن به سبب پارامترهای شیب و سینوسیته است. آن‌ها همچنین بر نقش تکتونیک و اقلیم در این ناکارایی تأکید کردند. بابایی و لشکرآرا (۱۳۹۴) به طبقه‌بندی رودخانهٔ کاکارضا در استان لرستان با استفاده از مدل رزگن پرداختند. آن‌ها اطلاعات مورد نیاز را از طریق عکس‌های هوایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، عملیات میدانی، و آمار ایستگاه‌های هیدرومتری استخراج کردند و طبقه‌بندی رزگن را در سطح یک و دو انجام دادند؛ به‌طوری‌که در سطح یک با استفاده از عکس‌های هوایی شکل، الگو، و شیب رودخانه استخراج کردند و در سطح دو شاخص گودافتادگی بستر، نسبت عرض به عمق، و ضریب انحنا را تعیین نمودند. در نهایت، مورفولوژی رودخانه به کمک آن‌ها در هشت کلاس A تا G تعیین شد. زندی (۱۳۹۴: ۵۰) با استفاده از چهار پارامتر موقعیت دره، الگوی مکانی (پلانفرم) مجرا، واحدهای ژئومورفیک، و بافت مواد بستر به طبقه‌بندی و شناسایی استیل رود در حوضهٔ رودخانهٔ تروال پرداخت و هفت نوع استیل را از جمله استیل‌های سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی، مئاندری با مواد ریزدانه، سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه، آدا با بستر رسی، سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای، مئاندری با بستر ماسه‌ای، و چندمجرایی با نوار ماسه‌ای تعیین کرده است. ذکر این نکته لازم است که مطالعهٔ کنونی بر مبنای استیل‌های شناسایی‌شده در این مطالعه انجام می‌گیرد.

از آنجا که تاکنون رودخانهٔ تروال از نظر تعادل و نقش متغیرهای محیطی بر وضعیت تعادل آن بررسی نشده است، درک صحیحی از کنش‌ها و واکنش‌های آن موجود نیست و به‌درستی مشخص نیست که چه عواملی بر تغییرات و وضعیت تعادل این رودخانه اثرگذارند؟ در کدام قسمت از رودخانه تعادل و در کدام بخش دیگر عدم تعادل برقرار است؟ در این راستا سعی بر آن است که مناطق متعادل و نامتعادل در امتداد رودخانهٔ اصلی بر اساس چهارچوب استیل رود تفکیک شود؛ در این روش تعادل به صورت خط سیر تغییر به سمت شرایط بهبودی تعریف می‌شود (بریرلی و فرایرس، ۲۰۰۵: ۳۲۴). همچنین، تعیین مناطق پایدار و ناپایدار حوضهٔ تروال با استفاده از سطح سوم طبقه‌بندی رزگن دیگر هدف

این تحقیق است. در اینجا منظور از پایداری توانایی رودخانه در حفظ شرایط موجود و باقی‌ماندن بر آن در طی زمان از جمله حفظ ابعاد، الگو، و مقاطع آن است.

## منطقهٔ مورد مطالعه

رودخانهٔ تروال در شرق استان کردستان بین مختصات ۴۷ ′ ۵۵ ذ۳۴ تا ۴۸ ′ ۵۵ ذ۳۵ عرض شمالی و ۲۸ ′ ۰۶ ذ۴۷ تا ۴۲ ′۱۰ ذ۴۸ طول شرقی واقع شده است. مساحت حوضهٔ تروال در بالادست ایستگاه هیدرومتری سلامت‌آباد ۶۵۳۸ کیلومتر مربع است. این رودخانه با امتداد جنوبی– شمالی به قزل‌اوزن می‌ریزد. در این مطالعه هفت نوع استیل رود بر روی شاخه‌های چم سیس، سنگ سیاه، جوروندی، اوزون‌دره، و تروال مطالعه شد. در امتداد هر استیل یک تا سه مقطع و به‌طورکلی ۳۴ مقطع در طول رودخانهٔ مورد مطالعه برداشت شد (شکل ۱). با توجه به نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ حوضهٔ رودخانهٔ تروال عموماً از مارن، شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، رس، آهک، گرانیت، ریولیت، آندزیت، بازالت، توف، فیلیت، تراس‌های آبرفتی، و نهشته‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ای تشکیل شده است (شکل ۲). در منطقهٔ مورد مطالعه گسل‌ها بیشتر به‌صورت نرمال‌اند، اما گسل امتداد لغز و رورانده نیز در چم سیس و جوروندی مشاهده می‌شود.

## روش تحقیق

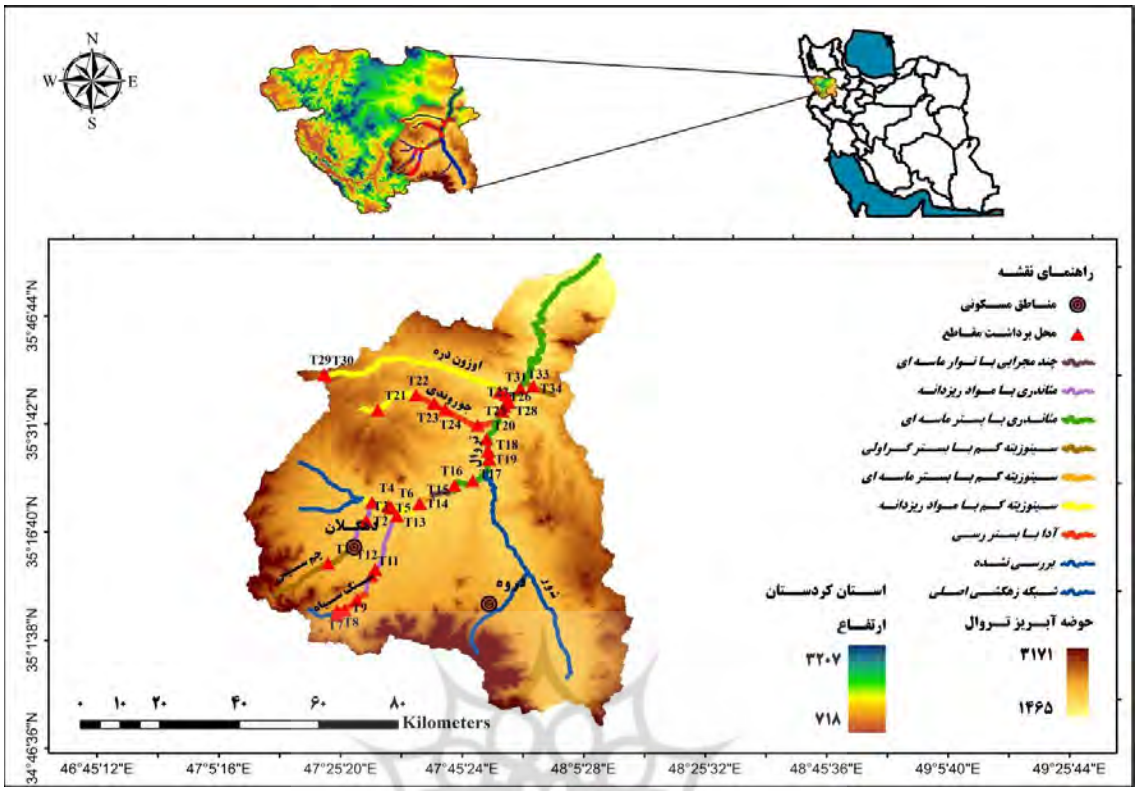
در این پژوهش برای دست‌یابی به اهداف موردنظر، علاوه بر اطلاعات کتابخانه‌ای، عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی حوضهٔ مورد مطالعه، برای تهیهٔ مقاطع عرضی در هر استیل بازدیدهای میدانی انجام گرفت. موقعیت مقاطع به وسیلهٔ GPS ثبت شد. ابعاد مقطع پُرجریان (شامل مساحت، عرض، و عمق) در هر یک از مقاطع با توجه به پروفیل عرضی برداشت‌شده توسط متر لیزری $D_5$ لایکا محاسبه شد. سپس، برای تعیین تعادل رودخانه از روش چهارچوب استیل رود و برای ارزیابی پایداری از سیستم طبقه‌بندی رزگن استفاده شد.

