

بررسی و شناخت ویژگی‌های عمومی رودخانه‌های استان خراسان رضوی در زیرحوزه‌های کویر مرکزی، کویر نمک و نمکزار خواف

سید حسین رجائی^{۱*}، کاظم اسماعیلی^۲، علی باقریان کلات^۳، زهره شیبانی‌زاده^۴، علی واحدی طرقي^۵
۱ و ۳- محقق بخش تحقیقات آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (h.rajaei@areeo.ac.ir)
۲- دانشیار گروه مهندسی آب - دانشگاه فردوسی مشهد
۴ و ۵- کارشناس بخش تحقیقات آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

چکیده

بررسی و شناخت ویژگی‌های رودخانه‌ها در حوزه‌های آبخیز یکی از الزامات مدیریت کلان منابع آب است. در این تحقیق ضمن بررسی حوزه‌های آبریز اصلی کشور بر اساس تقسیم‌بندی تماب در نیمه جنوبی استان خراسان شامل حوزه کویر مرکزی، کویر نمک و نمکزار خواف، اطلاعات عمومی رودخانه‌ها و مسیل‌های موجود تدوین و استخراج شده است. تعداد ۴۲ زیر حوزه آبریز در این تقسیم‌بندی وجود دارد که اطلاعات به تفکیک برای هر زیرحوزه تدوین شد. شبکه آبراهه‌ها بر اساس نقشه‌های مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ بطور کامل براساس توپوگرافی زمین تدقیق شده و در محیط GIS پردازش شد. بر اساس نتایج حاصل در این سه حوزه مجموعاً ۲۱۲۰۴/۵ کیلومتر آبراهه وجود دارد. از این مقدار ۶۳/۳ درصد آبراهه مستقیم، ۳۶/۷ درصد آبراهه شریانی است. در این حوزه‌ها آبراهه با مسیر پیچانرودی وجود ندارد. همچنین ۵۵/۹ درصد آبراهه‌ها جوان، ۳۶ درصد بالغ و ۸/۱ درصد نیز آبراهه پیر هستند. رژیم جریان رودخانه‌های استان در این سه حوزه اصلی، رژیم فصلی و سیلابی است.

واژه‌های کلیدی: پلان رودخانه، حوزه آبخیز، حوزه شرق ایران، طبقه‌بندی رودخانه، فلات مرکزی

مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین کننده آب در هر منطقه به عنوان شریان اصلی حیات در اکوسیستم‌های مختلف محسوب می‌شوند. حفاظت و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها و همچنین حراست از بستر و حریم رودخانه‌ها از مهم‌ترین مسئولیت‌های بهره‌برداران در یک حوضه‌ی آبخیز است. چنانچه این مواهب خدادادی به‌طور مطلوبی حفظ نشوند، خسارات اقتصادی و اجتماعی را در پی دارد. به‌طور کلی حفظ منابع طبیعی می‌تواند ضمن تأمین پایداری رژیم آبی رودخانه‌ها و ویژگی‌های هندسی رودخانه‌ها، موجب بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی را فراهم کند. این عمل جز با برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح امکان ندارد (تلوری، ۱۳۸۳). یکی از مهمترین عوامل در مدیریت حوضه‌های آبخیز، داشتن اطلاعات مناسب و کافی و شناخت شرایط و ویژگی‌های خاص هر حوضه است. در خصوص مدیریت منابع آب در حوضه‌های آبخیز، ویژگی‌های عمومی رودخانه‌ها و مسیل‌های موجود در یک حوضه در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مدیران بسیار اهمیت دارد. سطح برنامه‌ریزی در هر مسئله با توجه به گستردگی حوزه مدیریتی متفاوت است. در خصوص مدیریت رودخانه‌ها در بعد کلان ملی و منطقه‌ای در هر استان لزوم شناخت کلی از وضعیت رودخانه‌ها از الزامات تصمیم‌گیری است. از مباحث عمده و مهم در علم مهندسی رودخانه، شناخت سامانه رودخانه است که از نظر شکل کلی، ابعاد هیدرولیکی، نیم‌رخ طولی و نیز روند مکانیزم تغییرات آن، ریخت‌شناسی رودخانه نامیده می‌شود، به عبارت دیگر عواملی مانند زمین‌شناسی، تکتونیک و توپوگرافی بر مورفولوژی رودخانه‌ها و پیش‌بینی روند تغییرات رودخانه‌ای تأثیر دارند. برخورد با رودخانه باید کاملاً هوشیارانه و مبتنی بر قواعد خاص حاکم بر آن باشد، زیرا هرگونه تغییر هرچند موضعی در ساختار رودخانه موجب یکسری تحولات جدید در محدوده گسترده‌تری از آن خواهد بود که لازم است قبل از اعمال هر نوع اقدامی، عکس‌العمل رودخانه به آن پیش‌بینی شود (عباسی، ۱۳۸۸). در راستای شناخت ویژگی‌ها و مشخصات رودخانه‌های کشور طرح پژوهشی "بررسی و شناخت ویژگی‌های رودخانه‌ها و مسیل‌های استان خراسان رضوی" در قالب یک طرح ملی در استان خراسان رضوی به انجام رسید این پژوهش در چهار زمینه‌ی ویژگی‌های عمومی رودخانه‌ها، فرسایش و رسوب، پوشش گیاهی و سازه به انجام رسیده است. در این مقاله سعی شده است در قالب بخشی از این طرح، ویژگی‌های عمومی رودخانه‌ها و مسیل‌های استان خراسان مورد بررسی و ارزیابی قرارگیرد. نتایج این پژوهش می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر مدیران در برنامه‌ریزی‌ها و کارهای اجرایی کمک کند.

