



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری



دستنامه فنی

تحلیل منطقه‌ای جریان کم در حوزه‌های آبخیز

نویسنده:

باقر قرمزچشمه، رحیم کاظمی

شماره ثبت: ۷۰۰۲۸

۱۴۰۵

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دستنامه فنی:

تحلیل منطقه‌ای جریان کم در حوزه‌های آبخیز

نویسندگان:

باقر قرمزچشمه، رحیم کاظمی

شماره ثبت: ۷۰۰۲۸

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

عنوان: تحلیل منطقه‌ای جریان کم در حوزه‌های آبخیز
نویسندگان: باقر قرمزچشمه، رحیم کاظمی
ویراستار ادبی: سعید نبی‌پی لشکریان
صفحه آرایی و طراحی جلد: عباس صدیق
ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۵

این اثر در مورخه ۱۴۰۵/۰۶/۲۹ با شماره فروست ۷۰۰۲۸ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر مأخذ بلامانع است

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات (مفاهیم، تعاریف و پیشینه تحقیق).....	۲
۱-۱- کلیات	۳
۲-۱- مقدمه	۴
۳-۱- سابقه تحقیق:.....	۵
فصل دوم: روش کار	۱۳
۱-۲- ویژگی‌های انتخاب منطقه.....	۱۴
۲-۳- استخراج داده‌های هیدرومرفولوژیک	۱۸
۱-۳-۲- متغیرهای فیزیوگرافی	۱۸
۲-۳-۲- عامل زمین‌شناسی	۲۰
۳-۳-۲- عامل پوشش گیاهی	۲۲
۴-۲- داده‌های آب و هوای منطقه.....	۲۴
۱-۴-۲- بررسی صحت و طول دوره آماری	۲۴
۲-۴-۲- بررسی داده‌های پرت	۲۵
۳-۴-۲- تکمیل و بازسازی دوره مشترک آماری	۲۵
۴-۴-۲- روش‌های درون‌یابی.....	۲۶
۵-۴-۲- تجزیه و تحلیل بارش.....	۲۷
۶-۴-۲- پارامترهای دما.....	۳۰
۵-۲- محاسبه مقادیر دبی رودخانه	۳۴
۶-۲- تحلیل منطقه‌ای جریان کم	۳۵
۱-۶-۲- تجزیه و تحلیل عاملی	۳۶
۲-۶-۲- تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی.....	۴۰
۳-۶-۲- رگرسیون چندمتغیره	۴۴

۴۵	 ۷-۲- معیارهای ارزیابی
۴۸	 ملاحظات اخلاقی
۴۹	 منابع
۵۳	 Abstract

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- موقعیت منطقه تحقیق در کشور (قرمزچشمه و کاظمی، ۱۴۰۴).....	۱۶
شکل ۲-۲- موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد استفاده (قرمزچشمه و کاظمی، ۱۴۰۴).....	۱۷
شکل ۳-۲- نقشه مدل رقومی ارتفاع به‌همراه مرز حوضه.....	۱۹
شکل ۴-۲- نقشه شیب حوضه کرخه- بالادست سد کرخه.....	۲۰
شکل ۵-۲- نقشه نفوذپذیری نسبی سازندهای زمین‌شناسی.....	۲۲
شکل ۶-۲- وضعیت طبقات پوشش گیاهی براساس نقش آن‌ها در نفوذپذیری خاک.....	۲۳
شکل ۷-۲- نقشه بارش دوره حاضر حوضه کرخه- بالادست سد کرخه.....	۲۸
شکل ۸-۲- نقشه دمای حوضه کرخه- بالادست سد کرخه.....	۳۱
شکل ۹-۲- میزان ارزش ویژه عامل‌ها.....	۳۹
شکل ۱۰-۲- خوشه‌های ایجادشده براساس چهار عامل اصلی (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۴).....	۴۳
شکل ۱۱-۲- موقعیت مناطق همگن در حوضه‌های تحقیق (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۴).....	۴۴
شکل ۱۲-۲- نمودار دبی مشاهده‌ای و برآوردی در پایه زمانی پنج‌روزه.....	۴۷
شکل ۱۳-۲- نمودار دبی مشاهده‌ای و برآوردی در پایه زمانی ۶۰ روزه.....	۴۸

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- آماره‌های بارش دوره حاضر هریک از زیرحوضه‌های کرخه.....	۲۸
جدول ۲-۲- آماره‌های دما هریک از زیرحوضه‌های کرخه.....	۳۲
جدول ۳-۲- مقدار واریانس هر عامل و تجمعی پنج عامل اصلی.....	۳۷
جدول ۴-۲- ماتریس عامل‌ها.....	۳۹
جدول ۵-۲- دقت مدل و پارامترهای مدل برای دوره پایه.....	۴۵

چکیده

شناخت نحوه تغییرات جریان کم رودخانه، اطلاعات ارزشمندی را در مدیریت منابع آب و اصلاح الگوی کشت ارائه می‌دهد. همچنین مناطق مناسب برای مدیریت آب در طول مسیر رودخانه را مشخص می‌سازد. با توجه به وابستگی بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب به منابع آب رودخانه‌ها و به‌ویژه جریان پایه، شناخت دقیق از رفتار جریان کم و عوامل مؤثر بر آن برای تعمیم داده‌ها از ایستگاه‌های آب‌سنجی به نقاط فاقد آمار در رودخانه‌ها، ضروری است. این اثر، حاصل پروژه‌های پژوهشی مختلف مرتبط با تحلیل منطقه‌ای جریان کم است که با هدف ارائه نکات فنی در تحلیل منطقه‌ای دبی کم، مبتنی بر متغیرهای هندسی و اقلیمی مؤثر بر جریان تدوین شده است. بدین‌منظور این مراحل به‌ترتیب ارائه شده است. ابتدا نحوه بازسازی داده‌های آبدهی جریان کم در بازه‌های مختلف چندروزه تشریح شد. سپس نکات لازم در بستن مرز حوضه‌ها با استفاده از قابلیت GIS با دقت بالا و براساس نقشه مدل رقومی ارتفاعی ذکر شد و نکات مهم تهیه نقشه‌های مختلف مورفومتری، اقلیمی، کاربری اراضی و زمین‌شناسی و طبقه‌بندی آن‌ها براساس تأثیر آن‌ها بر جریان کم تذکر داده شد. سرانجام، موارد مهم در تحلیل عاملی و ارائه روابط رگرسیون تک و چندمتغیره ارائه شده است. در مرحله بعد، نحوه بررسی دقت روابط استخراجی و دلیل استفاده از معیارهای دقت و صحت آماری ارائه، و نکات مهم نحوه تعمیم روابط تجربی به حوضه‌های فاقد آمار تشریح شد. در انتها، یک مورد مطالعه انجام‌شده در حوضه کرخه، برای ارائه روابط رگرسیونی برآورد جریان کم ۵ تا ۶۰ روزه در حوضه‌های فاقد آمار که مراحل این اثر در آن رعایت شده، ارائه شده است. نتایج صحت‌سنجی روابط به‌دست‌آمده، دقت بالای ۸۰ درصد را در برآورد شاخص‌های جریان کم در حوضه‌های فاقد آمار منطقه کرخه را نشان داد. این اثر در قالب یک دستنامه، برای دانشجویان، کارشناسان و محققین در انجام آنالیز منطقه‌ای جریان کم مفید است. همچنین می‌تواند برای مدیران دستگاه‌های مرتبط با منابع آب، منابع طبیعی و کشاورزی مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل منطقه‌ای، جریان کم، شاخص جریان کم، مرفواقلیمی.

فصل اول

کلیات (مفاهیم، تعاریف و پیشینه تحقیق)

۱-۱- کلیات

کشور ایران به دلیل قرارداشتن در یک منطقه خشک و نیمه خشک، با مشکل کمبود بارش و کم آبی مواجه است. از یک سو؛ کمبود بارش، تغییرات پراکنش زمانی و مکانی بارش و جریان های سطحی در دسترس و از سوی دیگر، عدم تطابق زمانی و مکانی تقاضای آب در حوزه شرب، صنعت و کشاورزی، بر لزوم توجه به شناخت و ارزیابی جریان های پایدار (پایه و کمینه) به منظور مدیریت بهینه منابع در حوزه آبخیز تأکید می کند. در این میان آمایش منابع آب پایدار و شناخت جریان کم از اهمیت ویژه ای در تدوین برنامه های مرتبط با مدیریت جامع حوضه، برخوردار است. امروزه یکی از مهم ترین چالش های مدیران و محققین حوزه علوم آب، شناخت و محاسبه جریان های متغیر رودخانه و اهمیت حفاظت از منابع آب و تنوع زیستی و زیست بوم وابسته به جریان رودخانه است. موضوع شناخت جریان های کمینه در حوزه مباحث کشاورزی، از آن جهت حائز اهمیت است که عمده تمرکز زمان بارش در غیر فصل رویش گیاهی بوده و اغلب گیاهان به خصوص گیاهان زراعی، نیازمند آبیاری در فصول خشک هستند. از جهت دیگر، اغلب مناطق زراعی که در دشت ها و حاشیه رودخانه های دائمی قرار دارند، با استفاده از جریان رودخانه، کشاورزی و باغداری انجام می شود. هم چنین شدت خشک سالی هیدرولوژیکی به طور کلی از سر شاخه ها به پایین دست کاهش می یابد، زیرا مقدار جریان در سرشاخه ها به سرعت در فصول خشک کاهش یافته و حتی در خشک سالی های با شدت کم نیز به خشک شدن در فصل گرم (تابستان) منجر می شود.

بررسی جریان کم، معمولاً براساس شاخص های مبتنی بر هیدرولوژی جریان و صدک های مستخرج از منحنی تداوم جریان، صورت می گیرد. این شاخص ها به طور گسترده ای برای مقاصد مختلف، از جمله طراحی و توسعه منابع آب، مدیریت شرایط کم آبی، طرح های سازگاری با کم آبی و بررسی آستانه های خشک سالی مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین دارای کاربرد در ارزیابی شرایط زیست محیطی رودخانه ها، و طرح های توسعه نیروگاهی نیز هستند. در سال های اخیر تحقیقات زیادی در دبی های بیشینه و متوسط صورت گرفته است، ولی در خصوص دبی های کم، پژوهش های اندکی صورت گرفته و نیازمند تحقیق بیشتر در این زمینه است. آگاهی از جریان کم و پایه در رودخانه های دائمی به دلیل اهمیت آن در تأمین آب مورد نیاز بخش های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب

بسیار ضروری است. از آنجا که داده‌های مشاهده‌ای، محدود به ایستگاه‌های آب‌سنجی است و این ایستگاه‌ها نیز شدیداً پراکنده بوده و طول دوره آماری متفاوتی دارند، لذا بررسی دقیق جریان کم و پایه، نیازمند شناخت عوامل تأثیرگذار بر آن و تعمیم داده‌های مشاهده‌ای به مناطق مشابه است. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، برخی از نکات و یافته‌های این پژوهش‌ها و جمع‌بندی آن‌ها در یک مجموعه، برای ادامه پژوهش‌ها یا مطالعات می‌تواند مفید واقع شود. لذا در این اثر سعی شده به نکات مهم در فرآیند شناخت عوامل مؤثر در جریان رودخانه، به‌ویژه جریان کم پرداخته و نحوه مدل‌سازی منطقه‌ای برای تعمیم آن به مناطق فاقد ایستگاه، ارائه شود.

۱-۲- مقدمه

استفاده، عرضه و مدیریت آب به مشکل بحرانی در جهان تبدیل شده است. علاوه بر این در دهه‌های اخیر استفاده بیش از حد از آب‌های سطحی و زیرزمینی، منجر به کاهش در منابع آب و افت کیفیت آب شده است و پیش‌بینی می‌شود که در آینده‌ای نزدیک به مشکل شدیدتری تبدیل شود. در سه دهه گذشته، برداشت آب‌های زیرزمینی از آبخوان‌ها به‌منظور آبیاری در بخش کشاورزی موجب کاهش تراز آب زیرزمینی و کاهش جریان پایه در بسیاری از رودخانه‌ها و جویبارها در نواحی مختلف جهان شده است. بنابراین نیاز اساسی برای شناخت شرایط کم‌آبی و یا سطح لازم برای ممانعت از آسیب‌های مهم به منابع آب و اکوسیستم‌ها در نتیجه برداشت آب، احساس می‌شود (Ouyang, ۲۰۱۲).

سازمان جهانی هواشناسی، جریان کم را به‌عنوان جریانی از آب رودخانه که در دوره خشک آب و هوایی تداوم دارد معرفی می‌کند (WMO, ۲۰۱۶). این تعریف تفاوت روشنی بین جریان کم و خشکسالی قائل نمی‌شود، اما می‌توان به این موضوع اشاره کرد که جریان کم پدیده‌ای فصلی و ترکیبی یکپارچه از رژیم جریان در هر رودخانه است. جریان کم به‌علت تأثیرات ناشی از مؤلفه‌های مختلف حوضه از جمله: زمین‌شناسی، توپوگرافی، مشخصه‌های خاک‌شناسی، مولفه‌های اقلیمی و همچنین دخالت‌های انسانی از نظر زمانی و مکانی متغیر است (نقل از کاظمی و شریفی، ۱۴۰۳). معمولاً جریان‌های کم روزانه تحت تأثیر شرایط هیدرولوژیکی بالادست هستند، لذا برای رفع

این مشکل، جریان کم سالانه به صورت متوسط کمترین جریان در چند روز پیاپی از جمله ۳، ۵، ۷، ۱۱، ۳۰، ۹۰ روز در طی یک سال تعریف می شود (سمیعی و تلوری، ۱۳۹۰).

۱-۳- سابقه تحقیق:

ثقفیان و همکاران (۱۳۸۸) از مدل رگرسیونی چندمتغیره برای برآورد دبی های کم در نقاط فاقد ایستگاه استان گیلان، استفاده کردند. این پژوهش در محدوده حوضه های بالادست استان گیلان با ۳۵ ایستگاه آب سنجی و آمار دبی روزانه نسبتاً طولانی مدت انجام گرفت. با استفاده از تحلیل فراوانی و مقایسه توزیع های مختلف آماری، توزیع آماری لوگ پیرسون تیپ ۳ و توزیع آماری لوگ نرمال، مناسب ترین توزیع ها تشخیص داده شد. سپس با استفاده از تحلیل عاملی پنج پارامتر مساحت حوضه، متوسط بارش سالانه، شیب حوضه، ارتفاع متوسط و تراکم زهکشی به عنوان پارامترهای مستقل شناخته شدند. سپس به وسیله تحلیل خوشه ای حوضه های منطقه را، به دو گروه همگن تقسیم کردند. سپس با استفاده از رگرسیون گام به گام، مؤثرترین پارامترها در تخمین جریان های کم شناسایی شد. نتایج نشان داد پارامترهای مساحت، شیب متوسط و بارش متوسط سالانه از جمله عوامل مؤثر اصلی در مقدار جریان های کم سالانه است. همچنین عنوان شد که مدل رگرسیونی چندمتغیره، مدل دقیق تری نسبت به مدل دبی مساحت است.

قرمزچشمه و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی دبی های کم در برخی از ایستگاه های آب سنجی حوضه رودخانه کرخه پرداختند. در این تحقیق دبی های کم با پایه زمانی (۳، ۵، ۷، ۱۱، ۱۵ و ۳۰ روزه) برای هر سال در هر ایستگاه استخراج شد. سپس نسبت متوسط دبی کمینه با پایه زمانی های مختلف به دبی متوسط سالانه محاسبه شد. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله از خروجی حوضه بر شدت کم آبی (کاهش دبی های کمینه) افزوده می شود. نتایج پژوهش حبیب نژاد و همکاران (۱۳۸۹) در خصوص بررسی روش های برآورد در مناطق فاقد آمار، نشان داد که که آنالیز منطقه ای دبی های کم، متکی بر آمار اندازه گیری شده، روش مناسبی است. در این پژوهش از اطلاعات ۱۹ ایستگاه آب سنجی واقع در شمال شرق خراسان و ۱۶ پارامتر فیزیوگرافی، اقلیمی و زمین شناسی

استفاده شد. سری‌های دبی کم سالانه با تداوم‌های ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه، هشت تابع توزیع آماری داده‌ها برازش داده شد و توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ به‌عنوان توزیع مناسب منطقه‌ای انتخاب شد. با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی متغیرهای مستقل مشخص شد. نتایج نشان داد که سه پارامتر مساحت، بارندگی متوسط سالانه و درصد سازند نفوذپذیر، مهم‌ترین عوامل خشک‌سالی هیدرولوژیک هستند.

خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۱) سری زمانی دمای بیشینه و کمینه روزانه مربوط به غرب تهران را با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه و شبکه عصبی مورد بازسازی قرار دادند. تحقیق آن‌ها دقت بالاتر روش شبکه عصبی را نسبت به روش نزدیک‌ترین همسایه نشان داد و براساس نتایج بدست آمده دقت هر دو روش در تخمین دمای بیشینه روزانه، بیشتر از دمای کمینه روزانه بود. هم‌چنین در پژوهشی دیگر نساجی و همکاران (۱۳۹۵) در سرشاخه‌های کارون نشان دادند که روش‌های شبکه عصبی و فازی دقت بالاتری نسبت به روش رگرسیون دو متغیره برای بازسازی دبی روزانه دارد.

نوری و حسینی (۱۳۹۲) در بررسی توزیع احتمالاتی مناسب برای جریان کم ۷ روزه حوضه دریاچه ارومیه، توزیع احتمالاتی به نام توزیع مقادیر حدی نوع سه برای توصیف نمایه‌های کم‌آبی ارائه کردند و نشان دادند که توزیع معرفی شده عملکرد بهتری در مدل کردن جریان کم هفت‌روزه نسبت به سایر توزیع‌های احتمالاتی متداول داشت.

محمودی (۱۳۹۲) در تحقیقی خشک‌سالی هیدرولوژیکی رودخانه تجن در محدوده دشت ساری- نکا با استفاده از شاخص‌های جریان کم سالانه با تداوم‌های ۷، ۱۵ و ۳۰ روز در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال پیش‌بینی و مورد بررسی قرار داد. در نهایت نتایج نشان داد براساس جریان‌های کم پیش‌بینی‌شده رودخانه تجن در دوره برگشت‌های مذکور، این رودخانه در محدوده دشت با بحران خشک‌سالی روبروست.

نوری قیداری و حسینی تو دشتکی (۱۳۹۲) با نگرشی نو، به نحوه مدل کردن جریان کم در حوزه آبخیز ارومیه، توزیع احتمالاتی مقادیر حدی را برای توصیف نمایه‌های کم‌آبی معرفی کردند. بررسی و برآورد شاخص‌های تداوم-جریان براساس عوامل هیدرواقليمی و لیتولوژی (مطالعه موردی: ناحیه خزری) توسط کاظمی و اسلامی (۱۳۹۲)

با استفاده از روش آزمون تحلیل عاملی از بین ۲۱ پارامتر مؤثر، شش عامل به عنوان مهم ترین عوامل مستقل انتخاب شدند.

پرهت و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به تحلیل منطقه‌ای آبدی ایستگاه‌های آب‌سنجی در سطح مناطق مرزی غرب و دریاچه ارومیه پرداختند، ابتدا ایستگاه‌های دارای آمار کافی با دوره زمانی مشترک، انتخاب شد. آبدی متوسط سالانه محاسبه و تحلیل همگنی حوضه‌ها با توجه به آبدی و پارامترهای تأثیرگذار انجام گرفت و دبی با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ سال محاسبه شد. روابط منطقه‌ای برای مناطق همگن با استفاده از پارامترهای هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی، نظیر بارش متوسط سالانه، مساحت حوضه، شیب، استخراج شد. پس از ارزیابی براساس ایستگاه‌های شاهد، روابط منطقه‌ای آبدی متوسط و محتمل با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شد. حاجی محمدی (۱۳۹۵) اثر تغییر اقلیم را بر مقادیر جریان کم در حوضه رودخانه کن مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه شبیه‌سازی جریان توسط مدل SWAT انجام شد و مقادیر جریان کم با تداوم‌های ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۵ و ۳۰ روزه محاسبه شد. نتایج به دست آمده ۱۳ درصد کاهش جریان کم را تا سال ۲۰۴۰ نشان داد. رضایی (۱۳۹۰) به تحلیل منطقه‌ای آبدی در زیرحوضه‌های سد سفیدرود پرداخت. براساس ویژگی‌های فیزیوگرافی و بارندگی سالانه، تحلیل خوشه‌ای برای تعیین مناطق همگن انجام شد. پس از انجام تحلیل عاملی، مهم ترین عامل‌های مؤثر بر دبی متوسط سالانه، شامل مساحت و ارتفاع متوسط به دست آمد. در نهایت مناسب ترین رابطه آبدی سالانه در زیرحوضه‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شد.