### ۱. تعیین تعادل رودخانه با استفاده از روش چهارچوب استیل رود

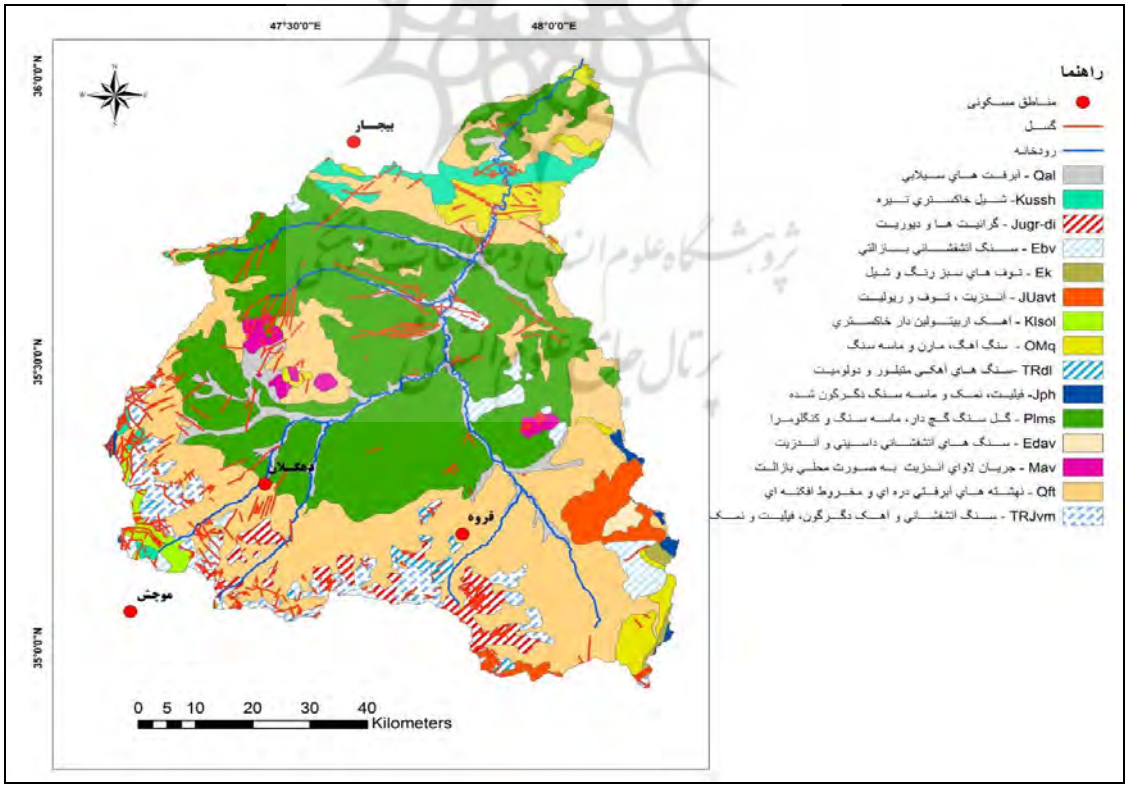
در روش چهارچوب استیل رود هر استیل رود ظرفیت ویژه‌ای برای تعادل دارد و با توجه به ویژگی و رفتار متفاوت به شیوه‌های مختلفی به تعادل می‌رسد. برای ارزیابی ظرفیت تعادل از سه معیار ویژگی بستر (اندازه و جورشدگی ذرات، پایداری بستر، تنوع هیدرولیک، و رژیم رسوب)، ویژگی کانال (اندازه و شکل کانال، مورفولوژی کرانه، ساختار پوشش گیاهی درون جریان، و واریزه‌های چوبی)، و پلانفرم کانال (تعداد، سینوزیته، پایداری جانبی کانال‌ها، مجموعه واحدهای ژئومورفیک درون جریان و دشت سیلابی و ساختار و ترکیب پوشش گیاهی) استفاده می‌شود (بریرلی و فرایرس، ۲۰۰۵: ۳۰۱). ارزیابی شرایط ژئومورفیک رودخانه در این روش بر اساس ویژگی و رفتار رودخانه به صورت سیستمی انجام می‌گیرد. در نهایت، ماتریس ارزیابی شرایط ژئومورفیک یک استیل با استفاده از سه معیار ویژگی مجرا، پلانفرم مجرا، و ویژگی بستر تهیه می‌شود و با توجه به وضعیت سه ویژگی یادشده شرایط تعادل به صورت خوب، متوسط، و ضعیف ارزیابی می‌شود.

### ۲. تعیین پایداری رودخانه بر اساس روش رزگن

سیستم طبقه‌بندی رزگن به پیش‌بینی رفتار رودخانه بر اساس مورفولوژی و رابطهٔ هیدرولیک و رسوب جریان با مورفولوژی خاص می‌پردازد (رزگن، ۱۹۹۴: ۱۷۰). بر اساس روش رزگن، خصوصیات مورفولوژی رودخانه‌ها در چهار سطح مختلف بررسی می‌شود؛ در این مقاله رودخانهٔ تروال بر اساس سه سطح اول روش رزگن ارزیابی شده است.




**شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه، مقاطع برداشت‌شده، و استیل‌های شناسایی‌شده در رودخانهٔ تروال**




**شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی حوضهٔ مورد مطالعه**

سطح یک طبقه‌بندی رزگن با درنظرگرفتن اطلاعات حاصل از مقاطع رودخانه، شکل سطح مقطع، و الگوی مجرا به‌دست می‌آید. در این پژوهش برای دست‌یابی به هدف سطح یک رزگن با استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ نقشهٔ مسیر رود تهیه و در محیط نرم‌افزار Arc Map ترسیم شد و شکل کلی رودخانه مشخص شد. سپس، با بازدید میدانی، صحت این ویژگی‌ها ارزیابی شد.

دومین سطح از تحلیل مورفولوژی رودخانه و خصوصیات رفتاری آن در روش تجربی رزگن توصیف دقیق‌تری از کلاس‌بندی رودخانه‌ها را ارائه می‌دهد (دفتر فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱: ۱۰۸). معیارهای همچون تعیین مجرای منفرد یا انشعابی، نسبت حفر بستر رود، نسبت عرض به عمق، سینوزیته، شیب و مواد بستر برای طبقه‌بندی رودخانه در این سطح استفاده شد. برای بررسی پارامترهای مورد نیاز در این سطح، با توجه به الگوی مجرا یک تا سه مقطع در هر استیل انتخاب شد و به‌طورکلی ۳۴ مقطع عرضی در امتداد مسیر رودخانه برداشت شد. کلیهٔ پارامترهای سطح دو برای همهٔ مقاطع محاسبه شد. سپس، با توجه به آنالیز نوع رودخانه در حوضهٔ رودخانهٔ تروال مشخص شد.

نسبت حفر بستر (فرکندگی)ـ میزان حفر عمودیـ از تقسیم نسبت پهنای منطقه تحت سیلاب به پهنای مقطع دبی لبالبی به‌دست می‌آید. منطقهٔ مستعد سیلاب عبارت است از پهنای مجرا در ارتفاعی که دو برابر حداکثر عمق مقطع دبی لبالبی است. برای محاسبهٔ این شاخص، نخست مقطع دبی لبالبی با شواهد میدانی مشخص شد و با استفاده از متر لیزری ابعاد آن به‌دست آمد و مقطع آن تهیه شد. سپس، در محیط GIS خطوط میزانی به ارتفاع دو برابر عمق ترسیم شد و در امتداد مقاطع ترسیم‌شده از خط میزان ترسیم‌شده تا کنارهٔ مجرا پهنا محاسبه و به‌منزلهٔ منطقهٔ مستعد سیلاب در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری رسوبات بستر در بازه‌های مختلف از روش شمارش ذرات ولمن برای تعیین $D_{50}$ رسوبات استفاده شد.

