

ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه ليقوان با روش طبقه‌بندی راسگن

شهرام روستایی* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز

علی محمد خورشید دوست - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز

سمیه خالقی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۳/۱۳

چکیده

در این مقاله به منظور تحلیل شرایط گذشته مورفولوژی مجرای رودخانه ليقوان (حداصل ایستگاه ليقوان و هروی)، داده‌های مقاطع عرضی رودخانه برای محاسبه پارامترهای مورفولوژیکی مانند نسبت عرض به عمق، شاخص گود افتادگی بستر، مساحت مقطع عرضی در بده لبریز، عرض بده لبریز، حداکثر عمق، عرض دشت سیلابی و شیب سطح آب به نرم‌افزار HEC-RAS معرفی شد و پارامترهای دیگری چون، ضریب انحنا و اندازه متوسط رسوبات بستر، برای طبقه‌بندی سطح II راسگن برای هر بازه به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که رودخانه از نوع سینوسی بوده و بر اساس طبقه‌بندی راسگن بازه‌های ۲، ۶، ۲۰، ۲۱ و ۲۶ از نوع B، بازه‌های ۱، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۷ و ۲۸ از نوع C، بازه ۳، ۱۵ و ۱۶ از نوع E هستند. در بازه نوع B، بستر و ساحل نسبتاً پایدار بوده و سیستم محدودی از ذخیره رسوبی دارند. در نوع C نسبت عرض به عمق بیش از ۱۲ بوده و میزان گودافتادگی بستر متوسط بوده و در زمان رویدادهای بزرگ، سیلاب، دشت سیلابی را فرامی‌گیرد. در نوع E نسبت عرض به عمق کم بوده و میزان ضریب انحنا بالاست و این رودخانه‌ها پایدار هستند. در نهایت تعدادی از مجراها به خوبی با این طبقه‌بندی سازگار بوده و تعدادی دیگر این قابلیت را نداشته‌اند. بنابراین این روش توانایی پیش‌بینی کمی ژئومورفیکی رودخانه ليقوان را دارد. در نتیجه این نوع طبقه‌بندی مورفولوژیکی از مجرای رودخانه، می‌تواند در توسعه طرح‌های مهندسی و بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: مورفولوژی رودخانه، مقاطع عرضی، رودخانه ليقوان، طبقه‌بندی راسگن، HEC-RAS.

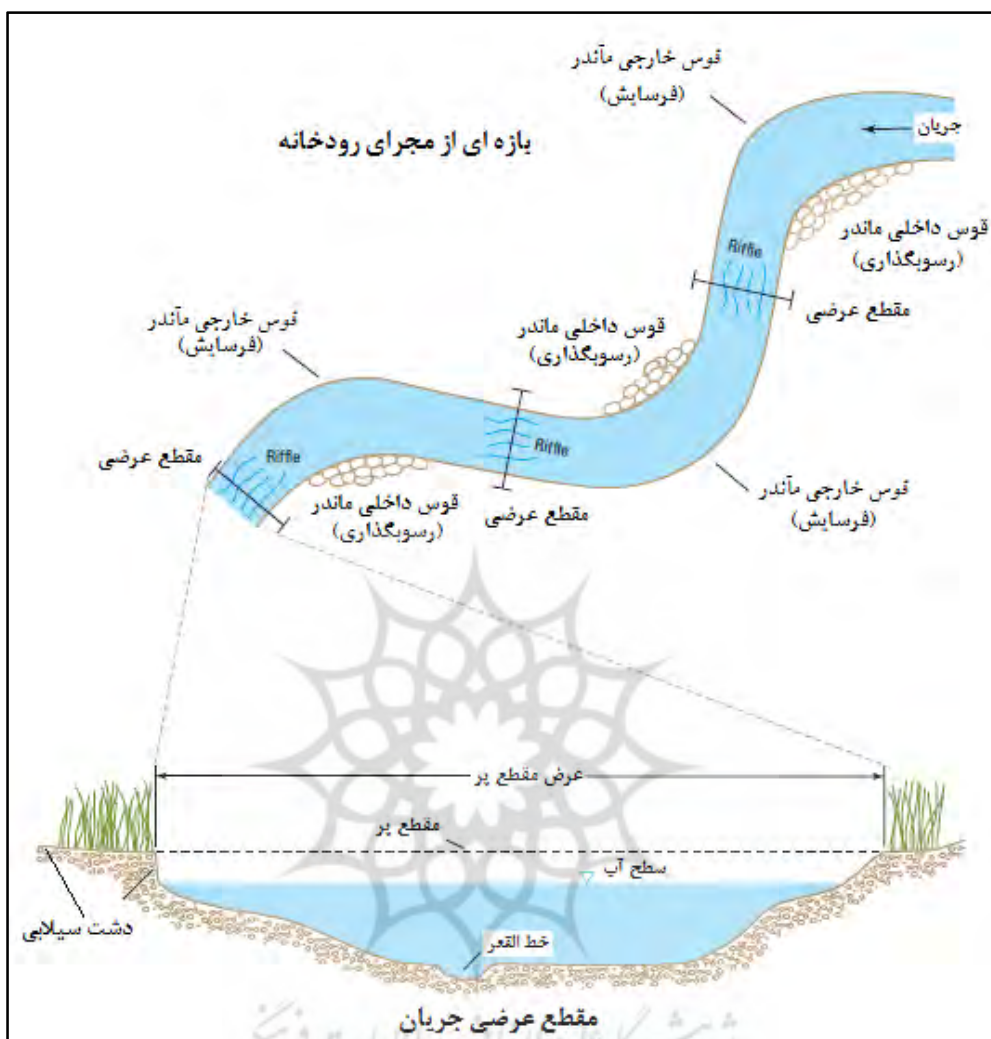
مقدمه

رودخانه‌ها بر اساس عوامل متعدد تاریخی، تکتونیکی، لیتولوژی، اقلیمی و انسانی به انواع گوناگونی تقسیم می‌شوند. عوامل متعددی از جمله زمان، دبی، بار رسوبی و سطح اساس بر آن تأثیرگذار بوده و رودخانه به صورت حفر، رسوب‌گذاری، تغییر الگو و تغییر شکل مجرا، به آن پاسخ می‌دهد (شوم، ۲۰۰۵: ۷). مجرای رودخانه بازتابنده ویژگی‌های حوضه آبریز مانند شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، اقلیم و فعالیت‌های کاربری اراضی در حوضه است. مورفولوژی مجرای رودخانه (ژئومتری) توسط دبی شکل‌دهنده به مجرا (بده مقطع پُر یا بده لبریز رودخانه)^۱ مشخص می‌شود (کریستتر جی. آر، ۲۰۰۹: ۱۱). جریان‌های رودخانه‌ای برحسب دبی، دارای توان‌های متفاوتی برای فرسایش و رسوب‌گذاری هستند. بنابراین دبی‌های سیلابی بزرگ، عامل اصلی شکل‌گیری مجرا و الگوی جریان هستند، اما بسامد رخداد سیلاب‌های بزرگ، پایین است و اثر آنها به وسیله جریان‌های کوچکتر محو می‌شود. دبی که بیشترین اثر را روی فرسایش و رسوب‌گذاری و مورفولوژی و شکل مقاطع عرضی دارد، بده لبریز رودخانه (بده مقطع پُر) نام دارد. برای بیشتر رودخانه‌ها بده لبریز، هنگامی رخ می‌دهد که تمام مقطع عرضی رودخانه پُر از آب شود. بده لبریز، توان لازم برای فرسایش و رسوب‌گذاری و تغییر سطح مقطع مجرا را دارد و دوره بازگشت آن به اندازه کافی کوتاه است تا اثرات آن به وسیله جریان‌های ضعیف‌تر اما فراوانی وقوع زیاده‌تر، پوشیده نشود. تغییرپذیری مقطع عرضی از یک نقطه تا نقطه دیگر در طول مجرا، به عوامل زیادی بستگی دارد و مقدار آن ممکن است در مجراهای نسبتاً مستقیم پایدار، کم باشد و در مجراهای با شکل پلان پیچیده و نسبتاً فعال، زیاده‌تر باشد (وزارت نیرو، ۱۳۸۹: ۱۹).

