دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تعیین بهترین روش همگن‌بندی سلسله مراتبی برای تحلیل منطقه‌ای شاخص جریان پایه در حوزه‌های آبخیز استان کرمان

رحیم کاظمی[۱] و فرود شریفی[۲]

۱- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، (نویسنده مسوول: ra_hkazemi@yahoo.com)
۲- دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۳
صفحه ۹۵ تا ۱۰۵

چکیده

فقدان پوشش کامل داده‌های هیدرولوژی، هیدرولوژیست‌ها را مجبور به استفاده از روش همگن‌بندی در تحلیل منطقه‌ای می‌کند. در این پژوهش، به‌منظور انتخاب بهترین روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی در گروه‌بندی حوضه‌ها، با استفاده از داده‌های جریان روزانه رودخانه، جریان پایه و شاخص آن از روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره در ٤٣ ایستگاه آب‌سنجی مربوط به حوضه‌های درجه چهار استان کرمان، استخراج شد. پارامترهای هیدرولوژیکی و اقلیمی، محاسبه و عوامل فیزیوگرافی در محیط رقومی استخراج شد. با استفاده از روش آزمون تحلیل‌عاملی از بین ١٤ پارامتر مؤثر در شاخص جریان پایه، شش عامل ثابت افت منحنی هیدروگراف، بارش متوسط سالانه، تبخیر و تعرق واقعی، نفوذپذیری، توپوگرافی (شیب و ارتفاع) و شماره منحنی، به‌عنوان عوامل مستقل انتخاب شدند. همگن‌بندی حوضه‌ها با استفاده از عوامل مستقل انتخابی به روش‌های مختلف سلسله‌مراتبی شامل: نزدیک‌ترین همسایه، دورترین همسایه، فاصله از مرکز ثقل و روش وارد، انجام شد. سپس روابط منطقه‌ای به روش رگرسیون خطی، در سطوح معنی‌داری کمتر از یک درصد برای گروه‌های همگن تمام روش‌ها به‌دست آمد. ارزیابی صحت و کارایی مدل‌های برآوردی، به روش‌های آزمون استقلال خطاها، نرمال بودن توزیع خطاها و هم‌خطی انجام شد. سپس دقت مدل‌های استخراج‌شده با استفاده از ایستگاه‌های شاهد محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد که دقت مدل‌های استخراج‌شده در حوضه‌های همگن انتخاب‌شده به روش "فاصله از مرکز ثقل" به دلیل حداقل خطای برآورد نسبی به میزان ۲۷/۱۳۷٪ برای منطقه یک و ۳٦/۸۹٪ برای منطقه همگن دو، حداقل خطای برآورد استاندارد و ضریب همبستگی بالا، به‌عنوان بهترین روش همگن‌بندی سلسله‌مراتبی برای برآورد منطقه‌ای شاخص جریان پایه در منطقه پژوهش تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل عاملی، تحلیل منطقه‌ای، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، شاخص جریان پایه، کارایی مدل

مقدمه

مدیریت پایدار منابع آب، نیازمند داده‌های مناسب است که ما را در توسعه استراتژی مدیریت کمی و کیفی منابع آب یاری کند. کمبود داده‌های مناسب در حوضه مربوط به مطالعات منابع آب، منجر به عدم قطعیت در بخش‌های مربوط به مدیریت این کمبود می‌شود. توجه به این مشکل منجر به نام‌گذاری دهۀ ۲۰۰۳-۲۰۱۲ به پیش‌بینی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، توسط انجمن بین‌المللی هیدرولوژی شد (۱۲). با توجه به محدودیت داده‌های اندازه‌گیری شده، تعمیم داده‌ها به حوضه‌های فاقد آمار نیازمند پژوهش و بررسی جامع در خصوص ارتباط ویژگی‌های ثابت و پایدار حوضه‌ها با داده‌های جریان در حوضه‌های همگن برای تعمیم روابط به حوضه‌های فاقد آمار است (۳۲). تاکنون پژوهش‌های مختلفی برای تجزیه‌وتحلیل منطقه‌ای مؤلفه‌های هیدرولوژیکی به انجام رسیده است که در هریک از این پژوهش‌ها، روش‌های مختلف همگن‌بندی بر اساس توصیه محققین به‌کاربرده شده است. روش مورد استفاده در این پژوهش، خوشه‌بندی سلسله مراتبی[1] داده‌هاست؛ که یکی از پرکاربردترین ابزارهای تشخیص الگو به‌منظور طبقه‌بندی نمونه، با توجه به ویژگی‌های برداشت‌شده به گروه‌ها یا خوشه‌های مشخص است. از روش‌های خوشه‌بندی در علوم مختلف و ازجمله موارد مرتبط با مدیریت منابع آب، استفاده شده است. ازجمله این تحقیقات می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد. ملکیان و همکاران (۲۳) برای تعیین عرصه‌های مناسب پخش سیلاب، روش‌های همگن‌بندی سلسله مراتبی و مدل‌های آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند که روش آنالیز خوشه‌بندی خاکستری نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی از دقت بیشتری برخوردار است. جلسن و اسمیتر (۲۰) در آفریقای جنوبی برای تجزیه‌وتحلیل منطقه‌ای سیلاب از روش همگن‌بندی سلسله مراتبی استفاده کرده‌اند. موسوی و سپاسخواه (۲۵) برای برآورد دبی بیشینه روزانه استان فارس از روش آزمون همگنی لانگبین برای همگن‌بندی استفاده کردند. روحانی (۳۰) و عباسی‌زاده (۱) از چهار روش نزدیک‌ترین همسایه، دورترین همسایه، وارد و متوسط گروه استفاده کرده و روش وارد را برای منطقه مورد پژوهش، بهینه تشخیص داده‌اند. خسروی و همکاران (۱۸) در تحقیقی در حوزه‌های آبخیز غرب کشور، روش‌های سلسله مراتبی و آزمون همگنی لانگبین را مورد بررسی و مقایسه قرار داده‌اند و بهترین روش همگن‌بندی برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب را روش سلسله‌مراتبی تشخیص داده‌اند. تحقیق مشابهی توسط آهنی و همکاران (۲) در حوضه سفیدرود به انجام رسیده و این روش را برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب توصیه نموده‌اند. بیابانکی و اسلامیان (۶) و عطایی و شیران (۴) از روش تحلیل خوشه‌ای برای تعیین مناطق همگن بر اساس ویژگی‌های هیدرولوژیک استفاده کردند. رویکرد منطقه‌ای در برآورد در تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان

1- Hierarchical Clustering

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]

توسط خسروبیگی و وفاخواه (۱۹) در حوزه آبخیز دریاچه نمک مورد بررسی قرار گرفت. ایشان نتیجه گرفتند که این رویکرد منجر به بالاتر رفتن دقت برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی می‌شود.

