تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
Volume 15, No. 1, Spring 2019 (IR-WRR)
۲۲۳-۲۳۵

تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی در غرب حوضه هامون-جازموریان

افشین جهانشاهی[۱]، کاکا شاهدی[۲*]، کریم سلیمانی[۳] و علیرضا مقدم‌نیا[۴]

چکیده

تشابه هیدرولوژیکی استخراج شده از چگونگی عکس‌العمل مشابه حوضه‌ها نسبت به ورودی بارش، اساس طبقه‌بندی حوضه‌ها برای انتقال اطلاعات، درک و فهم هیدرولوژیکی و همچنین پی‌بردن به تأثیرات بالقوه تغییرات محیطی می‌باشد. خصوصیات گسترده هیدرولوژیکی در دسترس (داده‌های بارش، دما، جریان و مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌ها) می‌توانند برای استخراج حوضه‌های مشابه هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق از یک الگوریتم خوشه‌بندی در روش تحلیل خوشه‌ای به عنوان یک روش جدید و کارامد، برای گروه‌بندی حوضه‌های آبخیز به چندین گروه یا خوشه استفاده شد. به منظور درک تشابه هیدرولوژیکی از ۲۸ ویژگی (توصیف‌گر) موقعیت جغرافیایی، فیزیوگرافی، اقلیمی و کاربری اراضی مربوط به ۱۵ حوضه با خصوصیات ناهمگن واقع در بخش غربی حوضه هامون-جازموریان استفاده شد. در محیط نرم‌افزار RStudio با استفاده از الگوریتم PCA مؤلفه‌ها و ویژگی‌های اصلی تعیین، سپس تعداد خوشه‌های بهینه با معیار دیویس-بولدین مشخص و با الگوریتم k-means حوضه‌ها به کلاس‌های همگن خوشه‌بندی گردیدند. نتایج نشان داد که ویژگی‌های عرض جغرافیایی مرکزثقل، مساحت، طول رودخانه اصلی، ارتفاع ایستگاه آبسنجی، شیب و درصد مساحت مراتع فقیر به عنوان ویژگی‌های اصلی از بین ۲۸ ویژگی می‌باشند، همچنین معیار دیویس-بولدین برای تعداد خوشه‌های برابر با ۳، مقدار ۲/۴۶ بدست آمد که مبین تعداد خوشه‌ها در الگوریتم k-means می‌باشد. پس از خوشه‌بندی حوضه‌ها مشخص گردید که اکثر حوضه‌های موجود در خوشه‌های یکسان از نظر مکانی در مجاورت یکدیگر قرار دارند. نتایج حاصل از این تحقیق ما را قادر به تفسیر رفتار هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی برای اهدافی نظیر تعمیم‌دهی جریان در حوضه‌های فاقد آمار این منطقه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب می‌سازد.

کلمات کلیدی: خوشه‌بندی، الگوریتم k-means، الگوریتم PCA، معیار دیویس-بولدین.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۳/۲۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۸/۱۵

Determination of Hydrological Homogenous Regions in the West of Hamoun-Jazmourian River Basin

A. Jahanshahi [1], K. Shahedi [2] , K. Solaimani [3] and A. Moghaddamnia [4]*

Abstract

Extracted hydrological similarity, derived from the catchments' similar reaction to the input rainfall, is the basis for classification of catchments for the transfer of information, hydrological understanding and as well as understanding the potential impacts of environmental changes. Extensive available hydrological characteristics (precipitation, temperature, streamflow data and physiographic attributes of catchments) can be used to extract hydrological similar catchments. In this research cluster analysis, as a new and effective method, was used for grouping catchments into several groups or clusters. In order to understand the hydrologic similarity, 28 characteristics (descriptors) of location, physiographic, climatic, and land use of 15 catchments with heterogeneous characteristics located in the western part of the Hamoun-Jazmourian river basin were used. Selection of characteristics was done based on the hydrological response specification which provided insight into the hydrologic performance of the catchments. The components and main characteristics were extracted in RStudio software, using PCA algorithm and then the number of optimum clusters was determined against the Davies-Bouldin criterion and the clustering of the catchments into homogenous classes was performed using k-means algorithm. The results showed that the latitude of gravity center, area, length of main river, height of hydrometric gauge, slope and percentage of poor rangelands are the main attributes out of 28 attributes. Also, the Davies-Bouldin criterion was 2.46 for the number of clusters equal to 3, which indicated the number of clusters in the k-means algorithm. After clustering the catchments, it was determined that most of the catchments in the same clusters are located in the vicinity of each other. The results of this study enable us to interpret the hydrologic behavior in the study area for purposes such as streamflow regionalization in ungauged catchments of this region and regional flood frequency analysis.

Keywords: Clustering, K-means Algorithm, PCA Algorithm, Davies-Bouldin Criterion.

Received: June 18, 2018
Accepted: November 6, 2018

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۳- استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۴- دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
*- نویسنده مسئول

1- Ph.D. Student of Watershed Management, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: afshin.jahanshahi@yahoo.com
2- Associate Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3- Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4- Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran.
*- Corresponding Author

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

خوشه‌بندی اطلاعات و منابع اطلاعاتی یکی از راهکارهای مؤثر در ساماندهی اطلاعات به شمار می‌آید. با انجام فرآیندهای خوشه‌بندی اطلاعات، حیطه گسترده‌ای از داده‌های پراکنده در گروه‌های مدون و سازمان یافته قرار می‌گیرند. گروه‌های متعدد ایجاد شده، با برخورداری از ویژگی‌های مشترک درون هر گروه، دارای ارتباط ارگانیک و ساختاری با یکدیگر هستند (Mohammadalipour and Doroudi, 2010). یکی از کاربردهای مؤثر و سودمند خوشه‌بندی در علم هیدرولوژی، استخراج حوضه‌های آبخیز همگن می‌باشد. با وجود درجه منحصربفرد بودن و پیچیدگی که هر حوضه آبخیز نشان می‌دهد (Beven, 2000)، به طور کلی فرض می‌گردد که برخی سطوح سازمان‌دهی و در نتیجه یک درجه قابل پیش‌بینی رفتار تابعی (عملکردی) از حوضه وجود دارد (Dooge, 1986). منحصر به فرد بودن حوضه‌ها موفقیت در تعمیم‌دهی هیدرولوژیکی را محدود می‌سازد، اما استفاده طولانی مدت از روش‌های آماری در هیدرولوژی پیشنهاد می‌کند که برخی از انتقال اطلاعات امکان‌پذیر می‌باشد. در علم هیدرولوژی تاکنون یک سیستم طبقه‌بندی مشترک ایجاد نشده است که دارای نظم و ساختار برای استفاده در واحدهای مکانی ناهمگن در سطوح جهانی (Wagner et al., 2007; McDonell and Woods, 2004) و گروه‌بندی حوضه‌های مشابه هیدرولوژیکی با مفاهیمی برای تئوری هیدرولوژیکی، مشاهدات و مدل‌سازی را فراهم آورد (Guepta et al., 2008; McMillan et al., 2010,). در این زمینه روش‌های متعددی برای منطقه‌بندی حوضه‌های آبخیز و یافتن مناطق همگن هیدرولوژیک توسعه یافته‌اند که شباهت بین مناطق را از طریق آزمودن ویژگی‌های[1] حوضه مانند مشخصات فیزیوگرافی، موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های هواشناسی، مشخصات زمین‌شناسی و ویژگی‌های سیلاب و غیره جست و جو می‌کنند. تمامی روش‌های منطقه‌بندی مزیت‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارد. با این وجود، به دلیل محدودیت‌های ناشی از کمبود داده‌ها و تاثیر قضاوت‌های ذهنی در انتخاب مشخصات، وزن‌ها، مقادیر آستانه و شاخص‌های فاصله، هیچ معیار قطعی که توسط آن برتری هر یک از روش‌های منطقه‌بندی بتواند به روشنی بیان شود، وجود ندارد (Rao and Srinivas, 2008). تحلیل خوشه‌ای[2] یک روش آماری چند متغیره است که به منظور تحقیق، تفسیر و دسته‌بندی داده‌های موجود در گروه‌های مشابه یا خوشه‌هایی که می‌توانند هم‌پوشانی داشته باشند یا نداشته باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. تحلیل خوشه‌ای که مبتنی بر داده‌های کمی است، با توجه به این که این داده‌ها قابل اندازه‌گیری و محاسبه می‌باشند، بنابراین نتیجه به دست آمده از این روش‌ها، دقیق‌تر و از اعتماد بیشتری برخوردار هستند (Zareh Chahouki, 2014). از کاربردهای این نوع تحلیل خوشه‌ای می‌توان به روش‌های منطقه‌بندی مبتنی بر آن اشاره کرد که می‌توانند در تشخیص گروه‌های همگن که فرآیند تولید سیلاب مشابهی دارند، نقش مؤثری ایفا کنند (Razavi and Coulibaly, 2013). علاوه بر این، همه زیرحوضه‌ها ممکن است به عملیات حفاظتی مشابهی نیاز نداشته باشند، لذا به جای تحلیل تک تک زیرحوضه‌ها برای احیاء و همچنین اقدامات آبخیزداری، زیرحوضه‌های مشابه در گروه‌های یکسان طبقه‌بندی شده و لذا می‌توان برنامه‌های حفاظتی را برای یکی از زیرحوضه‌ها انجام داد و برای سایر زیرحوضه‌های هم گروه تجویز کرد (Srinivasa and Nagesh, 2011). استفاده از تحلیل خوشه‌بندی در فرآیندهای هیدرولوژی از دیرباز مورد توجه هیدرولوژیست‌ها بوده است بطوریکه محققان زیادی به بررسی و مطالعه در این زمینه پرداخته‌اند از جمله: Ataei and Shiran (2011) به شناسایی زیرحوضه‌های هیدرولوژیکی همگن با بکارگیری ۱۳ ویژگی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که روش سلسله مراتبی زیرحوضه‌ها را بهتر تفکیک نموده است. Rezaei (2011) به منظور تحلیل منطقه‌ای آبدهی سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف در تعدادی از زیرحوضه‌های سد سفیدرود بر اساس ویژگی‌های فیزیوگرافی و بارندگی سالانه، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی را انجام داد. نتایج نشان داد که انجام عمل خوشه‌بندی مؤثر نمی‌باشد. در تحقیقی Shahsavan et al. (2015) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و با بکارگیری الگوریتم k-means در محیط نرم‌افزار R به استخراج نواحی همگن در ۳۴ حوضه از حوضه‌های سدهای رودبار و بختیاری واقع در استان لرستان پرداختند. در تحقیقی Mehri et al. (2016) از داده‌های دبی، دبی پایه، شاخص جریان پایه[3]، کاربری اراضی، متوسط بارش و چهار متغیر فیزیکی به منظور خوشه‌بندی با استفاده از دو تکنیک خوشه‌بندی k-means و سلسله مراتبی ۲۲ حوضه در استان اردبیل استفاده کردند. مطالعه Acreman and Sinclair (1986) جزء اولین مطالعات خوشه‌بندی در علم هیدرولوژی می‌باشد. آن‌ها به منظور انجام تحلیل منطقه‌ای سیلاب از الگوریتم خوشه‌بندی چندمتغیره NORMIX در ۲۶ حوضه در اسکاتلند با استفاده از ۱۰ ویژگی نواحی همگن برای انجام تحلیل منطقه‌ای سیلاب را استخراج کردند. Burn and Goel (2000) در منطقه‌ای از هند با استفاده از ویژگی‌های مساحت، طول و شیب آبراهه اصلی، الگوریتم k-means را به منظور استخراج مناطقی برای اجرای تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب، بکار بردند. Jingyi and Hall (2004) روش‌های جغرافیایی[4]، روش خوشه‌بندی وارد[5]، روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای فازی و روش شبکه عصبی کوهونن[6] را برای ۸۶ منطقه، در جنوب چین استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی کوهونن نتیجه بهتری را در تعیین مناطق همگن نسبت به بقیه روش‌ها