در سطح سوم سیستم طبقه‌بندی رزگن وضعیت موجود جریان و آبراهه بر اساس ۱۵ پارامتر (پوشش گیاهی، بریدگی بستر، رسوب‌گذاری، انسجام ذرات، ظرفیت کانال، و ...) طی بررسی‌های میدانی ارزیابی می‌شوند و به هر پارامتر بر اساس دستورالعمل رزگن امتیازی داده می‌شود. این عوامل میزان پایداری رودخانه را مشخص می‌کنند. در سطح چهارم رزگن نیز عوامل مؤثر بر مورفولوژی رودخانه و روابط آن‌ها بررسی می‌شود. نحوهٔ امتیازدهی به پارامترهای مطرح در سیستم طبقه‌بندی رزگن، در کتاب رزگن (۱۹۹۶) ارائه شده است.

## یافته‌های پژوهش

### تعیین ظرفیت تعادل در استیل‌های مختلف حوضهٔ رودخانهٔ تروال بر اساس چهارچوب استیل رودخانه

تعادل استیل‌های مختلف رودخانهٔ تروال توسط سه پارامتر مورفولوژی مجرا، پلانفرم مجرا، و ویژگی بستر صورت گرفت. نتایج نشان داد که استیل سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی در چم سیس و شمال شرقی رودخانهٔ تروال، استیل مئاندری با مواد ریزدانه در چم سنگ سیاه، استیل سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای، و چندمجرایی به دلیل اندازهٔ مختلف رسوبات تنظیم عمودی و جانبی پتانسیل تعادل بسیاری دارند. در حالی که استیل مئاندری با مواد ریزدانه در چم تروال، استیل سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه، استیل آدا با بستر رسی، و استیل مئاندری با بستر ماسه‌ای در چم تروال به دلیل جورشدگی مناسب رسوبات و تغییرپذیری کم در واحدهای ژئومورفیک درون مجرا پتانسیل تعادل به صورت محلی وجود دارد (جدول ۱).

## تعیین شرایط ژئومورفیک هر استیل

ارزیابی شرایط ژئومورفیک رودخانه در چهارچوب استیل رود بر اساس ویژگی، رفتار، و شرایط معرف تعادل رودخانه صورت می‌گیرد. با استفاده از فرم‌هایی مشابه فرم‌های مورد استفاده در مطالعه (بریرلی و فرایرس، ۲۰۰۵: ۳۰۱) در حوضهٔ بگا شرایط ژئومورفیک هر استیل مشخص شد. در این فرم‌ها سه پارامتر (ویژگی بستر، ویژگی مجرا، و پلانفرم مجرا)

ارزیابی شد. به‌طوری‌که با استفاده از این پارامترها سؤالاتی مرتبط با هر استیل مطرح شد و در نهایت شرایط ژئومورفیک (خوب، متوسط یا ضعیف) هر استیل در حوضهٔ رودخانهٔ تروال تعیین شد.

استیل سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی: این استیل در چم سیس و چم فرعی (شمال شرقی رودخانهٔ تروال) دارای نسبت عرض به عمق متوسط (بین ۱۰ـ۴۰)، سینوزیتهٔ کم، شکل مجرای مرکب و نامنظم، و کرانه‌های فرسایشی است. این استیل به دلیل وجود رسوبات در اندازه‌های مختلف با جورشدگی کم و همچنین فرسایش بستر دارای شرایط ژئومورفیک ضعیف است.

**جدول ۱. ظرفیت تعادل استیل‌های رود در حوضهٔ رودخانهٔ تروال**

| استیل رود | شاخه‌های رودخانه | ظرفیت تعادل از نظر پارامترهای | | | ظرفیت تعادل |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ویژگی بستر | ویژگی مجرا | پلانفرم مجرا | |
| سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی | چم سیس | زیاد | زیاد | زیاد | زیاد |
| | شاخهٔ فرعی (شمال شرقی رودخانهٔ اصلی) | زیاد | زیاد | زیاد | زیاد |
| مئاندری با مواد ریزدانه | چم تروال | محلی | محلی | محلی | کم |
| | چم سنگ سیاه | زیاد | زیاد | محلی | متوسط |
| سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه | چم تروال | زیاد | زیاد | محلی | متوسط |
| | چم اسماعیل جمال | محلی | محلی | محلی | کم |
| | چم جوروندی | محلی | محلی | محلی | کم |
| | چم ازون‌دره | محلی | محلی | محلی | کم |
| آدا با بستر رسی | چم سنگ سیاه | محلی | محلی | زیاد | متوسط |
| | چم جوروندی | محلی | محلی | زیاد | متوسط |
| سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای | چم تروال | زیاد | زیاد | زیاد | زیاد |
| | چم تروال | زیاد | زیاد | زیاد | زیاد |
| چندمجرایی با بستر ماسه‌ای | چم تروال | محلی | محلی | محلی | کم |
| | چم ازون‌دره | زیاد | زیاد | زیاد | زیاد |
| استیل مئاندری با بستر ماسه‌ای | تروال | محلی | محلی | محلی | کم |
| | تروال | محلی | محلی | محلی | کم |
| | تروال | محلی | محلی | محلی | کم |

استیل مئاندری با مواد ریزدانه: در چم تروال به سمت پایین‌دست، نسبت عرض به عمق متوسط، سینوزیتهٔ بالا، و شیب کم شکل گرفته است. رسوبات غالب این استیل رس با جورشدگی بالاست و همچنین پتانسیل مناسبی برای فرسایش بستر و ثبات جانبی مشاهده نمی‌شود. بنابراین، این استیل دارای شرایط ژئومورفیک خوب است. این استیل در چم سنگ سیاه در بالادست دارای ناپایداری (تنگ‌شدگی مجرا و حفر بستر) و همچنین اندازه و جورشدگی کم ذرات است، اما به دلیل ارتباط مناسب سینوزیته و شیب مجرا شرایط ژئومورفیک متوسطی دارد.

استیل سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه: این استیل در چم اسماعیل جمال، چم جوروندی، چم ازون‌دره، و چم تروال مشاهده می‌شود. با توجه به نسبت عرض به عمق متوسط بین ۱۰ـ۴۰ و سینوزیتهٔ کم، این استیل شرایط ژئومورفیک خوبی دارد. استیل سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه دارای رسوبات ریزدانه با جورشدگی مناسب است و به عنوان زون حمل رسوب عمل می‌کند و همچنین کرانه‌های فرسایشی در دامنهٔ مقعر قرار گرفته و فاقد فرسایش بستر است.

استیل آدا (Anabranching) با بستر رسی: ویژگی‌ای همچون نسبت عرض به عمق متوسط و شکل مجرای متقارن با سینوزیتهٔ کم نشان از شرایط ژئومورفیک خوب در این استیل است. این استیل به طور جانبی پایدار و دارای

جزایری در وسط مجراست. رسوبات غالب بستر در این استیل رس و مواد ریزدانه با جورشدگی مناسب است و به عنوان زون حمل رسوب عمل می‌کند.

استیل مئاندری با بستر ماسه‌ای: این استیل به دلیل سینوزیتهٔ بالا، نسبت عرض به عمق متوسط، و شیب کم دارای شرایط ژئومورفیک خوبی است که به طور جانبی پایدار و دارای پوشش گیاهی مناسب است و به عنوان زون نهشته‌گذاری عمل می‌کند. در این استیل با توجه به اینکه ماسه‌ها در درون مجرا ذخیره شده و رس و سیلت بر روی بستر مجرا ذخیره شده‌اند، جورشدگی ذرات مناسب است. علائمی از برش و زیربری در این استیل دیده نمی‌شود.