جهانبخش و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از داده‌های ۱۳ ایستگاه آب‌سنجی در دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۰ و عوامل فیزیوگرافی، اقلیمی، زمین‌شناسی، به تجزیه و تحلیل زمانی و مکانی دبی کم در رودخانه کرخه پرداختند. برای این منظور از روش تحلیل خوشه‌ای مرتبه‌ای و رگرسیون گام به گام استفاده کردند. سرانجام سری زمانی شاخص‌ها از لحاظ وجود روند مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که با افزایش دوره بازگشت، مقادیر شاخص‌ها کاهش می‌یابد. در سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۸ بیشتر ایستگاه‌ها شدیدترین و طولانی‌ترین خشکسالی‌ها را تجربه کرده‌اند. بررسی توزیع مکانی نیز وضعیت بهتر قسمت‌های جنوب شرقی حوضه نسبت به مناطق شمالی و جنوبی

حوضه از نظر خشکی را نشان داد. ایشان با استفاده از آنالیز خوشه‌ای دو منطقه همگن تعیین کردند و در هر یک از این واحدها و در کل منطقه روابط منطقه‌ای با سطح معنی‌داری ۰/۰۱ استخراج شد. بررسی این روابط نشان داد که در منطقه "یک" عامل ارتفاع، در منطقه "دو" تراکم زهکشی و در کل منطقه عامل مساحت و تراکم زهکشی بیشترین تأثیر را دارند.

بررسی و ارائه روابط منطقه‌ای شاخص جریان پایه، در حوضه‌های همگن استان کرمان، با استفاده از روش آزمون تحلیل عاملی از بین ۱۴ پارامتر مؤثر در شاخص جریان پایه، توسط کاظمی و شریفی (۱۳۹۶) انجام شد. شش عامل ثابت افت منحنی هیدروگراف، بارش متوسط سالانه، تبخیر و تعرق واقعی، نفوذپذیری، توپوگرافی (شیب و ارتفاع) و شماره منحنی، به عنوان عوامل مستقل انتخاب شدند. سپس روابط منطقه‌ای به روش رگرسیون خطی، در سطوح معنی‌داری کمتر از یک درصد با ضریب تبیین ۰/۹۹ به دست آمد. علاوه بر این به منظور مقایسه و ارزیابی صحت و کارایی مدل‌های برآوردی، روش آزمون استقلال خطاها، نرمال بودن توزیع خطاها و هم خطی مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی و تحلیل عوامل مؤثر بر جریان پایه در اقلیم مختلف ایران توسط کاظمی و شریفی (۱۳۹۷) و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی برای شناخت عوامل مستقل مؤثر بر جریان پایه با استفاده از ۱۴ پارامتر در شش منطقه اقلیمی و ۳۱۴ ایستگاه آب‌سنجی کشور انجام شد. سپس عوامل مؤثر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که پارامترهای مورد استفاده بیش از ۸۰ درصد واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. عوامل ذاتی مرتبط با نفوذ و نگهداشت آب در خاک، با وزن بیش از ۴۵ درصد در تمام اقلیم‌ها در مرتبه اول تأثیرگذاری قرار داشت. همچنین نتایج نشان داد که وزن عوامل مؤثر بر جریان پایه، متناسب با نوع اقلیم تغییر می‌کند.

تعیین بهترین روش همگن‌بندی سلسله‌مراتبی برای تحلیل منطقه‌ای شاخص جریان پایه در حوضه‌های استان کرمان توسط کاظمی و شریفی (۱۳۹۸) انجام و روش فاصله از مرکز به دلیل کمینه خطای برآورد نسبی و کمینه خطای برآورد استاندارد، به عنوان مناسبترین روش همگن‌بندی معرفی شد.

اشرف زاده و آقاجانی (۱۳۹۶) به تحلیل منطقه‌ای برای برآورد آبدهی در زیر حوضه‌های بدون آمار رودخانه حبله‌رود پرداختند، برای این منظور، از روش‌های رگرسیون خطی و هم‌چنین سه متغیر مستقل شامل مساحت، بارش و شیب استفاده شد. حوضه موردنظر، به پنج زیر حوضه اصلی و ۴۴ زیر حوضه فرعی تقسیم شد، با استفاده از داده‌های پنج ایستگاه آب‌سنجی فعال درحوضه، معادلات رگرسیونی برای برآورد آبدهی ویژه (نسبت آبدهی به مساحت) و آبدهی سالانه استخراج، و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد اگر حوضه مورد مطالعه را به زیرحوضه‌های کوچک تقسیم کنیم، آبدهی ویژه می‌تواند، متغیری مناسب برای تحلیل منطقه‌ای رواناب باشد.

هنربخش و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی به تحلیل فراوانی منطقه‌ای جریان کم در بخش‌هایی از حوزه آبخیز کارون شمالی در استان چهارمحال بختیاری پرداختند. در این پژوهش از ۱۵ ویژگی فیزیوگرافی و اقلیمی استفاده و تحلیل خوشه‌ای و تجزیه مولفه‌های اصلی، مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیوگرافی و اقلیمی انتخاب شد. در نهایت مدل‌های برآورد جریان کم هر منطقه با استفاده از روش رگرسیون گام به گام توسعه یافت و ویژگی‌های مساحت، طول حوضه، ضریب کشیدگی و ضریب گردی، مهم‌ترین ویژگی‌ها در برآورد جریان کم شناسایی شد.

کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی به بررسی و ارائه روابط منطقه‌ای شاخص‌های منحنی تداوم جریان در مناطق نیمه‌خشک ایران پرداختند. با استفاده از ۱۱ پارامتر هیدرولوژیکی و مورفولوژی، در ۴۷ حوضه در محدوده استان فارس و رویکرد تحلیل عاملی، روابط رگرسیونی برآورد شاخص‌های منحنی تداوم جریان در حوضه‌های فاقد آمار را ارائه دادند.

قرمزچشمه و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی برخی از ایستگاه‌های آب‌سنجی حوضه کرخه را با هدف تحلیل دبی‌های کمینه با پایه زمانی ۶۰ روزه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای این تحلیل، از جریان کم و شاخص دبی کم (نسبت دبی کم به دبی متوسط سالانه) استفاده کردند. نتایج نشان داد که جریان کم با مساحت، بیشترین رابطه و شاخص‌های جریان با فاصله هر ایستگاه تا خروجی حوضه کرخه رابطه بیشتری دارد. این موضوع نشان داد که در سراب حوضه، جریان کم نسبت به متوسط جریان کمتر بوده و با نزدیک‌شدن به پایاب حوضه شاخص افزایش می‌یابد.

در مطالعه‌ای که توسط Zerfu (۲۰۰۹) در حوضه رود نیل انجام شد توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته (Gev^1) و Wake و Gev برازش خوبی با مقادیر جریان کم داشتند. همچنین در مدل رگرسیونی توسعه‌یافته که جریان کم تابعی از ویژگی‌های حوزه آبخیز بود منطقه به شش بخش همگن برای پیش‌بینی جریان کم با تداوم هفت روز برای حوضه‌های فاقد آمار تقسیم شد.

Mandal و Cunnane (۲۰۰۹) به بررسی معیارها و شاخص‌های مختلف جریان کم، کاربرد و تکنیک‌های تخمین آنها پرداختند که در حال حاضر در ایرلند و سایر نقاط جهان استفاده می‌شوند. در این مطالعه یک مدل تعمیم‌یافته مبتنی بر رگرسیون ساده برای منحنی‌های تداوم جریان^۲ (FDC) برای رودخانه‌های ایرلند توسعه داده شده است که می‌تواند برای پیش‌بینی منحنی‌های تداوم جریان برای هر حوضه اندازه‌گیری نشده از ویژگی‌های فیزیوگرافی و اقلیم‌شناسی حوضه شناخته شده استفاده شود این مطالعه بر مدل‌سازی تنها بخش سه‌چهارم پایینی منحنی (۲۵ درصد تا ۹۹/۹۹ درصد) متمرکز است. همچنین نتایج این بررسی نشان داد یک معادله لگاریتمی دو پارامتری، به خوبی با بخش پایینی منحنی‌ها در بیشتر ۱۲۵ سایت سنجش در ایرلند، مطابقت دارد.

Grandry و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی در بلژیک به آنالیز فراوانی جریان کم و ساخت یک مدل جهانی برای بیان شاخص جریان کم برپایه پارامترهای فیزیکی پرداختند. در این مطالعه توزیع‌های لوگ‌نرمال و گامای دو متغیره بیشترین برازش را با جریان کم داشت. در مطالعه‌ای دیگر Gao و همکاران (۲۰۱۷) اثر فعالیت‌های انسانی را بر توزیع فراوانی جریان کم بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های انسانی از جمله پمپ آب زیرزمینی، منحنی فراوانی جریان کم را در مدل‌های مخزن خطی و غیرخطی تغییر داد و دگرگونی توزیع فراوانی جریان کم تنها به خاطر تغییرات زیست‌محیطی نبوده است.

¹ Generalized Extreme Value Distribution

² Flow duration curve

Worland و همکاران (۲۰۱۷) توانایی هشت مدل یادگیری ماشین^۱ و چهار مدل پایه را برای برآورد جریان کم هفت‌روزه در ۲۲۴ محل غیرقابل کنترل در جنوب کارولینا، جورجیا، آلاباما و ایالت متحده مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل‌های یادگیری ماشین در طی اعتبارسنجی، نسبت به مدل‌های پایه، خطای کمتری را نشان داد.

الگوهای مکانی و زمانی جریان پایه برای بیش از ۱۰۰۰ حوزه آبخیز در ایالات متحده به‌وسیله Tashie و همکاران (۲۰۲۰) بررسی شد. نتایج وجود الگوهای فصلی در پایداری و غیرخطی بودن جریان پایه را اثبات کردند و مؤلفه تبخیر و تعرق دو تا سه ماه قبل را بهترین پیش‌بینی‌کننده پایداری جریان پایه معرفی کردند.

Alobaidi و همکاران (۲۰۲۱) یک چارچوب ترکیبی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای تجزیه و تحلیل فصلی جریان کم در سایت‌های اندازه‌گیری نشده پیشنهاد دادند. مدل پیشنهادی برای تخمین کمیت‌های جریان کم تابستان و زمستان برای حوزه‌های آبخیز در استان کبک، کانادا اعمال شد. نتایج در مقایسه با سایر مدل‌های ارائه‌شده، بهبود قابل توجهی را نشان داد.

نتایج بررسی تغییرات مکانی و زمانی جریان پایه به‌وسیله Mokua و همکاران (۲۰۲۴) در سه رودخانه کوهستانی در آفریقای جنوبی با استفاده از تلفیق دو روش فیلتر رقومی دو پارامتره و موازنه جرم هدایت الکتریکی^۲ نشان داد که سهم جریان پایه سالانه از نظر مکانی متفاوت است. ایشان برآورد کردند که جریان‌های پایه ۳۸ تا ۸۶ درصد از جریان‌های سالانه را در سه زیرحوضه تشکیل می‌دهند. هر سه زیرحوضه در تابستان خشک در مقایسه با زمستان مرطوب، سهم نسبی بالاتری از جریان پایه داشتند، درحالی که تغییرات سالانه نسبتاً جزئی است. آشکارسازی تغییرات زمانی جریان پایه و علل اساسی آن در حوضه رودخانه یانگ تسه (چین) به‌وسیله Wu و همکاران (۲۰۲۴) انجام شد. نتایج نشان داد که به‌طور میانگین ۷۵ درصد زمان‌ها، جریان پایه ماهانه، ۶۲ تا ۹۷ درصد از رواناب را تشکیل می‌دهد. همچنین جریان پایه، روندهای افزایشی قابل توجهی را سال ۱۹۵۷ تا ۲۰۲۰

¹ Machine-learning

² Conductivity Mass Balance (CMB)

نشان داده است. سهم بارش، دما، تبخیر و تعرق و برنامه‌های حفاظت از محیط زیست در تغییرات جریان پایه، به ترتیب ۸۶، ۵۳، ۱۵- و ۲۴- درصد محاسبه شد. باین‌حال، سهم آن‌ها در ماه‌های مختلف متفاوت است. علاوه‌براین، نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی با بیشینه زمان تأخیر ۱۰ ماهه تأثیر محرک بر تغییرات جریان پایه داشت.

یک رویکرد خوشه‌بندی تحلیل داده‌ها برای بررسی الگوهای فصلی هیدروگراف‌های جریان پایه برای ۶۷۱ حوزه آبخیز در سراسر بریتانیای به‌وسیله Leeming و همکاران (۲۰۲۵) اعمال شد. نتایج نشان داد که توزیع مکانی خوشه‌های فصلی جریان پایه ارتباط نزدیکی با شاخص جریان پایه دارد و تأثیر عوامل توپولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و خاک حوزه آبخیز را نشان می‌دهد. ایشان میزان تأثیر آب و هوا بر تغییرات جریان پایه را کم گزارش کردند. ارزیابی جامع و تحلیل تغییرات جریان پایه در یک حوضه کارستی معمولی در جنوب‌غربی چین به‌وسیله Mo و همکاران (۲۰۲۵) انجام شد. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی در طول سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۳ بر تغییرات جریان پایه غالب بود، درحالی که فعالیت‌های انسانی در طول سال‌های ۱۹۹۲-۱۹۷۹ و ۲۰۰۹-۱۹۹۹ محرک‌های غالب بوده است. ظرفیت‌های بالای نشت و ذخیره‌سازی آبخوان‌های کارستی، همراه با ماهیت بسیار ناهمسان‌گرد و ناهمگن سامانه‌های کارستی، به‌طور قابل‌توجهی بر جریان پایه تأثیر گذاشتند.

در جمع‌بندی مرور منابع نکته قابل توجه این است، که تحقیقات جریان کم برای مقاصد مختلف انجام شده است که موارد زیر از پرکاربردترین آن‌ها است. شناخت، تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی، شناخت بهترین روش‌های خوشه‌بندی و تحلیل منطقه‌ای، شناخت مناسب‌ترین و مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر جریان کم، شناخت مناسب‌ترین روش‌های توزیع‌های احتمالی و همچنین شناخت بهترین روش‌های برآورد مبتنی بر الگوهای رگرسیونی، یادگیری ماشین و روش‌های شبکه مصنوعی و هوش مصنوعی متمرکز است. نویسندگان با تمرکز بر تجربیات حاصل از اجرای طرح‌های مختلف در خصوص تحلیل منطقه‌ای جریان کم و همچنین جمع‌بندی تجربیات چند دهه اخیر نویسندگان و پژوهش‌های مشابه، دستورالعمل حاضر را تدوین کرده‌اند.

فصل دوم:

روش کار

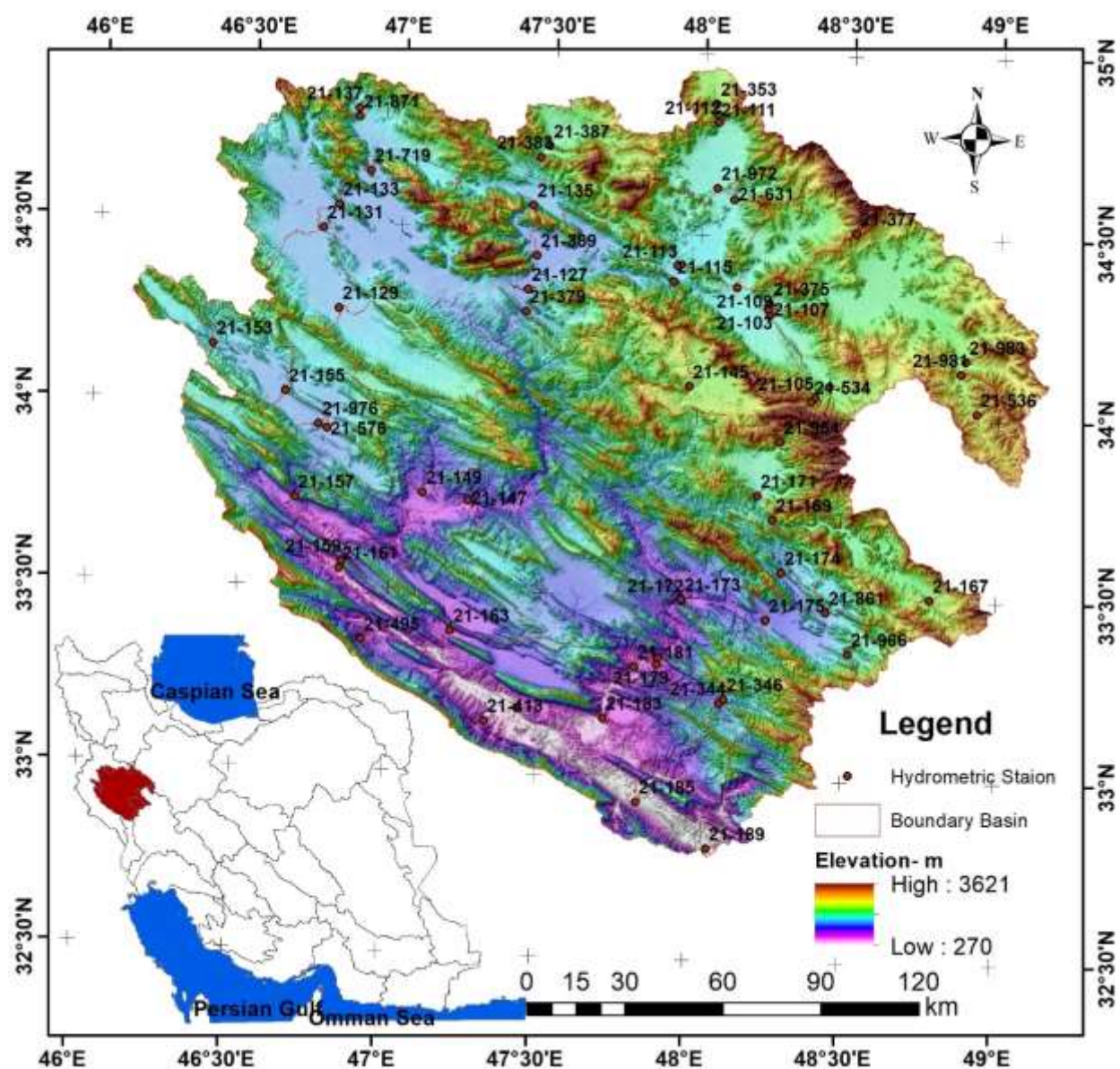
۲-۱- ویژگی‌های انتخاب منطقه

مهم‌ترین ویژگی‌های لازم برای انتخاب منطقه تحقیق عبارت است از: ۱- تعیین محدوده منطقه تحقیق براساس معیارهای اقلیمی، توپوگرافی و داده‌های آب‌سنجی در حوزه‌های بالادست ایستگاه‌های اندازه‌گیری، ۲- منطقه تحقیق باید دارای تنوع اقلیمی، کاربری، زمین‌شناسی و توپوگرافی باشد، تا دامنه مناسبی از تغییرات هر یک از متغیرهای جغرافیایی قابل حصول باشد. یکنواختی یک منطقه یا حوزه‌های آبخیز از نظر متغیرهای یادشده، باعث کاهش دامنه کاربرد رابطه‌های به‌دست‌آمده خواهد شد. همچنین برای حوزه‌هایی با خصوصیات خارج از دامنه‌های به‌دست‌آمده در حوزه‌های مورد مطالعه، ناچار به برون‌یابی خواهیم شد، ۳- مناسب است که منطقه با وسعت زیاد انتخاب شود، با توجه به اینکه، رفتار روابط متغیرها خطی ناست، برای اجتناب از خطای بالا در تعمیم روابط، معمولاً تحلیل منطقه ای در وسعت بالا انجام می‌شود، ۴- وجود تعداد کافی ایستگاه‌های آب‌سنجی با طول داده مناسب، ۵- انتخاب ایستگاه‌های آب‌سنجی بالادست سد. زیرا که سدها، رژیم جریان در پایین‌دست را دستخوش تغییر قرار می‌دهد، ۶- در بیان مشخصات حوزه نیز باید، مشخصاتی بیان شود که خواننده به‌دلیل انتخاب حوزه، مجاب شود. خصوصياتی مانند: وضعیت کلی توپوگرافی، بارش، کاربری، زمین‌شناسی و جریان رودخانه لازم است.

