

طبقه‌بندی و تحلیل ژئومورفولوژیکی بخشی از رودخانهی حمزه‌خانلو با استفاده از مدل رزگن

فریبا اسفندیاری درآباد^۱، رسول بخشنده^۲، مسعود رحیمی^۳، خدیجه حاجی^۴، رئوف مصطفی‌زاده^{۵*}

- ۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
 - ۲- دانشجوی کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
 - ۳- دانش‌آموخته‌ی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز
 - ۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
 - ۵- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
- تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۵
وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۸

چکیده

مورفولوژی رودخانه‌ها در حفاظت و مقابله با سیلاب به واسطه‌ی پیوند و ارتباط آن با زیستگاه‌های طبیعی و انتقال سیلاب از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین در پژوهش حاضر، رودخانه حمزه‌خانلو بر اساس سیستم ژئومورفولوژیکی رزگن مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش جمع‌آوری داده‌ها در خصوص موضوع مورد مطالعه به‌طور کلی به دو روش کتابخانه‌ای و میدانی انجام شد. جهت شبیه‌سازی رودخانه و استخراج پارامترهای مورد نیاز از دو دسته ابزارهای فیزیکی شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و کاربری‌اراضی و ابزارهای مفهومی از جمله نرم‌افزارهای ArcGIS و HEC-RAS استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از مدل رزگن نشان داد که رودخانه‌ی حمزه‌خانلو در قسمت‌هایی که مقاطع در طبقه‌ی C قرار گرفته‌اند دارای حساسیت به تلاطم و کنترل پوشش گیاهی بسیار بالا و پتانسیل بازیابی و تأمین رسوب بالا هستند، در حالی که قسمت‌هایی که در طبقه B قرار دارند درجه حساسیت به تلاطم و تأمین رسوب و تأثیر کنترل پوشش گیاهی متوسط و پتانسیل احیا عالی است. در نتیجه در انتهای بازه‌ی سوم و بیش‌تر بخش‌های بازه‌ی چهارم شیب رودخانه بین ۲ تا ۴ درصد قرار گرفته و رسوبات ماسه‌ای در کف رودخانه قابل مشاهده است که منجر به ایجاد دره‌های باریکی می‌شود که توسعه یک دشت وسیع سیلابی را محدود می‌کند. بنابراین الگوهای مجرای موجود در رودخانه و به تبع آن پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی و تفکیک مجراها با مدل رزگن مطابقت دارند.

کلمات کلیدی: پهنه‌ی سیلابی، مدل رزگن، مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS، رودخانه‌ی حمزه‌خانلو، استان اردبیل

۱- مقدمه

از مباحث کلیدی و عمده در علم ژئومورفولوژی، مهندسی و مدیریت رودخانه‌های موضوع مورفولوژی کانال‌های رودخانه‌ای است که اطلاعات مفیدی درباره‌ی شکل هندسی، فرم بستر، پروفیل طولی، مقاطع عرضی و تغییر شکل و مکان آن‌ها در طول زمان فراهم می‌کند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۳). امروزه ژئومورفولوژی رودخانه‌ای به عرصه‌ی جدیدی وارد شده و به‌عنوان پایه‌ای برای مطالعه تغییرات محیطی در آمده که برای مدیریت مجراهای رودخانه‌ای به کار می‌رود (آریایی و لشکرآرا، ۱۳۹۷: ۲؛ کلینهنانس و واندنبرگ^۱، ۲۰۱۱: ۷۲۵). برای تعیین میزان رسوب و پهنه‌بندی سیلاب و مطالعه کیفیت آب لازم است که عملیات مهندسی بر روی رودخانه‌ها صورت گیرد (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۷۶). سیستم‌های طبقه‌بندی رودخانه‌ای تلاشی در جهت ساده کردن روابط پیچیده بین رودخانه‌ها و آبریزهای آن است (نصیری خیاوی و همکاران، ۱۳۹۸: ۶). دسته‌بندی رودخانه‌ها یکی از روش‌های مطالعه رودخانه است که درک فرآیندهای هیدرولیکی و رسوب‌شناسی و پیش‌بینی رفتار رودخانه را فراهم می‌نماید (لایقی و کرم، ۱۳۹۳: ۱۳۴، کاندولف و پیگی^۲، ۲۰۰۳: ۱۰۵). رویکردهای جدید طبقه‌بندی رودخانه بر تحلیل‌های مرتبط با مدیریت اراضی و بازسازی رودخانه تمرکز دارد. استفاده از یک رویکرد سلسله مراتبی درک کلی‌نگر از فرآیندهای حوضه‌ای را امکان‌پذیر می‌کند (نیری و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۴۴؛ شرودر^۳، ۲۰۱۳). هم‌چنین استقرار جمعیت در حاشیه رودخانه و تغییر کاربری زمین باعث می‌شود تا بازه‌هایی از رودخانه دچار تغییرات شوند؛ لذا آگاهی از وضعیت مورفولوژیکی رودخانه امکان احیاء رودخانه‌ها فراهم می‌شود (یعقوب‌نژاد اصل و همکاران، ۱۳۹۹). پهنه‌بندی سیل‌خیزی می‌تواند مناطق مستعد خطر را شناسایی کرده تا آسیب کم‌تری ببینند (گودرزی و فاتحی‌فر، ۱۳۹۷: ۵۸؛ ملازهی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۴۵). از این‌رو، ژئومورفولوژیست‌ها، جغرافی‌دانان و مهندسان روش‌های جامعی برای طبقه‌بندی رودخانه‌ها ارائه داده‌اند که یکی از آن‌ها روش رزگن^۴ است که مبنایی برای احیای رودخانه‌ها است (پره‌گون^۵، ۲۰۱۶). یکی از متداول‌ترین سیستم‌های طبقه‌بندی سلسله مراتبی مجرا توسط رزگن (۱۹۹۴ و ۱۹۹۷) ارائه شد. در زمینه‌ی مطالعه و بررسی مجرای رودخانه و طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی، پژوهش‌هایی انجام گرفته است. یمانی و همکاران (۱۳۹۴) به طبقه‌بندی رودخانه با مدل رزگن در سطح دوم و سوم بر مبنای ژئومورفولوژیکی و میدانی آن در رودخانه تلوار پرداختند و مشخص شد که رودخانه‌ی تلوار دارای مقادیر مختلفی از نسبت گودشدگی بستر، ضریب خمیدگی، نسبت عرض به عمق و اندازه مواد بستر است. در نتیجه ارزیابی شرایط پایداری در سطح سوم نیز نشان داد که بخش‌های میانی رودخانه از لحاظ پایداری در سطح ضعیف و

1- Kleinhans & Van den Berg
2- Kondolf & Piegay
3- Shroder

4- Rosgen
5- Pregun

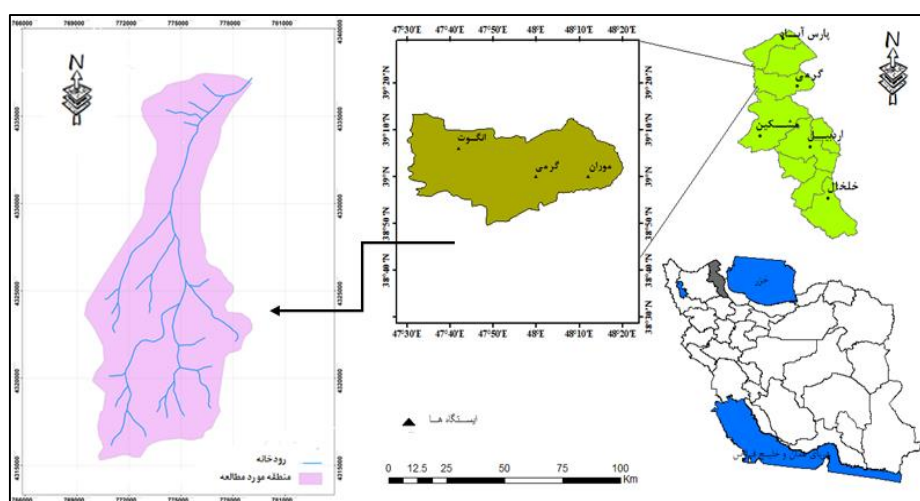
سایر بخش‌ها در سطح متوسط و خوب قرار دارند. بخشی از مجرای رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل ژئومورفولوژیکی رزگن توسط رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶) مورد طبقه‌بندی قرار گرفت. سپس برای محاسبه پارامترهای نسبت گودشدگی و نسبت عرض به عمق لب‌پری از الحاقیه HEC-GeoRAS استفاده گردید. نتایج نشان داد که اکثر مقاطع رودخانه قره‌سو در طبقه C و E مدل سلسله مراتبی رزگن قرار گرفته‌اند. رودخانه‌ی قره‌سو در طبقه‌ی C دارای مجرای پهن‌تر و کم عمق‌تری می‌باشد و هم‌چنین پهنه سیلابی رودخانه در طبقه‌ی توسعه‌یافته و دره‌های آن عریض است. خیری‌زاده اروق و همکاران (۱۳۹۷) مورفولوژی مجرای رودخانه زرینه‌رود با استفاده از مدل ژئومورفولوژیکی رزگن بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که در بازه‌های بالادست سد نوروزلو عمدتاً از نوع C رزگن است. بازه‌های نوع D، به‌صورت محلی در مقطعی دیده می‌شوند که فرسایش‌پذیری شدید مواد کناره و کنترل محدود پوشش گیاهی با نسبت‌های عرض به عمق بالا و پشته‌های نقطه‌ای فعال داخل مجرا به‌وجود آورده‌اند. دخالت‌های نسبتاً کم عامل انسانی و دشت سیلابی هموار و توسعه یافته باعث افزایش نسبت گودشدگی شده است. هم‌چنین، چسبندگی بالای مواد کناره به مقادیر پایین نسبت عرض به عمق منجر شده است. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات جانبی مجرای رودخانه قزل اوزن در بازه زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین شدت جابجایی عرضی مجرا بین سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳ به میزان ۱۰/۵۸ متر در سال بود، که در نتیجه آن ۵۲/۵۱ هکتار بر ساحل سمت راست رودخانه افزوده شده بود. در کل، نتایج نشان داد که حدود ۲۰۷/۱۴ هکتار به ساحل سمت راست رودخانه افزوده و حدود به ۲۱۵/۳۱ هکتار از ساحل سمت راست کاسته شد.