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در پژوهش‌های مختلف بر آن تأکید شده، شاخص جریان پایه[1] (BFI) است. شاخص جریان پایه، یک نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی پایه به کل رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید. مشخصه‌های هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز مانند جریان پایه، یا سایر مؤلفه‌های جریان توسط پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی و فیزیکی مختلف و به روش همگن‌بندی، قابل برآورد است (۲۶). مشخصه‌های هیدروکلیماتولوژیکی عمدتاً شامل بارش، دما، تبخیر و تعرق است و عوامل فیزیکی شامل پارامترهای فیزیوگرافی و ثابت حوضه بوده و ممکن است پارامترهای زمین‌شناسی و خاک‌شناسی از دیدگاه هیدروژئولوژی نیز مورد استفاده قرار گیرد، (۱۷،۲۸). اطلاع از میزان جریان پایه برای مقاصد متعددی مانند مدیریت منابع آب، حفاظت اکوسیستم‌های آبی، تولید انرژی، حمل‌ونقل و پیش‌بینی جریان‌های کمینه اهمیت دارد (۱۴،۱۰). چنین اطلاعاتی در خصوص حوضه‌های فاقد آمار در دسترس نیست، بنابراین فرآیند آنالیز منطقه‌ای برای انتقال روابط پارامترهای حوضه‌های دارای آمار به حوضه‌های فاقد آمار مورد نیاز است (۷). پژوهش‌های متعددی مبتنی بر آنالیز منطقه‌ای برای ایجاد مدل‌های برآورد شاخص جریان پایه با استفاده از مشخصه‌های، هیدرولوژیکی، کلیماتولوژی و فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز انجام شده است (۳۱،۲۷،۲۴،۲۲،۲۱،۱۶،۹،۵،۳). روش‌های متعددی برای جداسازی جریان پایه از جریان رودخانه توسعه‌یافته است که عمدتاً در سه گروه روش‌های گرافیکی، فیلتر و روش‌های مبتنی بر ردیاب‌های شیمیایی قابل طبقه‌بندی است (۱۱). جداسازی جریان پایه به روش گرافیکی اغلب زمان‌بر و غیردقیق است و نتایج به‌دست‌آمده به‌وسیله متخصصین مختلف یکسان نیست. روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها دقیق و قابل‌اعتماد است ولی زمان‌بر و مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی است. روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های رقومی و فیلتر، علاوه بر سهولت و قابلیت تشخیص مناسب در تعیین دبی پایه، حساسیت بالایی نسبت به پارامترها دارد. همچنین به‌دلیل قابلیت خودکار کردن، مشکلات ناشی از عدم همخوانی نتایج تا حدودی برطرف شده است. به دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی پایه در رواناب و همچنین هزینه‌بر بودن روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، محققین بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده‌اند و الگوریتم‌های رقومی مختلفی را پیشنهاد داده‌اند. در این پژوهش از روش فیلتر رقومی برگشتی دوپارامتره برای استخراج شاخص جریان پایه استفاده شده است. این روش به‌وسیله محققین مختلفی از جمله رحیمی و همکاران (۲۹)، قنبرپور (۱۵)، تیموری و همکاران (۳۳) و ولدرافائل (۳۴) توصیه شده است.

با جمع‌بندی پژوهش‌های انجام‌شده، مشخص است که استفاده از روش همگن‌بندی در پژوهش‌های گذشته عمدتاً بر اساس توصیه سایر محققین بوده است. همچنین، اکثر تحقیقاتی که در خصوص بررسی و ارزیابی روش‌ها انجام شده است، روش‌ها را با شاخص‌های آماری مرتبط با نوع و ماهیت ریاضی روش همگن‌بندی مورد ارزیابی قرار داده‌اند و به موضوع بررسی دقت روابط منطقه‌ای حاصل از روش‌های مختلف نپرداخته‌اند. لذا با بررسی‌های به‌عمل‌آمده تاکنون مطالعات جامعی در خصوص بررسی روش‌های همگن‌بندی سلسله مراتبی به‌منظور تحلیل منطقه‌ای شاخص جریان پایه در سطح منطقه‌ای و استانی در کشور ایران مشاهده نشد. با توجه به اینکه روش‌های مختلف منجر به دسته‌بندی‌های متفاوتی از حوضه‌های همگن خواهد شد، لذا پژوهش در خصوص شناخت مناسب‌ترین روش همگن‌بندی، موجب دستیابی به اطلاعاتی برای استفاده در تحلیل شرایط هیدرولوژیکی و مدیریت بهینه منابع آب حوضه در منطقه پژوهش خواهد شد.. هدف از این پژوهش، بررسی و انتخاب مناسب‌ترین روش همگن‌بندی سلسله‌مراتبی در حوزه‌های آبخیز استان کرمان است.

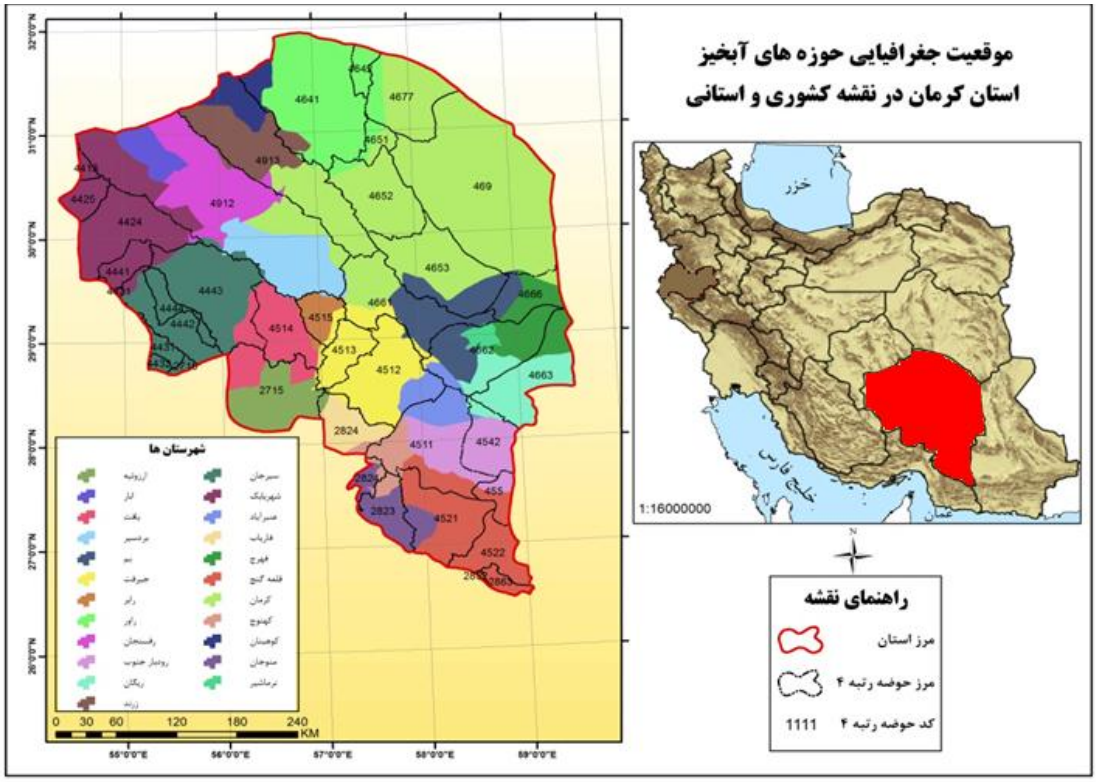
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

استان کرمان با مساحتی در حدود ۱۸۱۷۳۷ کیلومترمربع بین ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی قرارگرفته است. حد شمالی استان کرمان به استان‌های خراسان، یزد و حد جنوبی به استان هرمزگان، حد شرقی به استان سیستان و بلوچستان و حد غربی آن به استان فارس محدود است. استان کرمان با در برگرفتن حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور بخش وسیعی از پیکر جنوب شرقی فلات مرکزی ایران را می‌پوشاند. اقلیم استان کرمان از نظر تقسیم‌بندی‌های اقلیمی، جزء اقلیم نیمه‌خشک بیابانی گرم محسوب گردیده است. امتداد سلسله جبال زاگرس و کوه‌های مرکزی، استان پهناور کرمان را به دو بخش متمایز خشک کویری و معتدل کوهپایه‌ای تفکیک نموده که در تلاقی با یکدیگر از لحاظ اقلیمی سه منطقه کویری و حاشیه کویری، گرمسیری و سردسیری و کوهستانی را شکل داده‌اند. میزان متوسط بارندگی سالیانه استان کرمان ۱۴۵ میلی‌متر و میزان نزولات جوی وارده بر پهنه استان نزدیک به ۲۷ میلیارد مترمکعب برآورد گردیده است. مشخصه‌های پایه حوضه‌های مورد پژوهش در جدول (۱) و نقشه منطقه مورد پژوهش در شکل (۱) ارائه شده است.