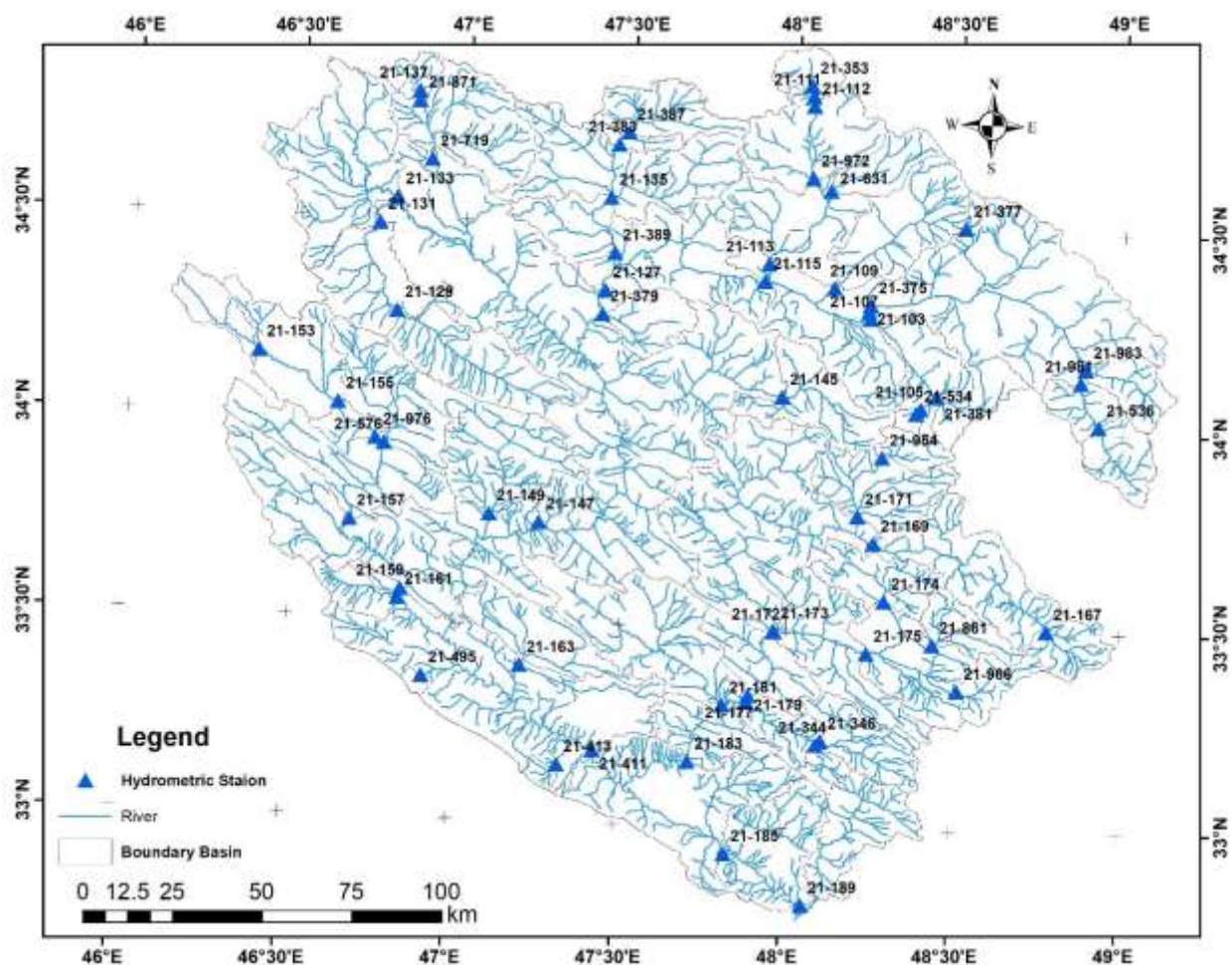
قرمزچشمه و همکاران (۱۴۰۵) کل کشور را براساس موارد یادشده به ۱۲ منطقه تقسیم کردند. این تقسیم‌بندی مبتنی بر حوزه‌های رتبه دو و وجود یا عدم وجود تعداد مناسب ایستگاه‌های آب‌سنجی دارای داده، صورت گرفته است. یکی از مناطق ۱۲ گانه این مناطق، حوزه کرخه است. در این حوزه تا هورالعظیم ۶۸ ایستگاه آب‌سنجی وجود دارد که ایستگاه‌های بالادست سد کرخه ملاک عمل قرار گرفت. در شکل ۲-۱ موقعیت منطقه تحقیق در کشور و شکل ۲-۲ توزیع جغرافیایی این ایستگاه‌ها آورده شده است.

حوزه کرخه، به‌صورت کشیده شمالی جنوبی در غرب فلات ایران و محدوده جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۵ درجه عرض شمالی و ۴۶ درجه تا ۴۹ درجه طول شرقی واقع شده است. این رودخانه در محلی به‌نام پای پل وارد دشت خوزستان می‌شود. طول شاخه اصلی بالادست ایستگاه پای پل حدود ۴۳۰ کیلومتر، گذر حجمی

متوسط رودخانه حدود ۱۸۰ متر مکعب در ثانیه و مساحت حوضه آبخیز بالادست رود کرخه حدود ۴۲۶۴۴ کیلومترمربع است. که حدود ۷۰ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۳۰ درصد باقیمانده را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند. از نظر کاربری اراضی تنوع زیاد کشاورزی آبی و دیم، مرتع، جنگل دارا بوده و تنوع زیاد زمین‌شناسی از سازندهای پرکامبرین تا عهد حاضر را رخنمون دارد. این حوضه به لحاظ وسعت بسیار زیاد، از شرایط آب و هوایی متنوعی برخوردار است. متوسط سالانه‌ی ریزش‌های جوی در این حوضه ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است. معمولاً نیمی از کل بارندگی سالانه در زمستان نازل می‌شود و پس از آن بیشترین بارندگی مربوط به فصل پاییز و بهار است. از نظر آب و هوایی بیش‌تر به اقلیم ویژه دریای مدیترانه تعلق دارد. میزان متوسط بارش سالانه در محل سد مخزنی حدود ۲۹۰/۶ میلی‌متر و بیشینه بارش سالانه حدود ۵۸۸ میلی‌متر بوده است که متعلق به سال ۱۳۵۴-۵۵ است (قرمزچشمه و کاظمی، ۱۴۰۴).



شکل ۱-۲- موقعیت منطقه تحقیق در کشور (قرمزچشمه و کاظمی، ۱۴۰۴)



شکل ۲-۲- موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد استفاده (قرمز چشمه و کاظمی، ۱۴۰۴)

۲-۲- جمع‌آوری آمار و اطلاعات و پردازش آن

داده‌های مور نیاز شامل: داده‌های توپوگرافی، اقلیمی، کاربری و زمین‌شناسی است. هر یک از این‌ها، دارای مقیاس زمانی و مکانی مختلف بوده و از منابع مختلف قابل تهیه است. برای تأمین این داده‌ها، معیارها و محدودیتهایی وجود دارد. علاوه بر معیار انتخاب داده با توجه به هدف مطالعه یا تحقیق، هزینه و زمان نیز می‌تواند در نوع انتخاب داد تأثیرگذار باشد. به‌طور معمول باید داده‌های اقلیمی (بارش، دما، تبخیر و ...) و داده‌های جریان (دبی سالانه، روزانه، ماهانه و لحظه‌ای) بر حسب هدف انتخاب شوند. داده‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با توجه به در دسترس بودن آن‌ها، توصیه می‌شود. علاوه بر آن DEM راداری با دقت مکانی ۳۰ یا ۹۰ متر برای کل دنیا در سایت USGS در دسترس است و می‌توان به آن رجوع کرد. پارامترهای مختلف هندسی، مانند: شیب،

جهت، زهکشی و ... از توپوگرافی در محیط GIS قابل استخراج است. داده‌های دیگر مانند زمین‌شناسی و کاربری اراضی در ادامه ارائه شده است.

۲-۳- استخراج داده‌های هیدرومرفولوژیک

داده‌های هیدرومرفولوژیک به مجموعه‌ای از متغیرها و عواملی گفته می‌شود که به نحوی در چرخه هیدرولوژی مؤثرند. داده‌های هیدرومرفولوژیک مؤثر بر جریان کم حوضه‌ها را می‌توان در چهار گروه دسته‌بندی کرد:

۱. متغیرهای فیزیوگرافی یا مورفومتریک؛

۲. عوامل زمین‌شناسی؛

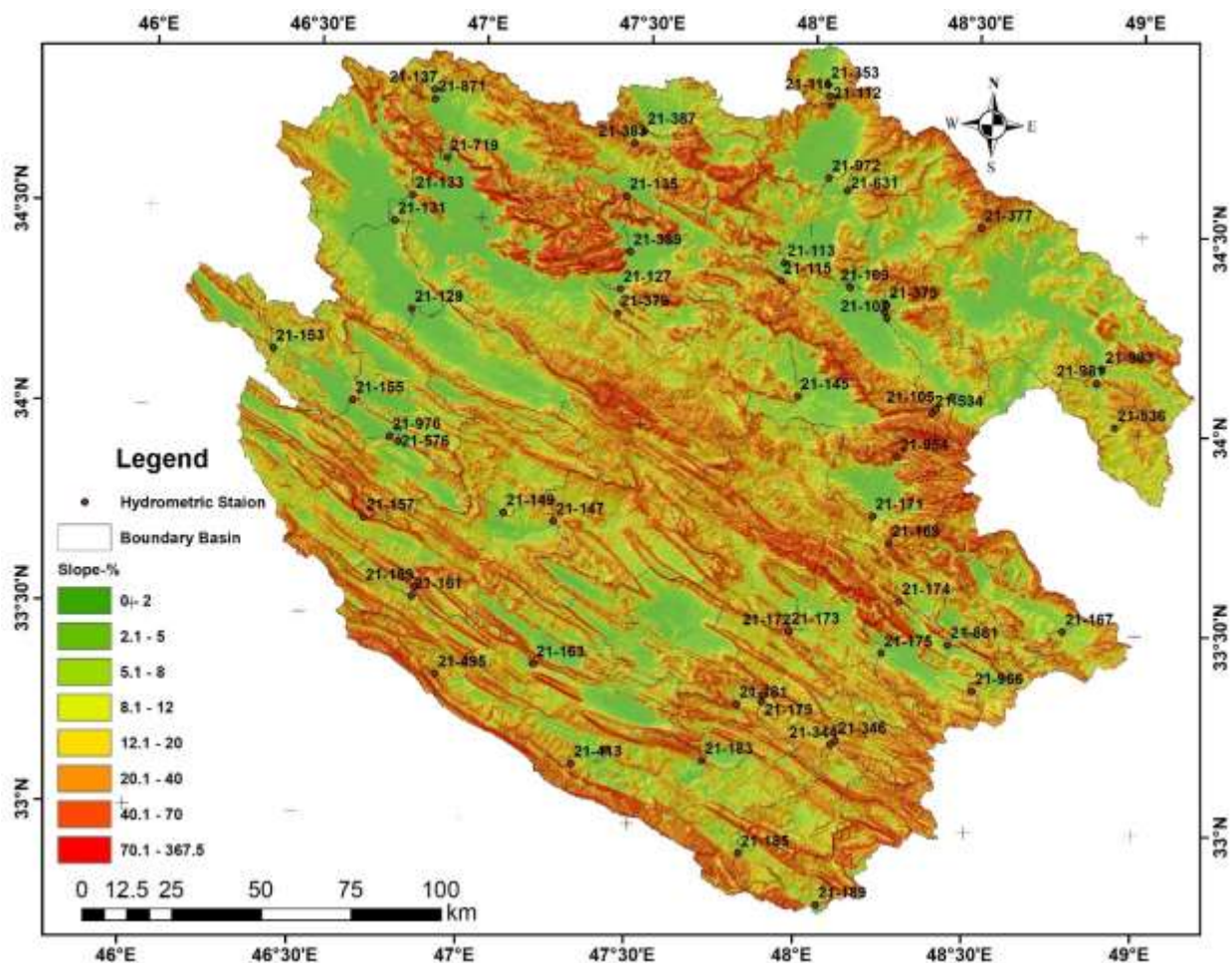
۳. عوامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی؛

۴. متغیرهای اقلیمی.

با اندازه‌گیری و ثبت عوامل و متغیرهای فوق‌الذکر و تجزیه و تحلیل داده‌ها و سپس تعمیم رفتار آماری آن‌ها از گذشته و حال به آینده، می‌توان احتمال وقوع حوادث را پیش‌بینی کرد و در برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت منابع آب، مدیریت کشت و الگوی کشت یک حوضه از آن‌ها بهره گرفت. در ادامه به نکات مهم در نحوه محاسبه متغیرهای هندسی پرداخته می‌شود.

۲-۳-۱- متغیرهای فیزیوگرافی

فیزیوگرافی در حقیقت مطالعه‌ی خصوصیات فیزیکی و وضعیت ریخت‌شناسی یک حوزه آبخیز است که اثر تعیین‌کننده‌ای بر خصوصیات هیدرولوژیک و رژیم آبی آن دارد. با توجه به ثبات این ویژگی‌ها و ارتباطی که بین آن‌ها و دبی‌های کمینه وجود دارد، می‌توان از آن‌ها در ارائه‌ی مدل‌های تخمین و برآورد دبی‌های کمینه با پایه زمانی مختلف استفاده کرد. متغیرهای مهم، شامل: مساحت حوضه، ارتفاع کمینه، بیشینه و متوسط وزنی حوضه، شیب متوسط حوضه، طول آبراهه‌ی اصلی حوضه، محیط حوضه، طول حوضه، تراکم زهکشی، جهت‌های شیب

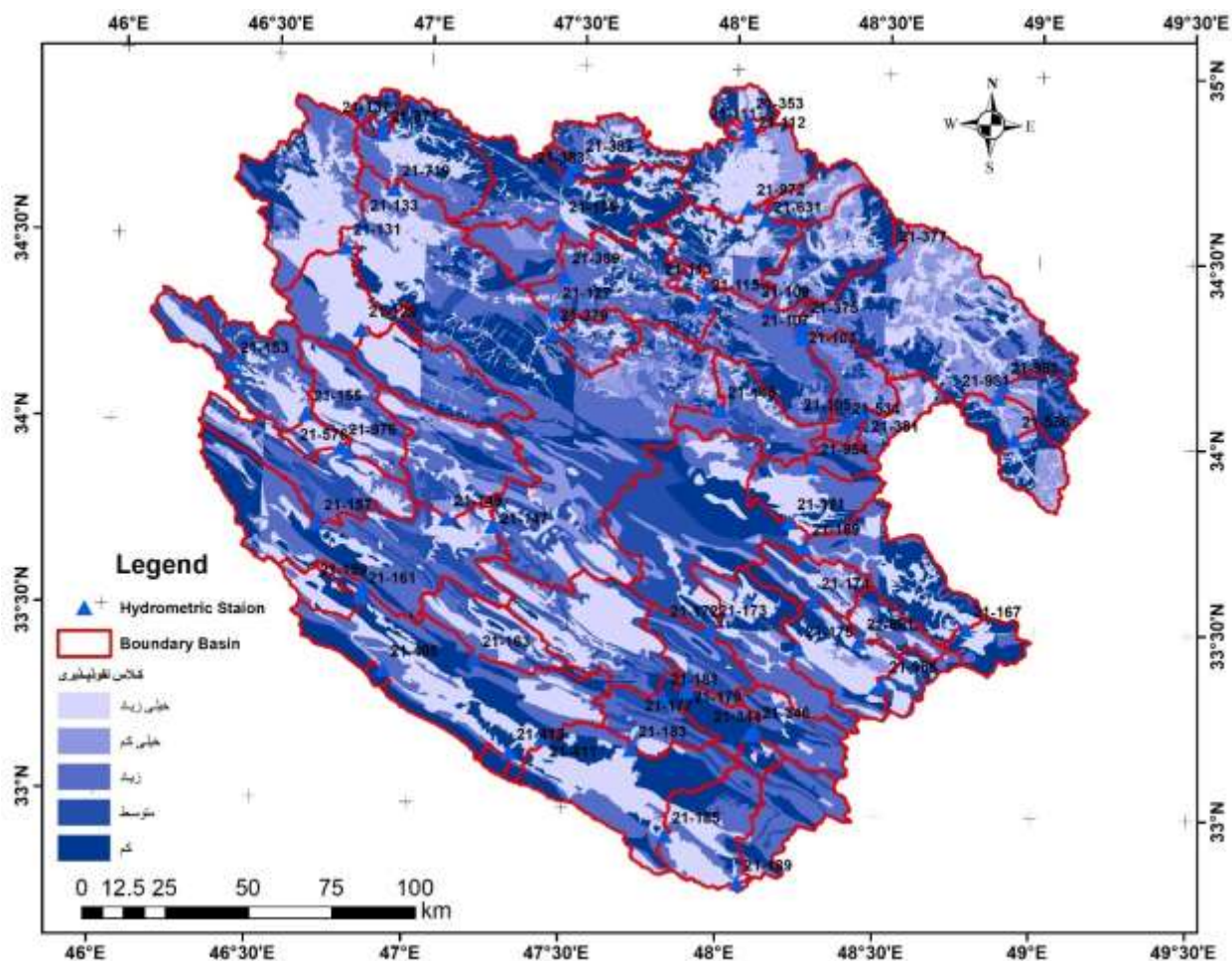


شکل ۲-۴- نقشه شیب حوزه کرخه- بالادست سد کرخه

۲-۳-۲- عامل زمین‌شناسی

از دیدگاه زمین‌شناسی، جنس سازندها براساس نفوذپذیری نسبی آن‌ها بر جریان تأثیرگذار است. نفوذپذیری سازندها در جریان تأثیر دوگانه دارد. به‌طوری که سازندهای با نفوذپذیری بالا نقش منفی در رواناب و سیل دارند و برعکس در جریان پایه تأثیر مثبت دارند. بعبارت دیگر در حوضه‌هایی که نفوذپذیری سازندها بالا باشد، رواناب سطحی چندانی مشاهده نخواهد شد، ولی جریان پایه پایداری را خواهند داشت. عوامل تأثیرگذار بر نفوذپذیری سازندها علاوه بر جنس سازندها، میزان خردشدگی در سازندهای سخت نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای می‌تواند داشته باشد. لذا در طبقه‌بندی سازندهای سخت از دیدگاه نفوذپذیری، باید میزان خردشدگی را مدنظر قرار داد. خردشدگی سازندها، در اثر گسلها و چین خردگی‌ها بوجود می‌آیند که در نقشه‌های زمین‌شناسی مشخص شده‌اند.

بازدید صحرایی در تعیین خردشدگی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. عامل زمین‌شناسی به دو صورت در معادلات رگرسیون وارد می‌شوند: ۱- مساحت طبقات مختلف نفوذپذیری به‌عنوان متغیر و ۲- با ایجاد یک شاخص وزنی از کل طبقات. توصیه می‌شود از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برای این منظور استفاده شود و در صورت عدم دسترسی به آن‌ها، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ کشور از سازمان زمین‌شناسی قابل دریافت است. لازم به توضیح است که متولی نقشه‌های زمین‌شناسی کشور، سازمان زمین‌شناسی است، ولی در مناطق نفتی بر عهده وزارت نفت است. لذا در برخی مناطق به اجبار برخی نقشه‌ها از سازمان زمین‌شناسی و برخی دیگر از وزارت نفت، تهیه و یکسان‌سازی صورت گیرد. حوضه کرخه جزء مناطقی است که اینگونه است. در این حوضه بعد از تهیه و یکپارچه کردن نقشه‌ها، واحدهای سنگی براساس نفوذپذیری نسبی طبقه‌بندی شدند. برای این منظور سازندهای زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ راقومی و براساس پتانسیل نفوذپذیری به پنج طبقه نفوذپذیری خیلی زیاد تا خیلی کم تقسیم شدند (شکل ۲-۵).

