نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دهم، شماره دو، زمستان ۱۳۹۹

ISSN 2251-7480

تعیین نواحی همگن هیدرولوژیکی برای برآورد رواناب در حوضه‌های آبخیز فاقد آمار با استفاده از تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: استان اردبیل)

بتول پورسیف‌اللهی[۱]، امین کانونی*[۲]، محمدرضا نیک‌پور[۳]، جواد رمضانی‌مقدم[٤]

۱) دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی

۲) استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳) استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

٤) استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

* نویسنده مسئول مکاتبات: amin.kanooni@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱

چکیده:

گروه‌بندی حوضه‌های آبخیز با توجه به عوامل اقلیمی و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌ها پیش‌نیاز تحلیل منطقه‌ای رواناب و استفاده از آن برای تخمین آبدهی حوضه‌های فاقد ایستگاه سنجش دبی است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های دبی، متوسط بارش سالانه و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز و با روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد و k-means ، حوضه‌های آبخیز واقع در استان اردبیل به مناطق همگن هیدرولوژیکی تفکیک شدند. به علت تعدد زیاد پارامترها ابتدا با تحلیل مؤلفه‌های اصلی، چهار مؤلفه اول با تبیین ۸۳/۶ درصد واریانس کل، به عنوان ورودی تحلیل خوشه‌ای انتخاب شدند. سپس تعداد بهینه خوشه‌ها به کمک روش سلسله مراتبی وارد و رسم نمودار درختی، تعیین و در نهایت با روش k-means خوشه‌بندی نهایی انجام شد. در ادامه با به کارگیری آزمون یکنواختی دالریمپل، زیرحوضه‌هایی که از لحاظ هیدرولوژیکی از یک فرآیند آبدهی پیروی می‌کردند، شناسایی شدند. نتایج آزمون یکنواختی نشان داد که با کنار گذاشتن ایستگاه‌های واقع در خارج از محدوده اطمینان هر خوشه، زیرحوضه‌های که از نظر آبدهی سالانه و سایر پارامترهای فیزیوگرافی و هواشناسی با یکدیگر شباهت داشتند در یک خوشه قرار می‌گیرند. بنابراین تعداد زیرحوضه‌های واقع در خوشه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر ۸، ۴، ۹ و ۹ حوضه بوده است که می‌تواند در تحلیل منطقه‌ای به منظور برآورد رواناب و سیلاب در حوضه‌های آبخیز فاقد داده‌های دبی سنجی، مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: آبدهی؛ تحلیل مؤلفه‌های اصلی؛ خوشه‌بندی؛ مناطق همگن

مقدمه

شناخت نواحی همگن هیدرولوژیکی یکی از نیازهای اولیه در تحلیل فراوانی منطقه‌ای به منظور برآورد رواناب است. به دلیل تعداد کم ایستگاه‌های هیدرومتری در بسیاری از حوضه‌های آبخیز، از تحلیل منطقه‌ای جهت تعمیم نتایج در مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری، استفاده می‌شود (فرسادنیا و مقدم‌نیا، ۱۳۹۲). استفاده از داده‌های آبدهی ایستگاه‌های هیدرومتری در تخمین رواناب حوضه‌های فاقد ایستگاه، در صورت عدم همگنی هیدرولوژیکی مناطق مورد نظر، خطای برآورد دبی را افزایش می‌دهد، بنابراین اطمینان از همگنی حوضه‌ها برای انجام تحلیل منطقه‌ای الزامی است (Hosking & Wallis, 1996). در گذشته روش

طبقه‌بندی مشخصی برای شناسایی نواحی همگن هیدرولوژیکی وجود نداشته است و عموماً حوضه‌های آبخیز براساس دید کارشناسی و موقعیت جغرافیایی آن‌ها طبقه‌بندی می‌شدند. در ادامه پژوهش‌های کاربردی، هیدرولوژیست‌ها از روش‌های مطمئن‌تری بر پایه خصوصیات آماری توزیع فراوانی سیل یا ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌ها استفاده کردند (Wiltshire, 1986). تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های تفکیک مناطق همگن هیدرولوژیکی است که توجه بسیاری از پژوهش‌گران را در سال‌های اخیر به خود اختصاص داده است (Abdolhay *et al.*, 2012). تحلیل خوشه‌ای یک روش آماری چند متغیره است که داده‌های مربوط به هریک از گروه‌های مشابه را مورد تفسیر و دسته‌بندی قرار می‌دهد. با توجه به این که این روش مبتنی بر داده‌های کمی است از این رو نتایج به دست آمده، دقیق‌تر و از اطمینان بیشتری برخوردار است (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹). در تعیین نواحی همگن، شباهت بین حوضه‌ها با محاسبه فاصله ثقل خصوصیات حوضه‌های آبخیز (نظیر خصوصیات فیزیوگرافی، هیدرولوژیک، اقلیمی و ...) تبیین می‌شود (جهانشاهی و همکاران، ۱۳۹۷). به علت تعداد زیاد پارامترهای فیزیوگرافی و هواشناسی در هریک از حوضه‌های آبخیز می‌توان قبل از انجام تحلیل خوشه‌ای، خصوصیات مستقل و مؤثر در رواناب خروجی حوضه‌ها را با استفاده از روش‌های موجود از جمله روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، انتخاب و به عنوان ورودی تحلیل خوشه‌ای به کار برد (بیابانکی و اسلامیان، ۱۳۸۳).

در ارتباط با شناسایی نواحی همگن با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و بررسی همگنی هیدرولوژیکی خوشه‌ها، مطالعات زیادی در سطح ملی و بین‌المللی صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از جدیدترین پژوهش‌ها اشاره می‌شود. بیابانکی و اسلامیان (۱۳۸۳) با تحلیل عاملی، پنج عامل را به‌عنوان پارامترهای فیزیوگرافی مستقل معرفی کردند و سپس با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی وارد (Ward)، حوضه‌ها را به دو گروه همگن تقسیم و با تحلیل ممیزی و منحنی‌های Andrew، نحوه گروه‌بندی را ارزیابی کردند. نتایج حاصل نشان داد که تقسیم ٤١ حوضه به دو گروه با ٦ و ٣٥ زیرحوضه نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد. خدمتی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد و نه پارامتر فیزیوگرافی، حوضه‌های آبخیز مشرف به ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در جنوب-شرق ایران را به مناطق همگن تقسیم کردند. با توجه به منحنی خوشه‌ای و تابع تشخیص، منطقه مورد مطالعه با فاصله اقلیدسی برابر نه، به سه خوشه همگن تقسیم شد. در نهایت پس از بررسی مناطق همگن از نظر هیدرولوژیکی، روابطی را برای برآورد دبی سالانه در حوضه‌های فاقد آمار، ارائه دادند. دارابی و همکاران (۱۳۹۱) برای طبقه‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز پل‌دوآب شازند در استان مرکزی براساس پارامترهای مورفومتریک، از دو روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد و k-means استفاده کردند و با توجه به نتایج شاخص دیویس–بولدین، منطقه به پنج ناحیه همگن تقسیم شد. بررسی نتایج دو روش خوشه‌بندی حاکی از آن است که ۹۵ درصد از زیرحوضه‌های گروه-بندی شده توسط هر دو روش به‌طور مشترک بیان شده است. فتحیان و احمدزاده (۱۳۹۱) جهت تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در زیرحوضه‌های فاقد آمار حوضه آبخیز دریاچه ارومیه، از روش گشتاورهای خطی استفاده کردند. پس از بررسی نتایج حاصل از خوشه‌بندی، منطقه مورد مطالعه با بکارگیری روش خوشه‌بندی k-means، به ۵ خوشه همگن تقسیم شد، سپس با انجام آزمون‌های هاسکینگ و والیس همگنی ایستگاه‌های واقع در هر یک از خوشه‌ها بررسی گردید. در نهایت براساس آزمون نکوئی برازش، تابع توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته به عنوان مناسب‌ترین توزیع برای تمامی نواحی همگن انتخاب شد. قهرمان و داوری (۱۳۹۳) به منظور تعیین نواحی همگن در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی، روش‌های مختلف خوشه‌بندی را بررسی کردند. نتایج حاصل از