استیل سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای: شرایط ژئومورفیک ضعیف و نسبت عرض به عمق بالا (بیشتر از ۴۰) و موانع طولی پوشیده از گیاه در درون مجرا و شکل مجرای مرکب و نامنظم از ویژگی این استیل است. به دلیل تنگ‌شدگی کانال در این استیل ناپایداری رخ داده است؛ اما پوشش گیاهی مناسب و خوبی وجود دارد. غالب رسوبات بستر در این استیل ماسه و فاقد جورشدگی مناسب است و همچنین به عنوان منطقهٔ نهشته‌گذاری عمل می‌کند.

استیل چندمجرایی با بستر ماسه‌ای: این استیل در چم تروال مشاهده می‌شود که به دلیل نسبت عرض به عمق متوسط و سینوزیتهٔ زیاد با پوشش گیاهی مناسب دارای شرایط ژئومورفیک خوبی است. رسوبات غالب بستر نیز ماسه با جورشدگی بالاست؛ به طوری که رس و سیلت بر روی بستر مجرا استقرار یافته است. این استیل در چم ازون‌دره به دلیل فرسایش بستر، شکل مجرای نامنظم، کرانه‌های فرسایشی، و جورشدگی نامناسب رسوبات دارای شرایط ژئومورفیک ضعیف است. جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ نحوهٔ تعیین شرایط ژئومورفیک استیل‌های مختلف در کل حوضه را بر اساس عوامل مختلف نشان می‌دهد.

**جدول ۲. ویژگی‌های مورد استفاده برای تعیین شرایط ژئومورفیک استیل‌های حوضهٔ رودخانهٔ تروال**

| استیل‌ها | | سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی | | مئاندری با مواد ریزدانه | | سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه | | | | آدا با بستر رسی | | مئاندری با بستر ماسه‌ای | | | سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای | | چندمجرایی با بستر ماسه‌ای | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رودخانه‌ها / ویژگی‌ها | | چم بیس | چم فرعی | چم سنگ سیاه | چم تروال | چم اسماعیل جمال | چم تروال | چم جورونده | چم ازون‌دره | چم سنگ سیاه | چم جورونده | چم تروال | چم تروال | چم تروال | چم تروال | چم تروال | چم تروال | چم ازون‌دره |
| ویژگی مجرا | اندازه | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | خیر | بله | بله |
| | شکل | خیر | خیر | خیر | بله | بله | خیر | بله | بله | خیر | بله | خیر | خیر | خیر | خیر | خیر | خیر | خیر |
| | مورفولوژی کرانه | خیر | خیر | خیر | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | خیر | خیر | بله | خیر |
| | پوشش گیاهی درون‌مجرا | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله |
| پلانفرم مجرا | تعداد مجرا | خیر | خیر | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | خیر | خیر | بله | خیر |
| | سینوزیتهٔ مجرا | بله | بله | بله | بله | خیر | بله | بله | بله | بله | بله | بله | خیر | بله | خیر | بله | بله | بله |
| | ثبات جانبی مجرا | خیر | خیر | خیر | بله | بله | خیر | بله | بله | بله | خیر | بله | بله | بله | خیر | خیر | خیر | خیر |
| | مجموعه واحدهای ژئومورفیک | خیر | خیر | خیر | بله | بله | بله | بله | بله | خیر | بله | بله | بله | بله | خیر | خیر | بله | خیر |
| | پوشش گیاهی | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله |

**ادامهٔ جدول ۲. ویژگی‌های مورد استفاده برای تعیین شرایط ژئومورفیک استیل‌های حوضهٔ رودخانهٔ تروال**

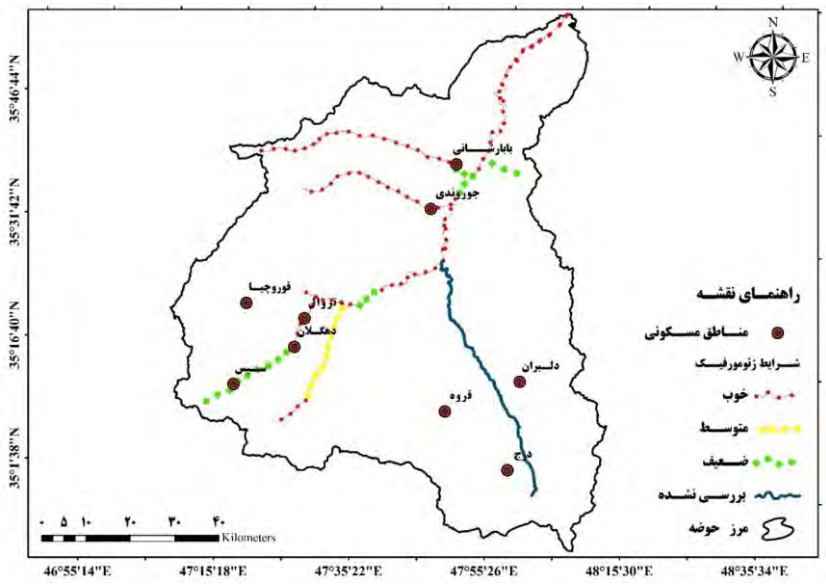
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ویژگی بستر | اندازه و جورشدگی ذرات رسوبی | خیر | خیر | بله | خیر | بله | بله | خیر | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | خیر | خیر | خیر |
| | پایداری بستر | خیر | خیر | بله | خیر | بله | بله | بله | بله | خیر | بله | بله | بله | بله | بله | خیر | خیر | خیر |
| | تنوع هیدرولیک | خیر | خیر | بله | خیر | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | خیر | خیر | خیر |
| | رژیم رسوب | خیر | خیر | بله | خیر | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | بله | خیر |
| نتیجه‌گیری نهایی | **ویژگی مجرا** | * | * | م | * | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | * |
| | **پلانفرم مجرا** | * | * | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | * |
| | **ویژگی بستر** | * | * | م | * | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | م | * |
| | **شرایط ژئومورفیک** | ضعیف | ضعیف | خوب | متوسط | خوب | خوب | خوب | خوب | خوب | خوب | خوب | خوب | خوب | خوب | ضعیف | ضعیف | خوب | ضعیف |

* خیر م بله

استیل سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی در چم فرعی — استیل مئاندری با مواد ریزدانه در چم تروال — استیل سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه در چم ازون‌دره — استیل آدا با بستر رسی در چم جوروندی

استیل مئاندری با بستر ماسه‌ای در چم تروال — استیل سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای در چم تروال — استیل چندمجرایی با بستر ماسه‌ای در چم تروال — استیل چندمجرایی با بستر ماسه‌ای در چم ازون‌دره

**شکل ۴. تصاویری از استیل‌های مختلف در حوضهٔ رودخانهٔ تروال**




**شکل ۵. پراکنش مکانی وضعیت ژئومورفیک رودخانهٔ تروال بر اساس روش چهارچوب استیل رود**

## طبقه‌بندی رودخانهٔ تروال بر اساس سیستم طبقه‌بندی رزگن

در سطح یک رزگن، الگوی مجرا طی بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل ارث به صورت مئاندری و شریانی تعیین شد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳، استیل‌های مورد مطالعه در نوع رود[1] B، C، DA، و F قرار گرفتند. شاخص حفر بستر رود نشان‌دهندهٔ وضعیت شکل مقطع از نظر فرورفتگی عمقی بستر یا گسترش سیلاب‌دشت است. مقدار این شاخص در نوع رود B بین ۱/۴ـ۲/۲، نوع C بزرگ‌تر از ۲/۲، نوع F کمتر از ۱/۴ است و برای نوع D در سیستم طبقه‌بندی رزگن عدد مشخصی برای شاخص حفر بستر رود در نظر گرفته نشده است. شاخص سینوزیتهٔ کل استیل‌های رودخانه به‌جز استیل ۹ در ردهٔ سینوسی و پیچان‌رودی قرار گرفتند.