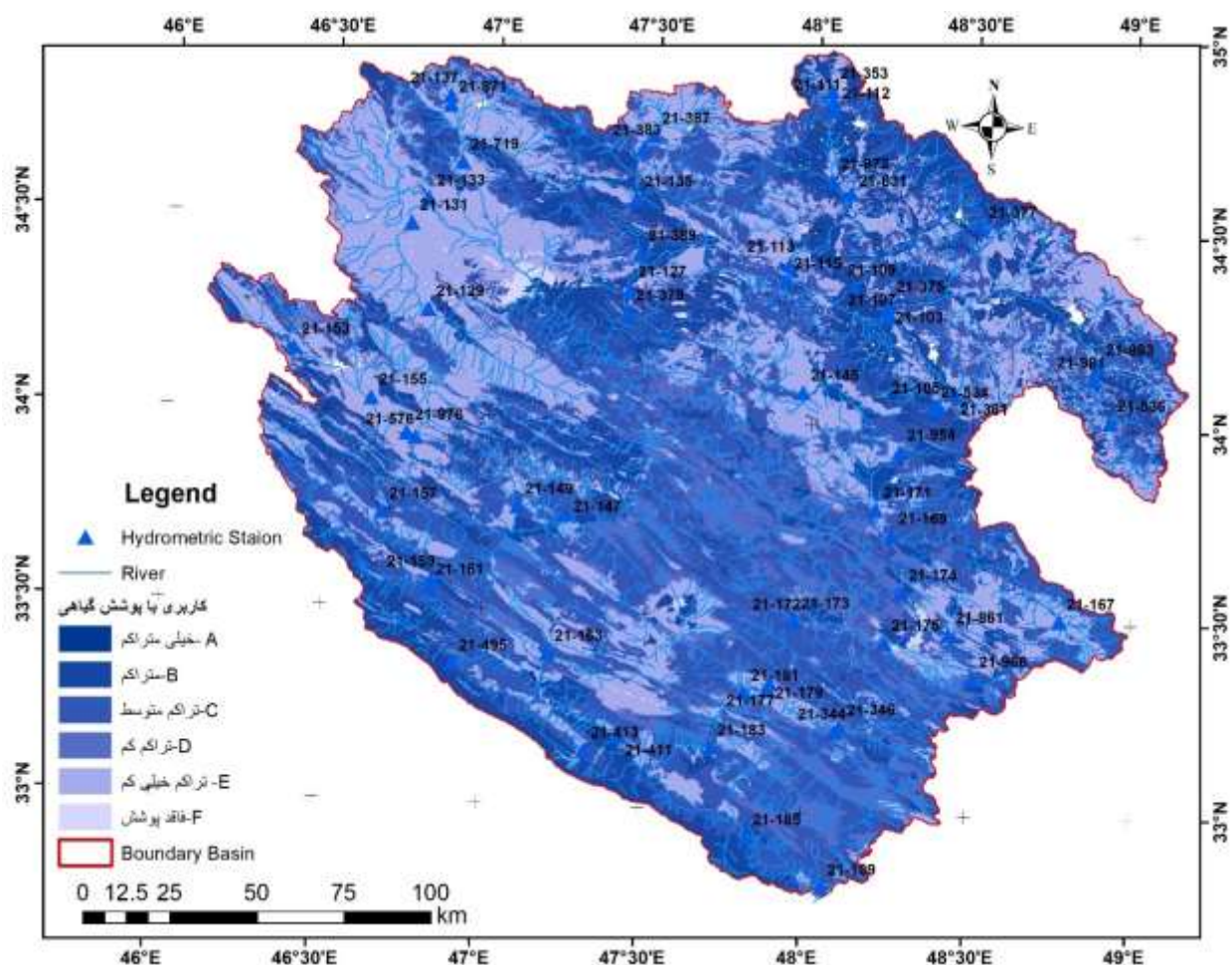


شکل ۲-۵- نقشه نفوذپذیری نسبی سازندهای زمین‌شناسی

۲-۳-۳- عامل پوشش گیاهی

پوشش گیاهی از راه‌های متفاوت می‌تواند بر سرعت، شدت و میزان نفوذ رواناب تأثیرگذار باشد. لذا در اراضی با پوشش گیاهی متراکم، مانند اراضی جنگلی و یا زراعت آبی، بخشی از جریان وارد پروفیل خاک شده و به‌صورت جریان زیرقشری در دامنه‌ها حرکت کرده و باعث تقویت جریان پایه می‌شود. معمولاً نقشه کاربری زمین/ اراضی براساس تصاویر ماهواره‌ای تهیه می‌شوند. روش‌های مختلفی برای استخراج کاربری اراضی، وجود دارد. روش‌های تفسیر چشمی تا انواع روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده، روش‌های نوین مانند: یادگیری ماشین و یا شیء مبنا، قابل حصول است. متولی کاربری اراضی، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور است، ولی سازمان‌های مختلف نیز به‌صورت موردی و یا کل کشور را تهیه کرده‌اند. آخرین نقشه کاربری زمین در سال ۱۳۹۹

توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور براساس تصاویر سنتینل ۲ تهیه شده است. کاربری اراضی نیز مانند زمین‌شناسی با تأثیر بر نفوذپذیری بر جریان رودخانه نقش ایفا می‌کند. این عامل نیز به دو صورت، ۱- مساحت کاربری‌های با نفوذپذیری یکسان، به‌عنوان متغیر و ۲- با ایجاد یک شاخص وزنی از کل طبقات در روابط رگرسونی وارد می‌شود. برای نمونه، نقشه پوشش سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور مبتنی بر تصاویر سنتینل ۲ سال ۱۳۹۹ در حوضه کرخه استفاده و به پنج طبقه مناطق با پوشش گیاهی ناچیز، پوشش گیاهی کم، متوسط، زیاد و متراکم تقسیم و مساحت هریک از طبقات در هر حوضه محاسبه شد (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶- وضعیت طبقات پوشش گیاهی براساس نقش آن‌ها در نفوذپذیری خاک

۲-۴- داده‌های آب و هوای منطقه

در بررسی و مطالعه جریان‌های سطحی اعم از حوضه‌های شهری و غیرشهری، بررسی پارامترهای هواشناسی، به‌ویژه بارش از اهمیت خاصی برخوردار است، عملاً بدون مطالعه و تجزیه و تحلیل داده‌های مربوطه نمی‌توان هیدرولوژی جریان‌های سطحی و زیرزمینی را انجام داد. مطالعات مرتبط با فرسایش و رسوب، پوشش گیاهی و منابع اراضی، نیازمند اطلاعات هوا و اقلیم است. به همین منظور مطالعه هواشناسی و اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف این بند دستورالعمل، بررسی و استخراج پارامترهای اقلیمی برای محاسبات مورد نیاز متغیرهای اقلیمی است.

۲-۴-۱- بررسی صحت و طول دوره آماری

انتخاب ایستگاه‌های مناسب از نظر طول دوره آماری و دوره آماری مشترک، اهمیت زیادی دارد. به‌علت فقدان و یا کمبود ایستگاه‌های با طول دوره آماری بلند مدت و به‌منظور استفاده بیشینه‌ای از ایستگاه‌های هواشناسی، نیاز به بازسازی داده‌های گم‌شده و افزایش طول دوره آماری است.

قبل از بررسی داده‌های جمع‌آوری‌شده و به‌منظور کنترل داده‌ها، پس از بررسی چشمی، آزمون اولیه شامل آزمون همگنی داده‌ها با روش آزمون توالی و یا نمودار جرم مضاعف (مهدوی، ۱۴۰۳؛ علیزاده، ۱۴۰۰) صورت گیرد. بعد از آزمون همگنی و تعیین دوره آماری مشترک، نیاز به بازسازی داده‌های مفقود شده است. بازسازی داده‌ها به تعداد محدود قابل انجام است و برای این منظور، از رابطه کولموگراف، (۲-۱)، برای افزایش دوره آماری استفاده می‌شود.

$$Ne = \frac{N}{1 + \left(1 - r^2\right) \left(\frac{N-n}{n-2}\right)} \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

که در این رابطه:

Ne: مدت مجاز برای تطویل آمار (سال)

N: تعداد سال‌های آماری ثبت شده در ایستگاه مبنا

n: تعداد سال‌های آماری ثبت‌شده در ایستگاه وابسته

r: ضریب همبستگی رابطه منتخب بین ایستگاه مبنا و وابسته

۲-۴-۲- بررسی داده‌های پرت

داده‌هایی که از محدوده تشکیل شده به وسیله سایر داده‌ها دور باشند را داده‌های پرت می‌نامند. وجود نقطه پرت در میان داده‌ها، باعث بروز مشکلاتی در تجزیه و تحلیل فراوانی می‌شود. روش‌های مختلفی برای تشخیص داده‌های پرت وجود دارد که روش باکس-پلات^۱ و روش گرویز-بک^۲ (Grubbs و Beck، ۱۹۷۲؛ Stefansky، ۱۹۷۲) جزء روش‌های مرسوم هستند. این روش‌ها در اغلب نرم‌افزارهای آماری وجود دارد و به راحتی قابل استفاده است.

۲-۴-۳- تکمیل و بازسازی دوره مشترک آماری

آمارهای ناقص در سری زمانی مشترک به خصوص آمارهای دبی، بارش، دما و تبخیر و تعرق، پس از اصلاح همگنی نیاز به بازسازی دارند. روش‌های مختلف (روش میانگین حسابی یا هندسی، نزدیک‌ترین ایستگاه، بهترین همبستگی) برای بازسازی داده‌های مفقوده، وجود دارد. برای این منظور، روش رگرسیون خطی مبتنی بر همبستگی (ضریب همبستگی پیرسون^۳) پیشنهاد می‌شود. در این روش رابطه همبستگی بین ایستگاه دارای داده ناقص با ایستگاه‌های مورد بررسی ایجاد می‌شود و ایستگاهی که بیش‌ترین ضریب همبستگی را داشته باشد، برای تکمیل ایستگاه ناقص به کار برده می‌شود.

¹ Box-Plot

² Grubbs-Beck

³ Pearson Correlation Coefficient

نکات قابل توجه در این روش

۱. ایستگاه مبنا باید دارای آمار کافی بوده و در صورت امکان سال‌هایی که ایستگاه مورد بازسازی فاقد داده است، دارای داده باشد.
۲. ضریب همبستگی بالایی با ایستگاه مبنا داشته باشد و در سطح ۵ درصد معنی‌دار باشد.
۳. در نمودار، نقاط، پراکنش مناسب در اطراف خط برازش، داشته باشند و نقاط با فاصله زیاد از خط برازش اندک باشد.
۴. در صورت وجود ایستگاه‌های با ضریب همبستگی زیاد از ایستگاه‌های نزدیکتر استفاده شود.

۲-۴-۴- روش‌های درون‌یابی

برای تعمیم داده‌های نقطه‌ای به سطح حوضه یا منطقه از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌شود. از نظر ثقفیان و رحیمی (۱۳۸۴) روش‌های مختلفی برای تعمیم نقطه به سطح وجود دارد که به ۱- تعداد و پراکنش ایستگاه‌ها، ۲- وضعیت توپوگرافی و ۳- همگنی اقلیم منطقه بستگی دارد. در صورت وجود بیش از ۲۵ تا ۳۰ ایستگاه می‌توان از روش‌های درون‌یابی مانند روش معکوس فاصله^۱ (IWD)، کریجینگ^۲ و اسپیلاین^۳ استفاده کرد (برای نحوه به‌کارگیری این روش‌ها رجوع شود به کتاب آمار فضایی و تحلیل داده‌های مکانی نوشته جوی‌زاده و همکاران ۱۳۹۷). در صورت کم‌تعداد بودن ایستگاه‌ها، از روش همبستگی چندمتغیره (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی)، باید استفاده شود. بعد از استخراج نقشه بارش در محیط GIS برای هر حوضه یا زیرحوضه، متوسط بارش محاسبه می‌شود.

^۱ Inverse distance weighting

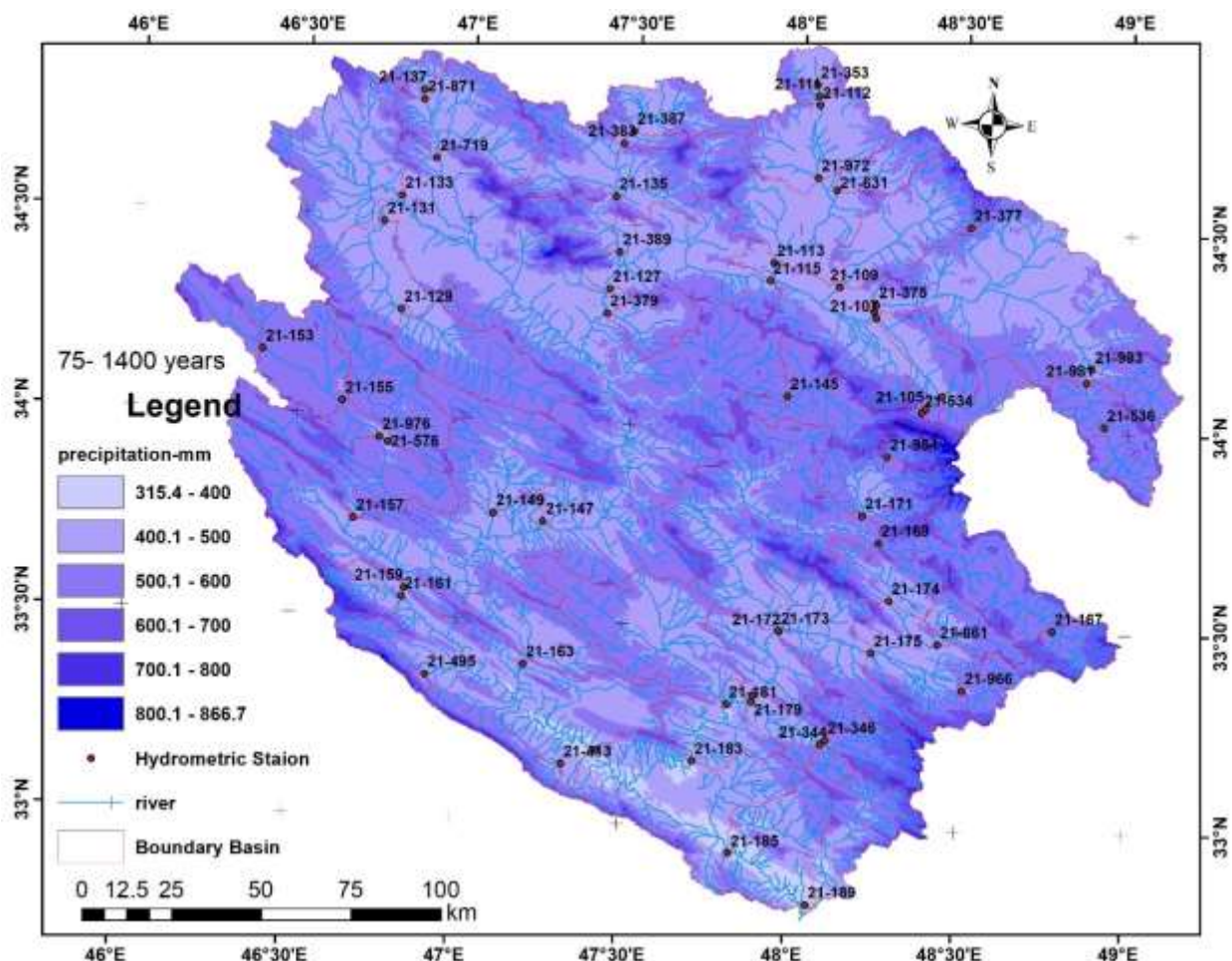
^۲ Kriging

^۳ Spline

۲-۴-۵- تجزیه و تحلیل بارش

برای محاسبه بارش متوسط سالانه حوضه‌ها نیاز به تهیه داده‌های درازمدت (حدود ۳۰ سال) بارش ماهانه و سالانه ایستگاه‌های هواشناسی است. برای تعمیم بارش ایستگاه به سطح حوضه کمینه به ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی نیاز است و هرچه تعداد ایستگاه‌ها بیشتر باشد، دقت تعمیم به سطح حوضه بیشتر خواهد شد. لازم به توضیح است که علاوه بر ایستگاه‌های داخل حوضه، باید از ایستگاه‌های اطراف نیز استفاده شود. برای محاسبه بارش سالانه و بارش بیشینه روزانه (۲۴ ساعته) حوضه، انجام فرآیند بندهای (۲-۵-۱ تا ۲-۵-۴) ضروری است.

بعد از استخراج نقشه بارش سالانه یا بیشینه بارش روزانه، تعمیم داده‌ها به حوضه‌های مورد مطالعه، انجام می‌شود. این عمل در محیط GIS با تقاطع مرز حوضه‌ها با نقشه بارش امکان‌پذیر است. در مطالعه نمونه انجام‌شده در حوضه کرخه، بارش حوضه از تغییرات نسبتاً بالایی برخوردار بوده و در دامنه ۳۲۰ تا ۸۸۰ میلی‌متر در سال با روش رگرسیون چندمتغیره به‌دست آمده است. در جدول ۲-۱ آماره‌های بارش دوره حاضر و نقشه بارش دوره حاضر حوضه کرخه- بالادست سد کرخه در شکل ۲-۷ آورده شد.