خوشه‌بندی با استفاده از روش‌های سلسله مراتبی و افرازی نشان داد که تقسیم منطقه مورد مطالعه به چهار خوشه همگن با بکارگیری روش ترکیبی سلسله‌مراتبی وارد و k-means نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. مهری و همکاران (۱۳۹۵) با بکار بردن روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی و k-means با هدف گروه‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز استان اردبیل در گروه‌های همگن از داده‌های دبی، دبی پایه، شاخص جریان پایه، کاربری موجود در هر حوضه، متوسط بارش سالانه و متغیرهای فیزیکی استفاده کردند. به کمک روش دیویس–بولدین تعداد سه خوشه به عنوان تعداد بهینه انتخاب و سپس خوشه‌بندی در دو مرحله با داده‌های دبی و خصوصیات فیزیکی حوضه‌های آبخیز انجام شد. نتایج نشان داد که گروه‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز با روش k-means دارای دقت بیشتری است. تأثیر روش‌های مختلف خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر دقت مدل‌سازی ضریب جریان در حوضه کرخه توسط کاظمی و پرهمت (۱۳۹۷) بررسی شد. برای این منظور از داده‌های دبی روزانه ۲۲ ایستگاه آب‌سنجی با دوره مشترک آماری (۱۳۷۸–۱۳۵۳) استفاده و با انجام تحلیل عاملی بر روی ۱۵ پارامتر مؤثر بر ضریب جریان، عوامل مستقل انتخاب و سپس با روش‌های مختلف نزدیک‌ترین همسایه، دورترین همسایه، فاصله از میانه، فاصله از مرکز ثقل و روش وارد، خوشه‌بندی مناطق همگن انجام شد. نتایج نشان داد که روش نزدیک‌ترین همسایه به دلیل دارا بودن حداقل درصد خطای نسبی، میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا از سایر روش‌ها مناسب‌تر است. محمدی‌جوزدانی و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر مناطق هیدرو–اقلیمی در تعیین بهترین توزیع احتمالاتی بارش‌های حداکثر روزانه را مورد بررسی قرار دادند. برای انجام تجزیه و تحلیل خوشه‌ای از روش‌های سلسله مراتبی وارد وk-means با شش پارامتر حوضه‌های آبخیز در ایران استفاده کردند. نتایج نشان داد که همبستگی بین حوضه‌های آبخیز تفکیک شده به روش سلسله مراتبی وارد، بیشتر است.

Raju و Kumar (۲۰۱۱) برای طبقه‌بندی حوضه‌های آبخیز در کشور هند به گروه‌های همگن با توجه به ۱۰ پارامتر موفولوژیکی، سه روش خوشه‌بندی را با هم مقایسه کردند. با توجه به نتایج به دست آمده، حوضه‌ها به پنج گروه همگن تقسیم و روش k-means به عنوان بهترین روش برای خوشه‌بندی حوضه‌های همگن انتخاب شد. Dikbas و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از دو روش خوشه-بندی k-means فازی و افرازی، نواحی همگن توزیع بارش در ۱۸۸حوضه آبخیز واقع در ترکیه را طبقه‌بندی کردند. به‌منظور انتخاب بهینه تعداد خوشه‌ها مقادیر چهار شاخص مختلف بررسی و در نهایت منطقه به شش خوشه همگن تقسیم شد. نتایج حاکی از برتری روش خوشه‌بندی فازی نسبت به خوشه‌بندی افرازی است. به‌منظور برآورد حداکثر سیلاب لحظه‌ای، Abdolhay و همکاران (۲۰۱۲) مناطق همگن در حوضه آبخیز گرگان‌رود را شناسایی کردند. داده‌های حداکثر سیلاب لحظه‌ای، بارش سالانه و پنج پارامتر فیزیوگرافی هر یک از حوضه‌های آبخیز تهیه شد. با بررسی همگنی مناطق با آزمون‌های گشتاورهای خطی و آماره هاسکینگ والیس، مشاهده شد که نتایج روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد، فازی c-means و نگاشت خودسامان‌ده، مشابه می‌باشند. Farsadnia و همکاران (۲۰۱٤) خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در استان مازندران را تهیه و با یک روش دو مرحله‌ای که شامل نگاشت خودسامان‌ده[1] بعلاوه روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد، k-means و روش خوشه‌بندی c-means فازی (FCM) بود، مناطق همگن را شناسایی کردند. نتایج نشان داد تقسیم منطقه به چهار خوشه همگن به وسیله روش ترکیبی نگاشت خودسامان ده با روش سلسله مراتبی وارد، نسبت به روش‌های دیگر عملکرد بهتری دارد. مطالعه‌ای به منظور تقسیم ۵۷ زیرحوضه در میانمار به مناطق همگن، توسط Latt و همکاران (۲۰۱۵) و با استفاده از روش ترکیبی وارد

[1] Self-Organizing Feature Maps

و k-means انجام شد. ابتدا ابعاد پارامترهای موثر به کمک روش مؤلفه‌های اصلی کاهش یافت، سپس با توجه به نمودار دندروگرام حاصل از روش سلسله مراتبی وارد تعداد بهینه خوشه‌ها انتخاب گردید و در نهایت زیرحوضه-های آبخیز با روشk-means به چهار منطقه همگن تقسیم شد. همچنین به منظور پیش‌بینی رواناب در حوضه‌های فاقد آمار تحقیقی توسط Li و همکاران (۲۰۱۸) در کشور چین انجام شد. داده‌ها و اطلاعات حوضه‌های آبخیز جمع‌آوری و پس از انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی، منطقه مورد مطالعه به کمک روش سلسله مراتبی وارد و k-means به چهار خوشه همگن تقسیم گردید. در نهایت برای برآورد رواناب، نمودارهای همبستگی بارش و رواناب مربوط به هریک از مناطق همگن ترسیم شدند. برای شناسایی مناطق همگن در حوضه آبخیز کرخه Rafiei Sardooi و همکاران (۲۰۱۹) از شاخص‌های سنجش از دور استخراج شده از تصاویر ماهواره‌های MODIS، Landsat و Terra/ASTER استفاده کردند و با توجه به اطلاعات کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، شیب نسبی و شاخص رطوبت توپوگرافیکی تعداد بهینه خوشه‌ها با معیارهای XB[1] و FS[2] ارزیابی شدند. در نهایت با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی c_means حوضه آبخیز کرخه به چهار منطقه همگن تقسیم گردید. شناسایی مناطق همگن بارش در حوزه توکانتینس–آراگوایا[3] برزیل با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی c_means و پارامترهای اقلیمی–فیزیکی همچون طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و مقدار بارش حوزه توسط Gomes و همکاران (۲۰۱۹) انجام و سه ناحیه همگن شناسایی شد. در نهایت با آزمون هاسکینگ- والیس همگنی این مناطق مورد تأیید قرار گرفت.

بررسی مطالعات انجام یافته نشان می‌دهد که برآورد رواناب در حوضه‌های آبخیز با وسعت و تنوع اقلیمی زیاد و دارای تعداد کم ایستگاه‌های سنجش دبی، بدون تفکیک نواحی همگن هیدرولوژیکی و تبیین روابط مربوط به هر ناحیه همگن، عموماً نتایج غیر قابل قبولی را به همراه دارد و تعمیم داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری موجود به حوضه‌های فاقد ایستگاه، غالباً غیر مطمئن است. استان اردبیل نیز به دلیل تنوع اقلیمی و خصوصیات فیزیوگرافی متفاوت حوضه‌های آبخیز آن، نیازمند گروه‌بندی حوضه-های همگن بوده و می‌توان با تعیین نواحی همگن هیدرولوژیکی تخمین‌های دقیقی از رواناب خروجی حوضه‌ها به دست آورد. این موضوع در مطالعات پیشین مورد توجه قرار نگرفته و در اندک مطالعات انجام یافته نیز نتایج به دست آمده از دقت و اطمینان‌پذیری قابل قبولی برخوردار نبوده است. در این راستا و برای بررسی جامع عوامل تاثیرگذار در تخمین رواناب حوضه‌های آبخیز استان اردبیل تحقیقی برای شناسایی و تفکیک نواحی همگن هیدرولوژیکی انجام شد تا با استفاده از نتایج آن بتوان میزان آبدهی حوضه‌های فاقد آمار در داخل هر گروه همگن را با استفاده از داده‌های فیزیوگرافی و اقلیمی همان حوضه برآورد و برای انجام تحلیل فراوانی سیلاب و رواناب خروجی از حوضه‌ها مورد استفاده قرار داد. آزمون همگنی هیدرولوژیکی ایستگاه‌های واقع در خوشه‌های همگن تضمینی برای تشابه هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز واقع در خوشه‌های همگن منتخب است که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

