

تعداد ۴، ۳ و ۱۵ حوضه به ترتیب در خوشه‌های ۱، ۲ و ۳ قرار گرفتند. در نهایت مقایسه روش چندمیانگینی و سلسله مراتبی نشان داد که گروه‌بندی زیرحوضه‌ها با روش چندمیانگینی با جزئیات بیش‌تری صورت گرفته است. هم‌چنین از نظر دبی پایه و شاخص دبی پایه دو زیرحوضه ارباب‌کندی و گیلانده در یک خوشه و حوضه‌های دوست‌پیگللو، پل‌الماس، سامیان و فیروزآباد در یک خوشه قرار گرفته‌اند. به‌طور کلی زیرحوضه‌های آلاذیزگه، احمدکندی و باروق دارای واکنش هیدرولوژیک مشابه از نظر دبی پایه، BFI و سایر متغیرهای فیزیکی بوده، و در یک گروه قرار می‌گیرند. براساس همگن‌بندی و تعیین حوضه‌های دارای رفتار مشابه از نظر دبی جریان و تغییرات دبی پایه، مناطق همگن دارای خصوصیات مشابه از نظر تحلیل آبدهی، جریان اکولوژیک خواهند بود. برنامه‌ریزی استفاده از آب‌های سطحی و مدیریت آبخیزهای مشابه می‌تواند در مناطق همگن مدنظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: مناطق همگن، گروه‌بندی آبخیزها، فاصله اقلیدسی، شاخص دبی پایه.

#### مقدمه

سیستم رودخانه یک محیط پویاست که علاوه بر منافع مادی فراوان گاهی مخرب نیز می‌باشد. شناخت سیستم رودخانه و پیش‌بینی نحوه تغییرات رژیم جریان آن در مسائل مدیریتی و عمرانی بسیار مهم است. رودخانه‌ها یکی از منابع آب مصرفی هستند برای مدیریت بهتر این منابع اطلاع از روند دبی آن‌ها و عوامل ایجادکننده آن ضروری است. جریان پایه<sup>۵</sup> نیز بخشی از جریان کلی رودخانه بوده که نسبت به بارندگی واکنش نشان می‌دهد و به‌طور معمول با آب تخلیه شده از ذخیره آب زیرزمینی مرتبط است [۱ و ۲]. رودخانه‌ها معمولاً در طول فصول خشک و کم‌باران از سفره آب زیرزمینی تغذیه می‌کنند، جریان‌های کم معمولاً ناشی می‌باشند [۳]. شاخص جریان پایه<sup>۶</sup> می‌تواند راهنمای مناسبی در تغییرات جریان پایه رودخانه باشد. مقدار شاخص جریان پایه به رواناب کل به‌دست می‌آید. تغییرات مولفه‌های جریان رودخانه‌ها دارای آثار اقتصادی بسیاری است [۶]. به واسطه‌ی تغییرپذیری این

## گروه‌بندی آبخیزها براساس خصوصیات فیزیکی و دبی پایه جریان رودخانه با روش‌های مختلف خوشه‌بندی در استان اردبیل

سونیا مهری<sup>۱</sup>، رئوف مصطفی‌زاده<sup>۲\*</sup>، اباذر اسمعیلی عوری<sup>۳</sup>، اردوان قربانی<sup>۴</sup>  
 تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۵

#### چکیده

خوشه‌بندی آبخیزهای مشابه از نظر خصوصیات هیدرولوژیک در تفسیر فرایندهای هیدرولوژیک و تحلیل‌های منطقه‌ای آبدهی ضروری است. در تحقیق حاضر از داده‌های دبی، دبی پایه، شاخص جریان پایه، کاربری موجود در هر حوضه، متوسط بارش سالانه و متغیرهای فیزیکی (مساحت حوضه، متوسط ارتفاع، طول آبراه اصلی، تراکم زهکشی)، و دو تکنیک خوشه‌بندی کلاسیک K-Means و سلسله مراتبی با هدف خوشه‌بندی ۲۲ زیرحوضه در گروه‌های همگن، در استان اردبیل استفاده شده است. ابتدا دبی پایه از هیدروگراف روزانه جریان با روش الگوریتم یک پارامتره و برنامه‌نویسی در نرم‌افزار اکسل تفکیک شد، سپس از نسبت مقدار دبی پایه بر رواناب کل مقدار BFI، محاسبه گردید. در روش خوشه‌بندی K-means گروه‌های مشابه براساس داده‌های هر کدام از حوضه‌ها تعیین می‌گردد. در این تحقیق، پارامترهای دبی جریان، دبی پایه، BFI، درصد مساحت کاربری‌های مختلف، شیب، متوسط ارتفاع حوضه، مساحت، طول آبراه اصلی، تراکم زهکشی و متوسط بارش و تشابه میان عناصر جهت خوشه‌بندی استفاده گردید. سپس به‌منظور تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها از شاخص دیویس-بولدین استفاده شد. در ادامه، ابتدا زیرحوضه‌ها براساس دبی پایه سپس BFI و در نهایت براساس سایر متغیرهای فیزیکی خوشه‌بندی شدند. نتایج روش K-Means نشان داد که در خوشه‌بندی براساس متغیر دبی پایه

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی  
 ۲- استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (\*نویسنده مسئول)، Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir  
 ۳- دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی  
 ۴- دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

