Arch

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره ششم، ۱۳۹۸
۱-۲۹
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.15114.3024

کاربرد چارچوب سلسله‌مراتبی چندمقیاسی برای تفکیک واحدهای مکانی آبخیزها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تیل‌آباد– استان گلستان)

غلامرضا خسروی[۱]، *امیر سعدالدین[۲]، مجید اونق[۳]، عبدالرضا بهره‌مند[۲] و حسین مصطفوی[۴]

[۱]دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استاد گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۴]دانشیار گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸

چکیده

سابقه و هدف: برای توصیف و ارزیابی تمام پیچیدگی‌ها و هم‌چنین تدوین برنامه‌های مدیریتی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای ضرورت دارد تمامی مؤلفه‌ها در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف مورد بررسی قرار گیرند. در این خصوص چارچوب سلسله‌مراتبی- چند مقیاسی با رویکرد انعطاف‌پذیر، فرآیند محور و قابل توسعه در طی پروژه «بازسازی رودخانه‌ها برای مدیریت موثر حوضه» (REFORM)، ارائه شده است که به متخصصان و مدیران حوضه رودخانه‌ای کمک کند تا با جزییات بیشتر فرآیندها، عوامل و محرک‌های اساسی هیدرومورفولوژیکی را شناسایی و ویژگی‌های آن‌ها را در هر مقیاس تشریح نمایند. به‌طورکلی چارچوب ارزیابی هیدرومورفولوژیکی و چرخه برنامه مدیریت در حوضه‌های رودخانه‌ای شامل چهار مرحله اصلی: ۱) مرزبندی و توصیف خصوصیات واحدهای مکانی ۲) ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی گذشته تاکنون و گرایش آینده ۳) شناسایی و اولویت‌بندی فشارها ٤) تدوین برنامه مدیریتی و پیاده‌سازی اقدامات ساماندهی و احیا است. مقاله حاضر به معرفی و کاربرد اولین مرحله چارچوب مذکور در حوزه آبخیز تیل‌آباد (استان گلستان- شمال ایران) پرداخته است. تفکیک واحدهای مکانی مختلف حوضه مورد مطالعه به‌صورت سلسله‌مراتبی این امکان را فراهم می‌کند که در ابتدا واحدهای مکانی همگن از ناحیه تا واحدهای ژئومورفیک را شناسایی و سپس ارتباط مکانی و فرآیندهای هیدرومورفولوژیکی بین آن‌ها را شناسایی نمود. هم‌چنین این امکان فراهم می‌شود که اثرات هیدرومورفولوژیکی ناشی از هر فشار طبیعی و انسانی را شناسایی و روند اثرات آنها به‌طور سلسله‌مراتبی در مقیاس‌های مکانی مختلف به‌خصوص در واحد مکانی بازه ردیابی نمود.

مواد و روش‌ها: تکنیک سنجش از راه دور و GIS به همراه چند سری پیمایش میدانی تکمیلی و هم‌چنین برخی از آمار و اطلاعات از جمله هیدرولوژی، آب و هوا، توپوگرافی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی، ویژگی‌های مورفولوژیکی دره، آبراهه و دشت سیلابی جهت تفکیک حوزه آبخیز به واحدهای مکانی شامل: نواحی جغرافیایی، آبخیز، سیمای

* مسئول مکاتبه: amir.sadoddin@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

منظر، واحد بخش رودخانه و واحد مکانی بازه مورد استفاده قرار گرفتند. ناحیه‌های جغرافیایی از طریق سایت اینترنتی ناحیه‌های جغرافیایی جهان و با انطباق آن با نقشه ناحیه ها موجود در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور به‌دست آمد. هم‌چنین با استفاده از نقشه پوشش گیاهی، نقشه پهنه‌بندی بارش سالانه در طی دوره آماری و تصاویر گوگل ارث حدود مرز آن‌ها کنترل گردید. مرز حوزه آبخیز تیل‌آباد با استفاده از اطلاعات توپوگرافی، لایه رقومی ارتفاعی (DEM)، شبکه رودخانه و لایه نقطه‌ای خروجی حوضه از طریق ابزار GIS ترسیم گردید. واحدهای سیمای منظر بر اساس عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی که به‌عنوان کنترل‌کننده اصلی فرآیندهای هیدرومورفولوژی هستند به‌دست آمد. سپس رودخانه تیل‌آباد بر مبنای تغییرات عمده در شیب دره، الحاق سرشاخه‌های اصلی به رودخانه و شاخص درجه محدودیت در تغییرپذیری عرضی رودخانه توسط دامنه دره به چند واحد مکانی بخش تفکیک گردید. واحدهای مکانی بخش بر مبنای ویژگی‌های مورفولوژی و الگوی آبراهه، تغییرات شیب و قطر رسوبات بستر، تغییرات دبی و بار رسوب ناشی از اتصال شاخه‌های فرعی، نوع و شاخص محدودیت عرضی رودخانه و وجود موانع ناپیوسته مانند پل و بندهای اصلاحی که اختلال در تداوم طولی انتقال آب و رسوب ایجاد می‌کنند به چندین واحد مکانی بازه تفکیک شدند.

یافته‌ها: بر اساس چارچوب مذکور، واحدهای مکانی در حوضه مورد مطالعه به‌طور سلسله‌مراتبی شامل دو واحد ناحیه جغرافیای زیستی، یک واحد آبخیز، چهار واحد سیمای منظر، هشت واحد بخش رودخانه و ۲٦ بازه رودخانه‌ای می‌باشد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این پژوهش به‌عنوان اولین مرحله چارچوب مذکور این امکان فراهم شد که با تعیین ساختار سلسه‌مراتبی واحدهای مکانی مختلف حوزه آبخیز تیل‌آباد، حدود انواع واحدهای مکانی را مشخص و ارتباط مکانی و ویژگی‌های ساختاری بین آن‌ها را نمایش داده شود. شایان ذکر است این چارچوب قابلیت کاربرد و تعمیم به سایر حوضه‌های رودخانه‌ای کشور به‌منظور ارزیابی هیدرومورفولوژیکی و تدوین برنامه‌های مدیریتی دارد.

واژه‌های کلیدی: پروژه REFORM، مدیریت رودخانه، واحد سیمای منظر، واحد مکانی بازه، هیدرومورفولوژی

مقدمه

در طول سال‌های گذشته پژوهش‌های مهندسی رودخانه در نقاط مختلف جهان به‌وفور اجرا شده که هدف آن‌ها کمک به بهبود ساختار و عملکرد زیست‌محیطی اکوسیستم یک رودخانه رو به تخریب و کاراندازی دوباره فرآیندهای لازم به‌منظور حمایت از اکوسیستم‌های طبیعی و احیاء آن‌ها بوده است. در ایران نیز کارهای مهندسی رودخانه به‌صورت مقطعی در مناطقی از کشور انجام گرفته است. با توسعه پژوهش‌ها و تلاش اکولوژیست‌ها، ژئومورفولوژیست‌ها و هیدرولوژیست‌ها، از سال ۲۰۰۰ رویکرد جدیدی در اروپا و سایر نقاط جهان شکل گرفت که تمرکز آن بر روی بحث مدیریت چند مقیاسی حوضه رودخانه و عملکردهای واقعی رودخانه‌ها به‌عنوان بخشی از چرخه زندگی و محیط‌زیست بوده که عمدتاً در کارهای مهندسی رودخانه قبل از آن نادیده انگاشته می‌شد و بر این اساس اتحادیه اروپا جهت پر کردن چالش‌ها مربوط به عملکرد طبیعی رودخانه‌ها، رهنمود چهارچوب آب (WFD)[1] و رهنمود سیل (FD)[2] با محوریت حفظ عملکردهای طبیعی رودخانه و هم‌چنین

1- Water Framework Directive
2- Flood Directive

www.SID.ir

Archive of SID

تأمین نیازهای فنی و مهندسی موردنظر تهیه نموده است (٤ و ١٨). همچنین تغییرات قابل‌توجهی در قوانین و مقررات محیط زیستی در سراسر جهان برای رسیدگی به این مشکلات تدوین شده است (٥ و ٢٥). در راستای اهداف WFD، چارچوب سلسله‌مراتبی چندمقیاسی[1] به‌عنوان یک رویکرد انعطاف‌پذیر و بی‌انتها[2] برای ارزیابی هیدرومورفولوژیکی و همچنین پشتیبانی از مدیران حوضه رودخانه جهت شناسایی علل مشکلات مدیریتی هیدرومورفولوژیکی و تدوین راه‌حل‌های پایدار توسط پروژه بازسازی رودخانه‌ها برای مدیریت مؤثر حوضه (REFORM)[3] ارائه شده است (١٠ و ١١). چارچوب مذکور با آگاهی از سایر چارچوب‌های قبلی از جمله چارچوب استیل رود برای طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی و مدیریت بازه‌های رودخانه (٦)، چارچوب سلسله‌مراتبی برای طبقه‌بندی زیستگاه‌های رودخانه (٧ و ٢٤)، چارچوب مفهومی برای مقیاس رودخانه بر مبنای ارزیابی‌های اکولوژیکی (١٣)، سیستم طبقه‌بندی واحدهای رودخانه‌های کوهستانی بر مبنای پارامترهای مورفولوژیکی (٢٠) سیستم طبقه‌بندی فرآیند محور رودخانه (٢١)، چارچوب طبقه‌بندی مورفولوژیکی رودخانه MQI (٢٢)، روش ارزیابی وضعیت و طبقه‌بندی ژئومورفولوژی رودخانه رزگن[4] (٢٥) توسعه یافته است؛ اما این چارچوب نسبت به سایر چارچوب‌های قبلی دارای چندین ویژگی‌های متفاوت کاربردی از جمله: ١) اهمیت نقش پوشش گیاهی، ٢) ارزیابی فشارهای انسانی، اشکال و فرآیندهای طبیعی در تمامی مقیاس‌های مکانی، ٣) توسط کشورهای عضو اتحادیه اروپا پذیرفته شده است، ٤) هر واحد مکانی دارای مقیاس مساحتی و مقیاس زمانی (از لحاظ ماندگاری/ تعدیل)[5] مشخص می‌باشد؛ اما عنصر زمانی اصلی این چارچوب، تحلیل تاریخی از مجموعه داده‌های موجود می‌باشد (٥ و ١١). در این چارچوب، واحدهای مکانی بازه بر اساس ویژگی‌های منحصربه‌فرد و معیارهای ساده و مشخص طبقه‌بندی می‌شوند. سایر مقیاس‌ها مکانی (از آبخیز تا بازه) به‌منظور شناخت و درک فرآیندی از ویژگی‌های طبیعی و اثرات مداخلات انسانی مؤثر بر واحدهای مکانی بازه است، ٦) بررسی گرایش و روند تغییرات هیدرومورفولوژیکی در مقیاس‌های مکانی مختلف نسبت به (تغییرات اقلیمی، تغییرات کاربری اراضی، حذف یا احداث سازه‌ها در آبراهه) بر مبنای شاخص‌های کاربردی، ٧) استفاده از اصطلاحات استاندارد ژئومورفولوژیکی صریح و جامع‌تر برای واحدهای مکانی مختلف. (٩). در ارتباط با گام اول کاربرد چارچوب مذکور که در پژوهش حاضر مورد بررسی است به صورت مطالعات موردی در چندین پروژه تحقیقاتی از جمله در حوضه رودخانه Tweed شمال اروپا توسط رابرت و همکاران، حوضه رودخانه Loire در فرانسه توسط لاتاپی و کامینن، حوضه رودخانه Tagliamento در ایتالیا توسط سورین و همکاران و حوضه رودخانه Lech و Lafnitz در اتریش توسط هابرسک و بلاماور در گزارش مربوط به پروژه REFORM، ارائه شده است (٣). نتایج همه این مطالعات موردی، تأکید بر کاربردی بودن چارچوب مذکور دارد و به این امر واقف‌اند که برای ارزیابی وضعیت و شناسایی ویژگی‌های هیدرومورفولوژیکی رودخانه ضرورت دارد واحدهای مکانی بازه به‌درستی تفکیک و ارتباط مکانی مقیاس بازه نسبت به سایر مقیاس‌ها معین شود؛ زیرا اگرچه واحد مکانی بازه به‌عنوان مقیاس مکانی کلیدی رودخانه و دشت سیلابی محسوب می‌شود اما وضعیت و پایداری آن تحت‌تأثیر فرآیندهای

1- The hierarchical multi-scale framework
2- Open-ended
3- REstoring rivers FOR effective catchment Management
4- Rosgen
5- Persistence/adjustment

www.SID.ir

Archive of SID

هیدرمورفولوژیکی و فعل و انفعال‌ها مقیاس‌های مکانی بزرگ‌تر و تغییرات آن‌ها در طول زمان است. علاوه‌بر این، واحدهای مکانی بازه با تیپ مورفولوژی یکسان معمولاً با مجموعه‌ای از واحدهای ژئومورفیک یکسان مشخص می‌شوند و از طرف دیگر واحدهای ژئومورفیک که تشکیل‌دهنده زیستگاه‌های فیزیکی هستند به مقیاس مکانی بازه وابسته هستند؛ زیرا فرآیندهای جریان آب و انتقال رسوب که کنترل‌کننده واحدهای ژئومورفیک هستند تحت‌تأثیر فاکتورهای فعال مقیاس مکانی بازه از جمله (شیب، خصوصیات بستر و شکل یا پیکر دره) قرار دارند. شایان ذکر است اغلب پژوهش‌های داخلی برای ارزیابی و طبقه‌بندی سیستم رودخانه از روش ارزیابی وضعیت و طبقه‌بندی ژئومورفولوژی رزگن و چارچوب استیل رود استفاده نموده‌اند که چند نمونه کاربردی از آن‌ها در زیر ارائه شده است.

اسماعیلی و حسین‌زاده (۲۰۱۵) با استفاده از روش‌های رزگن و مرحله اول روش چارچوب استیل رود رودخانه لاویچ رود را طبقه‌بندی کردند. آن‌ها بر اساس روش چارچوب استیل رود، هشت استیل را شناسایی و بر اساس نتایج روش رزگن بیان کردند که بیش‌تر بازه‌ها در هیچ‌یک از گروه‌های طبقه‌بندی روش روزگن قرار نگرفته است و بیان کردند که عامل اصلی تطبیق نیافتن روش رزگن به سبب پارامترهای شیب بستر و سینوسیته است هم‌چنین بر نقش تکتونیک و اقلیم در این ناکارایی تاکید کردند (١٦). لایقی و کرم (٢٠١٤) به بررسی طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی رودخانه جاجرود با مدل رزگن پرداختند. در این پژوهش ۲۳ کیلومتر از رودخانه جاجرود، حدفاصل سد لتیان و سد ماملو مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داد بخش اعظم محدوده مطالعاتی دارای الگوی DA است و بخش کمی نیز دارای الگوی B با وضعیت بسیار نامطلوبی است. هم‌چنین آن‌ها دریافتند که استفاده از روش رزگن در طبقه‌بندی مورفولوژیکی مجاری رودخانه می‌تواند در توسعه طرح‌های مهندسی، بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه استفاده شود (۱۵). در حالی‌که حسین‌زاده و همکاران (۲۰۰۵)، در مطالعه رودخانه تالار و بابل به نتایج متفاوتی رسیدند آن‌ها دریافتند که به‌دلیل انطباق نداشتن بعضی از مقاطع برداشت شده 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 پیش‌بینی نوع رود بر اساس سیستم طبقه‌بندی رزگن نمی‌تواند جایگزین پژوهش‌های واقعی شود و می‌تواند به شکست طرح‌های مدیریتی منجر شود (١٤). هدف از پژوهش حاضر، معرفی چارچوب مذکور و برای اولین بار در کشور ایران، اولین گام آن جهت تعیین و مرزبندی واحدهای مکانی مختلف حوزه آبخیز تیل‌آباد (استان گلستان- ایران) به‌کار برده شده است تا بتوان در آن‌ها خصوصیات، اشکال و فرآیندهای مربوطه را جهت درک و ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی موردبررسی قرار داد.