1-Base Flow Index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش
Figure1.Study area

جدول ۱- مشخصه‌های حوزه‌های آبخیز مورد پژوهش
Table 1. Watershed Characteristics of study area

ردیف	کد حوضه	ارتفاع متوسط (m)	طول آبراهه اصلی (km)	شیب (%)	مساحت (km²)	ردیف	کد حوضه	ارتفاع متوسط (m)	طول آبراهه اصلی (km)	شیب (%)	مساحت (km²)
۱	۴۵۵	۱۴۸۸/۰۱	۴۸۰	۲۱/۸۳	۱۱۳۸/۰۰	۲۳	۴۵۱۲	۱۵۸۰/۱۸	۳۵۳	۳۵۳/۳۷	۳۰/۹۲
۲	۴۶۹	۱۸۱۳/۰۰	۸۱۷	۲۷/۵۹	۱۸۷۹/۲۴	۲۴	۴۵۱۳	۱۴۴۵/۰۸	۲۹۲	۲۹۲/۲۸	۳۰/۹۵
۳	۲۷۱۵	۲۲۶۴/۶۵	۶۶۶	۱۸/۰۴	۱۶۹۱/۱۶	۲۵	۴۵۱۴	۱۹۱۳/۳۷	۴۵۷	۴۵۷/۴۶	۴۰/۵۸
۴	۲۷۱۶	۲۲۰۶/۴۵	۶۸۱	۱۶/۲۶	۱۶۷۳/۸۸	۲۶	۴۵۱۵	۱۹۶۳/۵۸	۱۷۸	۱۷۷/۸۳	۴۲/۴۱
۵	۲۸۱۵	۱۲۸۷/۳۲	۱۲۰	۲۵/۹۳	۱۶۰/۱۲	۲۷	۴۵۲۱	۱۸۶۳/۰۰	۱۰۷	۱۰۷/۳۳	۳۳/۸۸
۶	۲۸۲۳	۳۸۲/۷۳	۳۶	۲۰/۰۳	۳۵/۲۴	۲۸	۴۵۲۲	۲۰۸۶/۷۴	۲۰۰	۱۹۹/۸۲	۴۲/۸۲
۷	۲۸۲۴	۱۴۴۴/۰۰	۵۱۰	۲۸/۴۱	۱۰۶۸/۰۴	۲۹	۴۵۴۱	۱۴۷۶/۴۰	۴۵۸	۴۵۷/۹۲	۲۰/۷۳
۸	۲۸۳۱	۳۸۴/۴۶	۴۰۸	۹/۹۰	۷۵۲/۷۶	۳۰	۴۵۴۲	۱۶۴۵/۸۱	۶۲۱	۶۲۱/۶۳	۳۹/۶۰
۹	۲۸۴۳	۱۰۰۱/۹۶	۳۹۴	۱۹/۸۶	۷۳۶/۸۰	۳۱	۴۶۳۳	۱۹۱۲/۹۹	۴۸۲	۲۶۴/۵۶	۳۰/۰۳
۱۰	۲۸۵۲	۱۵۶۵/۷۳	۵۷۲	۳۵/۴۰	۱۲۴۹/۷۲	۳۲	۴۶۴۱	۱۸۷۸/۱۲	۲۳۷	۴۸۱/۹۲	۲۵/۹۱
۱۱	۲۸۶۳	۱۸۸۴/۲۶	۵۳۶	۳۸/۰۲	۱۲۳۹/۰۸	۳۳	۴۶۴۲	۱۹۲۴/۲۵	۱۷۶۳	۲۳۷/۰۱	۳۵/۵۸
۱۲	۴۴۱۳	۱۰۵۱/۹۹	۸۵۹	۱۵/۴۱	۱۸۹۹/۱۶	۳۴	۴۶۵۱	۱۸۵۲/۸۲	۶۹۱	۱۷۶۲/۷۰	۱۹/۵۰
۱۳	۴۴۲۴	۹۴۷/۴۰	۴۰۰	۱۵/۳۹	۶۸۸/۶۸	۳۵	۴۶۵۲	۲۰۶۱/۰۸	۶۸۷	۶۹۱/۱۸	۱۸/۴۱
۱۴	۴۴۲۵	۲۱۶/۳۲	۱۷۶	۹/۸۴	۱۶۴/۲۴	۳۶	۴۶۵۳	۱۷۴۲/۹۲	۲۰۱	۶۸۷/۱۰	۱۰/۳۹
۱۵	۴۴۲۶	۷۴۸/۴۱	۷۲۲	۲۲/۳۵	۱۹۲۴/۳۲	۳۷	۴۶۶۱	۱۸۵۱/۴۸	۳۱۰	۲۰۱/۳۸	۹/۳۸
۱۶	۴۴۳۱	۵۸۱/۵۷	۹۸۱	۱۴/۰۶	۲۱۳۳/۴۸	۳۸	۴۶۶۲	۲۰۶۷/۱۸	۲۵۸	۳۱۰/۳۷	۱۲/۴۱
۱۷	۴۴۳۲	۱۱۹۹/۷۹	۱۰۳۰	۱۳/۳۶	۳۰۰۵/۳۲	۳۹	۴۶۶۳	۲۰۲۵/۲۱	۱۵۵۷	۲۵۸/۱۵	۱۱/۷۲
۱۸	۴۴۴۱	۴۸۹/۸۸	۱۵۲۲	۱۲/۹۵	۳۲۰۹/۲۴	۴۰	۴۶۶۶	۲۲۸۴/۳۸	۲۳۸	۱۵۵۷/۰۸	۲۰/۱۶
۱۹	۴۴۴۲	۱۳۹۳/۰۰	۱۴۱۳	۶/۶۳	۱۴۱۸/۵۲	۴۱	۴۶۷۷	۲۷۰۹/۰۴	۳۵۳	۲۳۸/۰۹	۳۶/۳۲
۲۰	۴۴۴۳	۱۶۷۰/۵۰	۲۰۲	۳۰/۳۴	۳۷۰/۲۰	۴۲	۴۹۱۲	۲۱۶۶/۵۵	۲۹۲	۷۱۱/۷۹	۲۱/۷۹
۲۱	۴۴۴۴	۱۸۴۸/۳۹	۳۲۳	۲۹/۹۷	۶۷۳/۴۹	۴۳	۴۹۱۳	۱۷۰۳/۴۳	۴۵۷	۲۹۵/۸۹	۱۳/۷۴
۲۲	۴۵۱۱	۱۶۹۰/۵۷	۳۰۸	۲۸/۰۷	۴۴۹/۳۴						

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]

روش پژوهش

ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی، تعداد ۴۳ ایستگاه مربوط به حوضه‌های رتبه چهار با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی ۱۳۸۰-۱۳۵۵ انتخاب گردید. با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش مشخص و پارامترهای اولیه حوضه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، استخراج گردید. سپس شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های روزانه جریان و پس از کنترل سری زمانی و آماده‌سازی اطلاعات، با استفاده از نرم‌افزار Hydro Office, 2012 به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره[1]، استخراج شد. تجزیه و تحلیل برای شناخت عوامل مستقل موثر بر شاخص جریان پایه انجام شد. همگن‌بندی حوضه‌ها با استفاده از عوامل مستقل انتخابی به روش‌های مختلف سلسله مراتبی شامل: نزدیک‌ترین همسایه[2]، دورترین همسایه[3]، فاصله از مرکز ثقل[4] و روش وارد[5] انجام شد. سپس روابط منطقه‌ای به روش رگرسیون خطی، در سطوح معنی‌داری کمتر از یک درصد برای گروه‌های همگن تمام روش‌ها به‌دست آمد. تأمین اعتبار روابط به‌دست‌آمده به روش‌های آزمون استقلال خطاها، بررسی توزیع نرمال خطاها و آزمون هم‌خطی انجام شد. سپس دقت مدل‌های استخراج‌شده با ایستگاه‌های شاهد محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد.

بررسی و آماده‌سازی اطلاعات

در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی، آگاهی از میزان جریان پایه و شاخص آن از موارد ضروری است، این در حالی است که در اکثر موارد با فقدان و یا کمبود ایستگاه‌های آب‌سنجی مواجه بوده و نیز عوامل بسیاری وجود دارند که باعث از دست رفتن آمار برخی ایستگاه‌ها می‌شوند، ازاین‌رو در ابتدا اقدام به جمع‌آوری، اصلاح، و بازسازی آمار دبی در منطقه پژوهش گردید. به‌منظور شناسایی داده‌های پرت، از آزمون داده‌های پرت استفاده شد. آزمون مربوطه برای هر دو وضعیت داده‌های بالا و پایین، انجام گردید که برای تعیین آستانه داده‌های پرت بالا از رابطه (۱) و برای تعیین آستانه داده‌های پرت پایین از رابطه (۲) استفاده شد.

$$Y_H = Y + K_n S_y \qquad (۱)$$

$$Y_L = Y + K_n S_y \qquad (۲)$$

Y_H: آستانه داده‌های پرت بالا به صورت لگاریتمی

Y_L : آستانه داده‌های پرت پایین به صورت لگاریتمی

K_n: ضریبی است که از جداول مربوطه به تعداد داده‌ها انتخاب می‌شود. S_y انحراف از معیار داده‌ها می‌باشد. در سال‌هایی که داده‌های دبی ثبت نگردیده بود، با استفاده از ماتریس همبستگی و رابطه همبستگی با ایستگاه‌های دیگر نواقص دبی کلیه ایستگاه‌ها تا ۲۵ سال آماری مشترک تکمیل گردید.