شکل ۲-۷- نقشه بارش دوره حاضر حوزه کرخه- بالادست سد کرخه

جدول ۲-۱- آماره‌های بارش دوره حاضر هریک از زیرحوضه‌های کرخه

ایستگاه	نام ایستگاه	مساحت - کیلومتر مربع	آماره‌های بارش سالانه دوره حاضر - میلی‌متر				
			کمینه	بیشینه	دامنه	میانگین	میانه
۲۱۱۰۳	پل حاج‌علی‌مراد	۳۱۳۰/۸	۴۴۱/۱	۷۴۴/۷	۳۰۳/۶	۵۱۴/۲	۵۰۷/۳
۲۱۱۰۵	سنگ سوراخ	۴۴/۳	۵۱۹/۸	۸۴۷/۹	۳۲۸/۱	۶۷۳/۲	۶۵۶/۲
۲۱۱۰۷	گوشه‌سعدوقاص	۷۸۰/۸	۴۴۰/۸	۸۷۸/۸	۴۳۸	۵۴۲/۵	۵۲۷/۵
۲۱۱۰۹	فیروزان	۸۲۸/۳	۴۳۶/۵	۷۸۵/۷	۳۴۹/۳	۵۰۵/۹	۴۸۶/۱
۲۱۱۱۱	آغاچان‌بلاغی	۲۰۱/۵	۴۴۸/۷	۶۶۵/۴	۲۱۶/۷	۴۹۹/۴	۴۸۳/۸
۲۱۱۱۲	بوجین	۲۳۳	۴۳۲/۴	۶۶۵/۴	۲۳۳	۵۰۰/۱	۴۸۶/۳
۲۱۱۱۳	آران	۲۰۳۵/۸	۴۱۳/۴	۷۵۸/۱	۳۴۴/۷	۴۷۳/۷	۴۶۱/۲
۲۱۱۱۵	دوآب	۷۱۷۶	۴۱۳/۴	۸۷۸/۸	۴۶۵/۴	۵۰۴/۹	۴۹۳/۱
۲۱۱۲۷	پل چهر	۱۰۸۴۰/۸	۴۱۱/۵	۸۷۸/۸	۴۶۷/۳	۵۰۷/۲	۴۹۵/۸

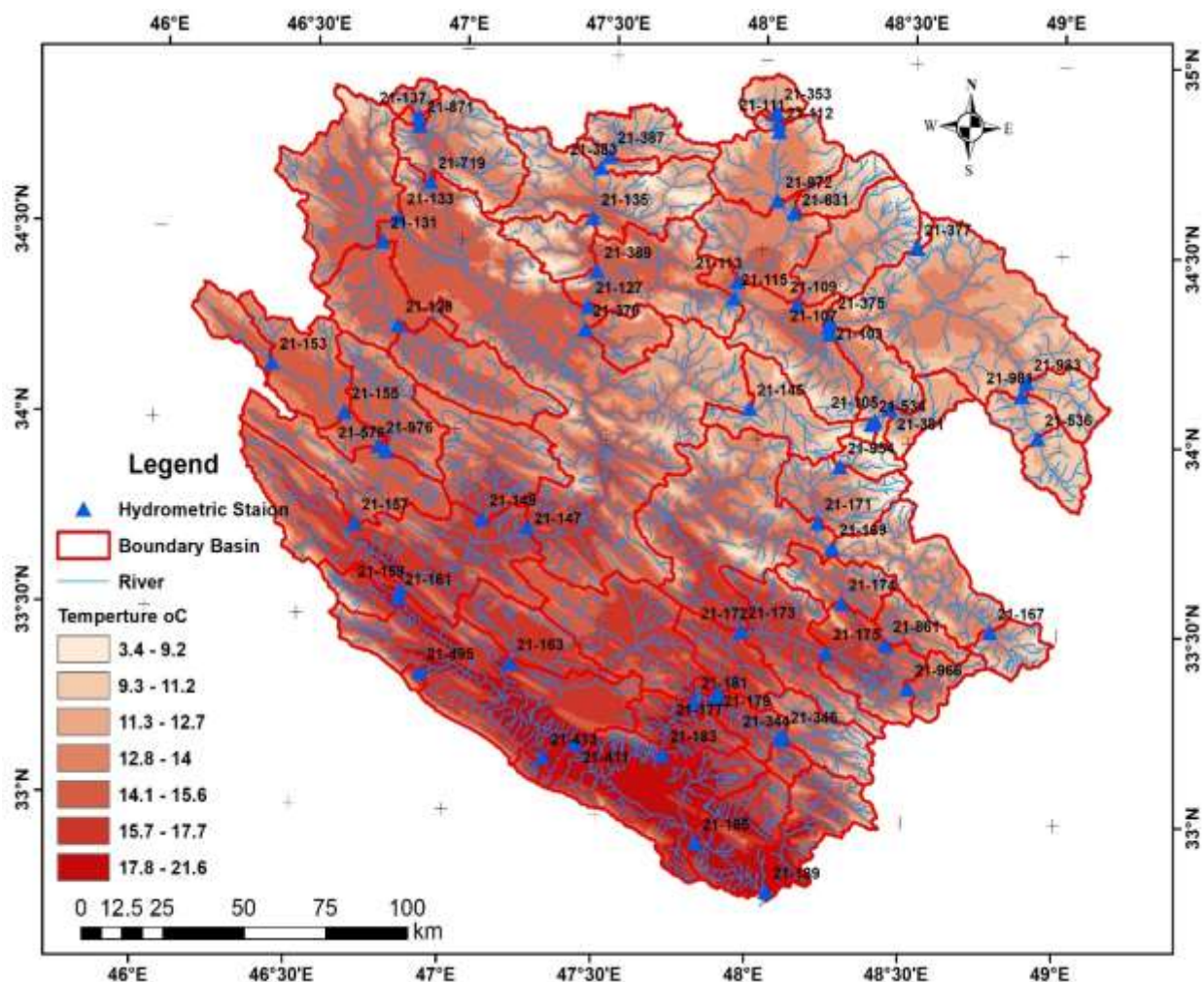
ایستگاه	نام ایستگاه	مساحت - کیلومتر مربع	آماره‌های بارش سالانه دوره حاضر - میلی‌متر			
			کمینه	بیشینه	دامنه	میانگین
PCT90	میان					
۲۱۱۲۹	ماهیدشت	۷۷۶	۴۸۱/۴	۷۱۰/۸	۲۲۹/۴	۵۲۵/۴
۲۱۱۳۱	خرس‌آباد	۱۴۳۲/۳	۴۵۹/۱	۷۱۰/۸	۲۵۱/۶	۵۱۵/۱
۲۱۱۳۳	دوآب مرک	۱۲۱۷/۸	۴۴۷/۱	۷۰۵/۲	۲۵۸/۱	۴۹۹/۱
۲۱۱۳۵	میان‌راهان	۱۷۱۲/۵	۴۲۰/۱	۷۸۹/۹	۳۶۹/۸	۵۱۸/۲
۲۱۱۳۷	بیار	۱۰۷/۸	۴۴۶/۴	۶۶۵/۱	۲۱۸/۷	۵۰۸/۹
۲۱۱۴۵	نور آباد - بادآور	۶۰۷/۵	۵۲۳/۸	۸۱۹/۷	۲۹۵/۹	۵۷۶/۹
۲۱۱۴۷	هلیلان	۲۰۵۵۰/۵	۴۱۱/۵	۸۷۸/۸	۴۶۷/۳	۵۱۰/۸
۲۱۱۴۹	هلیلان	۹۱۷/۵	۴۲۷/۸	۶۹۵/۱	۲۶۷/۳	۵۲۶
۲۱۱۵۳	خسروآباد	۲۵۴/۵	۵۱۲/۳	۷۲۵/۶	۲۱۳/۳	۵۶۹/۳
۲۱۱۵۵	کله‌چوب (چم‌راوند)	۹۲۵	۴۹۹	۷۲۵/۶	۲۲۶/۷	۵۴۷
۲۱۱۵۷	دارتوت	۲۶۱۱/۸	۵۴۷/۴	۷۲۵/۶	۲۶۸/۲	۵۴۶/۷
۲۱۱۵۹	تنگ سازین	۲۶۰۶۹	۴۰۷/۹	۸۷۸/۸	۴۷۰/۹	۵۱۵/۱
۲۱۱۶۱	ورگج	۲۰۶	۴۱۲/۵	۷۹۳	۳۸۰/۵	۵۷۷/۹
۲۱۱۶۳	تنگ‌سیاب	۵۷۳	۴۳۴/۴	۶۲۹/۸	۱۹۵/۴	۵۰۱/۲
۲۱۱۶۷	دهنو - هرو	۲۶۴/۳	۵۳۴/۷	۷۶۷/۱	۲۳۲/۴	۶۱۴/۹
۲۱۱۶۹	کاکارضا - هرو	۱۱۵۱/۳	۵۰۱/۱	۸۵۶/۸	۳۵۵/۷	۵۸۵/۶
۲۱۱۷۱	سراب صید علی	۷۷۲/۵	۴۸۹/۷	۸۸۰/۱	۳۹۰/۴	۵۹۳/۴
۲۱۱۷۲	دوآب ویسیان - خرم‌آباد	۲۴۷۲/۸	۴۰۷/۵	۸۱۲	۴۰۴/۵	۵۲۳/۸
۲۱۱۷۳	دوآب ویسیان - کشان	۳۸۶۴/۳	۴۰۵/۵	۸۸۰/۱	۴۷۴/۶	۵۵۹/۵
۲۱۱۷۴	بهرام‌جو	۴۲۷/۵	۴۴۸/۱	۷۶۶	۳۱۷/۹	۵۳۸/۷
۲۱۱۷۵	چم‌انجیر	۱۶۴۹/۳	۴۳۳	۷۶۶	۳۳۳	۵۲۹/۷
۲۱۱۷۷	افرینه - کشان	۶۸۰۴/۸	۳۹۳/۹	۸۸۰/۱	۴۸۶/۲	۵۴۰/۶
۲۱۱۷۹	افرینه - چولهول	۸۲۵	۳۹۵/۸	۷۷۱/۴	۳۷۵/۶	۵۶۲
۲۱۱۸۱	برافتاب	۱۱۲۹/۸	۴۰۱/۷	۶۲۲/۱	۲۲۰/۴	۵۰۸/۶
۲۱۱۸۳	پل دختر	۹۲۳۵/۵	۳۸۵/۸	۸۸۰/۱	۴۹۴/۳	۵۳۴/۳
۲۱۱۸۵	جلوگیر	۳۹۵۴۱/۸	۳۴۱	۸۸۰/۱	۵۳۹/۱	۵۱۷/۱
۲۱۱۸۹	پل زال	۵۹۷/۳	۳۲۸	۷۶۳/۱	۴۳۵/۲	۵۲۸/۹
۲۱۳۴۴	سیریان	۱۱۱/۸	۴۷۹/۷	۸۶۸/۶	۲۰۶/۸	۵۴۳/۲
۲۱۳۴۶	چمشک	۴۵۹	۴۸۸/۷	۷۷۱/۴	۲۸۲/۶	۶۰۸/۷

کد ایستگاه	نام ایستگاه	مساحت - کیلومتر مربع	آماره‌های بارش سالانه دوره حاضر - میلی‌متر				
			کمینه	بیشینه	دامنه	میانگین	میان
۲۱۳۵۳	نعمت‌آباد	۱۷۱	۴۵۴/۱	۶۶۵/۴	۲۱۱/۳	۵۰۰/۷	۴۸۴/۱
۲۱۳۷۵	وسج	۳۱۲۵	۴۴۱/۶	۷۴۴/۷	۳۰۳	۵۱۴/۴	۵۰۷/۴
۲۱۳۷۷	پل علی‌آباد	۳۵/۵	۵۲۹/۷	۷۷۴/۶	۲۴۴/۹	۶۳۶/۶	۶۳۶/۹
۲۱۳۷۹	شمس‌آباد	۳۰۵	۴۳۶/۳	۶۹۵/۶	۲۵۹/۳	۵۱۳/۱	۵۰۴/۴
۲۱۳۸۱	جعفرآباد	۲۸۲/۵	۴۸۶/۶	۸۷۸/۸	۳۹۲/۳	۵۵۴/۵	۵۳۲/۸
۲۱۳۸۳	پیر سلمان	۵۳۹/۵	۴۵۱	۷۸۳/۱	۳۳۲/۱	۵۰۶/۵	۴۹۶/۹
۲۱۳۸۷	امامزاده برجعلی	۴۲۱	۴۵۲/۸	۷۱۷	۲۶۴/۲	۵۰۰/۲	۴۹۳/۶
۲۱۳۸۹	حیدرآباد	۲۰۹۰/۸	۴۱۸/۵	۸۲۳	۴۰۴/۵	۵۲۷/۹	۵۱۴/۴
۲۱۴۱۱	نظرآباد	۲۸۹۹۰	۳۷۸/۱	۸۷۸/۸	۵۰۰/۷	۵۱۴/۵	۵۰۷/۸
۲۱۴۱۳	سیکان	۵۱/۳	۴۲۵/۱	۷۰۰/۹	۲۷۵/۹	۵۴۰/۳	۵۲۸/۶
۲۱۴۹۵	کلم	۳۳/۵	۴۶۸	۷۳۹/۳	۲۷۱/۳	۶۰۵/۱	۶۰۹
۲۱۵۳۴	کانال وراینه	۴۰/۸	۵۲۳/۴	۸۴۷/۹	۳۲۴/۵	۶۸۴/۹	۶۷۲
۲۱۵۳۶	درودرگان	۳۲۲/۸	۵۱۸/۴	۶۵۵	۱۳۶/۶	۵۷۷/۹	۵۷۸/۹
۲۱۵۷۶	حمیل	۶۷۹/۸	۴۹۸/۴	۶۶۵/۶	۱۶۷/۲	۵۳۶/۹	۵۲۸/۸
۲۱۶۳۱	شان‌آباد	۳۰۵/۳	۴۲۲/۵	۷۵۵/۴	۳۳۲/۹	۵۱۱/۱	۴۹۸/۲
۲۱۶۴۴	پل زال کرخه	۴۰۹۰۲/۵	۳۲۲/۹	۸۸۰/۱	۵۵۷/۲	۵۱۶/۱	۵۰۹/۶
۲۱۷۱۹	سرآسیاب	۹۹۰	۴۳۶/۶	۷۵۵/۳	۳۱۸/۷	۵۰۵/۹	۴۹۳/۷
۲۱۸۶۱	کمالوند	۲۹۰	۴۵۸/۵	۷۰۹/۵	۲۵۱	۵۴۰/۴	۵۳۹/۹
۲۱۸۷۱	الک	۱۳۶/۵	۴۴۳/۲	۶۶۵/۱	۲۲۱/۹	۵۰۵/۳	۴۹۵/۷
۲۱۹۵۴	دره تنگ- کهمان	۱۶۸/۸	۵۱۳/۴	۸۸۰/۱	۳۶۶/۷	۶۸۲	۶۸۰/۷
۲۱۹۶۶	چنار خشکه	۲۳۹/۳	۴۹۱/۶	۷۵۱/۹	۲۶۰/۳	۵۶۹/۹	۵۶۶
۲۱۹۷۲	خسروآباد	۹۶۷/۵	۴۱۳/۴	۶۶۵/۴	۲۵۲	۴۷۰/۸	۴۶۲/۳
۲۱۹۷۶	بدرگرد	۱۰۶۸	۴۹۷/۹	۷۲۵/۶	۲۲۷/۷	۵۴۵/۲	۵۳۷/۴
۲۱۹۸۱	پیهان	۵۶۵/۵	۴۹۰/۶	۶۵۵	۱۶۴/۴	۵۶۷/۴	۵۷۰/۶
۲۱۹۸۳	مرویل	۲۹۵/۸	۴۸۲	۶۵۳/۸	۱۷۱/۷	۵۵۱/۷	۵۴۹/۱

۲-۴-۶- پارامترهای دما

برای محاسبه دمای سالانه حوضه‌های منطقه، از داده‌های ایستگاه‌های تبخیرسنجی وزارت نیرو و یا ایستگاه‌های کلیماتولوژی و سینوپتیک سازمان هواشناسی استفاده شود. برای تعمیم داده‌های ایستگاه‌ها به حوضه، روش رگرسیون تک‌متغیره با ارتفاع و یا چندمتغیره (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی) به کار گرفته می‌شود. برای محاسبه

دمای متوسط سالانه حوضه، انجام فرآیند بندهای (۲-۵-۱ تا ۲-۵-۴) ضروری است. برای نمونه، نقشه دمای حوضه کرخه- بالادست سد کرخه و دمای سالانه با روش رگرسیون چندمتغیره (طول، عرض، ارتفاع) استخراج و در شکل ۲-۸ آورده شده است. همچنین مقادیر آماره‌های آن در جدول ۲-۲ ارائه شده است. نکته قابل توجه اینکه بهتر است، برای تمامی حوضه‌های بالادست ایستگاه‌های آب‌سنجی، تمامی متغیرهای ذکرشده در بالا، استخراج شود و این امر به ایستگاه‌های منتخب منحصر نباشد.



شکل ۲-۸- نقشه دمای حوضه کرخه- بالادست سد کرخه

جدول ۲-۲- آماره‌های دما هریک از زیرحوضه‌های کرخه

کد ایستگاه	نام ایستگاه	مساحت - کیلومتر مربع	آماره‌های دمای متوسط سالانه - درجه سانتی‌گراد				
			کمینه	پیشینه	دامنه	میانگین	انحراف از معیار
۲۱۱۰۳	پل حاج‌علی‌مراد	۳۱۲۸/۲۵	۴/۸۷	۱۳/۹۹	۹/۱۳	۱۱/۷	۱/۰۷
۲۱۱۰۵	سنگ سوراخ	۴۵/۴۳	۴/۴۱	۱۲/۹۲	۸/۵	۹/۲۴	۲/۲۱
۲۱۱۰۷	گوشه‌سعدوقاص	۷۸۱/۰۳	۳/۷۴	۱۴/۰۳	۱۰/۳	۱۱/۷۶	۱/۶۴
۲۱۱۰۹	فیروزان	۸۲۹/۶۵	۳/۳۶	۱۴/۰۵	۱۰/۶۹	۱۱/۵۳	۱/۹۲
۲۱۱۱۱	آغا جان‌بلاغی	۲۰۱/۸۶	۶/۳۳	۱۲/۴۲	۶/۰۹	۱۱/۰۱	۱/۰۱
۲۱۱۱۲	بوجین	۲۳۳/۵۲	۶/۳۳	۱۳/۱	۶/۷۷	۱۱/۰۳	۱
۲۱۱۱۳	آران	۲۰۳۶/۴۷	۳/۹۵	۱۴/۳۴	۱۰/۳۹	۱۲/۲۹	۱/۵
۲۱۱۱۵	دوآب	۷۷۱۷/۸۷	۳/۳۶	۱۴/۴۵	۱۱/۰۹	۱۱/۹۶	۱/۴۸
۲۱۱۲۷	پل چهر	۱۰۸۴۲/۷۴	۳/۳۶	۱۵/۱۴	۱۱/۷۸	۱۲/۰۴	۱/۵۹
۲۱۱۲۹	ماهیدشت	۷۷۸/۹	۷/۹۳	۱۴/۷۶	۶/۸۳	۱۳/۷۸	۰/۸۵
۲۱۱۳۱	خرس‌آباد	۱۴۳۳/۲۴	۷/۹۳	۱۴/۷۸	۶/۸۵	۱۳/۹۶	۰/۸۶
۲۱۱۳۳	دوآب مرک	۱۲۱۸/۵۴	۷/۱۴	۱۴/۷۴	۷/۶	۱۳/۴۴	۱/۳۵
۲۱۱۳۵	میانراهان	۱۷۱۱/۷۷	۴/۶۲	۱۴/۵۹	۹/۹۷	۱۱/۷۹	۱/۵۶
۲۱۱۳۷	بیار	۱۰۷/۶۴	۸/۴۴	۱۳/۹۲	۵/۴۸	۱۲/۲۴	۱/۰۱
۲۱۱۴۵	نور آباد- بادآور	۶۰۷/۱	۵/۲۸	۱۲/۸۲	۷/۵۴	۱۱/۵	۱/۳
۲۱۱۴۷	هلیان	۲۵۵۵۰/۴۵	۳/۳۶	۱۷/۴۲	۱۴/۰۶	۱۲/۷	۱/۷۳
۲۱۱۴۹	هلیان	۹۱۷/۳۴	۹/۹۶	۱۷/۲۹	۷/۳۳	۱۴/۳۱	۱/۳۵
۲۱۱۵۳	خسروآباد	۲۵۶/۳۸	۹/۲۶	۱۴/۸۵	۵/۵۹	۱۳/۳۱	۱/۰۹
۲۱۱۵۵	کله‌چوب (چمراوند)	۹۲۶/۳۲	۹/۲۶	۱۵/۲۳	۵/۹۷	۱۳/۸۸	۰/۹۶
۲۱۱۵۷	دارتوت	۲۶۱۳	۹/۲۶	۱۷/۱۹	۷/۹۳	۱۴/۰۹	۰/۹۶
۲۱۱۵۹	تنگ سازبن	۲۶۰۷۰/۴۳	۳/۳۶	۱۸/۵۶	۱۵/۲	۱۳/۱۲	۱/۸۶
۲۱۱۶۱	ورگچ	۲۰۴/۹۱	۹/۲۶	۱۸/۶۳	۹/۳۸	۱۴/۸۸	۲/۴۶
۲۱۱۶۳	تنگ سیاب	۵۷۱/۹۲	۱۲/۶۳	۱۸/۰۹	۵/۴۶	۱۶/۱۳	۱/۰۷
۲۱۱۶۷	دهنو- هرو	۲۶۴/۷۹	۷/۵	۱۳/۵۱	۶	۱۱/۵۲	۱/۲۲
۲۱۱۶۹	کاکا رضا- هرو	۱۱۵۱/۲۵	۴/۱۳	۱۴/۳۷	۱۰/۲۴	۱۲/۰۴	۱/۴۵
۲۱۱۷۱	سراب صید علی	۷۷۲/۰۶	۳/۷	۱۴/۳۵	۱۰/۶۵	۱۱/۳۸	۲/۴۸