آنجلا^۱ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش رزگن چهار نوع طبقه B، Aa، A و C از رودخانه‌ها را در حوضه‌ی مگدالن اسلاوا 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 مقایسه رفتار متفاوت چهار نوع رودخانه پرداختند و مشخص شد که میزان فرسایش و نوع مواد بستر رودخانه‌هایی با کاربری غالب کشاورزی و جنگلی دارای تفاوت آشکاری است. اسپلینتر و داوالتر^۲ (۲۰۱۶) در بررسی پوشش درختی درون کانال در مناطق اکولوژیکی اوکلاهومی شرقی و ارتباط آن‌ها با مورفولوژی کانال و طبقه‌بندی رودخانه از روش رزگن نتیجه گرفتند که تراکم گونه‌های درختی در انواع رودخانه‌های اوکلاهومی شرقی از نظر آماری اختلاف معنی‌دار داشت. آبخیز رودخانه‌ی حمزه‌خانلو یکی از مهم‌ترین مناطق کشاورزی شهرستان گرمی است که در طی سال‌های اخیر بدون توجه به مکانیسم‌های طبیعی در معرض تغییرات کاربری اراضی قرار گرفته و سبب ناسازگاری‌های محیطی و تغییرات مورفولوژی رودخانه حمزه‌خانلو شده است، که شناخت عوامل مؤثر در

این تغییرات گام مهمی در جهت احیاء و مدیریت محیط اطراف رودخانه حمزه خانلو است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر طبقه‌بندی و تحلیل ژئومورفولوژیکی مجرای رودخانه حمزه خانلو بر اساس مدل رزگن است.

۲- مواد و روش

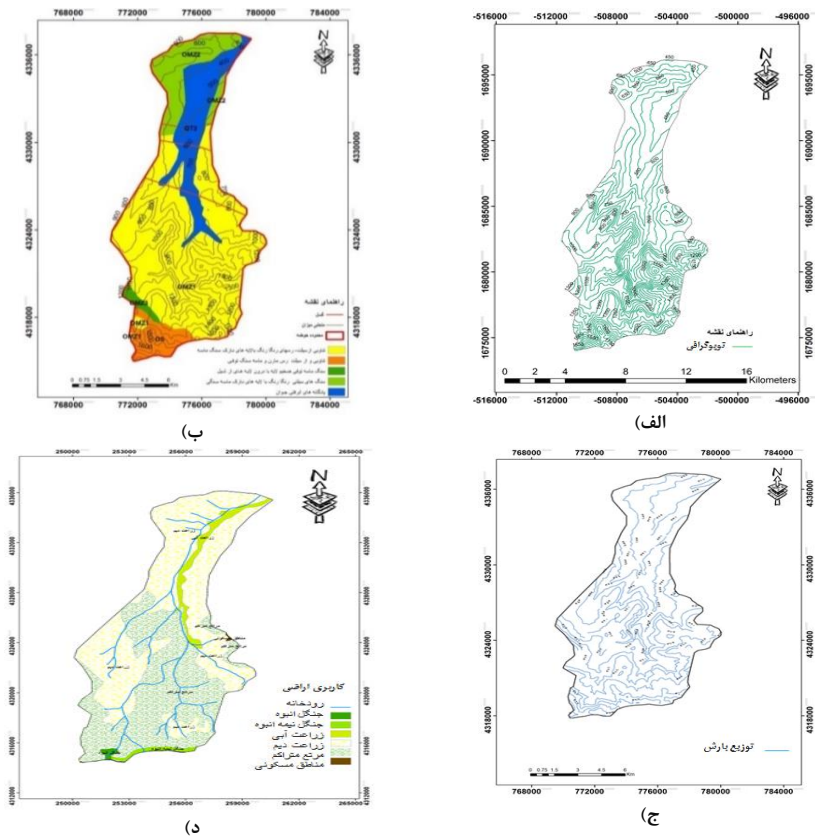
آبخیز رودخانهی حمزه خانلو یکی از زیر حوضه‌های بالهارود است و با مساحتی حدود ۲۰ کیلومترمربع $۴۸^{\circ} ۱۰'$ تا $۴۸^{\circ} ۶'$ طول شرقی و $۳۸^{\circ} ۵۸'$ تا $۳۹^{\circ} ۳'$ عرض شمالی در شرق شهرستان گرمی قرار گرفته است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع موجود در منطقه ۱۹۵۰ متر در روستای قره‌بلاغ در جنوب حوضه و کم‌ترین آن در بخش شمال در محل اتصال به رودخانهی بالهارود (۳۷۰ متر) است. بخش جنوب آن شامل ارتفاعات و حدود ۷۰ درصد مساحت حوضه را در برمی‌گیرد و بخش شمالی آن کم ارتفاع و بیش‌تر زمین‌های کشاورزی بوده و حدود ۳۰ درصد مساحت حوضه را شامل می‌شود (بخشنامه، ۱۳۹۸).



شکل (۱): موقعیت رودخانهی حمزه خانلو در شهرستان گرمی و استان اردبیل

Fig (1): The location of Hamzekhanloo river in Germe county and Ardabil province

در این پژوهش چهار بازه‌ی رودخانه‌ای توسط مشاهدات میدانی و تصاویر گوگل‌ارث تعیین و نمونه‌برداری از بازه‌ها بر اساس تأثیر عوامل انسانی بر تغییرات رودخانه انجام شد. در مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه‌ای از اطلاعات نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی بر روی تصویر ماهواره لندست ۸، سنجنده OLI در سال ۲۰۱۷، داده‌های دبی و بارش ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک گرمی، داده‌های نقشه‌برداری شده از مسیر رودخانه، مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۱۰ متری و نرم‌افزارهای HEC-RAS و ArcGIS 10.2 استفاده شده است (شکل ۲).



شکل (۲): نقشه‌های پایه محدوده‌ی بالادست رودخانه‌ی حمزه‌خانلو، الف) توپوگرافی ب) زمین‌شناسی ج) خطوط همباران د) کاربری اراضی

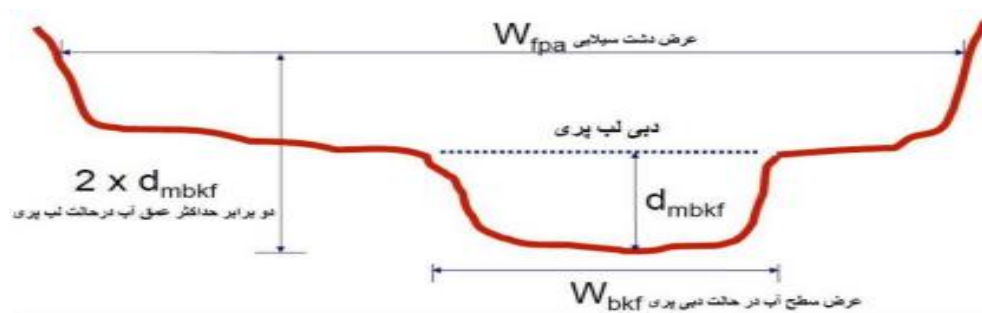
Fig (2): The basic maps for the upland area of Hamzekhanloo river, a) Contour map, b) Geology, c) Iso-rain d) Land use