جداسازی جریان آب‌پایه

جداسازی جریان پایه، طی فرآیند تفکیک هیدروگراف جریان و با شناسایی نقطه شروع و خاتمه رواناب مستقیم قابل انجام است. نقطه شروع نقطه‌ای است که جریان، روند صعودی پیدا می‌کند و نقطه خاتمه، زمانی است که لگاریتم شاخه نزولی در برابر زمان به خط راست تبدیل می‌شود. روش‌های مختلفی به‌منظور تفکیک هیدروگراف جریان توسعه یافته و در پژوهش‌های گذشته مورداستفاده قرار گرفته است. در این پژوهش، تفکیک هیدروگراف جریان و استخراج جریان پایه و محاسبه شاخص مربوطه با استفاده از الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره و پس از بررسی و آماده‌سازی داده‌های روزانه جریان و کالیبراسیون مدل و به دست آوردن مقادیر صحیح پارامترهای مدل، انجام شد.

فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره

روش فیلتر رقومی برگشتی برای تحلیل و پردازش سیگنال‌های با فرکانس بالا از فرکانس پایین معرفی شده است، فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره با الگوریتم ذیل، اولین بار توسط بوتون (۸) و با رابطه (۳) معرفی شد.

$$q_{b(i)} = \frac{K}{1+C}\, q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C}\, q_{(i)} \qquad (۳)$$
$$q_{b(i)} \le q_{(i)}$$

k: پارامتر فیلتر، قابل‌تعیین به‌وسیله ثابت افت منحنی است. این پارامتر برابر است با شیب شاخه نزولی منحنی هیدروگراف، که در این روش مقدار ۰/۹۷۵ به‌دست آمده است. پارامتر C: پارامتری است که با تغییر آن، شکل جداسازی تغییر می‌کند و قابلیت کالیبراسیون مدل را تأمین می‌کند. با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار و به‌کار بردن مقادیر مختلف پارامتر و کالیبراسیون آن، مقدار پارامتر بهینه مورد نیاز C=۰/۵ انتخاب شده است. $q_{b(i-1)}$: جریان پایه فیلتر شده برای زمان قبل از i: $q_{(i)}$ جریان اصلی رودخانه برای زمان i، $q_{b(i)}$: جریان پایه فیلتر شده، برای زمان i ام.

همگن‌بندی حوضه‌ها

یکی از روش‌هایی که می‌توان به‌وسیله آن آمار جریان را به سایر حوضه‌ها تعمیم داد، تعیین همگنی حوزه‌های آبخیز می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور همگن‌بندی مناطق موردنظر، از روش‌های مختلف تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی شامل: نزدیک‌ترین همسایه، دورترین همسایه، فاصله از مرکز ثقل و روش وارد، استفاده شد. تحلیل خوشه‌ای به‌عنوان نوعی تحلیل چندمتغیره، ابزاری آماری است که در آن داده‌ها و مشاهدات بر اساس متغیرهای تعیین‌شده به‌وسیله محقق طبقه‌بندی می‌شوند. در این روش، حوضه‌ها از نظر خصوصیات فیزیکی دو به دو باهم مقایسه می‌شوند و باید از مقیاس‌های کمی استفاده کرد تا بتوان بیشترین شباهت یا کمترین فاصله بین داده‌ها و مشاهدات را اندازه‌گیری نمود.

خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی

خوشه‌بندی سلسله مراتبی، روشی است که در آن به خوشه‌های نهایی بر اساس میزان عمومیت آن‌ها ساختاری سلسله مراتبی، نسبت داده می‌شود.

روش نزدیک‌ترین همسایه

این روش یکی از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین روش‌های خوشه‌بندی است و جزء روش‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی پایین به بالا محسوب می‌شود. در این روش برای محاسبه شباهت بین دو خوشهٔ A و B از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

1-Two parameter recursive digital filter
2- Nearest neighbor
3- Furthest neighbor
4- Centroid clustering
5- Ward

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]

$$d_{AB} = \min d_{ij} \quad i = A,\ \ j = B \qquad (۴)$$

که i یک نمونه داده متعلق به خوشهٔ A و j یک نمونه داده متعلق به خوشهٔ B می‌باشد. در واقع در این روش شباهت بین دو خوشه، کمترین فاصله بین یک عضو از یکی با یک عضو از دیگری است.

روش دورترین همسایه

این روش نیز جزء روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی پایین به بالا محسوب می‌شود. در این روش برای محاسبه شباهت بین دو خوشه A و B از رابطه (۵) استفاده می‌شود.

$$d_{AB} = \max d_{ij} \quad i = A,\ \ j = B \qquad (۵)$$

که i یک نمونه داده متعلق به خوشهٔ A و j یک نمونه دادهٔ متعلق به خوشهٔ B است. درواقع در این روش شباهت بین دو خوشه بیشترین فاصلهٔ بین یک عضو از یکی با یک عضو از دیگری است.

روش فاصله از مرکز ثقل

این روش نیز جزء روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی پایین به بالا محسوب می‌شود. در این روش برای محاسبهٔ شباهت بین دو خوشهٔ A و B از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$d_{AB} = \mathrm{d}\left(\frac{\sum_{i=A} X_i}{N_A}, \frac{\sum_{i=B} X_j}{N_B}\right) \qquad (۶)$$

که X_i یک نمونه داده متعلق به خوشهٔ A، X_j یک نمونه دادهٔ متعلق به خوشهٔ B، N_A تعداد اعضاء خوشهٔ A و N_B تعداد اعضاء خوشهٔ B است. در واقع در این روش، شباهت بین دو خوشه فاصلهٔ بین بردار میانگین تمام اعضاء یکی با بردار میانگین تمام اعضاء دیگری است.

روش وارد

در این روش خوشه‌بندی برای کاهش تلفات ناشی داده‌های دورافتاده[1] از معیاری جدید برای محاسبهٔ عدم‌شباهت بین خوشه‌ها استفاده می‌شود. در این روش از مجموع مربعات تفاضل هر داده از یک خوشه با بردار میانگین آن خوشه، به عنوان معیاری برای سنجش یک خوشهٔ استفاده می‌شود. الگوریتم مربوطه بدین‌صورت است که ابتدا هر داده به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شود. به ازاء تمام جفت خوشه‌های ممکن از مجموعهٔ خوشه‌ها آن دو خوشه‌ای که مجموع مربعات تفاضل داده‌های خوشهٔ حاصل از اجتماع آن‌ها با بردار میانگین خوشهٔ حاصل کمینه باشد، انتخاب می‌شوند. دو خوشهٔ انتخاب شده باهم ترکیب می‌شوند و تا زمانی که تعداد خوشه‌ها به تعداد مورد نظر نرسیده است، مراحل تکرار می‌شوند.