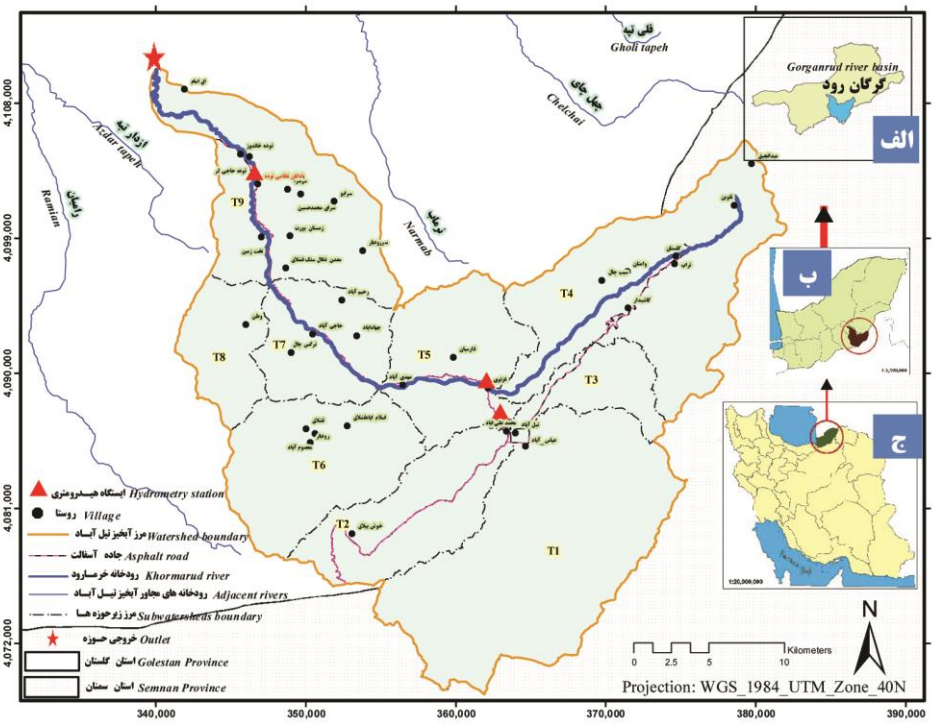
مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز مورد مطالعه: حوزه آبخیز تیل‌آباد در شمال کشور و شرق استان گلستان واقع‌شده و زیرحوضه‌ای از حوضه گرگان‌رود است که از دامنه‌های شمالی رشته‌کوه‌های البرز سرچشمه گرفته و پس از پیوستن شاخه‌های فرعی متعددی به آن به دریای خزر می‌ریزد. این آبخیز حدود ۹/۳ درصد از کل حوضه گرگان‌رود را شامل شده و دارای ۹ واحد کاری یا پارسل (پارسل‌های T5، T7 و T9 واحدهای هیدرولوژیک بین‌حوضه‌ای و سایر پارسل‌ها به‌عنوان واحدهای هیدرولوژیک مستقل هستند)

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد. منطقه مورد مطالعه با مساحتی بالغ بر ۸۸۹۷۰ هکتار در عرض‌های جغرافیایی ″۲ ′٤٥ °۳٦ تا ″۰۰ ′٥ °۳۷ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۷٥ ′۱۲ °٥٥ تا ″۳۷ ′٤۰ °٥٥ شرقی قرار دارد (شکل ۱). رودخانه خرمارود، آبراهه اصلی حوضه است. حداقل، حداکثر و میانه ارتفاع آبخیز تیل‌آباد به‌ترتیب ۹۷، ۲۸۹۱ و ۱۳٥۰ متر از سطح دریا است. ایستگاه هیدرومتری تیل‌آباد و پل غزنوی در بالادست و ایستگاه هیدرومتری نوده خاندوز در پایین‌دست حوضه واقع شده‌اند.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز تیل‌آباد در الف) حوضه گرگان رود؛ ب) استان گلستان و ج) کشور ایران.

Figure 1. Location of the Til-abad Watershed in A) Gorganrud river basin; B) Golestan Province; and C) Iran.

روش تحقیق: به‌طورکلی چارچوب ارزیابی هیدرومورفولوژیکی و چرخه برنامه مدیریت در حوضه‌های رودخانه‌ای شامل چهار مرحله اصلی: ۱) مرزبندی و توصیف خصوصیات واحدهای مکانی ۲) ارزیابی وضعیت هیدرومورفولوژیکی گذشته تاکنون و گرایش آینده ۳) شناسایی محرک‌ها، فشارها و اثرات در مقیاس‌های مکانی مختلف حوضه رودخانه ٤) تدوین برنامه مدیریتی و پیاده‌سازی اقدامات ساماندهی و احیا است (٥). پژوهش حاضر روی اولین گام چرخه برنامه مدیریت حوضه‌های رودخانه‌ای، یعنی مرزبندی و توصیف خصوصیات واحدهای مکانی مختلف آبخیز تیل‌آباد (واحد مکانی ناحیه تا واحد مکانی بازه) تمرکز دارد.

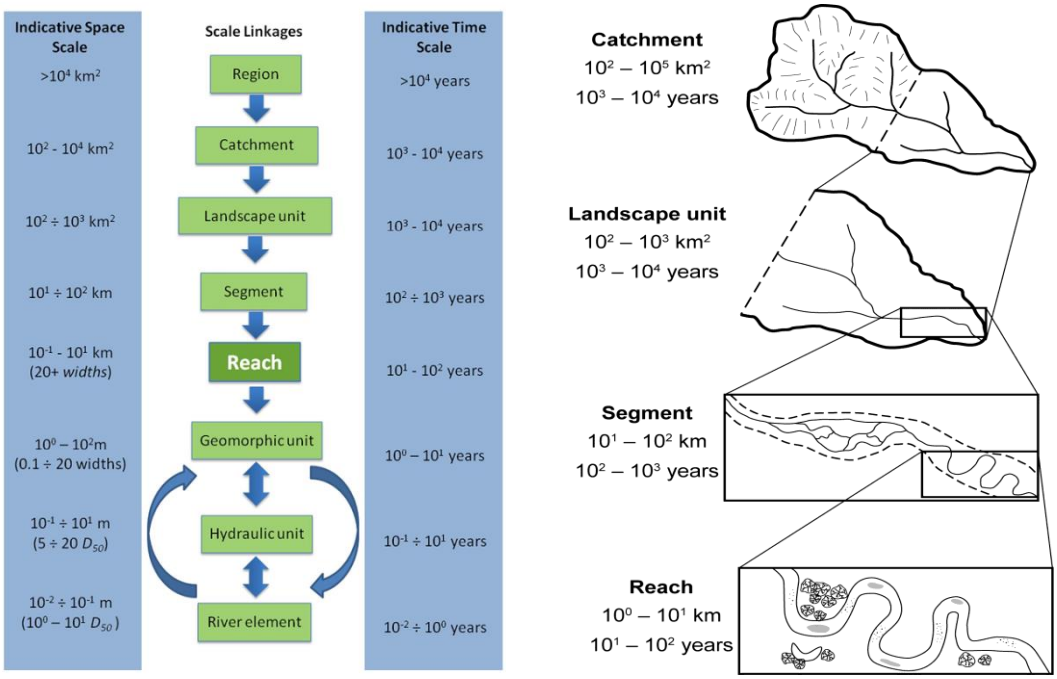
مرزبندی و توصیف ویژگی‌های واحدهای مکانی[1]: فرآیند تفکیک واحدهای مکانی عمدتاً یک رویکرد بالا به پایین است. در چارچوب سلسله‌مراتب- چندمقیاسی، حوضه موردمطالعه در مقیاس‌های مکانی: ناحیه جغرافیایی، حوزه آبخیز، واحد سیمای منظر، واحد بخش رودخانه و واحد بازه رودخانه طبقه‌بندی

1- Delineation of Spatial Units

www.SID.ir

Archive of SID

و توصیف می‌شود. مجموعه واحدهای مکانی و زمانی به‌صورت سلسله مراتب چندمقیاسی در شکل ۲ ارائه شده است (۱۲). در جدول ۱، لیستی از واحدهای مکانی مختلف، معیارهای تعیین هر یک از آن‌ها و هم‌چنین منابع اطلاعات پایه مورد نیاز برای مرزبندی واحدهای مکانی در چارچوب سلسله‌مراتبی- چندمقیاسی خلاصه شد (۱۱) که اساس پژوهش حاضر می‌باشند. در زیر نیز هر یک از واحدهای مکانی حوضه موردمطالعه به‌ترتیب تشریح شده‌اند.



شکل ۲- سلسله‌مراتب مقیاس‌های مکانی شامل ابعاد مکانی و مقیاس زمانی (۱۲).

Figure 2. Hierarchy of spatial scales, including indicative spatial dimensions and timescales (12).

جدول ۱- واحدهای مکانی در چارچوب مذکور، معیارهای تعیین‌کننده و منابع اطلاعاتی قابل‌استفاده (۱۱).

Table 1. Spatial Units within the Framework: Delineation Criteria and Potential Data Sources.

واحدهای مکانی Spatial units	معیارهای تعیین‌کننده هر واحد مکانی Delineation criteria	منابع اطلاعاتی قابل‌استفاده Potential data sources
نواحی جغرافیایی Biogeographical region	تفاوت در متغیرهای اصلی آب و هوایی و تیپ غالب پوشش گیاهی در مقیاس ایران Differences in main climatic variables and distribution of main vegetation types at Iran scal	نقشه و اطلاعات موجود از سایت و سازمان‌های مربوطه Freshwater Ecoregions of the World (http://feow.org)
آبخیز Catchment, basin, Watershed	تقسیمات توپوگرافی و شبکه رودخانه Topographic divide and river network	مدل‌های رقومی ارتفاعی (مانند DEM, SRTM,ASTER GDEM) GIS
سیمای منظر Landscape unit	توپوگرافی (طبقات ارتفاعی، رلیف) و زمین‌شناسی (نوع سنگ و تکتونیک) معیارهای اصلی تفکیک واحدهای سیمای منظر هستند، سایر فاکتورها (مانند اقلیم، پوشش زمین) در تعیین متناسب‌تر حدود واحدهای مذکور مورد استفاده قرار گیرند. Topographic form (elevation, relief – dissection, often reflecting rock type(s) and showing characteristic land cover assemblages)	۱- مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۲- نقشه سنگ‌شناسی (Geological maps) ۳- نقشه پوشش زمین (Land Cover) ٤- عکس هوایی (Aerial photograph)، Orthophotos و Google Earth

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

واحدهای مکانی Spatial units	معیارهای تعیین‌کننده هر واحد مکانی Delineation criteria	منابع اطلاعاتی قابل‌استفاده Potential data sources
واحد بخش رودخانه River segment	۱) تغییرات عمده در سطح حوزه آبخیز (بر اساس شاخه‌های الحاق شده به رودخانه) ۲) درجه محدودیت عرضی رودخانه (محدودیت در تغییرپذیری عرضی رودخانه توسط دره) شامل: ۱- محدود (C)، ۲- نسبتاً محدود (PC)، ۳- نامحدود (U) ۳) ناپیوستگی‌های عمده در شیب دره مانند سدهای بزرگ ٤) ورود حجم زیادی از رسوب به آبراهه اصلی 1-Major changes of valley gradient, 2-Major tributary confluences (significantly increasing upstream catchment area, river discharge) 3-Valley confinement (confined, partly-confined, Unconfined) 4- In mountainous areas, very large lateral sediment inputs	۱- مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۲- نقشه شبکه آبراهه‌ها (River network) ۳- عکس هوایی (Aerial photograph)، Orthophotos و Google Earth ٤- نقشه موانع پیوستگی طولی رودخانه (Longitudinal continuity) ۵- اندازه‌گیری زیستگاه جوامع کنارزی (Riparian habitat surveys) ٦- پیمایش میدانی (Field reconnaissance)
واحد بازه رودخانه River reach	۱) شاخص محدودیت جانبی رودخانه (نسبت عرض مقطع پر آبراهه[1] بر عرض دشت سیلابی + آبراهه) ۲) مورفولوژی آبراهه (به‌خصوص شکل پلان)، ویژگی‌های آبراهه و دشت سیلابی (تغییرات در شیب بستر، قطر رسوبات، دبی جریان و رسوب)، ناپیوستگی‌های مصنوعی که در تداوم طولی انتقال آب و رسوب تأثیر می‌گذارد. (مانند سد، سازه‌های بزرگ، بندهای اصلاحی که کنترل‌کننده جریان آب و انتقال رسوب است) Channel morphology (particularly planform), Floodplain features (minor changes in bed slope, sediment calibre, may be relevant), Artificial discontinuities that affect longitudinal continuity (e.g. dams, major weirs / check dams that disrupt water and sediment transfer)	۱- با استفاده از Google Earth و عکس هوایی (Aerial photograph)، سنجش از دور چند طیف- تصاویر لیدار. (Multi-spectral (remotely-sensed data Lidar data ۲- پیمایش میدانی (Field reconnaissance) ۳- مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ٤- اندازه‌گیری زیستگاه جوامع کنارزی (Riparian habitat surveys) ۵- آمار دبی جریان و رسوب (Flow and sediment information)
واحد ژئومورفیک Geomorphic unit	واحدهای ژئومورفولوژیکی عمدتاً توسط شکل، ساختار و قطر رسوبات/ ساختار سرعت و عمق جریان آب/ وجود چوب‌های بزرگ و پوشش گیاهی (مانند آبزی/ کناری زی یا رایپرین و کلاس‌های سنی) در آبراهه و دشت سیلابی متمایز می‌شوند. Major morphological units of the channel or floodplain distinguished by distinct form, sediment structure / calibre, water depth/velocity structure and sometimes large wood or plant stands (e.g. aquatic / riparian, age class)	۱- با استفاده از Google Earth و عکس هوایی (Aerial photograph)، سنجش از دور چند طیف- تصاویر لیدار. (Multi-spectral remotely-sensed data Lidar data) ۲- پیمایش میدانی (Field reconnaissance)

مرز حوزه آبخیز تیل‌آباد از طریق لایه رقومی ارتفاعی (DEM)، سنجنده Aster با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و دقت ارتفاعی ۱۰ متر، شبکه رودخانه و لایه نقطه‌ای خروجی حوضه که از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان دریافت شده بود با استفاده از ابزار GIS به‌دست آمد. سپس با استفاده از نقشه توپوگرافی و تصویر گوگل ارث کنترل و اصلاح گردید. برای تعیین کلاس طبقه مساحتی حوزه آبخیز تیل‌آباد از سیستم تقسیم‌بندی طبقات مساحتی آبخیزها بر اساس چارچوب WFD (شامل آبخیز کوچک: ۱۰-۱۰۰؛ متوسط: ۱۰۰-۱۰۰۰؛ بزرگ: ۱۰۰۰-۱۰۰۰۰؛ خیلی‌بزرگ: > ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع) استفاده شد (۱۲). یکی از شاخص‌های هندسی مربوط به حوضه که در محاسبات فرسایش و رسوب، زمان تمرکز و رفتار هیدرولوژیکی مهم است شکل حوضه است که برای ارزیابی و محاسبه شکل حوضه از روش کیفی (قیاس چشمی شکل حوضه با اشکال فیزیکی و هندسی) و روش کمی (محاسبه شاخص هندسی/ ضریب شکل گراولیوس) استفاده شد. شایان ذکر

1- Bankfull

www.SID.ir

Archive of SID

است حوضه‌های دایره‌ای شکل و یا نزدیک به آن در شرایط مساوی و در مقایسه با حوضه‌های طویل به‌دلیل واکنش سریع هیدرولوژیکی، ازنظر تولید دبی طغیانی و احتمال بروز سیلاب شدیدتر عمل می‌نمایند (۱).