اندرکنش بده لبریز و مجرا، انواع اشکال سطح مقطع عرضی را ایجاد می‌کند. مشخصات مقطع در حالت بده لبریز، بیانگر ویژگی‌های ریخت‌شناسی رودخانه است. با توجه به آنکه رودخانه‌ها خودشان ساختار خود را تشکیل و تحت کنترل قرار می‌دهند، در حالت کلی ابعاد، الگوها و اشکال مختلف بستر که در ارتباط نزدیک با نیمرخ طولی بستر هستند، را می‌توان بر حسب تابعی از عرض رودخانه در حالت بده لبریز رودخانه بیان کرد. دبی مقطع پُر، دارای فراوانی و دوره بازگشت ثابتی نیست. ساده‌ترین تعریف آن دبی‌ای است که دشت سیلابی فعال را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس نظر چاو (۱۹۸۸) دبی شکل‌دهنده به مجرا در رابطه با دوره بازگشت سیلابی، ۲/۳۳ سال است که توسط توزیع گامبل محاسبه می‌شود. در واقع دبی غالب در شکل‌دهی به مجرای پایدار، دبی مقطع پُر است که دارای فراوانی ۱ تا ۲ سال و به‌طور میانگین ۱/۵ سال است. اما در مناطق خشک فراوانی دبی مقطع پُر بیشتر بوده و به ۲۵ سال می‌رسد (آربلیز و همکاران^۲، ۲۰۰۷، ۱۹۲). به‌گفته دیگر، بین کمیت‌های اندازه‌گیری شده میدانی و بده لبریز، رابطه‌ای با دقت قابل قبول وجود دارد. بده مقطع پُر را می‌توان به دو صورت بده متناظر با دوره بازگشت تعیین شده برای مقطع پُر یا اندازه‌گیری مشخصات هندسی و فیزیکی مقاطع رودخانه تعیین کرد. بدین روش که رودخانه به بازه‌هایی تقسیم شده و مقاطع در ابتدا و انتهای هر بازه برداشت می‌شوند (شکل ۱).

1. Bankfull discharge

2. Arbeláez et al.



شکل ۱. نمایی از یک بازه و مقطع عرضی برای اندازه‌گیری شکل مجرا

منبع: لولورد، ۲۰۰۴: ۴

طبقه‌بندی رودخانه‌ها به اشکال گوناگون برای مطالعه و شناخت بهتر آنها انجام گرفته است. به گفته راسگن^۱ (۱۹۹۴) نخستین بار دیویس^۲ در سال ۱۸۹۹ رودخانه‌ها را بر اساس مرحله تحول به سه دسته جوان، بالغ و پیر تقسیم‌بندی کرد و لئوپولد و ولمن^۳ در سال ۱۹۵۷ طبقه‌بندی دیگری ارائه دادند که شامل الگوی رودخانه‌های مستقیم، ماندری و شاخه‌شاخه بود و همچنین شوم^۴ در سال ۱۹۶۳ طبقه‌بندی کیفی و تفسیری از رودخانه‌ها ارائه داد که بر اساس پایداری مجرا (ثابت، رسوب‌گذاری، فرسایشی) و ساختار رسوب‌های حمل‌شده (بار بستری، بار معلق یا مخلوطی از هر دو) بود.

1. Rosgen
2. Davis
3. Leopold and Wolman
4. Schumm

از آنجا که طبقه‌بندی رودخانه‌ها یکی از مسائل مهم در بحث مدیریتی رودخانه‌ها، توسعه طرح‌های مهندسی یا احیای محیط‌های آبی است، شمار زیادی از ژئومورفولوژیست‌ها، جغرافی‌دانان و مهندسان، روش‌های جامعی برای طبقه‌بندی رودخانه‌ها ارائه دادند.

به‌جز طبقه‌بندی معروف راسگن^۱، برای اینکه یک رودخانه به ثبات برسد، باید بتواند همواره بار رسوبی خود را در هر نوع و اندازه‌ای همراه با فرسایش و رسوب‌گذاری محلی حمل کند. ناپایداری مجرا هنگامی رخ می‌دهد که عمل کاوش منجر به فرسایش و عمل رسوب‌گذاری منجر به تراکم رسوب‌ها شود. چندین روش برای ارزیابی ژئومورفیکی رودخانه با توجه به اهداف مختلف وجود دارد که یکی از آنها روش راسگن است که مبنایی برای احیای رودخانه‌ها است (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۲: ۹۶).

در زمینه مطالعه و بررسی مجرای رودخانه و طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی، پژوهش‌های فراوانی انجام گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

گرین و همکاران^۲ (۲۰۱۱) در تجزیه و تحلیل شاخص‌های ژئومورفیکی و سنجش از دور، به ارزیابی ۲۱۴ مایل از رودخانه سوایر^۳ در یوتا^۴ با استفاده از داده‌های سنجش از دور، مدل‌های هیدرولیکی مانند HEC-RAS^۵ و برآورد بده لبریز (مقطع پُر) رودخانه با پروتکل ارزیابی بصری رودخانه (SVAP2)^۶ و ابزار شرایط عملکرد مناسب (PFC)^۷ پرداختند پرداختند و پیش‌بینی طبقه‌بندی راسگن و نوع دره را با استفاده از رادار تداخل سنجی دیافراگم مصنوعی (IFSAR)^۸ با تصدیق میدانی و تجزیه و تحلیل ایستگاه رودخانه انجام دادند. نتایج نشان داده که رتبه‌بندی رودخانه، ابزار تحلیلی مناسبی برای نمایش دینامیک جریان هنگام ورود شاخه بزرگ کنترل نشده به رودخانه بود و اولویت کارهای احیا، از طریق رتبه‌بندی روند و موقعیت جغرافیایی عملکرد صحیح شرایط انجام گرفت (گرین و همکاران، ۲۰۱۱: ۱).

سینگ کانگ^۹ (۲۰۰۷) در مطالعه تأثیر شهرنشینی روی مورفولوژی مجرای سه رودخانه در سنترال ردبِد پلینز اوکلاهما^{۱۰}، در بخشی از کار خود پس از جمع‌آوری داده‌های مقاطع عرضی و شاخص‌های مورد نیاز، به ارزیابی نوع مجرا بر اساس طبقه‌بندی راسگن پرداختند (سینگ کانگ، ۲۰۰۷: ۴۲).

خطیبی و همکاران (۱۳۸۸) به ارزیابی سطوح مختلف طبقه‌بندی رودخانه‌ها و کاربرد آنها برای رودخانه سفیدرود با طبقه‌بندی راسگن پرداختند. در این پژوهش متغیرهایی مانند کف‌کنی، شیب، نسبت عرض به عمق و ضریب انحنا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های مقاطع عرضی موجود و عکس‌های هوایی استخراج شدند و

۱. طبقه‌بندی رسگن بر این اصل استوار است که پایداری سیستم‌های طبیعی، از طریق مسیریابی رودخانه برای کسب ابعاد، الگو و پروفیل پایداری است که طی زمان، شکل مجرا تثبیت‌شده و هیچ‌گونه فرسایش و رسوب‌گذاری در آن اتفاق نمی‌افتد.