ارائه می‌دهد. Srinivasa and Nagesh (2011) برای طبقه‌بندی ایستگاه‌های هواشناسی در هند از سه تکنیک طبقه‌بندی تجزیه و تحلیل خوشه‌ای فازی، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به روش چند میانگینی و شبکه عصبی کوهونن استفاده کـــردند. در تحقیقی Segane et al. (2012) به منظور مقایسه عملکرد چهار گروه متغیر شامل جغرافیایی، هیپسومتری، متغیرهای مبتنی بر بعضی الگوریتم‌های انتخابی و متغیرهای مبتنی بر تحلیل مولفه اساسی در منطقه میانی آتلانتیک در آمریکا را با استفاده الگوریتم k-means خوشه‌بندی کردند. در تحقیقی Razavi (2014) به منظور تعمیم‌دهی جریان در حوضه‌های فاقد آمار تعداد ۹۰ حوضه در اونتاریو کانادا را با استفاده از پنج شاخص نسبت رواناب، شیب منحنی تداوم جریان[۷]، شاخص آب پایه[۸]، الاستیسیته آبراهه[۹] و نسبت روز برفی را که توسط Swicz et al. (2011) پیشنهاد شده‌اند را با استفاده از الگوریتم k-means و تحلیل مولفه اساسی خوشه‌بندی کردند. در تحقیقی Li et al. (2018) به منظور نشان دادن رفتار هیدرولوژیکی با هدف تعمیم-دهی جریان اقدام به خوشه‌بندی ۱۵ حوضه در دو منطقه یانگ‌تسه[۱۰] و روخانه زرد[۱۱] در چین کردند. آن‌ها با استفاده از روش k-means مناطق مورد مطالعه را به چهار خوشه همگن دسته‌بندی کردند و نتایج نشان داد که حوضه‌های موجود در خوشه‌های یکسان دارای نتایج نزدیک به هم در تعمیم‌دهی جریان در حوضه‌های فاقد آمار می‌باشند.

منطقه مورد مطالعه بخش غربی حوضه هامون-جازموریان می‌باشد که دارای ۱۵ ایستگاه آبسنجی فعال بوده و در استان کرمان واقع شده است. این منطقه به علت وسعت زیاد جهت اجرای عملیات حفاظتی و اصلاحی آب و خاک، نیازمند اعتبارات لازم و صرف زمان زیادی می‌باشد. همچنین دیگر مشکل این منطقه با توجه به وسعت بالا و سیل‌خیز بودن (حوضه جیرفت)، نبود تعداد کافی ایستگاه آبسنجی می‌باشد. بنابراین هدف از تحقیق حاضر همگن‌بندی زیرحوضه‌های موجود در این منطقه می‌باشد، بطوریکه بتوان زیرحوضه‌هایی که از نظر برخی از ویژگی‌ها به هم شباهت ذاتی دارند را با استفاده از تکنیک‌هایی در گروه‌های مشابه طبقه‌بندی کرد. از این رو حوضه‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر ویژگی‌های استفاده شده در گروه‌بندی، اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود ندارد. به این ترتیب می‌توان عملیات حفاظتی و آبخیزداری و هر گونه عملیات اصلاحی را در یکی از زیرحوضه‌ها که شرایط نامناسب‌تری را نسبت به دیگر حوضه‌ها دارند، انجام داد و در نهایت این عملیات را به زیرحوضه‌های هم گروه تجویز کرد که این کار سبب کاهش حجم داده‌ها، سبب صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های اجرای عملیات اصلاحی در این منطقه می‌گردد. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند کاربردهای دیگری از جمله تعمیم‌دهی جریان در حوضه‌های فاقد آمار (فاقد ایستگاه آبسنجی) و همچنین تحلیل فراوانی سیل داشته باشد. از این رو، در این تحقیق اقدام به استخراج مناطق همگن هیدرولوژیکی با استفاده الگوریتم خوشه‌بندی k-means از طریق ۲۸ ویژگی مربوط به ۱۵ زیرحوضه موجود در بخش غربی حوضه هامون-جازموریان واقع در استان کرمان گردید که چنین مطالعه‌ای تاکنون در این حوضه و در این استان انجام نشده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز هامون-جازموریان با وسعتی حدود ۶۹۳۷۴/۸ کیلومترمربع یکی از حوضه‌های مرکزی می‌باشد که بین مختصات ´۱۵ °۵۶ الی ´۲۳ °۶۱ طول شرقی و ´۲۸ °۲۶ الی ´۳۰ °۲۹ عرض شمالی در جنوب کشور از دریاچه هامون در استان سیستان و بلوچستان تا رشته کوه‌های هزار تا قسمت غربی استان کرمان واقع شده است. بخش غربی این حوضه که در استان کرمان واقع شده است دارای ۱۵ ایستگاه آبسنجی فعال می‌باشد و خروجی این حوضه‌ها به تالاب جازموریان می‌ریزند. حداکثر و حداقل ارتفاع این حوضه‌ها به ترتیب ۲۴۶۰ و ۵۴۰ متر از سطح دریا می‌باشد، مساحت ارتفاعات و دشت به ترتیب ۵۵/۳ و ۴۴/۷ درصد این منطقه را تشکیل می‌دهند. این حوضه دارای دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. میانگین بارش سالانه در دوره ۳۰ ساله از سال ۶۵-۱۳۶۴ تا ۹۵-۱۳۹۴ از مقدار ۲۳۶/۹ در ایستگاه سینوپتیک بافت تا ۱۱۲/۵ در ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر متفاوت می‌باشد (Water Resources Investigation, 2016). حوضه جیرفت یکی از حوضه‌های حاصلخیز و وسیع در این محدوده می‌باشد که شهر جیرفت در آن واقع شده است، این حوضه طی دو دهه اخیر خسارت‌های زیادی از سیلاب را متحمل شده است (Sarhadi et al., 2011; Sarhadi, 2008). شکل ۱ موقعیت این حوضه‌ها در غرب حوضه هامون-جازموریان را نشان می‌دهد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق دو دسته می‌باشند که داده‌های اقلیمی از شرکت سهامی آب منطقه‌ای، اداره هواشناسی کرمان و شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه، خصوصیات فیزیوگرافی از نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های با فرمت GIS مربوط به مرز حوضه‌ها و کاربری اراضی از نقشه کاربری اراضی (استخراج شده توسط سازمان فضایی ایران) استخراج گردیدند. در این منطقه ۱۹ ایستگاه آبسنجی وجود دارد که از این تعداد، ۱۵ ایستگاه فعال می‌باشند و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. مشخصات ایستگاه‌ها و حوضه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