۲-۱- مدل رزگن

سیستم طبقه‌بندی رزگن به پیش‌بینی رفتار رودخانه بر اساس مورفولوژی و رابطه هیدرولیک و رسوب جریان با مورفولوژی خاص می‌پردازد که خصوصیات مورفولوژی رودخانه‌ها در چهار سطح مختلف بررسی می‌شود، اما بیش‌تر بر دو سطح که سطح یک یعنی خصوصیات ژئومورفیک کلی و سطح دو توصیف مورفولوژیکی تمرکز می‌کند (رزگن، ۱۹۹۴). در پژوهش حاضر، سطح یک و دو سیستم رزگن مورد مطالعه قرار گرفت. سطح یک (طبقه‌بندی کلی): در این سطح خصوصیات مورفولوژی رودخانه حاصل از تلفیق اطلاعات مربوط به عوارض حوضه‌ی آبریز، لندفرم و مورفولوژی دره استفاده می‌شود. در این سطح، ابعاد و الگوها و نیمرخ‌های طولی و عرضی رودخانه‌ها برای ارائه مورفولوژی رودخانه در مقیاس کلی مورد استفاده قرار گرفت (یمانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵). سطح دو (طبقه‌بندی توصیفی): در این سطح توصیف دقیق‌تری از مورفولوژی و نوع رودخانه که از

اطلاعات صحرایی به دست آمده، ارائه می‌دهد. ترانشه‌های رودخانه، ابعاد، الگو و مقاطع طولی و عرضی و مواد بستر در این سطح به صورت کمی و در قالب نوع جریان ارائه شد. در این سطح، یک ارزیابی منطقی و کمی مورفولوژی به همراه اطلاعات ریزتر و دقیق‌تری برای کاربردهای مدیریتی مهیا می‌سازد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵). سیستم رزگن از شش سنج مورفولوژیکی شامل گودشدگی، نسبت عرض به عمق، سینوزیته، تعداد مجرا، شیب و اندازه دانه مواد بستر در تحلیل‌های خود استفاده می‌کند. این معیارها برای تعریف هشت کلاس اصلی رودخانه با حدود ۹۰ نوع رودخانه خاص، کاربرد دارد. روش محاسبه این معیارهای ممیزی به شرح ذیل است (نیری و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۴۵؛ خیری‌زاده اروق و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۰۶):

گودشدگی: این نسبت در حقیقت عرض دشت سیلابی به عرض سطح آب در حالت دبی لبریز است. برای تعیین عرض دشت سیلابی، از عرض رودخانه در ارتفاعی معادل دو برابر حداکثر عمق آب در دبی لبریز استفاده می‌شود و هر چه این نسبت افزایش یابد بیانگر پیشرفت رودخانه در دشت سیلابی است (شکل ۳). در رودخانه‌های دشت سیلابی مقدار شاخص گودشدگی معادل عرض سطح آب در سیل ۵۰ ساله به عرض سطح آب در سیل متوسط (عرض مقطع اصلی) است (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۶: ۵).

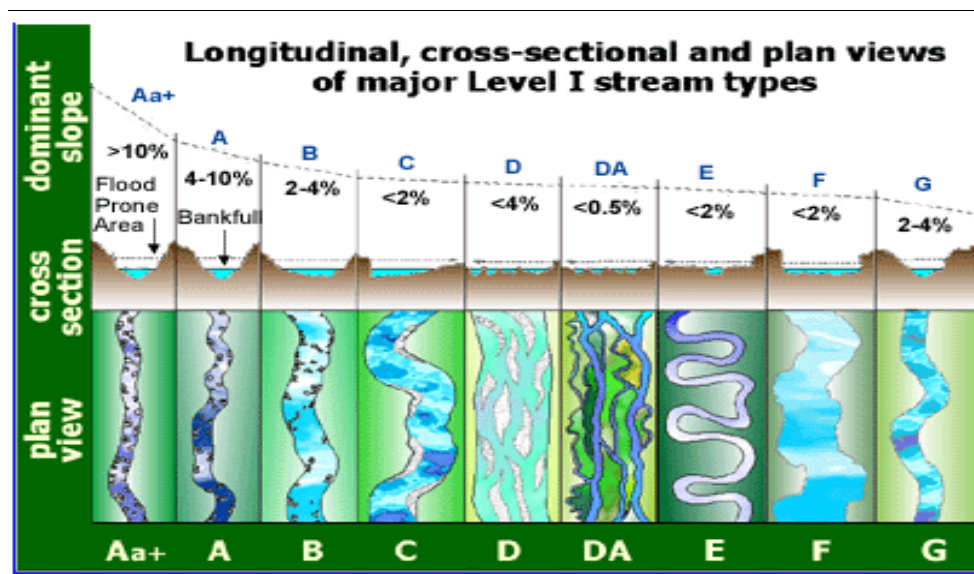


شکل (۳): روش محاسبه‌ی عرض دشت سیلابی

Fig (3): Method of calculating the width of the flood plain

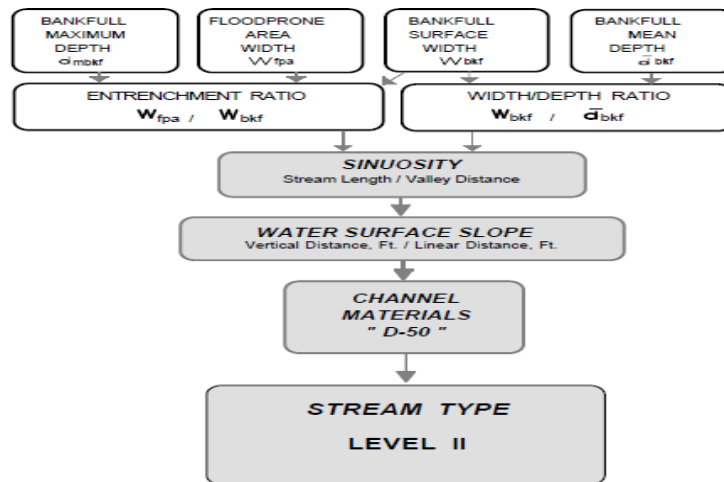
نسبت‌های گودشدگی ۱-۱/۴ نشان‌دهنده‌ی آبراهه‌های گرد شده، ۱/۴-۲/۲ نشان‌دهنده‌ی آبراهه‌های با گودشدگی متوسط و نسبت‌های بیش‌تر از ۲/۲ آبراهه‌هایی با گودشدگی اندک است. نسبت عرض به عمق: نسبتی که بین عرض مجرای لب‌پری و عمق میانگین لب‌پری دارد را نسبت عرض به عمق می‌گویند. حداکثر جریان پیک لحظه‌ای را دبی لب‌پری می‌گویند که ممکن است در طول یک سال چند روز اتفاق بیفتد و در دوره‌ی بازگشت ۱/۵ ساله رخ می‌دهد (رزگن، ۱۹۹۴: ۱۷۵). دبی مقطع پر و ارتفاع به دست آمده در محدوده‌ی دوره‌ی بازگشت معمولاً ۱ تا ۳ سال بر روی یک منحنی فراوانی سالانه با غلبه مقادیر اتفاق افتاده در محدوده‌ی ۱/۲ تا ۱/۸ سال قرار می‌گیرد. تعریف رزگن از لب‌پری و تعریف دون و لئوپلد برای انواع کانال‌های C، D، DA

و E که بسیار کم گود شده‌اند بسیار مشابه هستند. اما در مورد کانال B که گودشدگی متوسط و برای کانال‌های F، A و G که گودشدگی زیاد دارند لب‌پری رزگن در ارتفاع بسیار پایین‌تر از رأس کناره‌ها واقع می‌شود (سرویس حفاظت منابع طبیعی، ۲۰۰۸). سینوزیته: به نسبت بین طول آبراهه و طول دره و یا نسبت بین شیب دره و شیب مجرا اطلاق می‌شود (رزگن، ۱۹۹۴). رزگن با استفاده از پروفیل‌های طولی، شکل دره، مقاطع عرضی رودخانه و الگوی پلان، رودخانه را در قالب A تا G دسته‌بندی نموده است. مواد کانال: اندازه مواد بستر و کناره رودخانه بیانگر درجه پایداری رود است. بر اساس اندازه D50، مواد کانال به شش طبقه سنگ بستر (بیش‌تر از ۲۰۴۸ میلی‌متر)، تخته‌سنگ (۲۵۶ تا ۲۰۴۷ میلی‌متر)، قلوه‌سنگ (۶۴ تا ۲۵۵/۹ میلی‌متر)، گراول (۲ تا ۶۳/۹ میلی‌متر)، ماسه (۰/۰۶۲ تا ۱/۹۲ میلی‌متر) و سیلت/رس (کم‌تر از ۰/۰۶۲ میلی‌متر) تقسیم‌بندی می‌شوند. شیب سطح آب: از طریق اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع سطح آب در واحد طول آبراهه تعیین می‌شود. در سیستم طبقه‌بندی رزگن، دو سطح یک و دو موجود است. طبقه‌بندی سطح یک بر اساس مشخصات جریان که از سکون، شکل زمین و مورفولوژی دره به‌دست می‌آید، نتیجه می‌شود و طبقه‌بندی سطح دو که توضیح مورفولوژیکی مفصل‌تری از نوع جریان با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی فرم کانال و ترکیب بستر، به‌دست می‌دهد. در شکل ۴ طبقه‌بندی مورفولوژیکی رودخانه بر اساس سطح یک و هم‌چنین مراحل تعیین و طبقه‌بندی مورفولوژیکی سطح دو رزگن در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.