هدف از تفکیک واحد مکانی سیمای منظر، تعیین پهنه‌هایی از حوزه آبخیز (می‌تواند منطبق بر واحدهای هیدرولوژیک باشد) است که دارای ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی مشابه و همگن از جمله توپوگرافی (طبقات ارتفاعی، رلیف[1] و کالبد توپوگرافی[2])، زمین‌شناسی (نوع سنگ و تکتونیک)، پوشش گیاهی/ کاربری اراضی و اقلیم است. این ویژگی‌های مشابه، منجر به ایجاد فرآیندهای هیدرولوژیکی، فرسایش و رسوب خاص در هر پهنه سیمای منظر می‌شوند. تعداد واحد سیمای منظر نباید زیاد باشد (عموماً تا ٤ واحد)، اما برای حوزه‌های آبخیز بزرگ و دارای پیچیدگی زیاد، ممکن است تعداد واحدهای بیش‌تر نیاز باشد. اولین مرحله برای تفکیک واحدهای سیمای منظر، تعیین واحدهای فیزیوگرافی (کوهستان، تپه ماور و دشت) می‌باشد. این واحدها بر اساس آستانه و دامنه طبقات ارتفاعی و هم‌چنین نقشه شیب به‌دست می‌آید. آستانه و دامنه‌های طبقات ارتفاعی متناسب برای تفکیک واحد دشت از تپه‌ماهور و کوهستان بسته به ناحیه‌ها یا زیرناحیه‌های[3] جغرافیای زیستی متفاوت است. با این‌حال تغییرات در تیپ سنگ، تیپ پوشش زمین ممکن است حاوی اطلاعات مهمی در تعیین این آستانه‌ها باشد. چون که ساختار اغلب این معیارها با تغییرات ارتفاع، نمود و ویژگی‌های متفاوتی پیدا می‌کنند (۱۱). در حوضه مورد مطالعه برای تعیین آستانه و دامنه طبقات ارتفاعی و واحدهای فیزیوگرافی ابتدا با استفاده از سیستم طبقه‌بندی ارتفاع از سطح دریا برای نیمرخ شمالی البرز (۱۹) و سپس با اندازه‌گیری میدانی، در آستانه ۲۰۰ متری از سطح دریا، واحد دشت مشخص شد سپس آستانه‌های طبقات ارتفاعی واحد کوهستان با استفاده آمار و اطلاعات موجود و پیمایش میدانی بر اساس تغییرات در نوع و تراکم پوشش گیاهی/کاربری اراضی، تغییرات زمین‌شناسی غالب (بر حسب جنس سنگ و فرسایش‌پذیری) و نقشه پهنه بندی میانگین بارش در طی دوره آماری معین گردیدند. هر واحد سیمای منظر می‌تواند ترکیبی از چندین تیپ سنگ با خصوصیات مشابه باشد اما ضرورت دارد که در ابتدا تیپ‌های مختلف سنگ‌ها بر حسب جنس سنگ و فرسایش‌پذیری آن‌ها به تیپ‌های عمده سنگ‌شناسی طبقه‌بندی شوند. با روی هم قرار دادن لایه‌های فوق با استفاده از نرم‌افزار GIS و هم‌چنین اطلاعات حاصل از پیمایش میدانی، نظرات کارشناسان و متخصصین ژئومورفولوژی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (گوگل ارث)، در واحد کوهستان، پهنه‌ها یا واحدهای هیدرولوژیکی که متوسط ارتفاع، نوع و تراکم پوشش گیاهی، زمین‌شناسی غالب و اقلیم تقریباً مشابه و همگن داشتند به‌عنوان واحدهای سیمای منظر مستقل در نظر گرفته شدند (۹).

واحد مکانی بخش، قسمت غالبی از قلمرو رودخانه با ویژگی مورفولوژیکی و انرژی مشابه است. اولین مرحله تفکیک واحد مکانی بخش‌های رودخانه بر اساس حدود واحدهای مکانی سیمای منظر است. همانند تعیین واحدهای سیمای منظر، تعداد واحد مکانی بخش نیز نباید زیاد باشد. به‌طور نمونه در یک واحد مکانی سیمای منظر حدود سه واحد مکانی بخش می‌توان در نظر گرفت (۹). همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است رودخانه خرمارود (آبخیز تیل‌آباد) بر مبنای چهار فاکتور اصلی به واحدهای مکانی بخش تفکیک گردید. مراحل

1- Relief
2- Topographic dissection.
3- Subregion

www.SID.ir

Archive of SID

نرم‌افزاری این بخش در منبع (۲) ضمیمه A و (٤) تشریح شده است. در خصوص محدودیت عرضی آبراهه، تعیین درجه محدودیت کناره‌ها را به‌صورت زیر توصیه می‌کنند(۱۱):

مجاری محدود[1]: بیش از ۹۰ درصد از کرانه‌های رودخانه مستقیماً توسط دامنه یا تراس‌های قدیمی[2] محدود شده‌اند و دشت‌های آبرفتی به‌صورت منفرد، کوچک و لکه‌ای کم‌تر از ۱۰ درصد طول کرانه رودخانه را تشکیل می‌دهند.

مجاری نسبتاً محدود[3]: بین حدود ۱۰ تا ۹۰ درصد از طول کرانه‌های رودخانه با دشت آبرفتی اتصال دارند.

مجاری نامحدود[4]: کم‌تر از ۱۰ درصد از کرانه‌ها توسط دامنه محدود شده‌اند. گسترش دشت سیلابی در هر دو طرف رودخانه به صورت پیوسته امکان‌پذیر است و هیچ‌گونه محدودیت عرضی برای جابه‌جایی و تغییرات عرضی رودخانه وجود ندارد. تعیین درجه محدودیت‌های عرضی قلمرو رودخانه از طریق آنالیز بصری تصاویر ماهواره‌ای، نقشه توپوگرافی و پیمایش امکان‌پذیر است (۱۱). در خصوص پهنه‌هایی که حجم زیادی از رسوب را تولید و توان حمل زیاد رسوب به آبراهه اصلی دارند، می‌توان با پیمایش میدانی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سرشاخه‌های جانبی با توان حمل بالای رسوب را از طریق علائمی مانند وجود رسوبات درشت دانه و سنگ‌های بزرگ در تلاقی سرشاخه جانبی و آبراهه اصلی، انباشته شدن مواد رسوبی در شاخه اصلی حاصل از شاخه‌های پر رسوب جانبی، انحراف جریان، باز شدن مسیر جدید و برهم خوردن ویژگی‌های هندسی مقاطع آبراهه اصلی شناسایی نمود. هم‌چنین پهنه‌های وسیع لغزشی در دامنه‌های مجاور آبراهه اصلی از منابع عمد تولید رسوب به‌شمار می‌آیند که به‌عنوان نقاط تفکیک‌کننده واحد بخش در نظر گرفته می‌شوند (۲).

واحد مکانی بازه بخشی از امتداد رودخانه با مورفولوژی آبراهه و دشت سیلابی مشابه است که در آن شرایط مرزی به‌قدری یکنواخت است که پایداری دورنی مجموعه فعل و انفعال‌ها فرآیند و فرم رودخانه تقریباً حفظ می‌شود. حدود موقعیت واحدهای مکانی بخش اولین معیار تعیین‌کننده برای تعیین واحدهای مکانی بازه رودخانه محسوب می‌شوند. یک واحد مکانی بخش می‌تواند شامل یک تا چند واحد مکانی بازه باشد. به‌عنوان یک قاعده کلی، طول یک واحد مکانی بازه نباید کوچک‌تر از ۲۰ برابر میانگین عرض واحد بازه باشد. با این وجود در بعضی مکان‌ها با شرایط خاص و پیچیده ممکن است بازه‌ها کوچک‌تر در نظر گرفته شوند. واحدهای مکانی بخش به‌دست آمده در مرحله قبل بر اساس معیارهایی مانند شاخص محدودیت عرضی رودخانه، تغییرات مکانی شیب و قطر رسوبات بستر، تغییرات دبی و بار رسوب ناشی از اتصال شاخه‌های فرعی و یا وجود موانع ناپیوسته مانند سد، بند خاکی و بندهای اصلاحی بزرگ که اختلال در تداوم طولی انتقال آب و رسوب ایجاد می‌کنند به واحدهای مکانی بازه تفکیک گردیدند. شاخص محدودیت عرضی رودخانه از طریق نسبت عرض مقطع پر آبراهه به عرض دشت سیلابگیر[5] (شامل عرض آبراهه نیز می‌شود) به‌دست می‌آید (۱۱).

در مناطق کوهستانی برای اندازه‌گیری عرض مقطع پر آبراهه به‌علت پیچیدگی‌های روی زمین از جمله تغییر در ارتفاع رأس کرانه، عدم وضوح شکستگی شیب بین کانال و دشت سیلابی، وجود اشکال مانند سکوهای آبرفتی و پادگانه‌ها، شناسایی ارتفاع مقطع پر آبراهه از طریق پیمایش میدانی با

1- Confined
2- Ancient terraces
3- Partly-confined
4- Unconfined channels
5- Alluvial

www.SID.ir

Archive of SID

مشکل مواجه می‌سازد (۱۷). بنابراین در چنین شرایطی برای تعیین نسبت عرض آبراهه مقطع پر به عرض دشت سیلابگیر در دو مرحله به‌شرح زیر اقدام می‌شود.

الف) ابتدا دبی با دوره بازگشت ۲ سال به‌عنوان دبی مقطع پر اولیه و دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به‌عنوان دبی پهنه سیلاب‌گیر برای هر واحد مکانی بخش برآورد می‌شود (٤). در حوضه موردمطالعه برای برآورد دبی با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال در واحدهای بخش S2، S3، S7 و S8 که ایستگاه هیدرومتری در آن‌ها واقع شده بود از آمار دبی حداکثر لحظه‌ای سه ایستگاه هیدرومتری تیل‌آباد، پل غزنوی و نوده و برای پهنه‌های فاقد آمار مربوط به بخش‌های S1، S4، S5 و S6 از معادله دبی- مساحت (روش کریگر) رابطه ۱ استفاده گردید (جدول ۲). به‌منظور تعیین حدود مقدار ضریب C در معادله کریگر برای سیلاب با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال در واحدهای بخش فاقد آمار، ابتدا ضریب مذکور را برای ایستگاه‌های هیدرومتری موجود برآورد گردید سپس با تطبیق ویژگی‌های هیدرواقلیمی پهنه‌های فاقد آمار با پهنه‌های دارای آمار، ضریب C برای بخش S1 از طریق ایستگاه هیدرومتری پل غزنوی و تیل‌آباد و برای بخش‌های S4، S5 و S6 از ایستگاه هیدرومتری نوده برآورد گردید؛ سپس با استفاده این ضریب و مساحت پهنه‌های فاقد آمار، دبی با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال برای آن‌ها به‌دست آمد (۱).

$$Q = 46\,CA^{(0.894A^{-0.048})} \qquad (۱)$$

که در آن، Q دبی اوج سیلاب به فوت مکعب بر ثانیه، A مساحت حوضه به مایل مربع و C ضریب کریگر.

جدول ۲- ارتباط هیدرولوژیکی واحدهای مکانی بخش با واحدهای مکانی سیمای منظر، زیرحوضه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری.

Table 2. Hydrological relation of segment units with landscape units, subwatersheds and hydrometric stations.

Landscape unit	River Segment	زیرحوضه یا پهنه‌های مربوط به هر واحد مکانی بخش Sub-catchment	ارتباط هیدرولوژیکی واحدهای مکانی بخش با ایستگاه‌های هیدرومتری و زیرحوضه‌ها Hydrological linking of spatial units with hydrometric stations and Sub-catchment
LU1	S1	T4 – سرشاخه کاشیدار	(دبی ایستگاه پل غزنوی- دبی ایستگاه تیل‌آباد) – دبی سرشاخه کاشیدار (Goznavi Bridge Station- Tilabad Station)- Kashidar
	S2	T4	دبی ایستگاه پل غزنوی – دبی ایستگاه تیل‌آباد Goznavi Bridge Station- Tilabad Station
LU2	S3	T1، T2، T3 و T4	دبی ایستگاه پل غزنوی Goznavi Bridge Station
	S4	T1، T2، T3، T4 و سرشاخه فارسیان	دبی ایستگاه پل غزنوی + دبی سرشاخه فارسیان Goznavi Bridge Station+ Farsian Station
	S5	T1، T2، T3، T4، T5، T6 و T7	دبی ایستگاه پل غزنوی + دبی زیرحوضه‌های (T7 + T6 + T5) Goznavi Bridge Station + (T5 +T6 + T7)
LU3	S6	T1، T2، T3، T4، T5، T6، T7 و T8	دبی ایستگاه نوده – دبی سرشاخه سوسرا Nodeh Station- Susara
	S7	T1، T2، T3، T4، T5، T6، T7، T8 و سرشاخه سوسرا	دبی ایستگاه نوده Nodeh Station
LU4	S8	T1، T2، T3، T4، T5، T6، T7، T8 و T9	دبی ایستگاه نوده Nodeh Station

علامت (-) به معنی منها و علامت (+) به معنی جمع است.

www.SID.ir

Archive of SID

برای برآورد دبی با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ از نرم‌افزار SMADA استفاده شد و برای تعیین مناسب‌ترین توزیع آماری، آن توزیعی مناسب تشخیص داده شد که برازش بهتری با مقادیر پیش‌بینی داشته باشد. هم‌چنین از شاخص مجموع مربعات باقی‌مانده (R.S.S.)[1] رابطه ۱ برای انتخاب بهترین توزیع آماری استفاده شد (۱).

$$R.S.S. = [\Sigma(Qe - Qo)^2 / (n - m)]^{1/2} \quad (۱)$$

که در آن، Q_e مقدار برآورد شده برای هر یک از داده‌ها، Q_o مقدار مشاهده شده برای هر یک از داده‌ها، n تعداد داده‌ها و m تعداد پارامتر توزیع مورد استفاده است که در توزیع‌های آماری نرمال، لوگ نرمال، گمبل و لوگ گمبل دو پارامتره برابر ۲ بوده و در توزیع‌های (پیرسون، لوگ‌پیرسون و لوگ‌نرمال سه پارامتره) برابر (۳)، می‌باشد. توزیعی مناسب است که دارای کم‌ترین مقدار R.S.S. بوده و آن توزیع برای تعیین داده‌های با دوره بازگشت موردنظر، انتخاب می‌گردد.