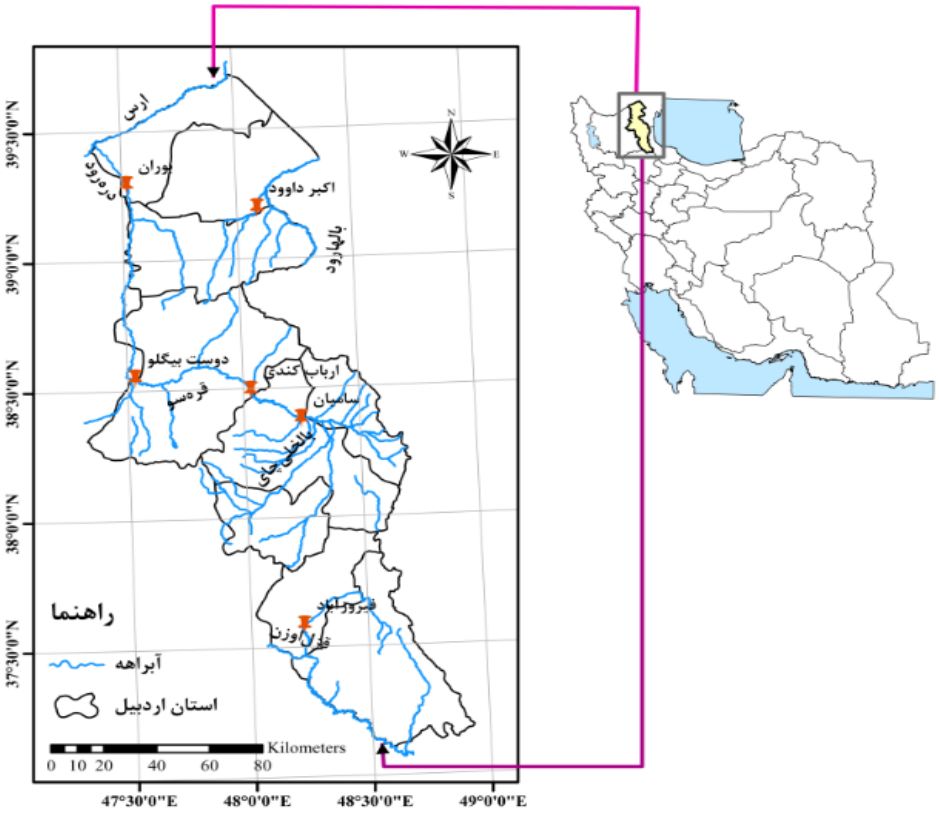
استان اردبیل با وسعت ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع بین عرض شمالی ۳۷°۸ تا ۳۹°۴۲ و طول شرقی ۴۷°۱۹ تا ۴۸°۵۵ در شمال‌غرب ایران واقع شده است. از رودخانه‌های دائمی و طولانی این استان می‌توان به

[1] Xie-Beni
[2] Fukuyama-Sugeno
[3] Tocantins–Araguaia

رودخانه قره‌سو و بالخلوچای اشاره نمود که به ترتیب از رشته کوه‌های تالش (باغرو) و سبلان سرچشمه می‌گیرند. قسمتی از رودخانه‌های مرزی ارس، قزل اوزن و بالهارود نیز از این استان عبور می‌کند. آب و هوای استان اردبیل معتدل کوهستانی بوده و با توجه به تنوع شرایط طبیعی در منطقه، میزان دما و بارش در نواحی مختلف آن متفاوت است. نواحی جنوبی و غرب استان اردبیل مرتفع و کوهستانی بوده و زمستان‌های سرد و پر برف و تابستان‌های معتدلی دارند. همچنین در نواحی شمالی از ارتفاع کوه‌ها کاسته شده و بر میزان دما افزوده می‌شود و مقدار بارش نیز کاهش می‌یابد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان اردبیل (منطقه مورد مطالعه) و گستردگی رودخانه‌های آن را نشان می‌دهد.

روش تحقیق

پس از بررسی مجموعه‌ای از اطلاعات اولیه و نقشه‌های عمومی منطقه در محدوده مطالعاتی، آمار و داده‌های دبی و بارش تمام ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی موجود از آرشیو شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل، تهیه شد. با توجه به آمار موجود، دوره آماری مشترک ۲۳ سال انتخاب و پس از بررسی‌های اولیه، در نهایت داده‌های ۳۰ ایستگاه هیدرومتری و ۵۰ ایستگاه باران‌سنجی برای ادامه تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. متوسط بارش سالانه حوضه‌های مشرف به ایستگاه‌های هیدرومتری، با روش‌های زمین‌آمار به دست آمد و برای محاسبه پارامترهای فیزیوگرافی حوضه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی و نرم افزار ArcGIS10.2 استفاده گردید. شماره منحنی حوضه‌ها نیز بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک (آرشیو شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل) به دست آمد. در جدول ۱ خلاصه‌ای از مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. خلاصه مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در منطقه مورد مطالعه

نماد	تعریف	واحد	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین
A	مساحت	km^2	۱۲۲۰۶/۷۴	۷/۳۷	۱۲۵۰/۷۲
L_b	طول حوضه	km	۱۷۸/۳۵	۵/۹۸	۳۶/۸۹
FF	ضریب فرم حوضه	-	۰/۹۰	۰/۰۹	۰/۳۹
CC	ضریب گراولیوس	-	۳/۵۹	۱/۲۹	۱/۹۶
D_d	تراکم زهکشی	-	۱/۱۰	۰/۲۶	۰/۴۱
L_s	طول آبراهه اصلی	km	۳۷۵/۵۲	۸/۱۰	۶۳/۳۴
S_b	شیب حوضه	%	۳۹/۲۲	۳/۵۶	۱۳/۰۳
E	ارتفاع متوسط	m	۳۴۷۵/۳۴	۵۹۰/۵۵	۱۸۳۹/۹۹
T_c	زمان تمرکز	hr	۴۹/۳۰	۱/۱۲	۹/۴۱
S_s	شیب آبراهه اصلی	%	۱۱/۷۴	۰/۳۷	۳/۳۴
P	متوسط بارش سالانه	mm	۴۵۳/۵۷	۲۴۶/۸۱	۳۵۰/۰۵
CN	شماره منحنی	-	۸۲/۴۴	۶۴/۲۲	۷۳/۵۲