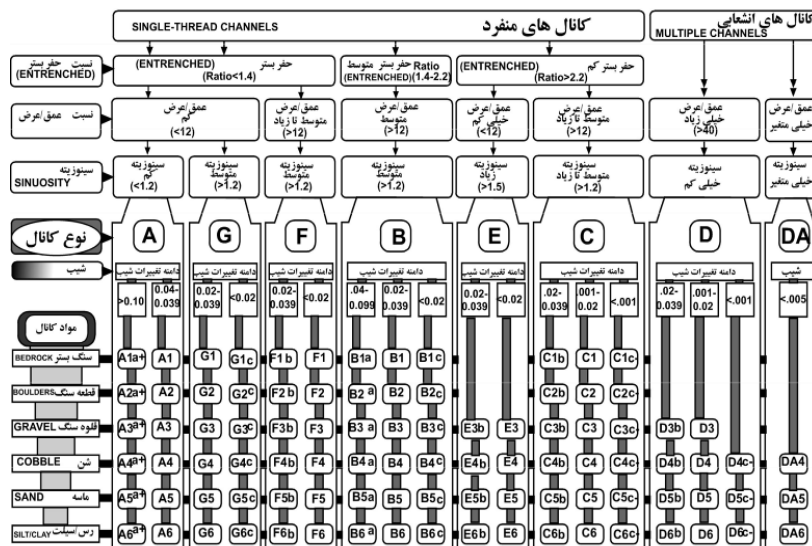
شکل (۴): مورفولوژی رودخانه بر اساس طبقه‌بندی سطح یک رزگن

Fig (4): The river morphology based on the classification of first level of rosgen model



شکل (۵): مراحل تعیین نوع رودخانه در سطح دو رزگن

Fig (5): Steps to determine the type of river at the level second of rosgen model



شکل (۶): طبقه‌بندی مورفولوژیکی مجرای رودخانه بر اساس طبقه‌بندی سطح دو رزگن

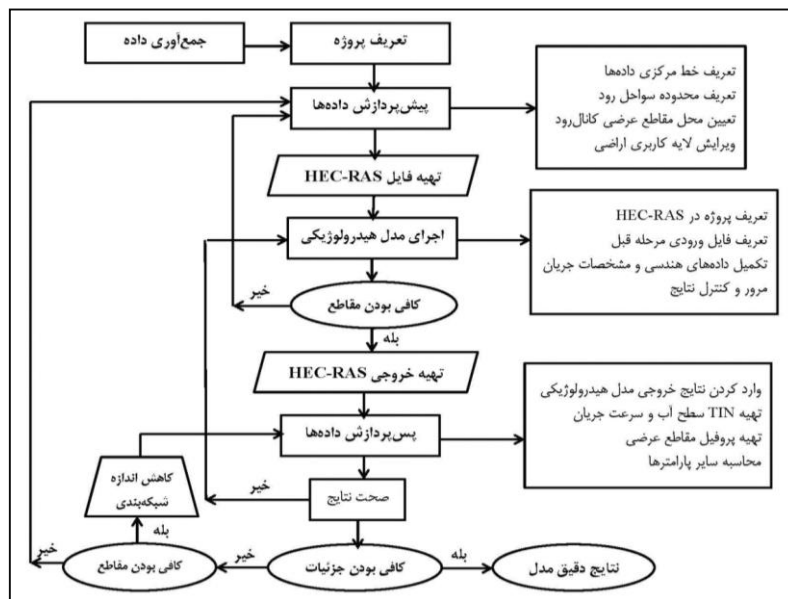
Fig (6): Morphological classification of river channel based on second level of classification of the rozgen model

۲-۲- مدل HEC-RAS

در سیستم رزگن، تعیین پارامترهای نسبت گودشدگی و نسبت عرض به عمق مقطع پر از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش برای محاسبه این پارامترها از مدل HEC-RAS هیدرودینامیکی به همراه HEC-GeoRAS استفاده شد. برای تعیین پروفیل سطح آب که روش اصلی برای جریان پایدار متغیر تدریجی در

رودخانه‌ها و کانال‌های مصنوعی در رژیم‌های جریان زیربحرانی، فوق بحرانی و یا ترکیبی از این دو حالت باشد، از روش استاندارد گام به گام برای محاسبه‌ی پروفیل سطح آب استفاده شد (خیری‌زاده اروق و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۰۶). داده‌های جریان رودخانه شامل رژیم جریان، اطلاعات دبی، شرایط اولیه و مرزی در مدل HEC-RAS برای دوره‌ی بازگشت‌های مختلف با استفاده از رابطه‌ی ۱ شبیه‌سازی شد (شکل ۷). اطلاعات دبی شامل حداقل یک مقدار جریان در طول هر بازه در سیستم رودخانه است و شرایط اولیه و مرزی، بر حسب ترازهای سطح آب اولیه در بالادست و پایین‌دست حاصل از مقادیر دبی جریان تعیین شد (برونر^۱، ۲۰۱۰).

$$Z_1 + Y + a_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + a_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e \quad (1)$$



شکل (۷): مراحل اجرای مدل HEC-RAS

Fig (7): Steps of implementation the HEC-RAS model

Z ارتفاع بستر، Y عمق آب، V سرعت متوسط، a ضریب تصحیح بار سرعت، h_e افت انرژی کل، g شتاب ثقل است. سپس در محیط ArcGIS نقشه‌ی TIN منطقه تهیه و با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط نرم‌افزار مذکور خط مرکزی جریان و سواحل اصلی و هم‌چنین مسیر جریان ترسیم شدند (عبدالله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۲۶؛ بیلوس^۲ و همکاران، ۲۰۲۰).

1- Brunner

2- Bellos

۳- یافته‌ها و بحث

تفسیر مدیریتی انواع رودخانه‌ها در مدل رزگن در جدول ۱ نشان می‌دهد، که در بازه‌های اول و دوم عرض دشت سیلابی به دلیل کنترل متغیر زمین‌شناسی و هم‌چنین توپوگرافی کم است که در این بازه چون انرژی رودخانه‌ی حمزه‌خانلو بیش‌تر است باعث شده که رسوبات کف رودخانه در اندازه‌ی قلوه‌سنگ و گراول باشد که این امر سبب شده بستر رودخانه دارای بازه نوع مسلح شود و هم‌چنین بخش‌های زیادی از این بازه‌ها در طبقه C و B واقع شده‌اند. ولی در بازه‌های سوم و چهارم بررسی‌های عملیات میدانی از قسمت‌های مختلف رودخانه حمزه‌خانلو نشان داد که در این بازه‌ها جنس مواد بستر رودخانه به دو نوع متفاوت دیده می‌شود، که در بخش بالایی از نوع قلوه‌سنگ و گراول و در بخش پایین این بازه مواد بستر به‌صورت ماسه‌سنگ است. هم‌چنین در رودخانه حمزه‌خانلو مقاطعی که در طبقه C قرار گرفته است به تلاطم حساسیت بیش‌تری داشته و دارای تغذیه‌ی رسوب بالا و کنترل پوشش گیاهی نیز بسیار زیاد و ظرفیت بازیابی نیز مطلوب است و در بخش‌هایی که مقاطع در طبقه B قرار گرفته است درجه‌ی حساسیت به تلاطم، تغذیه‌ی رسوبی، پتانسیل فرسایش کناره‌ی رودخانه و کنترل پوشش گیاهی متوسط هستند. در طبقه F و بازه‌های میانداری، نسبت عرض به عمق بیش‌تر از ۲ است که با یافته‌های رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶)، خیری‌زاده اروق و همکاران (۱۳۹۷) و روی و ساهو (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

جدول (۱): تفسیر مدیریتی انواع رودخانه‌ها در مدل رزگن (در بازه‌ی مطالعاتی رودخانه-ی حمزه‌خانلو)