Table 1- Characteristics of the investigated catchments and streamflow gauges

جدول ۱- مشخصات حوضه‌ها و ایستگاه‌های آبسنجی مورد بررسی

Row	Streamflow gauge	Catchment	River	Code of plain	Code of gauge	Lat	Long	Area (Km^2)
1	Koldan	Jiroft	Dalfard	4503	44-027	28-55	57-40	189.18
2	Zarin		Saghdar		44-029	28-54	57-47	350.55
3	Dehroud		Shour		44-009	28-51	57-45	1265.86
4	Hosseinabad		Halil		44-007	28-47	57-32	379.65
5	Kahnak				44-011	28-18	57-46	4612.15
6	Kenarouieh	Ramoon		4505	44-115	28-52	57-14	853.09
7	Ghalehrigi		Ramoon	4504	44-107	28-55	57-24	277.9
8	Bonboland	Sarab	Sarmoshk	4512	44-375	29-17	57-04	206.66
9	Kavoosabad		Morteza		44-253	29-14	57-03	518.14
10	Meidan				44-111	29-10	57-00	680.92
11	Cheshmeharoos	Rabor	Rabor	4511	45-105	29-18	56-52	80.19
12	Hanjan		Roodar		44-053	29-15	56-57	228.55
13	Polbaft	Baft	Baft	4508	45-001	29-14	56-37	269.34
14	Tighsiah	Roodbar	Aghin	4501	44-035	28-25	58-17	48.65
15	Soltani	Soltani	Soltani	4510	45-003	29-05	56-32	881.73

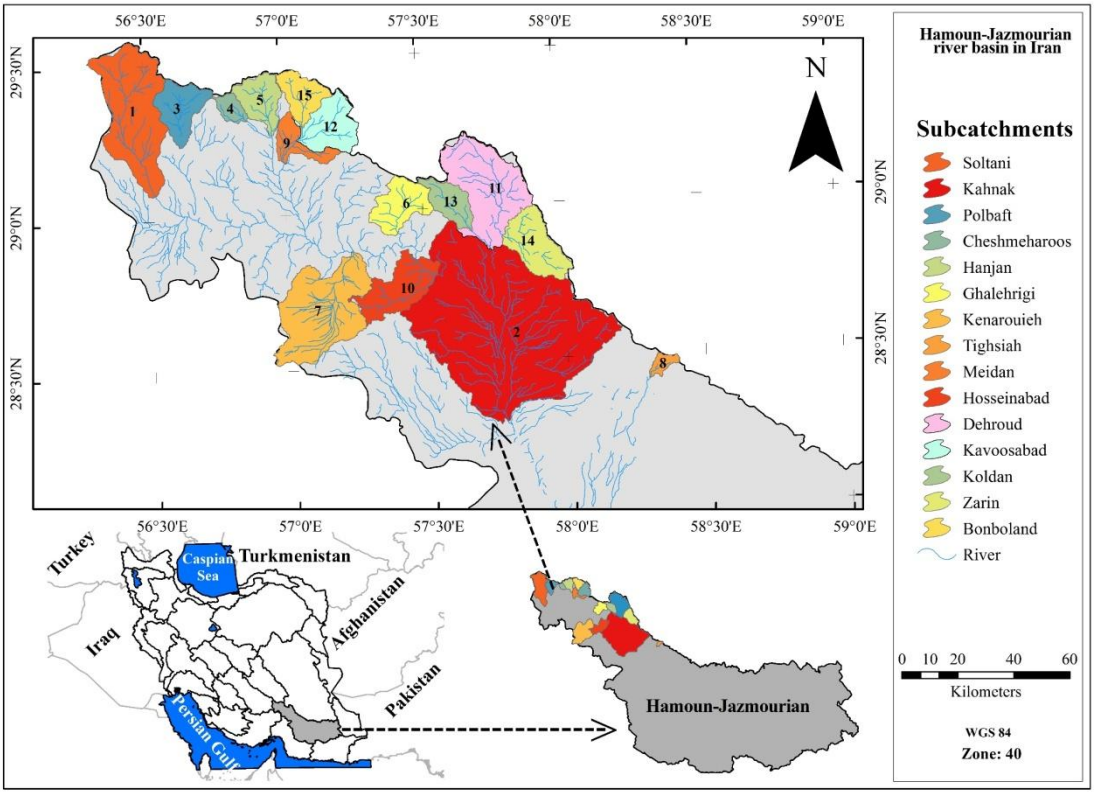

Fig. 1- Location of Hamoun-Jazmourian river basin in Iran

شکل ۱- موقعیت حوضه هامون-جازموریان در ایران

۲-۲- روش تحقیق

در ابتدا نقشه‌های با فرمت GIS مربوط به مرز دشت‌های تفکیک شده مبتنی بر مرزبندی وزارت نیرو، از شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان تهیه گردید (Ministry of Energy, 2002). سپس تمامی ویژگی‌های موقعیت جغرافیایی (۲ ویژگی) و فیزیوگرافی (۱۱ ویژگی) از این نقشه‌ها استخراج گردید. در مرحله بعد پس از اخذ آمار و اطلاعات هواشناسی از سازمان‌های مذکور، ویژگی‌های اقلیمی (۵ ویژگی) از داده‌های دبی، بارش، دما و تبخیر و تعرق مربوط به

ایستگاه‌های موجود در حوضه‌ها در طی دوره ۳۰ ساله (از سال ۶۵-۱۳۶۴ تا ۹۵-۱۳۹۴) تعیین، ویژگی‌های کاربری اراضی (۹ ویژگی) از نقشه کاربری اراضی (Iran Space Agency, 2016) و همچنین ویژگی میانگین تعداد روزهای فاقد جریان بدست آمدند. ویژگی‌های موردنظر برای هر ۱۵ حوضه محاسبه و استخراج و سپس استاندارد[۱۲] شدند که در ادامه تشریح می‌گردد. در جدول ۲ ویژگی‌های مورد مطالعه ارائه شده است. در ادامه با استفاده از الگوریتم PCA شش ویژگی اصلی استخراج گردید. پس از تعیین این ویژگی‌ها از معیار دیویس-بولین برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها استفاده گردید سپس خوشه‌بندی آماری k-means بر اساس شش ویژگی صورت گرفت. تمامی این مراحل در نرم‌افزار RStudio نسخه ۱.۱.۴ انجام گردید.

۲-۳- تعیین الگوریتم مناسب برای خوشه‌بندی

در تحلیل خوشه‌ای دو روش جزء به جزء یا تجزیه‌ای و روش سلسله‌مراتبی به کار می‌رود. در این تحقیق از روش جزء به جزء استفاده شده است که در این روش به اجزا اجازه داده می‌شود تا در تکرار و مراحل مختلف به داخل یا خارج از گروه حرکت کنند. در این روش 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 بر اساس میانگین خوشه موقتی جایگزین شده تا جایی که میانگین خوشه‌ها تغییر نکند (Rao and Acreman and Sinclair, 1986 ;Srinivas, 2008). در این تحقیق از الگوریتم k-means (روش جزء به جزء یا سلسله‌مراتبی) (Hartigan and Wong, 1979) برای تشخیص مرزهای نمرات PCA استفاده شده است.