5-Base Flow

6- Base Flow Index, BFI

عوامل و نقش آن در بسیاری از مخاطرات طبیعی توجه پژوهشگران زیادی به آن معطوف شده است. با داشتن اطلاعات پایه در زمینه نوع رودخانه‌ها می‌توان با دقت پروژه‌های سازه‌ای (مانند تغذیه مصنوعی، سد زیرزمینی، سیل‌بند، بند انحرافی و سد) را طراحی و اجرا نمود. روش‌های متعددی برای تعیین مناطق همگن ارائه شده‌اند که در آن‌ها از شباهت مناطق براساس خصوصیات فیزیوگرافی، هواشناسی، هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی استفاده می‌گردد و در تحلیل خوشه‌ای<sup>۱</sup> به‌عنوان یک روش آماری چند متغیره در گروه‌های مختلف دسته‌بندی می‌شوند. در واقع در روش خوشه‌بندی با استفاده از یک سری اطلاعات اولیه، نمونه‌ها به دسته‌های خاصی نسبت داده می‌شوند. حوضه آبخیز می‌تواند به‌عنوان یک واحد مطالعه، برنامه‌ریزی و اجرای عملیات حفاظت آب و خاک در نظر گرفته شود. تحلیل خوشه‌ای یک روش آماری است که مبتنی بر داده‌های کمی است، با توجه به این که این داده‌ها قابل اندازه‌گیری و محاسبه می‌باشند بنابراین نتیجه به‌دست آمده از این روش‌ها، دقیق‌تر و از اعتماد بیش‌تری برخوردار هستند. دو روش جزء به جزء یا تجزیه‌ای و روش طبقاتی برای آنالیزهای خوشه‌ای به‌کار می‌روند [۷]. در روش جزء به جزء واحدهای هیدرولوژیکی در تکرار مختلف در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند در این روش خوشه‌ها بر پایه ساختار درختی شکل نمی‌گیرند، بلکه تعدادی هسته اولیه با کم‌ترین مجموع مربعات فاصله‌ها از میانگین‌های درون خوشه‌ای شکل می‌گیرد سپس هر مشاهده به نزدیک‌ترین خوشه موقتی اختصاص می‌یابد، این هسته دوباره در تکرارهای بعدی براساس میانگین خوشه موقتی جایگزین شده تا جایی که میانگین خوشه‌ها تغییر ننماید. در این روش تعداد خوشه‌ها توسط کاربر براساس هدف مورد نظر تعیین می‌شود. هم‌چنین از طبقه‌بندی برای پیش‌بینی وقایع مختلف از جمله سیل‌ها، خشکسالی‌ها و مطالعه تغییرپذیری بارندگی در مقیاس‌های بلندمدت زمانی استفاده می‌شود [۱۸]. به‌طوری‌که محققان زیادی به بررسی و مطالعه در این زمینه پرداخته‌اند از جمله: عطایی و شیران [۸] به شناسایی زیرحوضه‌های هیدرولوژیکی همگن از نظر عوامل ژئومورفولوژیکی موثر بر سیلاب با استفاده از تحلیل خوشه‌ای پرداختند. در تحقیق ایشان از ۱۳ متغیر کمی ژئومورفولوژی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به روش طبقاتی و روش فازی استفاده گردید. نتایج حاکی از آن بود که روش طبقاتی زیرحوضه‌ها را بهتر تفکیک نموده است. رضایی [۶] به‌منظور تحلیل منطقه‌ای آبدهی سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف در تعدادی از زیرحوضه‌های سد سفیدرود براساس ویژگی‌های فیزیوگرافی و بارندگی سالانه، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی را برای رسیدن به زیرحوضه‌های همگن انجام دادند و نتیجه گرفتند که امکان ساخت مدل ریاضی براساس زیرحوضه‌های خوشه‌بندی ممکن نمی‌باشد. دارابی و همکاران [۵] با به کار بردن تکنیک‌های خوشه‌بندی چندمیانگینی<sup>۲</sup>

(KCA) و روش سلسله مراتبی<sup>۳</sup> (HCA) با هدف طبقه‌بندی ۲۴ زیرحوضه در گروه‌های همگن، در حوزه آبخیز پل‌دوآب شازند از ۱۰ پارامتره مورفومتریک استفاده نمودند. نتایج روش چندمیانگینی نشان داد تعداد اعضای خوشه ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به‌ترتیب برابر با ۷، ۳، ۷ و ۴ زیرحوضه می‌باشد. هم‌چنین نتایج روش سلسله مراتبی نیز نشان داد که تعداد اعضای خوشه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به‌ترتیب برابر با ۳، ۷، ۲، ۸ و ۴ زیرحوضه می‌باشد. در نهایت مقایسه نتایج دو تکنیک مذکور نشان داد که ۲۳ زیرحوضه یا (۹۵٪) توسط هر دو تکنیک به‌طور مشترک بیان شده است. لایقی و کرم [۱۰] به‌منظور پیش‌بینی تغییرات هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه جاجرود، در جهت احیا رود و اقدامات مدیریتی از سیستم طبقه‌بندی مورفولوژیکی روزگن<sup>۴</sup> بهره گرفته شده است. نتایج تحقیق ایشان نشان داد بخش اعظم بازه مطالعاتی رودخانه‌ای دارای الگوی DA، و بخش کمی از رودخانه دارای الگوی B با وضعیت بسیار نامطلوب است. بیسویس و همکاران [۱۲] آنالیز مورفومتریک را با استفاده از پارامترهایی مثل نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه‌ها، نسبت بافت، ضریب شکل حوضه، ضریب گردی و ضریب کشیدگی برای حوزه آبخیز میدناپور در منطقه غرب بندجال در هند انجام دادند. به این نتیجه دست یافتند که تاثیر همه متغیرها در آنالیز مورفومتریک به یک اندازه نبوده است. خسروی و همکاران [۴] شناسایی مناطق همگن و طبقه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت قر در استان فارس را با استفاده از تکنیک‌های آماری شامل تحلیل عاملی (FA) و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی بر روی داده‌های کیفی (۱۴ پارامتره) در یک دوره ۱۰ ساله انجام دادند. نتایج تحلیل عاملی نشان داد متغیرهای SAR، Cl، Na، PH، So4، HCO3 به‌ترتیب به بالاترین بار عاملی مهم‌ترین پارامترها جهت آنالیزهای خوشه‌ای می‌باشند. با توجه به شاخص صحت‌سنجی دیویس-بولدین استفاده نمودند، و تعداد پنج خوشه جهت طبقه‌بندی نهایی چاه‌ها تعیین گردید. نتایج نشان داد که روش‌های HCA، KCA به‌منظور انجام طبقه‌بندی دارای هم‌پوشانی ۱۰۰ درصد می‌باشند. با توجه به نتایج طبقه‌بندی، مقدار پارامترهای مورد مطالعه در آب زیرزمینی از گروه اول به‌سمت گروه پنجم افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که که چاه‌هایی که در گروه ۱ قرار می‌گیرند از نظر کیفیت مناسب‌ترین آب را دارند. لها و بلاشل [۱۴] جهت گروه‌بندی ۳۲۵ زیرحوضه در اتریش از ۴ روش گروه‌بندی با توجه به جریان یکساله ( $Q_{95}$ ) استفاده نمودند. ایشان بیان نمودند که گروه‌بندی رودخانه‌ها در فصول مختلف براساس مقادیر دبی حداقل بهترین عملکرد را نشان داده و عملکرد مطلوب این روش گروه‌بندی به احتمال زیاد به تفاوت‌های قابل توجه در فرآیندهای فصلی جریان کم در حوضه مورد مطالعه مربوط می‌شود. سینگ و همکاران [۲۰] با استفاده از ۱۳ پارامتره فیزیوگرافی بدون بعد، ۱۶ حوزه آبخیز را در منطقه چامبال در کشور هند بررسی کردند.