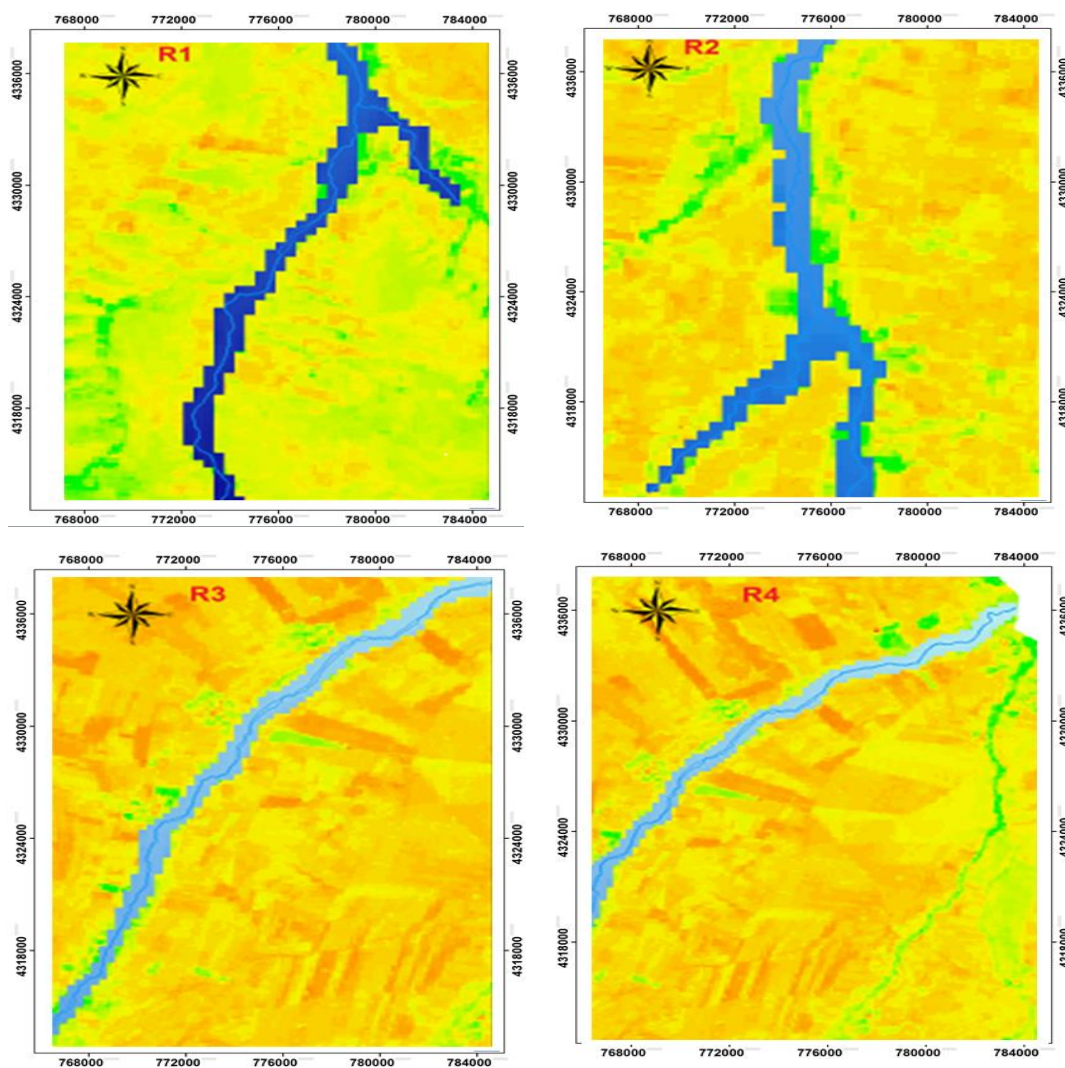
Table (1): Managerial interpretation of river types in rozgen model (in the study reach of Hamzekhanloo River)

نوع رودخانه	حساسیت به تلاطم	پتانسیل بازیابی	تأمین رسوبی	پتانسیل فرسایش کناره‌ای	کنترل پوشش گیاهی
C4	خیلی زیاد	خوب	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
C3	متوسط	خوب	متوسط	متوسط	خیلی زیاد
B4	متوسط	عالی	متوسط	کم	متوسط
B3	کم	عالی	کم	کم	متوسط
B2	خیلی کم	عالی	خیلی کم	خیلی کم	ناچیز
F4	بسیار ضعیف	بسیار ضعیف	بسیار بالا	بسیار بالا	بالا

بازه	رژیم جریان رودخانه	نوع مواد بستر	کاربری غالب کناره رودخانه	پایداری بازه فرسایش	خصوصیات هیدرولیکی
بازه ۱	فصلی	قلوه‌سنگ	باغ و زراعت	فرسایش	کوهستانی
بازه ۲	فصلی	قلوه‌سنگ- گراول	زراعت و باغ	فرسایش رسوبی	فلاتی
بازه ۳	فصلی	گراول- ماسه	باغ و زراعت	فرسایش رسوبی	دشتی
بازه ۴	فصلی	ماسه‌سنگ	باغ و زراعت	فرسایش رسوبی	دشتی

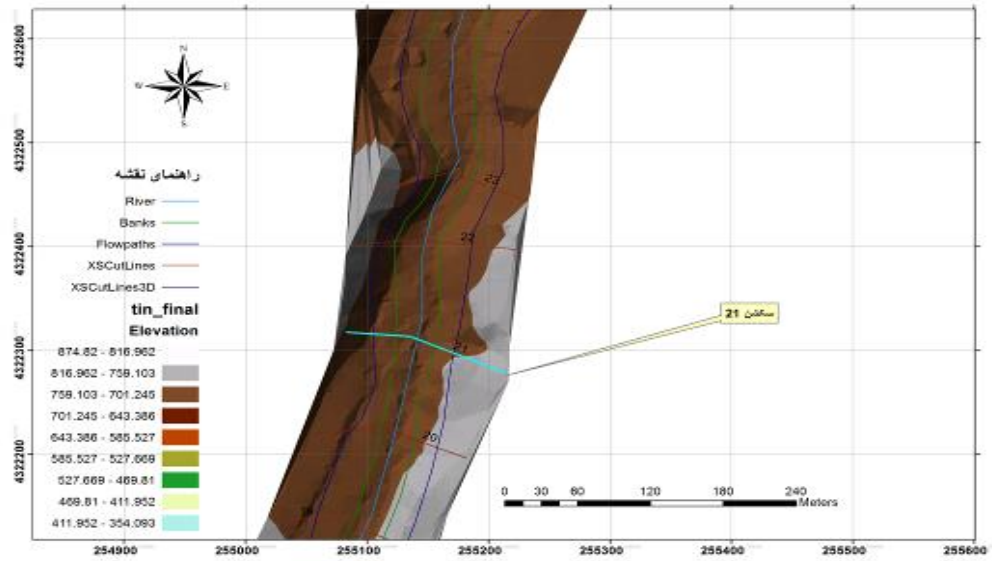
در شکل ۸ نواحی سیل‌گیر و مساحت آن نمایش داده شده است. در بازه‌های بالادست که سد سینه‌سر قرار گرفته است در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله مساحت پهناهای سیل‌گیر افزایش می‌یابد، در حالی که در دوره‌ی بازگشت‌های بالاتر بسیار کاهش می‌یابد. در نتیجه دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله و کم‌تر می‌تواند نشانگر پهناهای سیل‌گیر در مدل رزگن باشد.

بر اساس شکل ۸، ژئومورفولوژی منطقه در بازه‌ی اول و چهارم نقش اساسی در میزان سیل‌گیری حاشیه‌ی رودخانه دارد. در بازه اول پهناهای سیل‌گیر به دلیل پهنای کم دشت سیلابی گسترش نیافته است و بیش‌تر بخش‌های دشت سیلابی با دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله پوشانده شده است، تنها برخی اشکال مجرای رودخانه مانند پشته‌های رسوبی و تراس‌ها به صورت جزیره وجود دارد. در بازه دوم بر پهناهای سیل‌گیر افزوده می‌شود و عاملی که در میزان سیل‌گیری کنار رودخانه نقش دارد ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی دشت سیلابی است. به‌عنوان مثال عامل مخروط افکنه انشعابی دست راست رودخانه‌ی حمزه‌خانلو باعث کم شدن پهناهای سیل‌گیر در بخش کشاورزی شده است. علاوه بر این، کوهستان‌های کناره‌ی رودخانه در برابر فراگیر شدن سیلاب به‌عنوان یک سد عمل می‌کند و برعکس، در حد فاصل روستاهای اوجاق و حمزه‌خانلو نواحی سیل‌گیر افزایش قابل‌توجهی پیدا کرد. در این فاصله سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله، پهنای محدوده سیل‌گیر به بیش از یک کیلومتر می‌رسد. همچنین در بازه‌های دوم و سوم پهناهای سیل‌گیر کم عرض است و عامل انسانی (برداشت بیش از حد از شن و ماسه) باعث گودشدگی در دشت سیلابی شده است، که حتی سیلاب‌هایی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله قادر به سرریز کردن آن نیستند و باعث قطع ارتباط بین دشت سیلابی و مجرای رودخانه شده است. در بازه‌ی اول مقطع ۲۱، میانگین نسبت عرض به عمق ۵۱/۶۷ و نسبت گودشدگی ۳/۹۸ است که در طبقه C4 واقع شده و به‌علت فراوانی تکرار دبی در بازه‌ی اول کنترل فرم و ابعاد عمومی مجرای رودخانه‌ی حمزه‌خانلو بر عهده‌ی دبی است شکل ۹. همچنین مقطع ۶۵ در بازه‌ی دوم شکل ۱۰، میانگین نسبت عرض به عمق ۳۱/۶ و نسبت گودشدگی ۲/۶۱ بوده و در طبقه‌ی نوع C4 قرار گرفته و مواد بستر از نوع سنگی است.