2. Green
3. Sevier
4. Utah
5. Hydrologic Engineering Center-River Analysis System
6. Stream Visual Assessment Protocol
7. Proper Functioning Condition
8. Interferometric Synthetic Aperture Radar
9. Singh Kang
10. The Central Redbed Plains of Oklahoma

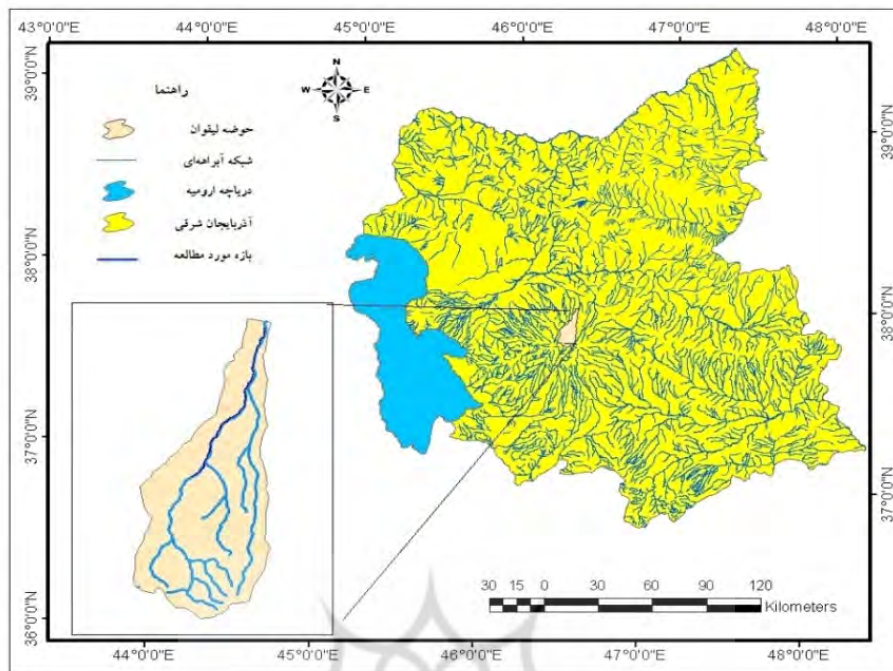
بر این اساس، نخست به چندین دسته کلی تقسیم شده و در سطوح بعد با اضافه شدن متغیرهایی مانند، پوشش گیاهی و الگوی ته‌نشینی رسوبات، این طبقه‌بندی با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار گرفته است (خطیبی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱). طالبی و بایزیدی (۱۳۸۷) در بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه سبزکوه با استفاده از طبقه‌بندی راسگن، به طبقه‌بندی مورفولوژی ۷/۶ کیلومتر از رودخانه سبزکوه پرداختند. طبقه‌بندی رودخانه در سطوح یک و دو راسگن انجام گرفت. در سطح یک، تنها با استفاده از بازیدهای صحرایی و عکس‌های هوایی، داده‌های مربوط به شکل، الگو و شیب رودخانه، استخراج و به کمک آنها مورفولوژی رودخانه در هشت کلاس A-G تعیین شد. در ادامه در سطح دو، علاوه‌بر متغیرهای موجود در سطح یک، با استفاده از مشخصات مقطع عرضی، ضریب سینوسی و قطر اندازه ذرات بستر رودخانه، طبقه‌بندی دقیق‌تری انجام شده است (طالبی و بایزیدی، ۱۳۸۷: ۱).

در این مقاله مورفولوژی مجرای رودخانه ليقوان در بازه‌های مختلف توسط روش‌های مختلف استخراج و بر اساس طبقه‌بندی راسگن در سطح دو مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در این سطح توصیف دقیقی از ریخت‌شناسی و نوع رودخانه که از بازیدهای میدانی به دست آمده، ارائه می‌شود. ترانشه‌های رودخانه، ابعاد، الگو و مقاطع طولی و عرضی و مواد بستر در این سطح، به صورت کمی و در قالب نوع جریان ارائه می‌شود.

گستره مورد مطالعه

حوضه آبریز ليقوان چای با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۲ دقیقه و ۱۶ ثانیه طول شرقی، از حوضه‌های واگرایی دامنه شمالی توده کوهستانی سهند است. ليقوان چای زهکش اصلی حوضه بوده که با جهت‌گیری جنوبی - شمالی در ابتدا با نام باغچا دره‌سی چای، از نقاط و قله مرتفع کوه سهند، مانند گبروه داغ (۳۵۹۶ متر)، کمال داغ (۳۲۳۶ متر)، شرشر داغ و... سرچشمه می‌گیرد. در طول مسیر آبراهه‌های متعددی چون، توله سرچای و بارالی چای به آن می‌پیوندد. این رودخانه با گذر از روستاهای سفیده‌خوان، ليقوان، هربی و دیزج عبدل، به سمت شمال تا شهر باسمنج ادامه می‌یابد و با عبور از شهر تبریز، در حوالی فرودگاه، به رودخانه آجی چای می‌پیوندد (کریمی و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۲۸).

مساحت حوضه برابر با ۷۷ کیلومتر مربع است و رژیم رودخانه برفی بوده و به همین دلیل این حوضه آبریز دارای شاخه‌بندی مشخص و کم‌تراکمی است. این حوضه در سال ۱۳۵۰ حوضه معرف انتخاب شده و دارای دو ایستگاه هیدرومتر ليقوان و هروی است. تشکیلات آبرفت‌های رودخانه‌ای در حوضه وجود دارد که حاصل تخریب و حمل قله‌سنگ‌های آندزیتی در اثر فرسایش است (فزون، ۱۳۸۶: ۸۵-۸۲). پهنه مطالعاتی این پژوهش، مابین بالادست ایستگاه ليقوان تا ایستگاه هروی است (شکل ۲).



شکل ۲. موقعیت پهنه مورد مطالعه (رودخانه لیقوان)

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از، آمار دبی حداکثر لحظه‌ای مربوط به دوره آماری چهل‌ساله ایستگاه هروی، داده‌های هندسی مقاطع عرضی و پانزده شیت نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ مربوط به مسیر رودخانه لیقوان، استفاده از برنامه Google-Earth، نرم‌افزارهای اتوکد و HEC-RAS. با استفاده از این مواد، روش‌های زیر برای بررسی رودخانه به‌کار گرفته شد:

محاسبه دوره‌های بازگشت سیلاب: بر اساس دبی‌های حداکثر سیلابی در ایستگاه‌های لیقوان و هروی و در بازه‌های مختلف رودخانه بر اساس اتصال شاخه‌های فرعی با استفاده از نرم‌افزار Smada و فرمول تجربی فولر که بر این اساس در این روش حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب در منطقه با وسعت آن ارتباط داده شده و معادله آن به شرح زیر است:

$$Q_{\max} = Q_{PT}(1 + 2.66A^{-0.3}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Q_{PT} = CA^{0.8}(1 + 0.3474 \ln T) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله‌ها T دوره بازگشت سیل (سال)، C ضریب ثابتی است که مقدار آن بسته به شیب و پوشش حوضه بین ۰/۰۳ تا ۲/۸ متغیر است، A مساحت حوضه (کیلومتر مربع) و Q_{\max} حداکثر دبی لحظه‌ای (متر مکعب در ثانیه) سیل است (علیزاده، ۱۳۸۱، ۶۷۲).