با توجه تعدد زیاد خصوصیات فیزیوگرافی و هواشناسی زیرحوضه‌های آبخیز، با انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی، پارامترهایی که تأثیر معنی‌داری بر رواناب داشتند، انتخاب و به عنوان ورودی تجزیه و تحلیل خوشه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت، منطقه مورد مطالعه به کمک دو روش خوشه‌بندی وارد و k-means به مناطق همگن تقسیم و سپس همگنی هیدرولوژیکی این مناطق با بکارگیری آزمون یکنواختی مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی نواحی همگن در محیط دو نرم‌افزار SPSS22 و افزونه XLSTAT نرم‌افزار EXCEL انجام شد. تحلیل مولفه‌های اصلی، روند انجام تحلیل خوشه‌ای به روش‌های وارد و k-means و همچنین فرآیند انجام آزمون یکنواختی در ادامه تشریح می‌شوند.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از متداول‌ترین روش‌های آماری چند متغیره است که می‌توان از آن برای کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسئله در مواردی که حجم زیادی از داده‌ها در دسترس است و همچنین برای تفسیر بهتر اطلاعات استفاده نمود (Jolliffe, 2004). از آنجایی که این روش یک روش آماری ناپارامتری است لازم است امکان استفاده از روش مذکور و نتایج به دست آمده از آن، به وسیله آزمون KMO[1] مورد بررسی قرار گیرد (Cerny and Kaiser, 1977). در گام بعدی ماتریس همبستگی تهیه می‌شود. سپس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه مربوطه از ماتریس همبستگی محاسبه می‌گردد. هر مقدار ویژه با اطلاعات مربوط به آن (بردارهای ویژه) ویژگی‌های یک مؤلفه را ارائه می‌دهد. هر مؤلفه نیز درصدی از اطلاعاتی که توسط متغیرهای اولیه بیان می‌شود را در بر می‌گیرد و معادل با بخشی از اطلاعات مسئله است. اولین مؤلفه، بیشترین واریانس و کمترین مقدار واریانس مربوط به آخرین مؤلفه می‌باشد. انتخاب چند مؤلفه اول که بیشترین مقدار واریانس را دارند، به عنوان مؤلفه‌های اصلی شناخته می‌شوند (نوری و همکاران، ۱۳۸۷). به‌منظور حداکثر کردن رابطه بین متغیرها و مؤلفه‌ها، باید محورها چرخانده شوند. از طریق

[1] Kaiser-Meyer-Olkin

چرخش مؤلفه‌ها بهترین ترکیب و ساختار ایجاد می‌شود. این چرخش به دو نوع دوران عمودی و دوران مایل تقسیم می‌شود. دوران عمودی استقلال میان مؤلفه‌ها را حفظ می‌کند، امّا دوران مایل استقلال مؤلفه‌ها را از بین برده و آن‌ها را به‌هم وابسته می‌کند. یکی از روش‌های چرخش عمودی که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، چرخش واریماکس[1] است.

تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای روشی آماری است که برای یافتن شباهت بین اعضای موجود در یک مجموعه به کار می‌رود. در این مطالعه، جهت تعیین نواحی همگن از دو روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی وارد و خوشه‌بندی افرازی k-means استفاده شد که در ادامه تشریح می‌شوند.

در روش خوشه‌بندی وارد، فاصله بین دو خوشه از طریق مجموع مجذورات اختلافات بین دو خوشه به‌دست آمده از کل متغیرها، تعیین می‌شود. در این روش، مجموع مربعات انحراف بردارهای مشخصه از مرکز خوشه مربوطه‌ای که به آن تعلق دارد (رابطه ۱)، به حداقل می‌رساند (Ward, 1963).

$$W = \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{N_k}(y_{ij}^{k} - y_{*j}^{k})^2 \qquad ۱$$

که در آن، k بیانگر تعداد خوشه‌ها، N_k معرف تعداد بردارهای مشخصه در خوشه k ام، y_{ij}^{k} نماینده مقدار بازتجدید مقیاس‌شده ویژگی jام در بردار مشخصه iام اختصاص داده شده به خوشه k ام و y_{*j}^{k} مقدار میانگین ویژگی jام برای خوشه kام است.

در روش خوشه‌بندی افرازی k-means ابتدا به تعداد خوشه‌های مورد نیاز (k) نقاطی به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. سپس داده‌ها با توجه به میزان نزدیکی (شباهت)، به یکی از این خوشه‌ها نسبت داده شده و بدین ترتیب خوشه‌های جدیدی حاصل می‌شوند. پس از تعلق تمام داده‌ها به یکی از خوشه‌ها، برای هر خوشه یک نقطه جدید به عنوان مرکز خوشه مشخص می‌شود. مراحل ذکر شده تا زمانی که هیچ تغییری در مراکز خوشه‌ها حاصل نشود، تکرار می‌شود (Chang et al., 2008).

آزمون یکنواختی

یکنواختی مجموعه‌ای از ایستگاه‌های دبی‌سنجی که در داخل یک ناحیه همگن قرار می‌گیرند، با روش‌های مختلفی بررسی می‌شود که یکی از متداول‌ترین آن‌ها آزمون یکنواختی دالریمپل (Dalrymple, 1960) است. در این روش که بر تبعیت داده‌ها از توزیع احتمالاتی گمبل استوار است، بر روی کاغذ احتمالات دو محدوده بر اساس سطح اطمینان مورد نظر برای متغیر کوچک شده[2] تعیین می‌شود و پس از پیاده کردن حدود پایین و بالا، رابطه دوره بازگشت در مقابل تعداد داده‌ها در منحنی نیمه لگاریتمی رسم می‌شود. به منظور ورود نقاط مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری در هر یک از خوشه‌های همگن، ابتدا نسبت دبی با دوره برگشت ۱۰ ساله به دبی میانگین به دست آمده و سپس با محاسبه میانگین آن نسبت در هر خوشه همگن، دبی تعدیل شده (Q_k) که برابر حاصلضرب میانگین به دست آمده برای هر خوشه و دبی میانگین است به دست می‌آید. آنگاه دوره برگشت دبی تعدیل شده بر اساس توزیع منتخب، استخراج و بر روی نمودار ترسیم شده مربوط به حدود اطمینان پیاده می‌شود. هر ایستگاه که موقعیت آن خارج از حدود اطمینان قرار گیرد، در این آزمون مردود شناخته شده و از منطقه همگن خارج می‌گردد (مهدوی، ۱۳۹۲).

نتایج و بحث

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

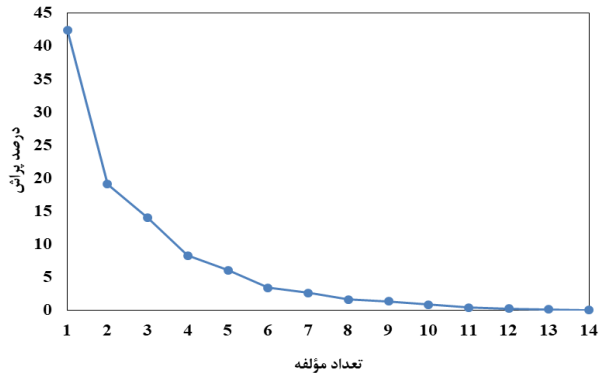
قبل از خوشه‌بندی مناطق همگن، به‌منظور کاهش تعداد پارامترهای ورودی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. در

[1] Varimax

[2] Reduced Variable

مرحله اول ماتریسی به ابعاد ۱۵×۳۰ تشکیل شد که در این ماتریس عدد ۱۵ معرف تعداد پارامترهای فیزیوگرافی و هواشناسی حوضه‌ها و عدد ۳۰ بیانگر تعداد حوضه‌ها است. با توجه به این که بُعد هر یک از این متغیرها متفاوت است با روش z-score، متغیرها استاندارد شدند. سپس کفایت متغیرها جهت انجام آزمون مؤلفه‌های اصلی بررسی گردید. با توجه به مقدار به دست آمده KMO (برابر ۰/٦٦٨)، داده‌های مورد نظر از شرایط خوبی برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی برخوردار بودند. پس از انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی نمودار اسکری (شکل ۲) بدست آمد. همان‌طور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود مقدار واریانس هر یک از مؤلفه‌ها به‌ترتیب برابر ٤۲/۳۹، ۱۹/۰٤، ۱۳/۹۲ و ۸/۲٤ است و بنابراین بیشترین درصد از واریانس کل، مربوط به چهار مؤلفه اول با مجموع ۸۳/٦ درصد می‌باشد.

پس از چرخش مؤلفه‌های انتخاب شده به روش واریماکس، بهترین ساختار موجود بین متغیرها شناسایی شد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است مساحت، طول حوضه، طول آبراهه اصلی و زمان تمرکز بیشترین سهم از مؤلفه اول را در جهت مثبت و عرض جغرافیایی در جهت منفی، دارا هستند. در مؤلفه دوم شیب حوضه، شیب آبراهه اصلی و شماره منحنی به‌ترتیب بیشترین تأثیر مثبت را دارند. متوسط بارش سالانه (در جهت مثبت) و طول جغرافیایی (در جهت منفی) بالاترین سهم از مؤلفه سوم و تأثیرگذارترین خصوصیت تشکیل دهنده مؤلفه چهارم، تراکم زهکشی است.