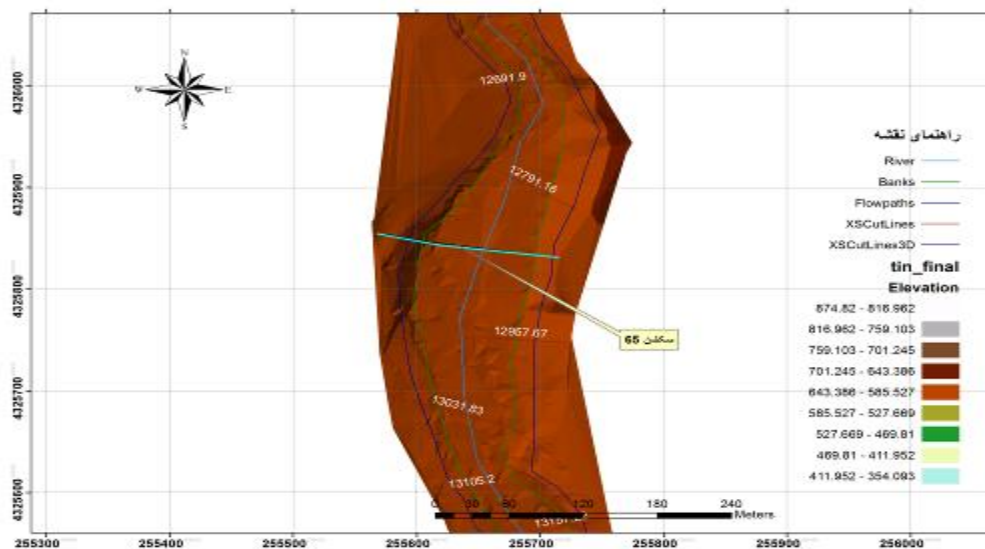


شکل (۸): عمق آب برای سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۱/۵ ساله برای بازه‌های بالادست (R1)، میانی (R2)، پایین‌دست (R3) مجرای رودخانه‌ی حمزه‌خانلو

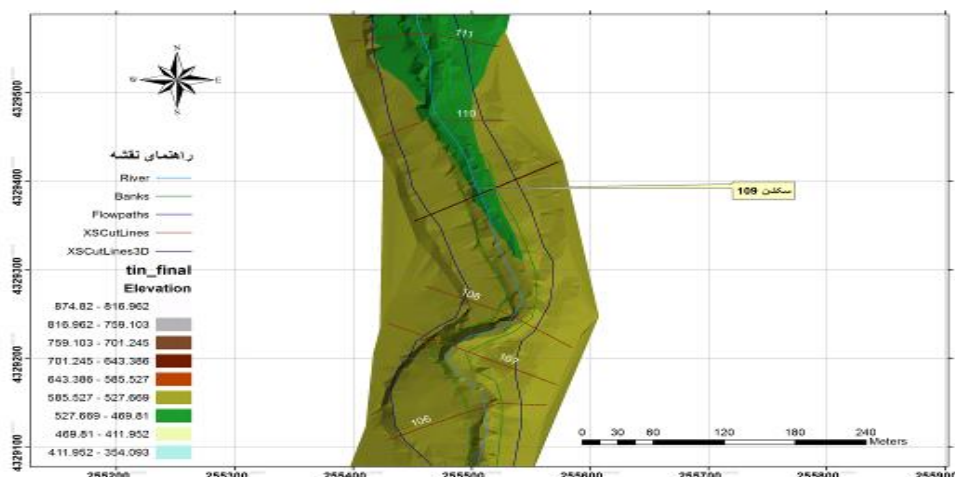
Fig (8): Water depth for floods with 1.5-year return Period for upstream (R1), middle (R2), downstream (R3) reaches of Hamzekhanloo river channel



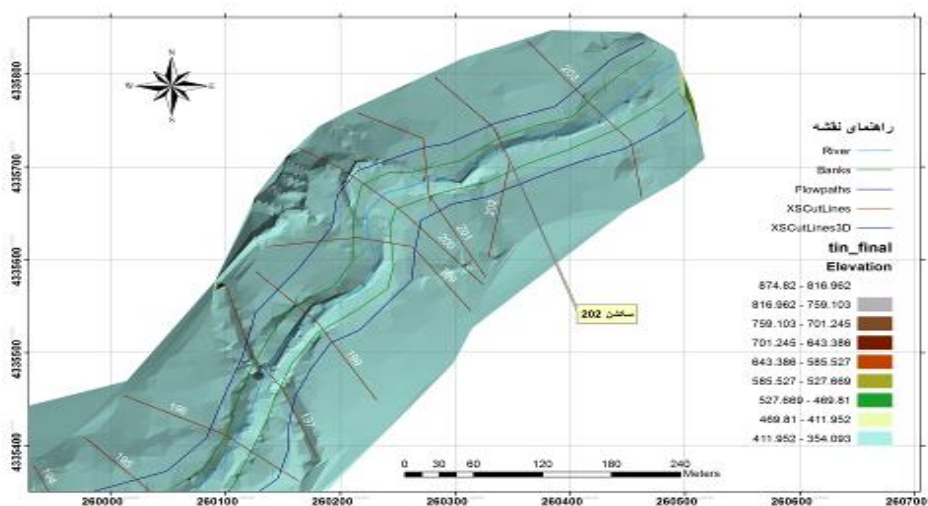
شکل (۹): مقطع عرضی نوع C4 سطوح سیلاب برای بازه‌ی اول در رودخانه‌ی حمزه‌خانلو
 Fig (9): The cross sectional of C4 flood level (1st reach, Hamzekhanloo river)



شکل (۱۰): مقطع عرضی نوع C4 سطوح سیلاب برای بازه‌ی دوم در رودخانه‌ی حمزه‌خانلو
 Fig (10): The cross sectional of C4 flood level (2nd reach, Hamzekhanloo river)



شکل (۱۱): مقطع عرضی نوع B3 سطوح سیلاب برای بازه سوم در رودخانهی حمزه خانلو
 Fig (11): The cross sectional of B3 flood level (3rd reach, Hamzekhanloo river)



شکل (۱۲): مقطع عرضی نوع C2 سطوح سیلاب برای بازه چهارم در رودخانهی حمزه خانلو
 Fig (12): The cross sectional of C2 flood level (4th reach, Hamzekhanloo river)

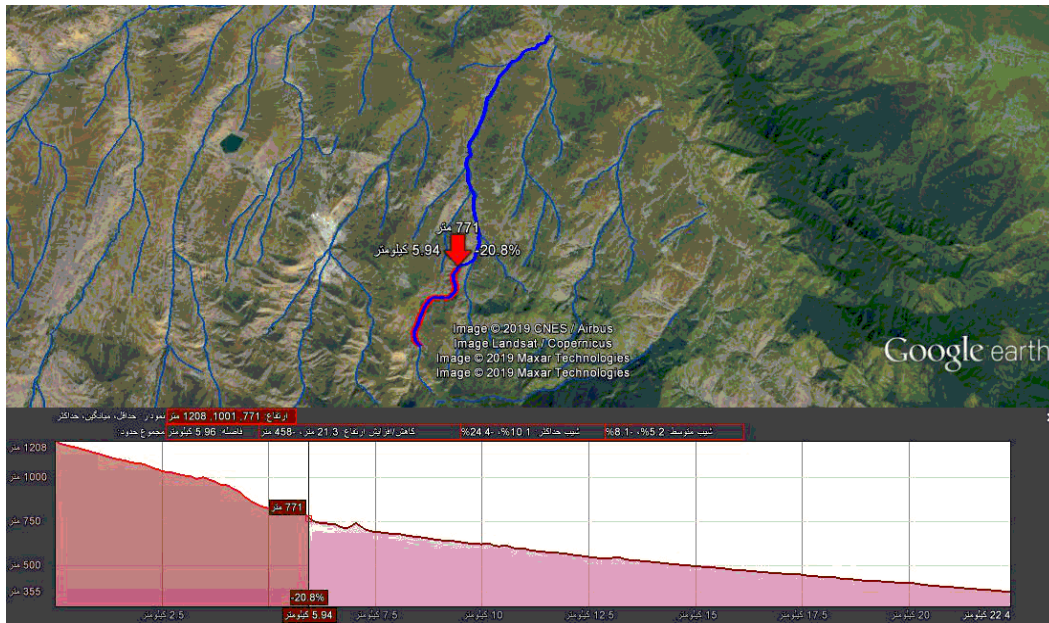
نسبت عرض به عمق در بازه سوم (شکل ۱۱ مقطع ۱۰۹) کاملاً متفاوت است، میانگین نسبت عرض به عمق $17/28$ و نسبت گودشدگی $1/94$ است که در طبقه B3 قرار گرفته است. در بازه سوم رودخانهی حمزه خانلو خمیدگی در بین روستای اوجاق و حمزه خانلو وجود دارد. در این بازه از عرض دشت سیلابی کاسته شده و قسمت‌های دیگر رودخانه تحت کنترل زمین‌شناسی است. بنابراین برای بخش ۲۰۲ در بازه چهارم شکل ۱۲

میانگین نسبت عرض به عمق برابر با ۱۴/۳۲ و نسبت گودشدگی ۲/۳۳ به‌دست آمده که در طبقه‌ی C2 رزگن قرار گرفته است، از این‌که دبی رودخانه بیش‌تر تکرار شده است شکل و اندازه و ابعاد عمومی رودخانه را کنترل می‌کند و هم‌چنین مواد بستر رودخانه به‌صورت ماسه‌سنگ است. با توجه به جدول ۲ و شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ شیب رودخانه‌ی حمزه‌خانلو در بازه‌ی اول ۴ درصد و جنس مواد بستر مواد درشت و قلوه‌سنگ است. هر چه به انتهای بازه‌ی اول و ابتدای بازه دوم نزدیک می‌شود مواد بستر شامل ترکیبی از قلوه‌سنگ و گراولی است. اما در بازه‌های سوم و چهارم مواد بستر رودخانه بزرگ‌تر از ماسه درشت بوده است، که به‌عنوان ویژگی بارز رودخانه‌هایی با بستر گراولی محسوب می‌گردد. در انتهای بازه‌ی سوم و بیش‌تر بخش‌های بازه‌ی چهارم شیب رودخانه بین ۲ تا ۰/۴ درصد قرار گرفته و رسوبات ماسه‌ای در کف رودخانه قابل مشاهده است و با نتایج پژوهش خیری‌زاده اروق و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد.