استیل‌های ۱ و ۱۷ در گروه B قرار گرفته‌اند. این استیل‌ها در دره‌های وسیع بدون دشت سیلابی توسعه یافته‌اند و نسبتاً پایدار و دارای دامنه‌های پُرشیب‌اند. بستر این استیل‌ها دارای تندآب‌ها با توالی حوضچه‌هاست. به طور معمول، این استیل‌ها با ارتفاع کرانهٔ کم و نسبت عرض به عمق و نسبت حفر بستر رود متوسط مشخص شده‌اند.

استیل‌های ۲، ۳، ۷، ۸، ۱۰، ۱۶ در چم تروال، استیل‌های ۵ و ۶ در چم سنگ سیاه، استیل‌های ۱۱ و ۱۲ در چم جوروندی و استیل‌های ۱۴ و ۱۵ در چم ازون‌دره از نظر نوع رود در گروه C قرار می‌گیرند. در این استیل‌ها، رودخانه به صورت مئاندری با دشت سیلابی توسعه یافته و دارای پوینت‌بار است. چهرهٔ مورفولوژیک غالب این رودخانه‌ها دره‌های وسیع با تراس‌های آبرفتی مرتبط با دشت سیلابی است؛ به طوری که این رودخانه‌ها دارای نسبت عرض به عمق بیشتر از ۱۲ و نسبت حفر بستر متوسط است. در حین وقایع سیلابی با دورهٔ برگشت طولانی، جریان وارد دشت سیلابی می‌شود (شکل ۶).

استیل ۹ از نظر نوع رود در گروه DA قرار می‌گیرد که به صورت جریان‌های شریانی پایدار با شیب کم و نسبت عرض به عمق کم اما متغیر دیده می‌شوند. این استیل در دره‌های آبرفتی وسیع ایجاد شده است. استیل ۱۳ از نظر نوع رود در گروه F قرار می‌گیرد. این استیل از نظر کف بستر به‌خوبی تثبیت شده است و اغلب مئاندری با نسبت عرض به عمق بیشتر از ۱۲ است. این رودخانه معمولاً برای ایجاد یک دشت سیلابی جدید در ارتفاع کمتر فعالیت دارد. این نوع رود نسبت به نوع C تکامل یافته‌تر است؛ به طوری که فرایند تکاملی آن‌ها به میزان فرسایش کرانهٔ بسیار زیاد، توسعهٔ نوارها، و انتقال رسوبات منجر شده است. نمونه‌هایی از انواع رودخانه در مسیر مورد مطالعه در شکل ۶ ارائه شده است.

1. stream type

استیل ۱۷ در گروه B

استیل ۲ در گروه C

استیل ۹ در گروه DA

استیل ۱۳ در گروه F

**شکل ۶. تصاویری از انواع رودخانه بر اساس سیستم طبقه‌بندی رزگن در حوضهٔ رودخانهٔ تروال**

**جدول ۳. ویژگی مورفولوژیکی استیل‌های رودخانهٔ تروال بر اساس طبقه‌بندی سطح دو رزگن**

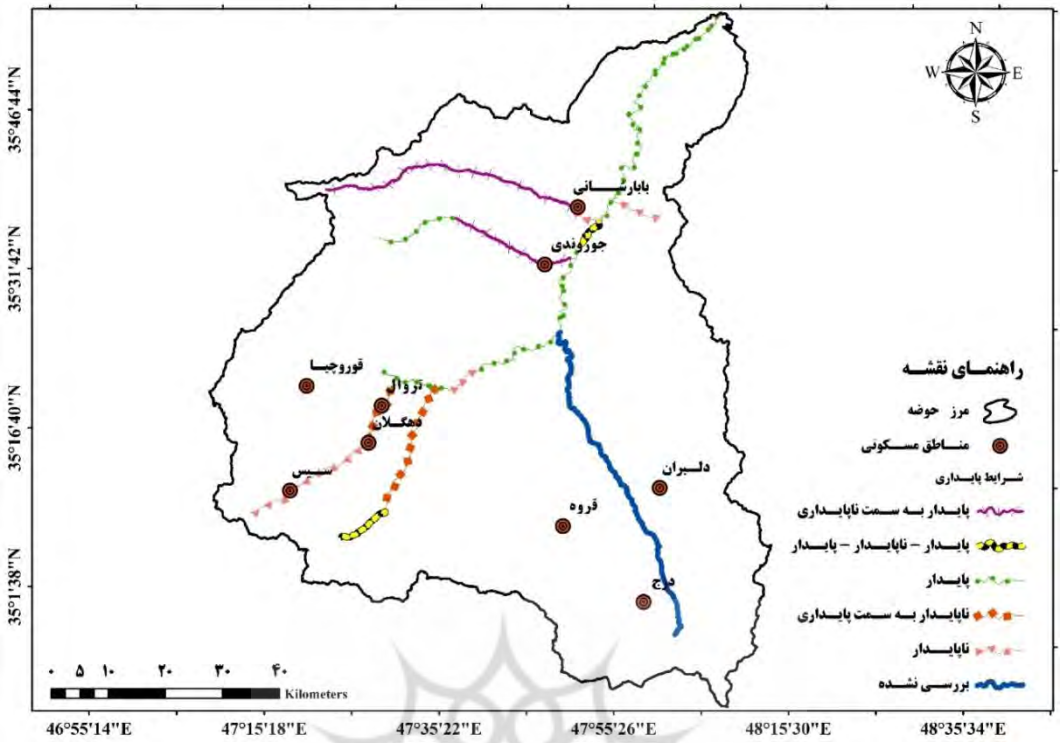
| نوع رود | مواد بستر | شیب | سینوزیته | نسبت عرض به عمق متوسط | نسبت حفر بستر | استیل |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $B_{4c}$ | گراول | ۰/۰۰۶۸ | ۱/۲۳ | ۱۳/۱۱ | ۲/۱۹ | ۱ |
| $C_6$ | رس | ۰/۰۰۳۱ | ۱/۵۲ | ۱۷/۵۳ | ۴/۰۳ | ۲ |
| $C_5$ | ماسه | ۰/۰۰۱۴ | ۱/۴۶ | ۳۵/۱۱ | ۲/۲۴ | ۳ |
| $B_{6c}$ | رس | ۰/۰۰۲۶ | ۱/۳۲ | ۷۷/۵۶ | ۱/۳۲ | ۴ |
| $C_6$ | رس | ۰/۰۰۳۲ | ۱/۳۱ | ۱۴/۴۱ | ۵/۵ | ۵ |
| $C_5$ | ماسه | ۰/۰۰۲۹ | ۱/۵۱ | ۳۱/۱۸ | ۳/۸۲ | ۶ |
| $C_{5c-}$ | ماسه | ۰/۰۰۰۵۷ | ۱/۴۶ | ۲۱/۴۵ | ۳/۶۹ | ۷ |
| $C_5$ | ماسه | ۰/۰۰۱۲ | ۱/۵۵ | ۲۱/۸۶ | ۳/۸۷ | ۸ |
| $DA_5$ | ماسه | ۰/۰۰۳ | ۱/۵۱ | ۳۶/۰۵ | ۳/۵۳ | ۹ |
| $C_5$ | ماسه | ۰/۰۰۱۵ | ۱/۵۶ | ۱۳ | ۳/۸۷ | ۱۰ |
| $C_6$ | رس | ۰/۰۰۶۵ | ۱/۴۱ | ۲۰/۴۷ | ۳/۳۳ | ۱۱ |
| $C_6$ | رس | ۰/۰۰۵۴ | ۱/۳۸ | ۳۲/۰۵ | ۳/۶۷ | ۱۲ |
| $F_5$ | ماسه | ۰/۰۰۱۹ | ۱/۴۵ | ۹۹/۰۱ | ۱/۳۷ | ۱۳ |
| $C_6$ | رس | ۰/۰۰۵۵ | ۱/۴ | ۲۰/۹ | ۳ | ۱۴ |
| $C_6$ | رس | ۰/۰۰۲۱ | ۱/۵۷ | ۱۵/۳۱ | ۴/۸۸ | ۱۵ |
| $C_5$ | ماسه | ۰/۰۰۲ | ۱/۷۶ | ۲۸/۱۹ | ۲/۸ | ۱۶ |
| $B_{4c}$ | گراول | ۰/۰۱۴ | ۱/۱۲ | ۲۳/۶۶ | ۲/۰۲ | ۱۷ |

بعد از شناسایی مورفولوژی رودخانه در استیل‌های مختلف، تجزیه و تحلیل پایداری استیل‌ها در سطح سوم طبقه‌بندی رزگن انجام شد. ارزیابی سطح سه به توصیف شرایط رودخانه در رابطه با سه عامل پایداری، پتانسیل، و عملکرد منجر می‌شود. نتایج سطح سوم رزگن برای استیل‌های مورد مطالعه در جدول ۴ و شکل ۷ خلاصه شده است. در

این ارزیابی، هر چه مجموع امتیازات کمتر باشد، رودخانه پایدارتر است و بالعکس (رزگن، ۱۹۹۶). ناپایداری، شرایط پایدار به سمت ناپایداری در چم جوروندی و ازون‌دره، و شرایط پایدار– ناپایدار– پایدار در چم تروال و سنگ سیاه می‌تواند به دلیل گسل‌های متعدد باشد؛ به طوری که در دوره‌های کنونی شیب افزایش یافته و قدرت جریان را بالا برده است و در نتیجه بازه را ناپایدار کرده است. افزایش اندازهٔ ذرات می‌تواند نشان‌دهندهٔ فعالیت گسل‌ها در این محدوده‌ها باشد. فعالیت گسل‌ها توان جریان را افزایش می‌دهد و قدرت جابه‌جایی ذرات را بالا می‌برد. ذرات ریز از محدوده در طول زمان برداشت شده و در دوره‌های کنونی فقط ذرات درشت باقی مانده‌اند.

**جدول ۴. ارزیابی شرایط پایداری استیل‌های رودخانهٔ تروال در سطح سوم رزگن**

| وضعیت استیل | مجموع امتیازات | ناپایدار | پایدار | مقاطع | نام استیل (چهارچوب استیل رود) | نوع رود (رزگن) | شمارهٔ استیل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ناپایدار | ۱۰۰ | * | | T1 | سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی | B | ۱ |
| ناپایدار به سمت پایداری | ۹۳ | * | | T2 | مئاندری با مواد ریزدانه | C | ۲ |
| | ۴۶ | | * | T3 | | | |
| پایدار | ۴۷ | | * | T4 | سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه | C | ۳ |
| پایدار | ۵۵ | | * | T5 | سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه | C | ۴ |
| | ۵۶ | | * | T6 | | | |
| پایدار | ۵۹ | | * | T7,T8 | آدا با بستر رسی | C | ۵ |
| | ۶۲ | | * | T9 | | | |
| | ۵۹ | | * | T10 | | | |
| ناپایدار به سمت پایداری | ۱۰۲ | * | | T11 | مئاندری با مواد ریزدانه | C | ۶ |
| | ۹۶ | * | | T12 | | | |
| | ۵۳ | | * | T13 | | | |
| ناپایدار | ۱۰۲ | * | | T14 | سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای | C | ۷ |
| | ۹۸ | * | | T15 | | | |
| پایدار | ۴۹ | | * | T16 | مئاندری با بستر ماسه‌ای | C | ۸ |
| | ۴۷ | | * | T17 | | | |
| پایدار | ۶۵ | | * | T18 | چندمجرایی با نوار ماسه‌ای | DA | ۹ |
| | ۶۶ | | * | T19 | | | |
| پایدار | ۵۰ | | * | T20 | مئاندری با بستر ماسه‌ای | C | ۱۰ |
| پایدار | ۴۶ | | * | T21 | سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه | C | ۱۱ |
| پایدار به سمت ناپایداری | ۶۰ | | * | T22 | آدا با بستر رسی | C | ۱۲ |
| | ۶۰ | | * | T23 | | | |
| | ۵۷ | | * | T24 | | | |
| | ۹۶ | * | | T25 | | | |
| پایدار– ناپایدار– پایدار | ۶۴ | | * | T26 | سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای | F | ۱۳ |
| | ۹۹ | * | | T27 | | | |
| | ۵۷ | | * | T28 | | | |
| پایدار به سمت ناپایداری | ۴۸ | | * | T29 | سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه | C | ۱۴ |
| | ۹۷ | * | | T30 | | | |
| ناپایدار | ۱۰۷ | * | | T31 | چندمجرایی با نوار ماسه‌ای | C | ۱۵ |
| | ۱۰۲ | * | | T32 | | | |
| پایدار | ۶۳ | | * | T33 | مئاندری با بستر ماسه‌ای | C | ۱۶ |
| ناپایدار | ۱۰۱ | * | | T34 | سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی | B | ۱۷ |




**شکل ۷. شرایط پایداری استیل‌های رودخانهٔ تروال در سطح سوم رزگن**

## بحث و نتیجه‌گیری

ظرفیت تعادل استیل‌های رود با تنظیم جانبی و عمودی مجرا در ارتباط است (بریرلی و فرایرس، ۲۰۰۵: ۱۶۳). با افزایش حفر و رسوب‌گذاری به صورت تنظیم عمودی و گسترش یا تنگ‌شدگی مجرا به صورت تنظیم جانبی ظرفیت تعادل افزایش می‌یابد. در استیل مئاندری با مواد ریزدانه در چم سنگ سیاه به دلیل تنظیم عمودی (حفر بستر) و تنظیم جانبی به صورت تنگ‌شدگی مجرا (وجود تراس‌های آبرفتی) ظرفیت تعادل افزایش یافته است و غلبه با تنظیم عمودی است. این نتایج با نتایج (نیری و رضایی مقدم، ۱۳۸۴: ۳) در رودخانهٔ مئاندری سیمینه‌رود همخوانی دارد که تعادل بستر به شکل بریدگی بستر گزارش شده است. در حوضهٔ رودخانهٔ تروال، استیل‌های سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه و مئاندری با بستر ماسه‌ای، به دلیل عدم تخریب عمودی و جانبی، پوشش گیاهی مناسب بستر، و کرانه و اندازه و جورشدگی مناسب رسوبات (ذخیرهٔ رس و سیلت بر روی ماسه) دارای شرایط ژئومورفیک خوبی می‌باشند؛ در حالی که استیل‌های چندمجرایی با نوار ماسه‌ای در چم ازون‌دره و سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی در چم سیس به دلیل علائم زیربری و فروسایی کرانه و بستر، شکل مجرای نامتقارن و نامنظم، و همچنین جورشدگی نامناسب رسوبات شرایط ژئومورفیک ضعیفی دارند. از این رو، استیل‌هایی با بستر گراولی در چم سیس و شاخهٔ فرعی در شمال شرقی رودخانهٔ اصلی تروال در مقایسه با استیل‌هایی با بستر ماسه‌ای در چم تروال نسبت به تغییرات ناشی از عوامل محیطی سریع‌تر واکنش نشان می‌دهند. به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد استیل‌هایی که به وسیلهٔ تراس محدود شده‌اند حساس‌ترین بازه نسبت به تغییرات محیطی‌اند و از ظرفیت تعادل بسیار زیادی برخوردارند.

رودخانهٔ تروال بر اساس پارامترهای نسبت حفر بستر، نسبت عرض به عمق متوسط، سینوزیته، شیب و مواد بستر در گروه‌های C، B، F، و DA قرار می‌گیرند. در استیل‌های نوع C، رودخانه به صورت مئاندری با دشت سیلابی توسعه یافته و دارای پوینت‌بارهاست. این نوع جریان‌ها دارای نسبت عرض به عمق بیشتر از ۱۲ و نسبت حفر بستر رود متوسطاند. مجاری نوع B، در دره‌های وسیع بدون دشت سیلابی توسعه‌یافته با نسبت عرض به عمق بالا و نسبت حفر

بستر رود متوسط مشاهده می‌شوند. مجرای نوع DA در دره‌های آبرفتی وسیع با نسبت عرض به عمق کم و شیب کم دیده می‌شود. مجرای نوع F نیز اغلب مئاندری با نسبت عرض به عمق بیشتر از ۱۲ است و از نظر کف بستر به‌خوبی تثبیت شده است. مجرای نوع C دارای مجاری آبرفتی وسیع با دشت سیلابی مشخص است؛ در بسیاری از بخش‌ها به سبب عدم فرسایش و رسوب‌گذاری و پوشش گیاهی مناسب پایدار است؛ اما این نوع مجرا در بعضی از استیل‌ها مانند چم تروال و چم ازون‌دره به دلیل نزدیکی به مناطق مسکونی و گسل‌های متعدد ناپایدار است. مجاری نوع B در بالادست رودخانهٔ تروال دارای فرسایش بستر و کنارهٔ بالا و پوشش گیاهی متوسط‌اند. این نتیجه با نتایج یمانی و تورانی (۱۳۹۳: ۱۹۵) در طالقان‌رود همخوانی دارد؛ آن‌ها بیان کردند که رودخانهٔ مورد مطالعه در بالادست از نوع مجاری B هستند و دارای درجهٔ حساسیت به آشفتگی خیلی زیاد، پتانسیل احیای ضعیف، تغذیهٔ رسوبی خیلی زیاد، پتانسیل فرسایش کناره‌های خیلی زیاد و تأثیر کنترلی پوشش گیاهی متوسط (به علت رسوبات آبرفتی و سیلابی) می‌باشند. جریان نوع DA به دلیل پوشش گیاهی فراوان، پتانسیل فرسایش کرانه، و تغذیهٔ رسوب کم و دشت سیلابی وسیع پایدارند. جریان نوع F در چم تروال به دلیل فرسایش کرانهٔ بالا، توسعهٔ نوارها، و انتقال رسوبات ناپایدارند. حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۸) در مطالعهٔ رودخانهٔ بابل از پل محمدحسن‌خان تا نزدیکی دریای خزر و رودخانهٔ تالار از نجارکلا تا دریا نتایج مشابهی را گزارش کردند.

استیل‌های پایدار حوضهٔ تروال مانند استیل سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه در چم اسماعیل جمال، چم تروال و چم جوروندی، استیل آدا با بستر رسی در چم سنگ سیاه و چم جوروندی، استیل مئاندری با بستر ماسه‌ای در سه استیل چم تروال، و استیل چندمجرایی در چم تروال دارای نسبت عرض به عمق مناسب، فرسایش بستر و کنارهٔ کم، رسوبات با اندازه‌های یکسان، و دارای تراکم پوشش گیاهی و پایداری بستر بالا هستند. در حالی که استیل‌های ناپایدار شناسایی‌شده در حوضهٔ تروال، از جمله سینوزیتهٔ کم با بستر گراولی در چم سیس و چم فرعی در شمال شرقی رودخانهٔ تروال، چندمجرایی با نوار ماسه‌ای در چم ازون‌دره، سینوزیتهٔ کم با بستر ماسه‌ای در چم تروال دارای نسبت عرض به عمق متوسط، رسوبات با جورشدگی پایین، پوشش گیاهی متوسط، و فرسایش کنارهٔ شدید می‌باشند. به علت گسل‌های متعدد در استیل‌های سینوزیتهٔ کم با مواد ریزدانه در چم ازون‌دره و آدا با بستر رسی در چم جوروندی، روند تغییرات در استیل‌ها به صورت پایداری به سمت ناپایداری است. افزایش اندازهٔ رسوبات در این محدوده می‌تواند نشان‌دهندهٔ فعالیت گسل‌ها باشد. وجود چنین پدیده‌ای نشان می‌دهد که بستر رودخانه تحت تأثیر یک رخداد تکتونیکی در مقیاس منطقه‌ای کوچک قرار گرفته است. اگر ناپایداری ناشی از تغییر اقلیم منطقه‌ای بود، تغییر در چشم‌انداز به یک محور و یک منطقهٔ کوچک محدود نمی‌شد (رامشت، ۱۳۹۱: ۸۳). ذکر این نکته لازم است که خشک‌سالی‌های دههٔ اخیر، فعالیت‌های انسانی مانند قطع درختان مجاور رودخانه‌ها، شخم‌زدن سیلاب‌دشت‌ها، و ... می‌تواند بر تعادل رودخانه و مقطع کنونی کانال جریان اثرهای متعددی داشته باشد. برای تعیین نقش هر یک از این عوامل بر بازه‌های متعدد رودخانهٔ تروال، لازم است پایش دوره‌ای چندساله‌ای بر روی شبکهٔ رودخانه‌ای انجام گیرد تا، ضمن تعیین تغییرات مقاطع در دورهٔ مورد بررسی، تغییرات مکانی عوامل متعدد انسانی و طبیعی پایش شود و نقش هر عامل بر وضعیت تعادل رودخانه در بازه‌های متعدد تعیین گردد. این مهم نیازمند حمایت مالی ارگان‌های دخیل در مدیریت منابع آب و هدایت تحقیقات بعدی به سمت این مسائل است.

به طور کلی، مناطقی از رودخانه که بر اساس روش استیل رود دارای ظرفیت تعادل زیادی است معمولاً نتایج روش رزگن حاکی از ناپایداری وضعیت آن بخش رودخانه است. نتایج حاصل از مطالعهٔ نوع رودخانه و وضعیت تعادل آن می‌تواند در ارزیابی نحوهٔ مدیریت حوضه، طرح‌های هیدرولوژیکی، و فعالیت‌های مجاور رودخانه مانند تغییر کاربری اراضی، برداشت شن و ماسه، مدیریت دشت سیلابی، تنظیم جریان از سدهای مخزنی و انحرافی، و احیای رودخانه مؤثر باشد. با استفاده از نتایج این پژوهش می‌توان تصمیمات مدیریتی را بر اساس نوع و وضعیت تعادلی هر استیل اتخاذ کرد و در زمینهٔ مدیریت بهینه و حفظ و پایداری سیستم رودخانه‌ای تروال (با توجه به موقعیت مهم آن) اقدامات مؤثرتری انجام داد.

## منابع


اسماعیلی، ر. و حسین‌زاده، م.م. (۱۳۹۴). مقایسهٔ روش‌های روزگن و چهارچوب استیل رود در طبقه‌بندی رودخانه‌های کوهستانی، مطالعهٔ موردی البرز شمالی، حوضهٔ آبریز لاویج، *پژوهش‌های دانش زمین*، ۶(۲۱): ۶۴ـ۷۹.

بابایی، ه. و لشکرآرا، ب. (۱۳۹۴). به‌کارگیری تئوری رزگن در طبقه‌بندی رودخانه (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ کاکارضا)، دهمین کنگرهٔ بین‌المللی مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی عمران، تبریز.

حسین‌زاده، م.م.؛ اسماعیلی، ر. و متولی، ص. (۱۳۸۴). بررسی کارایی طبقه‌بندی رزگن (مطالعهٔ موردی: طبقه‌بندی رودخانه‌های بابل و تالار در محدودهٔ جلگهٔ ساحلی خزر)، فصل‌نامهٔ *جغرافیایی سرزمین*، ۲(۵).

دفتر فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (۱۳۹۱). *راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها*، نشریهٔ شمارهٔ ۵۹۲.

رامشت، م.ح. (۱۳۹۱). *نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها)*، تهران: سمت.

رضایی‌مقدم، م.ح.؛ ثروتی، م.ر. و اصغری سراسکانرود، ص. (۱۳۹۱). بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانهٔ قزل‌اوزن با تأکید بر عوامل ژئومورفیک و زمین‌شناسی، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۳(۲): ۱ـ۱۴.

روستایی، ش.؛ خورشیددوست، ع.م. و خالقی، س. (۱۳۹۲). ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانهٔ لیقوان با روش راسگن، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۴(۱ـ۱۶).

زندی، س. (۱۳۹۴). تأثیر ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی بستر رود بر روی کیفیت آب (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ رودخانهٔ تروال در استان کردستان)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.

لایقی ص. و کرم، ا. (۱۳۹۳). طبقه‌بندی هیدروژئومورفولوژیکی رودخانهٔ جاجرود با مدل روزگن، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۳(۳): ۱۳۰ـ۱۴۳.

نیری، ه. (۱۳۸۹). تحلیل دینامیک و شکل مجرا در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ مهاباد، رسالهٔ دکتری، دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

نیری، ه. و رضایی مقدم، م.ح. (۱۳۸۴). تغییرات ژئومورفولوژیک مجاری آبرفتی دشت سیلابی زرینه‌رود و سیمینه‌رود و مخاطرات ناشی از آن‌ها، *کنفرانس مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن*، دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

یمانی، م. و تورانی، م. (۱۳۹۳). طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی الگوی آبراههٔ طالقان‌رود در محدودهٔ شهرک طالقان از طریق روش رزگن، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۲(۱۸۳ـ۱۹۸).

یمانی، م.؛ مقصودی، م.؛ محمدخان، ش. و مرادی، ا. (۱۳۹۴). طبقه‌بندی مورفولوژیکی آبراههٔ رودخانهٔ تلوار بر اساس روش رزگن و کارایی آن (حد فاصل روستای کچی‌گرد تا حسن‌خان)، *پژوهش‌های دانش زمین*، ۲۳: ۱ـ۱۸.

Angela C.B.; Javier C.J.; Teresa G.M. and Marisa, M.H. (2015). Hydrological evaluation of a peri-urban stream and its impact on ecosystem services potential, *Global Ecology and Conservation*, 3: 628-644.

Babaie, H. and Lashkarara, B. (2015). Using Rosgen theory in river classification, (case study: Kaka Reza River), *10th international congress on civil engineering*, Faculty of civil engineering, Tabriz.

Brierley, G. and Fryirs, K. (2005). *Geomorphology and River Management: Application of the River Style framework*, Blackwell publishing, UK. 398 p.

Department of Technical Affairs, Office of Deputy for Strategic Supervision. (2012). *Guideline on the river morphology studies*, No. 592.

Doyle, M. and Harbor, J. (2003). A scaling approximation of equilibrium timescales for sand-bed and gravel-bed rivers responding to base-level lowering, Geomorphology, 54: 217-223.

Esmaeili, R. and Hosseinzadeh, M.M. ( 2015). Comparison of Rosgen and the river style framework methods for the classification of mountainous rivers, case study: northern Alborz, Lavij basin, *Journal of earth science researches, sixth year*, 21: 64-79.

Fryirs, K. and Brierley, G. (2000). A Geomorphic approach to the identification of river recovery potential, *Physical Geography*, 21: 244-277.

Hosseinzadeh, M.M.; Esmaeili, R. and Motavali, S. (2005). Assessment the efficiency of the Rosgen classification, (case study: classification of the Babel and Talar rivers, the Khazar coastal plain), *Quarterly Geographical Journal of Territory*, 2(5).

Kasai, M.; Marutani, T. and Brierley, G. (2004). Channel bed adjustments following major aggradation in a steep headwater setting: findings from Oyabu Creek, Kyushu, Japan, *Geomorphology*, 62: 199-215.

Layeghi, S. and Karam, A. (2014). Hydrogeomorphological classification of Jajroud River by Rosgen model, *Quantitative Geomorphological Researches*,3(3): 130-143.

Minghui, Yu.; Hongyan, Wei; Yanjie, Liang and Chunyan, Hu. (2010). Study on the Stability of Noncohesive River Bank, *International Journal of Sediment Research*, 25(4): 391-398.

Mousavi, S.M. (2012). Application of Rosgen classification the Ziarat watershed, Gorgan, *Journal of American Science*, 8(4): 184-189.

Pregun, C. (2016). Ecohydrological and morphological relationships of a regulated lowland river; based on ifeld□ studies and hydrological modeling, *Ecological Engineering*, 94: 608-616.

Nayyeri, H. (2010). Analysis of dynamic and flume form in Mahabad river basin, PHD thesis, Faculty of humanities and social sciences, University of Tabriz.

Nayyeri, H. and Rezai Moghadam, M.H. (2005). Geomorphologic changes of floodplain alluvial flumes of the Zarrinehrood and Siminehrood and their hazard, *International Conference of Earth Hazards, Natural Disasters and their Solutions*, Faculty of humanities and social sciences, University of Tabriz.

Ramesht, M.H. (2012). *Symbols and images in geomorphology*, Samt Publication.

Rezaei Moghadam, M.H.; Sarvati, M.R. and Asghari Sareskanrood, S. (2012). Investigation of geometric alterations of Gezel Ozan River considering Geomorphologic and Geologic parameters, *Geography and Environmental Planning Journal*, 23(2): 1-14.

Roostaei, Sh.; khoshiddoost, A.M. and Khaleghi, S. (2013). Morphological assessment of Lighvan river flume by Rosgen method, *Quantitative Geomorphological Researches*, 4: 1-16.

Roper, B.; Buffington, J.; Archer, E.; Moyer, Ch.and Ward, M. (2008). The role of observer variation in determining rosgen stream types in northeastern Oregon Mountain streams, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, pp. 417-427.

Rosgen, D. (1994). A Classification of Natural Rivers, *Catena*, 22: 169-199.

Rosgen, D. (1996). *Applied River Morphology*, Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, Colorado.

Roy, S. and Sahu, A.S. (2016). Effect of land cover on channel form adjustment of headwater streams in a lateritic belt of West Bengal (India), *International Soil and Water Conservation Research*, in Press: http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.09.002i.

Savery, T.S.; Belt, G. and Higgins, D. (2007). Evaluation of the Rosgen Stream Classification System in Chequamegon-Nicolet National Forest, Wisconsi, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(3): 641-654.

Splinter, D.K. and Dauwalter, D.C. (2016). Frequency of large in-channelwood in eastern Oklahoma ecoregions and its association with channel morphology, *Geomorphology*, 269: 175-185.

Zandi, S. (2015). The effect of river bed geomorphological features on water quality (Case study: Tarwal river basin in Kurdistan province), Master's thesis, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan.

Yamani, M. and Toorani, M. (2014). Geomorphologic classification of the Taleghanrood stream pattern in the Taleghan city reach by Rosgen metho, *Physical geography research quarterly*, 2: 183-198.

Yamani, M.; Maghsoudi, M.; Mohammadkhan, Sh. and Moradi, A. (2015). Morphological classification of the Talvar River stream based on Rosgen model and its efficiency (the distance between the Kachigard and Hasankhan villages), *Journal of Earth Science Researches*, 23: 1-18.