مروری بر منابع

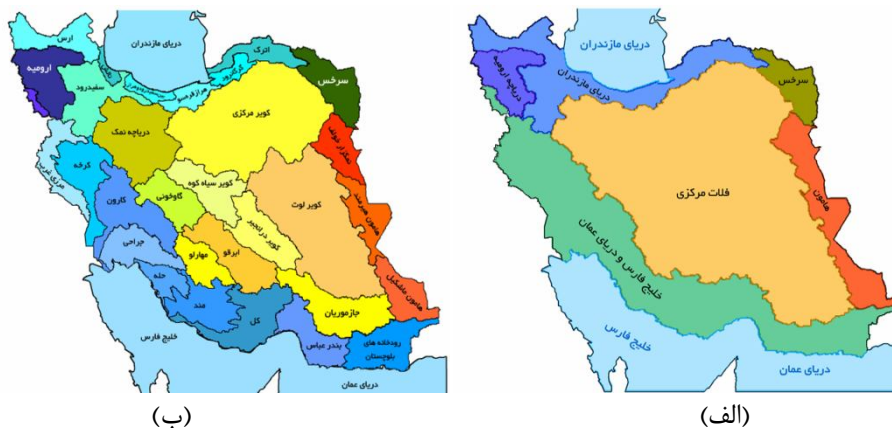
شناخت ویژگی‌های رودخانه‌ها ابتدا مبتنی بر درک مفاهیم اولیه هندسه و هیدرولیک رودخانه‌ها بود. در این رابطه (Lane, ۱۹۵۵) تغییرات مورفولوژی رودخانه ناشی از اصلاح آن و تغییر دبی آب و رسوب را مطالعه نمود. گزارش‌های مشابه و جامع‌تری برای بیان واکنش‌های رودخانه نسبت به تغییر شرایط حاکم بر آن، به وسیله (Leopold و Maddock, ۱۹۵۳) و (Schumm, ۱۹۷۱) و (سانتوس و کایادو، ۱۹۷۲) ارائه شده است. نتیجه کلی تحقیقات موارد عمومی در خصوص روابط دبی آب و دبی رسوب، رابطه ابعاد جریان و دبی، نسبت عمق و عرض جریان، رابطه دبی رسوب و شیب رودخانه و پلان مسیر رودخانه را بیان می‌کرد. (لئوپولد و میلر، ۱۹۵۶) وضعیت هیدرولیکی - هندسی بخش‌های پایاب رودخانه‌های فصلی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند در یک دبی با دوره بازگشت ثابت غلظت رسوبات معلق بر ابعاد هندسی پایین دست مؤثر است. (روزگن، ۱۹۹۴) انواع رودخانه‌های همگن را در کانادا و نیوزلند طبقه‌بندی کرد. در این طبقه‌بندی براساس هفت عامل عمده‌ی مورفولوژیکی جریان در بازه‌های همگن تقسیم شد و با استفاده از سامانه طبقه بندی سلسله مراتبی، رودخانه‌ها مورد تقسیم‌بندی قرار گرفت. (پارسونز و همکاران، ۲۰۰۲) با مرور کلی روش‌های ارزیابی فیزیکی رودخانه، سامانه طبقه بندی رایج در استرالیا را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها همچنین توانایی انطباق سیماهای ذاتی ژئومورفولوژی و شرایط حاکم بر رودخانه‌های استرالیا را مورد ارزیابی قرار دادند. (مکدول و هیوز، ۲۰۰۳) پس از طبقه بندی کانال‌های رودخانه‌ای و رقومی کردن عکس‌های هوایی در محیط GIS با پردازش داده‌های رقومی، سامانه طبقه‌بندی جدیدی ارائه کردند. در خصوص طبقه‌بندی رودخانه‌ها (راموس و جوناس، ۲۰۱۰) موضوع را با رویکرد سیستمی جامع مورد بررسی قرار دادند و موضوعات مختلف اعم از هیدرولیک جریان، فرسایش و رسوب، اکوسیستم رودخانه و مورفولوژی را در یک فرایند جامع ضامن موفقیت دانستند. (حسینی و همکاران، ۱۳۸۵)، یک طرح تحقیقاتی با عنوان «بررسی ویژگی‌های رودخانه‌ها و مسیل‌های کشور» را در ۱۰ استان کشور در سه مرحله انجام دادند. در مرحله نخست نقشه‌های پایه توپوگرافی، زمین‌شناسی و... مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند،

در مرحله دوم، اطلاعات جمع‌آوری شده با در نظر گرفتن شاخص‌های تخصصی و بر اساس ویژگی‌هایی مانند مورفولوژی رودخانه، پوشش گیاهی اطراف رودخانه، نوع فرسایش، رژیم رودخانه، سیل و... دسته‌بندی کردند. در مرحله سوم، بر اساس دسته‌بندی‌های انجام گرفته و با توجه به سیاست‌گذاری‌های توسعه‌ای کشور، اولویت‌های تحقیقاتی و اجرایی مهندسی رودخانه در هر یک از مناطق مورد مطالعه، ارائه دادند. (بوستانی و اسماعیلی، ۱۳۹۴) ضمن بررسی رویکردهای علم مهندسی رودخانه در گذشته و چشم‌انداز آینده آن، بیان می‌کنند که مهندسی رودخانه عموماً می‌تواند به‌عنوان کاربرد عملی علوم مرتبط با مهندسی آب برای شناخت رفتار رودخانه‌ها در آینده تعریف شود. متخصصین این حوزه در حال حاضر باید بر علمی نظیر هیدرولوژی، هیدرولیک مجاری روباز، مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی، هیدرولیک رسوب و سازه‌های هیدرولیکی احاطه‌ی کامل داشته باشند. (بافینگتون و مونتگموری، ۲۰۱۳) انواع طبقه‌بندی رودخانه‌ها را در دو گروه عمده توصیفی و فرایندی تقسیم کردند. بر اساس نظر آن‌ها بیشتر روش‌های طبقه‌بندی موجود در گروه طبقه‌بندی توصیفی قرار می‌گیرند. هر چند در این روش‌ها بررسی‌های کمی و اندازه‌گیری انجام می‌شود ولی فرایندی که مولد وضع موجود باشد مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد. (Habersack و همکاران، ۲۰۱۶) موضوع چالش‌های مدیریتی در یک حوضه رودخانه را بررسی کردند و به‌عنوان نمونه رودخانه دانوب را مبنای مطالعه قرار دادند. در این تحقیق تغییرات مورفولوژیک رودخانه در طی سال‌های گذشته بررسی شد. نتایج نشان داد بر اساس تغییرات ایجاد شده باید محدوده‌ی رودخانه دانوب به چهار بازه مختلف تقسیم شود و در مدیریت آن‌ها به‌صورت جداگانه طرح‌های اجرایی تعریف شود. استفاده از دانش‌های نوین در مدیریت رودخانه‌ها نیز از جمله مباحث مرتبط با رودخانه‌ها و مسیل‌ها در یک حوضه است. در این خصوص می‌توان به مطالعات (Crosato و Siviglia، ۲۰۱۶) اشاره کرد که موضوع روش‌های عددی در مدل‌سازی مورفودینامیک رودخانه را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها مدل‌های مورفودینامیکی موجود را بررسی کردند. بر اساس نظر آن‌ها عدم اطمینان در نتایج مدل‌های مورفودینامیکی هنوز وجود دارد. آن‌ها نیاز این مدل‌ها به طیف وسیعی از اطلاعات زمانی و مکانی اولیه به عنوان ورودی مدل را علت این امر بیان کردند. (Chakraborty، ۲۰۱۷) تغییرات پیرامونی رودخانه کوما در کیوشو ژاپن را مورد بررسی قرار داد و نشان داد تغییر سبک زندگی از حالت سنتی به زندگی مدرن در حوضه رودخانه کوما در طی دهه‌های گذشته چه تغییراتی در شرایط اکوسیستمی رودخانه و همچنین حاشیه و مورفولوژیک رودخانه داشته است. (Cooke و Veale، ۲۰۱۷) موضوع مدیریت یکپارچه رودخانه را به‌عنوان رویکرد نوین مهندسی رودخانه بیان و به‌عنوان نمونه روند تاریخی مدیریت رودخانه بزرگ (Grand River) در جنوب آنتاریو از دهه ۱۹۳۰ تا کنون را به بحث گذاشتند و چهار دوره اصلی در مدیریت این رودخانه در کانادا را بیان کردند.