شکل ۲. نمودار اسکری مؤلفه‌های اصلی براساس مقادیر ویژه

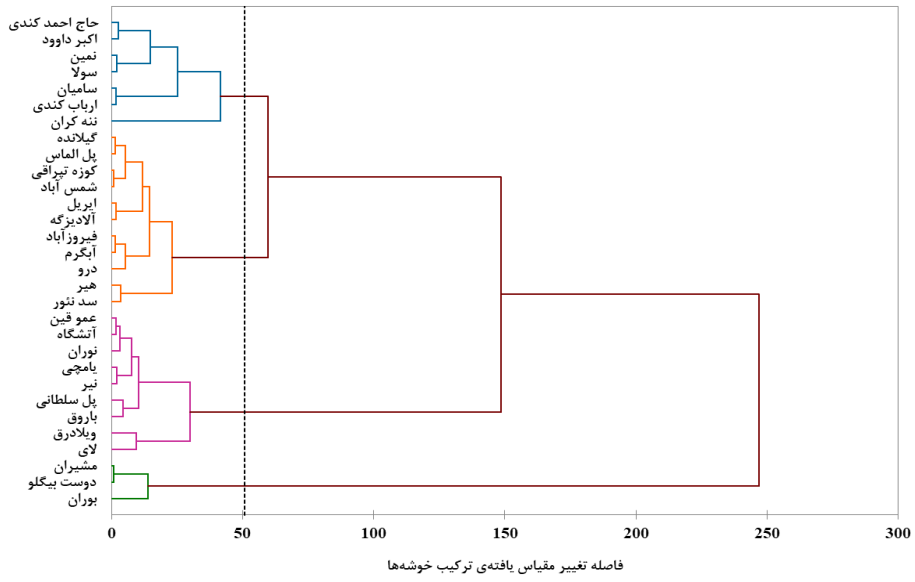
جدول ۲. مقادیر مؤلفه‌های اصلی پس از چرخش واریماکس

پارامترها	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
مساحت	**۰/۹۴۳**	-۰/۱۶۱	-۰/۱۶۳	-۰/۰۵۹
طول حوضه	**۰/۹۵۷**	-۰/۱۵	-۰/۱۵۹	-۰/۱۱۲
ضریب فرم حوضه	۰/۳۴۵	-۰/۵۲۳	۰/۲۷۵	-۰/۵۴۶
ضریب گراولیوس	۰/۲۰۱	-۰/۱۷۷	۰/۶۶	۰/۴۲۷
تراکم زهکشی	-۰/۰۶۶	۰/۰۹۶	-۰/۰۴	**۰/۹۰۹**
طول آبراهه اصلی	**۰/۹۶**	-۰/۱۵۳	-۰/۱۶۱	-۰/۰۸۷
شیب حوضه	-۰/۳۰۴	**۰/۸۴۸**	۰/۱۷۳	۰/۳۴۶
ارتفاع متوسط	-۰/۱۴۷	۰/۶۴۴	۰/۵۹۵	-۰/۰۴۷
زمان تمرکز	**۰/۹۵۳**	-۰/۱۸۹	-۰/۱۶۹	-۰/۰۷۷
شیب آبراهه اصلی	-۰/۳۵	**۰/۸۱۲**	۰/۲۱	۰/۲۸۷
متوسط بارش سالانه	-۰/۱۷۹	۰/۴۷۷	**۰/۷۰۳**	-۰/۰۴۲
شماره منحنی	۰/۲۹۴	**۰/۷۱۷**	-۰/۱۱۹	-۰/۱۹۷
عرض جغرافیایی	**-۰/۷۸۲**	-۰/۴۶۳	۰/۱۹	-۰/۰۷۹
طول جغرافیایی	۰/۴۱۸	۰/۰۱۸	**-۰/۸۰۲**	۰/۰۹۴
مقدار ویژه	۶/۳۵۹	۲/۸۵۷	۲/۰۸۹	۱/۲۳۶
درصد واریانس	۴۲/۳۹۶	۱۹/۰۴۴	۱۳/۹۲۴	۸/۲۴
درصد افزایشی واریانس	۴۲/۳۹۶	۶۱/۴۴۰	۷۵/۳۶۴	۸۳/۶۰۴

تحلیل خوشه‌ای

پس از انتخاب پارامترهای مؤثر که شامل مساحت، طول حوضه، طول آبراهه اصلی، زمان تمرکز، تراکم زهکشی، شیب حوضه، شیب آبراهه اصلی، متوسط بارش سالانه، شماره منحنی، طول و عرض جغرافیایی است، در نخستین گام از تحلیل خوشه‌ای، زیرحوضه‌های واقع در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش سلسله مراتبی وارد، خوشه‌بندی شدند. بنابراین با توجه به نمودار درختی (شکل ۳) و موقعیت جغرافیایی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه، منطقه به چهار خوشه همگن تقسیم شد.

به علت این‌که در روش k-means برخلاف روش‌های سلسله مراتبی وارد، امکان تصحیح خوشه‌بندی اولیه و تعیین مجدد حوضه‌ها وجود دارد و نیز به دلیل نتایج قابل قبول آن در مطالعات پیشین، پس از شناسایی اولیه مناطق همگن به روش خوشه‌بندی وارد، روش k-means برای خوشه‌بندی نهایی و شناسایی مناطق همگن در منطقه مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گرفت که در جدول ۳ نتیجه تفکیک حوضه‌های آبخیز در نواحی همگن ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول ٤، خوشه اول دارای ۸ زیرحوضه و خوشه‌های دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب دارای ٤، ۹ و ۹ زیرحوضه می‌باشند.



شکل ۳. دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم وارد و فاصله اقلیدسی

جدول ۳. نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای با روش k-means

ردیف	خوشه			
	اول	دوم	سوم	چهارم
۱	آتشگاه	ارباب‌کندی	اکبرداوود	آبگرم
۲	باروق	بوران	ایربل	پل‌الماس
۳	پل‌سلطانی	دوست‌بیگلو	آلادیزگه	درو
۴	عموقین	مشیران	حاج احمدکندی	سامیان
۵	لای		سولا	شمس‌آباد
۶	نوران		نمین	فیروزآباد
۷	نیر		ننه‌کران	کوزه‌تپراقی
۸	ویلادرق		هیر	گیلانده
۹			سولا	یامچی

نتایج آزمون همگنی هیدرولوژیکی

به منظور بررسی همگنی هیدرولوژیکی ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در نواحی همگن منتخب، ابتدا تحلیل فراوانی دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری طی دوره آماری مشترک با استفاده از توابع توزیع احتمالی مختلف انجام گرفت و در نهایت با استفاده از آزمون نکویی برازش و میانگین مربعات خطا، مناسب‌ترین تابع توزیع انتخاب شد و با توجه به اینکه توزیع گامبل در اکثر ایستگاه‌ها در رتبه اول توزیع منتخب و در بعضی از آن‌ها نیز در رتبه دوم قرار داشت لذا به عنوان توزیع غالب مورد پذیرش قرار گرفت. در گام بعدی یکنواختی خوشه‌های همگن به کمک روش دالریمپل بررسی گردید. بدین ترتیب دبی با دوره برگشت ۱۰ و ۲/۳۳ سال تعیین و سپس نسبت آن دو محاسبه و میانگین آن در ایستگاه‌های واقع در هر خوشه محاسبه و سپس دبی تعدیل شده (Q_k) محاسبه و آنگاه بر اساس توزیع منتخب، متغیر کوچک شده و دوره برگشت معادل بدست آمد. در جداول ٤ تا ٧ نتایج فرآیند انجام آزمون همگنی برای خوشه‌های همگن ارائه شده است. در این جداول دبی تعدیل شده از حاصل‌ضرب دبی میانگین و متوسط نسبت دبی ۱۰ ساله به دبی میانگین به دست آمده است. در شکل ٤ نیز ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در هر خوشه همگن با توجه به تعداد سال‌های آماری و دوره برگشت مورد نظر، مشخص شده است. مشاهده می‌شود که در خوشه اول، ایستگاه نیر و ویلادره و در خوشه سوم و چهارم به ترتیب ایستگاه آلادیزگه و یامچی خارج از محدوده اطمینان ۹۵ درصد آزمون دالریمپل قرار گرفته‌اند. دقت پایین داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و یامچی در مطالعه‌ای که توسط ارسی (۱۳۹٦) انجام یافته است مورد تاکید قرار گرفته و نتایج این پژوهش نیز تاییدی بر آن است.