استخراج داده‌های هندسی مقاطع عرضی: مقاطع نقشه‌برداری شده رودخانه مربوط به سال ۱۳۷۹، از روی نقشه‌های ۱:۱۰۰۰ تولید شده شرکت آذریمايش، به دست آمد. مقاطع در بازه‌های مستقیم و انحنادار برداشت شده بودند. از آنجایی که نقشه‌ها به صورت کاغذی و دارای مقیاس محلی بودند، ابتدا نقشه‌ها اسکن شده و پس از رقومی‌سازی و زمین‌مرجع شدن در محیط اتوکد، تعداد ۲۸ مقطع به صورت موردی در زیرحوضه بالادست، پایین‌دست و میان‌دست انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. مبنای تعیین زیرحوضه‌ها دو شاخه فرعی بزرگی بود که به آبراهه اصلی متصل می‌شد، بنابراین میزان دبی از بالادست به پایین‌دست بر مبنای اتصال شاخه‌های فرعی متعدد، متغیر بود. بر این اساس، مسیر مورد مطالعه رودخانه به ۲۸ بازه تقسیم شد که بازه ۱ و ۲ در زیرحوضه بالادست، بازه ۳ تا ۱۷ در زیرحوضه میان‌دست و بازه ۱۸ تا ۲۸ در زیرحوضه پایین‌دست قرار گرفتند.

تعیین دبی لبریز برای هر بازه: بدین منظور دبی با دوره بازگشت‌های مختلف بدست آمده از رابطه فولر همراه با مقاطع سال ۱۳۷۹ و ۱۲ مقطع نقشه برداری شده در سال ۱۳۹۱ به نرم افزار HEC-RAS داده شد و آنگاه بر اساس یکی از روش‌های تعیین بده مقطع پر که عبارت است از ترازوی که در آن نسبت عرض به عمق در مقابل عمق در یک دستگاه متعامد به حداقل خود برسد.

بر این اساس در هر مقطع عرضی منحنی تغییرات نسبت عرض به عمق جریان در مقابل عمق برای هر مقطع ترسیم و نقطه مینیمم بر روی منحنی به عنوان دبی مقطع پر انتخاب شد. پس از تعیین این دبی در هر مقطع عرضی، با استفاده از آنالیز فراوانی، دبی مقطع پر برای کل رودخانه تعیین گردیده است.

استخراج پارامترهای مورفولوژیکی مجرا: داده‌های ژئومتری مقاطع عرضی به دست آمده، وارد نرم‌افزار HEC-RAS شدند. برای اجرای مدل هیدرولوژیکی، نخست پس از ایجاد یک پروژه در HEC-RAS و طرح شماتیک رودخانه، داده‌های هندسی (همان مقاطع عرضی برگرفته از نقشه‌ها) وارد مدل شدند. علاوه بر آن، در این بخش اطلاعات دیگری چون، انتخاب رودخانه و بازه، ساحل چپ و راست مجرا، ضریب زبری در مجرای اصلی و سواحل چپ و راست، فاصله مجرای اصلی و سواحل چپ و راست از مقطع پایین‌دست وارد مدل شدند. در مرحله بعد، داده‌های جریان و شرایط مرزی به مدل معرفی شدند. در این قسمت داده‌های جریان به صورت ماندگار در نظر گرفته و دبی لبریز محاسبه و برای کلیه بازه‌ها معرفی شد. از چهار نوع شرایط مرزی، رابطه دبی - اشل^۱، عمق نرمال^۲، عمق بحرانی^۳ و تراز سطح سطح آب^۴، شرایط مرزی عمق نرمال انتخاب شد. برای این نوع از شرایط مرزی، باید مقدار شیب انرژی را که در محاسبه محاسبه عمق نرمال در آن موقعیت استفاده خواهد شد، وارد کرد. یک عمق نرمال را کاربر بر اساس شیب وارد شده محاسبه خواهد کرد. اگر شیب انرژی نامعلوم باشد، باید مقدار تقریبی آن را با وارد کردن شیب سطح آب یا شیب بستر آبراهه تعریف کرد (جلی فرد و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۹۶). بنابراین چون رژیم جریان مختلط مدنظر بود شیب انرژی متوسط

1. Rating Curve
2. Normal Depth
3. Critical Depth
4. Know Water Surface Elevation

در انتهای پایین دست و بالادست رودخانه محاسبه و به مدل معرفی گردید. پس از ورود تمامی داده‌ها، شبیه‌سازی جریان ماندگار انجام گرفت و در نهایت، داده‌های مربوط به مقاطع عرضی و پروفیل‌های سطح آب به‌دست آمد و متغیرهای مورفولوژیکی مانند، نسبت عرض به عمق^۱، شاخص گود افتادگی بستر^۲، مساحت مقطع عرضی در بده لبریز^۳، عرض بده لبریز، حداکثر عمق، عرض دشت سیلابی^۴ و شیب سطح آب^۵ محاسبه شدند. متغیرهای دیگر مانند، عمق متوسط در بده لبریز، ضریب انحنای مجرا و قطر اندازه ذرات بستر رودخانه نیز، به‌طور جداگانه محاسبه شدند.

ضریب انحنای مجرا را می‌توان از روی نقشه، عکس هوایی یا بررسی میدانی انجام داد. در جایی که طول مجرا به‌صورت طول تالوگ فرض شود، از تقسیم طول مجرا (SL) به طول دره (VL) ضریب انحنای به‌دست می‌آید (مورت، ۲۰۰۱: ۶۸).

$$k = \frac{SL}{VL} \quad \text{رابطه ۳}$$

در اینجا میزان ضریب انحنای برای هر بازه از روی نقشه‌های با مقیاس ۱:۱۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۷۹ به‌دست آمد. برای به‌دست آوردن قطر اندازه ذرات بستر رودخانه در مقاطع مختلف، تنها اطلاعات موجود از زمان نقشه‌برداری که مورد استفاده قرار گرفت، حدود دانه‌بندی رسوبات بستر رودخانه ليقوان در محدوده مورد مطالعه بود و بر اساس آن، محدوده دانه‌بندی رسوبات بستر ليقوان از لای و رس درشت تا شن بسیار درشت بود. در این بین، نسبت شن درشت به‌میزان ۲۳ درصد از همه ذرات بیشتر بوده است و برای طبقه‌بندی راسگن ملاک ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱. محدوده دانه‌بندی رسوبات بستر ليقوان چای در منطقه مورد مطالعه

حدود دانه‌بندی ذرات (mm)	۰/۲-۰/۶	۰/۰۲-۰/۲	۲-۴	۲-۰/۶	۴-۶	۶-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۶۴
درصد	۶	۶	۱۱	۱۰/۵	۵/۵	۱۱/۵	۱۶/۵	۱۰	۲۳

منبع: فزونی، ۱۳۸۶: ۹۷

ارزیابی رودخانه بر اساس روش طبقه‌بندی راسگن: طبقه‌بندی راسگن به چهار سطح تقسیم می‌شود:

سطح اول: ویژگی‌های ژئومورفیکی هستند که از توپوگرافی، لندفرم و مورفولوژی دره به‌دست می‌آیند که در یک مقیاس وسیع، ابعاد، الگو و پروفیل برای مشخص کردن نوع رودخانه به‌کار می‌رود.

سطح دوم: تشریح مورفولوژیکی، بر اساس بررسی‌های میدانی اطلاعات بازه مرجع.

