Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Identification of critical areas of groundwater quality in Golestan province using fuzzy clustering method

Fariba Pourahmadi[1] | Omolbani Mohammadrezapour[*2] | Salman Sharifazari[3] | Parisa Kahkha Moghadam[4]

1. M.Sc. Student of Water Resource Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran. E-mail: fa_pourahmadi@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources - University of Zabol, Iran. E-mail: mohammadrezapour@gau.ac.ir
3. M.Sc. Graduate of Water Resource Engineering, University of Tehran, Iran.
4. Instructor, Dept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 12.21.2018
Revised: 07.25.2019
Accepted: 06.06.2020

Keywords:
Clustering,
Genetic Algorithm,
Piper,
Water Quality,
Wilcox

ABSTRACT

Background and Objectives: One of the most important crises that most countries are currently facing is the issue of reducing the quality of water resources. Reducing groundwater resources and increasing pollution, reduced the potential for using groundwater for various uses. One of the main reasons for the decline in groundwater quality is the impact of agricultural drainage due to the excessive use of fertilizers and pesticides. Also, industries that in many cases have contaminated groundwater with chemical and hydrocarbon contaminants. In addition to these factors, the disposal of sewage in cities and villages through absorbent wells made up of viruses and bacteria also contributes to contaminants. Groundwater quality monitoring program can ensure the proper quality of water resources for different uses. Without monitoring, continuous reporting on the quality of the water supply, its evolution, planning for optimal allocation for different uses, assessing the impact of new developments, and designing and implementing management plans is not feasible. Identification of homogeneous regions in terms of groundwater quality in Golestan province of northern Iran using Fuzzy Clustering Method combination with genetic algorithm (GA-FCM) was performed on 14 parameters in a 5- year- time step in 2006, 2011 and 2016.

Materials and Methods: To determine the homogeneous regions for each year, the optimal number of clusters was initially obtained. After data clustering in Matlab software, the results of clustering were evaluated qualitatively with Schuler and Wilcox diagrams. For better representation of homogeneous regions, classification maps for the study area were presented.

Results: The results showed that the optimum numbers of clusters in 2006, 2011, and 2016 were 6, 5, and 6, respectively. Analysis of groundwater quality classification maps showed that in 2006, cluster no. 6, including 2.7% of the studied wells located within the city of Kalaleh, is poor in terms of drinking and farming groundwater quality. Also, based on the results, it can be seen that 36.8% of the wells across the province were in good condition in terms of quality of drinking and agricultural parameters in 2011. Likewise, 33.33% of the wells are in a moderate condition in terms of drinking quality, and the status of their groundwater has improved in terms of quality since 2006. Also, the results of NSGA- FCM in 2016 showed that most of the parameters (5.55% of the wells in the province) in the cluster 3 have a moderate quality.

Conclusion: The findings of this study showed that the groundwater quality in the province in 2016 is lower than in 2011, so appropriate management plans should be adopted. Moreover, it was observed that the fuzzy clustering method is a suitable method for assessing and identification of critical region of the quality of groundwater resources, since it considers the uncertainty conditions in the classes of the classification system.

Cite this article: Pourahmadi, Fariba, Mohammadrezapour, Omolbani, Sharifazari, Salman, Kahkha Moghadam, Parisa. 2022. Identification of critical areas of groundwater quality in Golestan province using fuzzy clustering method. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28 (4), 167-186.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2021.16072.3132
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۰۶۹-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۲۷۹٤-۲۳۲۲

شناسایی مناطق بحرانی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان گلستان با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی

فریبا پوراحمدی[۱] | ام‌البنی محمدرضاپور*[۲] | سلمان شریف آذری[۳] | پریسا کهخا مقدم[٤]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. رایانامه: fa_pourahmadi@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان – دانشگاه زابل. رایانامه: mohammadrezapour@gau.ac.ir
۳. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران.
٤. مربی گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۳۰
تاریخ ویرایش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

واژه‌های کلیدی:
الگوریتم ژنتیک،
پایپر،
خوشه‌بندی،
کیفیت آب،
ویلکاکس

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مهم‌ترین بحران‌هایی که اغلب کشورها در حال حاضر با آن روبرو هستند، مسأله کاهش کیفیت منابع آبی است. کاهش ذخایر آب‌های زیرزمینی و افزایش آلودگی‌ها، پتانسیل استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف را به میزان قابل‌توجهی کاهش داده است. نفوذ زه‌آب‌های کشاورزی ناشی از مصرف بی‌رویه کود و سموم کشاورزی و هم‌چنین آلاینده‌های شیمیایی صنایع از علت‌های اصلی افت کیفیت آب‌های زیرزمینی است. علاوه بر این عامل‌ها، دفع فاضلاب‌ها در شهرها و روستاها از طریق چاه‌های جاذب که از انواع ویروس‌ها و باکتری‌ها تشکیل شده‌اند نیز دلیل دیگر ایجاد آلودگی است. برنامه پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌تواند کیفیت مناسب منابع آب برای کاربری‌های مختلف را تضمین کند. بدون پایش و اطلاع مستمر از کیفیت منبع آب، روند تغییرات آن، برنامه‌ریزی برای تخصیص بهینه برای کاربری‌های گوناگون، ارزیابی اثر توسعه‌های جدید و طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریتی امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین در این پژوهش همگن‌بندی کیفی آب‌های زیرزمینی به‌منظور شناسایی منطقه‌های بحرانی در استان گلستان واقع در شمال کشور ایران با استفاده ترکیب خوشه‌بندی فازی با الگوریتم ژنتیک، بر روی ۱٤ پراسنجه‌ی کیفی در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به‌صورت گام زمانی ۵ ساله انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش جهت تعیین منطقه‌های همگن برای هر سال نخست تعداد بهینه خوشه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک در برنامه‌ی نوشته‌شده نرم‌افزار متلب به دست آمد. سپس از خوشه‌بندی داده‌های کیفی، مقدار مرکزهای خوشه‌ها ازنظر کیفی با دیاگرام شولر و ویلکاکس بررسی و مقایسه گردید و برای نمایش بهتر منطقه‌های همگن ازنظر کیفیت آب‌های زیرزمینی، نقشه‌های کلاس‌بندی در نرم‌افزار GIS برای منطقه تهیه و برای مطالعه ارائه شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تعداد بهینه خوشه‌ها در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ٦، ۵ و ٦ بوده است. بررسی نقشه‌های کلاس‌بندی کیفیت آب زیرزمینی نشان داد که در سال ۱۳۸۵، خوشه شماره ٦ که ۲/۷٪ از چاه‌های موردمطالعه را شامل می‌شود در وضعیت نامناسبی از نظر کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب و کشاورزی قرار دارند که این چاه‌ها در محدوده شهرکلاله قرار دارند. هم‌چنین در سال ۱۳۹۰ بر اساس نتایج می‌توان دریافت که ۳٦/۸٪ چاه‌های استان در وضعیت خوبی از نظر کیفیت پراسنجه‌های شرب و کشاورزی قرار دارند که این چاه‌ها به‌طور تقریبی در بیش‌تر نقاط استان وجود دارند؛ و ۳۳/۳۳٪ از چاه‌ها در وضعیت متوسط از نظر کیفیت شرب قرار دارند. هم‌چنین نتایج خوشه‌بندی فازی (FCM) در سال ۱۳۹۵ نشان داد که بیش‌تر پراسنجه‌ها در خوشه ۳ دارای کیفیت متوسط هستند که به‌طور تقریبی ۵/۵۵٪ از چاه‌های استان را شامل می‌شوند.