آنچه تاکنون بیان شد نشان می‌دهد مدیریت و بهره‌برداری از رودخانه‌ها و مسیل‌ها نیازمند جامع‌نگری در همه ابعاد است و در این خصوص داشتن اطلاعات کافی و بانک جامع اطلاعات در زمینه‌های مختلف مرتبط با رودخانه از ضروریات است. در تحقیق حاضر با نگاه کلی به روش‌های قبلی سعی شده است ویژگی‌های کلی رودخانه‌های استان بر اساس مفاهیم پایه بررسی شود و بانک اطلاعاتی مربوطه فراهم شود تا در تحقیقات آتی بسته به اهداف پژوهش‌های مختلف از آن استفاده شود. قطعاً این تحقیق نیاز به تکمیل اطلاعات در سایر بخش‌ها و فرایندهای مرتبط با رودخانه‌های استان خواهد داشت. در این مقاله ویژگی‌های عمومی رودخانه‌ها و مسیل‌های استان در نیمه جنوبی استان که از نظر اقلیمی مشابهت دارند در سه حوضه آبریز کویر مرکزی، کویر نمک و نمکزار خواف ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

شناخت ویژگی‌های رودخانه‌ها و مسیل‌های استان خراسان بر اساس تقسیمات حوضه‌های اصلی آبریز کشور طی دو مرحله انجام شده است. در مرحله اول مطالعات در حوضه آبریز قره‌قوم و حوضه اترک در سال ۱۳۸۵ انجام شد و در مرحله دوم مابقی مساحت استان که با حوضه‌های آبریز فلات مرکزی و حوضه شرق کشور منطبق بود مورد مطالعه قرار گرفت. در ابتدا مبنای تقسیمات حوضه‌های آبریز ارائه می‌شود. بر اساس تقسیم‌بندی انجام شده به‌وسیله موسسه تحقیقات منابع آب کشور (تماب)، حوضه‌های اصلی آبریز ایران به شش حوضه تقسیم شده است که عبارتند از ۱- حوضه آبریز دریای مازندران، ۲- حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان، ۳- حوضه آبریز دریاچه ارومیه، ۴- حوضه آبریز فلات مرکزی، ۵- حوضه آبریز شرق کشور و ۶- حوضه آبریز قره‌قوم (سرخس). این شش حوضه در تقسیم‌بندی رتبه دو به ۳۰ زیرحوضه دیگر تقسیم شده است. شکل ۱ وضعیت این شش حوضه رتبه ۱ و ۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۱- (الف) حوضه های شش گانه رتبه یک، (ب) حوضه های رتبه دو

این حوضه ها بر اساس شرایط توپوگرافی و شبکه ی آبراهه ها به ۶۰۹ واحد مطالعاتی کوچک تر تقسیم شده است. در آخرین تقسیم بندی ۱۱۱۷ حوضه آبریز مستقل که عمدتاً منطبق بر دشتهای کشور است، در این واحدهای مطالعاتی تفکیک شده است. مبنای برنامه ریزی های ملی و منطقه ای در خصوص مسائل آب بر مبنای این حوضه های ۱۱۱۷ گانه است. در فعالیتهای اجرایی در مقیاس محلی و شهرستانی متناسب با موضوع، حوضه های آبریز کوچکتر تعریف و مطالعه می شود. استان خراسان رضوی بر اساس این تقسیمات با پنج حوضه از حوضه های آبریز رتبه دو شامل ۱- قره قوم، ۲- اترک، ۳- کویر مرکزی، ۴- کویر نمک و ۵- نمکزار خواف تلاقی دارد. شکل ۲ وضعیت استان در این خصوص و جدول ۱ مساحت هریک از این بخش ها را نشان می دهد.

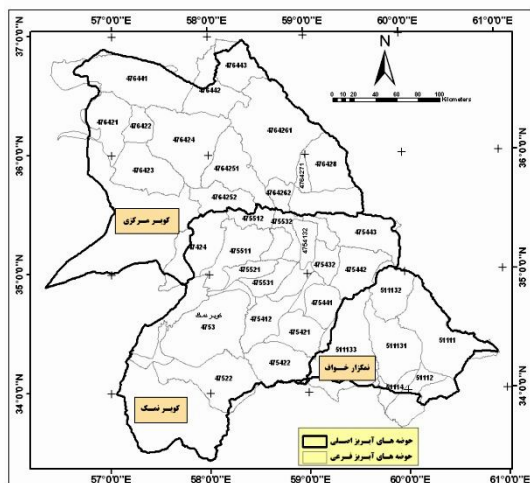


شکل ۲- وضعیت حوضه های آبریز اصلی کشور در استان خراسان رضوی

جدول ۱- مساحت حوضه های آبریز در استان

نام حوضه	مساحت حوضه (Km ²)
اترک	۱۸۱۲/۷۹
قره قوم	۴۳۷۶۴/۴۲
کویر مرکزی	۳۵۰۸۷/۷۹
کویر نمک	۲۳۰۸۵/۰۹
نمکزار خواف	۱۱۷۷۷/۲

در این مطالعه بخش جنوبی استان که از نظر اقلیمی مشابه یکدیگر هستند و شامل حوضه های کویر مرکزی، کویر نمک و نمکزار خواف می شود، ارائه شده است. تقسیم بندی نتایج مطالعات نیز بر اساس کوچکترین تقسیمات حوضه های آبریز انجام شده است. با توجه به عدم انطباق مرز حوضه های آبریز با حدود تقسیمات کشوری استان، حوضه هایی که بیش از ۵۰ درصد مساحت آنها در داخل مرز سیاسی استان خراسان رضوی قرار داشته است مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس تعداد ۴۲ حوضه آبریز منطبق بر محدوده مطالعات بود که به تفکیک در جدول ۲ و نقشه محدوده ها در شکل ۳ ارائه شده است. کدهای ارائه شده در جدول و نقشه بر اساس کدبندی حوضه ها در تقسیمات تمام است.



جدول ۲- کد حوضه های آبریز مطالعاتی

نمکزار خواف	کویر نمک			کویر مرکزی	
	475443	475421	47521	4764262	47424
51111	475511	475422	47522	4764271	476421
51112	475512	475431	4753	4764272	476422
511131	475521	475432	475411	476428	476423
511132	475522	475433	475412	476441	476424
511133	475531	475441	4754131	476442	4764251
51114	475532	475442	4754132	476443	4764252
					4764261

شکل ۳- نقشه تطابق حوضه های آبریز بر اساس تقسیمات تمام در مطالعه حاضر

شبکه آبراهه ها

پس از مشخص شدن محدوده مطالعاتی با توجه به گستردگی شبکه آبراهه های موجود و سطح کار، مقیاس مطالعه براساس نقشه های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری انتخاب شد. نقشه های رقومی در این مقیاس موجود است ولی با توجه به فرایند رقومی سازی نقشه های مذکور نیاز به اصلاحات زیادی دارد. فایل های رقومی نقشه شبکه آبراهه های فعلی دارای اشکالات متعددی است که برخی از آن ها به شرح زیر است.