۲-۴- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

این روش یکی از روش‌های آماری چند متغیره می‌باشد که مجموعه‌ای از متغیرهای دارای همبستگی را به مجموعه‌ای خطی متفاوت از مولفه‌هایی که ناهمبسته‌اند، تبدیل می‌کند (MacQueen, 1967 ;Ghabaei Sough et al., 2017; Haykin, 1998). در این روش هر مؤلفه اصلی ترکیبی خطی از متغیرهای اصلی می‌باشد. تحلیل مولفه‌های اصلی از طریق تجزیه بردار ویژه ماتریس کوواریانس متغیرهای اصلی انجام می‌شود. متغیرهای پنهان بدست آمده بر اساس مقدار ویژه رتبه‌بندی می‌شوند. تحلیل مؤلفه اصلی بزرگترین بعد مکانی تشریح شده با ماتریس x به صورت معادله ۱ می‌باشد (Aguado et al., 2008):

$$X = TP^T + E \qquad (۱)$$

که در آن T: نمره ماتریس (مرکب از مولفه‌های اصلی)، P: ظرفیت (مرکب از بردارهای ویژه ماتریس کوواریانس) و E: ماتریس خطا (واریانسی در مدل وارد نشده است) می‌باشند. در این مطالعه تحلیل مؤلفه اصلی بر ویژگی‌های انتخابی (۲۸ ویژگی) حوضه‌های مورد مطالعه انجام گرفت. لازم به ذکر است که قبل از استفاده از الگوریتم PCA، ابتدا ویژگی‌های مورد بررسی میانگین محور شدند و به منظور یکسان نمودن اهمیت آن‌ها و از بین بردن مشکل ناهمگن بودن واحدهای آن‌ها، بین ۰ و ۱ مقیاس‌بندی شدند. فرمول مورد استفاده به منظور نرمال کردن داده‌ها برای هر ویژگی بصورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$Normalized\ (e_i) = \left[\frac{e_i - E_{min}}{E_{max} - E_{min}}\right] \qquad (۲)$$

که در آن e_i مقدار ویژگی هر حوضه، E_{max} : مقدار حداکثر ویژگی در حوضه‌ها و E_{min}: مقدار حداقل ویژگی در حوضه‌ها می‌باشند. بعد از استانداردسازی، همه ویژگی‌ها دارای میانگین صفر و واریانس واحد می‌باشند.

۲-۵- تحلیل خوشه‌ای با الگوریتم k-means

الگوریتم k-means توسط MacQueen (1967) توسعه یافته است و هر خوشه توسط مرکز خود که میانگین وزنی یا غیروزنی بردارهای مشخصه‌ی موجود در خوشه است، معرفی می‌شود (Ahani et al., 2013). این الگوریتم به دلیل کارایی خود در خوشه‌بندی مجموعه‌های بزرگ داده‌ها با ویژگی‌های عددی مشهور است. انتخاب اولیه مراکز خوشه‌ها به صورت بهینه، یکی از مسایل مهم در استفاده از این الگوریتم است (Ahani et al., 2013). نحوه عملکرد الگوریتم k-means دو مرحله می‌باشد، نخست بدست آوردن نقاطی به عنوان مراکز خوشه‌ها این نقاط در واقع همان میانگین نقاط متعلق به هر خوشه هستند. سپس نسبت دادن هر نمونه داده به یک خوشه که آن داده کمترین فاصله تا مرکز آن خوشه را دارا باشد (Hoshyarmanesh et al., 2013). در نوع ساده‌ای از این روش ابتدا به تعداد خوشه‌های مورد نیاز نقاطی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس در داده‌ها با توجه با میزان نزدیکی (شباهت) به یکی از این خوشه‌ها نسبت داده می‌شوند و بدین ترتیب خوشه‌های جدیدی حاصل می‌شود. با تکرار همین روال می‌توان در هر تکرار با میانگین‌گیری از داده‌ها مراکز جدیدی برای آن‌ها محاسبه کرد و مجدداً داده‌ها را به خوشه‌های جدید نسبت داد. این روند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که دیگر تغییری در داده‌ها حاصل نشود (MacQueen, 1967). تابع زیر (معادله ۳) به عنوان تابع هدف مطرح است:

$$J = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}\left\|x_i^{(j)} - c_j\right\|^2 \qquad (۳)$$

که $\|\ \|$ معیار فاصله بین نقطه iام با مرکز خوشه jام و c_j مرکز

خوشه زام می‌باشند.

۲-۶- انتخاب معیار مناسب به منظور استخراج خوشه‌های همگن

به منظور تعیین میزان تشابه بین حوضه‌ها و خوشه‌های همگن از معیارهای مختلفی در مطالعات خوشه‌بندی استفاده شده است. پر کاربردترین معیار، معیار فاصله اقلیدسی[۱۳] می‌باشد که فاصله معمولی بین دو نقطه است و توسط قضیه فیثاغورث به دست می‌آید و معادله آن به صورت معادله ۴ می‌باشد:

$$d(a,b) = \sqrt{(a_1-b_1)^2+(a_2+b_2)^2+\cdots+(a_n+b_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(a_i-b_i)^2} \quad (۴)$$

که در آن $d(a,b)$: نشان‌دهنده فاصله بین دو نقطه a و b در فضای اقلیدسی n بعدی و n تعداد ابعاد (ویژگی‌های مورد استفاده حوضه‌ها) هر نقطه (حوضه) می‌باشد. در این تحقیق بر اساس مهم‌ترین ویژگی‌های حوضه‌ها که از روش PCA به دست آمدند، مشابهت حوضه‌ها با استفاده از معیار فاصله اقلیدسی در الگوریتم K-means اجرا گردید.

۲-۷- معیار ارزیابی تعداد بهینه خوشه

به منظور ارزیابی تعداد بهینه خوشه‌ها برای مجموعه‌ای از داده‌ها در اینجا از معیار دیویس-بولدین[۱۴] (DB) استفاده شد. این معیار از شباهت بین دو حوضه (R_{ij}) استفاده می‌کند که بر اساس پراکندگی یک خوشه (s_i) و عدم شباهت بین دو خوشه (d_{ij}) تعریف می‌شود. معمولاً شباهت بین دو خوشه به صورت معادله ۵ تعریف می‌شود:

$$R_{ij} = \frac{s_i+s_j}{d_{ij}} \quad (۵)$$

که در آن d_{ij} و s_i با استفاده از معادلات ۶ و ۷ محاسبه می‌شوند:

$$d_{ij} = d(v_i, v_j) \quad (۶)$$

$$s_i = \frac{1}{\|c_i\|}\sum_{x\epsilon c_i} d(x, v_i) \quad (۷)$$

با توجه به مطالب بیان شده و تعریف شباهت بین دو خوشه معیار دیویس-بولدین به صورت معادله ۸ تعریف می‌شود:

$$DB = \frac{1}{n_c}\sum_{i=1}^{n_c} R_i \quad (۸)$$

که در آن R_i به صورت معادله ۹ محاسبه می‌شود:

$$R_i = \max_{j=1\dots n_c, i\neq j}(R_{ij}), i = 1 \dots n_c \quad (۹)$$

در این رابطه، n: تعداد خوشه‌ها و C: مرکز خوشه می‌باشند. این معیار در واقع میانگین شباهت بین هر خوشه با شبیه‌ترین خوشه به آن را محاسبه می‌کند. می‌توان دریافت که هر چه مقدار این معیار بیشتر باشد، خوشه‌های بهتری تولید شده است (Davies and Bouldin, 1979).