3- Hierarchical Cluster Analysis, HCA  
4- Rosgen

1- Cluster Analysis  
2- K-means Cluster Analysis, KCA

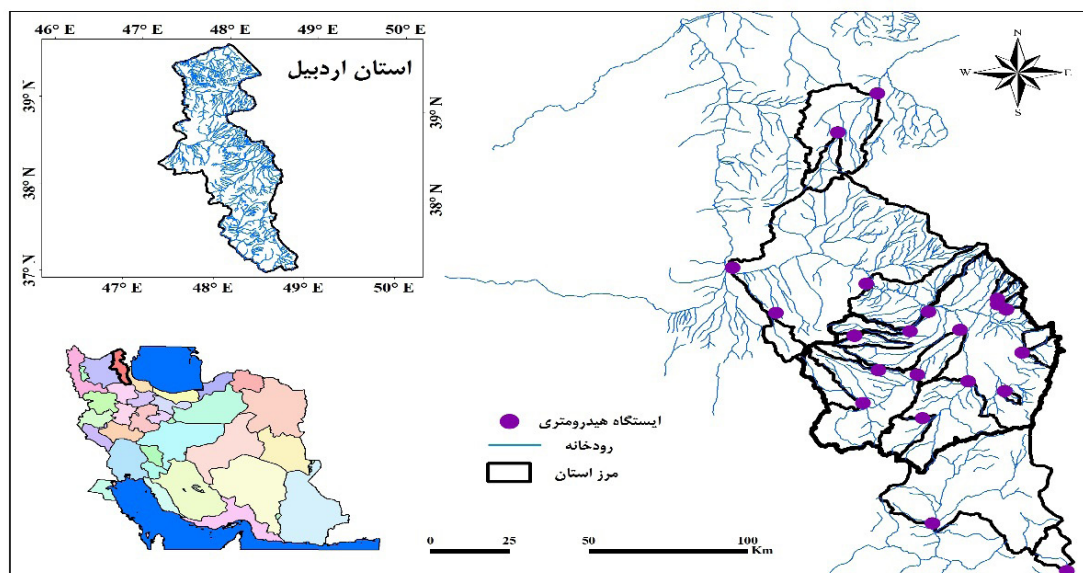
جریان و انتخاب زیرحوضه‌های همگن در استان اردبیل است. در این راستا، زیرحوضه‌های همگن از نظر خصوصیات جریان پایه، شاخص جریان پایه، دبی، بارش متوسط سالانه و متغیرهای فیزیکی شامل: مساحت حوضه، شیب، طول آبراه اصلی، تراکم زهکشی و کاربری‌های مختلف در هر حوضه) مورد تحلیل قرار خواهد گرفت.

## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل در شمال غربی فلات ایران بین مختصات  $37^{\circ} 45'$  تا  $39^{\circ} 42'$  عرض شمالی و  $47^{\circ} 3'$  تا  $48^{\circ} 55'$  طول شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است که از شمال با جمهوری آذربایجان همسایه بوده از قسمت شرق با استان گیلان از جنوب با استان زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است. استان اردبیل جزء نواحی سردسیر کوهستانی محسوب می‌شود و میزان نزولات جوی در استان اردبیل به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال در بخش‌های مختلف استان نوسان دارد. در این مطالعه از آمار دبی جریان روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری و آمار متوسط بارش سالانه ایستگاه باران‌سنجی با دوره آماری ۲۲ ساله از سال آبی ۱۳۶۹-۱۳۸۹ تا ۱۳۸۹-۱۳۹۰ واقع در آبخیزهای استان اردبیل جهت استخراج پارامترهای دبی پایه و شاخص دبی پایه استفاده شده است. هم‌چنین از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و کاربری اراضی جهت استخراج پارامترهای شیب، مساحت، ارتفاع متوسط زیرحوضه، تراکم شبکه زهکشی، طول آبراه اصلی و درصد مساحت کاربری‌های مختلف در هر زیرحوضه برای تحلیل همگنی حوضه‌های مورد مطالعه استفاده گردید. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل نشان داده شده است. هم‌چنین در جدول (۱) مشخصات حوضه‌های انتخابی ارائه شده است.

آن‌ها آنالیز مولفه اصلی را به‌منظور استخراج مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافی به‌کار بردند، و نتیجه گرفتند که فاکتورهای فیزیوگرافی مهم در داخل گروه‌های یکسانی دسته‌بندی شده‌اند. می و آنانگستو [۱۶] در تحقیقی به‌منظور تفکیک هیدروگراف از اطلاعات ثبت شده بارش و رواناب استفاده نموده‌اند. روش‌های فیزیکی که ترکیبی از جریان پایه و جریان‌های یکنواخت با داده‌های کم، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. داده‌های ورودی متوسط زمان بارش حوزه و سری‌های زمانی تخلیه و خروجی شامل دبی پایه و زمان جاری شدن رواناب می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که ارزیابی صحیح باید براساس داده‌های ماهانه و سالانه صورت گیرد و هم‌چنین که تفکیک آب‌پایه در مدت زمان طولانی و تغییرات آن وابسته به تغییرات آبخیز مورد مطالعه است. تحلیل رخدادهای نشان داد که پارامترهای وابسته به زمان با افزایش زمان و تغییرپذیری آبخیز در منطقه افزایش می‌یابد و پارامترهای وابسته به بیلان آب برای یک تحلیل معین شامل بارش، حجم آب‌پایه و شاخص آب پایه می‌باشد. لی و همکاران [۱۵] جهت ارزیابی خطرات آلودگی منابع آب و طبقه‌بندی مناطق مستعد آلودگی از روش خوشه‌بندی K-means در شهر شیان در کشور چین و در مخزن Danijangkou استفاده نمودند. مناطق مختلف را براساس درجات مختلف خطر (کلاس I تا V) ناشی از تخلیه پساب‌های صنعتی و کشاورزی گروه‌بندی نمودند. الگوی مذکور به‌منظور کاهش خطرات ناشی از آلودگی منابع آب مفید ارزیابی گردید. هم‌چنین با توجه به گستردگی حوزه‌های آبخیز و تنوع آن‌ها به لحاظ پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، خاک، عوامل اقلیمی، فیزیوگرافی و کمبود آمار، استفاده از تکنیک‌های خوشه‌بندی جهت صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان، به‌منظور طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها در گروه‌های همگن را آشکارتر می‌سازد [۱۱]. هدف از تحقیق حاضر استفاده از روش، K-Means در خوشه‌بندی براساس دبی پایه



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه‌های انتخابی بر روی نقشه ایران و استان اردبیل مورد استفاده در تحلیل خوشه‌ای

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب و مورد استفاده، تحلیل‌ها در استان اردبیل

ردیف	نام رودخانه	نام زیرحوضه	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	ردیف	نام رودخانه	نام زیرحوضه	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)
1	سارقمیش	اکبرداود	710	12	بالخوچای	پل الماس	1070
2	قره‌سو	آلادیزگه	22	13	خیابوچای	پل سلطانی	98
3	یدی	عموقین	110	14	قره‌سو	سامیان	4004
4	بولیک‌چای	ایریل	8	15	آغ‌چای	شمس‌آباد	128
5	سقرچی‌چای	باروق	96	16	ویلادرق‌چای	ویلادرق	94
6	قره‌سو	دوست‌بیگلو	7311	17	سولاچای	سولا	44
7	شاهرود	دورود	158	18	برزندچای	حاجی احمدکندی	157
8	فیروزآبادچای	فیروزآباد	1515	19	بالخوچای	گیلانده	1638
9	قوری‌چای	کوزه‌تپراقی	812.5	20	نمین‌چای	نمین	44
10	نرگس‌چای	ننه‌کران	40	21	قره‌سو	ارباب‌کندی	4800
11	نیر‌چای	نیر	256	22	هیرچای	هیر	178