اشکالات موجود

در شرایط فعلی با وجود تلاش بخش های مختلف اجرایی و مدیریتی کشور در خصوص تکمیل اطلاعات حوضه های آبخیز کشور و وضعیت رودخانه ها و آبراهه ها، به دلیل گستردگی و حجم زیاد کار عملاً بسیاری از نقشه ها و لایه های اطلاعاتی تهیه شده دارای نواقص و ایراداتی است که همواره بهره برداران و خصوصاً مهندسين طراح و مشاور را دچار مشکل می کند. برخی از این موارد در رابطه با لایه اطلاعاتی شبکه آبراهه های کشور که تقریباً در تمامی حوضه های آبریز مشاهده می شود عبارتند از: عدم پیوستگی آبراهه ها، عدم تطابق مسیر برخی آبراهه ها با توپوگرافی زمین، عدم اتصال سرشاخه ها با آبراهه اصلی، عبور برخی آبراهه ها از مرز حوضه، انشعاب رودخانه به سمت پایین دست، ابهام در مسیرهای شریانی، اشکالات مرزی حوضه های آبریز. این موارد موجب شد در این مطالعه ابتدا نسبت به رفع نواقص موجود اقدام شود و نقشه پایه و یک پارچه شبکه آبراهه های استان تهیه شود.

اصلاح لایه اطلاعاتی شبکه آبراهه های استان

در این خصوص با توجه به این که در نقشه های مذکور مسیر آبراهه ها بعضاً اختلافاتی با مسیرهای طبیعی رودخانه دارد، برای تدقیق مسیرها، کلیه رودخانه ها از نقشه ای با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استخراج شد و سپس این لایه اطلاعاتی با نقشه های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ موجود مطابقت داده شد و مسیرهای موجود از روی لایه اطلاعاتی مربوط به نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ مجدداً استخراج شد. سپس با توجه به برخی اشکالات مربوط به لایه رقومی نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ نظیر برخی جابجایی ها (shift)، به کمک اطلاعات موجود ابتدا برای کلیه سطح استان نقشه ای DEM براساس داده های ماهواره ای راداری SRTM با دقت پیکسل سایز ۳۰ متر تهیه شد. سپس با ترکیب نقشه شبکه آبراهه ها، مواردی که مسیر آبراهه از محل خط القعر عبور نمی کرد اصلاح شد. همچنین با توجه به وضعیت شیب، مرزهای حوضه در محل هایی که بر خط الراس منطبق نبود اصلاح شد. در خصوص محل اتصال سرشاخه ها به مسیر اصلی با توجه به نقشه ای DEM و شیب آبراهه کلیه نقاط اتصال اصلاح گردید. این امر بیشتر در نواحی دشتی مشاهده می شد. برای اصلاح مسیر آبراهه نیز به کمک تصاویر ماهواره در نرم افزار Google Earth و قرار دادن لایه رقومی مسیر آبراهه بر روی آن، مسیر صحیح و خط سیر اصلی

آبراهه مشخص شد. همزمان در این مرحله پیوستگی کلیه آبراهه‌ها و نحوه اتصال شاخه‌های مختلف رودخانه‌ها نیز اصلاح شد. در پایان این مرحله شبکه کامل رودخانه‌ها و مسیل‌های استان در حوضه‌های آبریز فلات مرکزی و حوضه شرق ایران با رعایت تطابق با توپوگرافی زمین و پیوستگی مسیرها حاصل شد.

تکمیل اطلاعات رودخانه‌ها

الف- مشخصات عمومی حوضه‌ها

در این بخش برای هر حوزه آبریز اطلاعات زیر استخراج شد:

- نام حوضه اصلی: به نام حوضه اصلی کشور از حوضه‌های ششگانه است که محدوده‌ی مطالعاتی این طرح در خراسان رضوی با حوضه‌ی فلات مرکزی و حوزه‌ی آبریز شرق کشور منطبق است.

- نام حوزه آبریز رتبه ۲: در حوضه اصلی فلات مرکزی، دو زیر حوضه کویر مرکزی و کویر نمک و در حوضه شرق کشور، زیرحوضه نمکزار خواف قرار داشت.

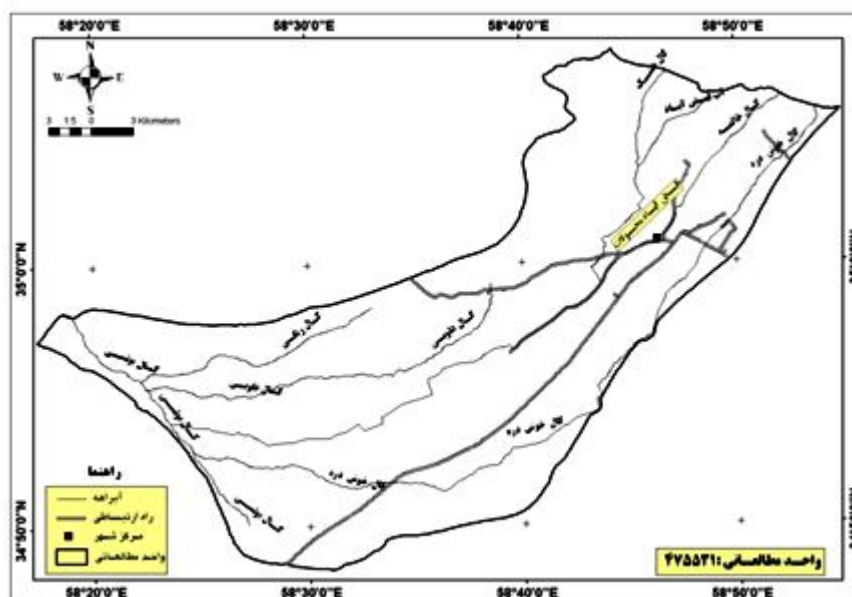
- کد حوزه آبریز: این کد منطبق بر جدول کدگذاری تباب است.

- مشخصات هندسی حوضه‌ها: در این بخش اطلاعات عمومی شامل مساحت حوضه (برحسب کیلومتر مربع)، مجموع طول آبراهه‌های حوضه (برحسب کیلومتر)، رقوم بیشینه و کمینه آبراهه در حوضه (ارتفاع از سطح دریا- متر)، شیب کمینه و بیشینه آبراهه در حوضه (برحسب درصد). برای کلیه حوضه‌های آبریز نقشه کامل شبکه آبراهه‌ها به تفکیک تهیه شده است که نمونه آن در شکل ۴ ارائه شده است.