جدول ٤. نتایج آزمون همگنی داده‌های رواناب سالانه (متر مکعب بر ثانیه) برای ایستگاه‌های واقع در خوشه اول

ردیف	ایستگاه	دبی میانگین ($Q_{2.33}$)	دبی ۱۰ ساله (Q_{10})	دبی تعدیل شده (Q_k)	متغیر کاهش یافته (y)	دوره برگشت بر حسب سال (T)
۱	آتشگاه	۰/۱۸	۰/٤۹	۰/۳۵	۱/٤۸	٤/۹۱
۲	باروق	۰/۱٦	۰/۳٤	۰/۳۱	۲/۰۲	۸/۰۳
۳	پل‌سلطانی	۰/۵۷	۰/۹٤	۱/۰۷	۳/۲۳	۲۵/۷۷
٤	عموقین	۰/۱۹	۰/۳۷	۰/۳٦	۲/۳۱	۱۰/۵۹

۵	لای	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۲۳	۲/۹۱	۱۸/۹۱
٦	نوران	۰/۳۷	۰/۷۹	۰/٦۹	۱/۹۹	۷/۸
۷	نیر	۱/۰٦	۱/۳۸	۱/۹۹	٦/۳	۵۰۰
۸	ویلادره	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱۲	٤/۱۳	٦۲/۹۲

جدول ۵. نتایج آزمون همگنی داده‌های رواناب سالانه (متر مکعب بر ثانیه) برای ایستگاه‌های واقع در خوشه دوم

ردیف	ایستگاه	دبی میانگین ($Q_{2.33}$)	دبی ۱۰ ساله (Q_{10})	دبی تعدیل شده (Q_k)	متغیر کاهش یافته (y)	دوره برگشت بر حسب سال (T)
۱	ارباب‌کندی	۲/۷۵	٦/٤۷	٦/٤٤	۲/٤۵	۱۲/۰٦
۲	بوران	۸/۸٤	۲۱/۲۹	۲۰/٦۸	۲/۳٦	۱۱/۱٤
۳	دوست‌بیگلو	۳/۹۲	۸/۹۸	۹/۱۷	۲/۵٤	۱۳/۲
٤	مشیران	۷/۲۵	۱٦/۸۵	۱٦/۹۷	۲/٤۹	۱۲/۵۹

جدول ٦. نتایج آزمون همگنی داده‌های رواناب سالانه (متر مکعب بر ثانیه) برای ایستگاه‌های واقع در خوشه سوم

ردیف	ایستگاه	دبی میانگین ($Q_{2.33}$)	دبی ۱۰ ساله (Q_{10})	دبی تعدیل شده (Q_k)	متغیر کاهش یافته (y)	دوره برگشت بر حسب سال (T)
۱	اکبرداوود	۰/۱٦	۰/٤۹	۰/۳۵	۱/٦۱	۵/۵٤
۲	ایریل	۰/۲۲	۰/٤۰	۰/٤۸	۳/٤۸	۳۳/۰۵
۳	آلادیزگه	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/٤۳	٤/۷۱	۱۱۱/۵
٤	حاج احمدکندی	۰/۱۳	۰/٤٤	۰/۲٦	۳/۵۹	۳٦/۵٦
۵	سدنئور	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۲۲	۳/۱٦	۲٤/۰۷
٦	سولا	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۲۵	۳/۰٤	۲۱/۳۱
۷	نمین	۰/۰۷	۰/۱٤	۰/۱٦	۲/۹۱	۱۸/۹۰
۸	ننه‌کران	۰/۰۷	۰/۱٤	۰/۱۵	۲/۷۹	۱٦/۷۹
۹	هیر	۰/۲۸	۰/۵۵	۰/٦۱	۲/۹٤	۱۹/٤۰

جدول ۷. نتایج آزمون همگنی داده‌های رواناب سالانه (متر مکعب بر ثانیه) برای ایستگاه‌های واقع در خوشه چهارم

ردیف	ایستگاه	دبی میانگین ($Q_{2.33}$)	دبی ۱۰ ساله (Q_{10})	دبی تعدیل شده (Q_k)	متغیر کاهش یافته (y)	دوره برگشت بر حسب سال (T)
۱	آبگرم	۲/۳٦	٤/۸۵	۵/۹۰	۳/۳٤	۲۸/۷۸
۲	پل‌الماس	۱/۹۷	٤/۱٤	٤/۹۳	۳/۲۲	۲۵/۵۳
۳	درو	۰/۵۳	۱/۱۵	۱/۳۱	۳/۰۰	۲۰/٦۱
٤	سامیان	۲/٤۹	٦/۰۱	٦/۲۲	۲/٦۰	۱۳/۸۲
۵	شمس‌آباد	۰/۱۳	۰/۳۸	۰/۳۲	۱/۹٦	۷/۵۸
٦	فیروزآباد	۳/۲۰	٦/۹٦	۷/۹۹	۳/۰۳	۲۱/۲٤
۷	کوزه‌تپراقی	۰/۲۸	۱/۲٤	۰/۷۰	۱/۳۰	٤/۲۰
۸	گیلانده	۱/۰٤	۲/۹۲	۲/٦۰	۲/۱۲	۸/۸۰
۹	یامچی	۱/۹۷	۲/۷۰	٤/۹۲	۸/٦۹	٦۰۰۰