### روش تحقیق

جهت انجام پژوهش حاضر، از داده‌های دبی روزانه ثبت شده در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری ۲۲ ساله، استفاده شده است. ابتدا دبی پایه از هیدروگراف روزانه جریان با روش الگوریتم یک پارامتره<sup>۱</sup> و برنامه‌نویسی در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. روش الگوریتم یک پارامتره جز روش‌های فیلتر عددی برگشتی<sup>۲</sup> محسوب می‌شوند که در تحلیل و پردازش سیگنال‌های دبی جریان استفاده می‌شوند، در جداسازی جریان پایه از جریان‌های سریع با فیلتر دیجیتال بازگشتی، سیگنال‌های جریان سریع دارای فرکانس بالا حذف و سیگنال‌های جریان پایه دارای فرکانس پایین، از هیدروگراف جریان استخراج می‌شود [۱۳].

الگوریتم یک پارامتره: فیلتر یک پارامتره فقط نیاز به تعیین پارامتره ثابت بازگشت (k) دارد که در این تحقیق با استفاده از تحلیل شاخه فروکش جریان محاسبه شده است، در رابطه‌ی زیر ارائه شده است:

$$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} \quad (1)$$

پس از محاسبه مقادیر جریان پایه، مقدار شاخص جریان پایه محاسبه گردید. شاخص جریان پایه یک نسبت بدون بعد که اولین بار توسط پژوهشکده‌ی انگلستان به‌کار گرفته شد. این شاخص از تقسیم حجم دبی پایه بر رواناب کل در هر سال یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید، بیانگر اطلاعاتی در مورد نسبت رواناب مشتق شده از منابع ذخیره‌ای حوزه آبخیز است [۲۱]. شاخص جریان پایه به‌منظور منشاء‌یابی جریان رودخانه‌ای و تعیین سهم هر بخش از جریان و یافتن منشاء تغییر کیفیت آب رودخانه، مورد نیاز است [۲ و ۲۱]. منطقه مورد مطالعه براساس موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری دارای آمار، استان اردبیل به ۲۲ زیرحوضه تقسیم شد، سپس با استفاده

از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و کاربری اراضی، پارامترهای شیب، متوسط ارتفاع حوضه، مساحت، درصد کاربری‌های مختلف موجود در هر زیرحوضه، تراکم شبکه زهکشی و طول آبراهه اصلی در محیط GIS بر مبنای مدل رقومی ارتفاعی تهیه شدند. هم‌چنین در خصوص مقدار بارش از متوسط فراوانی مقادیر بارندگی ایستگاه‌های منتخب در مقیاس سالانه استفاده گردید. پارامترهای مذکور براساس مطالعات [۱۷و۱۸] به‌منظور خوشه‌بندی انتخاب شدند. سپس پارامترهای ذکر شده

برای هر ۲۲ زیرحوضه بدست آمدند انتخاب الگوریتم مناسب برای تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بستگی به نوع داده و هدف دارد. تحلیل خوشه‌ای چندمیانگینی یا (K-Means)، که از جمله روش‌های متداول خوشه‌بندی است، توسط مک کوپین در سال ۱۹۶۷ ارائه شد در مطالعات متعدد و یا با تلفیق روش‌های دیگر در علوم مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. این روش براساس حداقل فاصله داده‌ها از مرکز خوشه‌هایی که به‌صورت تصادفی و از بین داده‌های موجود انتخاب می‌شود، عمل خوشه‌بندی را انجام می‌دهد [۹و۲]. هم‌چنین از نقاط داده‌ها مجموع‌های مجزا می‌سازد به‌طوری‌که در هر مجموع نقاط داده‌ها به مرکز خوشه نزدیک‌اند، گروه‌های همگن از متغیرهای مورد مطالعه براساس ویژگی‌های آن‌ها شناسایی می‌شوند. داده‌های که در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند باید از نوع پارامتری یا کمی باشند. الگوریتم چندمیانگینی از معیارهای فاصله گوناگون بهره می‌گیرد و چون تعداد خوشه‌ها برای انجام خوشه‌بندی از قبل مشخص نیستند و می‌خواهیم خودمان تعداد خوشه‌ها انتخاب کنیم. یکی از بهترین روش‌ها روش k-means که این خاصیت در آن تعبیه شده است در این روش تعداد خوشه‌ها توسط کاربر تعیین می‌شود. از مزایای روش طبقاتی ترسیم دندروگرام<sup>۳</sup> می‌باشد که از آن گروه‌های همگن استخراج می‌شود [۱۹و۵]. در تحقیق حاضر از هر

1- One-Parameter Algorithm

2- Recursive Digital Filter, RDF

3- Dendrogram

جدول ۲- مقادیر محاسباتی متغیرهای مورد استفاده در خوشه‌بندی زیرحوضه‌های منتخب استان اردبیل

ردیف	ایستگاه	مساحت Km <sup>۲</sup>	دبی روزانه s/m <sup>۳</sup>	دبی پایه s/m <sup>۳</sup>	شاخص دبی پایه	مرغ ضعیف (%)	مرغ متوسط - خوب (%)	جنگل (%)	مسکونی+باغ (%)	تراکم زهکشی Km/Km <sup>۲</sup>	طول آبراهه Km	متوسط ارتفاع M	متوسط بارش Mm	شیب (%)
1	اکبرداوود	710	0.14	0.06	0.42	0	19.1	0	80.8	2.6	48.11	972	303.6	9.1
2	آلادیزگه	157	0.21	0.10	0.47	0	3.8	0	88.8	2.2	5	1009	295.4	10.5
3	عموقین	22	0.21	0.10	0.48	0	27	0	72.9	2.8	12.8	1443	381.7	6
4	ایریل	4800	0.28	0.14	0.46	0	32.6	0	55	3	96.2	1741	413.5	7.7
5	باروق	76	0.21	0.10	0.45	0	49.5	0	54.4	1.7	10.2	1597	404	14.9
6	دوست یگلو	94	5.74	2.75	0.48	7	13.4	0.6	60.3	4.5	47.55	2364	348.8	13.9
7	دورود	7311	0.74	0.36	0.49	0	98.2	0	1.7	2.80	142	1665	358.6	7.9
8	فیروزآباد	1515	3.10	1.51	0.48	0.5	86	5.9	7.1	2.9	51.6	1876	753.8	13
9	کوزه تیراچی	1638	0.40	0.19	0.42	0	35.4	0	64.5	2.6	88.9	1968	328.1	10
10	ننه کران	178	0.08	0.04	0.46	0	0	25.9	74	6.1	10.4	2110	737.4	11
11	نیر	5/812	1.18	0.58	0.5	5.1	40.3	0	54.5	0.6	54.3	1774	4731	7.9
12	پل الماس	44	2.87	1.42	0.48	0.5	1.24	0	75.2	6	19.3	1667	302	4.4
13	پل سلطانی	8	0.74	0.35	0.46	0	90.5	0	9.4	4.2	15.4	1435	312.6	6.5
14	سامیان	256	4.22	20.6	0.48	0.2	23.2	1.1	67.3	5.1	17.6	2291.4	382	14.4
15	شمس آباد	1070	0.33	0.16	0.46	0	46.5	0	53.4	2.9	59.1	2073.3	368.5	11.2
16	ویلادرق	98	0.09	0.04	0.47	13.5	47.3	0	39	6.4	13.8	2609.1	325.1	23.4
17	سولا	4004	0.14	0.05	0.33	0.02	0.001	0.2	70.7	2.9	0	1764.2	330.3	7.8
18	احمدکندی	128	0.77	0.38	0.45	0	0	0	100	0.2	22.9	1836.3	308.8	8.9
19	گیلانده	40	2.30	0.93	0.38	3.5	20.1	0	76.9	4.6	19.3	1549.4	302	3.2
20	نمین	8	0.09	0.04	0.41	2	0	0.4	83.2	18.0	15.4	3099.4	466.7	20.6
21	ارباب‌کندی	110	2.64	1.10	0.42	11.2	17.5	0.8	26.7	6.3	17.4	2205.3	441.6	14
22	هیر	158	0.28	0.12	0.44	0	98.4	0	1.5	3.4	34.9	2251.7	718.4	29.8