ب- مشخصات مورفولوژیک رودخانه‌ها

در این رابطه اطلاعات زیر استخراج شده‌است، البته این اطلاعات نیاز به تعریف و ارزیابی داشت که در ادامه بیان می‌شود:

- نوع آبراهه از لحاظ کیفی (جوان، بالغ و پیر): در این خصوص با بررسی تصاویر ماهواره‌ای و کنترل میدانی وضعیت آبراهه مشخص شد. عمده‌ی آبراهه‌هایی که در شبکه آبراهه‌ها بر اساس روش استرالر از نظر رتبه‌بندی در رتبه‌ی ۱ قرار داشتند آبراهه‌ی جوان و آبراهه‌هایی که در حد کوه و دشت واقع شده‌بودند آبراهه‌ی بالغ و آبراهه‌های انتهایی دشت‌ها و همچنین خروجی حوضه‌های اصلی آبراهه‌ی پیر بودند. از نظر شکل با توجه به بازدهی میدانی آبراهه‌های جوان دارای شیب طولی بیشتری نسبت به آبراهه‌های بالغ هستند. همچنین شکل مقطع آبراهه‌های جوان به صورت حرف V و آبراهه‌های بالغ به صورت حرف U انگلیسی هستند. آبراهه‌های پیر مشابه آبراهه‌های بالغ هستند ولی در عرض رودخانه کشیده‌تر هستند. شیب طولی آبراهه در حالت پیر کمتر از دو تا سه درصد است. در این خصوص در هر حوضه مجموع طول آبراهه‌های جوان، بالغ و پیر محاسبه شده است.



شکل ۴- نقشه شبکه آبراهه‌های حوزه آبریز با کد ۴۷۵۵۳۱ (منطقه فیض آباد)

- پلان طولی آبراهه (مستقیم، شریانی و پیچانرودی): در این خصوص تقسیم‌بندی آبراهه بر اساس طول مستقیم، طول پیچانرودی و همچنین طول شریانی انجام شده است. باتوجه به تعاریف موجود چنانچه به دلیل عبور مسیر رودخانه از مسیرهای فرسایش‌پذیر در اراضی با شیب کم، مسیر آبراهه به صورت حلقه‌های پیچانرودی تبدیل می‌شود و این قوس‌ها و انحناها به صورت متوالی و در بازه‌های زمانی مختلف جابجا می‌شوند. پیچانرودی عمدتاً در جلگه‌ها و مصب رودخانه‌ها در نزدیکی دریاها و دریاچه‌ها تشکیل می‌شود. نکته‌ی قابل توجه در این خصوص این است که هر انحنایی یک پیچانرود محسوب نمی‌شود. به عنوان مثال ممکن است در یک مسیر کوهستانی به دلیل قرار گرفتن دو یا چند کوه در مسیر رودخانه و عبور آن در بین این ارتفاعات مسیر رودخانه در پلان به صورت منحنی مشاهده شود. این انحناها یک مسیر پیچانرودی محسوب نمی‌شود، چرا که این مسیر در طول زمان تغییر نمی‌کند و ثابت است در صورتی که جابجایی حلقه پیچان در طول زمان از مشخصات تعریف پیچانرودی است. مسیرهای شریانی نیز عموماً در محدوده‌ی دشت‌ها با بستر آبرفتی مشاهده می‌شوند. از مشخصات عمومی این نوع آبراهه عبور رودخانه در یک بستر عریض با ارتفاع دیواره‌های کم و همچنین بستر فرسایش‌پذیر است. این نوع آبراهه معمولاً در خروجی حد کوه و دشت قبل از رسیدن آبراهه به مسیر اصلی زهکش دشت مشاهده می‌شود. این مسیرها بر روی مخروط افکنه‌های دوران چهارم زمین‌شناسی قرار دارند. مسیر مستقیم آبراهه‌ها نیز در تمام شرایط قابل مشاهده است. و مشخصه‌ی خاصی در تفکیک اولیه ندارد. در هر حوضه مجموع طول آبراهه‌ها بر اساس مستقیم یا شریانی بودن ارائه شده است. بنابه تعاریف موجود در حوضه‌های مورد مطالعه رودخانه شریانی مشاهده نشد.

- رژیم هیدرولیکی رودخانه: رودخانه‌های موجود از نظر رژیم هیدرولوژیکی به سه صورت دائمی، فصلی و سیلابی تقسیم می‌شوند. شرایط جریان در طی یک سال بر روابط طراحی تأثیر دارد. بسته به طول مدت جریان در طی سال آبراهه‌ها به سه حالت دائمی، فصلی و سیلابی تقسیم می‌شوند. مفاهیم فوق دارای تعریف مشخصی نیست. در ادامه تعاریف ارائه شده به وسیله سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) ارائه می‌شود.

جریان دائم: جریانی است که به صورت دائم در رودخانه همواره برقرار است. جریان دائم با تراز و دبی متغیر در طول سال مشاهده می‌شود. جریان فصلی یا متناوب: یک جریان در رودخانه است که در بخشی از فصول سال از منبع چشمه‌ها یا سایر منابع نظیر ذوب برف در مناطق کوهستانی تأمین می‌شود. جریان سیلابی یا خشکه رود: یک جریان است که صرفاً پس از وقوع بارندگی مشاهده می‌شود و در سایر اوقات سال جریانی در مسیر کانال وجود ندارد. در محدوده‌ی مطالعاتی خراسان رضوی با توجه به تعاریف فوق در زیرحوضه‌های کویر مرکزی، کویر نمک و نمکزار خواف رودخانه با جریان دائم مشاهده نمی‌شود. عمده‌ی رودخانه‌های استان بصورت فصلی و سیلابی است.

نتایج و بحث

باتوجه به بررسی‌های انجام شده مجموع طول آبراهه‌های موجود در استان خراسان، منطبق بر شبکه آبراهه‌ها در مقیاس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ در حوضه‌های فلات مرکزی و حوضه‌ی شرق کشور معادل ۲۱۲۰۴/۵۴ کیلومتر است. این شبکه آبراهه مجموعاً در مساحت ۷۴۰۶۸/۷۰ کیلومتر مربع از سطح استان خراسان رضوی قرار دارد. مقادیر شیب بیشینه، شیب کمینه، رقوم بیشینه و رقوم کمینه آبراهه به تفکیک در حوزه‌های آبریز اصلی به صورت جدول ۳ است.