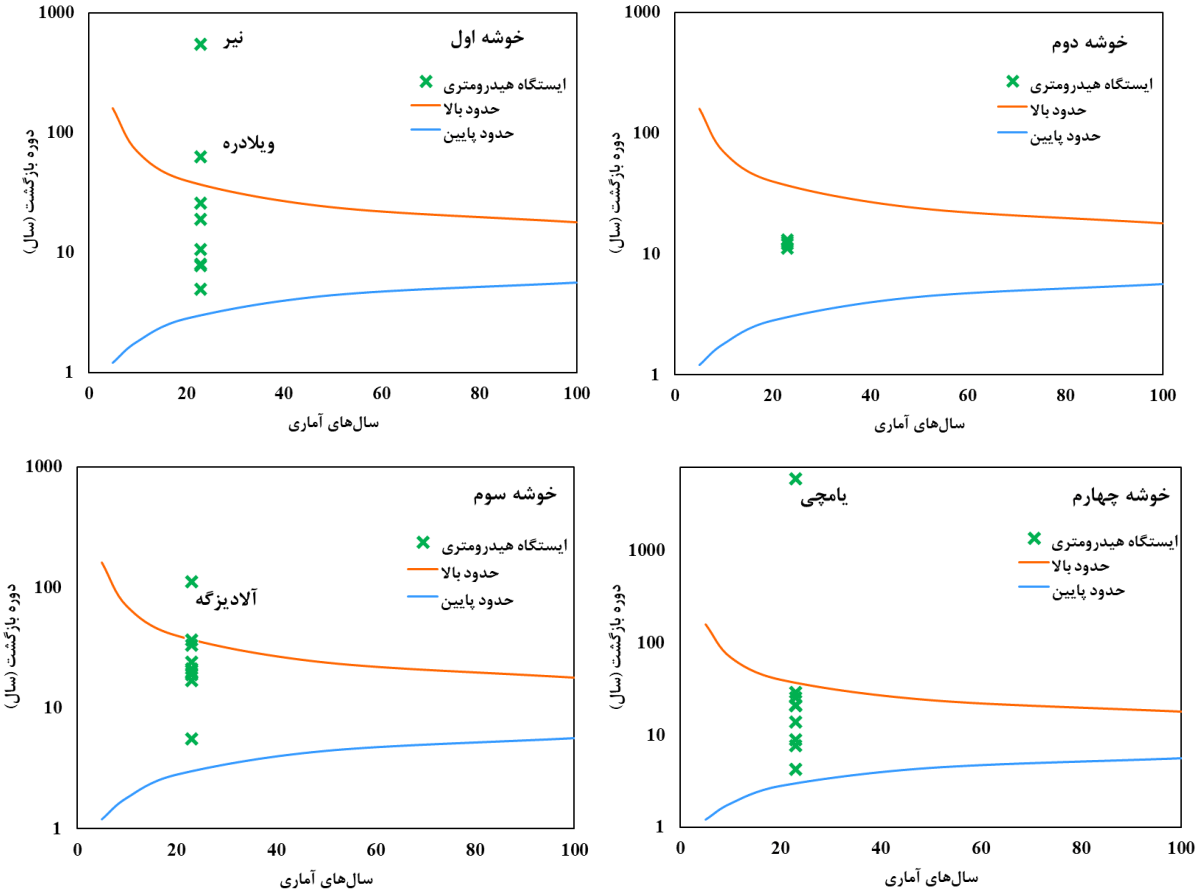
با توجه به نتایج خوشه‌بندی به روش سلسله‌مراتبی وارد و تعدیل نواحی همگن تفکیک‌شده با روش خوشه‌بندی k-means و همچنین آزمون یکنواختی هیدرولوژیکی ایستگاه‌های واقع در هر یک از خوشه‌ها به روش دالریمپل، مناطق همگن هیدرولوژیکی مشخص و نتایج آن همانند شکل ۵ به دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود منطقه مورد مطالعه در نهایت به چهار ناحیه همگن تفکیک شد و حوضه‌های آبخیز واقع در هر ناحیه همگن از طریق شکل ۵ قابل تشخیص بوده و می‌تواند برای تحلیل رواناب خروجی و سیلاب منطقه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار به کار برده شود. نتایج حاصل از تفکیک نواحی همگن در تحقیق حاضر با نتایج تحقیق انجام یافته توسط مهری و همکاران (۱۳۹۷) متفاوت بوده است. بررسی‌ها نشان داد که عدم تناسب شرایط اقلیمی حوضه‌های آبخیز در سه خوشه منتخب و همچنین وجود تفاوت فاحش در مساحت حوضه‌های واقع در خوشه‌های ۱ و ۲ در آن تحقیق، دلیل اصلی به وجود آمدن نتایج غیر قابل اطمینان در استفاده از نتایج پژوهش ذکر شده بوده که این موضوع در تحقیق حاضر با بهره‌گیری از تحلیل مولفه‌های اصلی و شناسایی پارامترهای اثرگذار بر رواناب خروجی حوضه و سپس دخالت دادن آن‌ها در تحلیل خوشه‌ای برطرف گردید. همچنین در این پژوهش، آزمون همگنی هیدرولوژیکی ایستگاه‌های واقع در خوشه‌های حاصل از روش ترکیبی سلسله‌مراتبی وارد و k-means با استفاده از آزمون همگنی دالریمپل بررسی و مناطق همگن نهایی تعیین شدند. از نقاط قوت تحقیق حاضر بررسی همگنی هیدرولوژیکی خوشه‌های منتخب بوده است که در مطالعات پیشین به این موضوع توجهی نشده است و تنها بر اساس روش‌های خوشه‌بندی معمول، نواحی همگن تفکیک شده‌اند.

نتیجه‌گیری

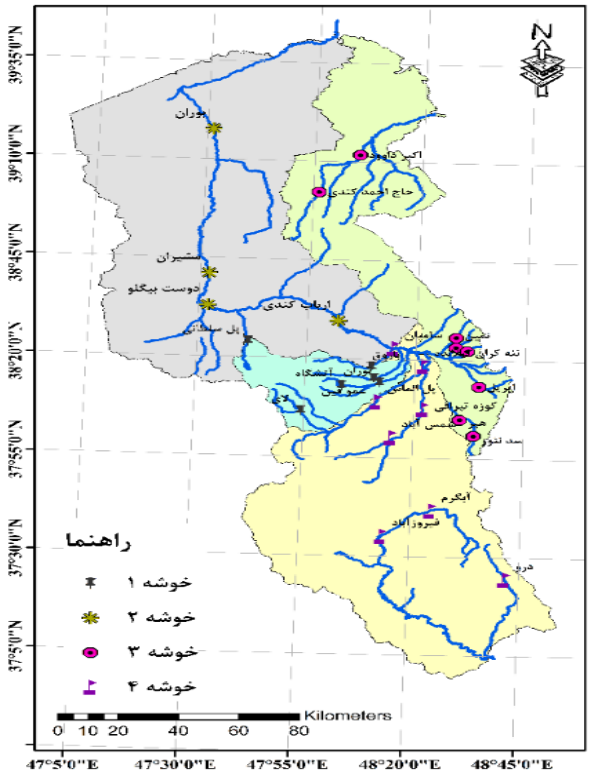
با توجه به وسعت زیاد و تعداد کم ایستگاه‌های دبی‌سنجی در آبراهه‌های واقع در محدوده جغرافیایی استان اردبیل و همچنین کمبود اعتبارات لازم جهت ساخت ایستگاه‌های جدید در حوضه‌های فاقد آمار، تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی براساس روش‌های دقیق علمی به منظور برآورد رواناب حوضه‌های آبخیز برای طراحی تأسیسات آبی، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از مخازن سدها، آب‌گیری از رودخانه‌ها و ... ضروری به نظر می‌رسد.

در تحقیق حاضر زیرحوضه‌هایی که از نظر پارامترهای فیزیوگرافی و هواشناسی به هم شباهت ذاتی دارند با استفاده از روش خوشه‌بندی وارد و k-means در خوشه-های همگن طبقه‌بندی شدند. با توجه به تعداد زیاد عوامل موثر بر رواناب، برای انتخاب پارامترهای مستقل و همچنین کاهش ابعاد آن‌ها از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد و با توجه به نتایج، چهار مؤلفه اول با تبیین ۸۳/٦ درصد از واریانس کل داده‌ها، انتخاب شدند. با توجه به دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی وارد، تعداد بهینه خوشه‌ها برابر ٤ خوشه انتخاب گردید و سپس با استفاده از روش k-means ، خوشه‌بندی نهایی انجام شد. با توجه به نتایج، خوشه اول دارای ۸ زیرحوضه و خوشه‌های دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب دارای ٤، ۹ و ۹ زیرحوضه می‌باشند. همان طور که ملاحظه می‌شود حوضه‌هایی که از نظر ویژگیهای هواشناسی و فیزیوگرافی مشابه بودند در یک خوشه همگن قرار گرفتند. بررسی همگنی ایستگاه‌های واقع در هر خوشه منتخب از نظر هیدرولوژیکی، تضمینی برای برآورد دقیق پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه‌ها است. لذا با استفاده از آزمون یکنواختی دالریمپل همگنی خوشه‌ها از نظر هیدرولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن نشان داد که ایستگاه‌های نیر و ویلادره در خوشه اول و ایستگاه‌های آلادیزگه و یامچی به ترتیب در خوشه سوم و چهارم، خارج از محدوده اطمینان ۹۵ درصد آزمون دالریمپل قرار می‌گیرند. عدم قرارگیری ایستگاه‌های ذکر شده در

خوشه‌های همگن، گویای عدم همگنی داده‌های اندازه-گیری شده رواناب با شرایط هیدرولوژیکی حوضه‌های واقع در خوشه‌ها است. بطو کلی با توجه به ناهمگنی داده‌های برخی از ایستگاه‌های دبی‌سنجی و مشاهده موارد مشابه آن در مطالعات گذشته (از جمله ایستگاه یامچی و نیر)، پیشنهاد می‌شود دقت ابزارها و روش‌های اندازه‌گیری دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد نظر بررسی و نسبت به رفع مشکلات احتمالی اقدام گردد تا با اصلاح آن‌ها بتوان تحلیل‌های قابل قبولی از پتانسیل تولید رواناب حوضه‌های آبخیز داشت.