تجزیه و تحلیل برای شناخت عوامل مستقل موثر بر شاخص جریان پایه

روش تجزیه و تحلیل عاملی به روش (PCA)[2] با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای ۱۴ متغیر فیزیوگرافی، هیدرولوژیکی و اقلیمی در حوضه‌های منتخب به‌کار برده شد. متغیرهای مورداستفاده، شامل ویژگی‌های مختلف حوضه ازجمله، شاخص جریان پایه، ثابت افت منحنی، میزان نفوذپذیری، ظرفیت ذخیره سطحی، بارش، تبخیر تعرق واقعی، دما، مساحت حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب، درصد عدم تجاوز ۹۰ و ۷۵ درصد و متوسط CN حوضه است. محورهای عاملی با روش واریماکس[3] که روش مناسب و استاندارد برای ساده کردن ساختار عامل‌ها و به حداکثر رساندن رابطه همبستگی بین متغیرها می‌باشد، دوران یافت. سپس با استفاده از روش مدل رگرسیونی، ماتریس امتیازات عاملی استخراج شد. برای تعیین متغیرهایی که خروج آن‌ها از مدل تجزیه عاملی به روند بهتر شدن کیفیت تجزیه عاملی کمک می‌کند، از ماتریس همبستگی Anti-image و آماره MSA[4] استفاده شد. عناصر روی قطر ماتریس همبستگی، مقادیر اندازه دقت نمونه‌گیری با نماد MSA نامیده می‌شود. این معیار که برای هر متغیر جداگانه تحلیل می‌شود، بیان می‌کند که آیا متغیر خاصی از جهت وارد شدن به مدل تجزیه عاملی صلاحیت دارد یا نه؟ مقادیر بزرگ MSA در جهت تائید ورود متغیر به مدل حرکت می‌کنند. پس از انتخاب متغیرهای مهم، تجزیه عاملی بر اساس این متغیرها صورت گرفته و مهم‌ترین پارامترها به‌عنوان عوامل مستقل مشخص شد. سپس روابط بین عامل وابسته شاخص جریان پایه (BFI) با سایر عوامل مستقل، با استفاده از روش رگرسیونی (رابطه ۷) مورد بررسی قرار گرفت.

$$BFI = aMr + bHc + C \qquad (۷)$$

که در آن پارامترهای Mr: فاکتور مورفومتری، Hc: فاکتور هیدرواقلیمی و پارامترهای a و b و c ضرایب ثابت رابطه می‌باشند. مدل‌های استخراج شده پس از بررسی میزان دقت و نیز خطای برآوردی آن‌ها بر اساس معیارهای ضریب همبستگی، خطای برآورد استاندارد و خطای نسبی، و تأمین اعتبار مدل‌ها به روش‌های، آزمون استقلال خطاها، بررسی نرمال بودن توزیع خطاها و بررسی هم‌خطی مورد استفاده قرار گرفت. سرانجام به لحاظ آماری با توجه به سطوح معنی‌داری کمتر از یک درصد مناسب‌ترین مدل‌ها انتخاب شدند.

تأمین اعتبار رگرسیون‌ها

انجام هر رگرسیونی، مستلزم فرضیاتی از قبیل، مستقل بودن خطاها از یکدیگر، نرمال بودن توزیع خطاها و پایین بودن میزان هم‌خطی بین متغیرهای مستقل است و تا زمانی که این مفروضات برقرار نباشد، اعتبار رگرسیون خدشه‌دار خواهد بود.

آزمون استقلال خطاها

خطا عبارت است از تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده. برای بررسی استقلال خطاها از همدیگر از آزمون دوربین–واتسون استفاده شد. اگر همبستگی بین خطاها را به P نشان دهیم در این صورت آماره دوربین–واتسون به کمک رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{DW} = 2(1 - \mathrm{P}) \qquad (۸)$$

اگر P=0 باشد آنگاه مقدار آماره DW=2 خواهد بود که نشانه عدم همبستگی خطاها می‌باشد. اگر P=1 باشد آنگاه آماره DW=0 خواهد بود که نشان می‌دهد خطاها دارای خود همبستگی مثبت هستند. اگر P=-1 باشد آنگاه مقدار آماره DW=4 خواهد بود که نشانه همبستگی منفی بین خطاها است. از آنجایی‌که فرض H_0 بر عدم همبستگی بین خطاها

1- Outlier
2- Principal Component Analysis
3- Varimax Rotation
4- Measure of Sampling Adequacy

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]

تأکید دارد، چنانچه این آماره در بازه ۱/۵ تا ۲/۵ قرار گیرد، فرض H_0 پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت فرض H_0 رد می‌شود، یعنی بین خطاها همبستگی وجود دارد.

بررسی نرمال بودن خطاها

به‌منظور بررسی نرمال بودن خطاها، مقادیر استاندارد خطاها محاسبه و نمودار هیستوگرام مقادیر خطاها به همراه منحنی توزیع نرمال آن‌ها رسم می‌شود. توجه به میزان چولگی، میانگین و انحراف معیار خطاها برای بررسی اعتبار روابط لازم است.

آزمون هم‌خطی

هم‌خطی، وضعیتی است که نشان می‌دهد یک متغیر مستقل، تابعی خطی از بین سایر متغیرهای مستقل است. اگر هم‌خطی در یک معادله رگرسیون بالا باشد، بدین معنی است که بین متغیرهای مستقل همبستگی بالایی وجود دارد و ممکن است با وجود بالا بودن ضریب تعیین، مدل دارای اعتبار بالایی نباشد. به عبارت دیگر با وجود آن که مدل خوب به نظر می‌رسد، ولی دارای متغیرهای مستقل معنی‌داری نمی‌باشد. در جدول همبستگی داخلی، هر چقدر تولرانس کم باشد، اطلاعات مربوط به متغیرها کم بوده و مشکلاتی در استفاده از رگرسیون ایجاد و باعث می‌شود، واریانس ضرایب رگرسیون، افزایش یافته و رگرسیون را برای پیش‌بینی نامناسب می‌سازد. همچنین مقادیر ویژه نزدیک به صفر نشان می‌دهد، همبستگی داخلی پیش‌بینی‌ها زیاد است و تغییرات کوچک در مقادیر داده‌ها به تغییرات بزرگ در برآورد ضرایب معادله رگرسیون منجر می‌شود. از طرف دیگر شاخص وضعیت با مقدار بیشتر از ۱۵ نشان‌دهنده احتمال هم‌خطی بین متغیرهای مستقل است و مقدار بیشتر از ۳۰ بیانگر مشکل جدی در استفاده از رگرسیون است.

نتایج و بحث

جریان پایه و شاخص مربوطه در ایستگاه‌های مورد نظر برای سال‌های آبی ۱۳۸۰-۱۳۵۵ به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره محاسبه گردید. ضرایب فیلتر استفاده شده در محدوده مورد نیاز هر روش و با توجه به بهترین پاسخ داده شده به تغییرات ضرایب و با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی نرم‌افزار Hydro Office و مقایسه چشمی انتخاب و نتایج برای استفاده در تحلیل‌عاملی مورد استفاده قرار گرفت. میانگین سالیانه شاخص جریان پایه در منطقه تحقیق برابر با ۰/۵۰، حداکثر برابر یک و حداقل آن برابر ۰/۱۱ به دست آمد. انحراف معیار این شاخص در کل منطقه تحقیق برابر ۰/۲۱ بوده است. شاخص جریان پایه در بیش از ۷۵ درصد از حوضه‌های مورد بررسی بیشتر۰/۴۰ بوده است، که انعکاسی از خشک بودن منطقه و بالا بودن سهم مشارکت آب‌های زیرزمینی در جریان رودخانه‌ها است.

آزمون تحلیل عاملی نشان داد که کلیه متغیرها در قالب شش عامل طبقه‌بندی می‌شوند که درمجموع ۷۸/۷۲ درصد از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند، (جدول ۲). پارامترهای ضریب نگهداشت حوضه و ثابت افت هیدروگراف به‌عنوان عامل اول، پارامترهای بارش متوسط سالانه، درصدهای عدم تجاوز Q_{90} ,Q_75 در عامل دوم و پارامترهای تبخیر و تعرق واقعی و دمای سالانه در عامل سوم، پارامتر نفوذپذیری به عنوان عامل چهارم، پارامتر شیب و طول رودخانه اصلی به عنوان عامل پنجم و پارامترهای مساحت، ارتفاع متوسط حوضه و شماره منحنی در عامل ششم به عنوان مؤثرترین پارامترها شناخته شدند. تصویر گرافیکی مقادیر ویژه در هریک از عامل‌های استخراج‌شده در شکل (۲) نمایش داده‌شده است. همان‌طور که مشخص است، مقدار واریانس توجیه شده (مقدار ویژه) با استخراج عامل‌های ششم به بعد سریعاً افت می‌کند. همگن‌بندی به روش‌های موردنظر انجام و سپس جهت اعتباریابی گروه‌های همگن، روش تابع تشخیص مورد استفاده قرار گرفت و تعویض گروه‌ها بر مبنای ارزیابی مدل تا زمانی که میزان دقت مدل برابر ۱۰۰ درصد شود، ادامه و نتایج در (جدول ۳) ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است برای روش نزدیک‌ترین همسایه، یک منطقه همگن و برای سایر روش‌ها دو منطقه همگن در فاصله اقلیدسی صفر تا ۱۰ تشخیص داده شد.