۲-۸- ویژگی‌های استخراج شده حوضه‌های آبخیز

خوشه‌بندی حوضه‌های همگن با استفاده از ویژگی‌های (توصیف‌کننده‌ها یا متغیرها) استخراج شده از این حوضه‌ها انجام می‌شود. این ویژگی‌ها انعکاسی از فرآیندهای ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی بوده و بطور غیرمستقیم همزمان با دیگر فرآیندهای هیدرولوژیکی از قبیل تولید رواناب و تبخیر و ذخیره حوضه عمل می‌کنند (Bloschl et al., 2013). با توجه به مطالعات Chirico et al. (2005) و Jencso et al. (2010) و Jencso and McGlynn (2011) این ویژگی‌ها می‌توانند بطور نسبی و مطلق و همچنین کمی و کیفی اطلاعات کاملی از ارزیابی عکس‌العمل حوضه به نیروهای اقلیمی را در اختیار ما بگذارند. ویژگی‌های حوضه آبخیز در مطالعات مختلف متفاوت می‌باشند. بطور مثال، Merz and Bloschl (2004) و Parajka et al. (2005) از قضاوت کارشناسی برای تعیین ویژگی‌های اقلیمی و فیزیوگرافی موثر بر عکس‌العمل هیدرولوژیکی استفاده کردند. Kokkonen et al. (2003) نشان دادند که ویژگی‌های استخراج شده از حوضه‌ها برای اهداف خوشه‌بندی و تعمیم‌دهی جریان[۱۵] باید فاکتورهایی را که از عکس‌العمل هیدرولوژیکی حوضه استخراج می‌شوند را توصیف کنند و باید از منابع داده‌ای موجود از قبیل نقشه‌های توپوگرافی، قابل استخراج بوده و به آسانی در دسترس باشند. با مقایسه ساده انواع ویژگی‌های استفاده شده در مطالعات انجام شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد اطلاعات موقعیت جغرافیایی، فیزیوگرافی و ویژگی‌های هواشناسی اغلب در مطالعات خوشه‌بندی و تعمیم‌دهی بکار می‌روند. در نهایت با توجه به مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه، در این مطالعه ۲۸ ویژگی حوضه‌ها در قالب ۵ گروه شامل ویژگی‌های موقعیت جغرافیایی (۲)، فیزیوگرافیکی (۱۱)، اقلیمی (۵) و کاربری اراضی (۹) و هچنین ویژگی تعداد روزهای فاقد جریان، برای خوشه‌بندی حوضه‌ها استخراج گردید. این ویژگی‌ها در جدول ۲ ارائه است:

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و خوشه‌بندی با الگوریتم k-means

ابتدا به منظور تعیین تعداد مولفه‌های اصلی ورودی الگوریتم خوشه‌بندی، درصد پراش (واریانس) هر یک از مؤلفه‌ها در نمودار سنگ‌ریزه‌ای (شکل ۲) رسم گردید. در این نمودار مقدار درصد پراش توضیح داده شده هر مؤلفه (ویژگی مربوط به حوضه‌ها) نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد بیشترین پراش توسط دو مؤلفه اول استخراج شده و سهم پراش تجمعی استخراج شده توسط این دو مؤلفه (۲۷/۳۷+۲/۳) ۶۴/۵ درصد و بقیه مؤلفه‌ها ۳۵/۵ درصد می‌باشند. با توجه به این نمودار دو مؤلفه اصلی که قادر به تشریح نزدیک به ۶۵ درصد پراش داده‌ها می‌باشند برای استفاده در روش خوشه‌بندی k-means انتخاب شدند.

در مرحله بعد نمودارهای بای پلات[۱۶] (شکل‌های ۳ و ۴) رسم گردیدند. در شکل ۳ بردارها نشان‌دهنده متغیرها در مؤلفه‌های اول و دوم و نقاط حوضه‌ها را نشان می‌دهند همانطور که در این شکل نشان داده شده است ارتفاع ایستگاه آبسنجی، عرض جغرافیایی مرکز ثقل حوضه و درصد مراتع فقیر بیشترین سهم از مؤلفه اول را در جهت مثبت و شیب بیشترین سهم از مؤلفه اول در جهت منفی را دارا هستند. از طرف دیگر تاثرگذارترین خصوصیات تشکیل دهنده مؤلفه دوم، مساحت و طول آبراهه اصلی می‌باشند. شکل ۴ نوع دیگری از نمودار بای‌پلات که متغیرهای PCA می‌باشد را نشان می‌دهد. این نمودار میزان سهم هر متغیر در پراش کل را با رنگ‌بندی نشان می‌دهد. همچنین شکل ۵ مکان قرارگیری حوضه‌ها نسبت به مؤلفه‌های اول و دوم را نشان می‌دهد، رنگ‌ها نشان‌دهنده امتیاز آن‌ها در مولفه‌های اول و دوم می‌باشد، نقاطی که نزدیک‌تر به هم هستند مربوط به مشاهداتی می‌باشند که امتیاز یکسانی در مؤلفه‌های نشان داده شده در نمودار دارند. نقاط (حوضه‌ها) همرنگ و یا با رنگ نسبتا مشابه همچنین مربوط به مشاهداتی می‌باشند که مقادیر مشابهی در متغیرها دارند. در این نمودار حوضه‌هایی که فاصله کمتری بهم دارند آن‌هایی می‌باشند که در مقدار متغیر مورد بررسی که در روی آن و یا نزدیک آن قرار گرفته‌اند (بردار مربوط به ویژگی) تشابه بیشتری با هم دارند. پس از مشخص شدن میزان پراش ویژگی‌های مورد بررسی در پراش کل، ویژگی‌های عرض جغرافیایی مرکزثقل، مساحت، طول رودخانه اصلی، ارتفاع ایستگاه آبسنجی، شیب و درصد مساحت مراتع فقیر به عنوان ویژگی‌های اصلی از بین ۲۸ ویژگی استخراج شدند.

Table 2- Catchment descriptors used in the catchments of study area for clustering

جدول ۲- ویژگی‌های مورد استفاده حوضه‌های منطقه مورد مطالعه برای خوشه‌بندی

Row	Descriptor type	Descriptor	Max	Mean	Min	Reference
1	Geographical location	(degree) Longitude	58.17	57.24	56.32	Samuel et al. (2011), Ratnam et al. (2005)
		(degree) Latitude	29.05	28.65	28.25	
2	Physiographic	Area (Km^2)	4612.15	722.85	48.65	Wagener et al. (2007), Goswami et al. (2007), Razavi and Coulibaly (2016), Oudin et al. (2008)
		Horton Coefficient (-)	0.86	0.55	0.28	
		Elevation (m)	2484	1271.4	172.2	
		Gauge El (m)	2460	1589.67	540	
		Slope (%)	40.75	24.72	9.29	
		Length of main river (km)	555.42	165.72	47.95	
		Length of catchment (km)	12434.95	1933.21	134.63	Oudin et al. (2008)
		Drainage Density (Km^{-1})	0.81	0.69	0.57	
		El (-)	0.687	0.624	0.602	Götzinger and Bárdossy (2007)
		RC (-)	0.621	0.405	0.23	
		C.C (-)	1.782	1.109	1.116	
3	Climatic	Rain (mm)	236.9	150.2	124.5	Oudin et al. (2008)
		Mean discharge (m^3/s)	1414.12	470.79	87.16	
		Temperature (^oC)	13.86	10.41	7.1	
		Evap (mm)	1591.43	1065.28	820.05	
		Base flow (-)	58.17	57.24	56.32	Bulygina et al. (2011), Razavi and Coulibaly (2013)
4	Landuse	Orchard (%)	29.05	28.65	28.25	Mwakalila (2003), Götzinger and Bárdossy (2007), Razavi and Coulibaly (2013), Viviroli and Siebert (2015), Razavi and Coulibaly (2016)
		Farming (%)	15.46	12.72	4.86	
		Forest (%)	0.86	0.55	0.28	
		Rock (%)	2.48	1.27	1.72	
		NDVI (%)	0.56	0.19	-0.18	
		Mid_Rangeland (%)	40.75	24.72	9.29	
		Poor_Rangeland (%)	28.32	17.13	14.18	
		Residential (%)	1.3	0.4	-	
		Shrub (%)	0.81	0.69	0.57	
5	-	Number of days without flow (day)	9.65	2.56	0.18	Ogunkoya (1988)