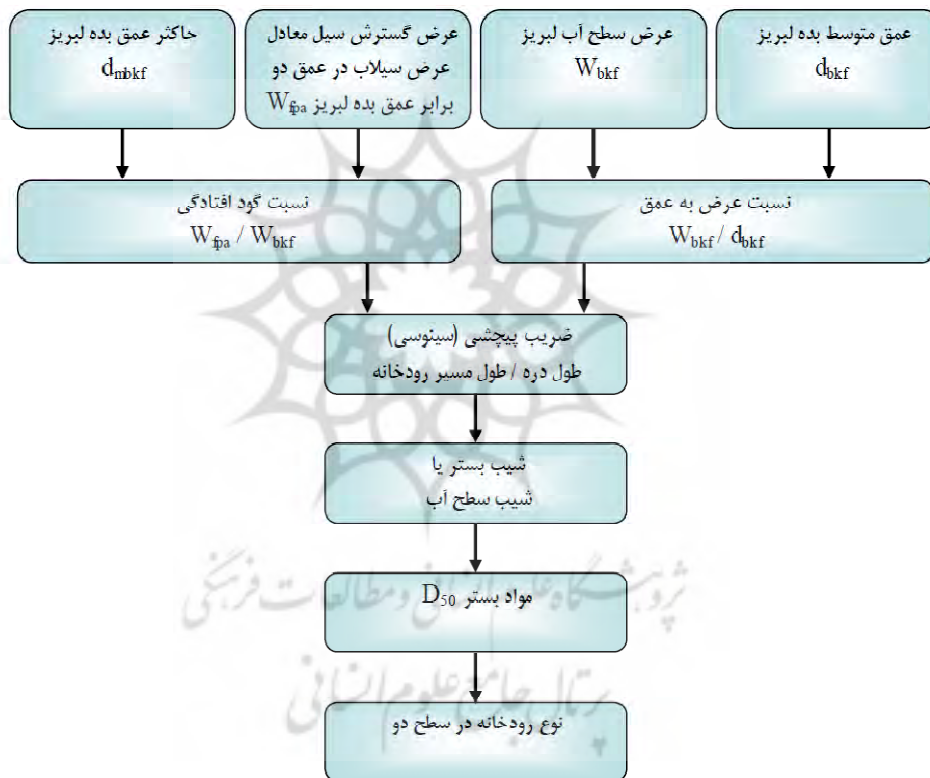
سطح سوم: موقعیت یا شرایط رودخانه که مربوط به پایداری، پتانسیل پاسخ و عملکرد آن است.

سطح چهارم: در این سطح اندازه‌گیری‌هایی برای تصدیق و تایید روابط ریخت شناسی که از مرحله قبل استنباط شده، به کار گرفته می‌شود. (وارد و همکاران، ۲۰۰۸: ۲ و ۳). در نهایت همه متغیرها بر اساس طبقه‌بندی سطح دوم راسگن، برای هر مقطع عرضی مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۳). با توجه به شکل شماره ۳،

1. Width/Depth ratio (W/D)
2. Entrenchment Ratio (ER)
3. Bankfull cross sectional area (Areabkf)
4. Flood prone width (Wfp)
5. Water surface slope

رودخانه‌ها در طبقه‌بندی سطح دوم، به انواعی از A تا G بر اساس هفت ویژگی مجرا، شامل عمق متوسط بده لبریز، حداکثر عمق بده لبریز^۱، عرض بده لبریز^۲، عرض دشت سیلابی، ضریب انحنا^۳، شیب متوسط مجرا (یا شیب سطح آب)^۴ و اندازه متوسط ذرات مجرا^۵ نام‌گذاری شده‌اند. پس از طبقه‌بندی از A تا G، بسته به نوع مواد رسوبی بستر، بار دیگر به بخش‌های ریزتری بدین شرح طبقه‌بندی می‌شوند.

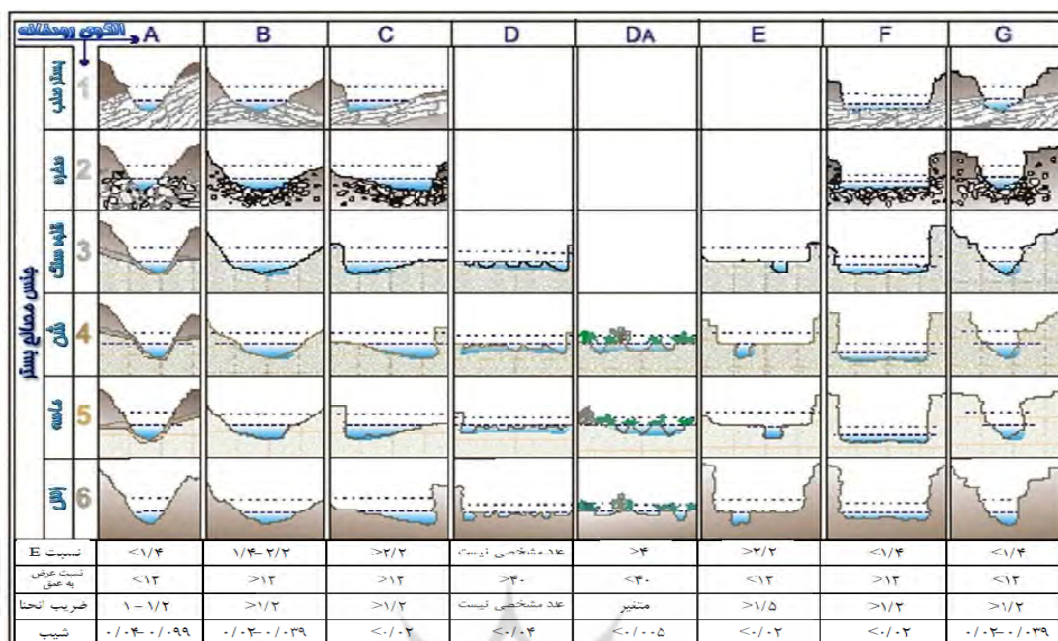
- ۱ = بسترهای سنگی^۶؛
- ۲ = بسترهای قطعه سنگی^۷؛
- ۳ = بسترهای قلوه سنگی^۸؛
- ۴ = بسترهای شنی^۹؛
- ۵ = بسترهای ماسه‌ای^{۱۰}؛
- ۶ = بسترهای رسی - سیلتی (شکل ۴).



شکل ۳. مراحل تعیین نوع رودخانه در سطح دو راسگن

منبع: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱: ۱۱۶

1. Maximum depth (dmax)
2. Bankfull width (Wbkf)
3. Channel sinuosity
4. Water surface slope
5. D50
6. Bedrock
7. Boulders
8. Cubble
9. Gravel
10. Sand



شکل ۴. طبقه‌بندی ژئومورفیکی مجرای رودخانه بر اساس طبقه‌بندی سطح دو راسگن

منبع: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱: ۱۱۴

یافته‌های پژوهش

با استخراج ویژگی‌های هندسی ۲۸ مقطع عرضی در بازه‌های مختلف (شکل ۵) و اجرای مدل هیدرولوژیکی در محیط HEC-RAS کلیه پارامترهای مورد نیاز جهت طبقه‌بندی و شناسایی ژئومتری مجرا بدست آمد. پس از محاسبه پارامترهایی نظیر نسبت عرض به عمق، شاخص گود افتادگی بستر، مساحت مقطع عرضی در بده لبریز، عرض بده لبریز، حداکثر عمق، عرض دشت سیلابی و شیب سطح آب، ضریب انحنا، برای همه بازه‌ها و مقاطع عرضی، تنها پارامترهای گود افتادگی بستر، نسبت عرض به عمق، شیب سطح آب، اندازه متوسط ذرات مجرا برای طبقه‌بندی سطح دو راسگن به کار برده شد (جدول ۱). بر طبق آن کل بازه‌های مسیر مورد مطالعه، در یکی از انواع A, B, C, E قرار گرفت. که در این بین شاخص گودافتادگی نشان دهنده وضعیت شکل مقطع از جهت فرورفتگی عمقی بستر و یا گسترش در سیلابدشت می باشد (معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱، ۱۱۳) که این شاخص در B بین ۲/۲-۱/۴ و در C و E بیش از ۲/۲ بوده و نسبت عرض به عمق در E کمتر از ۱۲ و در نوع C بیشتر از ۱۲ است.