سپس با استفاده از معادله مانینگ (رابطه ۲)، برای دبی با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال مربوط به هر واحد مکانی بخش، مساحت سطح مقطع به‌دست آمد و با توجه به این دو سطح، در هر واحد مکانی بخش، ارتفاع متوسط متناظر با دبی‌های مذکور به‌دست آمد.

$$Qb = \frac{A}{n} R^{0.67} S^{0.5} \quad (۲)$$

که در آن، Qb دبی (مترمکعب بر ثانیه)، A مساحت مقطع عرض (مترمربع)، R شعاع هیدرولیکی (متر) از نسبت مساحت مقطع عرضی به محیط خیس شده به‌دست می‌آید، S شیب طولی (متر بر متر)، n ضریب زبری.

با فرض آن‌که آبشستگی اتفاق نیفتد و اگر کانال عریض باشد (R=Y)، از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$Q = JAY^{0.67} \quad (۳)$$

که در آن، $J = \frac{S^{0.5}}{n}$ و Y عمق جریان است.

در این پژوهش، ضریب زبری با توجه به وضعیت مورفولوژی مقاطع عرضی از روش کوان استفاده شد. در آخر با استفاده از الگوریتم‌های GIS تشریح شده در منبع (۳ و ٤) قلمرو رودخانه برای ارتفاع مربوط به دو دبی مذکور، پهنه‌بندی شد. شایان ذکر است برای تعیین عمق دبی با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال در واحد مکانی بخش S3 و S7 از اشل اندازه‌گیری ارتفاع نسبت به دبی استفاده شد اما برای سایر واحدهای مکانی بخش، معادله مانینگ به‌کار برده شد.

ب) در مرحله دوم پهنه‌های عرض مقطع پر و عرض دشت سیلاب‌گیر به‌دست آمده در مرحله اول با استفاده از بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل ارث کنترل شد، از تصاویر گوگل ارث به‌منظور شناسایی عارضه‌های انسانی محدودکننده تغییرات عرضی رودخانه مانند جاده و سازه‌های طولی که در مجاور رودخانه قرار دارند استفاده گردید و با پیمایش میدانی ویژگی‌های مورفولوژیکی بازه‌ها از جمله شکستگی در شیب کرانه، ترازی از جریان که نسبت عرض به عمق به حداقل برسد، سطوح فرسایشی در کرانه‌ها، تغییر در تراکم و ترکیب گیاهان و ابعاد رسوبات که تعیین کنند حدود ارتفاع دبی مقطع پر هستند مورد بررسی قرار گرفت (۲).

مهم است که بیان شود که هدف از پهنه‌بندی این دو دبی به‌منظور ارزیابی کیفی و تشخیص محدودیت‌های عرضی رودخانه است به‌عبارتی مشخص شود که آیا رودخانه توسط دامنه، تراس یا عارضه‌های مصنوعی محدود است یا خیر. شبیه‌سازی و تحلیل عددی

1- Residual sum squares

www.SID.ir

Archive of SID

هیدرولیکی الگوی جریان و رسوب و به‌دست آوردن کمیت‌ها مربوط به مرحله دوم چارچوب مذکور، بخش ارزیابی وضعیت و شناسایی مشکلات می‌باشد (۱۱).

به‌منظور اندازه‌گیری قطر غالب رسوبات بستر و کناره‌های رودخانه از پروتکل نمونه‌برداری پیشنهادی پروژه REFORM استفاده شد (منبع ۲، ضمیمه D).

رینالدی و همکاران (۲۰۱۵)، برای مقیاس مکانی بازه، ۲۲ تیپ مورفولوژی بر اساس شاخص و درجه محدودیت، شکل پلان، قطر رسوبات بستر و شیب دره شناسایی و تقسیم بندی نمودند (۲۳). خصوصیات شکل پلان در رودخانه و دشت سیلابی مانند واحدهای ژئومورفیک که از طریق تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی هستند منعکس‌کننده ویژگی‌های فاکتورهای کنترل‌کننده در واحد مکانی بازه هستند. در جدول (۳) طبقه‌بندی ساده‌ای از تیپ‌های مختلف الگوی مورفولوژی رودخانه بر اساس درجه محدودیت و شکل پلان ارائه شده است.

شناسایی بازه‌های مکانی (نوع صفر) که به‌طور عمده تغییر یافته‌اند (مانند آبراهه‌های شهری کانالیزه شده و بازه‌های تثبیت و تحکیم یافته[1]) مهم و باید به‌عنوان طبقه‌ای مجزا در نظر گرفته شوند؛ زیرا پایداری عرضی کانال و واحدهای ژئومورفیک آن نمی‌تواند منعکس‌کننده شرایط مرزی طبیعی باشد. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود به‌منظور تفکیک بازه‌های مکانی از نظر شکل پلان از سه شاخص مورفولوژیکی زیر و تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود.

۱) شاخص سینوسی[2] (Si): نسبت بین فاصله در امتداد محور آبراهه اصلی به فاصله مسیر مستقیم پلانیمتری آبراهه

۲) شاخص شریانی (Bi): عبارت است از تعداد مجاری فعال جریان آب که توسط پشته‌های رسوبی در بستر رودخانه تفکیک شده‌اند. روش توصیه شده برای برآورد Bi، محاسبه میانگین تعداد آبراهه‌های مرطوب[3] در حداقل ۱۰ مقطع عرضی از یک واحد مکانی بازه که فاصله بین این مقاطع بیش از عرض دشت شریانی[4] نباشد.

۳- شاخص آنابرنچینگ[5] یا انشعابی (Ai): عبارت است از تعداد مجاری فعال جریان آب که توسط جزایر پوشیده از جوامع گیاهی[6] تفکیک شده‌اند. روش توصیه شده برای برآورد شاخص Ai، محاسبه میانگین تعداد مجاری دارای جریان پایه که توسط جزایر مجزا شده‌اند در حداقل ۱۰ مقطع عرضی از یک واحد مکانی بازه که فاصله بین این مقاطع بیش از حداکثر عرض مجاری مجزا نباشد.

مجاری انتقالی خصوصیات میانه‌ای از ویژگی‌های مجاری شریانی و مجاری آنابرنچینگ در بین آبراهه‌های تک‌رشته‌ای و چند رشته‌ای نمایش می‌دهد.

مشخصه مجاری سرگردان، نسبت عرض به عمق زیاد است که در آن بارهای رسوبی فعال به‌صورت پیوسته (مشابه مجاری شریانی) قرار گرفته‌اند. مورفولوژی این مجاری شبیه آبراهه‌های چند رشته‌ای و نسبتاً عریض‌تر از مجاری تک رشته است. رودخانه‌های با مقدار عددی نسبتاً بالای Ai (اما Ai < ۱/۵) و بدون پدیده شریانی نیز می‌تواند به‌عنوان بازه‌های سرگردان و یا بازه‌های (سرگردان آنابرنچینگ)[7] طبقه‌بندی شوند. مجاری شریانی دارای رشته‌های مجزایی هستند که در مقابل جریان‌های سیلابی ناپایدارند. در حالی که سیستم‌های انشعابی (آنابرنچینگ) و به هم پیوندهٔ[8] در مقابل جریان سیلابی نسبتاً پایدارند (۱۱).

1- Reinforced reaches
2-Sinuosity index

3- Wetted
4- Braid plain
5- Anabranching
6- Vegetated islands
7- Wandering anabranching
8- Anastomosing

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- طبقه‌بندی ساده از تیپ‌های مورفولوژی رودخانه بر مبنای شکل پلان، شاخص محدودیت آبراهه (۱۲).

Table 3. Simple classification of morphology river types based on confinement index and planform.

نوع Type	شاخص محدودیت دره Valley Confinement	تعدد مجاری Threads	شکل پلان Planform	شاخص سینوسی (Si)	شاخص شریانی (Bi)	شاخص انشعابی (Ai)
0	تغییرات در ساختار آبراهه توسط اقدامات مصنوعی Heavily artificial (Ha)			متفاوت (any)		
1	محدود confined	تک‌رشته‌ای Single	مستقیم- سینوسی Straight-Sinuous	n/a	نزدیک به ۱ approx. 1	نزدیک به ۱ approx. 1
2	نسبتاً محدود/ نامحدود Partly confined/ Unconfined		مستقیم Straight	<1.05		
3			سینوسی Sinuous	1.05<Si <1.5		
4			پیچان‌رودی Meandering	>1.5		
5	محدود/ نسبتاً محدود/ نامحدود Confined/ Partly Confined/ Unconfined	انتقالی Transitional	سرگردان Wandering	-	1< Bi <1/5	Ai <1.5
6		چند رشته‌ای Multi thread	شریانی Braided	-	Bi>1/5	Ai <1.5
7			انشعابی Anabranching	-	Bi <1/5 یا Bi>1/5	Ai >1.5

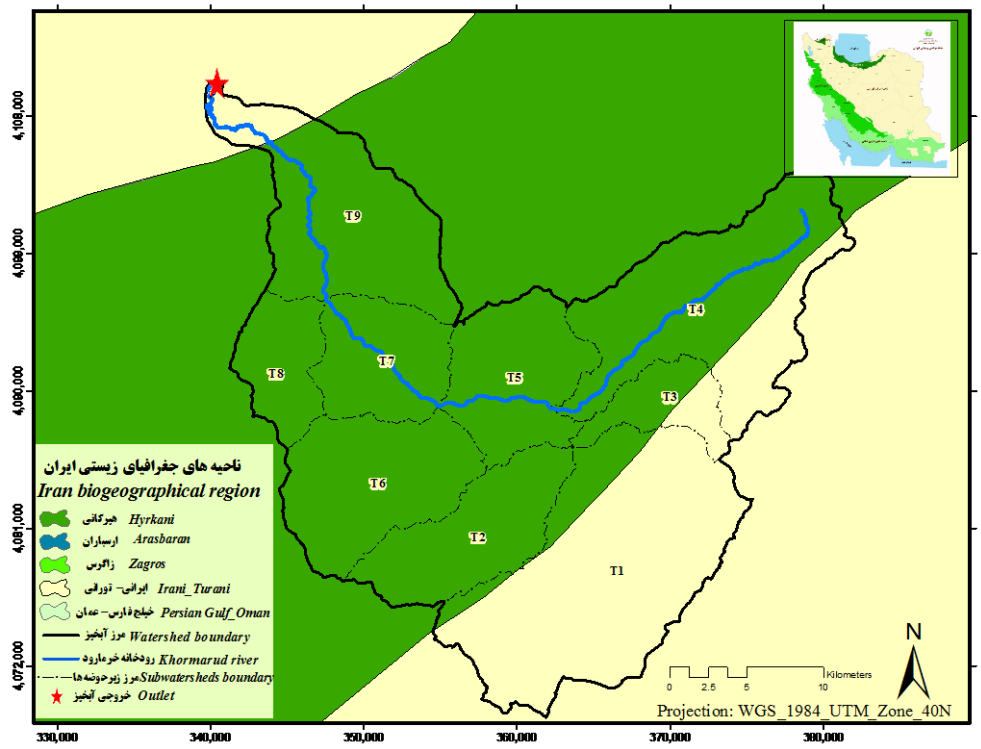
نتایج و بحث

با توجه به سلسله‌مراتب واحدهای مکانی تشریح شده در بخش روش تحقیق، در زیر نتایج حاصل از مرزبندی و توصیف خصوصیات واحدهای مکانی مختلف حوضه رودخانه تیل‌آباد در چارچوب سلسله‌مراتب- چند مقیاسی ارائه شده است.

واحد مکانی ناحیه جغرافیایی زیستی: حوزه آبخیز تیل‌آباد در ۲ ناحیه جغرافیای زیستی شامل ناحیه هیرکانی (با مساحت غالب در حوضه) و ناحیه ایران- تورانی قرار دارد. نوع اقلیم حوضه مورد مطالعه در ناحیه جغرافیایی هیرکانی، معتدل و در ناحیه ایرانی- تورانی بالادست و پایین‌دست حوضه+ به‌ترتیب نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب است. در هر دو ناحیه فلور و پوشش گیاهی غالب عمدتاً تحت‌تأثیر عوامل اکولوژیک از جمله آب و هوا، پستی و بلندی، خاک و دخالت‌های انسانی است اما عامل آب و هوا مؤثرترین فاکتور پیدایش رستنی‌ها است به‌طوری‌که در ناحیه ایرانی- تورانی بالادست حوضه تحت‌تأثیر اقلیم نیمه‌خشک با میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال قرار گرفته و پوشش غالب آن بوته‌ای و کاربری غالب آن مرتع می‌باشد از طرفی ناحیه ایرانی- تورانی پایین‌دست حوضه با وجود نزدیک بودن میانگین بارندگی سالانه آن (۸۵۰ میلی‌متر) نسبت به ناحیه هیرکانی، اما به‌دلیل بالا بودن میانگین دما و رطوبت و هم‌چنین کاربری غالب زراعت و نبود پوشش جنگلی از ناحیه هیرکانی جدا گشته است. شکل‌های ۳ و ۵ به‌ترتیب تصاویری از ناحیه‌های مذکور و نقشه پهنه‌بندی میانگین بارش سالانه در طی دوره آماری را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



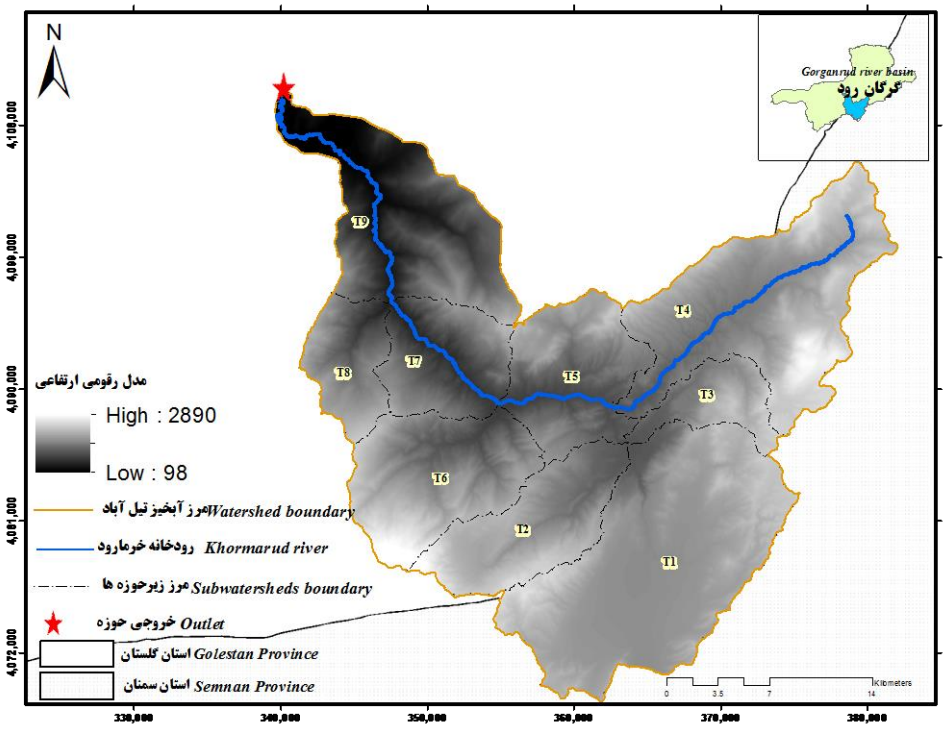
شکل ۳- ناحیه‌های جغرافیای زیستی حوزه آبخیز تیل‌آباد و کشور ایران (وب‌سایت: http://feow.org)).

Figure 3. The biogeographic regions of the Til-abad watershed and Iran (Website: http://feow.org).