جدول ۳- مشخصات عمومی حوضه‌های اصلی

نام حوضه اصلی	نام زیر حوضه	مساحت حوضه (Km ²)	طول کل آبراهه‌ها (Km)	شیب کمینه (آبراهه درصد)	شیب بیشینه (آبراهه درصد)	رقوم کمینه (آبراهه (m))	رقوم بیشینه (آبراهه (m))
فلات مرکزی	کویر مرکزی	31472.85	8677.20	0.1	18.9	791	2965
فلات مرکزی	کویر نمک	25391.99	8466.89	0.1	26.4	798	2472
حوضه شرق کشور	نمکزار خواف	17203.87	4060.45	0.1	21.1	598	2373
کل محدوده مطالعات		74068.70	21204.54	0.1	26.4	598	2965

در خصوص مشخصات مورفولوژیکی رودخانه‌ها می‌توان گفت از نظر کیفی ۵۵/۹ درصد طول آبراهه‌های مورد مطالعه جوان، ۳۶ درصد بالغ و ۸/۱ درصد آبراهه‌ها پیر هستند. این نسبت‌ها در بین سه زیرحوضه چندان تغییر نمی‌کند. همچنین ۶۳/۳ درصد طول آبراهه‌ها

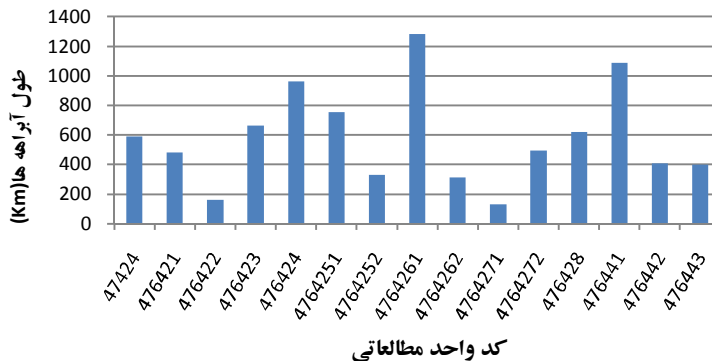
از نظر پلان طولی مستقیم و ۳۶/۷ درصد نیز دارای وضعیت شریانی هستند. در این بین حوضه نمکزار خواف با ۵۴/۷ درصد مسیر شریانی بیشترین مقدار و حوضه کویر مرکزی با ۱۶ درصد کمترین مسیر شریانی را دارد. در این حوضه‌ها مسیر مئاندری مشاهده نشد. در مجموعه رودخانه‌های موجود در حوضه‌های مورد مطالعه رودخانه دارای رژیم دائم وجود ندارد. نتایج این بخش به تفکیک حوضه‌های اصلی در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- وضعیت مشخصات مورفولوژیک رودخانه‌ها در حوضه‌های آبریز

نام حوضه اصلی	نام زیر حوضه	طول آبراهه‌ها از نظر کیفی (Km)			پلان طولی آبراهه (Km)	
		پیر	بالغ	جوان	طول مسیر شریانی	طول مسیر مستقیم
فلات مرکزی	کویر مرکزی	661.25	3365.40	4650.55	1391.86	7285.36
فلات مرکزی	کویر نمک	758.93	2839.33	4868.63	4167.01	4299.88
حوضه شرق کشور	نمکزار خواف	298.08	1434.35	2328.02	2221.94	1838.52
کل محدوده مطالعات		1718.26	7639.08	11847.20	7780.81	13423.75

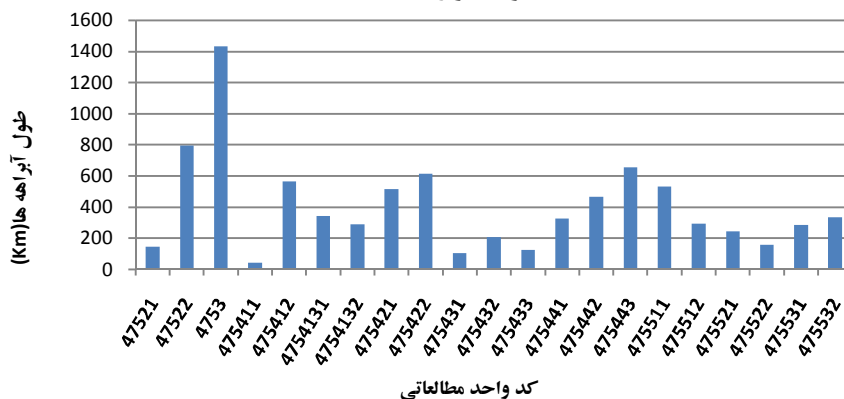
مقایسه جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد در مجموع محدوده مورد مطالعه در استان خراسان رضوی، در امتداد شمال شرق- جنوب غرب است، حوضه‌های آبریز به سمت کاهش ارتفاع پیش‌رفته و فلات گونه می‌شوند و اختلاف کمینه و بیشینه آبراهه‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به کاهش ارتفاع و افزایش سهم مساحت دشت‌ها نسبت به مساحت کوهستانی در حوضه‌های آبریز، سهم مسیرهای شریانی افزایش می‌یابد. نتایج مربوط به هر حوزه‌ی آبریز در تقسیم‌بندی نهایی تهیه شده است که در جداول ۵ تا ۷ ارائه شده است. همچنین مقایسه طول آبراهه‌های موجود در حوضه‌های آبریز در شکل‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است.

حوضه کویر مرکزی



شکل ۵- طول آبراهه‌های موجود در زیرحوضه‌های حوضه کویر مرکزی

حوضه کویر نمک



شکل ۶- طول آبراهه‌های موجود در زیرحوضه‌های حوضه کویر نمک

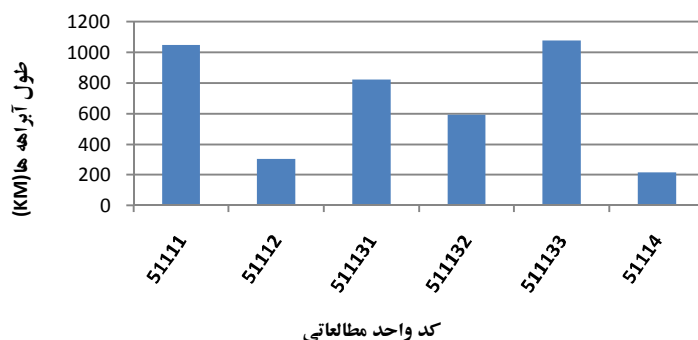
جدول ۵- حوضه کویر مرکزی

کد واحد مطالعاتی	مساحت واحد مطالعاتی	طول کل آبراهه‌ها	رقوم بیشینه آبراهه	رقوم کمینه آبراهه	شیب بیشینه آبراهه	شیب کمینه آبراهه	طول مسیر مستقیم	طول مسیر شریانی	طول آبراهه‌های جوان	طول آبراهه‌های بالغ	طول آبراهه‌های پیر
47424	2529.57	590.17	1881	817	4	0.1	467.40	122.77	280.41	274.13	35.63
476421	1943.79	479.60	2098	791	13.1	0.1	413.02	66.58	230.80	212.06	36.74
476422	716.05	160.59	1313	833	3.6	0.1	60.52	100.07	74.01	86.58	0
476423	2202.98	662.32	1994	824	5.7	0.1	476.76	185.55	398.92	236.35	27.05
476424	3565.93	963.52	1912	839	7.9	0.1	747.46	216.06	492.33	379.85	91.34
4764251	2265.11	756.28	2573	1000	16.9	0.1	635.39	120.89	388.12	274.34	93.82
4764252	1238.04	329.12	2092	1268	8.1	0.4	328.11	1.02	204.47	107.33	17.33
4764261	5131.90	1283.06	2965	1058	18.9	0.1	1178.94	104.12	769.31	424.33	89.42
4764262	570.38	312.96	2056	1094	7.9	0.4	253.35	59.61	212.14	100.82	0.00
4764271	355.88	129.64	1569	1161	3	0.4	121.48	8.16	41.97	66.29	21.37
4764272	1522.54	496.35	2431	1292	11.4	0.1	450.84	45.50	240.03	256.32	0.00
476428	1804.49	618.74	2446	1161	18	0.1	617.14	1.60	359.12	243.50	16.12
476441	4217.13	1088.88	2523	876	17.9	0.1	784.68	304.20	520.06	412.85	155.97
476442	1890.34	408.43	2007	1114	9.7	0.1	362.11	46.33	218.62	141.80	48.01
476443	1518.71	397.54	2739	1149	7.1	0.4	388.16	9.38	220.23	148.87	28.44
کل حوضه	31472.85	8677.20	2965	791	18.9	0.1	7285.36	1391.86	4650.55	3365.40	661.25