آماره‌های دمای متوسط سالانه - درجه سانتی‌گراد						نام ایستگاه	کد ایستگاه
میان	انحراف از معیار	میانگین	دامنه	پیشینه	کمینه		
مساحت - کیلومتر مربع							
۱۴/۵۷	۱/۷۳	۱۴/۳۱	۹/۹۶	۱۷/۵۸	۷/۶۲	دوآب و یسیان - خرم‌آباد	۲۱۱۷۲
۱۳/۰۵	۲/۱۱	۱۲/۷۷	۱۳/۸۹	۱۷/۵۸	۳/۷	دوآب و یسیان - کشکان	۲۱۱۷۳
۱۳/۹۸	۱/۷۱	۱۳/۵۵	۸/۰۶	۱۵/۹۴	۷/۸۸	بهرام‌جو	۲۱۱۷۴
۱۴/۳۳	۱/۶۳	۱۴/۰۵	۸/۸۸	۱۶/۷۶	۷/۸۸	چم انجیر	۲۱۱۷۵
۱۳/۶۷	۲/۱۷	۱۳/۵۶	۱۴/۷۷	۱۸/۴۷	۳/۷	افرینه - کشکان	۲۱۱۷۷
۱۴/۴۱	۱/۹۸	۱۴/۳۵	۱۰/۸	۱۸/۵۱	۷/۷۱	افرینه - چولهول	۲۱۱۷۹
۱۵/۶۶	۰/۸۴	۱۵/۵۳	۶/۳۸	۱۸/۶۳	۱۲/۲۵	برافتاب	۲۱۱۸۱
۱۴/۱۹	۲/۲۳	۱۴/۰۷	۱۵/۶۲	۱۹/۳۲	۳/۷	پل دختر	۲۱۱۸۳
۱۳/۷۴	۲/۲۸	۱۳/۷۵	۱۷/۶۳	۲۰/۹۹	۳/۳۶	جلوگیر	۲۱۱۸۵
۱۵/۶۳	۲/۴۱	۱۵/۷۱	۱۲/۳۱	۲۱/۴۹	۹/۱۸	پل زال	۲۱۱۸۹
۱۵/۳۸	۰/۹۴	۱۵/۰۹	۵/۱۹	۱۶/۵۷	۱۱/۳۸	سیریان	۲۱۳۴۴
۱۳/۳۲	۱/۴۸	۱۳/۱	۸/۶۵	۱۶/۳۶	۷/۷۱	چمشک	۲۱۳۴۶
۱۱/۳۹	۱/۰۲	۱۰/۹۸	۵/۸۷	۱۲/۲	۶/۳۳	نعمت‌آباد	۲۱۳۵۳
۱۱/۷۷	۱/۰۷	۱۱/۶۹	۹/۰۷	۱۳/۹۳	۴/۸۷	وسج	۲۱۳۷۵
۷/۹۶	۱/۴۸	۷/۸۹	۶/۷	۱۰/۸۹	۴/۱۹	پل علی‌آباد	۲۱۳۷۷
۱۳/۳۲	۱/۱۳	۱۳/۰۷	۷/۰۱	۱۵/۱۴	۸/۱۴	شمس‌آباد	۲۱۳۷۹
۱۱/۸۸	۱/۴۵	۱۱/۵۲	۹/۵۳	۱۳/۲۶	۳/۷۴	جعفرآباد	۲۱۳۸۱
۱۱/۹۱	۱/۰۵	۱۱/۷۳	۸/۷۶	۱۳/۵۳	۴/۷۷	پیر سلمان	۲۱۳۸۳
۱۱/۹۳	۰/۸۹	۱۱/۸۱	۶/۵۱	۱۳/۲۸	۶/۷۸	امامزاده برجعلی	۲۱۳۸۷
۱۱/۸۶	۱/۶۹	۱۱/۷۲	۱۰/۳۹	۱۵	۴/۶۲	حیدرآباد	۲۱۳۸۹
۱۳/۵۱	۲/۱۱	۱۳/۴۵	۱۶/۴۹	۱۹/۸۵	۳/۳۶	نظرآباد	۲۱۴۱۱
۱۶/۶۹	۱/۶	۱۶/۴۲	۷/۱۷	۱۹/۱۸	۱۲/۰۱	سیکان	۲۱۴۱۳
۱۵/۳۵	۲/۰۳	۱۴/۸۱	۶/۹۸	۱۷/۹۲	۱۰/۹۴	کلم	۲۱۴۹۵
۹/۳۴	۲/۱۱	۸/۹۶	۸/۲۷	۱۲/۶۸	۴/۴۱	کانال وراینه	۲۱۵۳۴
۱۰/۸۱	۰/۶	۱۰/۸	۳/۸۶	۱۲/۱۷	۸/۳۱	درودگران	۲۱۵۳۶
۱۴/۱۹	۰/۸۱	۱۴/۰۴	۵/۵۲	۱۵/۳۹	۹/۸۷	حمیل	۲۱۵۷۶
۱۱/۴۱	۱/۷۵	۱۱/۰۴	۹/۷۲	۱۳/۶۷	۳/۹۵	شان‌آباد	۲۱۶۳۱

کد ایستگاه	نام ایستگاه	مساحت - کیلومتر مربع	آماره‌های دمای متوسط سالانه - درجه سانتی‌گراد				
			کمینه	پیشینه	دامنه	میانگین	انحراف از معیار
۲۱۶۴۴	پل زال کرخه	۴۰۹۰۳/۸۷	۳/۳۶	۲۱/۶۱	۱۸/۲۵	۱۳/۸۶	۲/۳۶
۲۱۷۱۹	سرآسیاب	۹۸۸/۶۵	۶/۶۸	۱۴/۵۷	۷/۸۹	۱۲/۵۱	۱/۳۷
۲۱۸۶۱	کمالوند	۲۹۲/۳۸	۸/۳۷	۱۵/۸۳	۷/۴۶	۱۳/۴۹	۱/۲۷
۲۱۸۷۱	الک	۱۳۶/۵۲	۸/۴۴	۱۴/۰۸	۵/۶۳	۱۲/۴	۱/۰۸
۲۱۹۵۴	دره تنگ- کهمان	۱۶۸/۷۷	۳/۷	۱۳/۳۵	۹/۶۵	۸/۸۲	۲/۲۶
۲۱۹۶۶	چنار خشکه	۲۳۸/۹	۸/۸۸	۱۵/۴	۶/۵۱	۱۳/۱۵	۱/۲۴
۲۱۹۷۲	خسروآباد	۹۶۸/۱۹	۶/۳۳	۱۳/۷۲	۷/۳۹	۱۲/۰۶	۱/۳۵
۲۱۹۷۶	بدرگرد	۱۰۶۹/۷۶	۹/۲۶	۱۵/۳۹	۶/۱۳	۱۳/۹۸	۰/۹۸
۲۱۹۸۱	پیهان	۵۶۴/۳۴	۸/۳۱	۱۲/۶	۴/۲۹	۱۰/۹۷	۰/۷۱
۲۱۹۸۳	مرویل	۲۹۵/۴۵	۷/۱۲	۱۲/۶۳	۵/۵۱	۱۰/۸۵	۰/۹

۲-۵- محاسبه مقادیر دبی رودخانه

به‌طور کلی جریان کم را می‌توان، کمترین جریان متوسط روزانه در طول یک‌سال تعریف کرد، معمولاً جریان‌های کم روزانه تحت‌تأثیر اغتشاشات کوچک جریان بالادست هستند، لذا جریان کم سالانه به‌صورت کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل ۳، ۷، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و .. روز در طول یک‌سال تعریف می‌شود. بنابراین برای محاسبه جریان کم با تداوم‌های مختلف باید کمترین میانگین متحرک جریان‌های روزانه را با تداوم‌های موردنظر در هر سال به‌دست آورد. این عمل معمولاً برای مقادیر جریان کم با تداوم‌های ۳، ۵، ۷، ۱۱، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه برای ایستگاه‌های منتخب و دوره آماری موردنظر محاسبه می‌شود. مقادیر دبی متوسط سالانه نیز برای هر سال برای دوره نامبرده باید مشابه فرآیند دبی کم، محاسبه شود.

در گام بعد، شاخص پایداری جریان (قرمزچشمه و همکاران، ۱۴۰۱) به عنوان یک پارامتر جریان (در صورت تحلیل پایداری جریان) براساس رابطه (۲-۲) محاسبه می شود. لازم به ذکر است که این مرحله باید بعد از تکمیل دوره آماری، انجام شود.

$$index_i = \frac{Q_{li}}{Q_a} \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

که در آن $index_i$ شاخص پایداری جریان

Q_a دبی متوسط سالانه (مترمکعب بر ثانیه)

Q_i دبی جریان کمینه برای تداوم های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

i پایه زمانی دبی کمینه که برابر ۳، ۵، ۷، ۱۱، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ است.

۲-۶- تحلیل منطقه ای جریان کم

برای تحلیل منطقه ای جریان کم در حوضه های فاقد ایستگاه های اندازه گیری یا دارای آمار کوتاه مدت جریان، مشکلاتی وجود دارد. در تحلیل فراوانی سیلاب برای کاهش برخی از این مشکلات از روش های منطقه ای کردن تحلیل فراوانی استفاده می کنند. در مورد تخمین جریان کم در حوضه های فاقد آمار مناسب نیز می توان از روش منطقه ای بهره برد (Durrans, ۱۹۹۶). در تحلیل منطقه ای، روابط یا منحنی هایی برای کل منطقه به دست می آید و با داشتن برخی از ویژگی های حوضه در محل هایی که اندازه گیری جریان صورت نمی گیرد، جریان در محل مورد نظر تعیین می شود. در حال حاضر روش معمول که تاکنون در بسیاری از مطالعات (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۴؛ قرمزچشمه، ۱۳۹۳؛ پرهت و همکاران، ۱۳۹۳) در این زمینه به کار رفته است، روش رگرسیون چندمتغیره است. در این روش، بین متغیر وابسته (جریان کم) و متغیرهای مستقل (مانند ویژگی های فیزیوگرافی و اقلیمی) رابطه رگرسیونی ایجاد می شود. در این اثر با تأکید بر تحلیل منطقه ای جریان کم به روش رگرسیون چندمتغیره، فرآیند کلی روش کار مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۶-۱- تجزیه و تحلیل عاملی^۱

تجزیه و تحلیل عاملی، روشی کارآمد برای کاهش تعداد متغیرها است، به گونه‌ای که اثر متغیرها در عامل‌ها جمع شده و تعداد متغیرها کاهش می‌یابد، ولی اثر آن‌ها در عامل‌ها دیده شود. بیش از ۴۰ عامل فیزیوگرافی، اقلیمی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر در جریان رودخانه معرفی شده‌اند، ولی به‌کارگیری تمامی عوامل مؤثر بر جریان، در روابط منطقه‌ای میسر نیست. با توجه به اینکه بسیاری از عوامل یاد شده، دارای وابستگی درونی به هم هستند و یا رفتار مشابهی دارند. لذا تجزیه و تحلیل عاملی امکان کاهش عوامل را ایجاد کرده است.

یکی از روش‌های تحلیل عاملی، PCA^۲ است. این روش در نرم‌افزارهای مختلف مانند SPSS, Minitab, R, Matlab, Python قابل انجام است. ورودی این روش‌ها یک ماتریس متغیر- ایستگاه است که بعد از محاسبات، خروجی آن‌ها شامل جدول مقدار ارزش ویژه، واریانس عامل‌ها و مقدار KMO^۳ خواهد بود. معمولاً براساس آزمون کایزر، تنها عامل‌هایی را انتخاب و حفظ می‌کنیم که مقدار ویژه آن‌ها بالاتر از "یک" باشد.

نمایش تصویری و گرافیکی، مقادیر ویژه هر یک از متغیرها توسط نمودار اسکری (Scree) نشان داده می‌شود. آزمون اسکری برای اولین بار توسط آر.بی. کتل (۱۹۹۶) مطرح شده که سال‌ها بعد به نام نمودار اسکری، مورد استفاده قرار گرفته است. در این نمودار بر روی محور افقی (xها) عامل‌ها و روی محور عمودی (yها) مقدار ویژه متناظر با هر عامل قرار می‌گیرد. از طریق نمودار اسکری می‌توان، تعداد عامل‌های استخراجی را برآورد کرد.

نکته: علاقه‌مندان برای اطلاع از جزئیات و گام‌های اجرای یک تجزیه و تحلیل عاملی استاندارد می‌توانند به کتاب‌های مرجع مربوطه از جمله کتاب (پلنت، جولی، ترجمه اکبر رضایی، ۱۳۹۲) و عبادی و همکاران (۱۳۸۹)

^۱- Factor Analysis

^۲ Principle Component Analysis

^۳ Kaiser-Meyer-Olkin

مراجعه کنند. در این نوشتار فقط نکات تأکیدی مستخرج از طرح های تحقیقاتی نویسندگان، آمده است. رعایت نکات زیر در تحلیل عاملی توصیه می شود.

۱. لازم است، تعداد داده ها باید به گونه ای باشد که ارزش ویژه آن ها بیش از یک و واریانس جمعی بیشتر از ۰/۸ باشد.

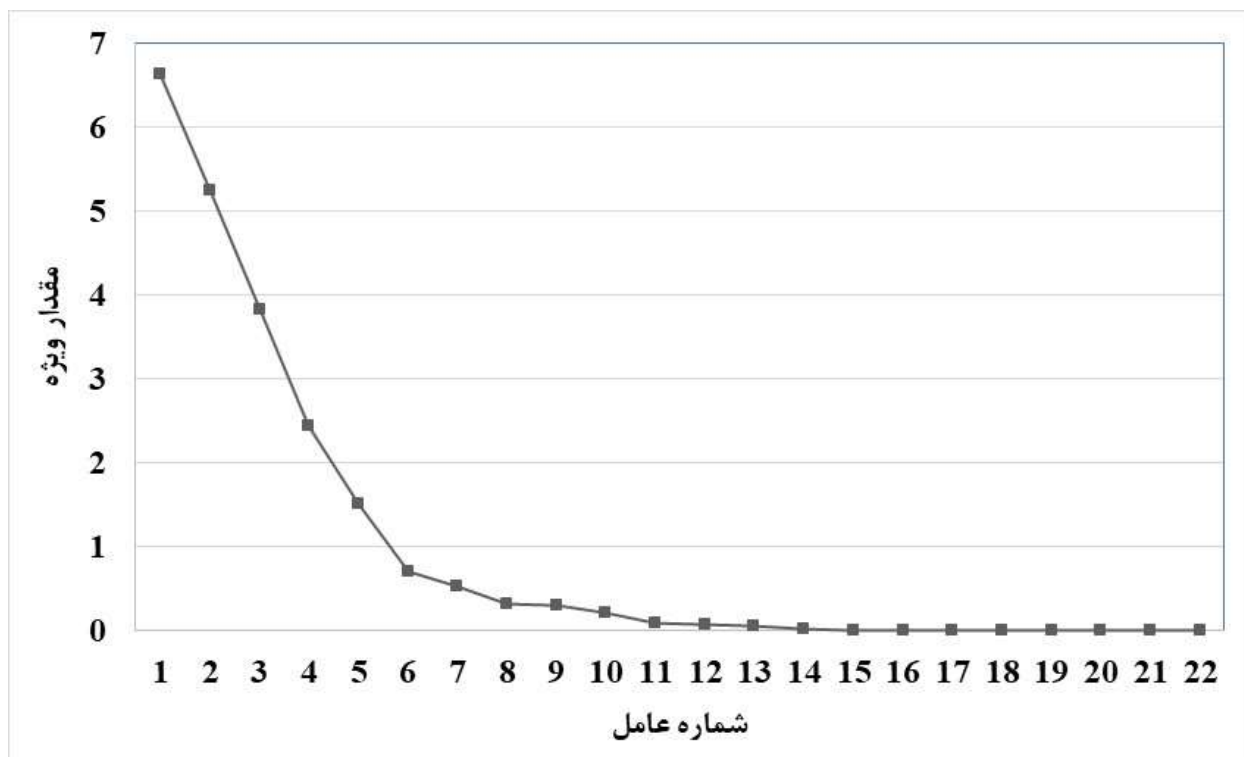
۲. در روابط منطقه ای ورود بیش از " شش " متغیر توصیه نمی شود. چرا که هر یک از متغیرها دارای عدم قطعیت بوده و با افزایش متغیرها، عدم قطعیت متغیر وابسته نیز به شدت افزایش می یابد. از طرفی نیز تعداد کم متغیرها، باعث می شود تا اثر یک یا دو متغیر مستقل بر متغیر وابسته را با خطای زیادی همراه نماید.

برای نمونه یک مورد تحلیل عاملی که در زیر حوضه های منطقه کرخه انجام شده در ادامه آمده است. در این مورد ۲۲ مولفه مؤثر بر جریان کم با تحلیل عاملی به " پنج " عامل اصلی (کاربری اراضی/ پوشش زمین، متوسط حوضه، هندسه حوضه، متوسط سالانه بارش، طبقات نفوذپذیری سازندهای زمین شناسی تقلیل یافته است. که این " پنج " عامل میزان ۸۹/۳۹ درصد از واریانس داده ها را توجیه می کند (جدول های ۲-۳ و ۲-۴) مقدار واریانس هر عامل اصلی و ماتریس عامل ها و شکل ۲-۹ میزان ارزش ویژه عامل ها آمده است.

جدول ۲-۳- مقدار واریانس هر عامل و تجمعی پنج عامل اصلی

Total Variance Explained									
Component	Initial Eigenvalues	% of Variance	Cumulative %	Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total			Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1.00	6.63	30.15	30.15	6.63	30.15	30.15	5.31	24.12	24.12
2.00	5.25	23.86	54.01	5.25	23.86	54.01	4.41	20.05	44.17
3.00	3.82	17.38	71.38	3.82	17.38	71.38	4.03	18.30	62.47
4.00	2.44	11.10	82.48	2.44	11.10	82.48	3.78	17.17	79.64
5.00	1.52	6.91	89.39	1.52	6.91	89.39	2.14	9.75	89.39
6.00	0.71	3.20	92.59						

7.00	0.53	2.42	95.01
8.00	0.32	1.45	96.46
9.00	0.30	1.38	97.83
10.00	0.21	0.97	98.81
11.00	0.10	0.43	99.24
12.00	0.07	0.34	99.57
13.00	0.05	0.24	99.81
14.00	0.03	0.12	99.93
15.00	0.01	0.06	99.99
16.00	0.00	0.01	100.00
17.00	0.00	0.00	100.00
18.00	0.00	0.00	100.00
19.00	0.00	0.00	100.00
20.00	0.00	0.00	100.00
21.00	0.00	0.00	100.00
22.00	0.00	0.00	100.00



شکل ۲-۹- میزان ارزش ویژه عامل‌ها

جدول ۲-۴- ماتریس عامل‌ها

Component Matrix						
Component						
1	2	3	4	5	variables	
۰/۳۸			۰/۷۶		A خیلی متراکم	زمین کاربری / پوشش
	۰/۷۴		-۰/۵۱		B متراکم	
۰/۶۸		۰/۵			C تراکم متوسط	
	-۰/۴۸	۰/۷۴		-۰/۳۳	D تراکم کم	
-۰/۶		-۰/۵۹	۰/۳۶	۰/۳۳	E تراکم خیلی کم	
-۰/۵۴	۰/۵۱	-۰/۳۲			F فاقد پوشش	
۰/۶۷	۰/۴۵		-۰/۴۱		شاخص حوضه	
۰/۵۶		-۰/۸			ارتفاع کمینه	حوضه متوسط
۰/۴۳	۰/۷۵				ارتفاع بیشینه	
۰/۸۷	۰/۳۵				ارتفاع متوسط	
۰/۷۲		۰/۵۹			شیب متوسط حوضه	

Component Matrix						
Component						
1	2	3	4	5	variables	
-۰/۴	۰/۷۶	۰/۳۲			محیط	هندسه حوضه
-۰/۳۵	۰/۷۳	۰/۴۶	۰/۳۲		مساحت	
-۰/۳۴	۰/۷۴	۰/۴۵	۰/۳۲		حجم بارش سالانه	متوسط سالانه دوره
-۰/۳۵	۰/۷۳	۰/۴۶	۰/۳۲		حجم بارش سالانه	
۰/۸۷	۰/۳۵				ارتفاع بارش	
۰/۸۳				۰/۳	ارتفاع بارش	
-۰/۷۱		-۰/۴۵			خیلی زیاد	
	۰/۷۹		-۰/۴۲		خیلی کم	طبقات نفوذپذیری سازندهای زمین شناسی (مساحت- /)
۰/۳۵	-۰/۳۵	۰/۳۷		۰/۷۳	زیاد	
۰/۴۷			۰/۶۱	-۰/۵۴	کم	
-۰/۴۷		۰/۳۷			متوسط	
روش استخراج مؤلفه‌ها: تحلیل مؤلفه‌ها س اصلی						
پنج مؤلفه استخراج شد.						