فاصله هر یک از اعضا در خوشه X تا مرکز  $C_i$  و  $C_j + C_i$  (د) فاصله بین مراکز  $C_i$  و  $C_j$  می‌باشد. در مورد این شاخص مقدار کم‌تر در رابطه با تعداد خوشه‌ها، نتیجه مطلوب‌تری را ارائه می‌دهد.

### نتایج

پس از تعیین معیارهای مورد استفاده در خوشه‌بندی مقادیر مربوط به هر متغیر در دوره آماری ۲۲ ساله محاسبه و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. هم‌چنین نتایج حاصل از خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس دبی پایه، شاخص دبی پایه و سایر فاکتورها با استفاده از روش K-Means در جدول ۳ ارائه شده است.

دو الگوریتم، سلسله مراتبی و خوشه‌بندی چندمیانگینی استفاده شد. تعداد خوشه‌ها با توجه به شاخص دیویس-بولدین ۳ خوشه انتخاب، سپس خوشه‌بندی به روش K-Means و نیز ترسیم دندروگرام به هر دو روش چندمیانگینی و سلسله مراتبی، در محیط نرم‌افزارهای Past و SPSS انجام شد.

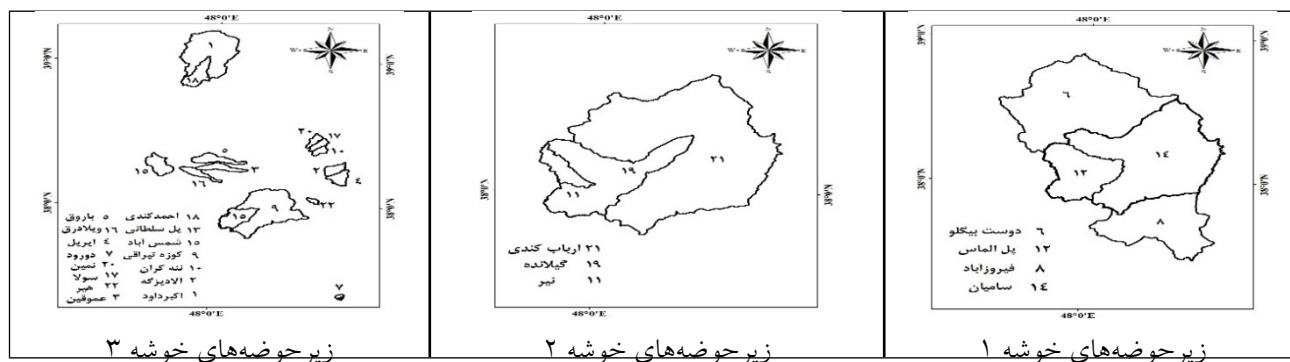
شاخص ارزیابی تعداد بهینه خوشه‌ها: به منظور ارزیابی تعداد بهینه خوشه‌ها برای مجموعه‌ای از داده‌ها در اینجا از شاخص دیویس-بولدین استفاده شد [۴] و [۵] به صورت زیر بیان می‌شود.

$$DB = \frac{1}{n} + \sum_{i=1, i \neq j}^n \max\left(\frac{\sigma_i + \sigma_j}{d(C_i, C_j)}\right) \quad (2)$$

در این رابطه، تعداد خوشه‌ها،  $C_i$  مرکز خوشه  $i$ ، میانگین

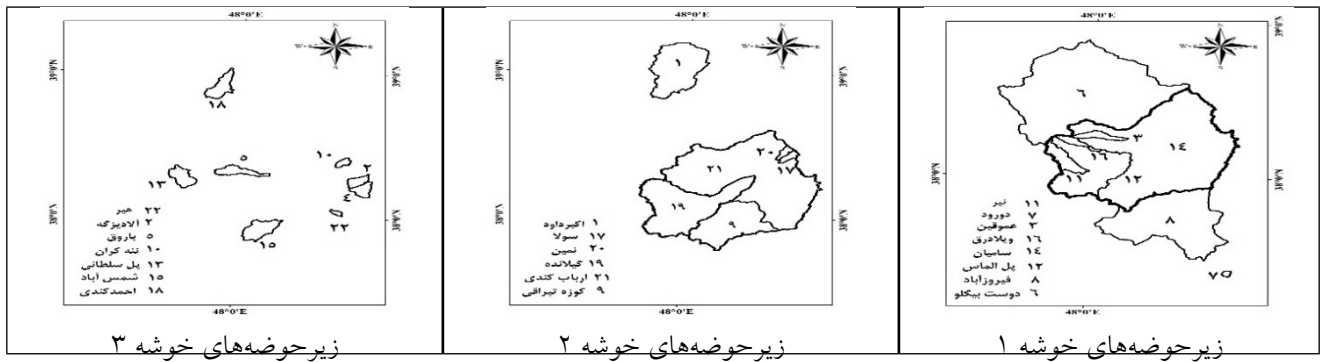
جدول ۳- نتایج خوشه‌بندی به روش K-Means در  
زیرحوضه‌های منتخب استان اردبیل