واحد مکانی حوزه آبخیز: مساحت و محیط آبخیز تیل‌آباد به‌ترتیب ۸۸۹/۷ کیلومترمربع و ۱۵۲/۷ کیلومتر است و با توجه تقسیم‌بندی آبخیزها بر اساس طبقات مساحتی چارچوب WFD در طبقه آبخیزهای متوسط قرار می‌گیرد. شبکه زهکشی آبخیز تیل‌آباد دارای الگوی شاخه درختی می‌باشد. بررسی ضریب شکل در حوزه آبخیز تیل‌آباد نشان میدهد که زیرحوضه ٦ با ضریب ۱/۱۸ شکلی نزدیک به دایره را دارا بوده و در مقابل باران‌هایی با شدت بالا سریعاً واکنش نشان داده و جریان‌های سطحی در حداقل زمان به دهانه خروجی رسیده و به همین دلیل بر مبنای ضریب شکل حوضه، احتمال وقوع سیلاب نسبت به سایر زیرحوضه‌ها در آن بیش‌تر است. از طرفی ضریب شکل کل حوضه نیز تا حدی شرایط بحرانی در این منطقه را مورد تأیید قرار می‌دهد (ضریب گراولیوس برابر با ۱/٤۸). هم‌چنین شکل گلابی مانند آن موجب می‌گردد که آبراهه‌های اصلی با زمان تمرکز نسبتاً نزدیک به یکدیگر تولیدات آبی خود را در یک زمان به دهانه خروجی و یا رودخانه اصلی رسانده و عملکردی مشابه حوضه‌های دایره‌ای‌شکل از خود بروز دهند (شکل ٤). توضیح این‌که تحلیل فوق صرفاً بر اساس ضرایب شکل صورت گرفته و از تأثیرگذاری سایر عوامل محیطی در بروز سیلاب خودداری شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- واحد مکانی آبخیز تیل‌آباد، مدل رقومی ارتفاعی و شبکه آبراهه.

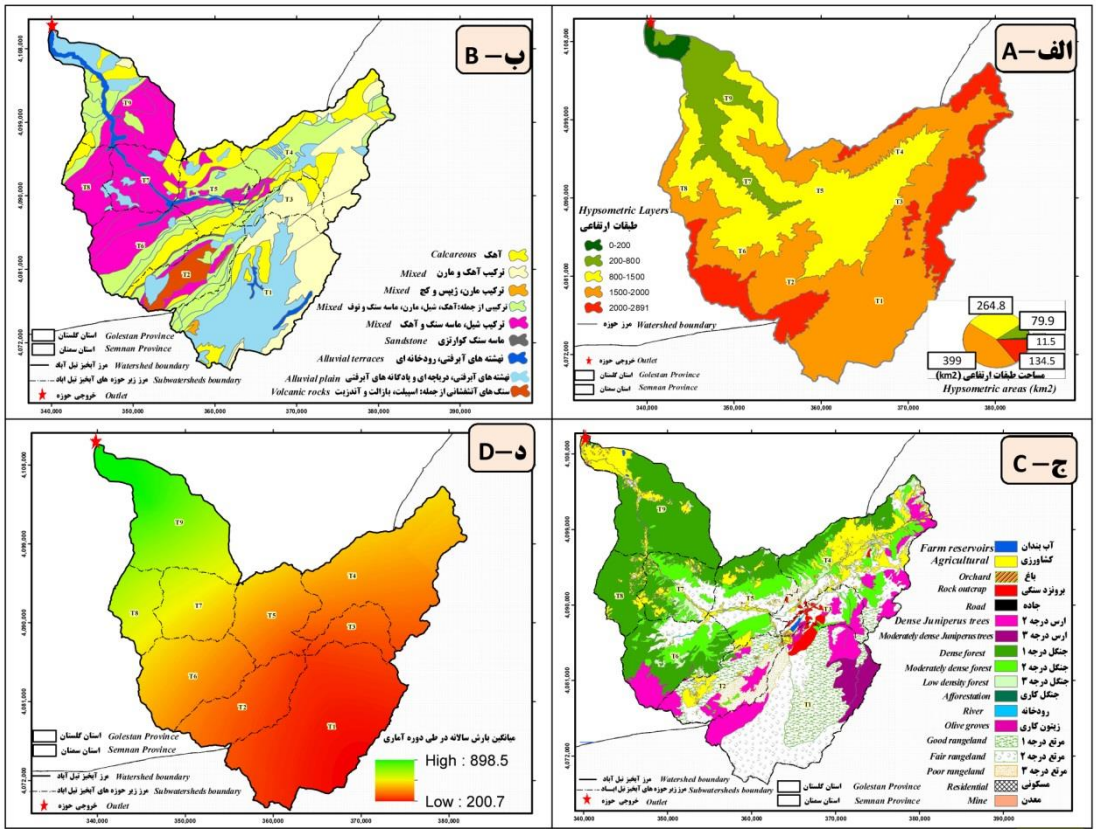
Figure 4. Til-abad watershed unit, Digital elevation model and stream network.

واحد مکانی سیمای منظر[1]: آبخیز تیل‌آباد بر اساس کنترل‌کننده‌های فرآیندهای هیدرومورفولوژی اشاره شده به ٤ واحد مکانی سیمای منظر منطبق بر مرز واحدهای هیدرولوژیک تفکیک گردید (شکل‌های ٥، ٦، ٧ و جدول ٤). در حوضه موردمطالعه از لحاظ فیزیوگرافی، واحد دشت در طبقه ارتفاعی ٢٠٠-٠ متر قرار دارد و طبقات ارتفاعی بالاتر از ٢٠٠ متر مربوط به واحد کوهستان می‌باشد. واحد دشت که در ناحیه ایرانی- تورانی پایین‌دست حوضه واقع شده است، زمین‌شناسی و کاربری غالب آن به‌ترتیب نهشته‌های آبرفتی- رودخانه‌ای و اراضی زراعی می‌باشد و به‌عنوان واحدی سیمای منظر مجزا در نظر گرفته شد. واحد کوهستان (طبقات ارتفاعی بالاتر از ٢٠٠ متر) با افزایش ارتفاع و پیشروی به‌سمت بالادست، تغییرات چشمگیری در نوع و تراکم پوشش گیاهی، اقلیم، زمین‌شناسی مشاهده شد به‌طوری‌که به‌سمت بالادست حوضه، شاهد افزایش دما و کاهش بارندگی، کاهش تراکم و تغییر نوع پوشش از پهن‌برگ متراکم به‌سمت پوشش درختچه‌ای با تراکم کم و در نهایت پوشش بوته‌ای و علفی هستیم. بنابراین واحد کوهستان بر اساس تغییرات عمده در وضعیت کنترل‌کننده‌های مذکور منطبق با مرز واحدهای هیدرولوژیک به سه واحد مکانی سیمای منظر تفکیک شد. همان‌طور که در شکل ٥ و جدول ٣ نشان داده شده است در واحد کوهستان، زیرحوضه‌های T1، T2، T3 و T4 به‌عنوان واحد سیمای منظر ١، زیرحوضه‌های T5، T6 و T7 به‌عنوان واحد سیمای منظر ٢ و زیرحوضه‌های T8 و T9 به‌عنوان واحد سیمای منظر ٣ با ویژگی‌های مشابه از جمله متوسط ارتفاع وزنی حوضه، میانگین بارش سالانه، زمین‌شناسی و کاربری غالب معین گردیدند.

1- Landscape units

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٥- چهار کنترل‌کننده فرآیندهای هیدرومورفولوژیکی شامل الف) توپوگرافی/ طبقات ارتفاعی (هیپسومتریک)؛ ب) زمین‌شناسی غالب؛ ج) کاربری‌های اراضی و د) اقلیم /میانگین بارش سالانه در طول دوره آماری.

Figure 5. Four fundamental controllers on hydromorphological processes contain: (b) topography / hypsometrics; (b) dominant geology; (c) land uses; and (d) Climate/ Annual percipitation average.

شکل ٦- تصویر چهار واحد سیمای منظر، الف) LU1، ب) LU2، ج) LU3، د) LU4.

Figure 6. Four units of landscape, a) LU1, b) LU2, c) LU3 and d) LU4.

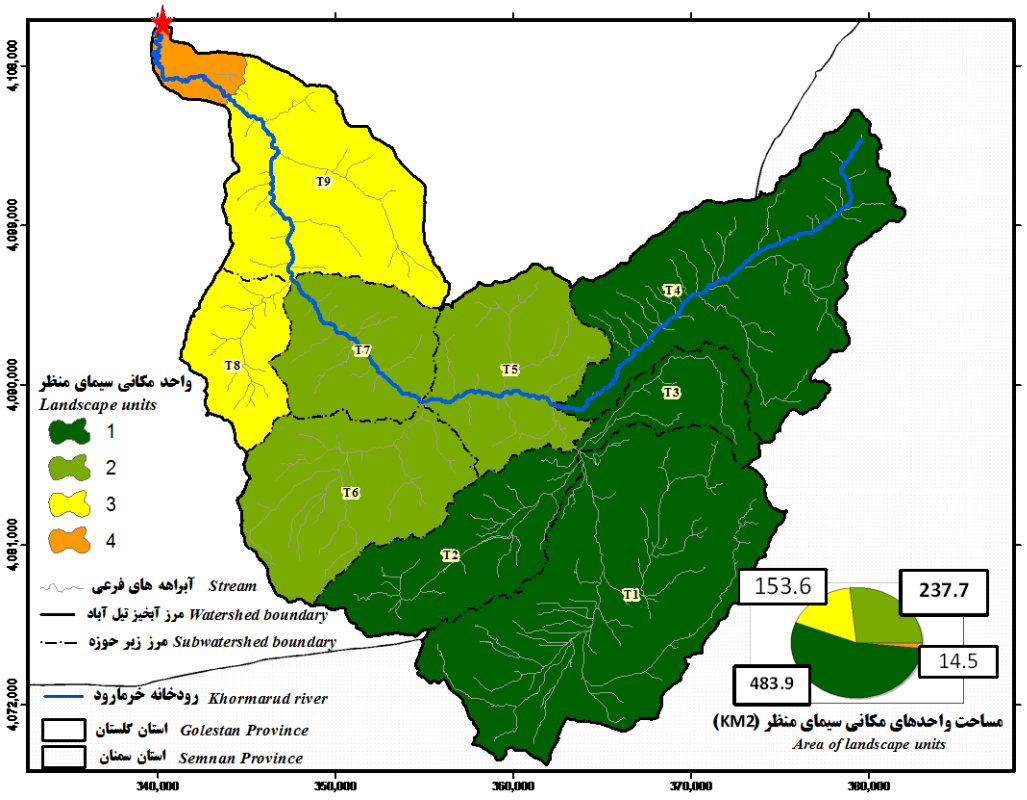
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- ویژگی‌های اولیه توپوگرافی، زمین‌شناسی و تیپ پوشش زمین واحدهای مکانی سیمای منظر آبخیز تیل‌آباد.

Table 4. Preliminary characterisation of the elevation, geology and land cover of the landscape units at the Til-abad watershed.

کنترل‌کننده‌های هیدرولوژی، منابع و تحویل رسوب Hydromorphological controllers	واحدهای مکانی سیمای منظر (Landscape Units)			
	کوهستان (Mountain areas)			دشت (Plain)
	1	2	3	4
میانگین ارتفاع Mean Elevation(m)	1705	1430	1018	182
زمین‌شناسی غالب Dominant Geology	ترکیب آهک، مارن و نهشته‌های آبرفتی (Mixed)	ترکیب شیل، آهک، مارن و ماسه‌سنگ (Mixed)	ترکیب آهک، شیل و ماسه‌سنگ Calcareous/ Siliceous	نهشته‌های آبرفتی- رودخانه‌ای Alluvial plain
تیپ پوشش غالب زمین Land Cover	مرتع Rangeland	جنگل و مرتع درجه ۲، Moderately dense forest and rangeland	جنگل درجه ۱ Dense forest	اراضی زراعی Arable land
میانگین بارش سالانه Precipitation average	300	460	700	680
زیرحوضه Subwatershed	T1,T2,T3,T4	T5,T6,T7	T8,T9	T8,T9
مساحت (km^2) Area	483/9	237/7	153/6	14/5



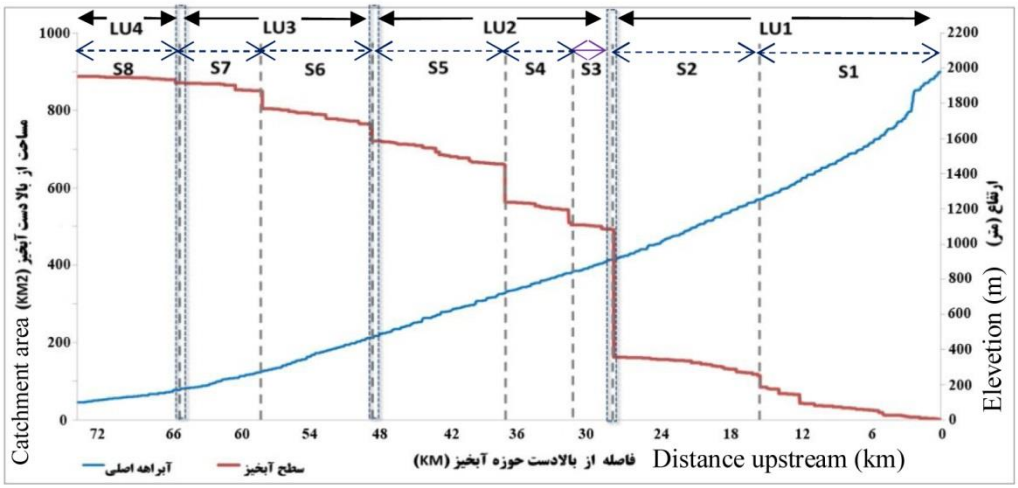
شکل ۷- نقشه واحدهای مکانی سیمای منظر در آبخیز تیل‌آباد.

Figure 7. Landscape units in the Til-abad watershed.

www.SID.ir

Archive of SID

واحد مکانی بخش رودخانه: رودخانه تیل‌آباد بر مبنای ناپیوستگی عمده در شیب دره، الحاق سرشاخه‌های اصلی به رودخانه، درجه محدودیت در تغییرپذیری عرضی رودخانه توسط دامنه دره و ورود حجم زیادی از رسوب به آبراهه اصلی به ۸ واحد مکانی بخش تفکیک گردید (شکل ۹). در طول آبراهه اصلی ناپیوستگی محسوس شیب بستر رودخانه مانند وجود سازه‌های عرضی مسدودکننده جریان (سد و بندهای خاکی بزرگ) وجود ندارد تنها تغییر شیب عمده مربوط به مرز بین واحد کوهستان و دشت است. شایان ذکر است علت شکست شیب در بالاست پروفیلی طولی آبراهه مربوط به وجود آبشار تلوین در ارتفاع بالای ۱۷۰۰ متر می‌باشد و بدین علت متوسط شیب واحد بخش یک (S1) افزایش یافته است (شکل ۸ و جدول ۵). تفکیک رودخانه بر مبنای تغییرات جزیی شیب طولی کانال در بخش مرزبندی واحدهای مکانی بازه موردبررسی قرار گرفته است. در خصوص افزایش معنی‌دار مساحت آبخیز از بالادست به‌سمت پایین‌دست (با الحاق سرشاخه‌های مهم به آبراهه اصلی)، با توجه به این‌که خروجی زیرحوضه‌های T1، T2، T3 و T4 (واحد سیمای منظر یک) نزدیک به هم است به‌عنوان بزرگ‌ترین سرشاخه الحاقی به آبراهه اصلی محسوب می‌شود؛ این سطح روی واحد بخش S3 اثر می‌گذارد و سپس زیرحوضه T6 پهناورترین سرشاخه الحاقی به بازه اصلی می‌باشد که روی واحد بخش S4 اثر می‌گذارد همان‌طور در شکل ۸ مشاهده می‌شود نیمرخ تفکیک واحدهای مکانی بخش (S) بر حسب افزایش معنی‌دار مساحت آبخیز از بالادست به‌سمت پایین‌دست (با الحاق سرشاخه‌های اصلی) و پروفیل طولی تغییرات ارتفاع رودخانه نشان داده شده است. در خصوص شناسایی پهنه‌هایی که حجم زیادی از رسوب را تولید و به آبراهه اصلی وارد می‌کنند، خروجی زیرحوضه‌های T4، T6، T8 و T9 و هم‌چنین سرشاخه روستای کاشیدار در زیرحوضه T1 و سرشاخه روستای فارسیان در زیرحوزه T5 مهم‌ترین سرشاخه‌های تولیدکننده رسوب می‌باشد. نتایج مربوط به عامل محدودیت‌های عرضی قلمرو رودخانه در بخش نتایج واحدهای مکانی بازه ارائه شده است.