اندازه شاخص ضریب انحنا برای رودخانه‌های مستقیم^۱ کمتر از ۱/۰۵، برای رودخانه‌های مارپیچی (سینوسی)^۲ بین ۱/۰۵ تا ۱/۵ و برای رودخانه‌های مارپیچی^۳ بیشتر از ۱/۵ است (مورت به نقل از مونت، ۱۹۹۵). با توجه به این مطلب، مطلب، کل بازه‌های رودخانه ليقوان به‌جز بازه‌های ۵، ۱۴ و ۲۳ که از نوع مستقیم هستند، بقیه در رده مارپیچی (سینوسی) قرار می‌گیرند (جدول ۲).

1. Straight
2. Sinuous
3. Meandering

جدول ۲. ویژگی های مربوط به مورفولوژی مجرای رودخانه ليقوان

طبقه بندی راسگن	سبب	سینوزیت	نسبت عرض به عمق	شماره گود انقادی بیشتر	عرض دست سیلابی	متوسط عمق	حداکثر عمق	عرض بده لبریز	مساحت بده لبریز	دبی لبریز	فاصله از پایین دست	شماره مقاطع نقشه	بازه	زیر حوضه
C4	-/۰.۱۴	۱/۱۴	۳۴/۵	۴/۰.۸	۴۰	-/۰.۴	-/۰.۵۷	۹/۸	۳/۹۲	۷/۸۷	۱۵/۵۰	۸	۱	بالادست
B4c	-/۰.۱۷	۱/۰.۷	۴۶/۸۴	۲/۱.۲	۲۶	-/۰.۲۶	-/۰.۳۷	۱۲/۸	۳/۰.۵	۴/۳۳	۱۴/۶۵	۲۷	۲	میاندمت
E4b	-/۰.۲	۱/۱۰	۱۰/۵۹	۳/۴۹	۳۳	-/۰.۸۹	۱/۲	۹/۴۳	۱۱/۸۷	۵۹/۱۰	۱۳/۳۳	۴۶	۳	
C4	-/۰.۱۵	۱/۱۳	۳۹/۳۳	۷/۹۷	۵۷	-/۰.۸	-/۰.۲۶	۷/۱۵	۱/۳۸	۱/۳۴	۱۳/۴۴	۵۲	۴	
C4b	-/۰.۲	۱/۰.۴	۴۴/۳۰	۳/۷۱	۶۴	-/۰.۲۹	-/۰.۵۷	۱۷/۲۴	۶/۷۵	۱۶/۵	۱۳/۹۵	۶۲	۵	
B4	-/۰.۲	۱/۳۱	۴۴/۱۶	۱/۶۸	۳۳	-/۰.۴۳	-/۰.۵۸	۱۸/۹۹	۸/۳۳	۱۷/۱۳	۱۳/۳۳	۷۸	۶	
C4	-/۰.۱۹	۱/۱۶	۶۱/۰.۴	۲/۸۱	۷۹	-/۰.۲۶	-/۰.۶۳	۲۸/۰.۸	۱۰/۳۹	۱۸/۸۴	۱۱/۵۸	۸۸	۷	
C4b	-/۰.۲	۱/۱۶	۳۳/۸۹	۳/۹۶	۵۵	-/۰.۵۸	-/۰.۲۴	۱۳/۸۶	۸/۸۰	۱۹/۵۱	۱۱/۸۹	۹۴	۸	
C4b	-/۰.۲	۱/۱۵	۴۳/۵	۳/۶۷	۳۳	-/۰.۲	-/۰.۲۳	۸/۷	۱/۵۴	۱/۸۷	۱۰/۸۳	۱۰۱	۹	
C4	-/۰.۱۴	۱/۴۶	۱۵/۰.۵	۶/۶۴	۳۸	-/۰.۳۸	-/۰.۵۷	۵/۳۳	۳/۱۵	۴/۲۴	۱۰/۰.۷	۱۱۵	۱۰	
C4	-/۰.۱۷	۱/۱۳	۴۵/۹۵	۴/۸۹	۴۵	-/۰.۲	-/۰.۲۶	۹/۱۹	۱/۸۵	۱/۸۷	۹/۴۳	۱۲۸	۱۱	
C4	-/۰.۱۹	۱/۱۵	۱۳/۳۷	۶/۱۳	۶۰	-/۰.۷۱	-/۰.۹۸	۹/۳۸	۶/۹۷	۳۴/۸۷	۸/۹۲	۱۳۸	۱۲	
C4	-/۰.۱۹	۱/۱۸	۱۲/۷۵	۶/۳۶	۵۶	-/۰.۶۹	-/۰.۹۹	۸/۸	۶/۰.۷	۱۶/۸	۸/۶۶	۱۴۳	۱۳	
C4	-/۰.۱۵	۱/۰.۴	۱۲/۹۰	۶/۶۴	۷۲	-/۰.۸۴	۱/۱۵	۱۰/۸۴	۹/۰.۹	۳۹/۶۱	۸/۱۵	۱۵۲	۱۴	
E4	-/۰.۰۶	۱/۱۱	۱۱/۰.۸	۴/۶۳	۳۶	-/۰.۷	-/۰.۸۳	۷/۳۶	۵/۴۱	۷/۴۱	۷/۴۶	۱۶۳	۱۵	
E4	-/۰.۰۷	۱/۱۶	۱۰/۸۳	۴/۳۴	۴۰	-/۰.۸۵	۱/۱۷	۹/۲۰	۷/۳۸	۳۸/۹	۷/۰.۹	۱۶۹	۱۶	
C4	-/۰.۱۸	۱/۱۴	۱۵/۰.۴	۳/۵۹	۳۳	-/۰.۶۱	-/۰.۳۳	۹/۱۸	۵/۴۹	۱۴/۶۴	۶/۶۸	۱۷۸	۱۷	
C4b	-/۰.۲	۱/۱۴	۳۳/۸۳	۴/۴۵	۶۰	-/۰.۵۹	-/۰.۸۱	۱۳/۴۷	۷/۹۹	۱۹/۵۱	۶/۲۰	۱۸۷	۱۸	
C4c	-/۰.۰۸	۱/۲۶	۱۶/۰.۵	۶/۶۶	۶۱	-/۰.۵۷	-/۰.۸۲	۹/۱۵	۵/۳۴	۱۱/۱۷	۵/۵۷	۱۹۸	۱۹	
B4	-/۰.۲	۱/۱۷	۳۲/۷۰	۲/۰.۳	۱۶	-/۰.۲۴	-/۰.۲۶	۷/۱۵	۱/۹۰	۲/۴۴	۴/۹۹	۲۰۷	۲۰	
B4c	-/۰.۰۷	۱/۱۴	۱۴/۰.۴	۱/۹۷	۳۳	-/۰.۸۳	-/۰.۹۰	۱۱/۶۶	۹	۴۸/۴۳	۴/۰.۴	۲۳۳	۲۱	
E4	-/۰.۰۹	۱/۰.۹	۹/۵۶	۷/۳۰	۵۱	-/۰.۳۳	۱/۰.۵	۶/۹۸	۵/۰.۸	۹/۱۱	۳/۶۲	۲۳۱	۲۲	
C4	-/۰.۱۳	۱	۱۹/۶۹	۶/۱۸	۵۶	-/۰.۲۶	-/۰.۶۶	۹/۰.۶	۴/۲۰	۹/۳	۳/۱۴	۲۴۰	۲۳	
C4	-/۰.۱۷	۱/۲۲	۱۲/۶۹	۱۱/۳۹	۱۱۰	-/۰.۲۶	۱/۰.۶	۹/۶۵	۷/۲۲	۲۱/۴۷	۳/۹۵	۲۴۳	۲۴	
C4c	-/۰.۰۸	۱/۱۵	۱۵/۳۵	۸/۸۵	۸۷	-/۰.۶۴	۱/۰.۳	۹/۸۳	۶/۲۸	۱۶/۳۹	۳/۳۹	۲۵۲	۲۵	
B4	-/۰.۲	۱/۳۳	۳۸/۱۸۱	۱/۴۵	۴۵	-/۰.۱۱	-/۰.۲۹	۳۱	۳/۴۰	۳/۳۹	۱/۶۱	۲۶۴	۲۶	
C4	-/۰.۱۴	۱/۱۰	۲۴/۰.۶	۲/۶۸	۲۰	-/۰.۳۱	-/۰.۶۱	۷/۶۶	۲/۲۸	۳/۳۹	۰/۸۴	۲۷۶	۲۷	
C4b	-/۰.۲	۱/۰.۷	۴۴	۲/۹۱	۱۰۴	-/۰.۸۱	-/۰.۹۴	۳۵/۶۸	۲۸/۸۱	۸۶/۵۴	۱۷/۰	۲۸۸	۲۸	