زیرحوضه	دبی پایه		متغیرهای فیزیکی
	شاخص دبی پایه	شماره خوشه	
	شماره خوشه	شماره خوشه	شماره خوشه
اکبرداوود	3	2	2
آلادیزگه	3	3	3
عموقین	3	1	2
ایریل	3	3	1
باروق	3	3	2
دوست‌بیگللو	1	1	3
دورود	3	1	1
فیروزآباد	1	1	3
کوزه‌تپراقی	3	2	3
ننه‌کران	3	3	3
نیر	2	1	3
پل الماس	1	1	2
پل سلطانی	3	3	2
سامیان	1	1	3
شمس‌آباد	3	3	3
ویلادرق	3	1	3
سولا	3	2	1
احمدکندی	3	3	2
گیلانده	2	2	2
نمین	3	2	3
ارباب‌کندی	2	2	3
هیر	3	3	3

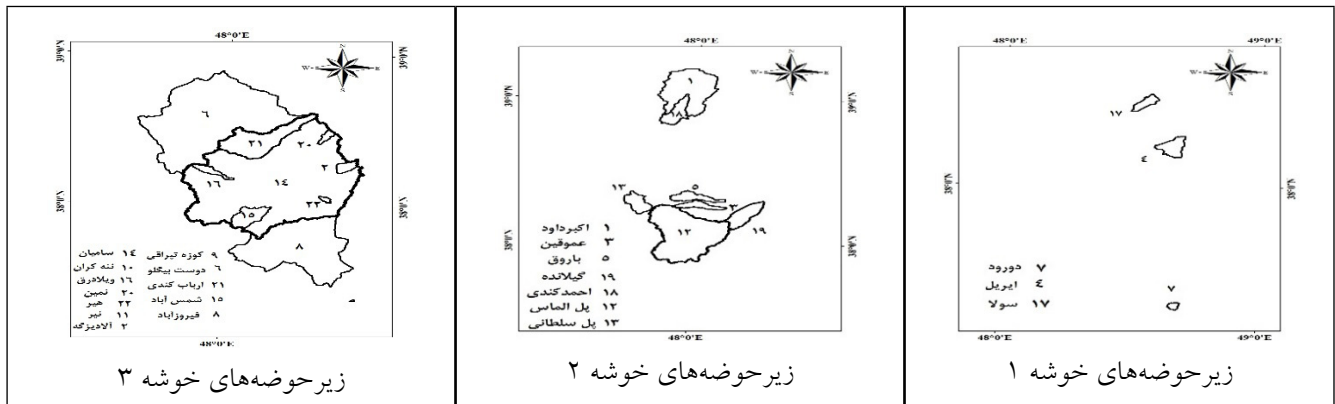


شکل ۲ - خوشه‌بندی زیرحوضه‌های استان اردبیل از نظر تغییرات دبی پایه به روش KCA

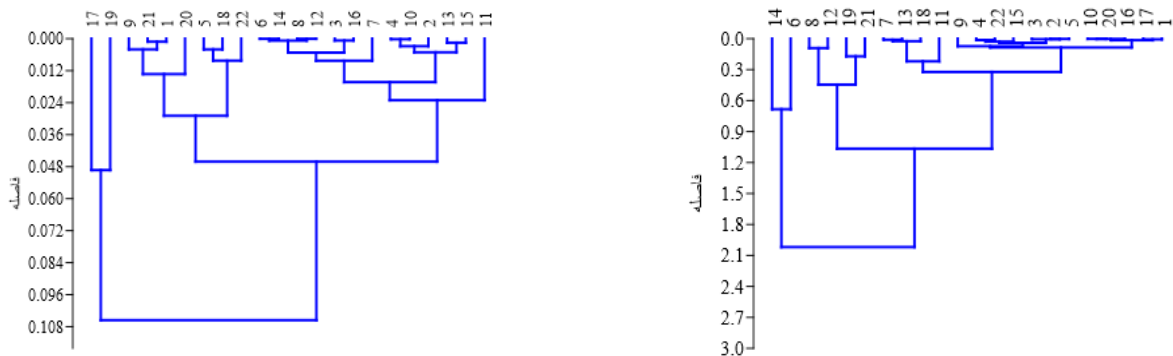




شکل ۳ - خوشه‌بندی زیرحوضه‌های استان اردبیل از نظر تغییرات شاخص دبی پایه به روش KCA



شکل ۴ - خوشه‌بندی زیرحوضه‌های استان اردبیل از نظر کل متغیرهای فیزیکی به روش KCA



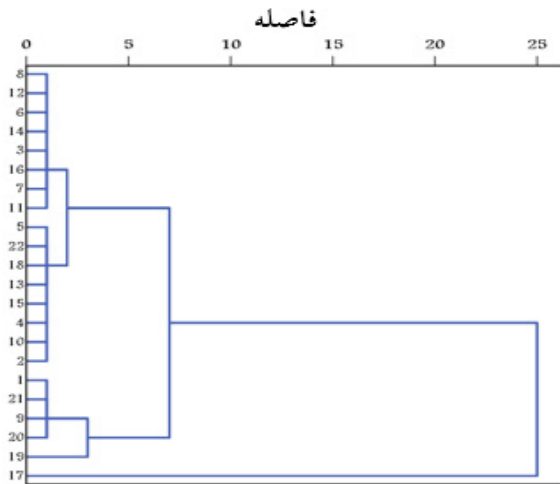
شکل ۵- دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس تغییرات شاخص دبی پایه به روش KCA

شکل ۶- دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس تغییرات دبی پایه به روش KCA

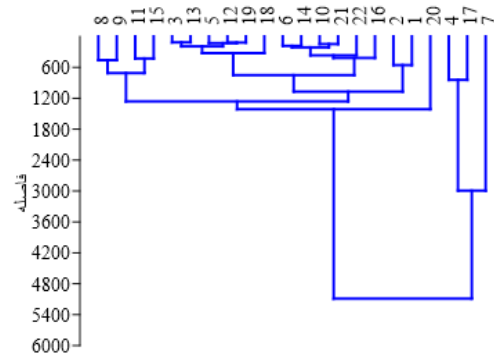
### بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف خوشه‌بندی زیرحوضه‌های استان اردبیل با استفاده از روش K-Means انجام شده است. بدین منظور پارامترهای دبی روزانه، دبی پایه، شاخص دبی پایه، کاربری اراضی، شیب، متوسط ارتفاع حوضه، مساحت، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی و متوسط بارش به‌عنوان معیارهای برای خوشه‌بندی ۲۲ زیرحوضه

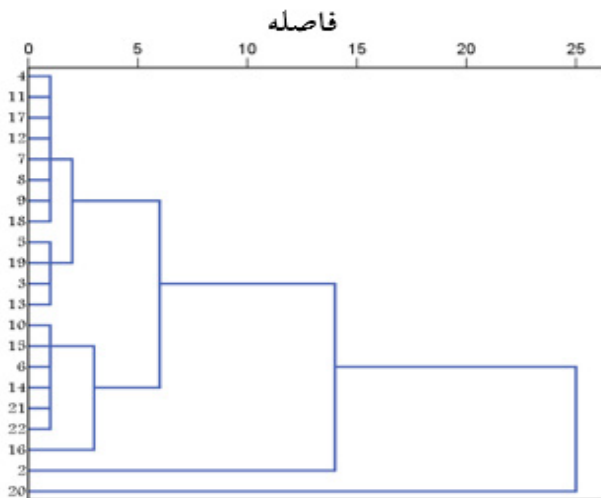
شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نمودار شاخه درختی یا دندروگرام حاصل از روش خوشه‌بندی براساس هر کدام از فاکتورهای مورد نظر در خوشه‌بندی به روش چندمیانگینی و شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ دندروگرام حاصل از روش سلسله مراتبی را نشان می‌دهند. در روی دندروگرام جایی که فاصله زیاد بین ادغام دو خوشه مشاهده می‌شود، اعضای هر کدام از خوشه‌ها دارای تشابه زیادی می‌باشند.