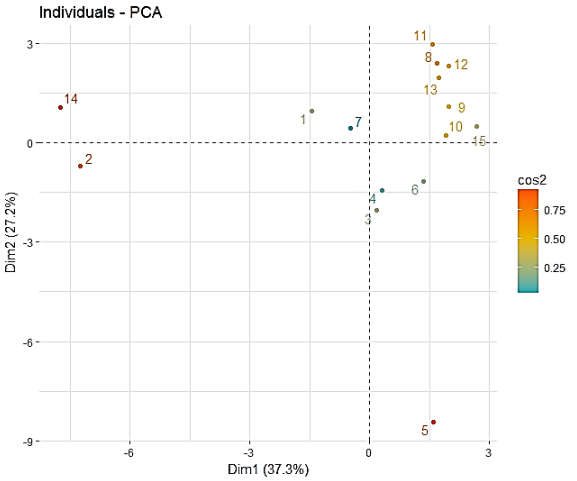

Fig. 5- Location of catchments in Biplot

شکل ۵- نحوه قرارگیری حوضه‌ها در نمودار بای پلات

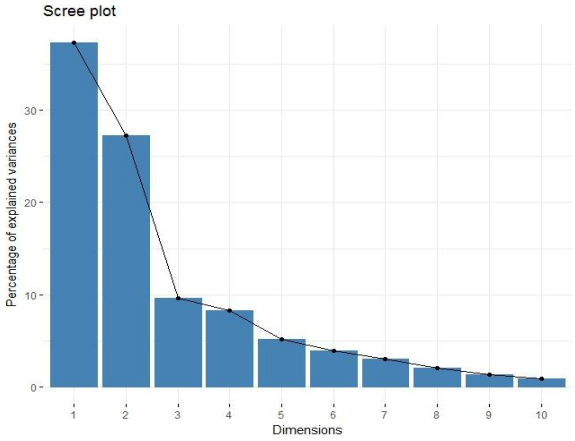

Fig. 2- Investigated components in extracted Scree plot

شکل ۲- مؤلفه‌های مورد بررسی در نمودار سنگریزه‌ای استخراج شده

۳-۲- معیار دیویس-بولدین

در ادامه به منظور تعیین تعداد بهینه کلاس‌ها جهت خوشه‌بندی از معیار دیویس-بولدین استفاده شد. کمترین مقدار به دست آمده از این معیار، بهینه‌ترین تعداد کلاس‌ها را نشان می‌دهد. با توجه شکل ۶ این معیار برای تعداد خوشه‌های برابر با ۳ مقدار ۲/۴۶ را نشان می‌دهد که کمترین مقدار است. بنابراین خوشه‌بندی با الگوریتم k-means با استفاده از سه خوشه انجام شد. تعداد خوشه‌های بهینه با فلش نشان داده شده است.

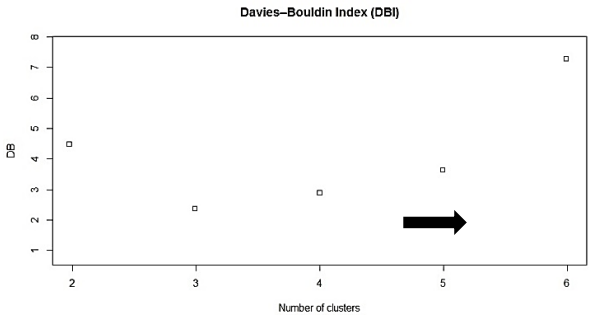

Fig. 6- Davies-Bouldin Criterion in k-means clustering algorithm

شکل ۶- معیار دیویس-بولدین در خـــوشـــه‌بندی الگوریتم k-means

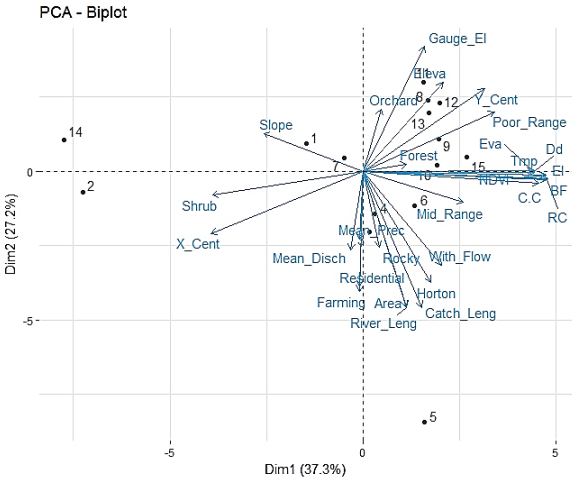

Fig. 3- Biplot of principle components

شکل ۳- نمودار بای پلات Biplot مؤلفه‌های اصلی

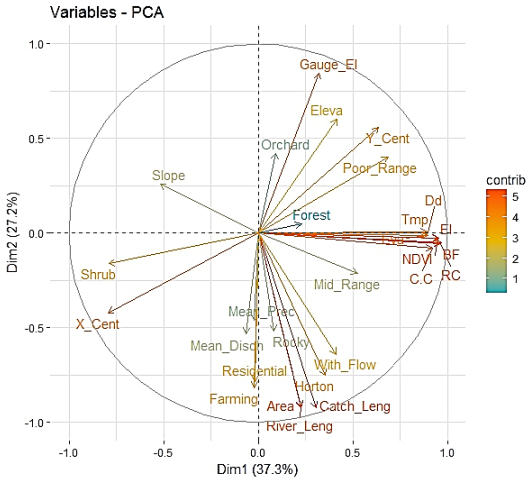

Fig. 4- Biplot graphs of Dim 1 & 2 using PCA algorithm

شکل ۴- نمودار بای پلات، مؤلفه‌های اول و دوم به دست آمده با الگوریتم PCA

۳-۳- خوشه‌بندی با الگوریتم k-means

پس از استخراج ۲۸ ویژگی مهم و در دسترس حوضه‌ها با روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، سه مؤلفه اصلی که قادر به تشریح بیش از ۶۴/۵ درصـــد واریانس داده‌ها بودند برای استفـــاده در روش خوشه‌بندی k-means انتخاب شدند. سپس بر اساس این مؤلفه‌ها حوضه‌های منطقه بـــه مناطق همگن هیدرولوژیکی تقسیم شدند. در خوشه‌بندی

k-means تعداد کلاس‌های همگن توسط کاربر تعیین می‌شوند و بنابراین برای جلوگیری از هر گونه خطای احتمالی در تعیین تعداد کلاس‌ها، با استفاده از معیار ارزیابی کلاس‌های بهینه دیویس-بولدین تعداد سه کلاس برای خوشه‌بندی درنظر گرفته شد. شکل ۷ موقعیت قرارگیری حوضه‌ها در هر خوشه نسبت به ویژگی‌های اصلی انتخاب شده را نشان می‌دهند. در این شکل‌ها محور x حوضه‌ها و محور Y متغیر مورد نظر (ویژگی) را نشان می‌دهند. همچنین جدول شماره ۳ شماره هر خوشه و مقدار فاصله اقلیدسی برای هر حوضه را نشان می‌دهد.

در شکل ۸ حوضه‌های موجود در هر خوشه با رنگ‌های مشابه نشان داده شده‌اند. با مشاهده موقعیت حوضه‌های موجود در این شکل می‌توان دید که حوضه‌های موجود در خوشه‌های یکسان اکثراً در مجاورت هم قرار گرفتند و این می‌تواند نشان‌دهنده این مطلب باشد که در واکنش به متغیرهای اقلیمی می‌توانند رفتار نسبتاً مشابهی از خود نشان دهند (Kokkonen et al., 2003; Parajka et al., 2005; Swicz et al., 2011).

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این تحقیق استخراج مناطق همگن هیدرولوژیکی در ۱۵ زیرحوضه در بخش غربی حوضه هامون-جازموریان واقع در استان کرمان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای انجام شد. رویکرد ارائه شده در تحقیق حاضر، کاربرد ویژگی‌های موقعیت جغرافیایی، فیزیوگرافی، اقلیمی و کاربری اراضی در یک ناحیه وسیع جهت طبقه‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز می‌باشد. پس از تعیین ویژگی‌های مورد استفاده در خوشه‌بندی، مقادیر مربوط به ۲۸ ویژگی انتخاب و سپس با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی شش ویژگی اصلی عرض جغرافیایی مرکز ثقل، مساحت، طول رودخانه اصلی، ارتفاع ایستگاه آبسنجی، شیب و درصد مساحت مراتع فقیر تشخیص و استخراج گردید.

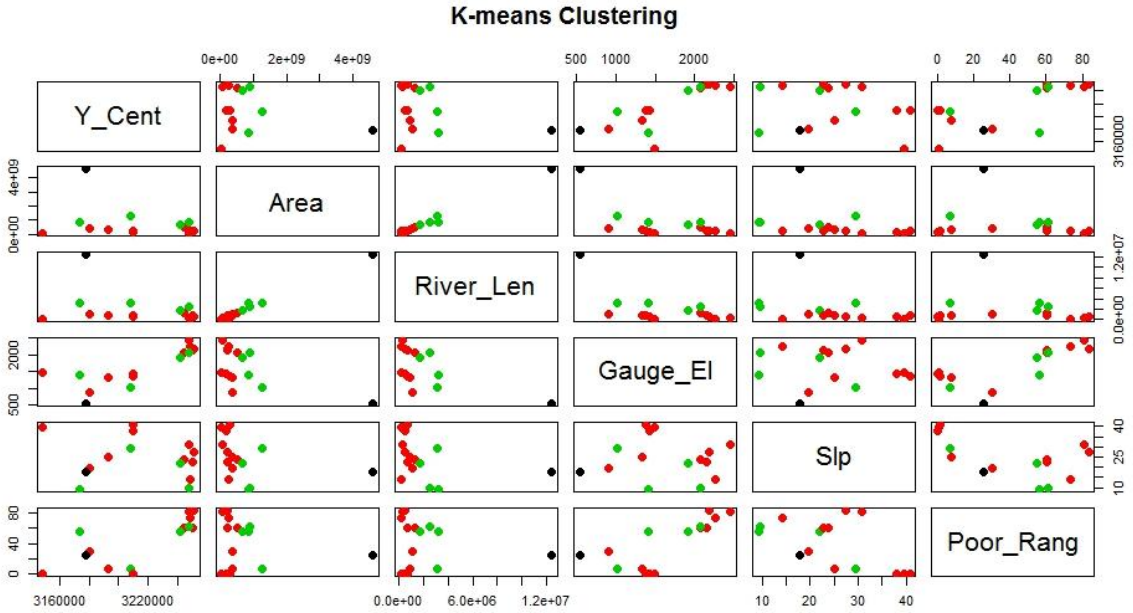

Fig. 7- Point plot of catchments in three extracted clusters by six descriptors selected by PCA algorithm