شکل ۵. طبقه‌بندی مقاطع عرضی و بازه‌ها بر اساس طبقه‌بندی راسگن

رودخانه‌های نوع B نسبت به نوع A، دارای شیب کمتری هستند و حالت خندقی متوسطی دارند. بستر مجرا شامل یکسری از شیب‌های تند و آبشاری بوده و دارای گوداب^۱ ساییده‌شده نامنظمی است. بستر و ساحل نسبتاً پایدار بوده و سیستم محدودی از ذخیره رسوبی دارند. ممکن است الوارهای چوبی و سکونتگاه ماهی‌ها در داخل این گونه رودخانه وجود داشته باشند. بازه‌های ۲، ۶، ۲۰، ۲۱ و ۲۶ در دسته رودخانه‌های نوع B قرار دارند.

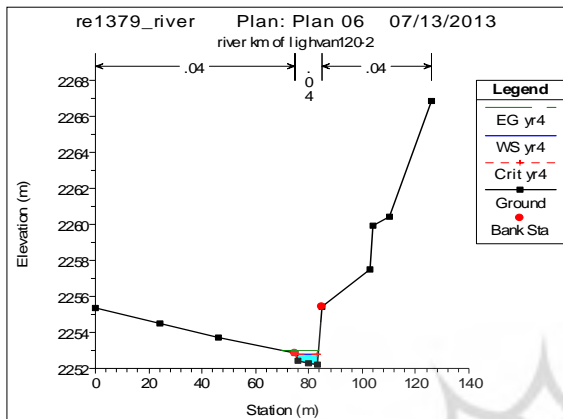
رودخانه‌های نوع C دارای گوداب و خیزاب^۲ بوده و دشت سیلابی، پیچ و خم رودخانه و پشته‌های ماسه‌ای به‌خوبی در آن توسعه یافته‌اند. نسبت عرض به عمق بیش از ۱۲ و میزان گودافتادگی بستر متوسط است. در زمان رویدادهای بزرگ سیلاب، دشت سیلابی را فرا می‌گیرد. بازه‌های ۱، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۷ و ۲۸ در گروه رودخانه‌های نوع C جای گرفته‌اند.

در رودخانه‌های نوع E، نسبت عرض به عمق کم بوده و میزان ضریب انحنا بالاست. این رودخانه‌ها پایدارند و یکی از دلایل آن، توسعه در دشت سیلابی با پوشش علفی متراکم در ساحل عمودی مجرا است. بازه ۳، ۱۵ و ۱۶ در دسته رودخانه‌های نوع E است.

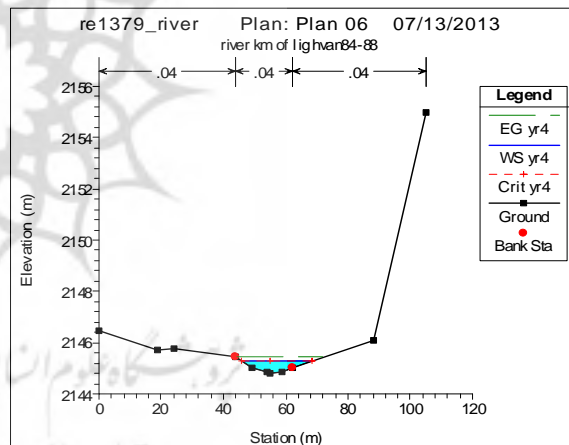
مقاطع عرضی انواع مختلف بازه‌های رودخانه و طبیعت آنها در طبقه‌بندی راسگن، نشان می‌دهد که به‌طور کلی پس از ترسیم مقاطع و پروفیل‌های

1. Pool
2. Riffle

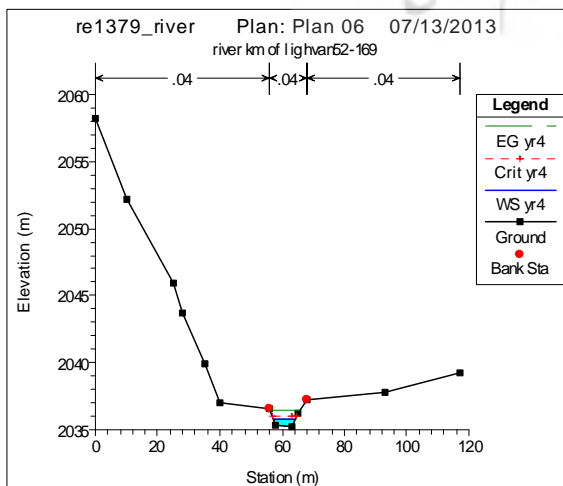
سطح آب در دبی لبریز و دشت سیلابی، برخی از مجراها به‌خوبی با این طبقه‌بندی سازگارند و برخی دیگر این سازگاری را ندارند. شکل ۶ پروفیل تعدادی از مقاطع عرضی و میزان انطباق آنها با مقاطع عرضی پیشنهادی راسگن را نشان می‌دهد.



الف : مقطع عرضی شماره ۲ از نوع B



ب : مقطع عرضی شماره ۷ از نوع C



ج : مقطع عرضی شماره ۱۶ از نوع E

شکل ۶. تعدادی از مقاطع عرضی رودخانه ليقوان در بازه‌های مختلف

طبق شکل ۶ در مقطع «الف» نسبت گودافتادگی بستر و نسبت عرض به عمق متوسط است. در مقطع «ب» نسبت گودافتادگی بستر و نسبت عرض به عمق زیاد و در مقطع «ج» نسبت گودافتادگی بستر زیاد و نسبت عرض به عمق خیلی کم است.