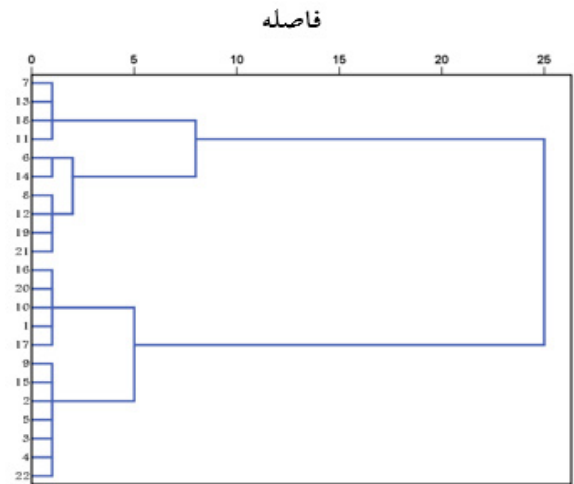
شکل ۸- دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس تغییرات شاخص دبی پایه به روش HCA



شکل ۷- دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس تغییرات سایر متغیرهای فیزیکی به روش KCA



شکل ۱۰- دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس تغییرات سایر متغیرهای فیزیکی به روش HCA



شکل ۹- دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس تغییرات دبی پایه به روش HCA

طبقه‌بندی شدند، و از نظر شاخص دبی پایه نیز روش چندمیانگینی زیرحوضه‌ها را در ۴ خوشه، و در روش سلسله مراتبی در ۳ خوشه قرار گرفتند هم‌چنین از نظر متغیرهای فیزیکی روش چندمیانگینی با طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها در ۵ خوشه بهتر از روش سلسله مراتبی زیرحوضه‌ها را طبقه‌بندی کرده است. با توجه به (خط تفکیک‌کننده خوشه‌ها از یکدیگر براساس تعداد خوشه‌ها و حداکثر ضریب تشابه آن‌ها) موجود در دندروگرام، هر دو روش چندمیانگینی و سلسله مراتبی تقریباً نتایج مشابهی را ارائه نمودند. در نهایت مقایسه روش چندمیانگینی و سلسله مراتبی نشان داد که گروه‌بندی زیرحوضه‌ها با روش چندمیانگینی با جزئیات بیش‌تری صورت گرفته است. در استان اردبیل از نظر دبی پایه و شاخص دبی پایه دو زیرحوضه ارباب‌کندی و گیلانده در یک خوشه و زیرحوضه‌های دوست‌بیگللو،

استان اردبیل در نظر گرفته شدند. در این راستا، زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه براساس تحلیل‌های خوشه‌ای در ۳ خوشه طبقه‌بندی شدند. همان‌طورکه در جدول ۳ مشاهده می‌شود معیارهای متفاوت (در اینجا دبی پایه، شاخص دبی پایه و متغیرهای فیزیکی)، الزاماً نتایج یکسانی را برای مجموعه معینی از داده‌ها فراهم نمی‌آورد. به‌طوری‌که براساس دبی پایه تعداد زیرحوضه‌های خوشه ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۴، ۳، و ۱۵ زیرحوضه می‌باشد، و از نظر شاخص دبی پایه تعداد زیرحوضه‌های خوشه ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۸، ۶ و ۸ زیرحوضه می‌باشد و هم‌چنین براساس سایر متغیرهای فیزیکی در تحقیق تعداد خوشه ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۳، ۸ و ۱۱ زیرحوضه می‌باشد. بنابراین با توجه به دندروگرام حاصل از روش چندمیانگینی از نظر دبی پایه زیرحوضه‌ها در ۳ خوشه ولی در روش سلسله مراتبی در ۴ گروه



پل الماس، سامیان و فیروزآباد در یک خوشه قرار می‌گیرند. از نظر هر سه معیار خوشه‌بندی زیرحوضه‌های آلاذیزگه، احمدکندی و باروق دارای رفتاری مشابه بوده و در خوشه‌بندی در یک گروه قرار می‌گیرند. براساس معیارهای خوشه‌بندی دبی پایه و شاخص دبی پایه در هر سه خوشه (۱، ۲ و ۳) تقریباً ایستگاه‌های که مجاور هم هستند در یک گروه قرار می‌گیرند ولی براساس متغیرهای فیزیکی زیرحوضه‌های که در یک گروه قرار می‌گیرند در اغلب موارد مجاور هم قرار نگرفته است. ارتباط بین مساحت و معیارهای خوشه‌بندی به این صورت است که از نظر دبی پایه زیرحوضه‌های با مساحت بالا در خوشه‌های ۱ و ۲ و زیرحوضه‌های با مساحت کم تا متوسط در خوشه ۳ قرار می‌گیرند. از نظر شاخص دبی پایه زیرحوضه‌های بزرگ در زیرحوضه‌های کوچک‌تر در خوشه ۳ قرار گرفتند. از آنجا که شاخص دبی پایه یک شاخص ترکیبی است و در آن علاوه بر دبی پایه، رواناب سطحی نیز لحاظ شده است، لذا عامل موثر بر تولید رواناب سطحی نیز باعث تفاوت گروه‌بندی حوضه‌ها شده است. همچنین از نظر سایر متغیرهای در هر خوشه ترکیبی از مساحت‌های کم، متوسط و زیاد مشاهده شدند. لذا به‌طور ذاتی زیرحوضه‌های که در یک خوشه قرار می‌گیرند، به‌هم شبیه بوده و دارای رفتار و واکنش هیدرولوژیک مشابه از نظر مقدار دبی پایه جریان رودخانه‌ای هستند.