جدول ۶- حوضه کویر نمک

کد واحد مطالعاتی	مساحت واحد مطالعاتی	طول کل آبراهه‌ها	رقوم بیشینه آبراهه	رقوم کمینه آبراهه	شیب بیشینه آبراهه	شیب کمینه آبراهه	طول مسیر مستقیم	طول مسیر شریانی	طول آبراهه‌های جوان	طول آبراهه‌های بالغ	طول آبراهه‌های پیر
47521	474.81	144.11	985	804	1.2	0.1	85.78	58.33	70.54	19.51	54.06
47522	2922.57	793.15	2262	815	5	0.1	385.66	407.49	511.39	215.39	66.37
4753	3971.73	1432.28	1908	798	3.4	0.1	445.45	986.82	878.85	413.08	140.34
475411	293.94	43.21	828	806	0.05	0.05	0.09	43.12	0	0	43.21
475412	1472.92	565.05	1544	806	3	0.1	134.47	430.58	352.31	125.74	86.99
4754131	662.55	344.34	1219	810	1.5	0.1	129.21	215.14	134.36	209.98	0
4754132	692.75	290.09	1809	879	5.2	0.5	267.50	22.58	140.17	149.92	0
475421	1384.27	513.87	1577	842	2.6	0.1	116.43	397.44	260.55	209.08	44.24
475422	1881.41	612.91	2126	916	5.4	0.4	245.02	367.90	443.48	169.44	0
475431	352.62	104.57	1114	848	1.2	0.1	3.23	101.35	32.57	22.91	49.09
475432	724.46	207.89	1273	960	1.4	0.2	158.39	49.50	130.27	63.17	14.45
475433	450.59	124.12	2400	1129	26.4	0.7	124.12	0	58.17	65.95	0
475441	1073.44	325.04	1116	847	1.7	0.1	24.90	300.15	212.46	57.01	55.58
475442	1653.66	464.85	1773	907	10	0.2	333.61	131.24	234.98	153.88	75.99
475443	2055.73	654.93	2324	1235	8.2	0.1	590.48	64.45	436.80	210.12	8.01
475511	2047.04	532.65	1906	801	14.7	0.1	433.05	99.60	254.54	200.06	78.04
475512	637.88	292.68	2286	1277	12	0.6	292.69	0	197.28	95.40	0.00
475521	660.15	244.21	1067	801	3.1	0.1	59.41	184.80	118.44	83.23	42.54
475522	526.97	159.01	1727	967	3.7	0.6	131.89	27.12	126.75	32.26	0
475531	812.13	284.54	1439	805	1.5	0.1	117.97	166.56	103.23	181.31	0
475532	640.37	333.38	2472	810	11.9	0.5	220.54	112.85	171.50	161.89	0
کل حوضه	25391.99	8466.89	2472	798	26.4	0.05	4299.88	4167.01	4868.63	2839.33	758.93

حوضه نمکزار خواف



شکل ۷- طول آبراهه های موجود در زیرحوضه های حوضه نمکزار خواف

جدول ۷- حوضه نمکزار خواف

کد واحد مطالعاتی	مساحت واحد مطالعاتی	طول کل آبراهه ها	رقوم بیشینه آبراهه	رقوم کمینه آبراهه	شیب بیشینه آبراهه	شیب کمینه آبراهه	طول مسیر مستقیم	طول مسیر شریانی	طول آبراهه های جوان	طول آبراهه های بالغ	طول آبراهه های پیر
51111	3551.21	1047.31	2077	598	18.2	0.1	370.04	677.28	545.29	428.72	73.30
51112	5131.90	306.16	1986	603	9.2	0.2	89.22	216.94	140.77	126.81	38.58
511131	2337.83	822.69	1554	668	3.4	0.1	407.88	414.82	585.91	136.32	100.46
511132	1606.82	593.10	2373	823	21.1	0.1	463.27	129.84	286.00	260.73	46.38
511133	4004.06	1075.38	1669	830	5.2	0.1	401.76	673.62	665.34	374.51	35.54
51114	572.03	215.80	1238	678	3.8	0.2	106.35	109.45	104.70	107.27	3.82
کل حوضه	17203.87	4060.45	2373	598	21.1	0.1	1838.52	2221.94	2328.02	1434.35	298.08

نتایج نشان می دهد در حوزه آبریز کویر مرکزی، زیرحوضه های ۴۷۶۴۲۵۲ و ۴۷۶۴۲۸ با ۹۹/۷ درصد بیشترین طول مسیر مستقیم و زیرحوضه ۴۷۶۴۲۲ با ۶۲/۳ درصد بیشترین طول مسیر شریانی را دارد. از لحاظ کیفی زیرحوضه ۴۷۶۴۲۶۲ با ۶۷/۸ درصد آبراهه جوان، زیرحوضه ۴۷۶۴۲۲ با ۵۳/۹ درصد آبراهه بالغ و زیر حوضه ۴۷۶۴۲۷۱ با ۱۶/۵ درصد آبراهه پیر، رکورددار کیفی در سطوح مختلف هستند. در خصوص حوضه آبریز کویر نمک زیرحوضه های ۴۷۵۴۳۳ و ۴۷۵۵۱۲ با ۱۰۰ درصد بیشترین طول مسیر مستقیم و زیرحوضه ۴۷۵۴۱۱ با ۹۹/۸ درصد بیشترین طول مسیر شریانی را دارد. از لحاظ کیفی زیرحوضه ۴۷۵۴۲۲ با ۷۲/۴ درصد آبراهه جوان، زیرحوضه ۴۷۵۵۳۱ با ۶۳/۷ درصد آبراهه بالغ و زیر حوضه ۴۷۵۴۱۱ با ۱۰۰ درصد آبراهه پیر، شرایط مختلف کیفی در سطوح مختلف را دارا هستند. در حوضه نمکزار خواف این نتایج بدین صورت است که زیرحوضه ۵۱۱۱۳۲ با ۷۸/۱ درصد بیشترین طول مسیر مستقیم و زیرحوضه ۵۱۱۱۲ با ۷۰/۹ درصد بیشترین طول مسیر شریانی را دارد. از لحاظ کیفی در زیرحوضه ۵۱۱۱۳۱ با ۷۱/۲ درصد آبراهه جوان، زیرحوضه ۵۱۱۱۴ با ۴۹/۷ درصد آبراهه بالغ و زیر حوضه ۵۱۱۱۲ با ۱۲/۶ درصد آبراهه پیر، بالاترین میزان هر یک از کیفیت ها مشاهده می شود.