۲-۶-۲- تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی

تحلیل خوشه‌ای یک تحلیل اکتشافی است که سعی می‌کند ارتباط و رفتارهای داده‌ها را شناسایی کند. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای را تجزیه و تحلیل تقسیم‌بندی یا تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی نیز می‌نامند. به‌طور خاص، این روش‌ها سعی می‌کنند، داده‌ها را براساس رفتاری که دارند در گروه‌های همگن قرار دهند. چون تجزیه و تحلیل خوشه‌ای اکتشافی است، هیچ تمایزی بین متغیرهای وابسته و مستقل قائل نمی‌شود. روش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل خوشه‌ای وجود دارد که می‌تواند داده‌های باینری، اسمی، ترتیبی و مقیاس (فاصله یا نسبت) را خوشه‌بندی کند. به‌طور کلی خوشه‌بندی به ۱- تحلیل کلاستر چند میانگین (K-Means Cluster)، ۲- تحلیل کلاستر سلسله‌مراتبی (Hierarchical Cluster)، ۳- تحلیل کلاستر دو مرحله‌ای (Two-Step Cluster) قابل انجام است که در مباحث هیدرولوژی بیشتر از روش تحلیل کلاستر چند میانگین استفاده می‌شود. برای این منظور، پس از تعیین عوامل مهم، تحلیل خوشه در محیط‌های مختلف آماری مانند SPSS قابل انجام است. باید، ابتدا با

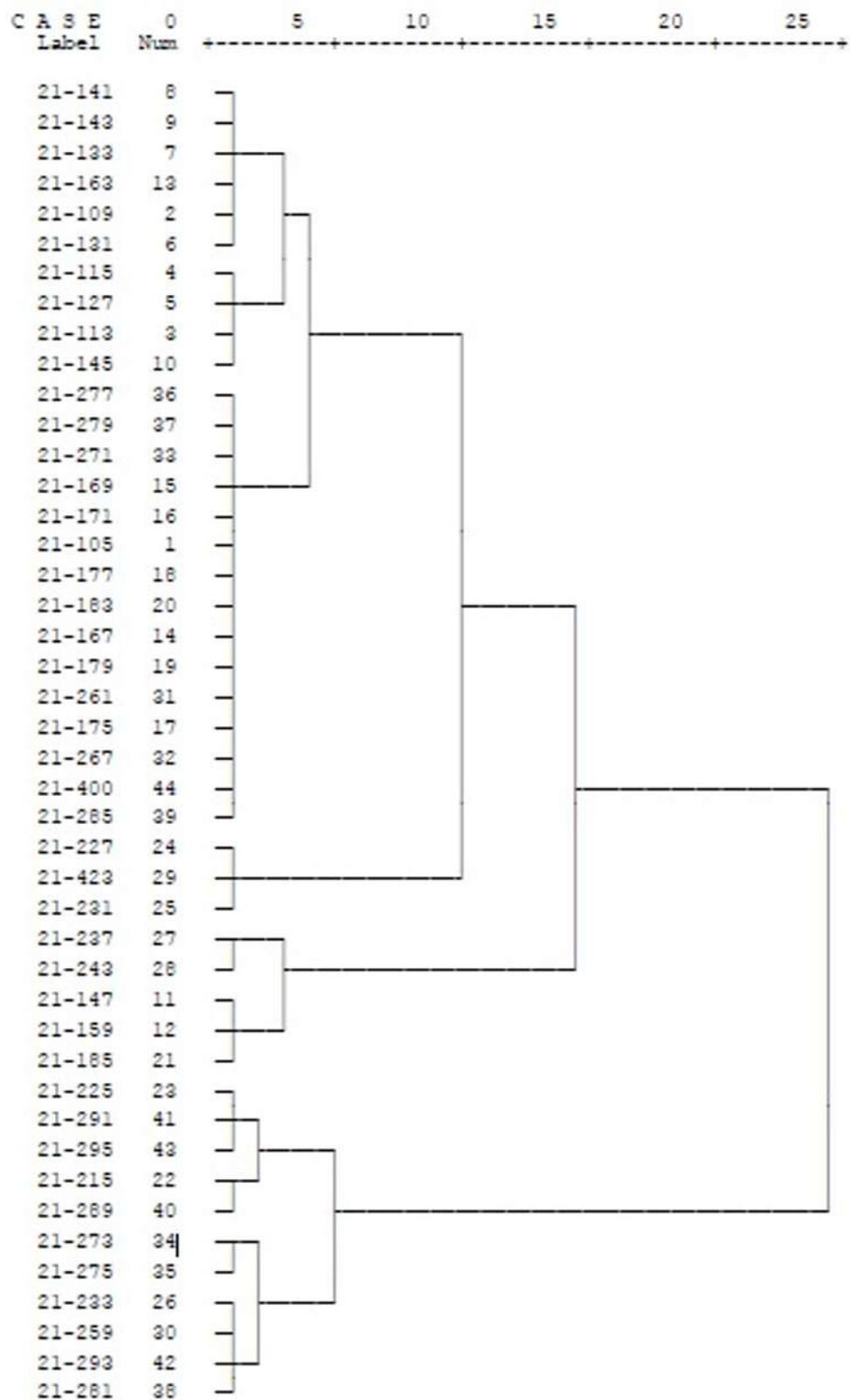
استفاده از یکی از روش‌های استاندارد کردن داده‌ها (روش Zscores)، عوامل یا متغیرهای موردنظر استاندارد شده و سپس استخراج حوضه‌های همگن با استفاده از روش Ward's و مربع فاصله اقلیدوسی صورت گیرد. هرچه فاصله اقلیدوسی کوچک‌تر گرفته شود، همگنی حوضه‌ها، بیشتر ولی تعداد خوشه‌ها بیشتر خواهد شد. اگر فاصله اقلیدوسی بزرگ‌تر باشد، تعداد خوشه‌ها کاهش خواهد یافت. تعیین فاصله اقلیدوسی با نظر کارشناسی و براساس تعداد ایستگاه‌ها در هر خوشه انجام می‌شود. با توجه به اینکه برای برقراری رابطه رگرسیون نیاز به دست کم ۲۰ ایستگاه است، لذا مبنای فاصله اقلیدوسی طوری باید باشد که در هر خوشه کمینه ۲۰ ایستگاه باشد. از طرفی نیز در فاصله اقلیدوسی بالا میزان تشابهت بین حوضه‌ها به شدت کاهش خواهد یافت. معمولاً در فاصله اقلیدوسی ۱۵ تا ۲۵ و بسته به تعداد ایستگاه‌ها انتخاب می‌شوند. برای اطلاع از روش انتخاب بهترین روش همگن‌بندی سلسله‌مراتبی به کاظمی و شریفی (۱۳۹۸) مراجعه شود. در شکل (۲-۱۰) خوشه‌بندی آورده شده و براساس فاصله اقلیدوسی ۱۷ به دو خوشه تقسیم شده است.

در مباحث هیدرولوژی، به مناطقی که از نظر عوامل مؤثر بر جریان، شرایط نزدیک به هم داشته باشند، مناطق همگن هیدرولوژیکی گفته می‌شود. مهم‌ترین این عوامل شامل: عوامل آب و هوایی، به‌ویژه شباهت فصل بارندگی و شدت بارندگی و خصوصیات فیزیکی حوضه شامل: پستی و بلندی‌ها، شبکه زهکشی، خاک و پوشش، است (Hall, ۱۹۹۹). روش‌های مختلفی برای تفکیک مناطق همگن وجود دارد که در بالا به آن‌ها اشاره شد. در این روش مناطق همگن براساس تشابه خصوصیات فیزیکی تعیین می‌شوند. اخیراً هیدرولوژیست‌ها در خصوص کاربرد این روش تأکید بیشتری می‌کنند (کاظمی و شریفی، ۱۳۹۸). برای تعیین مناطق همگن، تعداد ایستگاه‌های دارای داده‌های هندسی، دست کم ۶۰ ایستگاه پیشنهاد می‌شود. بر مبنای روش خوشه‌بندی چند میانگین، خوشه‌های همگن در داخل کل زیرحوضه‌های انتخابی تعیین می‌شوند. برای نمونه ایستگاه‌های منطقه کرخه و کارون توسط ثقفیان و همکاران (۱۳۹۴) به دو گروه همگن تقسیم شدند. در این نمونه، فاصله به‌منظور بررسی صحت تحلیل

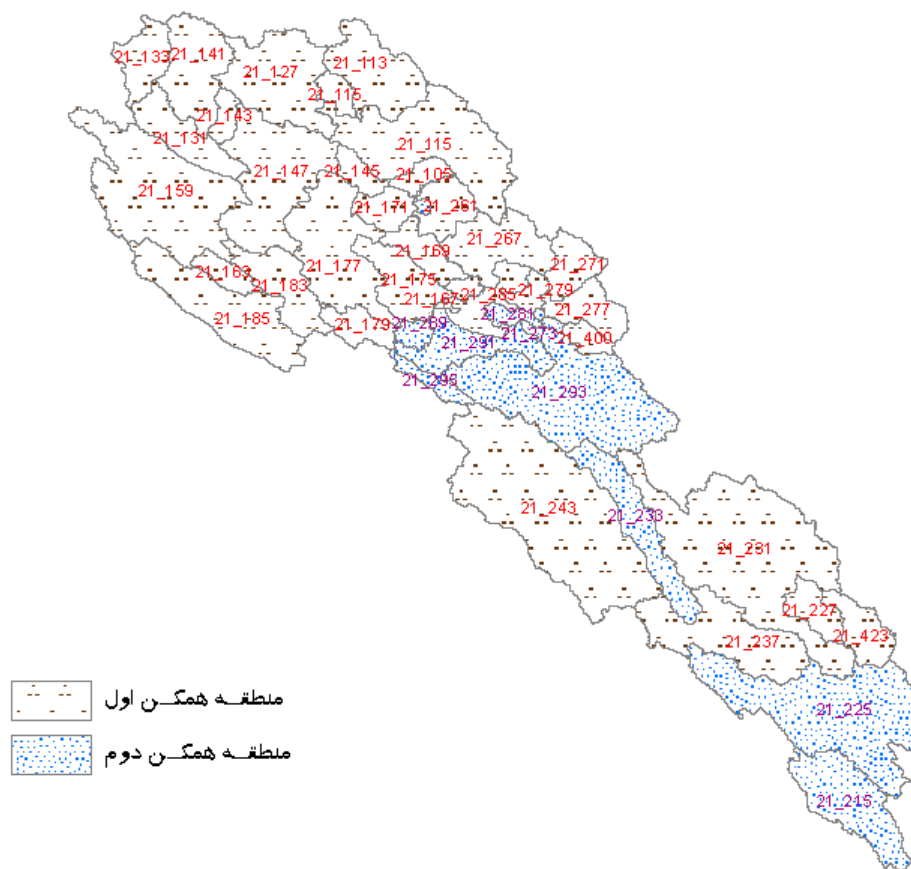
خوشه‌ای در تعیین مناطق همگن از "تحلیل تشخیص"^۱ استفاده شد. با توجه به تحلیل صورت‌گرفته برای دو منطقه همگن براساس عوامل چهارگانه، یک تابع متمایز کننده ایجاد شد (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۴).

نکته: بعد از تعیین گروه‌های همگن، لازم است، دقت گروه‌بندی با استفاده از روش "تحلیل تشخیص" بررسی شود. برای اطلاع از گام‌های اجرای روش مذکور، به منابع مراجعه شود. هدف "تحلیل تشخیص" توسعه توابع متمایز است که بین دسته‌های متغیر وابسته، به بهترین شیوه‌ای، تمایز قائل شوند. این روش محقق را قادر می‌سازد تا بررسی کند که آیا تفاوت‌های معنی‌داری در بین گروه‌ها از نظر متغیرهای پیش‌بینی وجود دارد یا خیر؟ همچنین دقت طبقه‌بندی را ارزیابی می‌کند. این مرحله بعد از مشخص کردن گروه‌های همگن، برای بررسی دقت همگن‌بندی استفاده می‌شود. برای اطلاع از گام‌های اجرای روش مذکور، به منابع استناد دارد، از جمله عبادی و همکاران، (۱۳۸۹) و پلت جولی ترجمه اکبر رضایی (۱۳۹۲) مراجعه شود.

¹ Diagnostics Analysis



شکل ۲-۱۰- خوشه‌های ایجادشده براساس چهار عامل اصلی (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۴)



شکل ۲-۱۱- موقعیت مناطق همگن در حوزه‌های تحقیق (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۴)

۲-۶-۳- رگرسیون چندمتغیره

تحلیل رگرسیونی مهم‌ترین روش بررسی روابط بین یک متغیر وابسته (y) و یک یا تعداد بیشتری از متغیرهای مستقل یا توصیفی ($x_1, x_2, \dots, x_p$) محسوب می‌شود. با به‌دست‌آمدن رابطه رگرسیونی می‌توان از آن برای برآورد مقدار متغیر وابسته براساس مقادیر معلوم یک یا تعداد بیشتری از متغیرهای مستقل استفاده کرد. اگر تنها یک متغیر مستقل مورد بررسی قرار گیرد، رگرسیون از نوع ساده یا تک‌متغیره است. در رگرسیون چندمتغیره رابطه بین یک متغیر وابسته و بیش از یک متغیر مستقل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در مطالعه نمونه (جریان کم در حوضه کرخه) پس از تعیین حوضه‌های همگن، براساس مهم‌ترین عوامل، فرآیند رگرسیون چند متغیره در محیط SPSS انجام و روابط منطقه‌ای برای هر یک از مناطق همگن به‌دست آمده است (جدول ۲-۵).

جدول ۲-۵- دقت مدل و پارامترهای مدل برای دوره پایه

ارزیابی				مدلسازی				Equation	پایه زمانی
MAE	NSE	RMSE	R ²	MAE	NSE	RMSE	R ²		
۱/۶۲	-۰/۱۶	۱/۶۵	۰/۷۷	۱/۱۴	۰/۹۶	۱/۵۷	۰/۹۶	$(0.17 \times x_1) + (-0.001 \times x_2) + (-0.004 \times x_3) + (0.846 \times x_4) + (0.0007 \times x_5) + 1.353$	پنج‌روزه
۱/۸۱	-۰/۴۹	۱/۹	۰/۷۷	۱/۲۶	۰/۹۵	۱/۶۹	۰/۹۸	$(0.172 \times x_1) + (-0.0011 \times x_2) + (-0.0034 \times x_3) + (0.854 \times x_4) + (0.0007 \times x_5) + 1.302$	هفت‌روزه
۱/۸۳	-۰/۹۱	۱/۸۹	۰/۷۵	۱/۱۷	۰/۹۶	۱/۶۳	۰/۹۶	$(0.175 \times x_1) + (-0.001 \times x_2) + (-0.004 \times x_3) + (0.867 \times x_4) + (0.0007 \times x_5) + 1.317$	۱۱ روزه
۲	-۱/۱۳	۲/۰۶	۰/۷۴	۱/۱۹	۰/۹۶	۱/۶	۰/۹۶	$(0.176 \times x_1) + (-0.001 \times x_2) + (-0.004 \times x_3) + (0.909 \times x_4) + (0.0007 \times x_5) + 1.407$	۱۵ روزه
۱/۷۷	-۰/۵۵	۱/۸۳	۰/۸۴	۱/۵۷	۰/۹۲	۲/۰۱	۰/۹۶	$(0.176 \times x_1) + (-0.001 \times x_2) + (-0.0036 \times x_3) + (0.796 \times x_4) + (0.0009 \times x_5) + 1.266$	۳۰ روزه
۱/۷۲	۰/۲۳	۱/۷۵	۰/۸۳	۱/۲۹	۰/۹۷	۱/۷۳	۰/۹۶	$(0.201 \times x_1) + (-0.001 \times x_2) + (-0.0045 \times x_3) + (0.997 \times x_4) + (0.0008 \times x_5) + 1.55$	۶۰ روزه
شاخص کاربری اراض در مساحت حوضه = X3، مساحت سازندهای با نفوذپذیری زیاد = X2، شیب متوسط حوضه = X1، مساحت اراضی با پوشش خیلی متراکم = X4، حجم بارش سالانه حوضه = X5									

۲-۷- معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی عملکرد مدل و سنجش میزان دقت آن در بازتولید داده‌های مشاهده‌ای، استفاده از معیارهای نیکوئی برازش ضروری است. این شاخص‌ها هر کدام جنبه خاصی از کارایی مدل را بررسی می‌کنند و در کنار یکدیگر تصویر جامعی از کیفیت شبیه‌سازی ارائه می‌دهند. در این پژوهش از پنج شاخص آماری شامل ضریب تعیین^۱ (R²)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین خطای بایاس^۲

¹ Coefficient of Determination

² Mean Bias Error

(MBE) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE) برای ارزیابی نتایج استفاده شد که در ادامه معرفی می‌شوند (Moriasi و همکاران، ۲۰۰۷).

ضریب تعیین (R^2) نشان می‌دهد که مدل تا چه اندازه می‌تواند تغییرات داده‌های مشاهده‌ای را توضیح دهد. مقدار آن بین صفر و یک متغیر است؛ هرچه مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد مدل بهتر است (رابطه ۳).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (f_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{.....(رابطه ۳)}$$

شاخص میانگین جذر مربعات اختلافات میان مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده را محاسبه می‌کند و نشان‌دهنده بزرگی خطاها است (رابطه ۴).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - f_i)^2} \quad \text{.....(رابطه ۴)}$$

مقدار کمتر RMSE نشان‌دهنده برازش بهتر مدل است و این شاخص به خطاهای بزرگ حساسیت بالایی دارد. معیار میانگین قدرمطلق اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده را بیان می‌کند و نسبت به خطاهای بسیار بزرگ حساسیت کمتری نسبت به RMSE دارد (رابطه ۵).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - f_i| \quad \text{.....(رابطه ۵)}$$

هرچه مقدار MAE کمتر باشد، نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل است.

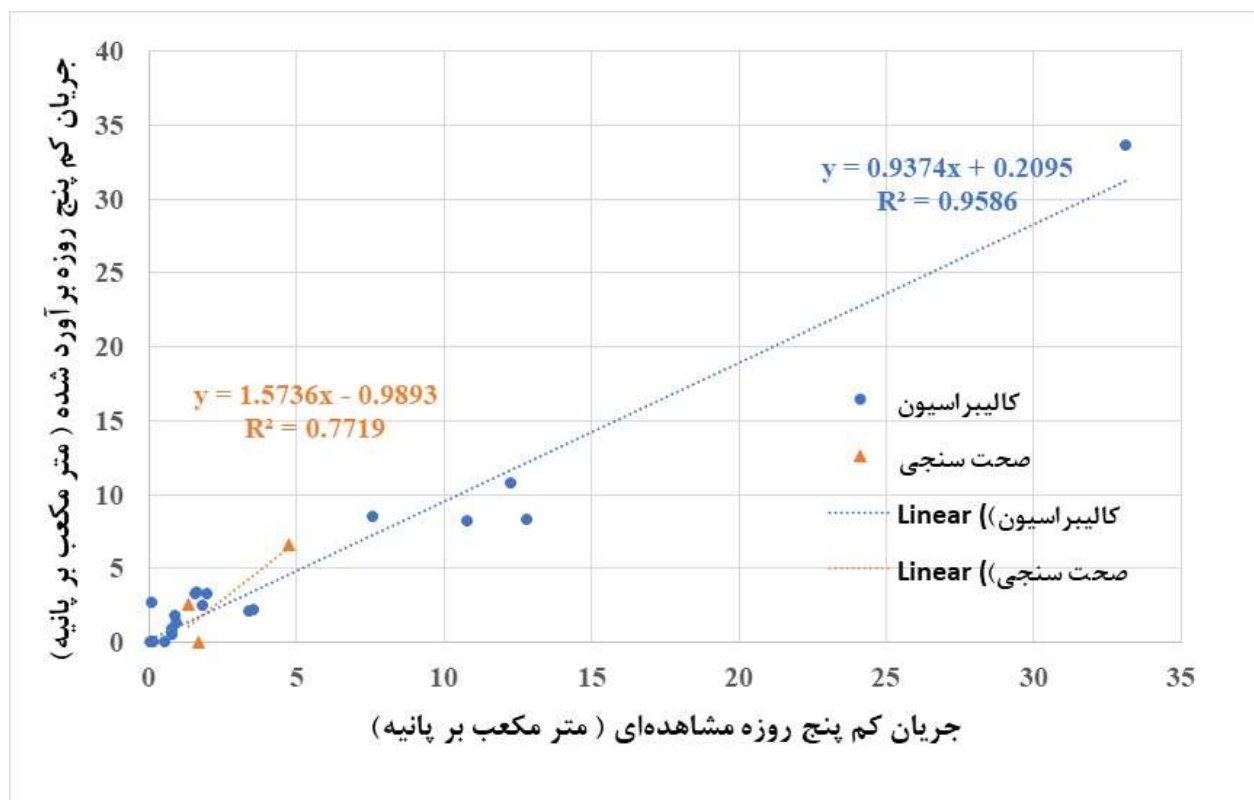
۵. ضریب کارایی نش-ساتکلیف:

این شاخص کارایی مدل را در مقایسه با میانگین داده‌های مشاهده‌ای ارزیابی می‌کند (رابطه ۶).