شکل ٤. نتایج آزمون همگنی ایستگاه‌های موجود در خوشه همگن اول تا چهارم



شکل ۵. محدوده مناطق همگن هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه

منابع مورد استفاده

۱. ارسی، م. ۱۳۹٦. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم روی خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز یامچی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع طبیعی گرایش آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. بیابانکی، م. و اسلامیان، س. ۱۳۸۳. استفاده از روش خوشه‌بندی در تعیین همگنی هیدرولوژیک و ارزیابی آن توسط روش‌های تحلیل ممیزی و منحنی‌های Andrew در حوضه آبخیز کرخه. مجله کشاورزی، ٦ (۲): ۲٦-۱۳.

۳. جهانشاهی، ا.، شاهدی، ک.، سلیمانی، ک. و مقدم‌نیا، ع. ۱۳۹۷. تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی در غرب حوضه هامون-جازموریان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵ (۱): ۲۳۵-۲۲۳.

٤. خدمتی ح.، منشوری، م.، حیدری‌زاده، م. و صدقی، ح. ۱۳۸۹. منطقه‌بندی و برآورد دبی سیلابی در حوضه‌های آبخیز فاقد آمار جنوب‌شرق ایران با ترکیب روش شاخص سیلاب و رگرسیون چند متغیره (استان‌های کرمان، یزد، سیستان و بلوچستان و هرمزگان). نشریه آب و خاک مشهد، ۲٤ (۳): ۵۹۳-٦۰۹.

۵. دارابی ح.، سلیمانی، ک.، شاهدی ک. و میریعقوب‌زاده، م. ۱۳۹۱. طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس پارامترهای مورفومتریک با استفاده از تحلیل‌های خوشه‌ای در حوضه آبخیز پل دوآب شازند. نشریه دانش آب و خاک، ۲۲ (٤): ۲۱۱-۱۹۹.

٦. زارع چاهوکی، م ع. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های منابع طبیعی با نرم‌افزار SPSS. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران.

۷. فرسادنیا ف. و مقدم‌نیا، ع. ۱۳۹۲. تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش خوشه‌بندی ترکیبی نگاشت ویژگی خودسامان و فازی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۹ (۳): ۳٦-۲٤.

۸. فتحیان، ف. و احمدزاده، ح. ۱۳۹۱. تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش گشتاورهای خطی بر اساس تحلیل

خوشه‌بندی در حوضه دریاچه ارومیه. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۵ (۳): ۱۰۶-۹۵.

۹. قهرمان، ب. و داوری، ک. ۱۳۹۳. افزایش کارایی فرآیند خوشه‌بندی K-میانگین توسط روش‌های سلسله مراتبی. آب و خاک، ۲۸(۳): ٤٧١-٤٨٠.

۱۰. کاظمی، ر. و پرهمت، ج. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی در دقت مدل‌سازی ضریب جریان در حوضه کرخه. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰(۱): ۹٤-۸۱.

۱۱. محمدی جوزدانی، س.، ملکی‌نژاد، ح. و دولتی، ع. ۱۳۹۸. تأثیر مناطق همگن هیدرو-اقلیمی بر تعیین بهترین توزیع احتمالاتی برای بارش‌های حداکثر روزانه. مجله مهندسی منابع آب، ۱۲ (٤٠): ۱۱٤-۱۰۵.

۱۲. مهدوی، م. ۱۳۹۲. هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هشتم، جلد ۲، تهران.

۱۳. مهری، س.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعلی‌عوری، ا. و قربانی، ا. ۱۳۹۵. گروه‌بندی آبخیزها براساس خصوصیات فیزیکی و دبی پایه جریان رودخانه با روش‌های مختلف خوشه‌بندی در استان اردبیل. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، ٤ (۱۵): ٤۱-۳۱.

۱٤. نوری، ر. ا.، اشرفی، خ. و اژدرپور، ا. ۱۳۸۷. مقایسه کاربرد روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره براساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای پیش‌بینی غلظت میانگین روزانه کربن مونواکسید: بررسی موردی شهر تهران. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳٤ (۱): ۱۵۲-۱۳۵.

15. Abdolhay, A., Saghafian, B., Soom, M.A.M. and Ghazali, A.H.B. 2012. Identification of homogenous regions in Gorganrood basin (Iran) for the purpose of regionalization. Natural hazards, 61: 1427-1442.
16. Cerny, B.A. and Kaiser, H.F. 1977. A study of a measure of sampling adequacy for factor-analytic correlation matrices. Multivariate behavioral research, 12: 43-47.
17. Chang, F.J., Tsai, M.J., Tsai, W.P., and Herricks, E.E. 2008. Assessing the ecological hydrology of natural flow conditions in Taiwan. Journal of Hydrology, 354: 75-89.
18. Dalrymple, T. 1960. Flood frequency analyses. U.S. Geological Survey water-supply paper 1543-A.
19. Dikbas, F., Firat, M., Koc, A.C. and Gungor, M. 2012. Classification of precipitation series using fuzzy cluster method. International Journal of Climatology, 32: 1596-1603.
20. Farsadnia, F., Kamrood, M.R., Nia, A.M., Modarres, R., Bray, M.T., Han, D. and Sadatinejad, J. 2014. Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps. Journal of Hydrology, 509: 387-397.
21. Gomes, E.P., Blanco, C.J.C. and Pessoa, F.C.L. 2019. Identification of homogeneous precipitation regions via Fuzzy c-means in the hydrographic region of Tocantins–Araguaia of Brazilian Amazonia. Applied Water Science, 9(6). https://doi.org/10.1007/s13201-018-0884-6.
22. Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. 1996. Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge University Press: Cambridge.
23. Jolliffe, I.T. 2004. Principal component analysis, 2nd edition. Springer Series in Statistics, USA.
24. Latt, Z.Z., Wittenberg, H., and Urban, B. 2015. Clustering hydrological homogeneous regions and neural network based index flood estimation for un-gauged catchments: an example of the Chindwin River in Myanmar. Water resources management, 29: 913-928.
25. Li, Q., Li, Z., Zhu, Y., Deng, Y., Zhang, K. and Yao, C. 2018. Hydrological regionalization based on available hydrological information for runoff prediction at catchment scale. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 379: 13-19.
26. Rafiei Sardooi, E., Azareh, A., Choubin, B., Barkhori, S., Singh, V.P. and Shamshirband, Sh. 2019. Applying the remotely sensed data to identify homogeneous regions of watersheds using a pixel-based classification approach. Applied Geography, 111: https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102071.
27. Raju, K.S. and Kumar, D.N. 2011. Classification of micro watersheds based on morphological characteristics. Journal of Hydro-Environment Research, 5: 101-109.
28. Ward Jr., J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American statistical association, 58: 236-244.
29. Wiltshire, S.E. 1986. Regional flood frequency analysis I: Homogeneity statistics. Hydrological Sciences Journal, 31: 321-333.

ISSN 2251-7480

Determination of Homogeneous Hydrological Regions for Estimating Runoff in Ungauged Catchments Using Cluster Analysis (Case Study: Ardabil Province)

Batoul Poorseifollahi, Amin Kanooni*, Mohammadreza Nikpour, and Javad Ramezani Moghadam

Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili
* Corresponding Author: amin.kanooni@uma.ac.ir

Received: 18-02-2020 Accepted: 20-01-2021

Abstract

Grouping of catchments based on their climatic factors and physiographic characteristics is a prerequisite for regional analysis of runoff and its use for estimating discharge of catchments without discharge measurement station. In this study, catchments located in Ardabil province were separated into homogeneous hydrological zones using discharge, mean annual precipitation and physiographic characteristics of catchments and hierarchical clustering method. Due to the large number of parameters, by using principal component analysis, the first four components with 83.6% of total variance were selected as inputs for cluster analysis. Then, the optimal number of clusters was determined by using hierarchical method and drawing the tree diagram, and finally the final clustering was done by K-means method. Subsequently, the sub-catchments that followed a hydrological process were identified using the Dalrymple uniformity test. The results of the uniformity test showed that by excluding stations outside the confidence limits of each cluster, catchments that were similar in terms of annual discharge and other physiographic and meteorological parameters were clustered. Therefore, the number of sub catchments located in clusters 1, 2, 3 and 4 were 8, 4, 9 and 9 catchments, respectively, which can be used in regional analysis to estimate runoff and floods in catchments without discharge measurement data.

Keywords: Clustering; Discharge; Homogeneous region; Principal component analysis.