لازم است به این نکته اشاره شود که نتایج این مطالعه و مطالعاتی نظیر آن، چنانچه در بخش های متولی امر مورد توجه قرارگیرد، کمک مناسبی در بهینه سازی منابع و تخصیص اعتبارات اجرایی خواهد بود. متأسفانه در حال حاضر یک نگاه جامع به حوزه های آبخیز وجود ندارد تا براساس آن راهبرد مواجهه با یک رودخانه مشخص شود. نبود این جامع نگری را می توان در تکراری بودن و مشابهت بیش از حد توصیه های اجرایی و پروژه های پیشنهادی از سوی مهندسی مشاور در طرح های آبخیزداری و مهندسی رودخانه مشاهده کرد. کفایت یک بررسی ساده در دفترچه مطالعات طرح های آبخیزداری انجام شود که نشان می دهد بیش از ۹۰ درصد طرح های پیشنهادی و نوع سازه های توصیه شده، تکراری و یکسان است و بیشینه اختلاف ممکن است در ابعاد سازه ها و مصالح باشد.

باتوجه مباحث فوق می توان گفت تفکیک مسیر آبراهه ها از نگاه مورفولوژیکی یکی از الزامات برنامه ریزی های مدیریتی و اجرایی است. باید توجه نمود که در یک پروژه مدیریتی و یا اجرایی نوع مواجهه با یک رودخانه که از نظر کیفی در وضعیت آبراهه جوان قرار دارد با یک آبراهه بالغ یا پیر متفاوت است. متأسفانه در کلیه طرح های مطالعاتی چه در زمینه ساماندهی رودخانه و چه در زمینه آبخیزداری به این تفاوت ها توجهی نمی شود. به عنوان مثال در آبراهه های پیر فرسایش عمدتاً به صورت فرسایش کناری است که موجب عریض شدن رودخانه می شود، در این حالت نوع سازه های حفاظتی غالباً باید به شکل حفاظت سواحل و تثبیت کناره رودخانه باشد. در شرایط آبراهه جوان باتوجه به شیب تند مسیر نوع غالب تثبیت آبراهه، تثبیت بستر و کنترل شیب خواهد بود. از منظر دیگر می توان گفت در حوضه هایی که فرم غالب آبراهه ها جوان است باید عملیات اجرایی و مهندسی رودخانه به شکل عملیات آبخیزداری در بالادست باشد و در حوضه هایی که وضعیت آبراهه های غالب پیر است، فعالیت های آبخیزداری و طرح های پخش سیلاب می تواند توجیه پذیر باشد. همچنین وضعیت پلان طولی رودخانه از نظر شریانی یا مستقیم بودن می تواند در نوع مدیریتی آبراهه مؤثر باشد. اطلاعات تدوین شده در این مطالعه به متولیان امر کمک می کند تا در ارزیابی طرح های مرتبط با رودخانه های استان نگاه جامع تری نسبت به پیشنهادات ارائه شده از سوی مهندسی مشاور و طراح داشته باشند.

منابع

- احمدیان یزدی، محمدجواد، ۱۳۸۶، بررسی و شناخت ویژگی های رودخانه ها و مسیل های حوضه ی قره قوم، انتشارات مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- بوستانی، آرمین، اسماعیلی، کاظم، ۱۳۹۴، مهندسی رودخانه از گذشته تا آینده (بررسی رویکردها و چشم انداز)، مجله آب و توسعه پایدار، سال اول، شماره ۳، ص ۶۷-۷۲.
- تقوایی، علی اصغر، ۱۳۸۶، بررسی و شناخت ویژگی های رودخانه ها و مسیل های حوضه ی اترک، انتشارات مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- تلوری، عبدالرسول، ۱۳۶۸، بررسی پدیده پیچان رود (مناذر) و فرسایش رودخانه ای در قسمتی از رودخانه کارون، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- تلوری، عبدالرسول، ۱۳۸۳، اصول مقدماتی مهندسی و ساماندهی رودخانه، انتشارات سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی (پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری).
- جعفر زاده، محمدرضا، ۱۳۸۸، مکانیک رودخانه، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد
- حسینی، سید احمد، حبیبی، مهدی، ۱۳۸۵، بررسی ویژگی های رودخانه ها و مسیل ها در ۱۰ استان کشور، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه.
- شیرانی، کورش، چاوشی، ستار، محمد رضا یزدانی، (۱۳۸۵)، ایجاد و توسعه پایگاه اطلاعات رودخانه ها و مسیل های استان اصفهان، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه.
- عباسی، اسماعیل، ۱۳۸۸، بررسی روند تغییرات مورفولوژی رودخانه های مناطق خشک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- غریب رضا، محمدرضا، معصومی، حمیدرضا، ۱۳۸۵، مورفولوژی رودخانه زهره و تغییرات آن در جلگه ساحلی هندیجان، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ص ۹-۱.
- نجفی، محمد رضا، جمیری، محمد جعفر، ۱۳۸۴، برآورد دبی های سیلابی بر اساس خصوصیات هندسی و هیدرولیکی مقاطع رودخانه، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۶، شماره ۲۴، ص ۱۱۱-۱۲۲.
- ولایتی، سعدالله، ۱۳۷۰، منابع و مسائل آب استان خراسان، انتشارات آستان قدس رضوی.
- Chakraborty, S., & Chakraborty, A. (2017). Satoyama Landscapes and Their Change in A River Basin context: Lessons for Sustainability. *Issues in Social Science*, 5(1), 38.
- Habersack, H., Hein, T., Stanica, A., Liska, I., Mair, R., Jäger, E., ... & Bradley, C. (2016). Challenges of river basin management: Current status of, and prospects for, the River Danube from a river engineering perspective. *Science of the Total Environment*, 543, 828-845.
- Lane, E. W., (1955), Design of stable canals. *Transactions, ASCE*, Vol. 120, pp. 1234-1260.

- Leopold, L. B. and Maddock, Thomas, Jr. (1953) the hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. US Geol. Survey Prof. Paper 252, 57 pp.
- Remus, J. I., & Jonas, M. (2010). River Engineering: Past, Present and Future–A Comprehensive Systems Approach.
- Schumm, S. A (1971) Fluvial Geomorphology P. (4), 1-30. In H. W. Shen (Ed) River Mechanics, Vol. L, Colorado State University Fort. Collins.
- Siviglia, A., & Crosato, A. (2016). Numerical modelling of river morphodynamics: Latest developments and remaining challenges. *Advances in Water Resources*, 93(A), 1-3.
- Veale, B., & Cooke, S. (2017). Implementing integrated water management: illustrations from the Grand River watershed. *International Journal of Water Resources Development*, 33(3), 375-392.