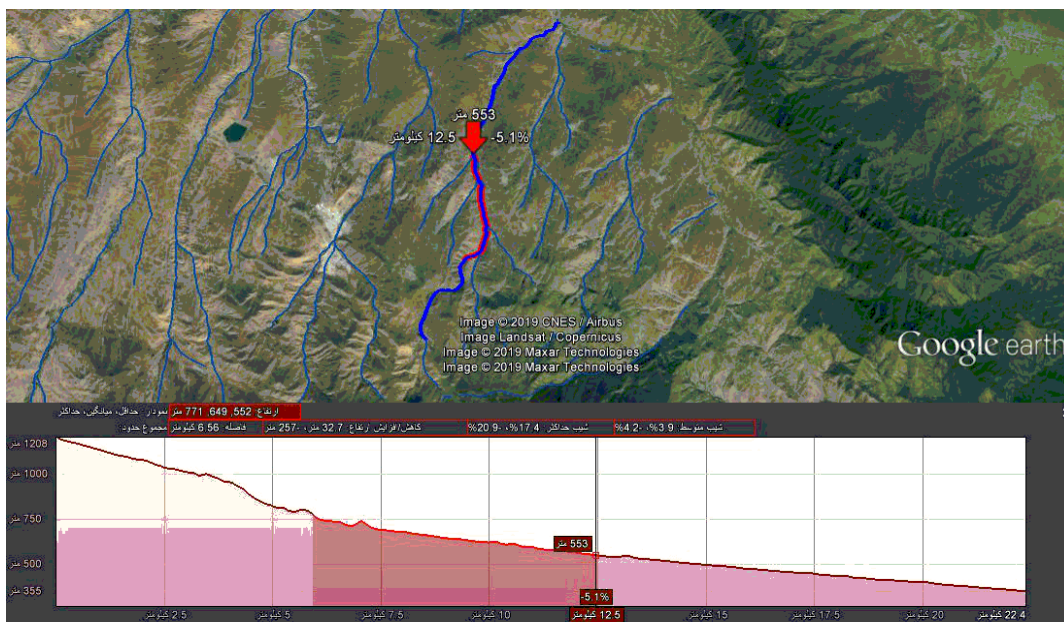
با توجه به شکل ۱۳ جنس بستر رودخانه حمزه‌خانلو ترکیبی از قلوه‌سنگ، گراول و ماسه است. کشاورزان و باغداران جهت آبیاری زمین زراعی و باغی در تابستان‌ها از ذخیره آب در بستر رودخانه استفاده می‌کنند. در شکل ۱۴ کشت محصولات کشاورزی در محدوده بستر و دشت سیلابی رودخانه‌ی حمزه‌خانلو به وضوح دیده می‌شود. هم‌چنین در شکل ۱۵ داشت شن و ماسه از بستر رودخانه‌ی حمزه‌خانلو جهت انجام کارهای عمرانی و آبادانی منطقه صورت می‌گیرد. برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه موجب به‌وجود آمدن برکه‌ها شده و این برداشت‌ها موجب تغییر بستر و مورفولوژی رودخانه‌ی حمزه‌خانلو شده است.

جدول (۲): شیب‌های متوسط و حداکثر رودخانه‌ی حمزه‌خانلو
 Table (2): Medium and maximum slopes of Hamzekhanloo river

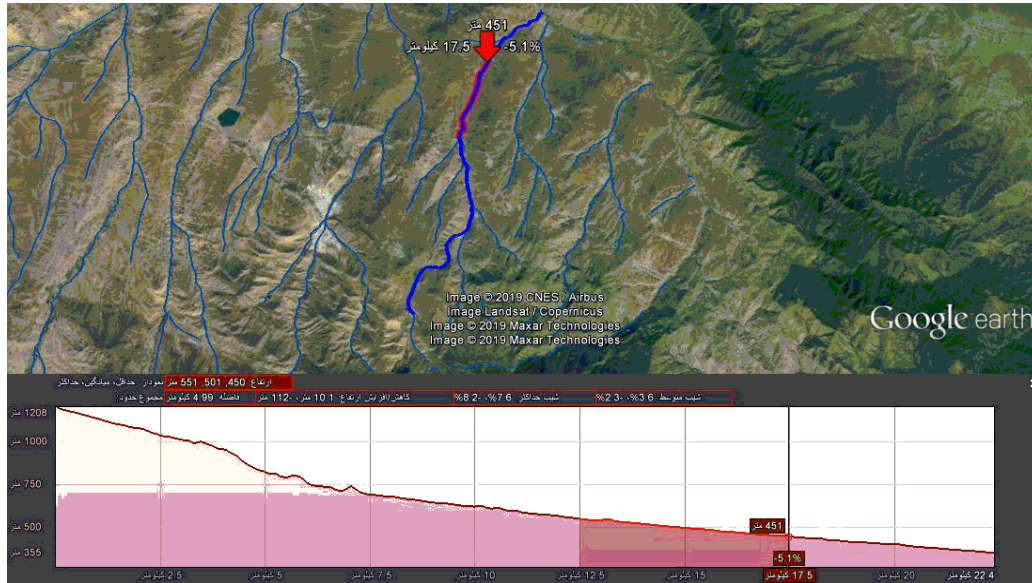
ردیف	بازه	شیب متوسط (%)	شیب حداکثر (%)	کاهش ارتفاع (m)	فاصله (Km)
۱	بازه‌ی اول	۴	۱۵	۴۶۳	۵/۹۴
۲	بازه‌ی دوم	۳	۱۳	۲۳۶	۶/۵
۳	بازه‌ی سوم	۲/۳	۷	۱۰۵	۵
۴	بازه‌ی چهارم	۰/۴	۲	۹۵	۵
	مجموع	-----	-----	۸۹۹	۲۲/۵



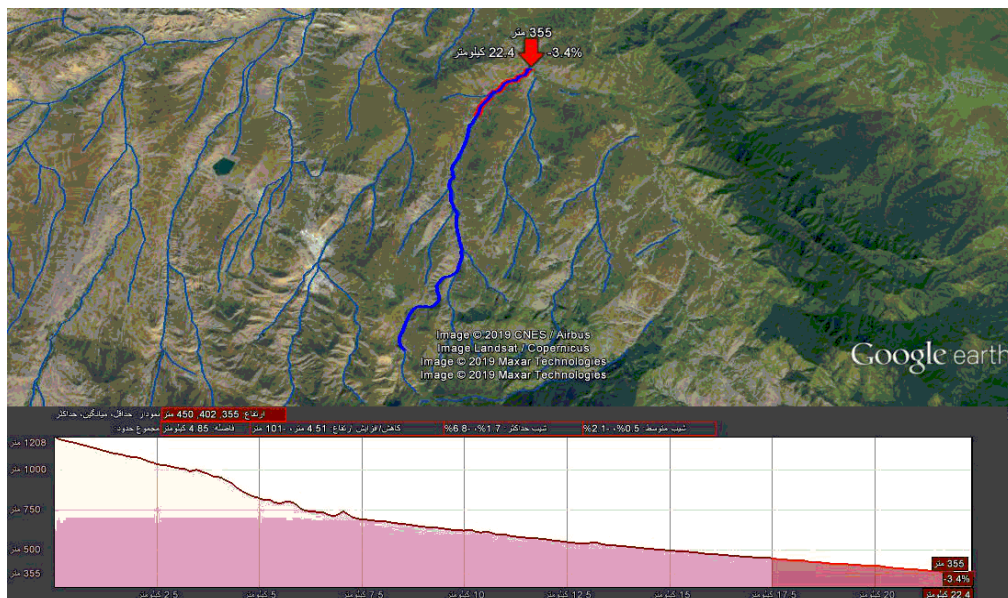
شکل (۱۳): عکس هوایی بازه‌ی اول رودخانه‌ی حمزه‌خانلو
Fig (13): Aerial photograph of the first section of Hamzekhanloo river



شکل (۱۴): عکس هوایی بازه‌ی دوم رودخانه‌ی حمزه‌خانلو
Fig (14): Aerial photograph of the second section of Hamzekhanloo river



شکل (۱۵): عکس هوایی بازه‌ی سوم رودخانه‌ی حمزه‌خانلو
 Fig (15): Aerial photograph of the third section of Hamzekhanloo river