نتیجه‌گیری: بررسی نتایج نشان داد که وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی استان در سال ۱۳۸۵ نامناسب بوده و در سال ۱۳۹۰ از وضعیت مناسب‌تری برخوردار بوده است. ولی سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۹۰ کاهش افت کیفیت مشاهده شده است بنابراین باید برنامه‌های مدیریتی مناسب اتخاذ گردد. هم‌چنین مشاهده شد که روش خوشه‌بندی فازی به دلیل در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت در تعیین کلاس‌ها، نسبت به سیستم طبقه‌بندی روش مناسبی برای بررسی کیفیت و شناسایی منطقه‌های بحرانی منابع آب زیرزمینی است.

استناد: پوراحمدی، فریبا، محمدرضاپور، امالبنی، شریف آذری، سلمان، کهخا مقدم، پریسا (۱۴۰۰). شناسایی مناطق بحرانی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان گلستان با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۸ (۴)، ۱۸۶-۱۶۷.
DOI: 10.22069/jwsc.2021.16072.3132

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب در بخش‌های شرب و کشاورزی در ایران محسوب می‌گردد. پدیده تغییر اقلیم و کاهش ریزش‌های جوی از یک‌سو و افزایش جمعیت و نیاز به آب و مواد غذایی از سوی دیگر سبب شده که سطح آب‌های زیرزمینی و کیفیت این آب‌ها تحت‌تأثیر قرار گیرد (۲). با توجه به این‌که کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی از عامل‌های محیطی تأثیر می‌پذیرد، بنابراین کنترل کیفی آب‌ها برای مصارف انسان و موجودات زنده از اهمیت زیادی برخوردار است (۲). به‌عنوان نمونه می‌توان به آلودگی آب شرب مصرفی و مسمومیت ناشی از آن اشاره کرد (۱۱). در پژوهش‌های صورت گرفته در مورد کیفیت آب روش‌های گرافیکی که مبتنی بر روش‌های هورتنی هستند که با توصیف نتایج با نمودارهایی مانند شولر، پایپر و غیره استفاده شده است. ازآنجاکه این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی مانند تعداد نمونه، پیچیده بودن ساختار و قطعیت‌گرا بودن می‌باشند (۱۰ و ۱۳) بنابراین استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره مانند تحلیل خوشه‌ای برای تعیین همگنی آب‌های زیرزمینی از نظر کیفیت مناسب به نظر می‌رسد. در پژوهش‌های مربوط به کیفیت منابع آب، خوشه‌بندی به‌منظور مجزا کردن داده‌ها به خوشه‌های معرف به کار می‌روند تا فرآیندهای طبیعی تغییردهنده پراسنجه‌های هیدروشیمیایی تشخیص داده شود. روش‌های خوشه‌بندی به دو شاخه تقسیم می‌شوند. روش‌های سخت یا کلاسیک یا قطعی که در آن یک عنصر به طور کامل به یک گروه تعلق دارد و روش‌های نرم یا فازی که در آن یک عنصر به تمام خوشه‌ها با درجه عضویت‌های مختلف تعلق دارد. هدف اصلی روش خوشه‌بندی چه قطعی و چه فازی، تفکیک یک سری داده با n نمونه و p متغیر به c زیرگروه همگن به‌وسیله دسته‌بندی دقیق نمونه‌های مرتبط به خوشه‌های مشخص است طوری که اعضای هر خوشه دارای ویژگی‌های مشابه هستند (۸). در روش‌های خوشه‌بندی تعداد و نوع معیارها ثابت و مشخص نیست، ازاین‌رو تلاش خواهد شد تا با تغییر آن‌ها به بهترین حالت دست پیدا کرد. ازآنجاکه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در سیستم‌های طبیعی به‌طور پیوسته تغییر می‌کنند در نتیجه خوشه‌های آماری کلاسیک نمی‌توانند جداکننده خوبی باشند و باید در توالی خوشه‌ها هم‌پوشانی شکل گیرد (۷ و ٦). منطق فازی برای نخستین بار توسط‌زاده (۱۹٦۵) برای صورت‌بندی ریاضی بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های مبهم ارائه شد (۱۵). بدین ترتیب زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. الگوریتم‌های مختلفی برای خوشه‌بندی فازی و غیرفازی توسط پژوهش‌گران مختلف پیشنهاد شده است (۳). در خوشه‌بندی غیرفازی هر نمونه فقط متعلق به یک خوشه است درحالی‌که در خوشه‌بندی فازی هر نمونه متعلق به جند خوشه با درجه عضویت‌های مختلف است. روش خوشه‌بندی فازی برای نخستین بار توسط بزدک (۱۹۸۱) پیشنهاد شد (۳). که درواقع شکل گسترش یافته از خوشه‌بندی c- میانگین است. مطالعات زیادی در زمینه خوشه‌بندی فازی صورت گرفته است که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد. سیلورت و همکاران (۲۰۰۰) به‌کارگیری استنتاج فازی به بررسی کیفیت یک منطقه ساحلی پرداخته است (١٤). گولر و همکاران (۲۰۰۲) از روش‌های آماری چندمتغیره به منظور طبقه‌بندی داده‌های شیمیایی کیفیت آب منطقه‌ای در ترکیه استفاده نمودند (۷). گولر و تینه در سال ۲۰۰٤ با استفاده از داده‌های هیدروشیمیایی آب زیرزمینی منطقه‌ای در جنوب کالیفرنیا نشان دادند که روش خوشه‌بندی c- میانگین فازی روش بهتری نسبت به

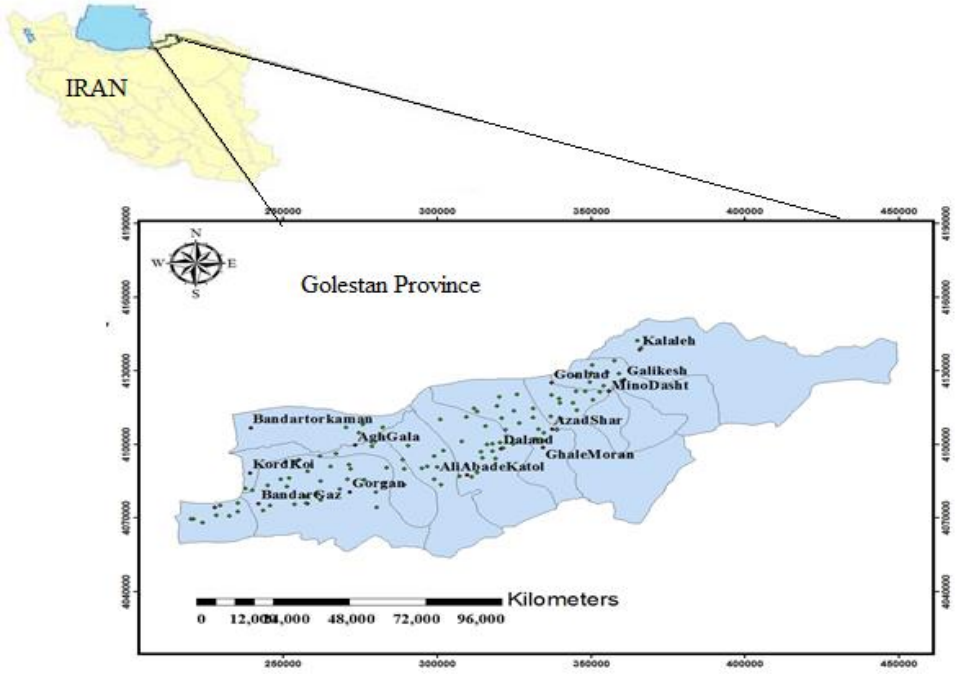
روش‌های دیگر است (۸). اکامپو و همکاران (۲۰۰٦) روش جدیدی را با استفاده از سیستم استنتاج فازی به‌منظور بازه‌بندی کیفیت آب رودخانه‌ای در اسپانیا ارایه نموده‌اند. آن‌ها در پژوهش خود از ۱۷ پراسنجه کیفی استفاده کرده و کیفیت آب را در بازه‌های مختلف رودخانه به سه بازه ضعیف، متوسط و خوب دسته‌بندی کردند (۱۲)، داهیا و همکاران (۲۰۰۷) نیز از روش استنتاج فازی برای تشخیص کیفیت آب زیرزمینی استفاده کردند. آن‌ها در پژوهش خود از ۱۰ پراسنجه شیمیایی مربوط به ٤۲ چاه مشاهداتی استفاده کردند (۵). گولر و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر فعالیت‌های انسانی را بر روی پراسنجه‌های هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در دشت ساحلی تارتوس در ترکیه با روش‌های آماری چند متغیره، خوشه‌بندی فازی و تکنیک GIS بررسی کردند. نتایج حاصل از خوشه‌بندی فازی، نمونه‌های آب زیرزمینی را در چهار کلاس متفاوت نشان داد (۹). سیواسانکار و همکاران (۲۰۱۳) خوشه‌بندی فازی پراسنجه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی رامسوارام در جنوب هند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تغییرات فصلی از تابستان تا زمستان سبب نوسانات پراسنجه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی نمونه‌ها و در نتیجه خوشه‌ها شده است (۱٤). گویال و گوپتا (۲۰۱٤) شناسایی رژیم بارش همگن در شمال شرقی منطقه‌ای از هند با استفاده از خوشه‌بندی فازی را بررسی نمودند. نتایج نشان می‌دهد که روش خوشه‌بندی فازی نسبت به K-Means برای شناسایی منطقه‌های همگن بهتر است (٦). زو و همکاران (۲۰۱۵) پژوهشی در مورد تحلیل کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از الگوریتم K-means در رودخانه هایه چین انجام دادند. نتایج نشان دادکه هر دو روش نظری و شبیه‌سازی الگوریتم روشی کارآمد برای تجزیه و تحلیل کیفیت آب رودخانه هایه هستند. علاوه بر این، الگوریتم k-means برای ماتریس داده‌های پیچیده‌تر با ابعاد بالا استفاده می‌شود (۱٦). آهنی و همکاران (۲۰۱٦) ارزیابی عملکرد روش‌های تحلیل خوشه‌ای در منطقه‌بندی حوضه‌های آبریز و تأثیر آن‌ها بر تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در حوضه سفیدرود را بررسی نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد خوشه‌بندی فازی با استفاده از الگوریتم فازی C-means از نظر تشکیل منطقه‌های همگن و ارایه‌ی برآوردهای مناسب در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از الگوریتم گشتاورهای خطی، عملکرد قابل‌قبولی دارد (۱). استان گلستان یکی از استان‌های شمال شرقی کشور ایران است که با داشتن دشت‌های مستعد و وسیع و منابع آبی مناسب مانند رودخانه گرگانرود یکی از منطقه‌های اصلی کشاورزی کشور محسوب می‌گردد بنابراین بررسی و مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی و شناسایی منطقه‌های بحرانی به‌منظور حفظ و اصلاح کیفیت آن‌ها امری ضروری است. هدف از انجام این پژوهش شناسایی منطقه‌های همگن از نظر کیفیت آب زیرزمینی استان گلستان با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی ترکیب شده با الگوریتم ژنتیک است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها: استان گلستان در شمال شرق ایران بین طول‌های جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵٦ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳٦ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی واقع گردیده است. استان گلستان از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به رشته‌کوه‌های البرز، از شرق به کوه‌های بینالود، آلاداغ و رشته‌کوه هزار مسجد و از سمت غرب به دریای خزر محدود است که از دیدگاه کشاورزی یکی از منطقه‌های حاصل‌خیز کشور محسوب شده و جهت آبیاری آن

علاوه برآب‌های سطحی از ذخایر آب‌های زیرزمینی نیز استفاده به عمل می‌آید. از این جهت بررسی کیفیت آب‌های زیر زمینی این منطقه اهمیت دارد.

در این پژوهش ١٤ پراسنجه کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی، شامل Ca، Mg، K، TH، SO_4، EC، TDS، Cl، HCO_3، Anion، pH، SAR، Cation و Na در سال‌های ۱۳۸۵ (۱۱۱ چاه)، ۱۳۹۰ (١١٤ چاه) و ۱۳۹۵ (۱۰۸ چاه) انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. این چاه‌ها در محدوده شهرهای گرگان، گنبد، آق‌قلا، گالیکش، آزادشهر، کلاله، دلند، کردکوی، بندرگز و علی‌آباد می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده در آبخوان گلستان.

Figure 1. Location of sample wells in Golestan province aquifer.

در جدول ۳ مقدارهای میانگین، ماکزیمم، مینیمم و انحراف معیار داده‌های مورداستفاده آورده شده است. برای بررسی منطقه‌های همگن کیفیت آب زیرزمینی استان گلستان از ماتریسی که شامل تعداد چاه‌ها و پراسنجه‌های کیفی است، به عنوان ورودی مدل به الگوریتم خوشه‌بندی فازی برای طبقه‌بندی نمونه‌ها در گروه‌های همگن و تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک، استفاده شد. سپس به‌منظور ارزیابی تعداد بهینه خوشه‌های الگوریتم FCM از شاخص زی و بنی استفاده گردید. پس از تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها منطقه‌های همگن از نظر کیفیت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.2 ترسیم شدند. برای تشخیص کیفیت منطقه‌های پهنه‌بندی شده (خوشه‌ها) از نظر شرب و کشاورزی مقدارهای مرکزهای خوشه‌ها پراسنجه‌های نام برده شده با طبقه‌بندی شولر و ویلکاکس که به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ قرار دارند، مقایسه و بررسی شدند.

جدول ۱- معیارهای کیفیت آب شرب طبق نظر شولر.

Table 1. Drinking water quality criteria according to Schuler.

SO_4^{-2}	Cl	Na	TH	TDS	کیفیت آب (mg/l) Water Quality	
<145	<175	<115	<250	<500	خوب Good	1
145–280	175–350	115–230	250–500	500–1000	قابل‌قبول Acceptable	2
280–580	350–700	230–460	500–1000	1000–2000	متوسط Medium	3
580–1150	1400–2800	460–920	1000–2000	2000–4000	نامناسب Inappropriate	4
1150–2240	1400–2800	920–1840	2000–4000	4000–8000	کاملاً نامطلوب Completely undesirable	5
>2240	>2800	>1840	>4000	>8000	غیرقابل‌شرب Non-potable	6

جدول ۲- رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت براساس تقسیم‌بندی ویلکاکس.

Table 2. Different categories of water and type of quality based on Wilcox classification.

رده Categories	نسبت جذب سدیم SAR	رده Categories	شوری (µS/cm) Salinity (µS/cm)
S1	SAR<10	C1	250>EC
S2	10<SAR<18	C2	750>EC>250
S3	18<SAR<26	C3	2250>EC>750
S4	26<SAR	C4	2250<EC

جدول ۳- مقدار آماره‌های میانگین، ماکزیمم، مینیمم و انحراف معیار داده‌های مورداستفاده در مطالعه.

Table 3. Mean, maximum, minimum, and standard deviation values of the data used in this study.

			TDS	SO_4	Na	TH	Cl	Mg	Ca	pH	HCO_3	EC	SAR	K
۱۳۸۵	2006	مینیمم MIN	318.5	20.2	9.3	162.5	15.8	15.0	26.0	7.2	99.2	457.5	0.3	0.6
		ماکزیمم MAX	2357.0	505.0	716.7	605.0	1064.0	79.2	142.0	7.9	271.3	4286.5	12.9	8.2
		میانگین Average	612.6	81.2	89.3	289.1	106.1	33.5	59.8	7.5	154.2	957.3	2.3	1.5
		انحراف معیار STDV	262.7	66.8	102.6	88.3	146.6	10.3	23.6	0.2	30.3	527.7	2.2	1.2
۱۳۹۰	2011	مینیمم MIN	224.0	1.4	3.0	139.0	8.8	12.0	25.0	6.9	94.0	355.0	0.1	0.8
		ماکزیمم MAX	2756.0	429.2	738.9	714.8	1104.3	93.6	148.0	8.7	324.0	4475.0	14.6	18.3
		میانگین Average	614.0	85.3	86.8	318.4	100.3	35.8	68.7	7.3	169.6	971.6	2.2	2.2
		انحراف معیار STDV	316.6	65.5	103.2	92.9	152.3	12.1	23.5	0.3	29.3	511.4	2.5	1.8
۱۳۹۵	2016	مینیمم MIN	235.0	4.8	4.1	168.9	10.5	15.6	36.0	7.2	96.1	367.0	0.1	0.4
		ماکزیمم MAX	2414.0	479.0	814.2	794.6	1207.5	96.0	160.0	8.5	254.2	3900.0	20.4	10.9
		میانگین Average	650.3	82.4	104.1	310.5	122.7	35.4	66.3	7.8	167.1	1026.3	2.6	1.9
		انحراف معیار STDV	0.3	65.8	114.5	98.8	183.3	13.2	22.0	0.3	29.3	557.4	2.7	1.3

الگوریتم خوشه‌بندی فازی (Fuzzy C-Means): الگوریتم خوشه‌بندی فازی (FCM) توسط بزدک (۱۹۸۱)، مطرح گردیده و برای تحلیل فراوانی ناحیه‌ای به‌طور وسیع استفاده شده است (۳). روش خوشه‌بندی فازی نوع تغییریافته‌ای از روش K-Means است که بر اساس منطق فازی شکل گرفته و در آن بحث تابع عضویت و تعلق یک نمونه به چند خوشه مطرح است. از مهم‌ترین فرضیاتی که در این روش وجود دارد این است که مجموع درجه عضویت هر نمونه در کل خوشه‌ها باید برابر یک باشد.

$$\sum_{i=1}^{c} u_{ik} = 1 \quad \forall\, k = 1, \dots, n \qquad (۱)$$

که در آن، c تعداد خوشه‌ها و u_{ik} درجه عضویت نمونه در خوشه i ام است. با فرض برداشت n نمونه و اندازه‌گیری m عنصر برای آن‌ها، برای تقسیم نمونه‌ها به c خوشه با مرکز معلوم باید الگوریتم زیر رعایت شود: ۱- ابتدا برای هر نمونه نسبت به هر خوشه یک درجه عضویت تصادفی انتخاب شود. ۲- با استفاده از درجه عضویت اولیه و مختصات مرکز خوشه‌ها، لازم است مختصات مرکز جدید خوشه‌ها از رابطه ۲ محاسبه شود:

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^{q} x_{kj}}{\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^{q}} \qquad (۲)$$

که در آن، v_{ij} مقدار متغیر iام از مرکز خوشه j ام، u_{ik} درجه عضویت نمونه kام به خوشه iام، x_{kj} مقدار متغیر jام در نمونه kام است. q معرف مقدار فازی‌شدگی متغیر jام در نمونه kام است که ضریب فازی‌شدگی نامیده می‌شود. در مورد مقدار q هیچ تئوری مشخصی وجود ندارد اما بر حسب اختیار مقداری میان ۱/۳ تا ۳ در نظر گرفته می‌شود (٤).

۳- پس از محاسبه مرکزهای جدید خوشه‌ها لازم است درجه عضویت هر نمونه به مرکز هر خوشه بر مبنای یکی از روش‌های اندازه‌گیری فاصله با توجه به رابطه ۳ محاسبه شود. در اینجا از فاصله اقلیدسی استفاده شده است.

$$u_{ik} = \frac{(d_{ik}^{2})^{-1/(q-1)}}{\sum_{k=1}^{c}(d_{ik}^{2})^{-1/(q-1)}} \qquad (۳)$$

که در آن، d_{ik} فاصله نمونه kام از مرکز خوشه iام است که فاصله اقلیدسی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

٤- محاسبه تابع هدف: تابع هدف متغیر j در محیطی که ضریب فازی‌شدگی q باشد از رابطه ٤ به‌دست می‌آید:

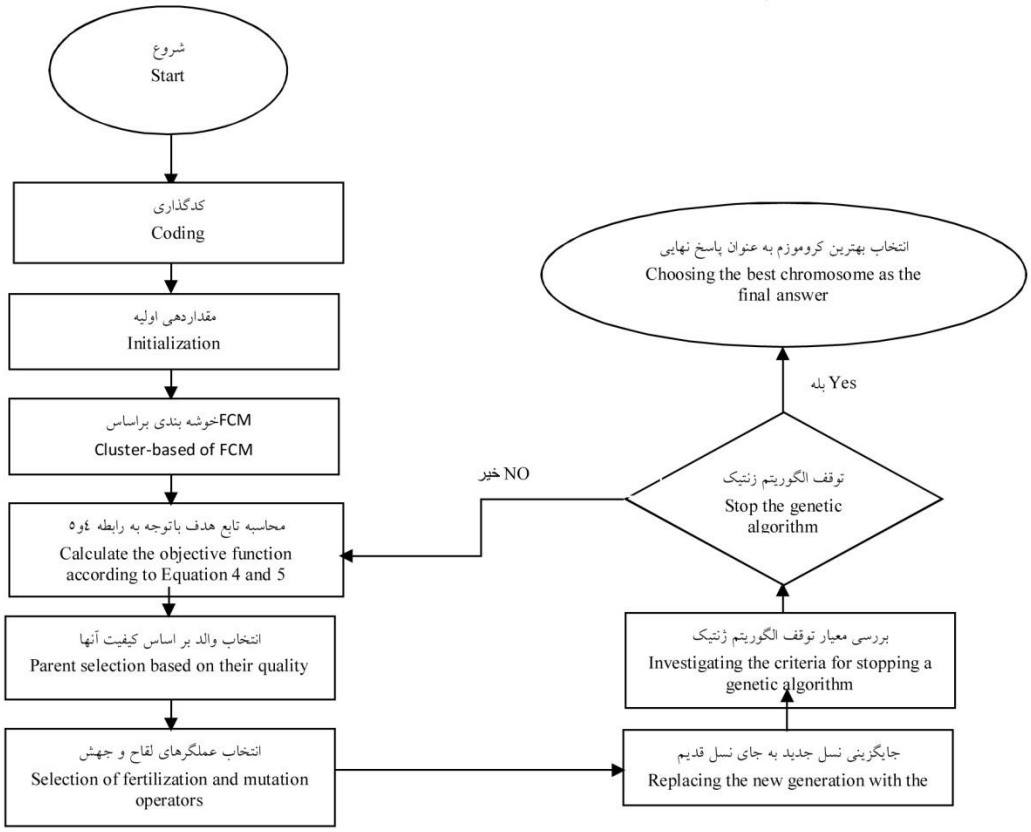
$$J = \sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^{q}\ d_{ik}^{2} = \sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^{q}\ \|x_k - v_i\|^2 \qquad (٤)$$

۵- تکرار محاسبات تا زمانی که فاصله میان توابع هدف محاسبه‌شده در دو مرحله متوالی از یک مقدار بحرانی از پیش تعیین‌شده (۸) که میان 10^{-5} تا 10^{-3} است، کم‌تر باشد (٤). در این روش در همان ابتدا باید سه متغیر c (تعداد خوشه‌ها)، q (ضریب فازی شدگی)، ε (مقدار بحرانی) از پیش تعیین شوند. هم‌چنین باید تعداد خوشه‌ها و مرکزهای خوشه‌ها توسط کاربر در ابتدا مشخص شوند. کیفیت این روش به‌شدت به تعداد اولیه خوشه‌ها و مکان اولیه مرکزهای خوشه‌ها وابسته است. اگر مسأله یک مقدار کمینه داشته باشد، در این صورت FCM خوب عمل می‌کند، ولی اگر چندین کمینه محلی داشته باشد، بسته به مراکز اولیه که تعیین می‌شود، به نزدیک‌ترین کمینه همگرا شده و امکان گیرکردن در کمینه‌های محلی وجود دارد؛ بنابراین اگر جواب اولیه نزدیک کمینه سراسری باشد، به جواب موردنظر همگرا

خواهد شد (٤). برای حل این مشکل از الگوریتم ژنتیک که یکی از متداول‌ترین تکنیک‌های بهینه‌سازی در روند حل مسأله است، استفاده می‌شود. در این پژوهش از ترکیب الگوریتم ژنتیک و خوشه‌بندی فازی به‌صورت تابع دو هدفه استفاده شده است. اولین تابع هدف که فشردگی درون کلاسی را نشان می‌دهد که در رابطه ٤ ارائه شده، است و تابع هدف دیگری که پراکندگی بین خوشه‌ای را بهینه می‌نماید در رابطه ۵ نشان داده شد که پارامترها در روابط بالا توضیح داده شده است.

$$S = \frac{1}{N}\sum_{K=1}^{N} \frac{O(U_k(X_k),C)}{MAX_{i=1,c}U_{ik}} \qquad (۵)$$

فلوچارتی که برای ترکیب الگوریتم ژنتیک و خوشه‌بندی فازی استفاده شده است در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- فلوچارت ترکیب الگوریتم ژنتیک و خوشه‌بندی FCM.

Figure 2. Flowchart of combines genetic algorithm and FCM clustering.

نتایج و بحث

تعداد بهینه خوشه‌ها به همراه تعداد چاه‌های موجود در هر خوشه در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ در جدول ٤ نشان داده شده است.

جدول ٤- تعداد نمونه‌ها در هر کلاس در خوشه‌بندی فازی.

Table 4. Number of samples per cluster for the FCM algorithm.

	Number of wells تعداد چاه‌ها					
	خوشه ١ Cluster 1	خوشه ٢ Cluster 2	خوشه ٣ Cluster 3	خوشه ٤ Cluster 4	خوشه ٥ Cluster 5	خوشه ٦ Cluster 6
١٣٨٥- 2006	12	7	38	27	24	3
١٣٩٠ - 2011	21	13	14	42	24	
١٣٩٥- 2016	18	15	6	23	14	32

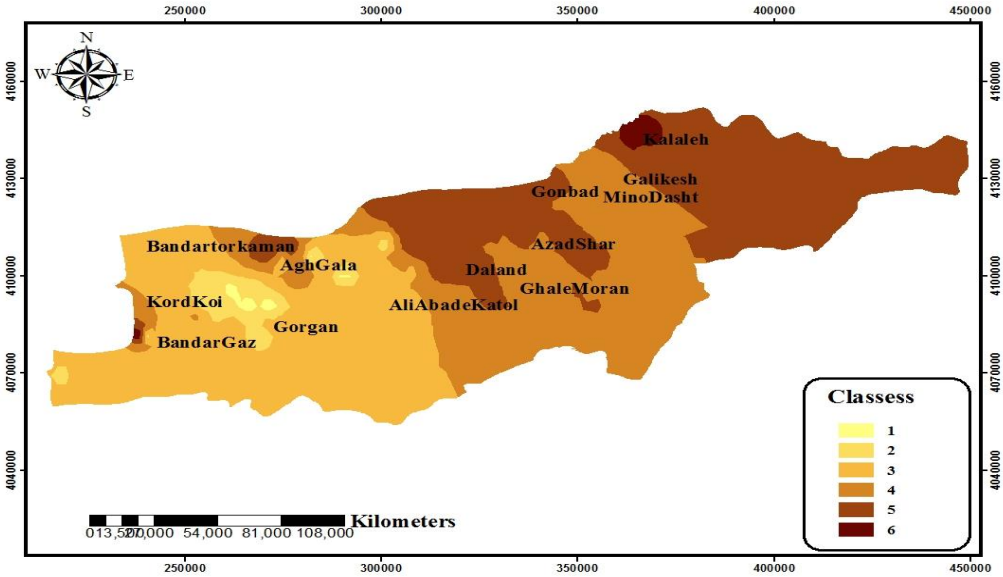
همان‌طور که از جدول ٤ مشخص است تعداد خوشه‌ها در هر سه سال یکسان نیست و در سال ١٣٨٥ و ١٣٩٥ تعداد بهینه خوشه‌ها ٦ و در سال ١٣٩٠، تعداد بهینه ٥ خوشه بوده است. هم‌چنین تعداد چاه‌ها در خوشه‌ها در سال‌های مختلف متفاوت است. به‌عنوان نمونه در سال ١٣٨٥ تعداد چاه‌های قرار گرفته در خوشه ١، ١٢ چاه بوده و در سال ١٣٩٠ و ١٣٩٥ به ترتیب ٢١ و ١٨ چاه بوده است.

نتایج خوشه‌بندی پراسنجه‌های شیمیایی ١١١ چاه عمیق در سال ١٣٨٥ بر اساس خوشه‌بندی فازی، در جدول ٥ ارائه شده است. هم‌چنین کلاس‌بندی مقدارهای پراسنجه‌های شیمیایی مرکزهای خوشه‌ها در شکل ٣ نشان داده‌شده است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی که حاصل از خروجی نتایج الگوریتم خوشه‌بندی فازی ترکیب‌شده با الگوریتم ژنتیک است و با استفاده از طبقه‌بندی کیفی شولر و ویلکاکس به تحلیل نتایج پرداخته شده است.

جدول ٥- مقدارهای پراسنجه‌های شیمیایی در مرکزهای هر خوشه در سال ١٣٨٥ براساس خوشه‌بندی فازی.

Table 5. Mean composition of important hydrochemical parameters of cluster centers values (in 2006) of the studied algorithm.

	Ca	Mg	Na	T.D.S	Cl	SO_4	HCO_3	SAR	EC
خوشه ١ Cluster 1	63.1	33.8	97.8	664.1	116.1	71.0	170.0	2.5	1021.2
خوشه ٢ Cluster2	92.4	46.8	136.0	847.2	217.1	132.7	170.8	2.9	1439.4
خوشه ٣ Cluster3	73.2	33.2	26.6	504.5	33.6	61.9	165.9	0.6	753.1
خوشه ٤ Cluster4	44.7	29.5	56.6	476.8	63.5	54.3	131.5	1.6	708.0
خوشه ٥ Cluster5	37.8	28.6	131.6	641.8	122.7	88.7	145.1	3.9	996.0
خوشه ٦ Cluster6	78.9	70.6	526.9	1684.8	701.2	380.4	151.3	10.3	3278.9

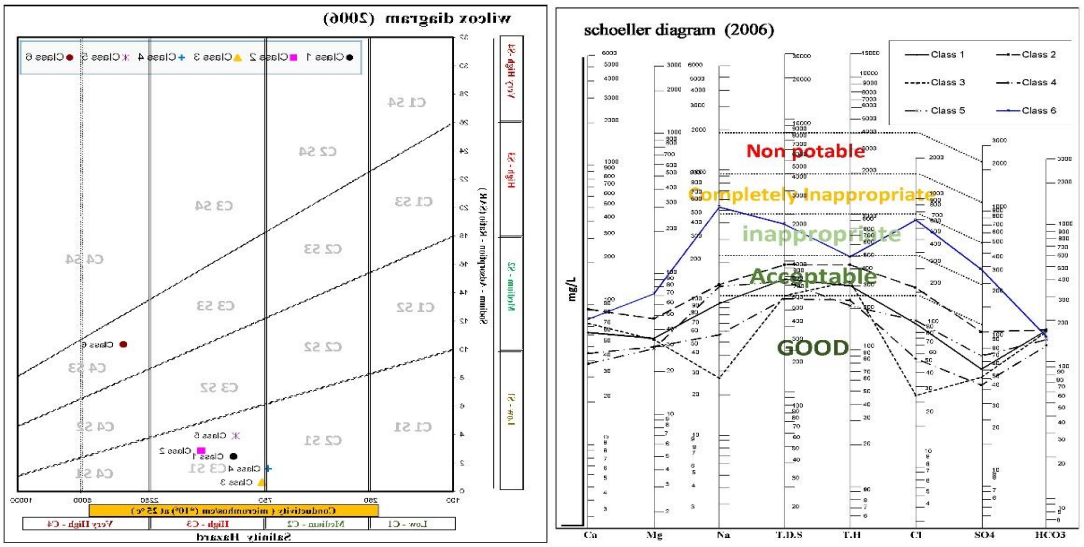


شکل ۳- نقشه همگن‌بندی مقدارهای کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به مراکز خوشه‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی در سال ۱۳۸۵.

Figure 3. Zoning of hydrochemical parameters from average cluster center values using FCM algorithm in 2006.

با توجه به مقدارهای پراسنجه‌های شیمیایی مرکزهای خوشه که در جدول ۵ ارائه شده است و بر اساس طبقه‌بندی شولر خوشه ۵ از نظر کیفیت در وضعیت بهتری نسبت به بقیه کلاس‌ها قرار دارد. خوشه‌های ۱، ۲، ۳، ٤ و ٦ نیز برای شرب از کیفیت مناسبی برخوردار هستند. وضعیت آبخوان در قسمت‌های مختلف استان گلستان از لحاظ غلظت TH در شرایط قابل‌قبولی است. وجود یون سولفات در آب می‌تواند به نحو قابل‌ملاحظه‌ای بر طعم آب تأثیر بگذارد. با توجه به جدول ۵ و نقشه پهنه‌بندی نمونه‌ها و مقایسه پراسنجه‌ها با دیاگرام شولر می‌توان دریافت که به جز خوشه ٦ که تعداد نمونه‌های آن اندک است و دارای کیفیت نامناسب است، کل منطقه از نظر کمیت غلظت SO_4 در حد مطلوبی قرار دارد. جامدات، ذرات معلق یا مواد محلول موجود در آب یا فاضلاب می‌توانند بر کیفیت آب تأثیر منفی بگذارند. به همین دلیل براساس طبقه‌بندی شولر مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از جامدات محلول برای آب‌های آشامیدنی مطلوب شناخته شده است. با توجه به جدول ۵ کیفیت هر ۵ خوشه در حد قابل‌قبول برای شرب بوده است و تنها خوشه ٦ دارای کیفیت نامناسبی است. یون کلراید در آب آشامیدنی ممکن است دارای منشأ طبیعی، فاضلاب، صنعتی، رواناب شهری حاوی نمک و هم‌چنین نفوذ آب‌شور به منابع آب شیرین باشد. براساس جدول ۵ مقدار این یون در خوشه ٦ در حد نامناسب بوده ولی در کل منطقه دارای کیفیت خوب و مطلوبی است. هدایت الکتریکی (EC) معیاری از توان آب برای هدایت جریان الکتریکی است که این ویژگی با کل غلظت مواد یونیزه شده در آب (یون‌های مثبت و منفی) و دمای اندازه‌گیری شده مرتبط است. بر اساس جدول ۵ و طبقه‌بندی ویلکاکس می‌توان این‌گونه دریافت کرد که خوشه ٦ از نظر کشاورزی در محدوده نامناسبی قرار گرفته است. با توجه به مقدارهای

پراسنجه‌های شیمیایی ۱٤ پراسنجه کیفی در سال ۱۳۸۵ در جدول ۵ و طبقه‌بندی ویلکاکس می‌توان نتیجه گرفت که خوشه ٦ که در محدوده شهر کلاله است، از نظر کشاورزی در شرایط مطلوبی نیست. در شکل ٤ که مربوط به دیاگرام شولر و ویلکاکس می‌باشد مقدارهای پراسنجه‌های کیفی مربوط به هر کلاس در سال ۱۳۸۵ نشان داده شده است.



شکل ٤- دیاگرام شولر و ویلکاکس بر اساس مقدارهای مراکز خوشه‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی در سال ۱۳۸۵.

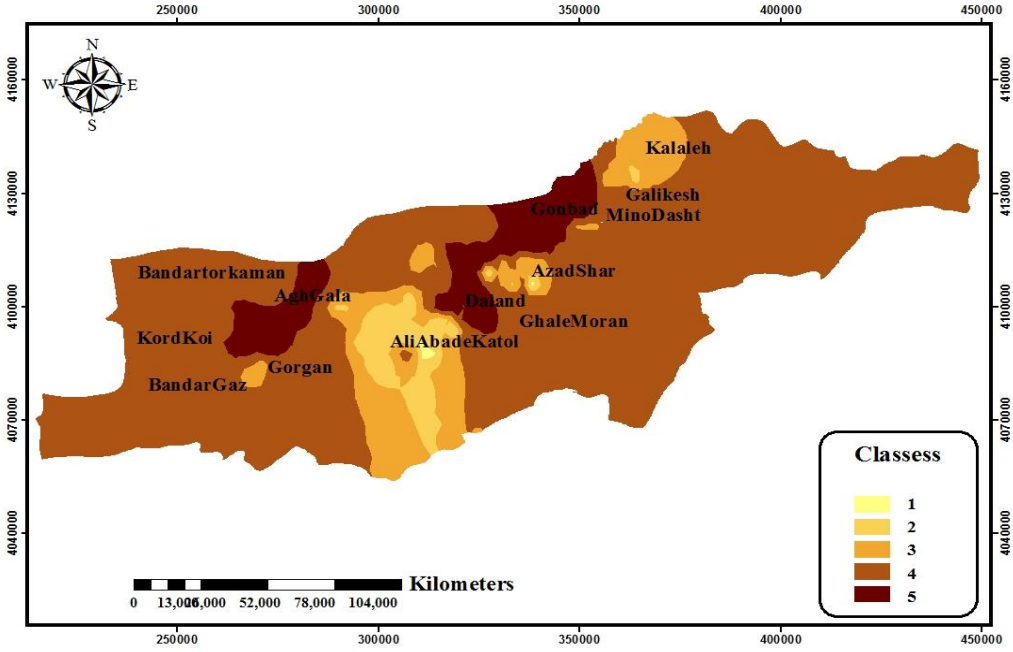
Figure 4. Schuler and Wilcox diagram for the FCM based on cluster center values in 2006.

به‌طورکلی با توجه به شکل ٤ که مقدارهای پراسنجه‌های کیفی آب زیرزمینی در مرکزهای هر خوشه است، این‌گونه استنباط می‌شود که براساس طبقه‌بندی کیفی شولر خوشه ٦ از نظر شرب در حد متوسط و نامناسب بوده ولی ۵ خوشه دیگر دارای کیفیت مناسب برای شرب بوده‌اند. هم‌چنین میزان EC و SAR در خوشه ٦ براساس طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی نامناسب بوده ولی در ۵ خوشه دیگر در حد مطلوب بوده است. همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است ۲/۷٪ از چاه‌ها در وضعیت نامناسبی از نظر کیفیت آب زیرزمینی قرار دارند که این چاه‌ها در محدوده‌ی شهرکلاله قرار دارند. هم‌چنین ۲٤/۳٪ چاه‌ها نیز از نظر وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی در وضعیت خوب قرار دارند. این چاه‌ها در محدوده شهرهای علی‌آباد، دلند، آزادشهر، مینودشت، گنبد و گالیکش قرار دارند. نتایج خوشه‌بندی پراسنجه‌های شیمیایی ۱۱٤ چاه عمیق در سال ۱۳۹۰، در جدول ٦ ارایه شده است. هم‌چنین کلاس‌بندی مقدارهای پراسنجه‌های شیمیایی مرکزهای خوشه‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ٦- مقدارهای پراسنجه‌های شیمیایی در مرکزهای هر خوشه در سال ۱۳۹۰ براساس خوشه‌بندی فازی.