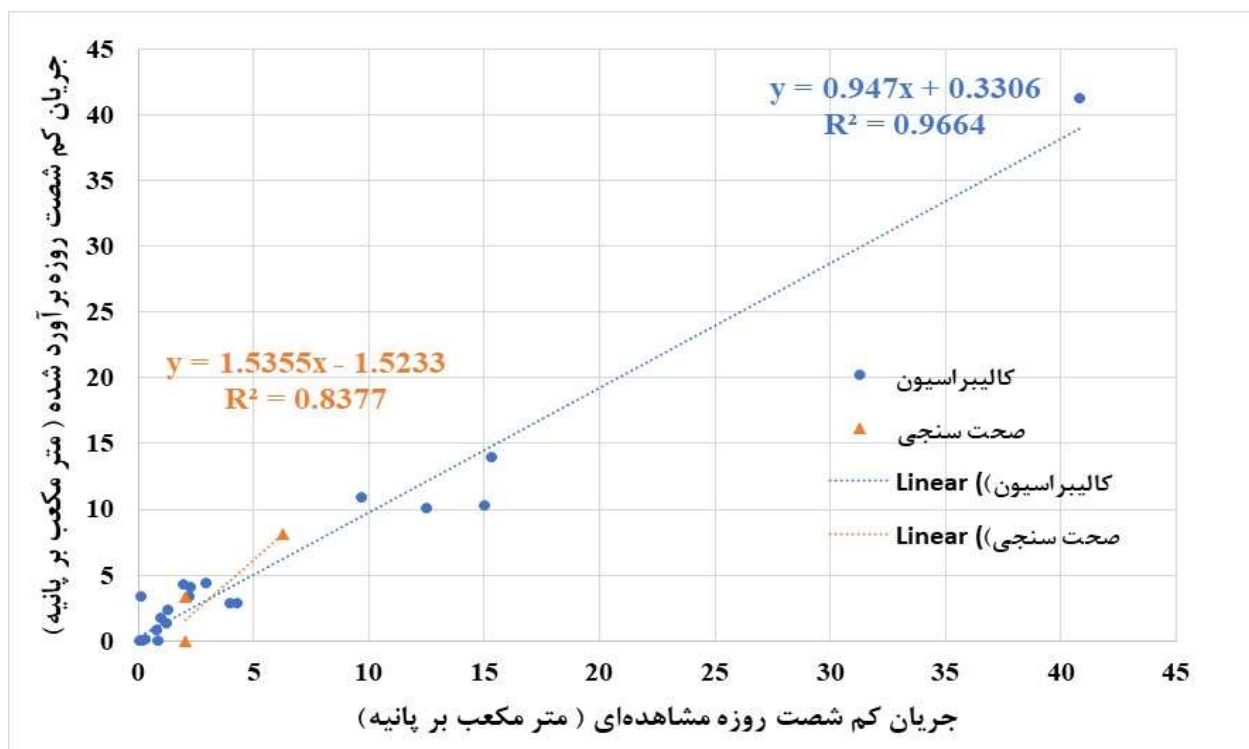
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - f_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{.....(رابطه ۶)}$$

مقدار یک نشان‌دهنده برازش کامل مدل، مقدار صفر بیانگر عملکردی معادل میانگین داده‌ها و مقادیر کمتر از صفر نشان‌دهنده ضعف مدل نسبت به میانگین است.

به‌طور کلی، ترکیب این معیارها امکان ارزیابی جامع مدل را فراهم می‌کند. ضریب تعیین (R^2) میزان توضیح‌دهندگی مدل، RMSE و MAE بزرگی خطا، MBE برای خطا و NSE کارایی کلی مدل را نشان می‌دهند. بنابراین، استفاده هم‌زمان از این شاخص‌ها منجر به تحلیلی دقیق‌تر و معتبرتر از نتایج مدل‌سازی می‌شود. برای نمونه نمودار روابط بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی شاخص جریان کم در پایه زمانی پنج‌روزه و ۶۰ روزه که در فرآیند صحت‌سنجی استفاده شده است، در شکل‌های ۱۲-۲ و ۱۳-۲ ارائه شده است.



شکل ۱۲-۲- نمودار دبی مشاهده‌ای و برآوردی در پایه زمانی پنج‌روزه



شکل ۲-۱۳- نمودار دبی مشاهده‌ای و برآوردی در پایه زمانی ۶۰ روزه

ملاحظات اخلاقی

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان متعهد می‌شوند این اثر به انتشارات دیگری ارسال نشده است.

مشارکت نویسندگان: نویسنده اول، باقر قرمزچشمه، تدوین اولیه گزارش، اصلاح نهایی و ارسال گزارش؛ نویسنده

دوم، رحیم کاظمی، بررسی منابع، تکمیل برخی از موارد و ویرایش علمی.

بیانیه استفاده از هوش مصنوعی: در این گزارش از هوش مصنوعی استفاده نشده است.

خوداظهاری: این اثر مبتنی بر تجربیات نویسندگان بوده و نمونه‌های بکار گرفته شده اغلب از گزارش پژوهشی

بیناد علم ایران تحت عنوان "بررسی تغییرات مکانی و رفتار هیدرولوژیکی جریان کم در حوضه کرخه، با شماره

۴۰۲۷۸۲۴" می‌باشد.

منابع

- اشرف‌زاده، ا.، آقاجانی، ه. ۱۳۹۶. برآورد آبدهی در زیرحوضه‌های بدون آمار با استفاده از تحلیل منطقه‌ای رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز حبله رود). مجله اکوهیدرولوژی، ۴(۲): ۳۴۳-۳۳۱.
- پرهت، ج.، اسلامی، ع.، قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۳. بررسی روابط منطقه‌ای برآورد آبدهی سالانه با دوره برگشت‌های مختلف در ۸ منطقه کشور، پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۱۱۷ ص.
- پلنت، جولی. ۱۳۹۲. راهنمای گام‌به‌گام برای تحلیل داده‌ها با استفاده از برنامه SPSS راهنمای نجات. (ترجمه اکبر رضایی). تبریز: انتشارات فروزش. چاپ دوم. ۴۲۴ صفحه
- ثقفیان، ب.، رحیمی بندرآبادی، س. ۱۳۸۴. مقایسه روش‌های درونیابی برای برآورد توزیع مکانی بارتدگی سالانه، تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۲): ۷۴-۸۴.
- ثقفیان، ب.، قرمزچشمه، ب.، باقری، م.، کثیری، ک. ۱۳۹۴. بررسی کاربرد شبکه عصبی در آنالیز منطقه‌ای سیل در جنوب غربی کشور. پروژه تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور. ۷۴ ص.
- ثقفیان، ب.، محمدی، س. و قرمزچشمه، ب. ۱۳۸۸. برآورد جریان‌های کم در نقاط فاقد ایستگاه آب‌سنجی با استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیره، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱(۱): ۳۲-۴۵.
- جهانبخش، س.، ساری صراف، ب.، غفوری، ع.، رحیمی، س. ۱۳۹۵. تجزیه و تحلیل زمانی و مکانی جریان کمینه در حوزه آبخیز کرخه، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸(۱): ۵۵-۶۷.
- حاجی‌محمدی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی اثر نوسان اقلیم بر جریان کمینه حوضه رودخانه کن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، ۱۰۹ ص
- حبیب‌نژاد روشن، م.، ابراهیمی، م.، سلیمانی، ک. و وفا خواه، م. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل جریان‌های کمینه در حوضه‌های نیمه‌خشک شمالی شذق خراسان رضوی، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱(۱): ۴۴-۵۸.
- خورشیددوست، ع.، نساجی زواره، م. و قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۱. بازسازی سری‌های زمانی دمای بیشینه و کمینه روزانه با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: غرب استان تهران)، فضای جغرافیایی، ۱۲ (۳۸): ۲۱۴-۱۹۷.
- جوی‌زاده، س.، حدادی، س. و درانی‌نژاد، م. ص. ۱۳۹۷. آمار فضایی (تحلیل داده‌های مکانی) جلد اول و دوم. نشر آکادمیک، ۴۰۴ صفحه.

- سمیعی، م. و تلوری، ع. ۱۳۹۰. برآورد تغذیه آب زیرزمینی از طریق تحلیل جریان پایه و استفاده از نرم افزارهای PART و RORA. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۵(۱۴)، ۷۱-۷۶.
- عبادی، غ. و ریاضی، ج. ۱۳۸۹. آزمون‌سازی با استفاده از روش تحلیل عوامل. تهران: انتشارات کردگار. چاپ اول، ۷۲ صفحه.
- علیزاده، ا. ۱۴۰۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۹۶۳ ص.
- قرمزچشمه، ب.، کاظمی، ر. و داودی راد، ع. ا. ۱۴۰۵. بررسی تغییرات زمانی مکانی دبی های کمینه و آسیب پذیری آن‌ها در حوضه های کشور با تأکید بر حق آبه زیست‌محیطی رودخانه. گزارش نهایی، انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. (در دست چاپ).
- قرمزچشمه، ب.، کاظمی، ر.، و نساجی زواره، م. ۱۴۰۱. ارائه و تحلیل شاخص جریان کم از سرشاخه تا پایاب در آبخیز کرخه. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۴(۱) ۷۶-۸۸.
- قرمزچشمه، ب. و کاظمی، ر. ۱۴۰۴. بررسی تغییرات مکانی و رفتار هیدرولوژیکی جریان کم در حوضه کرخه، گزارش پژوهشی. صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور، ۹۳ ص.
- قرمزچشمه، ب.، کاظمی، ر. و نساجی زواره، م. ۱۳۹۹. تحلیل جریان کم ۶۰ روزه از سرشاخه تا پایاب حوضه کرخه. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۸(۴) (پیاپی ۲۷): ۱-۱۲.
- قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۳. بررسی روابط منطقه‌ای برآورد آبدی سالانه با دوره برگشتهای مختلف در منطقه ۱ کشور. پروژه تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۵۸ ص.
- قرمزچشمه، ب.، مهدی‌پور، آ.، حیدری‌زاده، م. ۱۳۸۸. بررسی دبی‌های کمینه از سرشاخه‌ها تا خروجی حوضه کرخه به‌منظور مدیریت منابع آب. دهمین کنفرانس سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه باهنر کرمان. ۸ صفحه.
- کاظمی ر. و اسلامی، ع. ۱۳۹۲. بررسی نقش سازندهای زمین‌شناسی و پارامترهای هیدرولوژیکی بر شاخص جریان پایه، مطالعه موردی: ناحیه خزری. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز. ۵(۲): ۸۵-۹۳.
- کاظمی، ر. و شریفی، ف. ۱۴۰۳. جریان کم رودخانه‌ای در ایران، انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳۳۰ صفحه.
- کاظمی، ر.، پرهت، ج و شریفی، ف. ۱۳۹۸. بررسی و ارائه روابط منطقه‌ای شاخص‌های منحنی تداوم جریان در مناطق نیمه خشک، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۳) ۶۷۶-۶۹۰.
- کاظمی، ر. و شریفی، ف. ۱۳۹۷. بررسی و تحلیل عوامل مؤثر بر جریان پایه در اقلیم مختلف ایران. مهندسی مدیریت آبخیز، ۱۰(۴): ۶۴۵-۶۵۸.

- کاظمی، ر. و شریفی، ف. ۱۳۹۸. تعیین بهترین روش همگن‌بندی سلسله‌مراتبی برای تحلیل منطقه‌ای شاخص جریان پایه در حوضه‌های استان کرمان. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۱۰(۱۹): ۹۵-۱۰۵.
- کاظمی، ر. و شریفی، ف. ۱۳۹۶. بررسی و ارائه روابط منطقه‌ای شاخص جریان پایه در حوضه‌های همگن استان کرمان، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۹(۱): ۹۷-۱۰۷.
- محمودی، ع. ۱۳۹۲. بررسی خشکسالی هیدرولوژیک رودخانه تجن با استفاده از شاخص جریان کمینه در محدوده دشت ساری نکا، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. ۹ صفحه.
- مهدوی، م. ۱۴۰۳. هیدرولوژی کاربردی. جلد ۱. انتشارات دانشگاه تهران شماره ۲۱۲۴. صفحات ۲۲۳-۲۳۰.
- نوری قیداری، م. ح. و حسینی تودشتکی، و. ۱۳۹۲. نگرشی نو در آنالیز فراوانی جریان‌های کمینه هفت روزه، مطالعه موردی حوضه دریاچه ارومیه، دانش آب و خاک، ۲۳(۴): ۱۰۵-۱۱۶.
- هنربخش، ا.، چوگان، م.، زارع بیدکی، ر. و پژوهش، م. ۱۳۹۷. تحلیل فرلوانی منطقه‌ای جریان کمینه در بخش‌هایی از حوزه آبخیز کارون شمالی در استان چهارمحال و بختیاری. محیط زیست و مهندسی آب، ۹۷(۴): ۲۷۴-۲۸۵.
- Alobaidi, M. H., Ouarda, T. B., Marpu, P. R., & Chebana, F. (2021). Diversity-driven ANN-based ensemble framework for seasonal low-flow analysis at ungauged sites. *Advances in Water Resources*, 147, 103814.
- Durrans, S.R. and S. Tomic. 1996. Regionalization of low flow frequency estimates: An Albama case study. *J. American Water Resources Association* 32(1): 23-37.
- Gao, S., Liu, P., Pan, Z., Ming, B., Guo, S., Xiong, L. 2017. Derivation of low flow frequency distributions under human activities and its implications. *Journal of Hydrology*, 549: 294-300.
- Grandry, M., Gailliez, S., Sohier, C., Verstraete, A. & Degre, A. 2012. A method for low-flow estimation at ungauged sites: a case study in Wallonia (Belgium). *Hydrology and Earth System Sciences*, 17: 1319-1330.
- Grubbs, F.E. and Beck, G. 1972. Extension of Sample Sizes and Percentage Points for Significance Tests of Outlying Observations. *Technometrics*, 14: 847-854. <https://doi.org/10.1080/00401706.1972.10488981>.
- Leeming, K.A., Bloomfield, J.P., Coxon, G. & Zheng, Y. 2025. Functional data analysis to investigate controls on and changes in the seasonality of UK baseflow. *Hydrological Sciences Journal*, 70(3): 522-534.
- Mandal, U., & Cunnane, C. (2009). Low-flow prediction for ungauged river catchments in Ireland. In *Irish National Hydrology Seminar* (pp. 33-48).

- Mo, C., Jiang, C., Long, S. & Cen, W. 2025. Comprehensive evaluation and attribution analysis of baseflow variation in a typical karst basin, Southwest China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 57: 102185.
- Mokuu, R.A., Glenday, J. & Mazvimavi, D. 2024. Evaluating the spatial and temporal variation in baseflow across headwater streams in the Jonkershoek valley, South Africa. *Proceedings of IAHS*, 385: 239-246.
- Ouyang, Y. 2012. A potential approach for low flow selection in water resource supply and management. *Journal of Hydrology*, 454: 56-63.
- Stefansky, W. 1972. Rejecting Outliers in Factorial Designs, *Technometrics*, 14, pp. 469-479.
- Tashie, A., Pavelsky, T. & Emanuel, R.E. 2020. Spatial and temporal patterns in baseflow recession in the continental United States. *Water Resources Research*, 56(3): e2019WR026425.
- WMO. 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices, Integrated Drought Management Programme (IDMP). WMO No. 1173: pp 45.
- Worland, s, Farmer, W.E. Kiang, J. 2017. Improving predictions of hydrological low flow indices in ungagged basins using machine learning, *Environmental Modelling and Software*, 101: 169-182.
- Wu, G., Zhang, J., Li, Y., Liu, Y., Ren, H. & Yang, M. 2024. Revealing temporal variation of baseflow and its underlying causes in the source region of the Yangtze River (China). *Hydrology Research*. 55(3): 392-411.
- Zerfu, S.A.; 2009. Low flow analysis and regionalization of the Blue Nile River basin. Master Thesis, Arbaminch University, Arbaminch, Ethiopia,

Abstract

Understanding the dynamics of low-flow variations provides valuable information for water resource management and the optimization of cropping patterns. It also identifies suitable areas for water management along the rivers. Given the reliance of the agricultural, industrial, and drinking water on river water resources—particularly baseflow, a precise understanding of low-flow behavior and the factors influencing it is essential for extrapolating data from gauging stations to ungauged locations along the river. This guideline is the outcome of various research projects concerning the regional analysis of low flows; it was developed to provide technical insights into the regional analysis of low-flow, based on the geometric and climatic variables that influence the flow. To this end, the following steps were presented in sequence. First, the method for reconstructing low-flow discharge data across various multi-day intervals was described. Subsequently, key considerations for delineating basin boundaries with high precision—utilizing GIS capabilities and Digital Elevation Model (DEM) maps were outlined. Furthermore, key points regarding the preparation of various morphometric, climatic, land-use, and geological maps, as well as their classification based on their impact on low flow, were highlighted. Finally, important considerations for factor analysis and the formulation of univariate and multivariate regression relationships were presented. Subsequently, the methods for assessing the accuracy of the derived relationships and the rationale for employing statistical accuracy and validity metrics were outlined, along with key aspects of generalizing empirical relationships to ungauged basins. Finally, a case study conducted in the Karkheh basin, in which the steps of this guideline were followed was presented to provide regression equations for estimating 5- to 60-day low flows in ungauged basins. Validation results demonstrated an accuracy exceeding 80% in estimating low-flow indices for ungauged basins within the Karkheh region.

Keywords: Low flow, Low-flow index, Morphoclimatic, Regional analysis.

Ministry of Agriculture Jihad
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Title: Regional analysis of low flow in watersheds

Authors: Bagher Ghermezcheshmeh, Rahim Kazemi

Editor: Saeed Nabipay Lashkarian

Page Layout: Abbas Seddigh

Publisher: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.

Circulation: 10 Copies

Date of Publication: Summer 2026

This scientific work has been registered with the series number of **70028** at the date of **2026-09-20** in the Agriculture Information and Scientific Documents Center. All rights reserved. No part of this publication may reproduce or translated without the original reference.

Ministry of Agriculture Jihad
Agricultural Research and Education Organization (AREEO)
Soil Conservation and Watershed Mangement Research Institute

Technical Handbook:
Regional analysis of low flow in watersheds

Authors:
Bagher Ghermezcheshmeh, Rahim Kazemi

Serial Number: 70028

2026



Ministry of Agriculture Jihad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute



Technical Handbook

Regional analysis of low flow in watersheds

Author:

Bagher Ghermezcheshmeh, Rahim Kazemi

Series Number: 70028

2026