شکل ۸- تفکیک هشت واحد مکانی بخش (S) رودخانه خرمارود بر حسب افزایش معنی‌دار مساحت آبخیز از بالادست به‌سمت پایین‌دست (با الحاق سرشاخه‌های اصلی) و پروفیل طولی تغییرات ارتفاع رودخانه. LU: واحد مکانی سیمای منظر.

Figure 8. The Khormarud river was delineated into 8 river segments based primarily on increases in watershed area caused by major confluences. LU: Landscape units.

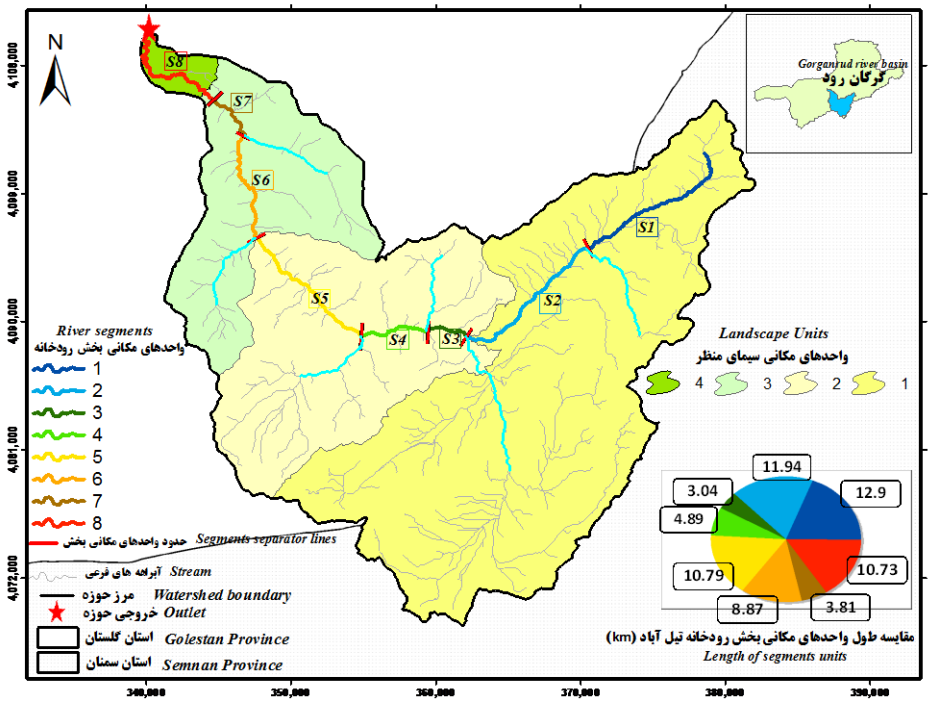
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- خصوصیات مورداستفاده در تعیین حدود واحدهای مکانی بخش رودخانه.

Table 5. Characteristics used to determine the river segment units.

Confinement class	Length (km)	Slope (%)	Increase in catchment area due to tributary		River Segment	Landscape unit
			Increase (%)	Area (km^2)		
Confined	12.9	4.08	-	-	S1	LU1
Confined	11.94	2.73	33.72	28.7	S2	
Partly confined	3.04	2.32	203.87	330.23	S3	LU2
Partly confined	4.89	2.2	6.57	33.52	S4	
Partly confined	10.79	2.26	18.02	100.76	S5	
Partly confined	8.87	1.97	5.94	42.84	S6	LU3
Partly confined	3.81	1.76	5.58	44.9	S7	
Unconfined	10.73	1.04	0.94	8.2	S8	LU4



شکل ۹- واحدهای مکانی بخش رودخانه در آبخیز تیل‌آباد.

Figure 9. Segment units at the Til-abad watershed.

واحد مکانی بازه: واحدهای مکانی بخش بر مبنای ویژگی‌های مورفولوژی و الگوی آبراهه، تغییرات شیب و قطر رسوبات بستر، تغییرات دبی و بار رسوب ناشی از اتصال شاخه‌های فرعی، نوع و شاخص محدودیت عرضی رودخانه و وجود موانع ناپیوسته مانند پل و بندهای اصلاحی که اختلال در تداوم طولی انتقال آب و رسوب ایجاد می‌کنند به ۲۶ واحد مکانی بازه تفکیک شدند (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). بر اساس شاخص محدودیت عرضی، رودخانه به ۱۱ قسمت (پنج نوع محدود، پنج نوع نسبتاً محدود و یک نوع نامحدود) تفکیک شد (شکل ۱۰)؛ در ارتباط با این شاخص، پهنه مقطع پر و پهنه دشت سیلابگیر در شکل ۱۱ و نتایج مربوط به دبی با دوره بازگشت مختلف در جدول ۶ ارائه شده است. به‌منظور نمایش

www.SID.ir

Archive of SID

و تفسیر بصری بهتر، تصاویر سه‌بعدی از شاخص و گستره محدودیت‌های عرضی در هر دو کرانه رودخانه (خطوط قرمز)، عرض دره (خط سبز)، محور مرکزی آبراهه (خط آبی) و حدود واحدهای مکانی بازه (خط عرضی سیاه) روی تصویر گوگل ارث در شکل ۱۲ ارائه شده است. در این پژوهش، مجموعه واحدهای مکانی (از واحد مکانی ناحیه تا واحد مکانی بازه) و ویژگی‌های اصلی واحدهای مکانی بازه در قالب یک الگوی با ساختار سلسله‌مراتبی چندمقیاسی در شکل‌های ۱۳ و ١٤ و جدول ۷ ارائه شده است. این ساختار این امکان را فراهم می‌کند که حدود واحدهای مکانی مختلف را مشخص و ارتباط مکانی و ویژگی‌های ساختاری بین آن‌ها را نمایش داد. به‌طور مشخص در شکل مذکور موارد زیر قابل تشخیص است:

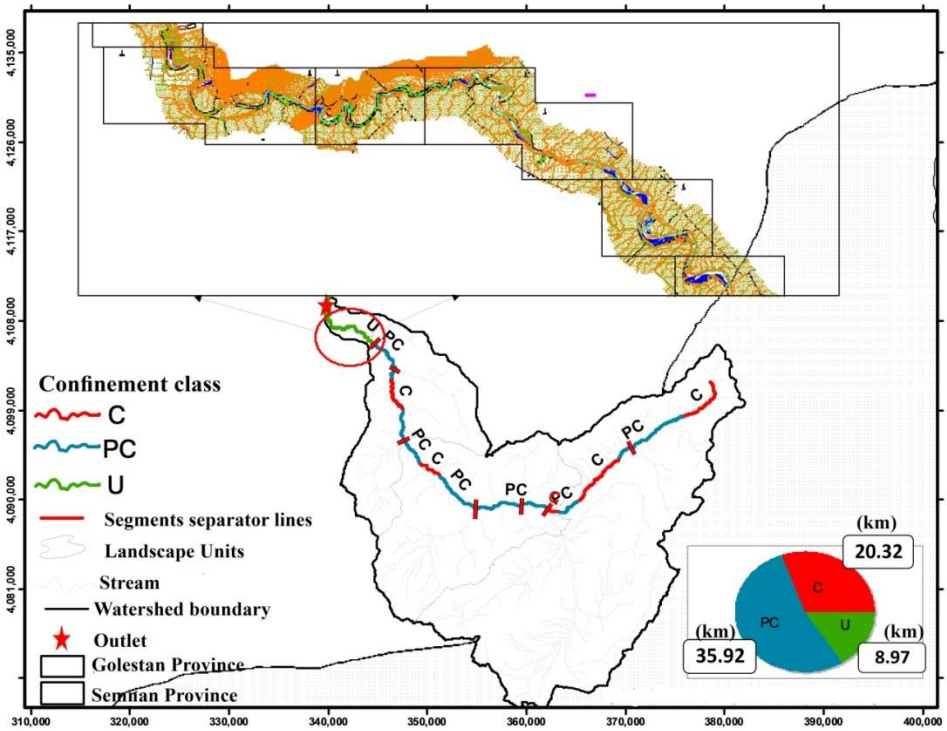
– ویژگی و روند تغییرات مورفولوژیکی واحد مکانی بازه (از جمله تفاوت عرض دشت سیلابی و عرض مقطع پر، شاخص و درجه محدودیت عرضی، تغییرات ارتفاع، شیب و طول بازه‌های مکانی، درجه و نوع شاخص‌های الگوی مورفولوژی آبراهه) و هم‌چنین ارتباط مکانی و تأثیرپذیری بازه‌ها را نسبت به واحدهای ناحیه، سیمای منظر، زیرحوضه‌ها، واحد بخش و هم‌چنین اقلیم می‌توان تشخیص داد.

– سلسله‌مراتب، تعداد و موقعیت واحدهای مکانی با مقیاس‌های مختلف در حوزه آبخیز تیل‌آباد نسبت به هم را نشان می‌دهد.

– مقایسه طول واحدهای مکانی بازه و بخش‌ها نسبت به هم و همچنین مقایسه کیفی وسعت پهنه‌های سیمای منظر و ناحیه‌ها امکان‌پذیر است.

– تغییرات ویژگی‌های ساختاری بازه (از جمله دانه‌بندی، مورفولوژی، شاخص Bi و Si) با تغییرات ارتفاع و شیب بستر رودخانه و هم‌چنین درجه و شاخص محدودیت عرضی قابل مشاهده است.

– می‌توان تشخیص داد که هر واحد سیمای منظر منطبق با کدام زیرحوضه‌ها، اقلیم و واحد ناحیه است.

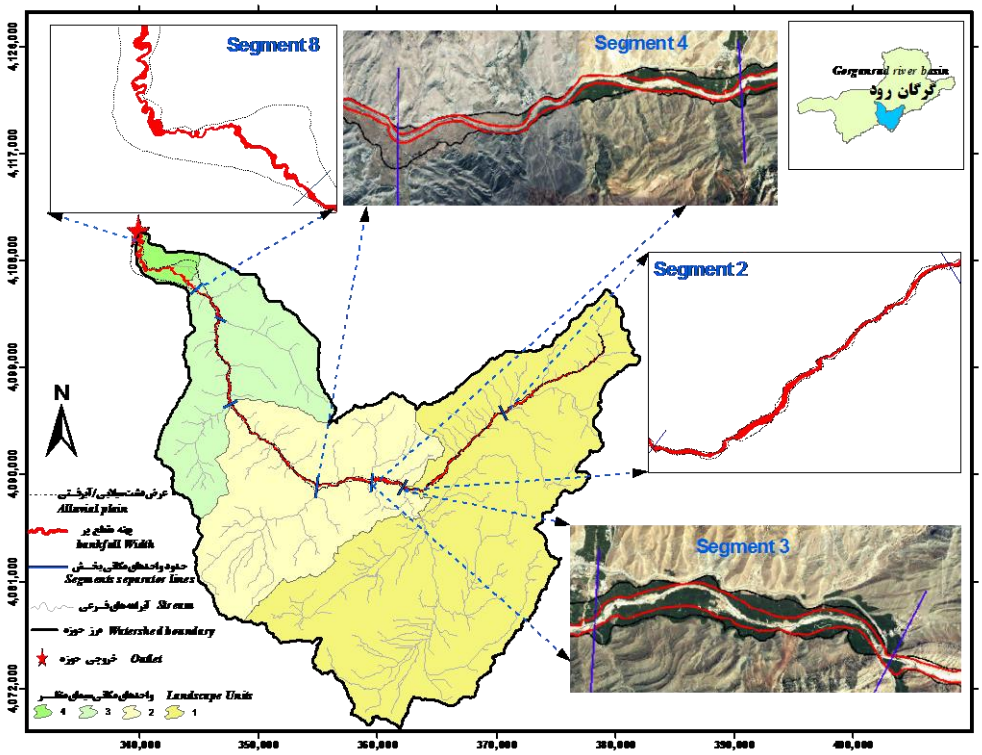


شکل ۱۰- تفکیک رودخانه بر اساس کلاس‌های محدودیت عرضی.

Figure 10. Sparating river based on lateral confinement classes.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱- مقایسه عرض پهنه مقطع پر با عرض دشت سیلابی برای تعیین شاخص محدودیت رودخانه خرمارود.

Figure 11. Compares the bankfull and alluvial plain width to determine confinement index for Khormarud River.