## منابع

- ۱- بایزیدی، م.، ثقفیان، ب. ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل منطقه‌ای خشکسالی جریان رودخانه در مناطق جنوب غرب کشور، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۵، ۱۴، ۳۷-۵۲.
- ۲- حجاج، س.، خشخو، ی.، شمس‌الدین‌وندی، ر. ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۰، ۶۴، ۱۶۸-۱۵۷.
- ۳- حسینی، م.، ملکیان، آ.، رحیمی، م.، سمعی، م.، خاموشی، م. ر. ۱۳۹۱. بررسی کارایی برخی از روش‌های جداسازی جریان پایه در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود)، خشک بوم، ۲، ۲، ۱۰-۲۲.
- ۴- خسروی، ح.، مرادی، ا.، دارابی، ح. ۱۳۹۴. شناسایی مناطق همگن از نظر کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل عاملی و خوشه‌ای؛ مطالعه موردی دشت قیر استان فارس، مهندسی آبیاری و آب، ۶، ۲۱، ۱۳۳-۱۱۹.
- ۵- دارابی، ح.، سلیمانی، ک.، شاهدی، ک.، میریعقوب‌زاده، م. ح. ۱۳۹۱. طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها براساس پارامترهای مورفومتریک با استفاده از تحلیل‌های خوشه‌ای در حوزه آبخیز پل‌دوآب شازند، دانش آب و خاک، ۲۲، ۴، ۲۱۱-۱۹۹.
- ۶- رضایی، ع. ۱۳۹۰. تحلیل منطقه‌ای آبدهی سالانه با دوره‌های بازگشت مختلف در زیرحوضه‌های سد سفید رود، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۸، ۱، ۲۴۶-۲۴۱.

۷- زارع‌چاهوکی، م. ع. ۱۳۹۳. تجزیه و تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های منابع طبیعی با نرم‌افزار SPSS، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران، چاپ دوم، ۳۱۲ ص.

۸- عطایی، ه.، شیران، م. ۱۳۹۰. شناسایی زیرحوضه‌های هیدرولوژیکی همگن از نظر عوامل ژئومورفولوژیک مؤثر بر سیلاب با استفاده از تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: دشت کرون)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲، ۴۲، ۷۹-۹۸.

۹- غیاثی، ن.، عرب‌خدری، م.، غفاری، ع. ر.، حاتمی، ح. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر برخی ویژگی هندسی آبخیزها در سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت‌های مختلف، پژوهش و سازندگی، ۱۶، ۴(۶۲)، ۱-۲.

۱۰- لایقی، ص.، کرم، ا. ۱۳۹۳. طبقه‌بندی هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه جاجرود با مدل روزگن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳، ۳، ۱۴۳-۱۳۰.

۱۱- منعم، م. ح.، هاشمی، س. م. ۱۳۹۰. خوشه‌بندی مکانی شبکه‌های آبیاری با استفاده از روش کلاسیک K-Means (مطالعه موردی: شبکه آبیاری قزوین)، تحقیقات منابع آب ایران، ۷، ۱(۱۹)، ۴۶-۳۸.

12- Biswas, S., Sudhakar, S., and Desai, V.R. 2002. Remote sensing and geographic information system based approach for watershed conservation. Journal of Survey Engineering, 128(3): 108-124.

13- Eckhardt, K. 2008. A comparison of base flow indices which were calculated with seven different base flow separation methods. Journal of Hydrology, 352(1-2): 168-173.

14- Laaha, G., and Bloschl, G. 2006. A comparison of low flow regionalization methods catchment grouping. Journal of Hydrology, 323(1-4): 193-214.

15- Li, Ch., Sun, L., Jia, J., Cai, Y., and Wang, X. 2016. Risk assessment of water pollution sources based on an integrated K-means cluster and set pair analysis method in the region of Shiyang, China, Science of The Total Environment, 557-558: 307-316.

16- Mei, Y., and Anagnostou, E.N. 2015. A hydrograph separation method based on separation method based on information from rainfall and runoff records. Journal of Hydrology. 523: 636-649.

17- Raju. K.S., and Nagesh Kumar, D. 2007. Classification of Indian meteorological stations using cluster and fuzzy cluster analysis and Kohonen artificial neural networks. Nordic Hydrology, 38(3): 303-314.

18- Raju. K.S., and Nagesh Kumar, D. 2011.

21- Smakhtin, V.U. 2001. Estimating continuous monthly base flow time series and their possible application in the context of the ecological reserve, *Water SA*, 27(2): 213-218.

Classification of micro watersheds based on morphological characteristics. *Journal of Hydrology Environment Research*, 5(2): 101-109.

19- Shaeiri, Z., and Ghaderi, R. 2012. Modification of the fast global K-means using a fuzzy relation with application in microarray data analysis. *International Journal of Engineering*, 25(4): 283-292.

20-Singh, P.K., Kumar, V., Purohit, R.C., Kothari, M., and Dashora, P.K. 2009. Application of principal component analysis in grouping geomorphic parameters for hydrologic modeling. *Water Resources Management*, 23: 325-339.

*Abstract*

## Watershed Grouping Based on Effective Parameters on Base Flow Using Different Clustering Algorithms in Ardabil Province

S. Mehri<sup>1</sup>, R. Mostafazadeh<sup>2\*</sup>, A. Esmali-Ouri<sup>3</sup> and A. Ghorbani<sup>4</sup>

Received: 2015/03/07 Accepted: 2016/12/20

Grouping of similar watersheds using clustering methods helps to explain hydrological processes and regional water yields. In the present study, the daily discharge, base flow and Base Flow Index (BFI) and effective parameters including annual rainfall and physiographic characteristics (Area, Mean elevation, main stream length and drainage density) were analyzed using K-means and Hierarchical clustering algorithms over 22 sub-watersheds to determine the homogeneous groups in Ardabil Province. The Davies-Bouldin Index criterion was used to determine the optimal number of clusters over the study area. The base flow amount were separated from daily flow hydrographs by using One-Parameter algorithm through Excel programming. Then, the BFI values were calculated using the ratio of base flow and total amount of runoff. This K-means algorithm aims to find groups (clusters) of similar watersheds from a data set. Firstly, the watersheds were classified based on base flow and BFI and then other variables were used to cluster the studied watersheds. According to the results of K-Means clustering method considering base flow discharge the number of watersheds in first three groups were 4, 3 and 15, respectively. According to the results, the K-Means clustering methods detailed groups of watersheds compared with the Hierarchical method. Watershed grouping based on base flow and base flow index showed that the Arbabkandi and Gilandeh falls into a cluster, and Doostbeiglou, Pole-almas, Samian and Firozabad had similar characteristics. In general the Aladizgeh, Ahmadkandi and Baroogh watersheds had similar hydrologic response in terms of base flow, BFI and other physiographic and land-use related factors and classified into same group. Therefore, the homogeneous watersheds in terms of surface water and base flow variations had similar water yield and ecological flow behavior. Water resources planning and management of watersheds can be considered in homogeneous regions as planning unit.

**Keywords:** *Homogeneous areas, Watershed grouping, Euclidian distance, Base flow.*

1. M.Sc. Graduate of Watershed Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili.

2. Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Corresponding Author, raofmostafazadeh@uma.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili.

4. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili.