

همگن‌بندی حوضه‌ها با استفاده از شاخص‌های هیدرواقليمی و فیزیکی

بهرام چوبین*^۱، کریم سلیمانی^۲، محمود حبیب نژاد روشن^۳ و آرش ملکیان^۴

^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۲ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و ^۴ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۸

چکیده

مدیریت جامع حوزه آبخیز و تعمیم اطلاعات به حوضه‌های فاقد آمار، نیازمند درک حوضه‌های همگن می‌باشد. شباهت هیدرولوژیکی حوضه‌ها از رفتار هیدرواقليمی و فیزیکی حوضه‌ها منتج می‌شود. در این تحقیق، برای تشخیص زیرحوضه‌های همگن هیدرولوژیکی، از شاخص‌های هیدرواقليمی و فیزیکی استفاده شد. تحلیل عاملی برای کاهش ابعاد متغیرها به‌طور جداگانه برای شاخص‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی و فیزیکی انجام شد و سرانجام با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی (FCM) و روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA) زیرحوضه‌های همگن شناسایی شدند. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که از بین شاخص‌های اقلیمی، شاخص‌های طول دوره سرد، طول فصل رشد، بیشترین بارش پنج روزه، میانگین دمای بیشینه و شاخص روزهای گرم و از بین شاخص‌های هیدرولوژیکی، شاخص درصد سطح گروه D هیدرولوژیکی و شاخص سیل‌خیزی به‌عنوان شاخص‌های نهایی هیدرواقليمی انتخاب شدند. همچنین، از بین پارامترهای فیزیکی شاخص‌های سطح حوضه، کشیدگی حوضه، میانگین طول زهکش‌ها و کل پستی و بلندی برای گروه‌بندی زیرحوضه‌ها انتخاب شدند. مقایسه نتایج روش‌های FCM و HCA نشان داد که تعداد خوشه‌های بهینه در دو روش با هم تفاوتی ندارند ولی نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها در هر خوشه در دو روش متفاوت است. در استفاده از متغیرهای هیدرواقليمی شباهت دو روش طبقه‌بندی در خوشه‌های یکسان برابر با ۲۵ حوضه و برای متغیرهای فیزیکی برابر با ۲۷ حوضه است. نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها به‌وسیله پارامترهای هیدرواقليمی در مقایسه با پارامترهای فیزیکی شباهت چندانی ندارد، به‌طوری که در روش FCM تعداد ۱۷ زیرحوضه و در روش HCA تعداد ۱۹ زیرحوضه، در طبقات مشابه قرار گرفته‌اند. با توجه به این که هیچ ارجعیتی برای پذیرش نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها به‌وسیله پارامترهای هیدرواقليمی یا پارامترهای فیزیکی وجود ندارد، بنابراین، از ترکیب پارامترهای نهایی هیدرواقليمی و فیزیکی برای طبقه‌بندی استفاده شد. نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با ترکیب پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی نشان داد که تعداد ۳۳ زیرحوضه از ۳۸ زیرحوضه در هر دو روش FCM و HCA در خوشه‌های مشابه قرار گرفته‌اند. همگن‌بندی زیرحوضه‌های کرخه بر اساس ترکیبی از متغیرهای فیزیکی و هیدرواقليمی آشکار کرد که مناطق شمالی در طبقه سه، مناطق مرکزی (از شرق تا غرب) در طبقه دو و مناطق جنوبی حوضه در طبقه یک قرار گرفته‌اند. به‌طور ذاتی، این زیرحوضه‌ها به هم شبیه بوده و از نظر آبخیزداری عملیات مدیریتی و حفاظتی یکسانی را نیز می‌طلبند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم خوشه‌بندی فازی، حوزه آبخیز کرخه، خوشه‌بندی سلسله مراتبی، گروه‌بندی آبخیز،

مدیریت جامع حوزه آبخیز

مقدمه

تفکیک یک حوضه به زیرحوضه‌ها و گروه‌بندی آن‌ها در دسته‌های مشابه از نظر خصوصیات مشابه می‌تواند به‌عنوان روشی در جهت اجرای عملیات هماهنگ کنترل سیلاب و اولویت قائل شدن برای زیرحوضه‌های بحرانی به‌کار گرفته شود (Ataei و Shiran، ۲۰۰۸). کمبود اعتبارات و محدودیت‌های اقتصادی و فنی در حوزه‌های آبخیز، ایجاب می‌کند که اقدامات آبخیزداری برای کاهش هزینه‌های مرتبط، در بخش‌هایی از حوزه آبخیز انجام گیرد که دارای شرایط بدی نسبت به دیگر مناطق هستند. 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 برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان، به‌منظور طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها در گروه‌های همگن را آشکارتر می‌سازد (Ghiasi و همکاران، ۲۰۰۴). به‌علاوه، همه زیرحوضه‌ها ممکن است به عملیات حفاظتی مشابه نیاز نداشته باشند. لذا، به جای تحلیل تک تک زیرحوضه‌ها برای احیاء و همچنین اقدامات آبخیزداری، زیرحوضه‌های مشابه در گروه‌های یکسان طبقه‌بندی شده و برنامه‌های حفاظتی برای یکی از زیرحوضه‌ها انجام داده و به دیگر زیرحوضه‌های هم‌گروه تجویز می‌کنند (Kumar و Raju، ۲۰۱۱). Ataei و Shiran (۲۰۰۸) به شناسایی زیرحوضه‌های هیدرولوژیکی همگن از نظر عوامل ژئومورفولوژیک موثر بر سیلاب با استفاده از تحلیل خوشه‌ای پرداختند. در این تحقیق، آن‌ها از ۱۳ متغیر کمی ژئومورفولوژی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به روش طبقاتی و روش فازی استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که روش طبقاتی، تفکیک بهتری برای زیرحوضه‌ها انجام داده است. طبقه‌بندی حوزه‌های آبخیز برای اهداف مختلف مورد نیاز است. به‌عنوان مثال، در پیش‌بینی و ثبت خصوصیات جریان مانند سیل یا خشکسالی در حوضه فاقد آمار (Cavadias و همکاران، ۲۰۰۱؛ Nathan و McMahon، ۱۹۹۰)، تحلیل فرکانس منطقه‌ای سیل (Castellarin و همکاران، ۲۰۰۶؛ Rao و Srinivas، ۲۰۰۸)، تعمیم درک سامانه هیدرولوژیکی (Sawicz و همکاران،

۲۰۱۱) و برای برآورد جریان رودخانه در حوضه‌های فاقد آمار (Kahya و همکاران، ۲۰۰۸؛ Chiang و همکاران، ۲۰۰۲a و ۲۰۰۲b) استفاده می‌شود. طبقه‌بندی حوزه‌های آبخیز یک روش کارآمد برای ترکیب درک محقق از چگونگی تغییرپذیری اقلیمی و مشخصات حوزه آبخیز (پوشش، خاک و توپوگرافی) در تعامل با پاسخ هیدرولوژیکی حوضه است (McDonnell و Woods، ۲۰۰۴؛ Wagener و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین، برای پیش‌بینی در حوضه‌های فاقد آمار مهم است (Sivapalan و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین، یکی از راه‌های طبقه‌بندی حوزه‌های آبخیز برقراری ارتباط تجربی بین اقلیم و ویژگی‌های حوزه آبخیز با رفتار هیدرولوژیکی حوضه است که می‌توان مهارت پیش‌بینی پاسخ هیدرولوژیکی را بر اساس ترکیبی از ویژگی آب و هوایی و خصوصیات حوزه آبخیز تعیین کرد (Carrillo و همکاران، ۲۰۱۱). جریان رودخانه تحت تأثیر تغییرپذیری شرایط هیدرواقلمی در مقیاس محلی و منطقه‌ای قرار دارد (Coulibaly و Burn، ۲۰۰۵) و برآورد جریان رودخانه در مناطق مختلف تحت تأثیر خصوصیات فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی است. بنابراین، طبقه‌بندی حوضه‌ها می‌تواند تفاوت معنی‌داری در مطالعات تعمیم‌سازی به حوضه‌های فاقد آمار ایجاد کند (Razavi و Coulibaly، ۲۰۱۳). Telvari و همکاران (۲۰۰۴) به‌منظور بررسی امکان استفاده از تئوری و منطق فازی در اولویت‌بندی عملیات آبخیزداری با هدف کنترل سیلاب و کاهش رسوبدهی حوزه آبخیز شهرستان کرج، ۲۶ پارامتر هیدرولوژیکی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و اقلیمی برای هر زیرحوضه محاسبه کردند و سپس این پارامترها با استفاده از روش تجزیه عامل‌ها به ۱۰ عامل با بیشترین تأثیر کاهش داده شدند. بین عوامل مذکور و شاخص سیل‌خیزی روابط رگرسیونی برقرار شد و زیرحوضه‌ها اولویت‌بندی شدند. سپس روش تحلیل خوشه‌ای برای اولویت‌بندی به‌کار رفت. نتایج نشان داد که اولویت‌بندی بر اساس کاربرد منطق فازی در بیشتر موارد با نتایج تحلیل خوشه‌ای هم‌خوانی دارد. یعنی زیرحوضه‌های دارای امتیاز یکسان از نظر اولویت‌بندی، متعلق به یک گروه همگن بوده‌اند.

استان‌های ایلام، کرمانشاه، همدان، لرستان و خوزستان را پوشش می‌دهد. تنوع تراز ارتفاعی و ویژگی رشته‌کوه‌های زاگرس و تأثیر آن بر اقلیم منطقه سبب ناهمگونی نسبی در پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی منطقه می‌شود. با بررسی بارش حوضه مشخص شد که به‌طور متوسط بارندگی سالانه حوضه معادل $394/5$ میلی‌متر می‌باشد. بررسی‌های درجه حرارت منطقه نشان می‌دهد که به ازای هر 1000 متر تغییر ارتفاع حدود $7/8$ درجه سانتی‌گراد به دمای هوا افزوده یا کاسته می‌شود. بیشینه مطلق درجه حرارت ثبت شده $52/5$ درجه سانتی‌گراد و کمینه مطلق رخ داده $-34/5$ درجه سانتی‌گراد است. متوسط دمای سالیانه از $26/6$ درجه سانتی‌گراد در مناطق جنوبی حوضه تا $9/8$ درجه سانتی‌گراد در شمال و شمال غربی حوضه متغیر بوده است. اقلیم غالب منطقه در مناطق جنوبی حوضه، گرم و خشک، در مناطق مرکزی و شمالی نیمه‌خشک گرم و نیمه‌خشک سرد و در مابقی مناطق اقلیم‌های مدیترانه‌ای و نیمه‌مرطوب به چشم می‌خورد (Ministry of Energy, 2004). شکل ۱، موقعیت حوزه آبخیز کرخه و زیرحوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شاخص‌های مورد استفاده: در این تحقیق، برای تشخیص حوضه‌های همگن، از ۳۵ شاخص هیدرواقليمی (شامل، ۳۰ شاخص اقلیمی و پنج شاخص هیدرولوژیک) استفاده شد و با نتایج گروه‌بندی از طریق شاخص‌های فیزیکی حوضه (۲۱) پارامتر فیزیکی) مقایسه شد.

الف) شاخص‌های هیدرواقليمی

شاخص‌های اقلیمی: شاخص‌های اقلیمی مورد استفاده در این مطالعه شامل بیشترین دمای بیشینه، کمترین دمای بیشینه، بیشترین دمای کمینه، کمترین دمای کمینه، شب‌های سرد، روزهای سرد، شب‌های گرم، روزهای گرم، میزان اختلاف درجه حرارت، روزهای یخبندان، روزهای یخی، روزهای تابستان، میانگین دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه، شب‌های حاره‌ای، طول دوره گرم، طول دوره سرد، طول فصل رشد، بیشترین بارش یک روزه، بیشترین بارش پنج روزه، شدت مقادیر آستانه‌ای بارش، روزهای همراه با بارندگی سنگین، روزهای همراه با بارندگی

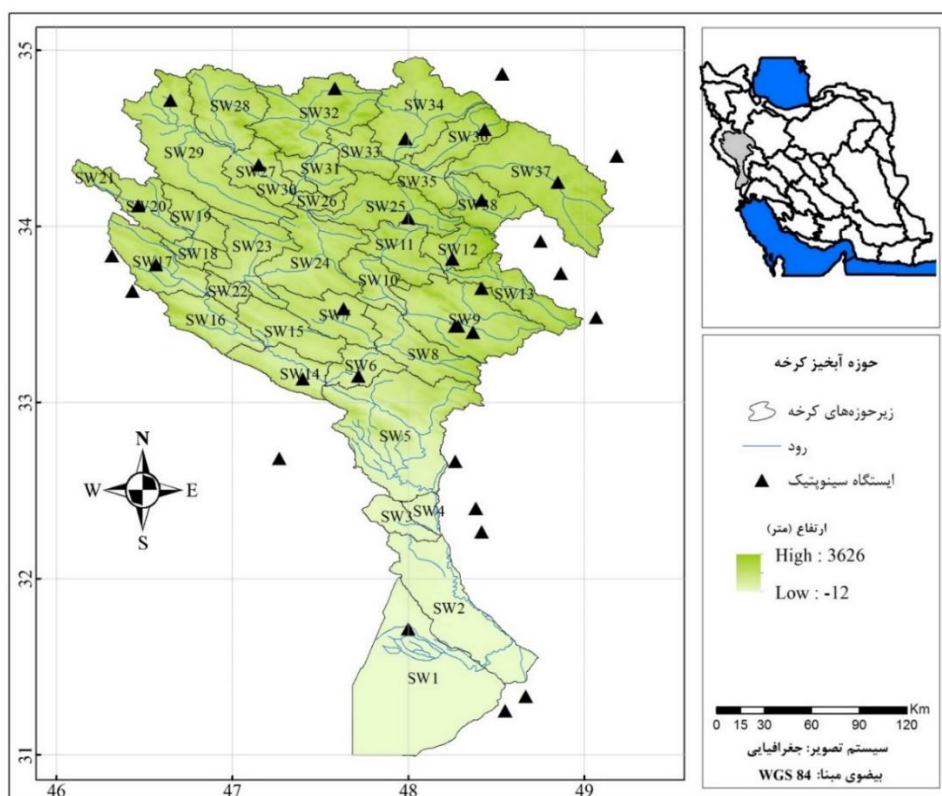
McIntyre و همکاران (2005) ۱۲۷ حوضه‌ها را در انگلستان با استفاده از خصوصیات سطح حوضه، بارش سالیانه و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک طبقه‌بندی کردند. شباهت هیدرولوژیکی بین حوضه‌ها از شباهت در چگونگی پاسخ حوضه به ورودی بارش (بر اساس طبقه‌بندی حوضه‌ها) ناشی می‌شود که برای قابلیت انتقال اطلاعات، تعمیم‌سازی درک هیدرولوژیکی و همچنین، درک اثرات پتانسیل تغییرات محیطی استفاده می‌شود (Sawicz, 2013). درک این‌که چرا و چگونه رفتار عملکردی خاص در یک حوزه آبخیز معین رخ می‌دهد، می‌تواند دلایلی برای درجه تشابه یا عدم تشابه بین حوضه‌ها باشد (Dooge, 1986; Gottschalk, 1985). Bormann (2010) سامانه طبقه‌بندی هیدرولوژیکی را بر اساس گروه‌های خاک (با فرض این‌که خاک یک کنترل اصلی برای شباهت هیدرولوژیکی است) به‌کار برده است. Blöschl (2009) نشان داد که کاربری اراضی، بافت خاک و زمین‌شناسی قادر نیستند رفتار ۴۰۰ حوضه در استرالیا را به‌طور کامل تعریف کنند. این در حالی است که می‌تواند رفتار غیر منتظره و اشتباهی از حوضه‌ها پیش‌بینی شود. بنابراین، برای انتقال اطلاعات و کلی‌سازی ارتباطات بین خصوصیات حوضه‌ها (اقلیم و پاسخ هیدرولوژیکی)، یک ارزیابی کمی صریح و روشن از چنین ارتباطاتی مورد نیاز است. با توجه به موارد ذکر شده در این تحقیق، برای تشخیص آبخیزهای همگن، از شاخص‌های هیدرواقليمی و فیزیکی استفاده شد و سپس نتایج مقایسه شدند. پیش‌بینی در حوضه‌های فاقد آمار نیازمند درک حوضه‌های همگن می‌باشد و شباهت هیدرولوژیکی حوضه‌ها از رفتار هیدرواقليمی و فیزیکی حوضه‌ها منتج می‌شود. بنابراین، این مقاله تمرکز روی خصوصیات هیدرواقليمی و فیزیکی حوضه برای تشخیص آبخیزهای مشابه دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز رودخانه کرخه به مساحت تقریبی 51527 کیلومتر مربع و با مختصات جغرافیایی $46^{\circ}06'$ تا $49^{\circ}10'$ طول شرقی و $30^{\circ}58'$ تا $34^{\circ}56'$ عرض شمالی با توپوگرافی ویژه محدوده‌ای از

تغرق پتانسیل (محاسبه شده با روش هارگریو سامانی) استفاده شد. برای استخراج شاخص‌های اقلیمی از آمار روزانه ۳۳ ایستگاه سینوپتیک داخل و خارج از حوزه کرخه (شکل ۱ و جدول ۲) استفاده شد. پس از استخراج این شاخص‌ها و محاسبه متوسط درازمدت آن‌ها، مقادیر متوسط منطقه‌ای هر شاخص برای تک تک زیرحوضه‌های مطالعاتی حوزه آبخیز کرخه از طریق نرم‌افزار Arc GIS محاسبه شد.

خیلی سنگین، روزهای متوالیاً خشک، روزهای متوالیاً مرطوب، روزهای مرطوب، روزهای شدیداً مرطوب، روزهای همراه با بارندگی، مجموع بارش سالیانه و شاخص خشکی است. لیست شاخص‌های اقلیمی و شرح هر شاخص در جدول ۱ ارائه شده است. به غیر از شاخص خشکی (Aridity Index) مابقی شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار RCLimDex استخراج شده‌اند. برای محاسبه شاخص خشکی از نسبت بارش به تبخیر و



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کرخه و زیرحوضه‌های مورد مطالعه

$$FLDP = 13.85(\ln S + \ln CN) + 10(R - 5) \quad (1)$$

که در آن، $FLDP$ پتانسیل سیل‌خیزی است که در سال ۱۳۹۲ به وسیله سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور برای مطالعات توجیهی آبخیزداری کشور ارائه شده است، S شیب حوزه آبخیز به درصد، CN شماره منحنی حوضه، R ضریب گردی می‌لر (که از نسبت مساحت حوزه آبخیز مورد نظر به مساحت دایره‌ای که محیط آن مساوی محیط حوزه آبخیز باشد، به دست می‌آید). اعداد این شاخص بین ۱۰۰-۰ در تغییر خواهد بود که با افزایش اعداد پتانسیل سیل‌خیزی نیز بیشتر می‌شود.

شاخص‌های هیدرولوژیکی: در این مطالعه، پنج شاخص هیدرولوژیکی برای زیرحوضه‌های کرخه محاسبه شد که شامل سه گروه هیدرولوژیک خاک (درصد سطحی که هر یک از گروه‌های هیدرولوژیک HGB، HGC و HGD خاک در هر حوضه دارد)، شماره منحنی (CN) و شاخص سیل‌خیزی (FLDP) است. گروه‌های هیدرولوژیک خاک از نقشه خاک فائو تهیه شد. برای محاسبه شماره منحنی از نقشه کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک و ابزار ArcCN- Runoff در نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ها از رابطه (۱) محاسبه شد.

جدول ۱- لیست شاخص‌های اقلیمی مورد استفاده

ردیف	علامت	نام شاخص	شرح	واحد
۱	TXx	بیشترین دمای بیشینه	بیشترین مقدار حداکثر دمای روزانه برای هر ماه	°C
۲	TNx	کمترین دمای بیشینه	کمترین مقدار حداکثر دمای روزانه برای هر ماه	°C
۳	TXn	بیشترین دمای کمینه	بیشترین مقدار حداقل دمای روزانه برای هر ماه	°C
۴	TNn	کمترین دمای کمینه	کمترین مقدار حداقل دمای روزانه برای هر ماه	°C
۵	TN10p	شب‌های سرد	درصد روزهای مساوی یا کمتر از میانگین صدک یکم حداقل دمای روزانه	%
۶	TX10p	روزهای سرد	درصد روزهای مساوی یا کمتر از میانگین صدک یکم حداکثر دمای روزانه	%
۷	TN90p	شب‌های گرم	درصد روزهای مساوی و یا بیشتر از میانگین صدک ۹۹م حداقل دمای روزانه	%
۸	TX90p	روزهای گرم	درصد روزهای مساوی و یا بیشتر از میانگین صدک ۹۹م حداکثر دمای روزانه	%
۹	DTR	محدوده دمای روزانه	اختلاف بین میانگین حداکثر دما و حداقل دما	°C
۱۰	FD0	روزهای یخبندان	فراوانی روزهایی که دمای کمینه آن‌ها کمتر از ۰°C باشد	days
۱۱	ID	روزهای یخی	فراوانی روزهایی که دمای بیشینه آن‌ها کمتر از ۰°C باشد	days
۱۲	SU25	روزهای تابستان	فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آن‌ها بیشتر از ۲۵°C باشد	days
۱۳	TMAXmean	میانگین دمای بیشینه	میانگین مقدار حداکثر دمای روزانه برای هر ماه	°C
۱۴	TMINmean	میانگین دمای کمینه	میانگین مقدار حداقل دمای روزانه برای هر ماه	°C
۱۵	TR20	شب‌های حاره‌ای	فراوانی روزهایی که دمای کمینه آنها بیشتر از ۲۰°C باشد	days
۱۶	WSDI	طول دوره گرم	فراوانی روزهایی که در آن حداقل ۶ روز متوالی از صدک ۹۰م حداکثر دما بیشتر باشند	days
۱۷	CSDI	طول دوره سرد	فراوانی روزهایی که در آن حداقل ۶ روز متوالی از صدک ۱۰م حداقل دما کمتر باشند	days
۱۸	GSL	طول فصل رشد	تعداد روزها بین اولین موردی که دما برای شش روز متوالی بیشتر از ۵°C و اولین موردی که دما برای شش روز متوالی (بعد از ۱ ژوئیه) کمتر از ۵°C باشد.	days
۱۹	RX1day	بیشترین مقدار بارش یک روزه	بارش روزهایی که در ماه حداکثر یک روز بارندگی دارند	mm
۲۰	RX5day	بیشترین مقدار بارش ۵ روزه	بارش روزهایی که در ماه حداکثر پنج روز متوالی واقعه بارندگی دارند	mm
۲۱	SDII	شدت مقادیر آستانه‌ای بارش	میانگین مجموع مقادیر بارش مساوی و یا بیشتر از صدک ۹۹م برای هر سال	mm/day
۲۲	R10	روزهای همراه با بارندگی سنگین	فراوانی روزهایی که بارندگی آن‌ها مساوی و یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر است	days
۲۳	R20	روزهای همراه با بارندگی خیلی سنگین	فراوانی روزهایی که بارندگی آن‌ها مساوی و یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر است	days
۲۴	CDD	روزهای متوالیاً خشک	روزهایی که بارندگی آن‌ها مساوی و یا کمتر از ۱ میلی‌متر است	days
۲۵	CWD	روزهای متوالیاً مرطوب	روزهایی که بارندگی آن‌ها مساوی و بیشتر از ۱ میلی‌متر است	days
۲۶	R95p	روزهای مرطوب	مجموع میانگین بارشی که از صدک ۹۵م بیشتر باشد	mm
۲۷	R99p	روزهای شدیداً مرطوب	مجموع میانگین بارشی که از صدک ۹۹م بیشتر باشد	mm
۲۸	Rnn	روزهای همراه با بارندگی	فراوانی روزهایی که حداقل بارندگی آن‌ها دو میلی‌متر است	days
۲۹	PRCPTOT	مجموع بارش سالیانه	مجموع بارش سالیانه روزهایی که بارش آن‌ها ≥ 1 میلی‌متر باشد	mm
۳۰	AI	شاخص خشکی	نسبت بین بارش و تعرق پتانسیل	-

جدول ۲- لیست ایستگاه‌های سینوپتیک داخل و خارج از حوزه آبخیز کرخه

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال تاسیس	استان
۱	ایلام	۴۰۷۸۰	۱۳۳۷	۴۶،۴۳	۳۳،۶۳	۱۹۸۶	ایلام
۲	دهلران	۴۰۷۹۶	۲۳۲	۴۷،۲۷	۳۲،۶۸	۱۹۸۷	ایلام
۳	ایوان	۹۹۴۳۳	۱۱۷۰	۴۶،۳۲	۳۳،۸۳	۱۹۹۹	ایلام
۴	دره شهر	۹۹۴۸۳	۶۷۰	۴۷،۴۰	۳۳،۱۳	۲۰۰۲	ایلام
۵	سربله	۹۹۴۶۶	۱۰۴۵	۴۶،۵۷	۳۳،۷۸	۲۰۰۶	ایلام
۶	صفی‌آباد دزفول	۴۰۷۹۴	۸۲/۹	۴۸،۴۲	۳۲،۲۷	۱۹۸۷	خوزستان
۷	دزفول	۴۰۷۹۵	۱۴۳	۴۸،۳۸	۳۲،۴۰	۱۹۶۱	خوزستان
۸	بستان	۴۰۸۱۰	۷/۸	۴۸،۰۰	۳۱،۷۲	۱۹۸۶	خوزستان
۹	اهواز	۴۰۸۱۱	۲۲/۵	۴۸،۶۷	۳۱،۳۳	۱۹۵۱	خوزستان
۱۰	حسینیه	۹۹۴۹۳	۳۵۴	۴۸،۲۷	۳۲،۶۷	۲۰۰۵	خوزستان
۱۱	اهواز (کشاورزی)	۹۹۵۳۵	۱۲	۴۸،۵۵	۳۱،۲۵	۲۰۰۵	خوزستان
۱۲	کامیاران	۹۹۴۲۵	۱۴۰۴	۴۶،۹۳	۳۴،۸۰	۲۰۰۶	کردستان
۱۳	روانسر	۴۰۷۶۴	۱۳۷۹/۷	۴۶،۶۵	۳۴،۷۲	۱۹۸۸	کرمانشاه
۱۴	کرمانشاه	۴۰۷۶۶	۱۳۱۸/۶	۴۷،۱۵	۳۴،۳۵	۱۹۵۱	کرمانشاه
۱۵	کنگاور	۴۰۷۷۱	۱۴۶۸	۴۷،۹۸	۳۴،۵۰	۱۹۸۷	کرمانشاه
۱۶	اسلام‌آباد غرب	۴۰۷۷۹	۱۳۴۸/۸	۴۶،۴۷	۳۴،۱۲	۱۹۸۷	کرمانشاه
۱۷	سنقر	۹۹۴۲۹	۱۷۰۰	۴۷،۵۸	۳۴،۷۸	۲۰۰۵	کرمانشاه
۱۸	نور آباد	۴۰۷۷۳	۱۸۵۹/۱	۴۸،۰۰	۳۴،۰۵	۲۰۰۰	لرستان
۱۹	بروجرد	۴۰۷۷۴	۱۶۲۹	۴۸،۷۵	۳۳،۹۲	۱۹۸۹	لرستان
۲۰	الشر	۴۰۷۷۶	۱۵۶۷/۲	۴۸،۲۵	۳۳،۸۲	۱۹۹۷	لرستان
۲۱	خرم‌آباد	۴۰۷۸۲	۱۱۴۷/۸	۴۸،۲۸	۳۳،۴۳	۱۹۵۱	لرستان
۲۲	پلدختر	۴۰۷۸۶	۷۱۳/۵	۴۷،۷۲	۳۳،۱۵	۱۹۹۸	لرستان
۲۳	کوه‌دشت	۹۹۴۳۸	۱۱۹۹/۸	۴۷،۶۳	۳۳،۵۳	۱۹۹۷	لرستان
۲۴	دورود	۹۹۴۴۴	۱۵۲۶/۷	۴۹،۰۷	۳۳،۴۸	۲۰۰۰	لرستان
۲۵	بدرآباد	۹۹۴۷۵	۱۱۵۴/۸	۴۸،۲۷	۳۳،۴۳	۲۰۰۲	لرستان
۲۶	سیلاخور	۹۹۴۶۸	۱۴۹۶/۹	۴۸،۸۷	۳۳،۷۳	۲۰۰۲	لرستان
۲۷	ایمان‌آباد	۹۹۴۸۵	۱۵۰۰	۴۸،۳۷	۳۳،۴۰	۲۰۰۶	لرستان
۲۸	ریمله	۹۹۴۷۱	۱۶۵۰	۴۸،۴۲	۳۳،۶۵	۲۰۰۶	لرستان
۲۹	خونداب	۹۹۴۳۹	۱۷۳۹	۴۹،۱۸	۳۴،۴۰	۲۰۰۶	مرکزی
۳۰	همدان	۴۰۷۶۸	۱۷۴۱/۵	۴۸،۵۳	۳۴،۸۷	۱۹۷۶	همدان
۳۱	ملایر	۴۰۷۷۵	۱۷۷۷/۸	۴۸،۸۵	۳۴،۲۵	۱۹۹۲	همدان
۳۲	نهایند	۹۹۳۸۴	۱۶۸۰/۹	۴۸،۴۲	۳۴،۱۵	۱۹۹۶	همدان
۳۳	تویسرکان	۴۰۸۸۶	۱۷۸۳/۲	۴۸،۴۳	۳۴،۵۵	۲۰۰۳	همدان

بافت، طول جریان سطحی، تعداد پستی و بلندی، زمان تمرکز، کل پستی و بلندی، نسبت پستی بلندی، درصد شیب و شاخص رطوبت توپوگرافی هستند. جدول ۳ جزئیات شاخص‌های فیزیکی محاسبه شده برای زیرحوضه‌های کرخه را نشان می‌دهد.

ب) شاخص‌های فیزیکی: پارامترهای فیزیکی مورد استفاده شامل سطح حوضه، محیط حوضه، طول حوضه، ضریب فرم حوضه، ضریب فشردگی، کرویت حوضه، کشیدگی حوضه، شکل حوضه، طول آبراهه‌ها، میانگین طول شبکه زهکشی، تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه‌ها، ضریب پیچان‌رودی (سینوزیتی)، نسبت

جدول ۳- لیست شاخص‌های فیزیکی

واحد	تعریف علائم	فرمول	نام شاخص
Km ²	-	-	سطح حوضه (A)
Km	-	-	محیط حوضه (P)
Km	A: سطح حوضه	$L_b = 1.312A^{0.56}$	طول حوضه (L _b)
-	A: سطح حوضه، L _b : حداکثر طول حوضه	$R_f = \sum A / L_b^2$	ضریب فرم حوضه (R _f)
-	P: محیط حوضه، A: سطح حوضه، π: عدد نپر	$C_c = P / 2\sqrt{A\pi}$	ضریب فشردگی (C _c)
-	-	$R_c = 12.57AP^2$	کروییت حوضه (R _c)
-	A: سطح حوضه، L _b : حداکثر طول حوضه	$R_e = \sqrt{A\pi} / L_b$	کشیدگی حوضه (R _e)
-	-	$B_s = L_b^2 / A$	شکل حوضه (B _s)
Km	: طول هر آبراهه	$L = \sum l$	طول آبراهه‌ها (L)
Km	L: کل طول آبراهه‌ها، N: تعداد آبراهه‌ها	$L_m = \sum L / N$	میانگین طول شبکه زهکشی (L _m)
Km ⁻¹	L: کل طول آبراهه‌ها، A: سطح حوضه	$D_d = \sum L / A$	تراکم زهکشی (D _d)
Km ⁻²	N: تعداد آبراهه‌ها، A: سطح حوضه	$D_f = \sum N / A$	فراوانی آبراهه‌ها (D _f)
-	L _m : میانگین طول شبکه زهکشی، L _b : حداکثر طول حوضه	$S_i = L_m / L_b$	شاخص پیچان رودی (سینوزیتی) (S _i)
Km ⁻¹	N: تعداد آبراهه‌ها، P: محیط حوضه	$T = \sum N / P$	نسبت بافت (T)
Km	D _d : تراکم زهکشی	$L_o = 0.5 / D_d$	طول جریان سطحی (L _o)
-	T _r : کل پستی و بلندی، D _d : تراکم زهکشی	$R_n = T_r * D_d$	تعداد پستی و بلندی (R _n)
hr	T _r : کل پستی و بلندی، L _b : حداکثر طول حوضه	$T_c = (0.885 * L_b^3 / T_r)^{0.385}$	زمان تمرکز (T _c)
m	H _{max} : ارتفاع حداکثر حوضه، H _{min} : ارتفاع حداقل حوضه،	$T_r = H_{max} - H_{min}$	کل پستی و بلندی (T _r)
-	L _b : حداکثر طول حوضه	$R_r = (H_{max} - H_{min}) / L_b$	نسبت پستی بلندی (R _r)
%	-	-	شیب حوضه
-	As: مساحت ویژه حوضه، σ: درجه شیب	$TWI = \ln(As / \tan\sigma)$	شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)

همگن‌بندی حوضه‌های آبخیز: به‌منظور همگن‌بندی حوضه‌های آبخیز از دو روش تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA^۲) و الگوریتم خوشه‌بندی فازی (FCM^۳) به‌ترتیب در نرم‌افزارهای SYSTAT و Matlab_R2013a استفاده شد.

الف) روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی: روش سلسله مراتبی با تعیین فاصله هر فرد از سایر افراد شروع، سپس با استفاده از یکی از روش‌های زیر انجام می‌شود. الف) روش تجمعی که ابتدا هر فرد به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفته شده، به تدریج افراد مشابه طی فرایند جمع‌آوری با هم ادغام می‌شوند. ب) روش تقسیم که همه افراد ابتدا در یک گروه بوده، سپس به تدریج بر اساس تفاوت‌ها و شباهت‌ها به زیرگروه‌ها تقسیم، تا در نهایت افراد مشابه در یک گروه جمع شوند (He, ۱۹۹۹). در تحقیق حاضر با استفاده از

تحلیل عاملی: در این مطالعه، به‌منظور کاهش تعداد متغیرها از روش تحلیل عاملی استفاده شد. تحلیل عاملی از جمله روش‌های آماری برای تعیین تأثیرگذارترین متغیرها در زمانی که تعداد متغیرهای مورد بررسی زیاد و روابط بین آن‌ها ناشناخته باشد، استفاده می‌شود. در این تحقیق، استخراج عامل‌ها بر اساس روش تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA)^۱ بوده است. متغیرها در این روش در عامل‌هایی قرار می‌گیرند، به‌طوری که از عامل اول به عامل‌های بعدی درصد واریانس کاهش می‌یابد. از این رو، متغیرهایی که در عامل‌های اولی قرار می‌گیرند، واریانس بیشتری داشته و تأثیرگذارترین هستند (Zare Chahooki, ۲۰۱۰). بنابراین، در این مطالعه تحلیل عاملی برای استخراج شاخص‌های هیدرولوژیکی، اقلیمی و فیزیکی استفاده شد.

^۲ Hierarchical cluster analysis

^۳ Fuzzy c-means clustering

^۱ Principal component analysis

تعداد خوشه‌های مناسب با بیشینه کردن تابع ارزیابی ضریب افراز ($V_{PC}=I$) و مینیمم کردن تابع ارزیابی آنتروپی ($V_{PE}=0$) به دست می‌آید.

استانداردسازی داده‌ها: برای پرهیز از تأثیر واحدهای اندازه‌گیری و عدم وابستگی به آن‌ها، داده استاندارد شدند، در این صورت متغیرها تأثیر غیر متجانسی بر اندازه‌گیری فاصله نخواهند داشت. بنابراین، قبل از خوشه‌بندی متغیرها بین صفر و یک استاندارد شدند.

نتایج و بحث

نتایج انتخاب شاخص‌های هیدرواقليمی: فرایند تلخیص داده‌ها بر روی شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی به‌طور جداگانه انجام شد تا بتوان از هر دو نوع شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در فرایند طبقه‌بندی بهره برد. با توجه به این که مقادیر آماره KMO برای شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی به ترتیب برابر با ۰/۷۵ و ۰/۶۹ شدند، پس داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب هستند (Choubin و همکاران، ۲۰۱۴). برای تعیین تعداد بهینه مولفه‌ها از مقدار ویژه (Eigenvalues) استفاده شد. عامل‌هایی که دارای مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک هستند، به‌عنوان عوامل مهمی که بیشترین نقش را در تبیین واریانس دارند، انتخاب شدند. نتایج تحلیل عاملی برای شاخص‌های اقلیمی نشان داد که پنج عامل مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک را دارا می‌باشند، که در مجموع ۹۳/۹ درصد واریانس را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین، بعد از چرخش Varimax از بین شاخص اقلیمی، شاخص‌های طول دوره سرد، طول فصل رشد، بیشترین مقدار بارش پنج روزه، میانگین دمای بیشینه و شاخص روزهای گرم شاخص‌هایی بودند که دارای بار عاملی بیشتری بوده و به‌عنوان متغیرهای نهایی از بین شاخص‌های اقلیمی انتخاب شدند (جدول ۴). این درحالی است که نتایج تحلیل عاملی برای شاخص‌های هیدرولوژیکی نشان داد که دو عامل مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک را دارا هستند که در مجموع ۷۸/۳ درصد واریانس را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین، بعد از چرخش Varimax از بین شاخص هیدرولوژیکی، شاخص درصد سطح گروه D

روش سلسله مراتبی تجمعی و محاسبه فاصله زیرحوضه‌ها از طریق فاصله اقلیدسی بر اساس روش کمینه واریانس^۱ وارد زیرحوضه‌ها طبقه‌بندی شدند. برای ارزیابی تعداد بهینه خوشه‌ها در روش سلسله مراتبی از شاخص دیویس-بولدین^۲ (Kumar و Raju، ۲۰۱۱) استفاده شد (رابطه ۲).

$$DBI = \frac{1}{n} \sum_{i=1, j \neq 1}^n \max\left(\frac{Si+Sj}{d(Ci, Cj)}\right) \quad (2)$$

که در آن، n تعداد خوشه‌ها، Ci مرکز خوشه Si میانگین فاصله هر یک از اعضا در خوشه x تا مرکز Cj و $d(Ci, Cj)$ فاصله بین مراکز Ci و Cj می‌باشد. مقدار کمتر این شاخص در رابطه با تعداد خوشه‌ها، نتیجه مطلوب‌تری را ارائه می‌دهد.

ب) روش خوشه‌بندی فازی: در روش فازی، هر فرد همزمان در طبقاتی مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. به‌عبارت دیگر طبقات همپوشانی داشته، بنابراین، پیوسته هستند (Babaei و Feizi، ۲۰۰۵). در این تحقیق، از مهمترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های خوشه‌بندی، الگوریتم c میانگین برای طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها استفاده شد و نتایج با روش سلسله مراتبی مورد مقایسه قرار گرفت. به‌منظور تعیین تعداد خوشه‌های بهینه در روش فازی، از توابع ارزیابی ضریب افراز^۳ (V_{PC}) و آنتروپی افراز^۴ (V_{PE}) استفاده شد (به‌ترتیب روابط ۳ و ۴، Bezdek، ۱۹۷۶).

$$V_{PC} = \frac{1}{n} \left(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^2 \right) \quad (3)$$

$$V_{PE} = -\frac{1}{n} \left(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik} \log(u_{ik}) \right) \quad (4)$$

که در آن، u_{ik} میزان تعلق نمونه iam در خوشه kam را نشان می‌دهد. از روی u_{ik} می‌توان یک ماتریس U تعریف کرد که دارای c سطر و n ستون است. مقدار تابع ارزیابی ضریب افراز بین $1/c$ و یک و تابع ارزیابی آنتروپی افراز بین صفر تا $\log 2c$ می‌باشد. انتخاب

¹ Ward's minimum variance method

² Davies-Bouldin Index (DBI)

³ Partition coefficient

⁴ Partition entropy

شاخص (پنج شاخص اقلیمی و دو شاخص هیدرولوژیکی) برای طبقه‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز کرخه انتخاب شدند که در جدول ۴ مقادیر بار عاملی برای این شاخص‌ها ارائه شده است.

هیدرولوژیکی و شاخص سیل‌خیزی دارای بار عاملی بیشتری بودند که نهایتاً به‌عنوان متغیرهای نهایی از بین شاخص‌های هیدرولوژیکی انتخاب شدند (جدول ۴). بنابراین، طبق نتایج تحلیل عاملی برای شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی نهایتاً هفت

جدول ۴- مقادیر بار عاملی بعد از چرخش Varimax برای شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی انتخابی

شاخص‌های اقلیمی انتخابی	علامت	بار عاملی	شاخص‌های هیدرولوژیکی انتخابی	علامت	بار عاملی
طول دوره سرد	CSDI	۰/۹۱۵	درصد سطح گروه هیدرولوژیکی D	HGD	۰/۹۷۱
طول فصل رشد	GSL	۰/۹۷۲	شاخص سیل‌خیزی	FLDP	-۰/۸۷۲
حداکثر بارش پنج روزه	RX5day	۰/۹۲۷	-	-	-
میانگین دمای بیشینه	TMAXmean	۰/۹۶۹	-	-	-
روزهای گرم	TX90p	۰/۸۸۵	-	-	-

می‌دهند. بنابراین، بعد از چرخش Varimax از بین ۲۱ شاخص فیزیکی، شاخص‌های سطح حوضه، کشیدگی حوضه، میانگین طول زهکش‌ها و کل پستی و بلندی که دارای بار عاملی بیشتری نسبت به سایر پارامترها بودند، به‌عنوان متغیرهای نهایی انتخاب شدند (جدول ۵).

نتایج انتخاب شاخص‌های فیزیکی: با توجه به این‌که مقدار آماره KMO برای شاخص‌های فیزیکی برابر با ۰/۷۱ شد، پس داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب هستند (Choubin و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج تحلیل عاملی برای شاخص‌های فیزیکی نشان داد که چهار عامل مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک را دارا می‌باشند که در مجموع ۸۲ درصد واریانس را به خود اختصاص

جدول ۵- مقادیر بار عاملی بعد از چرخش Varimax برای شاخص‌های فیزیکی انتخابی

شاخص	علامت	بار عاملی	شاخص	علامت	بار عاملی
سطح حوضه	A	۰/۹۵۴	میانگین طول زهکش‌ها	L_m	-۰/۹۰۱
کشیدگی حوضه	R_e	۰/۹۳۹	کل پستی و بلندی	T_r	۰/۸۹۵

در روش طبقه‌بندی فازی، برای رسیدن به حالت خوشه‌بندی مطلوب، باید تابع ارزیابی ضریب افراز (PC) بیشینه و تابع ارزیابی آنتروپی افراز (PE) کمینه شود. همان‌طور که از جدول ۷ مشخص است، در استفاده از متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی در تعداد خوشه برابر با چهار، PC بیشینه و PE کمینه است (برای متغیرهای هیدرواقليمی به ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۴۶ و برای متغیرهای فیزیکی برابر با ۰/۶۴ و ۰/۵۴). این در حالی است که برای ترکیب متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی تعداد خوشه بهینه برابر با سه است (جدول ۷).

نتایج تعیین تعداد خوشه‌های بهینه: در جدول ۶ مقادیر شاخص دیویس-بولدین برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها در روش HCA ارائه شده است. کمینه مقادیر این شاخص برای متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی به ترتیب برابر با ۰/۷۲ و ۰/۸۱ در تعداد چهار خوشه است. بنابراین، در روش طبقه‌بندی سلسله مراتبی تفاوتی بین متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی، در تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها وجود ندارد. برای ترکیب متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی (تعداد ۱۱ شاخص جداول ۴ و ۵) کمترین مقدار شاخص دیویس-بولدین برابر با ۰/۹۲ برای سه خوشه است (جدول ۶).

جدول ۶- مقادیر شاخص دیویس-بولدین برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها

تعداد خوشه										متغیرهای مورد استفاده جهت طبقه‌بندی
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۹۸	۱/۱۶	۱/۲۱	۰/۷۲	۱/۱	۰/۹۶		هیدرواقليمی
۰/۸۴	۰/۸۳	۰/۹۴	۰/۹۳	۱/۰۹	۱/۲۴	۰/۸۱	۱/۵۰	۱/۱۰		فيزيکی
۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۲	۱/۳۴		هیدرواقليمی+فيزيکی

جدول ۷- تابع ارزیابی ضریب افراز (PC) و تابع ارزیابی آنتروپی افراز (PE) برای تعیین تعداد خوشه بهینه

تعداد خوشه										تابع	متغیرهای مورد استفاده برای طبقه‌بندی
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۶۸	۰/۶۴	۰/۶۶		PC	هیدرواقليمی
۱/۳۸	۱/۳۶	۱/۳۲	۱/۲۲	۱/۱۲	۱/۱۳	۰/۴۶	۰/۶۳	۰/۵۱		PE	
۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۶۴	۰/۴۹	۰/۴۶		PC	فيزيکی
۱/۴۳	۱/۴۳	۱/۴۱	۱/۳۶	۱/۲۸	۱/۱۷	۰/۵۴	۰/۸۶	۱/۰۱		PE	
۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۳۸		PC	هیدرواقليمی+فيزيکی
۲/۰۴	۱/۹۷	۱/۸۲	۱/۷۱	۱/۵۵	۱/۳۶	۰/۸۳	۰/۶۴	۱/۱۲		PE	

به ترتیب نه و سه زیرحوضه در روش FCM و HCA حضور دارند که حوضه مشابهی در دو روش دیده نمی‌شود. در خوشه چهار به ترتیب ۱۴ و ۱۸ خوشه به وسیله روش‌های FCM و HCA اختصاص یافته شده است که ۱۴ زیرحوضه بین دو روش طبقه‌بندی مشابه است. بنابراین در استفاده از داده‌های هیدرواقليمی ۲۵ زیرحوضه از ۳۸ زیرحوضه در دو روش FCM و HCA در خوشه‌های مشابه قرار گرفته‌اند.

نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با شاخص‌های هیدرواقليمی: جدول ۸ نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با متغیرهای هیدرواقليمی به وسیله روش‌های FCM و HCA را نشان می‌دهد. در هر دو روش، خوشه اول شامل چهار زیرحوضه مشابه هست (زیرحوضه‌های ۴-۳-۲-۱). در خوشه دو در روش FCM و HCA به ترتیب ۱۱ و ۱۳ زیرحوضه قرار گرفته‌اند که تعداد زیرحوضه‌های مشابه هشت عدد است. در خوشه سه

جدول ۸- نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با متغیرهای هیدرواقليمی به وسیله روش‌های FCM و HCA

خوشه	FCM	HCA	شباهت FCM و HCA
۱	۱-۲-۳-۴ (۴)	۱-۲-۳-۴ (۴)	۴
۲	۵-۶-۷-۸-۹-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۲۲ (۱۱)	۵-۷-۸-۹-۱۰-۱۳-۱۵-۱۶-۱۷-۱۹-۲۲-۲۳-۲۴ (۱۳)	۸
۳	۱۰-۱۳-۱۹-۲۰-۲۱-۲۳-۲۴-۲۸-۲۹ (۹)	۶-۱۴-۱۸ (۳)	۰
۴	۲۷-۳۰-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷-۳۸ (۱۴)	۲۷-۲۸-۲۹-۳۰-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷-۳۸ (۱۸)	۱۴
مجموع	۳۸	۳۸	۲۵

مشابه نه عدد است. در خوشه سه به ترتیب ۱۲ و دو زیرحوضه در روش FCM و HCA حضور دارند که دو حوضه مشابه در دو روش دیده می‌شود. در خوشه چهار به ترتیب ۱۲ و ۲۰ خوشه به وسیله روش‌های FCM و HCA اختصاص یافته شده است که ۱۱ زیرحوضه بین دو روش طبقه‌بندی مشابه است. بنابراین، در استفاده از داده‌های فیزیکی ۲۷ زیرحوضه

نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با پارامترهای فیزیکی: جدول ۹ نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با متغیرهای فیزیکی به وسیله روش‌های FCM و HCA را نشان می‌دهد. در هر دو روش خوشه اول شامل پنج زیرحوضه مشابه است (زیرحوضه‌های ۳۰-۲۱-۴-۲-۱). در خوشه دو در روش FCM و HCA به ترتیب نه و ۱۱ زیرحوضه قرار گرفته‌اند که تعداد زیرحوضه‌های

حوضه با استفاده از پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی تعداد ۱۷ زیرحوضه در روش FCM در گروه‌های مشابه قرار گرفته‌اند. در حالی که در روش HCA شباهت طبقه‌بندی به‌وسیله پارامترهای هیدرواقليمی با پارامترهای فیزیکی تعداد ۱۹ زیرحوضه می‌باشد.

از ۳۸ زیرحوضه در دو روش FCM و HCA خوشه‌های مشابه قرار گرفته‌اند.

مقایسه نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی: در جدول ۱۰ مقایسه نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی به‌وسیله روش FCM و HCA ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، در طبقه‌بندی

جدول ۹- نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با متغیرهای فیزیکی به‌وسیله روش‌های FCM و HCA

شبهات HCA و FCM	HCA	FCM	خوشه
۵	۱-۲-۴-۲۱-۳۰ (۵)	۱-۲-۴-۲۱-۳۰ (۵)	۱
۹	-۶-۷-۱۵-۱۸-۱۹-۲۰-۲۲-۲۳-۲۶-۲۸ (۱۱)	۳-۷-۱۵-۱۸-۱۹-۲۰-۲۲-۲۳-۲۶ (۹)	۲
۲	۳	-۸-۹-۱۱-۲۴-۲۷-۲۸-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۷ (۱۲)	۳
۱۱	۱۱-۳۱ (۲)	۵	۴
۲۷	-۲۷-۲۹-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷-۳۸ (۲۰) ۵-۸-۹-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴-۱۶-۱۷-۲۴-۲۵	-۱۲-۱۳-۱۴-۱۶-۱۷-۲۵-۲۹-۳۵-۳۶-۳۸ (۱۲) ۶-۱۰	مجموع
	۳۸	۳۸	

جدول ۱۰- مقایسه نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی به‌وسیله روش FCM و HCA

شبهات	طبقه‌بندی با متغیرهای فیزیکی	طبقه‌بندی با متغیرهای هیدرواقليمی	خوشه	روش طبقه‌بندی
۳	۱-۲-۴-۲۱-۳۰ (۵)	۱-۲-۳-۴ (۴)	۱	
۴	۳-۷-۱۵-۱۸-۱۹-۲۰-۲۲-۲۳-۲۶ (۹)	-۶-۷-۸-۹-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۲۲ (۱۱)	۲	
۷	-۱۱-۲۴-۲۷-۲۸-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۷ (۱۲)	۵	۳	FCM
۳	۵-۸-۹	-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷-۳۸ (۱۴)	۴	
۱۷	-۱۳-۱۴-۱۶-۱۷-۲۵-۲۹-۳۵-۳۶-۳۸ (۱۲)	۱۱-۱۲-۲۵-۲۶-۲۷-۳۰	مجموع	
۳	۶-۱۰-۱۲	۱۰-۱۳-۱۹-۲۰-۲۱-۲۳-۲۴-۲۸-۲۹ (۹)	۱	
۵	۳۸	۳۸	۲	
۰	۱-۲-۴-۲۱-۳۰ (۵)	۱-۲-۳-۴ (۴)	۳	HCA
۱۱	-۶-۷-۱۵-۱۸-۱۹-۲۰-۲۲-۲۳-۲۶-۲۸ (۱۱)	-۱۳-۱۵-۱۶-۱۷-۱۹-۲۲-۲۳-۲۴ (۱۳)	۴	
۱۹	۳	۵-۷-۸-۹-۱۰	مجموع	
	۱۱-۳۱ (۲)	۶-۱۴-۱۸ (۳)		
	-۲۷-۲۹-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷-۳۸ (۲۰)	-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷-۳۸ (۱۸)		
	۵-۸-۹-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴-۱۶-۱۷-۲۴-۲۵	۱۱-۱۲-۲۰-۲۱-۲۵-۲۶-۲۷-۲۸-۲۹-۳۰		
	۳۸	۳۸		

فیزیکی وجود ندارد، بنابراین، استفاده از ترکیب پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی برای طبقه‌بندی منطقی به نظر می‌رسد. جدول ۱۱ نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با ترکیب پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی انتخابی به‌وسیله روش‌های FCM و HCA را نشان می‌دهد. در هر دو روش خوشه اول شامل چهار

نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با ترکیب پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی انتخابی: با توجه به این که طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها به‌وسیله پارامترهای اقلیمی و فیزیکی نتایج چندان مشابهی نداشت و از طرفی هیچ ارجحیتی برای پذیرش نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها به‌وسیله پارامترهای هیدرواقليمی یا پارامترهای

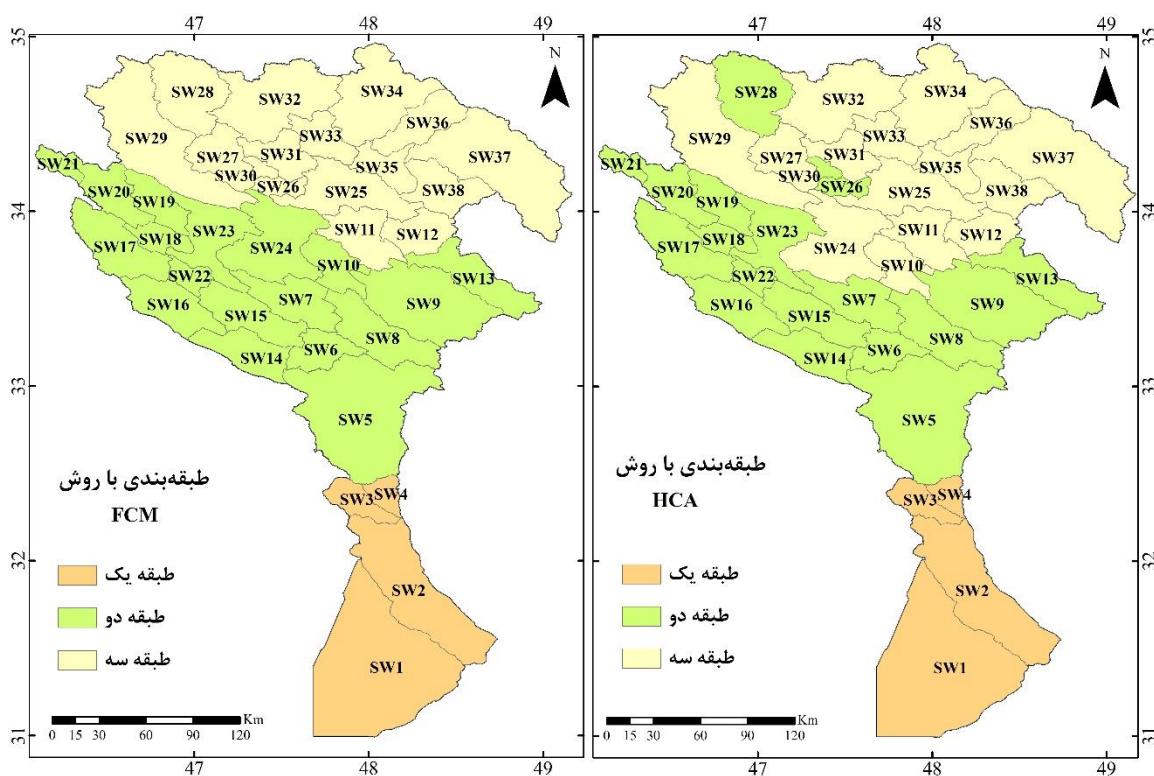
۲۴ در دو روش طبقه‌بندی در خوشه‌های متفاوت قرار گرفته‌اند (جدول ۱۱ و شکل ۲).

شکل ۲، همگن‌بندی زیرحوضه‌های کرخه به شیوه تحلیل فازی (FCM) و سلسله مراتبی (HCA) بر اساس ترکیبی از متغیرهای فیزیکی و هیدرواقليمی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، مناطق شمالی در طبقه سه، مناطق مرکزی (از شرق تا غرب) در طبقه دو و مناطق جنوبی حوضه در طبقه یک قرار گرفته‌اند. بنابراین، با توجه به شکل ۲، مناطق همگن هیدرواقليمی حوزه آبخیز کرخه مشخص شد.

زیرحوضه مشابه هست (زیرحوضه‌های ۱-۲-۳-۴). در خوشه دو در روش FCM و HCA به ترتیب ۱۸ و ۱۹ زیرحوضه قرار گرفته‌اند که تعداد زیرحوضه‌های مشابه ۱۶ عدد است. در خوشه سه به ترتیب ۱۶ و ۱۵ زیرحوضه در روش FCM و HCA حضور دارند که ۱۳ حوضه مشابه در دو روش اختصاص یافته شده است. به‌طور کلی در استفاده از ترکیب پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی تعداد ۳۳ زیرحوضه از ۳۸ زیرحوضه در دو روش FCM و HCA در خوشه‌های مشابه قرار گرفته‌اند. زیرحوضه‌های ۲۶، ۲۸، ۳۰، ۱۰ و

جدول ۱۱- نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با ترکیب پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی به‌وسیله روش‌های FCM و HCA

خوشه	FCM	HCA	شبهات FCM و HCA
۱	۱-۲-۳-۴ (۴)	۱-۲-۳-۴ (۴)	۴
۲	۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۴ (۱۸)	۱۹-۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۴-۲۵-۲۶-۲۷-۲۸-۲۹-۳۰ (۱۹)	۱۶
۳	۵-۶-۷-۸-۹-۱۰-۱۳-۱۴ (۱۶)	۱۱-۱۲-۱۳-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷ (۱۷)	۱۳
مجموع	۳۸	۳۸	۳۳



شکل ۲- همگن‌بندی زیرحوضه‌های کرخه به شیوه تحلیل فازی (FCM) و سلسله مراتبی (HCA) بر اساس ترکیبی از متغیرهای فیزیکی و هیدرواقليمی

نتیجه‌گیری

رویکرد ارائه شده در این تحقیق، کاربرد متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی در یک ناحیه وسیع برای طبقه‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز کرخه بوده است. پس از استخراج خصوصیات اقلیمی، هیدرولوژیکی و فیزیکی حوضه‌ها، با استفاده از روش فازی و سلسله مراتبی، ۳۸ زیرحوضه مطالعاتی طبقه‌بندی شدند. برای دستیابی به تعداد مناطق همگن، در روش سلسله مراتبی از تابع دیویس-بولدین و در روش فازی از توابع ارزیابی ضریب‌افراز و آنتروپی‌افزار استفاده شد و تعداد بهینه حوضه‌ها با توجه به مقادیر شاخص‌های ارزیابی تعیین شد. نتایج نشان داد که تعداد حوضه‌های بهینه در روش‌های FCM و HCA با هم برابر هستند ولی نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها در دو روش در هر حوضه متفاوت است. به طوری که در استفاده از متغیرهای هیدرواقليمی بیشینه شباهت طبقه‌بندی برابر با ۲۵ حوضه و برای متغیرهای فیزیکی برابر با ۲۷ حوضه است. این در حالی است که در روش طبقه‌بندی ترکیبی با استفاده از متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی تعداد حوضه‌هایی که در دو روش به طور مشابه طبقه‌بندی شده‌اند، برابر با ۳۳ حوضه می‌باشد. در استفاده جداگانه از متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی تعداد حوضه بهینه در هر دو روش FCM و HCA برابر با چهار است. این در حالی است که تعداد حوضه بهینه در استفاده ترکیبی از متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی انتخابی (متغیرهای انتخابی با روش PCA) برابر با سه حوضه است. نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با پارامترهای هیدرواقليمی در مقایسه با پارامترهای فیزیکی آشکار کرد که در روش FCM تعداد ۱۷ زیرحوضه در گروه‌های مشابه قرار گرفته‌اند. در حالی که در روش HCA شباهت طبقه‌بندی به وسیله پارامترهای هیدرواقليمی با فیزیکی تعداد ۱۹ زیرحوضه است.

با توجه به این که طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها به وسیله پارامترهای اقلیمی و فیزیکی نتایج چندان مشابهی نداشت و از طرفی هیچ ارجحیتی برای پذیرش نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها به وسیله پارامترهای هیدرواقليمی یا پارامترهای فیزیکی وجود ندارد، بنابراین، استفاده از ترکیب پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی منطقی به

نظر می‌رسد. نتایج طبقه‌بندی حوضه‌ها با ترکیب پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی به وسیله روش‌های FCM و HCA نشان داد که تنها زیرحوضه‌های ۲۶، ۲۸، ۳۰، ۱۰ و ۲۴ در دو روش طبقه‌بندی در حوضه‌های متفاوت قرار گرفته‌اند. در هر دو روش حوضه اول شامل چهار زیرحوضه مشابه هست (زیرحوضه‌های ۱-۲-۳-۴). در حوضه دو در روش FCM و HCA به ترتیب ۱۸ و ۱۹ زیرحوضه قرار گرفته‌اند که تعداد زیرحوضه‌های مشابه ۱۶ عدد است. در حوضه سه به ترتیب ۱۶ و ۱۵ زیرحوضه در روش FCM و HCA حضور دارند که تعداد ۱۳ حوضه مشابه در دو روش اختصاص یافته شده است. به طور کلی در استفاده از ترکیب پارامترهای هیدرواقليمی و فیزیکی تعداد ۳۳ زیرحوضه از ۳۸ زیرحوضه در هر دو روش FCM و HCA در حوضه‌های مشابه قرار گرفته‌اند. همگن‌بندی زیرحوضه‌های کرخه به شیوه تحلیل فازی (FCM) و سلسله مراتبی (HCA) بر اساس ترکیبی از متغیرهای فیزیکی و هیدرواقليمی مشخص کرد که مناطق شمالی در طبقه سه، مناطق مرکزی (از شرق تا غرب) در طبقه دو و مناطق جنوبی حوضه در طبقه یک قرار گرفته‌اند.

نتایج این مطالعه نشان داد که تلفیق متغیرهای هیدرواقليمی و فیزیکی می‌تواند رویکرد مناسبی برای تعیین مناطق همگن به خصوص در مناطق وسیع جغرافیایی باشد. در واقع وجود سه گروه همگن برای حوضه‌های آبخیز در منطقه مورد پژوهش، گویای تنوع و تفاوت شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی آن‌ها است. به طور ذاتی این زیرحوضه‌ها به هم شبیه بوده و از نظر آبخیزداری عملیات حفاظتی یکسانی را نیز می‌طلبند از این رو همان‌طور که McDonnell و Woods (۲۰۰۴)، Wagener و همکاران (۲۰۰۷) و Ataei و Shiran (۲۰۰۸) بیان کردند این نوع طبقه‌بندی اجرای عملیات مدیریتی و حفاظتی، در مناطق با ویژگی‌های مشابه را ساده‌تر می‌کند. در نهایت سه گروه پیشنهاد شده در این مطالعه می‌تواند به منظور اجرای عملیات حفاظتی به وسیله مدیران و برنامه‌ریزان اولویت‌بندی شده و تصمیم‌گیری‌ها بر اساس اولویت‌ها به مرحله اجرا درآیند.

منابع مورد استفاده

1. Ataei, H. and M. Shiran. 2008. Identifying homogeneous hydrological basins base on effective geomorphologic variants on flood by cluster analysis Introduction. *Geography and Environmental Planning*, 22 (2): 79-98 (in Persian).
2. Babae, G. and A. Feizi. 2005. Fuzzy classification of Iran provinces based on health and demographic indices. *Hakim*, 7(4): 1-6 (in Persian).
3. Bezdek, J.C. 1974. Cluster validity with fuzzy sets. *Journal of Cybernetics*, 3: 58-73.
4. Bloeschl, G. 2009. The PUB report-gauging the status of predictions in ungauged catchments. In *AGU Fall Meeting Abstracts*, 1: 1-10.
5. Bormann, H. 2010. Towards a hydrologically motivated soil texture classification. *Geoderma*, 157(3): 142-153.
6. Carrillo, G., P.A. Troch, M. Sivapalan, T. Wagener, C. Harman and K. Sawicz. 2011. Catchment classification: hydrological analysis of catchment behavior through process-based modeling along a climate gradient. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(11): 3411-3430.
7. Castellarin, A., D.H. Burn and A. Brath. 2008. Homogeneity testing: How homogeneous do heterogeneous cross-correlated regions seem? *Journal of Hydrology*, 360(1): 67-76.
8. Cavadias, G.S., T.B. Ouarda, B. Bobée and C. Girard. 2001. A canonical correlation approach to the determination of homogeneous regions for regional flood estimation of ungauged basins. *Hydrological Sciences Journal*, 46(4): 499-512.
9. Chiang, S.M., T.K. Tsay and S.J. Nix. 2002a. Hydrologic regionalization of watersheds I: methodology development. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 128: 3-11.
10. Chiang, S.M., T.K. Tsay and S.J. Nix. 2002b. Hydrologic regionalization of watersheds II: applications. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 128: 12-20.
11. Choubin, B., S. Khalighi-Sigaroodi, A. Malekian, S. Ahmad and P. Attarod. 2014. Drought forecasting in a semi-arid watershed using climate signals: a neuro-fuzzy modeling approach. *Journal of Mountain Science*, 11(6): 1593-1605.
12. Coulibaly, P. and D.H. Burn. 2005. Spatial and temporal variability of Canadian seasonal streamflows. *Journal of Climate*, 18(1): 191-210.
13. Dooge, J.C. 1986. Looking for hydrologic laws. *Water Resources Research*, 22(9S).
14. Forest, Range and Watershed Management organization (FRWO), IR of Iran. 2013. Justification methodology for Watershed management studies (in Persian).
15. Ghiasi, N., M. Arabkhedri and A. Ghafari. 2004. Survey on the effect of some morphometric characteristic of basins on preak discharge with different return periods, case study north Albers basins. *Pajouhesh and Sazandegi*, 62: 2-10 (in Persian).
16. Gottschalk, L. 1985. Hydrological regionalization of Sweden. *Hydrological Sciences Journal*, 30(1): 65-83.
17. He, Q. 1999. A review of clustering algorithms as applied in IR. *Graduate School of Library and Information Science University of Illinois at Urbana-Campaign*, 6: 1-33.
18. Kahya, E., S. Kalayc and T.C. Piechota. 2008. Streamflow regionalization: case study of Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(4): 205-214.
19. McDonnell, J.J. and R. Woods. 2004. On the need for catchment classification. *Journal of Hydrology*, 299(1): 2-3.
20. McIntyre, N., H. Lee, H. Wheeler, A. Young and T. Wagener. 2005. Ensemble predictions of runoff in ungauged catchments. *Water Resources Research*, 41(12): W12434.
21. Ministry of Energy. 2004. Studies of hydroelectric power design and mapping potential in the deze, Karun and Karkheh watersheds. *Basic Studies of Karkhe Watershed: Meteorologists. Volumes 2-5* (in Persian).
22. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resources Research*, 26(7): 1465-1473.
23. Raju, K.S. and D.N. Kumar. 2011. Classification of micro watersheds based on morphological characteristics. *Journal of Hydro-Environment Research*, 5: 101-109.
24. Raju, K.S. and D.N. Kumar. 2011. Classification of microwatersheds based on morphological characteristics. *Journal of Hydro-Environment Research*, 5(2): 101-109.
25. Rao, A.R. and V.V. Srinivas. 2006. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology*, 318(1): 37-56.
26. Razavi, T. and P. Coulibaly. 2013. Classification of Ontario watersheds based on physical attributes and stream flow series. *Journal of Hydrology*, 493: 81-94.
27. Sawicz, K., T. Wagener, M. Sivapalan, P.A. Troch and G. Carrillo. 2011. Catchment classification: empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(9): 2895-2911.

28. Sivapalan, M., K. Takeuchi, S.W. Franks, V.K. Gupta, H. Karambiri, V. Lakshmi and T. Oki. 2003. IAHS decade on predictions in ungauged basins, 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. *Hydrological Sciences Journal*, 48(6): 857-880.
29. Telvari, A., B. Khedri Tazhan and S.H.R. Sadeghei. 2004. Application of fuzzy logic in priority watershed management practices in the Shahrestanak Watershed, Karaj, Iran. *Proceedings of the 1st International Conference on Water Resources Management, Tehran University* (in Persian).
30. Wagener, T., M. Sivapalan, P. Troch and R. Woods. 2007. Catchment classification and hydrologic similarity. *Geography Compass*, 1(4): 901-931.
31. Zare Chahooki, M.A. 2010. Analysis of the data in the study of natural resources with the software SPSS. *SID Publications*, 2: 171-161 (in Persian).