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس داده‌های مستخرج از ضریب انحناى بازه‌ها به جز چند بازه، رودخانه ليقوان در رده رودخانه‌های سینوسی جای دارد و بر اساس طبقه‌بندی راسگن، کل بازه‌ها در یکی از انواع B, C, E قرار می‌گیرند. مورفولوژی مجرا در زیرحوضه بالادست، از نوع B و C بوده و در میان‌دست و پایین‌دست دارای انواع C, B, E است. در مجراهای نوع B رودخانه ليقوان، گودافتادگی بستر با وسعت متعادل و نسبت عرض به عمق متوسط، دره‌های باریک و با شیب ملایم دیده می‌شوند. در مجراهای نوع C، دره‌های سیلاب‌دستی، خاک‌های آبرفتی سیلاب‌دشت با گسترش ملایم شکل غالب است. مجراهای نوع E دارای دره وسیع با مصالح آبرفتی، شکل سینوسی وسیع، نسبت عرض به عمق کم و مجرای پایدار و پوشش علفی متراکم است. بر طبق گفته وارد (۲۰۰۸) ممکن است مجرای کاملاً با داده‌های طبقه‌بندی راسگن مطابقت نداشته باشد. در مورد رودخانه ليقوان نیز ضریب انحنا در اکثر بازه‌ها کمتر از ۱/۵ بوده و لذا اکثر بازه‌ها جزء بازه‌های سینوسی قرار می‌گیرند. بنابراین به علت عدم انطباق ضرایب انحنا با ضریب انحناء پیشنهادی راسگن، طبقه‌بندی بیشتر بر اساس پارامترهای شاخص گودافتادگی بستر، نسبت عرض به عمق و شیب اعمال گردید.

روش طبقه‌بندی راسگن برای رودخانه ليقوان، نشان داد که تعدادی از مجراها به‌خوبی با این طبقه‌بندی سازگار بوده و تعدادی دیگر این قابلیت را نداشته‌اند. در هر حال این روش طبقه‌بندی توانایی تمرکز روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی رودخانه ليقوان، مانند نسبت گودافتادگی بستر، نسبت عرض به عمق و مواد بستر را دارد. بنابراین این روش توانایی پیش‌بینی کمی ژئومورفیکی رودخانه ليقوان را در مقایسه با سایر طبقه‌بندی‌ها دارد (سایر طبقه‌بندی‌ها بر پایه‌ی فرآیندهای شکل‌دهنده هستند و بیشتر به پیش‌بینی شرایط نسبی می‌پردازند). این نوع طبقه‌بندی مورفولوژیکی از مجرای رودخانه، می‌تواند در توسعه طرح‌های مهندسی، بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه مورد استفاده قرار گیرد. در واقع طبقه‌بندی رودخانه ليقوان بر اساس سیستم طبقه‌بندی سطح دو راسگن، یک ارزیابی منطقی است که اطلاعات ریزتر و دقیق‌تری را برای کاربردهای مدیریتی فراهم می‌کند.

منابع

برانر، جی.، (۱۳۸۴)، سیستم تحلیل رودخانه (HEC-RAS (unsteady flow)، ترجمه: جلی فرد، سعید؛ امیدوار، آرش؛ نجفی جیلانی، عطالله، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیر کبیر .

بریج، جان اس.، (۱۳۸۷)، رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، جلد اول، دینامیک و فرآیندها، تهران: انتشارات سمت.

خطیبی، س.؛ مهدیزاده محلی، س.س.؛ نژاد نادری، م.؛ خانجانی، م. ج.، (۱۳۸۸)، ارزیابی سطوح مختلف طبقه‌بندی رودخانه‌ها و کاربرد آنها بر روی رودخانه سفیدرود، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز دانشگاه شهید چمران اهواز.

طالبی، ل.؛ بازیدی، ش. (۱۳۸۷)، بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه با استفاده از طبقه‌بندی Rosgen (مطالعه موردی: رودخانه سبزکوه)، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه صنعت آب و برق.

علیزاده، ا. (۱۳۸۱)، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ پانزدهم، خراسان: انتشارات آستان قدس رضوی.

فرونی، س. (۱۳۸۵)، بررسی مقایسه‌ای پروفیل سطح آب و پهنه سیل با مدل‌های با بستر ثابت و بستر متحرک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، رشته مهندسی عمران، گرایش مهندسی آب.

کرمی، ف؛ بیاتی خطیبی، م.؛ رستم‌زاده، ه. (۱۳۸۵)، پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای مواد در حوضه آبریز ليقوان چای، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ویژه‌نامه جغرافیا، دور دهم، پیاپی ۴۸، ۱۴۵-۱۲۵.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی. (۱۳۹۱)، راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها، نشریه شماره ۵۹۲، ۱۶۶-۱.

وزارت نیرو. (۱۳۸۹)، پیش‌نویس راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه، نشریه شماره ۳۶۶-الف.

Arbeláez, A. C., Elvira Guevara A., M., Posada, G. L., González, M. L.J., Gallardo, B. C. A., 2007, **Bankfull Discharge in Mountain Streams in the Cauca Region of Colombia**, Hydrology Days, PP.189-197.

Christner, Jr, T. W., (2009), **An Assessment of Land Use Impacts on Channel Morphology in a Western Minnesota Watershed**, ProQuest, A Ph.D Thesis, Faculty of the Graduate School of the University of Minnesota, 182 pages.

Green, Sh., Norm, E., Nathaniel, T., 2011, **Geomorphic Indices / Remote Sensing Analysis to Perform Rapid Stream Assessments**, Awra 2011 Summer Specialty Conference Snowbird, UT, June 27-29, PP.1-6.

Lawlor, Sean M., (2004), **Determination of Channel-Morphology Characteristics, Bankfull Discharge, and Various Design-Peak Discharges in Western Montana**, Scientific Investigations Report 2004-5263, PP. 1-19.

Moret, S.L., 2001, **Predicting Channel Stability in Colorado Mountain Streams Using Hydrobiogeomorphic and Land Use Data: A Cost-Sensitive Machine Learning Approach to Modeling Rapid Assessment Protocols**, Doctor of Philosophy, Oregon State University.

Mount, J. F., 1995, **California Rivers and Streams- The Conflict between Fluvial Process and Land Use**, University of California Press, Berkeley, California.

Natural Resources Conservation Service, 2007, **Part 654 Stream Restoration Design National Engineering Handbook**, Chapter 11: Rosgen Geomorphic Channel Design, United States Department of Agriculture, 210-VI-NEH.

Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussetini, M., 2012, **A Method for the Assessment and Analysis of the Hydromorphological Condition of Italian Streams: The Morphological Quality Index (MQI)**, Geomorphology, Vol. 180, PP. 96-108.

Rosgen, D. L., 1994, **A Classification of Natural Rivers**, Catena, Vol. 22, PP.169-199.

Schumm, S. A., 2005, **River Variability and Complexity**, First Published, Cambridge University Press, Published in the United States of America.

Singh Kang, R., 2007, **Effects of Urbanization on Channel Morphology of Three Streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma**, Ph.D Thesis, the Faculty of the Graduate College of Oklahoma State University.

Ward, A., D'Ambrosio, J. L., Mecklenburg, D., 2008, **Stream Classification**, The Ohio State University, Fact Sheet Agriculture and Natural Resources, AEX-445-01.