شکل ۷- نمودار نقطه‌ای حوضه‌های موجود در سه خوشه استخراجی با استفاده از شش ویژگی انتخاب شده با الگوریتم PCA

Table 3- k-means clustering results (k=3)

جدول ۳- نتایج خوشه‌بندی با الگوریتم k-means (تعداد خوشه k=3)

Case	1	2	3	4	5	6	7	8
Catchment	Koldan	Zarin	Dehroud	Hosseinabad	Kahnak	Kenarouieh	Ghalehrigi	Bonboland
Cluster	1	2	2	1	3	2	1	1
Euclidian distance	1.506	1.789	1.811	1.517	1.303	1.981	1.531	1.566
Case	9	10	11	12	13	14	15	-
Catchment	Kavoosabad	Meidan	Cheshmeharoos	Hanjan	Polbaft	Tighsiah	Soltani	-
Cluster	1	1	1	1	1	2	1	-
Euclidian distance	1.577	1.596	1.472	1.469	1.587	2.013	1.491	-

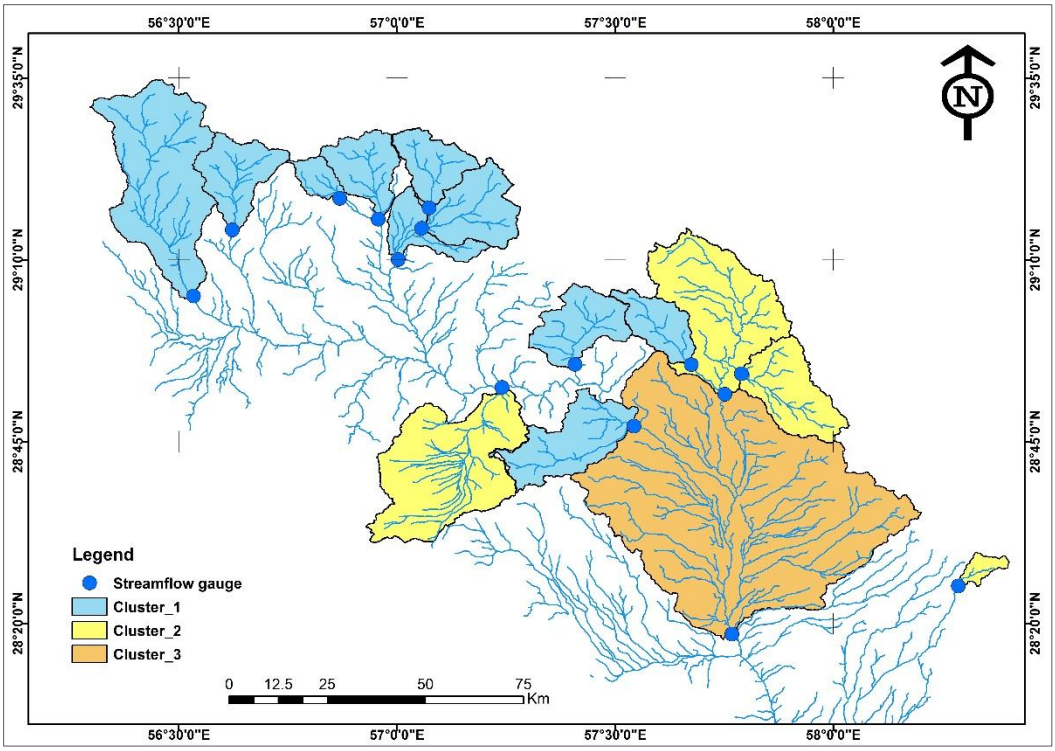

Fig. 8- Location of catchments in clusters in the study area

شکل ۸- موقعیت حوضه‌های موجود در خوشه‌ها در منطقه مورد مطالعه

سپس با توجه به کمترین مقدار معیار دیویس-بولدین (برابر با ۲/۴۶) تعداد بهینه خوشه‌ها برای انجام این خوشه‌بندی برابر ۳ بدست آمد. سپس خوشه‌بندی با الگوریتم k-means انجام و منطقه به سه ناحیه همگن خوشه‌بندی شد. نتایج حاصل از خوشه‌بندی به این صورت بود که خوشه شماره یک دارای ۱۰ زیرحوضه، خوشه شماره دو دارای چهار زیرحوضه و خوشه شماره سه دارای یک زیرحوضه می‌باشند. نتایج نشان داد که اکثر حوضه‌های موجود در خوشه‌های یکسان (خوشه‌های شماره یک و دو) در مجاورت یکدگر قرار دارند. زیرحوضه‌های موجود در حوضه جیرفت (کهنک، کلدان، دهرود و زارین) که از دشت‌های سیل‌خیز استان کرمان می‌باشد، در سه خوشه مختلف قرار گرفتند که نشان از ناهمگن بودن این دشت می‌باشد. خوشه‌بندی کاربردهای متنوعی دارد که از کاربردهای حاصل از آن می‌توان اظهار داشت که در صورت نیاز به اجرای عملیات اصلاحی و حفاظتی (ساز و کارهای مقابله با سیلاب و رسوب) نحوه اجرای عملیات به گونه‌ای است که حوضه‌های موجود در خوشه مشابه نیاز به عملیات یکسانی خواهند داشت که بعضی محققان هم از جمله Ataei and Shiran (2011)، Darabi et al. (2012)، Rao and Srinivas (2008) و Razavi (2014) نیز بر همین موضوع ساده‌تر شدن عملیات حفاظتی در حوضه‌های موجود در خوشه‌های یکسان تاکید کرده‌اند. همچنین با توجه به حوضه‌های بی‌شمار فاقد آمار در این منطقه از نتایج این خوشه‌بندی می‌توان به منظور تعمیم‌دهی وقایع و رویدادهای سیلابی به منظور پیش‌بینی‌های جریان در حوضه‌های فاقد آمار و همچنین تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب نیز استفاده کرد. با توجه به وسعت زیاد حوضه هامون-جازموریان و عدم وجود و پراکنش نامناسب ایستگاه‌های آبسنجی توصیه می‌گردد که نسبت به تاسیس ایستگاه‌های آبسنجی جدید اقدام شود. همچنین با توجه به پویایی شرایط اقلیمی و سیل‌خیز بودن بخش‌های از این منطقه، توصیه می‌گردد نسبت به خوشه‌بندی مناطق همگن بر اساس ویژگی‌های سیلاب‌های تاریخی بوقوع پیوسته در این منطقه اقدام گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و تشکر خود را از مسئولان محترم شرکت سهامی آب منطقه‌ای و اداره هواشناسی استان کرمان، شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت مهندسین مشاور بررسی منابع آب (WRI) به جهت همکاری صمیمانه به منظور ارائه آمـــار و اطلاعات لازم و همچنین راهنمایـــی‌هـــای مفید و ارزنـــده جناب پروفسور Ralf Merz در دپارتمان هیدرولوژی حوضه آبخیز در مرکز تحقیقاتی هلمهولتس در آلمان (UFZ) در چهارچوب دوره فرصت مطالعاتی نویسنده مسئول اعلام می‌دارند.

پی‌نوشت‌ها

1- Attributes or Descriptors
2- Clustering Analysis
3- BFI
4- Geographical Approach
5- Ward's Cluster Method
6- Kohonen
7- Flow Duration Curve (FDC)
8- Base Flow Index (BFI)
9- Streamflow Elasticity
10- Yangtze
11- Yellow River
12- Standardize
13- Euclidian Distance
14- Davies-Bouldin's Criterion
15- Streamflow Regionalization
16- Biplot

۵- مراجع

Acreman MC, Sinclair CD (1986) Classification of drainage basins according to their physical characteristics, an application for flood frequency analysis in Scotland. Journal of Hydrology 84(3-4):365-380

Aguado D, Montoya T, Borras L, Seco A, Ferrer J (2008) Using SOM and PCA for analysing and interpreting data from a P-removal SBR. Engineering Applications of Artificial Intelligence 21(6):919-930

Ataei H, Shiran M (2011) Identifying homogeneous hydrological basins base on effective geomorphologic variants on flood by cluster analysis Introduction. Geography and Environmental Planning Journal 42(2):17-20 (In Persian)

Beven KJ (2000) Uniqueness of place and process representations in hydrological modelling. Hydrology and Earth System Science 4:203-213

Bloschl G, Sivapalan M, Wagener T, Viglione A, Savenije H (2013) Runoff prediction in ungauged basins. Synthesis across Processes, Places and Scales, Cambridge University Press, 492p

Bulygina N, McIntyre N, Howard W (2011) Bayesian conditioning of a rainfall-runoff model for predicting flows in ungauged catchments and under land use changes. Water Resources Research 47(2):1-13

Burn DH, Goel NK (2000) The formation of groups for regional flood frequency analysis. Hydrological Sciences Journal 45(1):97-112

Chirico GB, Western AW, Grayson RB, Bloschl G (2005) On the definition of the flow width for calculating specific catchment area patterns from gridded elevation data. Hydrological Processes 19(13):2539-2556

Darabi H, Solaimani K, Shahedi K, Miryaghubzadeh MH (2012) Sub-Watersheds classification based on morphometric parameters using cluster analysis in Po-Doab Shazand Watershed. Journal of Water and Soil Science 22(4):199-211 (In Persian)

Davies DL, Bouldin DW (1979) A cluster separation measure. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 1(2):224-227

Dooge J C I (1986) Looking for hydrologic laws. Water Resources Research 22(9):46-58

Ghabaei Sough M, Zareh Abyaneh H, Mosaedi A (2017) Development of ADI, the aggregate drought index, based on principle component analysis for monitoring agricultural drought in Golestan Province, Iran. Iran-Water Resources Research 13(2):56-73 (In Persian)

Goswami M, O'Connor KM, Bhattarai KP (2007) Development of regionalization procedures using a multi-model approach for flow simulation in an ungauged catchment. Journal of Hydrology 333(2-4):517-531

Götzinger J, Bárdossy A (2007) Comparison of four regionalization methods for a distributed hydrological model. Journal of Hydrology 333:374-384

Hartigan JA, Wong MA (1979) Algorithm AS 136: A K-means clustering algorithm. Applied Statistics 28:100-108

Haykin S (1998) Neural networks: a comprehensive foundation. 2nd edition Prentice Hall, 823p

Hoshyarmanesh H, Farhadi, M, Hoshyarmanesh A, Jafarian N (2013) Hierarchical clustering and K-means in R, SAS and MATLAB softwares. Iranian Journal of Official Statistics Studies 24(2):227-240 (In Persian)

Iran Space Agency (2016) Iran landuse map. isa.ir/content/542/

Jencso KG, McGlynn BL (2011) Hierarchical controls on runoff generation: topographically driven hydrologic connectivity, geology, and vegetation. Water Resources Research 47(11):1-16

Jencso KG, McGlynn BL, Gooseff MN, Bencala KE, Wondzell SM (2010) Hillslope hydrologic connectivity controls riparian groundwater turnover: implications of catchment structure for riparian buffering and stream water sources. Water Resources Research 46(10):1-18

Jingyi Z, Hall MJ (2004) Regional flood frequency analysis for the GanMing river basin in China. Journal of Hydrology 296(1-4):98-117

Rao AR, Srinivas VV (2008) Regionalization of watersheds: An approach based on cluster analysis. Springer Publisher, 248p

Ratnam KN, Srivastava YK, Rao VV, Amminedu E, Murthy KSR (2005) Check dam positioning by prioritization of micro-watersheds using SYI model and morphometric analysis - remote sensing and GIS perspective. Journal of the Indian Society of Remote Sensing 33:25-38

Razavi T (2014) Streamflow estimation in ungauged basins using regionalization methods. Ph.D. Thesis, School of Civil Engineering, McMaster University, 200p

Razavi T, Coulibaly P (2013) Classification of Ontario watersheds based on physical attributes and streamflow series. Journal of Hydrology 493:81-94

Razavi T, Coulibaly P (2016) An evaluation of regionalization and watershed classification schemes for continuous daily streamflow prediction in ungauged watersheds. Canadian Water Resources Journal 42(1):2-20

Rezaei A (2011) Regional analysis of annual discharge with different return periods in Sefidroud dam subbasins. 18(1):241-246 (In Persian)

Samuel J, Coulibaly P, Metcalfe R A (2011) Estimation of continuous streamflow in Ontario ungauged basins: comparison of regionalization methods. Journal of Hydrologic Engineering 16(5):447-459

Sarhadi A, Soltani S, Modarres R (2012) Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. Journal of Hydrology 458-459:68-86

Sarhadi A (2008) Incorporating RS & GIS techniques and frequency analysis models for flood inundation study at JIROFT vicinity. M.Sc. Thesis, School of Civil Engineering, Isfahan University of Technology (In Persian)

Segane H, Tollner EW, Mohamoud YM, Rasmussen TC, Dowd JF (2012) Advances in variable selection methods II: Effect of variable selection method on classification of hydrologically similar watersheds in three Mid-Atlantic ecoregions. Journal of Hydrology 438-439:26-38

Shahsavan R, Ahani A, Mousavi Nadoushani SS, Moridi A (2015) Recognition of homogenous regions using k-means partitional cluster analysis method based on second-order l-moment (Case study: Roodbar Dam and Bakhtiari Dam Basins). Iran-Water Resources Research 10(3):99-103 (In Persian)

Srinivasa K, Nagesh D (2011) Classification of microwatersheds based on morphological

Kokkonen TS, Jakeman AJ, Young PC, Koivusalo HJ (2003) Predicting daily flows in ungauged catchments: model regionalization from catchment descriptors at the Coweeta Hydrologic Laboratory, North Carolina. Hydrological Processes 17(11):2219-2238

Li Q, Li Z, Zhu Y, Deng Y, Zhang K, Yao Ch (2018) Hydrological regionalisation based on available hydrological information for runoff prediction at catchment scale. Proceeding of the International Association of Hydrological Sciences (Proc. IAHS) 379:13-19

MacQueen JB (1967) Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley, University of California Press, 1:281-297

McMillan H K, Clark MP, Bowden WB, Duncan M, Woods R.A (2010) Hydrological field data from a modeler's perspective: Part 1. Diagnostic tests for model structure. Hydrological Processes 25:511-522

Mehri S, Mostafazadeh R, Esmali-Ouri A, Ghorbani A (2016) Watershed grouping based on effective parameters on base flow using different clustering algorithms in Ardabil Province. Extension and Development of Watershed Management 4(15):30-40 (In Persian)

Merz R, Bloschl G (2004) Regionalisation of catchment model parameters. Journal of Hydrology 287(1-4):95-123

Ministry of Energy (2002) A comprehensive plan for separation of plains in Iran. Technical Report and Maps (In Persian)

Mohammadalipour N, Droudi F (2010) Information clustering. Journal of National studies on librarianship and Information 82:160-185 (In Persian)

Mwakalila S (2003) Estimation of streamflows of ungauged catchments for river basin management. Physics and Chemistry of the Earth 28:935-942

Ogunkoya O (1988) Towards a delimitation of southwestern Nigeria into hydrological regions. Journal of Hydrology 99(1-2):165-177

Oudin L, Andreassian V, Perrin C, Michel C, Le Moine N (2008) Spatial proximity, physical similarity, regression and ungauged catchments: A comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments. Water Resources Research 44(3):1-15

Parajka J, Merz R, Blöschl G (2005) A comparison of regionalisation methods for catchment model parameters. Hydrology and Earth System Science 9(3):157-171

Wagener T, Sivapalan M, Troch PA, Woods RA (2007) Catchment classification and hydrologic similarity. Geography Compass 1(4):901-931

Water Resources Investigation (WRI) Consulting Engineering Company (2016) Comprehensive assessment of water resources and balance: Hamoun-Jazmourian River Basin. Technical Report (in Persian)

Zareh Chahouki MA (2014) Data analysis in natural resources researches using SPSS software. Jahad Daneshgahi of Tehran University press, 312p (In Persian)

characteristics. Journal of Hydro-Environment Research 5:101-109

Swicz K, Wagener T, Sivapalan M, Troch PA, Carrillo G (2011) Catchment classification: empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA. Hydrology and Earth System Science 15:2895-2911

Viviroli D, Siebert J (2015) Can a regionalized model parametrization be improved with a limited number of runoff measurements?. Journal of Hydrology 529(1):49-61