شکل (۱۶): عکس هوایی بازه‌ی چهارم رودخانه‌ی حمزه‌خانلو
 Fig (16): Aerial photograph of the fourth section of Hamzekhanloo river

۴- نتیجه گیری

بر اساس نتایج معیارهای ارائه شده در سطح دو، ارزیابی مورفولوژی قالب فیزیکی آبراهه و نمای کاملی از وضعیت موجود مورفولوژی آن را معرفی می کند. عوامل متعددی در رابطه با مسائل هیدرولوژی، زیستی، اکولوژی و انسانی بر روی وضعیت موجود مورفولوژی رودخانه تأثیرگذار است. هم‌چنین سطح سه، مفهوم پایداری و پتانسیل رودخانه را مورد توجه قرار می دهد. پایداری یک آبراهه از نظر مورفولوژی، توانایی آبراهه در حفظ شرایط موجود و ثبات در طول زمان و از جمله حفظ ابعاد، الگو و مقاطع آن است، به نحوی که رودخانه در حالت پایدار است که قادر به حمل رسوب بدون ایجاد اثرهای نامطلوب بر جریان و رسوب حوضه است. پتانسیل رودخانه، شرایط مطلوب رودخانه و روند عملکرد آن را دگرگون می سازد. تغییر در دبی و رژیم جریان، کاربری اراضی در داخل حوضه آبریز و احداث سازه‌های رودخانه‌ای از مهم‌ترین عوامل تغییر پایداری است. عکس‌العمل و پاسخ رودخانه در برابر دگرگونی‌های ایجاد شده بستگی به نوع رودخانه دارد. هر نوعی از رودخانه مطابق با دسته‌بندی‌های سطح یک و دو در برابر آشفتگی‌های ناشی از عوامل طبیعی و انسانی، رفتار و پاسخی خاص و منحصر به خود را ارائه می دهد. ارزیابی سطح سه مورفولوژی به توصیف شرایط رودخانه در خصوص سه عامل پایداری، پتانسیل و عملکرد می پردازد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه و بالا بودن انرژی جهت تغییرات و از بین رفتن پوشش گیاهی و تغییر کاربری منجر به تغییر بخش‌های پرشیب و ورود مواد حاصل از آن به رودخانه می شود. کشت غیراصولی در روی شیب‌های تند باعث شده آب ناشی از بارندگی و ذوب برف، خاک‌های سطوح شیب‌دار را به دره منتقل و در نتیجه آب‌های سطحی نیروی بیش‌تری جهت تخریب و فرسایش دامنه‌ها وجود داشته باشد. به کمک روش رزگن می توان پراکندگی مکانی سیلاب‌ها را با دوره بازگشت‌های مختلف و یا ویژگی‌های رودخانه مانند سرعت، دبی و عمق را در هر نقطه از بستر رودخانه نشان داد که به شرایط اقلیمی پویای منطقه و دخیل کردن پارامترهای تأثیرگذار متعدد در مدل رزگن در بررسی رودخانه‌ها اشاره دارد. بنابراین این مدل توانایی پیش‌بینی کمی ژئومورفیکی رودخانه حمزه‌خانلو و رودخانه‌های با شرایط مشابه را دارد. این نوع طبقه‌بندی مورفولوژیکی از مجرای رودخانه می تواند در توسعه طرح‌های مهندسی و بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه مورد استفاده قرار گیرد.

۵- منابع

- Abdollahzadeh, A., Ownegh, M., Sadoddin, A., & Mostafazadeh., R. (2016). Constraints to residential land use development arising from flood and runoff coefficient in a land use planning framework, case study: Ziarat Watershed, Golestan Province. *Watershed Engineering and Management*, 8(2), 221-235. (In Persian)
- Angela, C.B., Javier, C.J., Teresa, G.M., & 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.
- Ariayi, H., & Lashkar-Ara, B. (2018). Geomorphological classification of the Balaroud River using Rosgen theory. *11th International River Engineering Conference, Ahvaz, Shahid Chamran University of Ahvaz*, 1-9. (In Persian)
- Bakhshandeh, R. (2020). Geomorphological analysis of Hamze Khanloo River channel by using the Rosgen model (Case study: from Ini Olya village to Tappeh Bashi village). *M.Sc Thesis, Natural Geographical, Geomorphology*, 110 p. (In Persian)
- Bellos, V., Tsakiris, V.K., Kopsiaftis, G, & Tsakiris, G. (2020). Propagating dam breach parametric uncertainty in a river reach using the HEC-RAS software. *Hydrology*, 7(4), 72.
- Brunner, G.W. (2010). HEC-RAS River analysis system hydraulic reference manual, *us army corps of engineers*, version 4.1.
- Deputy for strategic planning and supervision. 2012. Guidelines river morphology studies, Publication No. 592, pp. 1-66.
- Esfandiary Darabad, F., Rahimi, M., Lotfy, K., & Elhameh, E. (2020). Lateral change detection of Ghezlozan river channel from 1993 to 2013. *Researches in Geographical Sciences*, 20(57), 113-124. (In Persian)
- Goodarzi, M.R., & Fatehifar, A. (2019). Statistical distributions analysis for estimating of climate change effects on future floods (case Study: Azarshahrchay Basin). *Hydrogeomorphology*, 5(20), 57-78. (In Persian)
- Kheirizadeh Arough, M., Rezaei Moghaddam, M.H., Daneshfaraz, R., & Rajabi, M. (2018). Morphological analysis of Zarrineh-Roud river using Rosgen model. *Physical Geography Research Quarterly*, 50(1), 101-122. (In Persian)
- Kheirizadeh Arough, M., Rezaei Moghaddam, M.H., Rajabi, M., & Daneshfaraz, R. (2017). Analyzing lateral changes of the Zarrineh-Roud river channel using geomorphometric techniques. *Quantitative Geomorphological Research*, 5(4), 76-102. (In Persian)
- Kleinmans, M.G., & Van den Berg, J.H. (2011). River channel and bar patterns explained and predicted by an empirical and physics-based method. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, 721-738.

- Kondolf, G.M, and Piegay, H. (2003). Tools in fluvial geomorphology. John Wiley & Sons Ltd, 688 P.
- Layeghi, S., & Karam, A. (2014). Hydrogeomorphological classification of Jajrood river with Rosgen model. *Quantitative Geomorphological Research*, 3(3), 130-143. (In Persian)
- Mollazehi, A., Pudineh, M., Khosravi, M., Armesh, M., & Dehvari, A. (2020). Assessment of the potential flood risk in Sarbaz drainage basin. *Researches in Geographical Sciences*, 20 (58), 241-260. (In Persian)
- Mostafazadeh, R., Haji, Kh., & Zabihi, M. (2018). Analysis of monthly flow discharge occurrence pattern using Power Laws Analysis in some hydrometric stations of Mazandaran province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(5), 1073-1085. (In Persian)
- Nasiri Khiavi, A., Faraji, A., & Mostafazadeh, R. (2020). Streamflow response to rainfall changes using the climate elasticity index in some watersheds of Ardabil province. *Hydrogeomorphology*, 6(21), 1-22. (In Persian)
- Natural Resources Conservation Service (2008). Stream restoration design (National Engineering Handbook 654), *Technical Supplement 3E: Rosgen Stream Classification Technique Supplemental Materials*, United States Department Agriculture. (In Persian)
- Nayyeri, H., Osati, KH., & Osmani, P. (2017). Geomorphological equilibrium by Rosgen and river style framework methods (Case study: Tarwal River, Kurdistan). *Physical Geography Research Quarterly*, 49(3), 541-556. (In Persian)
- Pregun, C. (2016). Ecohydrological and morphological relationships of a regulated lowland river; based on field studies and hydrological modeling. *Ecological Engineering*, 94, 608-616.
- Rezaei Moghadam, M.H., Nikjoo, M.R., Yasi, M., & Rahimi, M. (2017). Geomorphological analysis of Gara Sou river channel using Hierarchical Rosgen model (from Sabalan Dam to confluence of Ahar-Chay River). *Quantitative Geomorphological Research*, 6(2), 1-14. (In Persian)
- Rosgen, D.L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22, 169-199.
- Rosgen, D.L. (1997). A geomorphological approach to restoration of incised rivers. *Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision*, pp: 1-11
- Shroder, J.F. (2013). Treatise on geomorphology: treatise on fluvial geomorphology. Vol. 9, *Elsevier Inc*, 860p.
- Splinter, D.K., & Dauwalter, D.C. (2016). Frequency of large in-channel wood in eastern Oklahoma ecoregions and its association with channel morphology. *Geomorphology*, 269, 175-185.

Yaghoob Nejad ASL, N., Esfandiary Darabad, F., Asghari, S., & Karam, A. (2020). Evaluation of morphological status of Taleghan River from 2006 to 2016. *Quantitative Geomorphological Researches*, 9(1), 67-85. (In Persian)

Yamani, M., Maghsoudi, M., Mohammad Khan, SH., & Mordai, A. (2015). Morphological classification of Telvar river waterway based on Rosgen method and its efficiency (distance between Kichigord village to Hasankhan). *Journal of Researches in Earth Sciences*, 23, 1-18. (In Persian)