جدول ۲- مقادیر کل درصد از واریانس توضیح داده شده بر اساس عوامل مستقل انتخابی در آزمون تحلیل عاملی

Table2. Total percentages of the variance explained on the basis of independent factors in the factor analysis

عامل	درصد از واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۲۶/۵۰۹	۲۶/۵۰۹
۲	۱۴۳/۱۷۳	۴۰/۶۸۲
۳	۱۱/۱۴۰	۵۱/۸۲۲
۴	۱۰/۵۲۷	۶۲/۳۴۹
۵	۸/۷۰۸	۷۱/۰۵۷
۶	۷/۶۷۱	۷۸/۷۲۸

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]

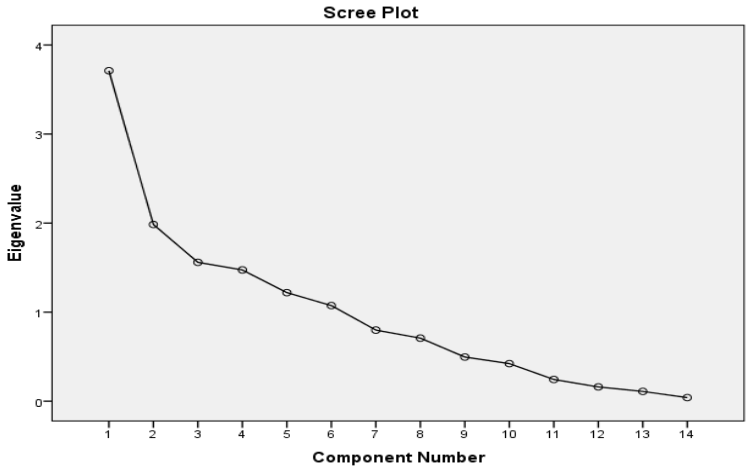
جدول ۳- زیر حوضه‌های انتخابی واقع در هر یک از زیرگروه‌ها بر اساس روش همگن‌بندی

Table 3.Selected sub-basins located in each of the sub-groups based on the homogeneity method

روش/ شماره خوشه	کد ایستگاه
نزدیک‌ترین همسایه (۱)	۴۵۵-۲۷۱۵-۲۷۱۶-۲۸۱۵-۲۸۲۳-۲۸۲۴-۲۸۳۱-۲۸۴۳-۲۸۵۲-۲۸۶۳-۴۴۱۳-۴۴۲۴-۴۴۲۵-۴۴۲۶-۴۴۳۱-۴۴۳۲-۴۴۴۱-۴۴۴۲-۴۴۴۳-۴۴۴۴- ۴۵۱۱-۴۵۱۲-۴۵۱۳-۴۵۱۴-۴۵۱۵-۴۵۲۱-۴۵۲۲-۴۵۴۱-۴۵۴۲-۴۶۳۳-۴۶۴۲-۴۶۵۱-۴۶۵۲-۴۶۵۳-۴۶۶۱-۴۶۶۲-۴۶۶۳-۴۶۶۶-۴۶۷۷
وارد (۱)	۴۶۶۶–۴۶۶۳–۴۶۶۲–۴۶۶۱–۴۶۵۳–۴۶۴۲–۴۶۴۱–۴۶۳۳–۴۵۴۲–۴۵۴۱–۵۴۲۲
وارد (۲)	۴۵۵–۴۶۹–۲۷۱۵–۲۷۱۶–۲۸۲۴–۲۸۶۳–۴۴۲۴–۴۴۴۳–۴۴۴۴–۴۵۱۱–۴۵۱۲–۴۵۱۳–۴۵۱۴–۴۵۱۵–۴۵۲۱–۴۶۷۷–۴۹۱۲–۴۹۱۳– ۲۸۱۵–۲۸۲۳–۲۸۳۱–۲۸۴۳–۲۸۵۲–۴۴۱۳–۴۴۲۵–۴۴۲۶–۴۴۳۱–۴۴۳۲–۴۴۴۱–۴۴۴۲–
دورترین همسایه (۱)	۴۶۶۶–۴۶۵۱–۴۶۴۲–۴۶۳۳–۴۵۴۱–۴۵۴۲–۴۵۲۲–۴۵۱۵–۴۵۱۴–۴۵۱۳–۴۴۴۴–۴۴۴۳–۴۴۳۲–۴۴۳۱–۴۴۲۶–۴۴۲۵–۴۴۱۳– ۲۸۶۳–۲۸۵۲–۲۸۴۳–۲۸۳۱–۲۸۲۴–۲۸۲۳–۲۸۱۵–۲۷۱۶–۴۵۵
دورترین همسایه (۲)	۲۷۱۵–۴۴۲۴–۴۴۴۳–۴۵۱۱–۴۵۱۲–۴۵۲۱–۴۶۴۱–۴۶۵۲–۴۶۵۳–۴۶۶۱–۴۶۶۲–۴۶۶۳–۴۶۷۷–۴۹۱۳–
فاصله از مرکز ثقل (۱)	۴۶۶۶–۴۶۵۱–۴۶۴۲–۴۶۳۳–۴۵۴۲–۴۵۴۱–۴۵۲۲–۴۵۱۵–۴۵۱۴–۴۴۴۴–۴۴۴۲–۴۴۴۱–۴۴۳۲–۴۴۳۱–۴۴۲۶–۴۴۲۵–۴۴۱۳– ۲۸۶۳–۲۸۵۲–۲۸۴۳–۲۸۳۱–۲۸۲۴–۲۸۲۳–۲۸۱۵–۲۷۱۶–۴۵۵
فاصله از مرکز ثقل (۱)	۴۶۶۳–۴۶۶۲–۴۶۶۱–۴۶۵۳–۴۶۵۲–۴۵۲۱–۴۵۱۲–۴۵۱۱–۴۴۴۳–۴۴۲۴–۲۷۱۵–۴۶۷۷–

روابط رگرسیونی برآورد شاخص جریان پایه

نتایج روابط استخراجی با دخالت تمامی زیرحوضه‌ها، در مناطق همگن به روش‌های مختلف، نشان داد که مقادیر شاخص جریان پایه در برابر پارامترهای هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی منتخب، همبستگی معنی‌داری را در سطح کمتر از یک درصد دارد. مدل‌های رگرسیونی چند متغیره عامل شاخص جریان پایه، نسبت به متغیرهای مستقل در مناطق همگن به روش‌های مختلف، استخراج و در (جدول ۴) ارائه شده است.



شکل۲- مقادیر ویژه عامل‌های استخراج شده

Figure 2. Eigen values for extracted factors

جدول ۴- روابط رگرسیونی در مناطق همگن

Table 4. Regression relations in homogeneous regions

روش/ شماره خوشه	خطای برآورد نسبی مدل (٪)	رابطه
وارد (۱)	۰/۳۱	$\mathrm{BFI} = -0.007\mathrm{S} - 0.000058\mathrm{H} + 0.001\mathrm{E} - 0.00002\mathrm{P} - 0.488\mathrm{K} - +0.492$
وارد (۲)	۴۱/۷	$\mathrm{BFI} = 0.01\mathrm{CN} + 0.005\mathrm{F} + 0.007\mathrm{S_A} - 0.016\mathrm{S} + 0.0000558\mathrm{H} - 0.042\mathrm{T} - 0.001\mathrm{E} + 0.001\mathrm{P} - 0.171\mathrm{K} - 0.004\mathrm{Q90} + 1.032$
نزدیک‌ترین همسایه (۱)	۳۷/۵۲	$\mathrm{BFI} = S \times (-0.005) + \mathrm{LR} \times (0.00004829) + \mathrm{H} \times (-0.0000246) + \mathrm{T} \times (-0.012) + Q_{90} \times (0.007) + Q_{75} \times (-0.01) + 0.518$
دورترین همسایه (۱)	۴۴/۰۲	$\mathrm{BFI} = S \times (-0.002) + \mathrm{LR} \times (9.503) + \mathrm{H} \times (-0.0000443) + \mathrm{T} \times (-0.005) + \mathrm{K} \times (0.376) + 0.338$
دورترین همسایه (۲)	۶۰/۸۵	$\mathrm{BFI} = S \times (-0.020) + \mathrm{H} \times (-0.001) + \mathrm{T} \times (-0.049) + \mathrm{H} \times (-0.006) + \mathrm{P} \times (-0.002) + \mathrm{K} \times (-0.706) + Q_{90} \times (0.706) + 4.139$
فاصله از مرکز ثقل (۱)	۲۷/۱۳	$\mathrm{BFI} = \mathrm{S} \times (-0.002) + \mathrm{LR} \times (0.000095) + \mathrm{H} \times (0.0000443) - \mathrm{T} \times (0.005) + \mathrm{K} \times (0.376) + Q_{75} \times (0.003)$
فاصله از مرکز ثقل (۲)	۳۶/۸۹	$\mathrm{BFI} = \mathrm{T} \times (-0.105) + 1.233$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]

پارامترهای مورداستفاده در روابط فوق

H: ارتفاع متوسط حوضه (متر)، S: شیب متوسط (درصد)، E: تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر)، P: بارش متوسط سالانه (میلی‌متر)، K: ثابت افت منحنی هیدروگراف، Q_{90} و Q_{75}: درصد عدم تجاوز، S_A: ضریب نگهداشت حوضه، F: نفوذپذیری (سانتی‌متر در ساعت)، CN: شماره منحنی، T: دمای متوسط سالانه (سانتی‌گراد)، LR: طول رودخانه اصلی.

اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی

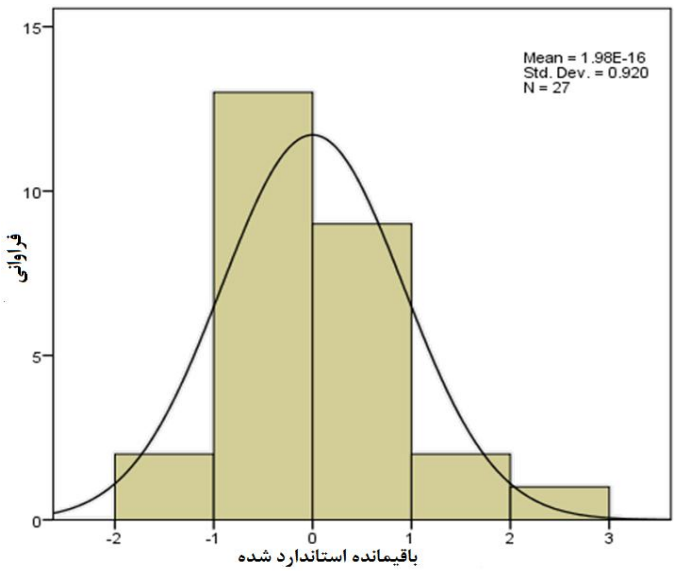
نتایج اعتبارسنجی روابط رگرسیونی با استفاده از روش آزمون استقلال خطاها (روش دوربین–واتسون)، برای مناطق همگن به روش‌های مختلف، نشان داد که مقدار آماره دوربین –واتسون در این پژوهش در مناطق همگن در فاصله ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد و نشان‌دهنده این است که فرض استقلال خطاها پذیرفته است و معادلات رگرسیون قابل استفاده است (جدول ۵).

جدول ۵- خلاصه نتایج آزمون دوربین- واتسون

Table 5. Summary of Durbin Watson resoults

روش	منطقه همگن	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل‌شده	خطای برآورد استاندارد مدل	ضریب دوربین- واتسون
فاصله از مرکز	۱	۰/۹۱۲	۰/۸۳۱	۰/۶۶۲	۰/۱۲۰۲۴	۱/۸۶۵
فاصله از مرکز	۲	۰/۸۸۰	۰/۷۷۵	۰/۷۲۵	۰/۱۲۹۵۰	۱/۵۹۲
دورترین همسایه	۱	۰/۹۱۲	۰/۸۳۱	۰/۶۶۲	۰/۱۲۰۲۴	۱/۷۱۸
دورترین همسایه	۲	۱	۱	۰	۰	۱/۹۲۲
نزدیک‌ترین همسایه	۱	۰/۸۶۱	۰/۷۴۲	۰/۶۰۷	۰/۱۳۵۶۷	۱/۵۹۲
وارد	۱	۰/۹۰۲	۰/۸۱۳	۰/۳۲۷	۰/۱۶۶۴۳	۱/۵۹۵
وارد	۲	۰/۹۶۶	۰/۹۳۲	۰/۹۰۵	۰/۱۶۵۵۵	۲/۳۷۲
وارد	۳	۰/۸۰۰	۰/۶۴۰	۰/۵۷۵	۰/۱۶۱۸۹	۱/۹۰۷

بررسی نرمال بودن خطاها، مقادیر استاندارد خطاها محاسبه و نمودار توزیع داده‌ها و نمودار نرمال آن‌ها رسم شد. با مقایسه نمودار توزیع فراوانی خطاها و نمودار توزیع نرمال حاصل از آزمون نرمال بودن خطاها مشاهده شد که توزیع خطاها در تمامی مدل‌های استخراج‌شده، در مناطق همگن، تقریباً نرمال است که نشان‌دهنده قابلیت استفاده از روابط رگرسیونی است، همچنین مقدار میانگین توزیع خطاها در تمام مناطق همگن، نزدیک به صفر است و انحراف معیار آن‌ها نیز تقریباً یک است. شکل شماره (۳) نمونه‌ای از توزیع خطاها برای شاخص BFI در منطقه همگن یک، به روش "فاصله از مرکز ثقل" را نشان می‌دهد.



شکل۳- توزیع خطاها برای شاخص BFI در منطقه همگن یک، به روش فاصله از مرکز ثقل

Figure 3. Distribution of errors for the BFI in the first homogeneous region, by Centroid method

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]

آزمون همبستگی داخلی

نتایج بررسی جدول همبستگی داخلی، نشان داد که شاخص وضعیت بعضی از عوامل مانند، عامل مساحت با میزان ۵۳/۶۹۷ و Q_{75} با میزان ۳۰/۰۴۹ و همچنین با دارا بودن مقادیر ویژه نزدیک به صفر (به ترتیب ۰/۰۰۳ و۰/۰۱۰) نشانگر وجود احتمال هم‌خطی بین متغیرهای مستقل در روش وارد است که هنگام انتخاب روابط به آن‌ها توجه شده است. برای بررسی میزان خطای نسبی برآورد روابط ارائه شده، مقادیر مربوط به پارامترهای حوضه‌های واقع در یک منطقه همگن به عنوان شاهد برای منطقه دیگر، در نظر گرفته شد و رابطه مربوطه برای پارامترهای حوضه‌های شاهد اجرا شد. سپس، میزان خطای نسبی برآوردی برای روابط مناطق مختلف محاسبه و نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول مشخص است، روش همگن‌بندی "فاصله از مرکز ثقل" به دلیل کمترین خطای نسبی به میزان ۲۷/۱۳۷ برای منطقه یک و ۳۶/۸۹ درصد برای منطقه همگن دو، حداقل خطای برآورد استاندارد و ضریب همبستگی بالا، به‌عنوان بهترین روش همگن‌بندی سلسله‌مراتبی برای برآورد منطقه‌ای شاخص جریان پایه در منطقه پژوهش تشخیص داده شد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با استفاده از امکانات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از همراهی و مساعدت مسئولین محترم پژوهشکده تشکر می‌نماییم.