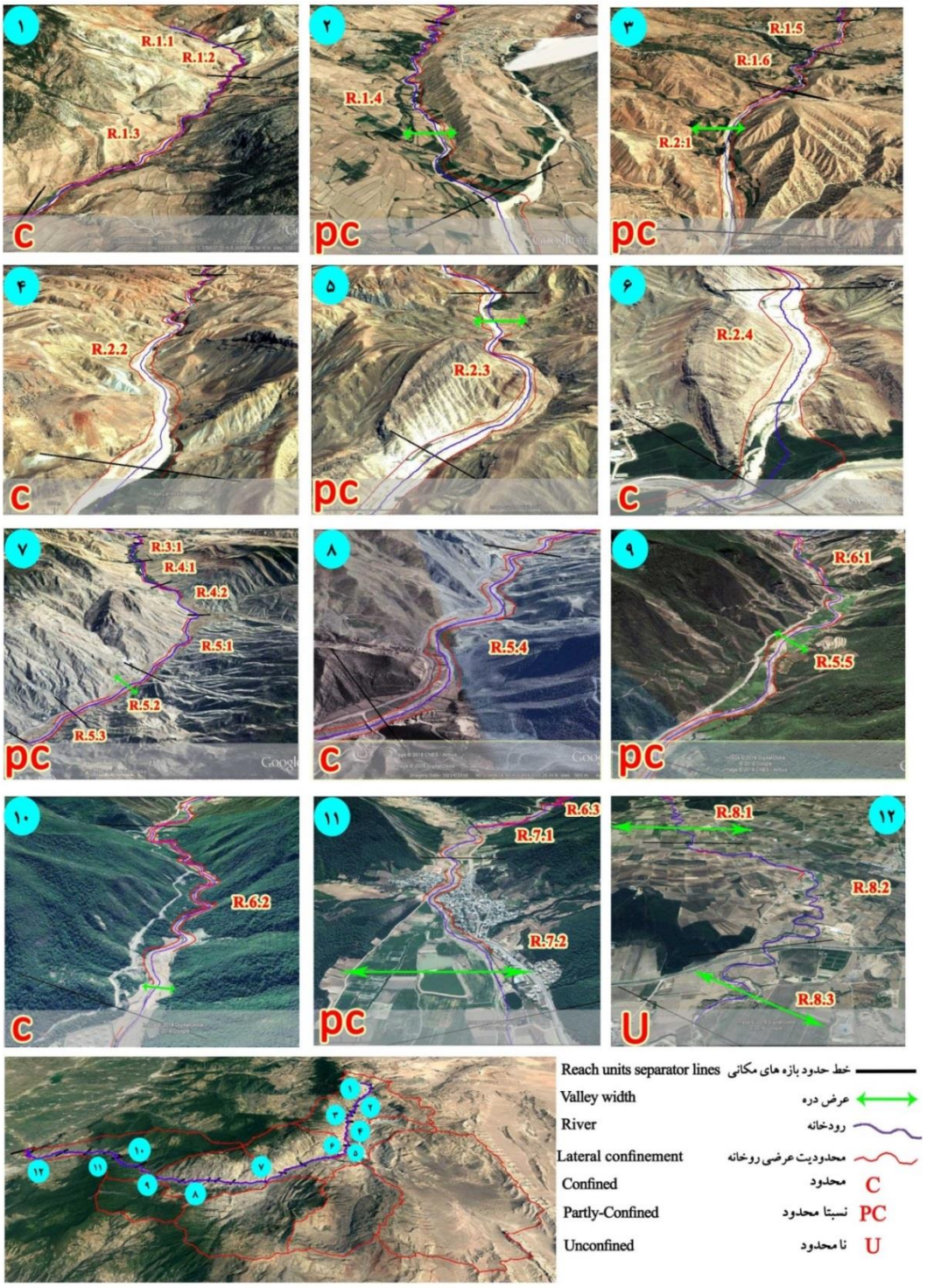
جدول ٦- برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت مختلف برای ایستگاه‌های تیل‌آباد، پل غزنوی و نوده (m^3/s).

Table 6. Estimation of peak flood discharge with different return periods for Tilabad, Ghoznavi and Nodeh station.

Return period								Probability distribution	Station
Q_2	Q_3	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}		
2.1	3.7	5.3	8.8	18.5	28.1	58.2	90.2	Log-Pearson	Tilabad
5.4	8.4	13	22	40	81	115	182	Log-Pearson	Goznavi Bridge
27	44	73	122	163	323	462	780	Log-Pearson	Nodeh

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲- نمایش شاخص و گستره محدودیت‌های عرضی در هر دو کرانه بازه‌های مکانی در امتداد رودخانه خرمارود روی تصویر گوگل ارث.

Figure 12. Illustration of the lateral confinement at reach units along the Khormarud River (Google earth).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- خلاصه‌ای از ویژگی‌های مورفولوژیکی بازه‌های مکانی رودخانه آبخیز تیل‌آباد و ارتباط آن‌ها با سایر مقیاس‌های مکانی.

Table 7. A summary of the reach unit's morphological characteristics and their relationship with other hierarchical spatial units for the Til-abad watershed.

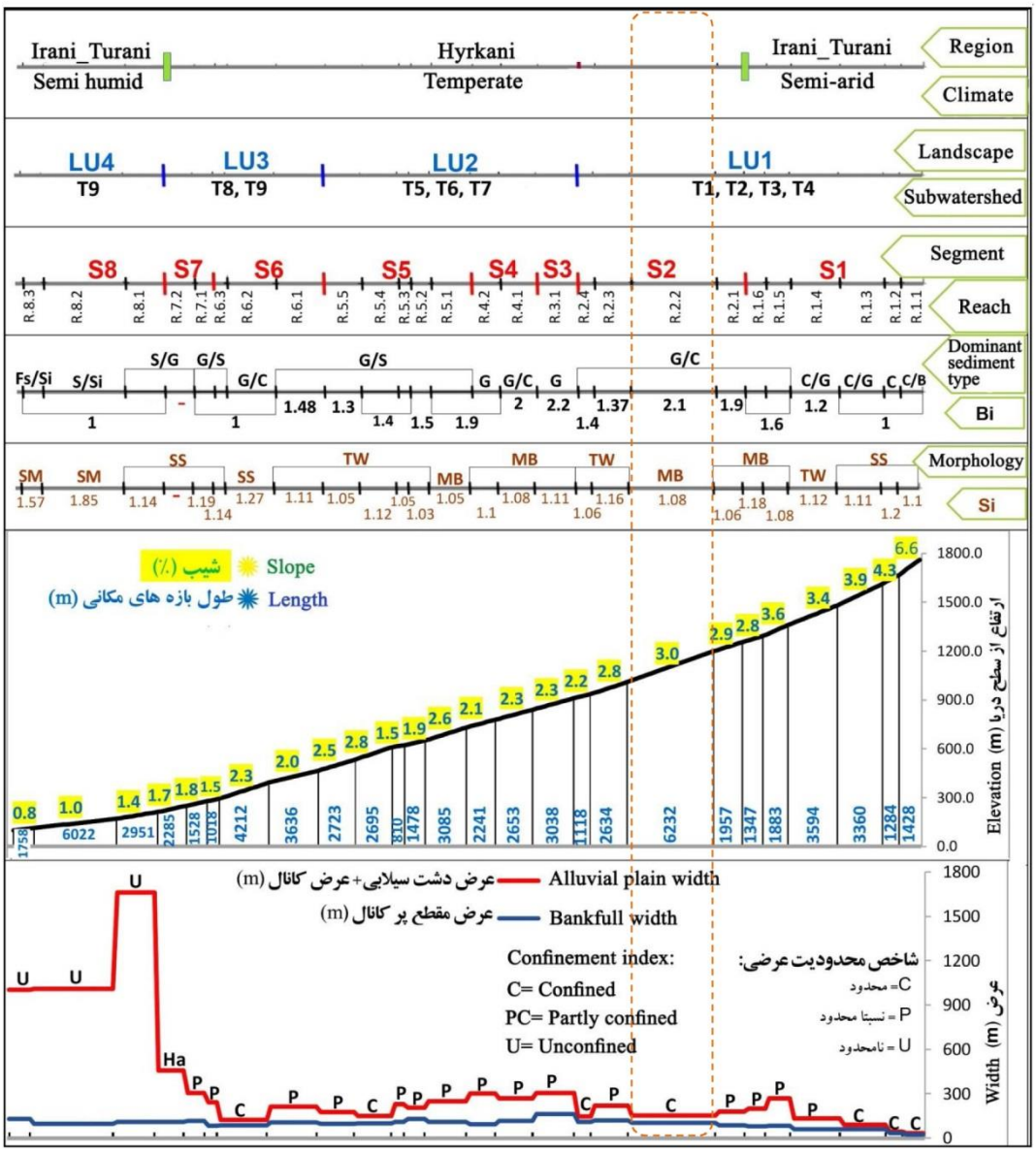
Alluvial plain width			Bankfull width			Dominant sediment calibre	Bed slop(٪)	Bi	Si	Morphology	Confinement degree	Confinement index	Confinement class	Length (m)	Reach	Segment	Landscape	Subcatchment	Region
Average	Max	Min	Average	Max	Min														
63.5	84.2	42.8	24.3	36	16.3	C/B	6.6	1	1.1	SS	100	2.6	C	1428	R.1.1	S1	LU1	T1, T2, T3, T4	Irani-turani
80.75	104.5	57	32	43.3	20	C	4.3	1	1.2	SS	100	2.5	C	1284	R.1.2				
89	168.8	71.5	60.5	93	37.5	C/G	3.9	1	1.11	SS	88.31	1.47	C	3360	R.1.3				
132.5	232.4	61.5	59	142	32.5	C/G	3.4	1.2	1.12	TW	53.74	2.25	PC	3594	R.1.4				
268.5	326.7	199	83.4	140.5	36.3	G/C	3.6	1.6	1.08	MB	51.55	3.22	PC	1883	R.1.5				
200.3	289	153.4	81	116.2	58.5	G/C	2.8	1.58	1.18	MB	55.8	2.47	PC	1347	R.1.6				
180	249.5	131	85	108.5	47.7	G/C	2.9	1.9	1.06	MB	78.8	2.12	PC	1957	R.2.1	S2			Hyrkani
152.7	361	78.4	104.5	250	40.38	G/C	3	2.1	1.08	MB	88.03	1.46	C	6232	R.2.2				
220	407.5	88.5	120	230.5	51.2	G/C	2.8	1.37	1.16	TW	83.69	1.83	PC	2634	R.2.3				
147.4	184.8	106.7	108.5	152.8	74.8	G/C	2.2	1.42	1.06	TW	96.58	1.36	C	1118	R.2.4				
305.5	426.4	93.4	161.5	231.4	72	G	2.3	2.2	1.11	MB	23.07	1.9	PC	3038	R.3.1	S3	LU2	T5, T6, T7	
268	349	129	117.5	188	74.5	G/C	2.3	2	1.08	MB	55.26	2.3	PC	2653	R.4.1	S4			
302.7	508	181.7	94	149.8	70	G	2.1	1.9	1.1	MB	32.48	3.22	PC	2241	R.4.2				
250	556.7	124	109	165.2	60	G/S	2.6	1.9	1.05	MB	48.07	2.3	PC	3085	R.5.1	S5			
208	287	154.5	128.7	205.3	92.5	G/S	1.9	1.5	1.03	TW	65.26	1.6	PC	1478	R.5.2				
230	274.5	182.5	110.5	129	97.5	G/S	1.5	1.42	1.05	TW	68.33	1.08	PC	810	R.5.3				
150.8	215.8	93	99.5	139.3	61	G/S	2.8	1.4	1.12	TW	88.04	1.52	C	2695	R.5.4				
176.7	286.5	109.5	94.8	145.5	56.8	G/S	2.5	1.3	1.05	TW	54.91	1.86	PC	2723	R.5.5				
210.8	284	113.3	104.8	199	56.5	G/S	2	1.48	1.11	TW	56.59	2	PC	3636	R.6.1	S6	LU3	T8, T9	
122	231	76	88	113	46	G/C	2.3	1	1.27	SS	88.12	1.39	C	4212	R.6.2				
242.5	366.5	152	84.5	111.5	53.5	G/S	1.5	1	1.14	SS	74.07	2.87	PC	1018	R.6.3				
303.5	488.5	232.4	115.5	190.5	72	G/S	1.8	1	1.19	SS	18.42	2.63	PC	1528	R.7.1	S7			
457.4	933	177.5	109.5	177	71	S/G	1.7	-	-	-	-	-	Ha	2285	R.7.2				
1661	2230	980.5	108.7	192.3	65	S/G	1.4	1	1.14	SS	0.0	15.28	U	2951	R.8.1	S8	LU4	T9	Irani-turani
1011	1393.5	712.5	97.8	368.3	32	S/ Si	1	1	1.85	SM	8.55	10.34	U	6022	R.8.2				
1001.5	1142.5	816.7	129.3	234	49	Fs/Si	0.8	1	1.57	SM	0.0	7.75	U	1758	R.8.3				

کلاس محدودیت (C= محدود، PC= نسبتاً محدود، U= نامحدود)، Ha= مجاری نوع صفر، مورفولوژی الگوی کانال (SS= تک‌شاخه‌ای- سینوسی، SM= تک‌شاخه‌ای- پیچان‌رود، TW= انتقالی سرگردان، MB= چندشاخه‌ای- شریانی)، قطر رسوبات غالب (B= تخته‌سنگ[1]، C = قلوه‌سنگ[2]، G= شن[3]، S= ماسه[4]، Fs= ماسه ریز[5]، Si= سیلت[6]).

1- Boulder
2- Cobble
3- Gravel
4- Sand
5- Fine sand
6- Silt

www.SID.ir

Archive of SID

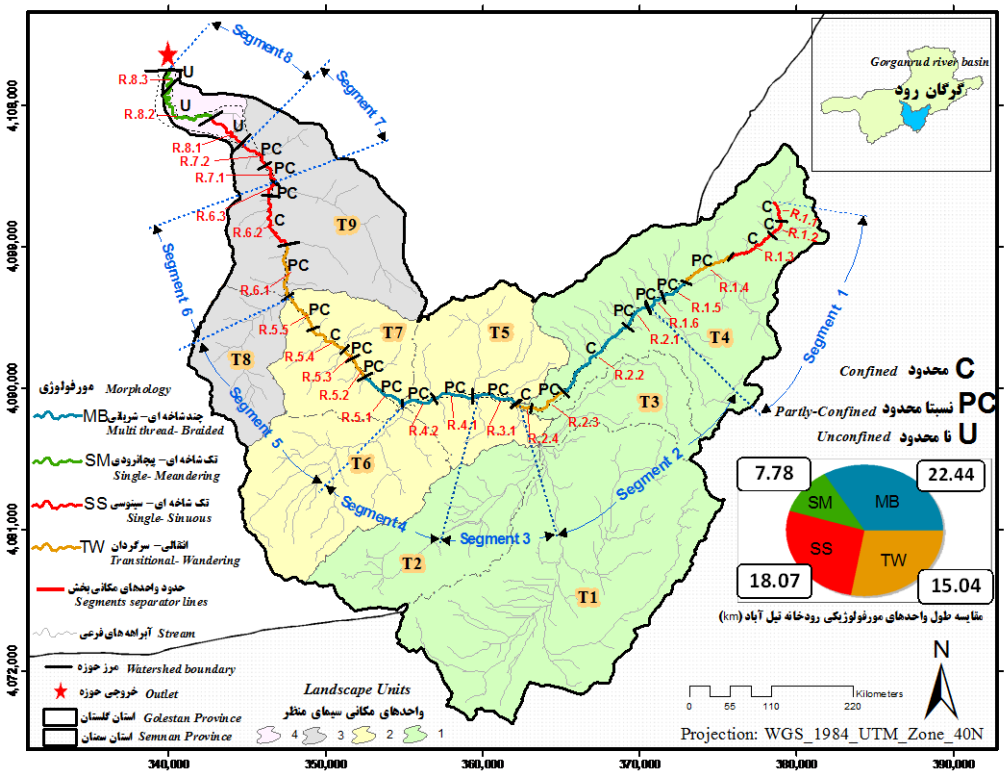


شکل ۱۳- خلاصه‌ای از ویژگی‌های مورفولوژیکی واحدهای مکانی بازه و ارتباط آن‌ها با سایر واحدهای مکانی به‌صورت سلسله‌مراتبی- چندمقیاسی. کلاس محدودیت (**C**= محدود، **PC**= نسبتاً محدود، **U**= نامحدود)، **Ha**= مجاری نوع صفر، مورفولوژی الگوی آبراهه (**SS**= تک‌شاخه‌ای- سینوسی، **SM**= تک‌شاخه‌ای- پیچان‌رود، **TW**= انتقالی- سرگردان، **MB**= چندشاخه‌ای- شریانی)، قطر رسوبات غالب (**B**= تخته‌سنگ، **C**= قلوه‌سنگ، **G**= شن، **S**= ماسه، **Fs**= ماسه ریز، **Si**= سیلت).

Figure 13. A summary of the reach unit's characteristics and their relationship with other hierarchical spatial units for the Til-abad watershed. Confinement class (C: confined, PC: partly confined, U: unconfined), Ha: Heavily artificial (type 0); Morphology /Threads and planform (SS: single- sinuous; SM: single- meandering; TW: Transitional- wandering; MB: Multi thread- Braided), Dominant sediment type (B: boulders; C: cobble; G: gravel; S: Sand; Fs: Fine sand; Si: Silt).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ١٤- سلسله‌مراتب واحدهای مکانی از آبخیز تا بازه و ارتباط مکانی آن‌ها در آبخیز تیل‌آباد.