منابع

1. Abbassizade, G.H. 2003. Regional flood frequency analysis using a hybrid method in South Alborz. MSc Thesis, Department of Natural Resources, Tehran University, Iran, 107 pp (In Persian).
2. Ahani, A., S. Emamgholizadeh, S.S. M. Nadoushani and K. Azhdari. 2015. Regional Flood Frequency Analysis by Hybrid Cluster Analysis and L-moments, Journal of Watershed Management Research, 6(12): 11-20 (In Persian).
3. Ahiablame, L., I. Chaubey, B. Engel, K. Cherkauer and V. Merwade. 2013. Estimation of annual base flow at ungauged sites in Indiana USA, Journal of Hydrology, 476: 13-27.
4. Ataei, H. and M. Shiran. 2011. Identifying homogeneous hydrological basins based on effective geomorphologic variants on flood by cluster analysis. Journal of Geography and Environmental Planning, 42(2): 79-98 (In Persian).
5. Beck, H.E., A.I.J.M. Van Dijk, D.G. Miralles, R.A.M. DeJeu, L.A. Bruijnzeel, T.R. McVicar and J. Schellekens. 2013. Global patterns in base flow index and recession based on stream flow observations from 3394 catchments, Journal of Water Resources Research, 49: 7843-7863.
6. Biyabanaki, M. and S.S. Eslamiyan. 2005. Using cluster method in the determination of hydrologic homogeneous and evaluation by discriminate analysis and Andrew curves in Karkheh catchment, Journal of Agriculture, 2: 13-26 (In Persian).
7. Blöschl, G., M. Sivapalan, T. Wagener, A. Viglione and H. Savenije. 2013. Runoff prediction in ungauged basins: Synthesis across Processes, Places and Scales, 1st edition, Cambridge Univ. Press, New York. 484 pp Hardback ISBN, 978-1-107-02818-0.
8. Boughton, W.C. 1993. A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. In: Hydrology and Water Resources Conference, Institution of Engineers, Australia, National Conference Publication no, 14: 317-324 pp.
9. Brandes, D., J.G. Hoffmann and J.T. Mangarillo. 2005. Base flow recession rates, low flows, and hydrologic features of small watersheds in Pennsylvania, USA, Journal of The American Water Resources Association, 41: 1177-1186.
10. Brauman, K.A., G.C. Daily, T.K. Duarte and H.A. Mooney. 2007. The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services, Journal of Annual Review of Environment and Resources, 32: 67-98.
11. Brodie, R.S. and S. Hostetle. 2005. A review of techniques for analyzing base-flow from stream hydrographs. Proceedings of the NZHS-IAH-NZSSS Conference, Auckland, New Zealand,
12. Chahoki, A., A. Salajeghe, M. Mahdavi, S.H. Khaligi Sigarodi and A. sadi. 2013. Regional modeling of flow duration curve at ungauged catchments of arid region, Case study: Central of Iran. Journal of Range and Watershed Management, 66(2): 251-265 (In Persian).
13. Chapman, T.G and A.I. Maxwell. 1996. Base flow Separation-Comparison of numerical methods with tracer experiments. Proceedings of the Hydrological and Water Resources Symposium. Water and the Environment; Preprints of Papers Institution of Engineers, 539-545 pp.
14. Cyr, J., M. Landry and Y. Gagnon. 2011. Methodology for the large-scale assessment of small hydroelectric potential: Application to the province of New Brunswick (Canada), Journal of Renew. Energy, 36(11): 2940-2950.
15. Ghanbarpor, M., M. Teymori and S.H.A. Gholami. 2008. Comparison of Base Flow Estimation Methods Based on Hydrograph Separation (Case study: Karun Basin). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 1: 1-10 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]

16. Kazemi, R. and A.R. Eslami. 2013. Investigation on the role of geological formation and hydrological parameter on base flow index, case study: Khazar region, Journal of Watershed Engineering and Management, 5(2): 85-93 (In Persian).
17. Kazemi, R., H. Davoodi, M.J. Soltani and A. Sarreshtedari. 2013. Investigation of land use change on base flow index, case study: Taleghan catchment, Journal of Watershed Engineering and Management, 5(1): 1-8 (In Persian).
18. Khosravi, M., M. Mohseni Saravi, M. Vafakhah and G. Fathi. 2011. Determination of the best hydrometric clustering method for regional flood analysis in west catchments of country. Journal of Iran-Watershed Management Science and Engineering, 4(13): 15-20 (In Persian).
19. Khosrobeigi Bozcheloei, S. and M. Vafakhah. 2016. Regional Analysis of Flow Duration Curve in Namak Lake Basin, Iran, Journal of Watershed Management Research, 7(14): 228-236 (In Persian).
20. Kjeldsen, T.R. and J.C. Smithers. 2002. Regional flood frequency analysis in the KwaZulu-Natal provinces, South Africa, using the index-flood method. Journal of Hydrology, 255: 194-211.
21. Krakauer, N.Y. and M. Temimi. 2011. Stream recession curves and storage variability in small watersheds, Journal of Hydrology and Earth System Sciences, 15: 2377-2389.
22. Longobardi, A. and P. Villani. 2008. Base flow index regionalization analysis in a Mediterranean area and data scarcity context: Role of the catchment permeability index. Journal of Hydrology, 355: 63-75.
23. Malekiyan, A., S. Hasanpor and H. Faraji Sabokbar. 2013. Application and comparing of gray cluster analysis and hierarchical analysis in locating suitable areas for flood spreading. Case study: Garebayegan catchment. Journal of Iran-Watershed Management Science and Engineering, 7(20): 35-46 (In Persian).
24. Mazvimavi, D., A.M.J. Maijerink, H.H.G. Savenije and A. Stein. 2005. Prediction of flow characteristics using multiple regression and neural networks: A case study in Zimbabwe. Journal of Physics and Chemistry of the Earth, 30: 639-647.
25. Mosavi, H. and A. Sepaskhah. 1989. Estimation of maximum daily discharge of ungauged catchments in Fars province. Proceedings of First Conference on Hydrology, University Tehran, 284-316 (In Persian).
26. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization. Journal of Hydrology, 121: 217-238.
27. Peña-Arancibia, J.L., A.I.J.M. Van Dijk, M. Mulligan and L.A. Bruijnzeel. 2010. The role of climatic and terrain attributes in estimating base flow recession in tropical catchments, Journal of Hydrology and Earth System Sciences, 14: 2193-2205.
28. Porhemmat, J. and R. kazemi. 2017. Regional Modeling and Evaluation of Runoff Coefficient in Karkhe Basin, Journal of Watershed Management Research, 8(15): 82-91 (In Persian).
29. Rahimi, L., A. Ahmad Dehghani and K. Ghorbani. 2016. Comparison of Total flow, Base flow and Water-Quality Characteristics Trend in Arazkuseh Hydrometric Station, Journal of Watershed Management Research, 7(13): 83-91(In Persian).
30. Rohani, H. 2001. Regional flood frequency analysis using a hybrid method in arid and semi-arid area. A Case Study of Khorasan. MSc Thesis. Department of Natural Resources, Tehran University, 132pp (In Persian).
31. Santhi, C., P.M. Allen, R.S. Muttiah, J.G. Arnold and P. Tuppad. 2008. Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. Journal of Hydrology, 351: 139-153.
32. Smakhtin, V.Y. 2001. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology, 240: 147-186.
33. Teimouri, M., M.R. Ghanbarpour, M. Bashirgonbad, M. Zolfaghari and S. Kazemikia. 2011. Comparison of Base flow Index in Hydrograph Separation with Different Methods in Some Rivers of West Azarbaijan Province. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 15: 219-228 (In Persian).
34. Welderufael, W.A. and Y.E. Woyessa. 2010. Stream flow analysis and comparison of base flow separation methods, Case Study of the Modder River Basin in central South Africa. Journal of European Water, 31: 3-12.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]

Determination of the Best Hierarchical Clustering Method for Regional Analysis of Base Flow Index in Kerman Province Catchments

Rahim Kazemi[1] and Forood Sharifi[2]

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran, (Corresponding author: ra_hkazemi@yahoo.com)
2- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran
Received: July 31, 2016 Accepted: January 13, 2019

Abstract

The lack of complete coverage of hydrological data forces hydrologists to use the homogenization methods in regional analysis. In this research, in order to choose the best Hierarchical clustering method for regional analysis, base flow and related index were extracted from daily stream flow data using two parameter recursive digital filters in 43 hydrometric stations of the Kerman province. Physiographic, climatic and hydrological parameters were calculated. Using factor analysis of 14 parameters, six factors including: hydrograph recession constant, mean annual precipitation, actual evapotranspiration, permeability, topography (slope and height) and curve number were chosen as the most important independent factors. Hierarchical clustering of catchments using independent factors in different methods including: Nearest neighbor, Furthest neighbor, Centroid clustering and Ward were down. Then the regional equations using linear regression at 1% significant level for each homogeny region were determined. To compare and evaluate the accuracy and efficiency of the models, Independence errors, Colinerity and normal distribution of errors were tested. The results showed that "Centroid clustering method " because of low relative error with the amount of 27.137% for zone A and 36.89% for zone B of homogeneous region, minimum standard error of the estimate and the high correlation coefficient, diagnosed as the best homogeneity method to estimate regional base flow index in the study area.

Keywords: Base Flow Index, Factor Analysis, Hierarchical Clustering, Model Efficiency, Regional Analysis

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.2.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.95]