Figure 14. Hierarchy of spatial units from catchment to reach and their relationship in the Til-abad watershed.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش در چارچوب سلسله‌مراتبی چندمقیاسی، واحدهای مکانی با مقیاس‌های مختلف در آبخیز تیل‌آباد به‌طور سلسله‌مراتبی شناسایی و تفکیک شدند که شامل دو ناحیه جغرافیایی زیستی، یک واحد آبخیز، چهار واحد سیمای منظر، هشت واحد بخش رودخانه و ٢٦ واحد بازه می‌باشد.

نوع و ترکیب سازندهای زمین‌شناسی در واحدهای سیمای منظر واقع در واحد کوهستان تقریباً نزدیک به هم هستند. در نتیجه تیپ و تراکم پوشش گیاهی، اقلیم و پستی و بلندی‌های خرد به‌ترتیب بارزترین عوامل برای تفکیک واحدهای سیمای منظر می‌باشند؛ واحد سیمای منظر دشت نیز از نظر ارتفاع، زمین‌شناسی، تیپ و تراکم پوشش گیاهی با واحد کوهستان متفاوت است اما از نظر اقلیمی با واحد سیمای منظر سه تشابه دارد.

واحد سیمای منظر یک، وسیع‌ترین واحد سیمای منظر واقع در واحد کوهستان با تیپ پوشش مرتعی است اما کم‌ترین میزان بارش را دریافت می‌کند.

در خصوص افزایش معنی‌دار مساحت آبخیز از بالادست به‌سمت پایین‌دست (با الحاق سرشاخه‌های مهم به آبراهه اصلی)، با توجه به این‌که خروجی زیرحوضه‌های T1، T2، T3 و T4 (واحد سیمای منظر یک) نزدیک به هم می‌باشند به‌عنوان بزرگ‌ترین سرشاخه الحاقی به آبراهه اصلی محسوب می‌شود؛ رواناب حاصل از این سطح از ابتدای واحد بخش S3 وارد رودخانه می‌شود. سپس زیرحوضه T6 پهناورترین سرشاخه الحاقی به بازه اصلی می‌باشد که رواناب آن از ورودی واحد بخش S4 وارد رودخانه می‌شود. با فرض یکسان بودن ویژگی‌های کنترل‌کننده‌های اصلی هیدرومورفولوژیکی در حوزه آبخیز تیل‌آباد، از نظر

www.SID.ir

Archive of SID

مساحتی، زیرحوضه‌های واحد سیمای منظر یک و زیرحوضه T6 را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین سرشاخه‌هایی دانست که روی رژیم جریان آب و رسوب اثر می‌گذارند.

از نظر محدودیت عرض، ۲۷ درصد از طول قلمرو رودخانه دارای شرایط محدود (عمدتاً در بالادست/ واحد سیمای منظر یک)، ۵۸ درصد نسبتاً محدود (عمدتاً در سیمای منظر دو و سه)، ۱۱/۵ درصد نامحدود (در پایین‌دست/ واحد سیمای منظر چهار) و ۳/۵ درصد کانال شهری (نوع صفر) تلقی می‌شود.

بیش‌ترین تغییرپذیری عرضی گسترش سیلاب مربوط به بازه‌های ٢٤، ٢٥، ٢٦ و ١٤ است و حداقل گسترش مربوط به بازه‌های محدود ۱، ۲، ۳، ۸، ۱۰، ۱۷ و ۲۰ می‌باشد.

مورفولوژی الگوی آبراهه در رودخانه مورد مطالعه به‌ترتیب شامل هشت بازه چندشاخه‌ای- سرگردان (MB)، هشت بازه انتقالی- سرگردان (TW)، هفت بازه تک‌شاخه‌ای- سینوسی (SS)، دو بازه تک‌شاخه‌ای- پیچانرود (SM) و یک کانال مصنوعی شهری می‌شود.

یکی از عوامل تفکیک آبراهه اصلی به واحد مکانی بخش، شناسایی پهنه‌هایی است که حجم زیادی از رسوب را به آبراهه اصلی وارد می‌کنند. زیرحوضه‌های T4، T6، T8 و T9 و هم‌چنین سرشاخه روستای کاشیدار در زیرحوضه T1 و سرشاخه روستای فارسیان در زیرحوضه T5 توان حمل رسوب بالا و تغذیه‌کننده‌های اصلی رسوب رودخانه هستند.

به‌علت تغییرات زمین‌شناسی بستر رودخانه و توان حمل بالای رسوبات درشت دانه سرشاخه‌های جانبی مذکور، روند تغییرات قطر رسوبات بستر با کاهش شیب رودخانه معنی‌دار نمی‌باشد.

به‌عنوان نوآوری این پژوهش، مجموعه واحدهای مکانی (از واحد مکانی ناحیه تا واحد مکانی بازه) و ویژگی‌های اصلی واحدهای مکانی بازه در قالب یک الگوی با ساختار سلسله‌مراتبی چندمقیاسی در شکل ۱۱ ارائه شده است. این ساختار این امکان را فراهم می‌کند که حدود واحدهای مکانی مختلف را مشخص و ارتباط مکانی و ویژگی‌های ساختاری بین آن‌ها را نمایش داد.

نتایج این پژوهش به‌عنوان اولین گام چرخه برنامه‌ریزی و مدیریت حوضه‌های رودخانه‌ای، نقش و سهم مهمی در ارزیابی هیدرومورفولوژیکی و تدوین برنامه مدیریت آبخیز تیل‌آباد دارد. تفکیک واحدهای مکانی مختلف حوضه مورد مطالعه به‌صورت سلسله‌مراتبی این امکان را فراهم می‌کند که در ابتدا واحدهای مکانی همگن از ناحیه تا واحدهای ژئومورفیک را شناسایی و سپس ارتباط مکانی و فرآیندهای هیدرومورفولوژیکی بین آن‌ها را شناسایی نمود. هم‌چنین برای انجام پژوهش مراحل بعدی چارچوب مذکور این امکان فراهم می‌شود که وضعیت هیدرومورفولوژیکی مربوط به هر مقیاس و ارتباط فرآیندی آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد و نیز در هر مقیاس اثرات هیدرومورفولوژیکی ناشی از فشارهای طبیعی و انسانی را شناسایی و روند اثرات آن‌ها به‌طور سلسله‌مراتبی در مقیاس‌های مکانی مختلف به‌خصوص در واحد مکانی بازه ردیابی نمود. و در آخر می‌توان برنامه‌های مدیریتی را بر اساس فشارها و وضعیت هیدرومورفولوژیکی مربوط به هر مقیاس تدوین نمود.

این چارچوب و مراحل این پژوهش قابلیت کاربرد و تعمیم به سایر حوضه‌های رودخانه‌ای کشور ایران را دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1.Alizadeh, A. 2006. Priciples applied hydrology, Ferdowsi University of Mashhad, 19th editin. (In Persian, 283)

2.Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., Bussettini, M., Camenen, B., Comiti, F., Demarchi, L., García De Jalón, D., González Del Tánago, M., Grabowski, R.C., Gurnell, M., Habersack, H., Lastoria, B., Latapie, A., Martínez-Fernández, V., Mountford, J.O., Nardi, L., O'Hare, M.T., Percopo, C., Rinaldi, M., Surian, N., Weissteiner, C., and Ziliani, L. 2014. Thematic Annexes of the Multi-scale Hierarchical Framework. D2.1 Part 2. of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656.

3.Blamauer, B., Camenen, B., Grabowski, R.C., Gunn, I.D.M., Gurnell, A.M., Habersack, H., Latapie, A., O'Hare, M.T., Palma, M., Surian, N., and Ziliani, L. 2014. Catchment Case Studies: Partial Applications of the Hierarchical Multi-scale Framework. REFORM Project, Deliverable 2.1 Part 4, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management).

4.Blamauer, B., Belletti, B., García De Jalón, D., González Del Tánago, M., Grabowski, R., Gurnell, A.M., Habersack, H., Klösch, M., Marcinkowski, P., Martínez, V., Nardi, L., Okruszko, T., and Rinaldi, M. 2014. Catchment Case Studies: Full Applications of the Hierarchical Multi-scale Framework. Deliverable D2.1 Part 3, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management).

5.Boon, P.J., and Raven, P.J. 2012. Front Matter, in River Conservation and Management, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/ 9781119961819.fmatter.

6.Brierley, G.J., and Fryirs, K.A. 2005. Geomorphology and river management: applications of the river styles framework. Blackwell, Malden.

7.Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E., and Hurley, M.D. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. Environ Manage. 10: 199-214.

8.Findlay, S.J., and Taylor, M.P. 2006. Why rehabilitate urban river systems? Area. 38: 312-325.

9.Gurnell, A.M., Rinaldi, M., Belletti, B., Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., Buijse, D., Bussettini, M., Camenen, B., Comiti, F., and Demarchi, L. 2016. A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. Aquat Sci. 78: 1-16.

10.Gurnell, A.M., Belletti, B., Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., Buijse, A.D., Bussettini, M., Camenen, B., Comiti, F., Demarchi, L., Garcla De Jalon, D., González, Del Tánago M., Grabowski, R.C., Gunn, I.D.M., Habersack, H., Hendriks, D., Henshaw, A., Klosch, M., Lastoria, B., Latapie, A., Marcinkowski, P., Martinez-Fernández, V., Mosselman, E., Mountford, J.O., Nardi, L., Okruszko, T., O'Hare, M.T., Palma, M., Percopo, C., Rinaldi, M., Surian, N., Weissteiner, C., and Ziliani, L. 2015. A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour. Aquatic Sciences, DOI 10.1007/s00027-015-0424-5.

11.Gurnell, A.M., Bussettini, M., Camenen, B., González Del Tánago M., Grabowski, R.C., Hendriks, D., Henshaw, A., Latapie, A., Rinaldi, M., and Surian, N. 2014. A hierarchical multi-scale framework and indicators of hydromorphological processes and forms. Deliverable 2.1, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management).

12.Gurnell, A.M., González Del Tánago M., Rinaldi, M., Grabowski, R.C., Henshaw, A., O'Hare, M.T., Belletti, B., and Buijse, A.D. 2015 Development and Application of a Multi-scale Process-Based Framework for the Hydromorphological Assessment of European Rivers. Engineering Geology for Society and Territory, 3: 399-342.

www.SID.ir

Archive of SID

13.Habersack, H.M. 2000. The river-scaling concept (RSC): a basis for ecological assessments. Hydrobiologia 422: 423. 49-60.
14.Hosseinzadeh, M.M., and Ismaili, R. 2005. Investigation of the efficiency of Rozgen classification (Case study: the Babylonian and Talar rivers), Sarzamin Geographical Territory, 2: 110-122. (In Persian)
15.Layeqi, P., and Karam, A. 2014. Geomorphologic classification of Jajroud River by Rosgen method, Quantitative Geomorphological Researches, 3: 130-143. (In Persian)
16.Ismaili, R., and Hosseinzadeh, M.M. 2015. Comparison of Rosgen method and the River Style Framework for Mountain Rivers, A Case Study of Northern Alborz, Lavich Watershed. J. Earth Sci. Res. 6: 64-79. (In Persian)
17.Johnson, B.H., and Padmanabhan, G. 2010. Regression estimates of design flows for ungaged sites using bankfull geometry and flashiness, Catena, 81: 117-125.
18.Mainstone C.P., and Holmes, N.T.H. 2010. Embedding a strategic approach to river restoration in operational management processes - experiences in England. Aquatic Conservation of Marine Freshwater Ecosystems.
19.Makhdoum, M.F. 2014. Fundamental of Landuse Planning, Tehran University, 289p.
20.Montgomery, D.R., and Buffington, J.M. 1997. Channel reach morphology in mountain drainage basins. Geol. Soc. Am. Bull. 109: 596-611.
21.Montgomery, D.R., and Buffington, J.M. 1998. Channel processes, classification and response potential. In: Naiman, R.J., Bilby, R.E. (eds) River ecology and management. Springer-Verlag Inc., NewYork, Pp: 13-42.
22.Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., and Bussettini, M. 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: the morphological quality index (MQI). Geomorphology 180-181: 96-108.
23.Rinaldi, M., Gurnell, A.M., González Del Tánago, M., and Bussettini, M. 2015. Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. Aquatic Sciences. 78: 17-33.
24.Roni, P., and Beechie, T. 2013. Stream and watershed restoration - A guide to restoring riverine processes and habitats. John Wiley & Sons, Ltd, 290p.
25.Rosgen, D. 1994. A classification of natural rivers. Wildland Hydrology, 157649 U.S. Highway 160, Pagosa Springs, CO 81147.

www.SID.ir

Arc

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(6), 2020
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.15114.3024

Application of a hierarchical multi-scale framework to delineating spatial units of watersheds (Case study: theTil-abad Watershed, Golestan Province)

Gh.R. Khosravi[1], *A. Sadoddin[2], M. Ownegh[3], A.R. Bahremand[2] and H. Mostafavi[4]

[1]Ph.D. Student of Watershed Management Science and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, [2]Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, [3]Professor, Dept.of Desert Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, [4]Associate Prof., Dept. of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Iran
Received: 05.20.2018; Accepted: 04.28.2019

Abstract

Background and Objectives: To describe and evaluate all the complexities and to develop river ecosystem management plans, it is necessary to examine all the components at different spatial and temporal scales. In this regard, a hierarchical multi-scale framework has been applied as a flexible, open-ended approach to conduct hydro-morphological assessment and also to support river basin managers through exploring the causes of hydro-morphological management problems and devising sustainable solutions. The framework has been suggested by REFORM Project (REstoringrivers FOR effective catchment Management). Generally, the hydro-morphological assessment framework and management plan cycle in river basins consists of four main steps as: 1) Delineation and characterization of spatial units; (2) Hydro-morphological assessment of past, current and future trends; 3) Identification and prioritization of pressures and 4) Developing management plan and implementing measures for restoration and rehabilitation The present paper introduces and applies the first stage of this framework in Tilabad watershed (Golestan province - North of Iran). The separating of the different spatial units of the study area allows the first to identify homogeneous spatial units from the region to the geomorphic units and then identify the spatial relationship and hydromorphological processes between them. It is also possible to detect the hydromorphological effects of any natural and human pressure on different scales.

Materials and Methods: Remote sensing and GIS techniques along with several additional field surveys as well as some data and information on hydrology, climate, topography, geology and land cover, valley characteristics and channel and floodplain morphology were utilized to divide the river system into internally consistent spatial units including bio-geographical regions, catchments, landscapes, river segments, river reaches and geomorphic units.

Results: Based on the above-mentioned methodological framework, the hierarchy of spatial units in the study area contains two units of bio-geographical region, one unit of catchment, four units of landscape, eight segments units and 26 Reach units.

Conclusion: The results of this research has important contributions to systemic hydro-morphological assessment and development of management plans in the Til-abad Watershed by increasing process understanding and by providing descriptions on the characteristics and the relationship between different spatial units. This hierarchical multi-scale framework has the applicability and generalizability to other river basins in Iran formulating the integrated assessment and management practices.

Keywords: Hydro-morphology, Landscape unit, Reach unit, REFORM Project, River management

* Corresponding Author; Email: amir.sadoddin@gmail.com

www.SID.ir

www.SID.ir