Table 6. Mean composition of important hydrochemical parameters of cluster centers values (in 2011) of the studied algorithm.

علامت اختصاری	Ca	Mg	Na	T.D.S	Cl	SO_4	HCO_3	SAR	EC
خوشه ۱ Class 1	68.9	38.1	73.5	601.1	100.6	86.9	157.4	1.7	953.2
خوشه ۲ Class 2	95.7	45.4	42.2	619.1	63.6	165.9	156.4	0.9	983.9
خوشه ۳ Class 3	42.1	29.6	208.3	824.4	209.0	61.5	195.3	6.2	1311.8
خوشه ٤ Class 4	74.2	32.2	28.1	452.1	33.0	47.4	174.4	0.7	717.2
خوشه ٥ Class 5	51.1	33.8	117.6	632.1	101.2	106.0	165.7	3.1	1002.9

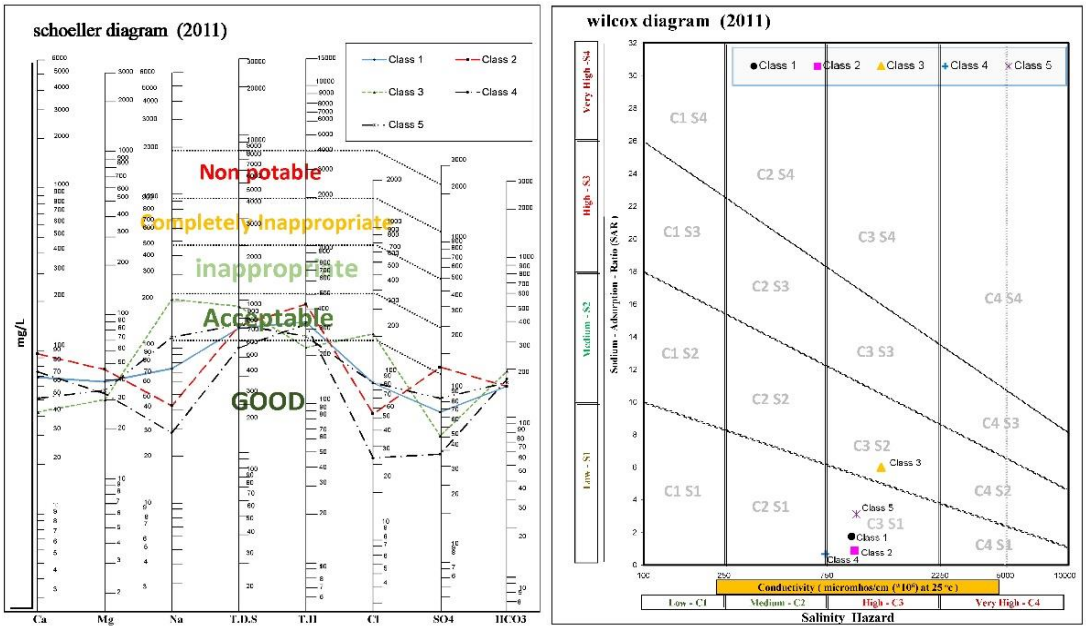


شکل ٥- نقشه همگن‌بندی مقدارهای کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به مرکزهای خوشه‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی در سال ۱۳۹۰.

Figure 5. Zoning of hydrochemical parameters from average cluster center values using FCM algorithm in 2011.

آب سخت آبی است که حاوی نمک‌های معدنی مانند ترکیب‌های بی‌کربنات، یون‌های کلسیم، منیزیم و غیره است. با توجه به جدول ٦ می‌توان این‌گونه استنباط کرد که TH در خوشه ۳ در حد مطلوب بوده و در ٤ خوشه دیگر در حد قابل‌قبول برای شرب است. سولفات همانند سایر مواد معدنی دیگر می‌تواند

سبب بروز لایه‌های فلس مانند در لوله‌های آب شده و ممکن است سبب طعم نامطلوب در آب شود. با توجه به جدول ٦ و مقایسه مقدارهای این جدول با دیاگرام شولر می‌توان این‌گونه دریافت کرد که تنها خوشه ٢ در محدوده‌ی قابل‌قبول قرار گرفته و خوشه‌های ١، ٣، ٤ و ٥ در حد خوب و مطلوب است. مواد جامد محلول در آب ممکن است مواد آلی یا معدنی باشند. درواقع TDS مقدار شفافیت آب را مشخص می‌کند. خوشه ٤ دارای کیفیت خوب بوده و بقیه خوشه‌ها در محدوده قابل‌قبول برای شرب می‌باشند. به‌این‌ترتیب غلظت TDS در بخش عمده منطقه قابل‌قبول است. براساس نتایج حاصل از خوشه‌بندی و مقایسه آن با طبقه‌بندی کیفی شولر برای مصارف شرب می‌توان نتیجه گرفت که خوشه ٣ دارای کیفیت مناسبی برای شرب بوده و بقیه خوشه‌ها در حد قابل‌قبول می‌باشند. یکی از راه‌های ساده تعیین غلظت املاح محلول در آب، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی است. هرچه مقدار املاح حل شده در آب بیش‌تر باشد EC افزایش می‌یابد. با توجه به طبقه‌بندی ویلکاکس و جدول ٦ مقدار EC از نظر کشاورزی در خوشه ٤ در حد خوب و در بقیه خوشه‌ها دارای کیفیت متوسط است. نسبت جذب سدیم (SAR) معیاری برای ارزیابی خطر سدیم در آب‌های مخصوص آبیاری است. با توجه به جدول ٦ که مقدارهای شیمیایی پراسنجه‌های کیفی مرکزهای خوشه‌ها است و جدول ویلکاکس، نسبت جذب سدیم به لحاظ کشاورزی در خوشه ٣ در حد متوسط و بقیه خوشه‌ها در حد مطلوب می‌باشند. در شکل ٦ که مربوط به دیاگرام شولر و ویلکاکس می باشد مقدارهای مرکزهای خوشه‌ها نشان داده شده است.



شکل ٦- دیاگرام شولر و ویلکاکس بر اساس مقدارهای مراکز خوشه‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی در سال ١٣٩٠.

Figure 6. Schuler and Wilcox diagram for the FCM based on cluster center values in 2011.

به‌طورکلی بررسی منطقه مطالعاتی ازنظر کیفیت آب‌های زیرزمینی در سال ١٣٩٠ با توجه به خوشه‌بندی فازی بیانگر آن است که پراسنجه‌های سختی کل، سولفات، کلر و مواد جامد محلول در ٥ خوشه ایجادشده از نظر شرب قابل‌قبول و خوب بوده و پراسنجه‌های SAR و EC بر اساس طبقه‌بندی

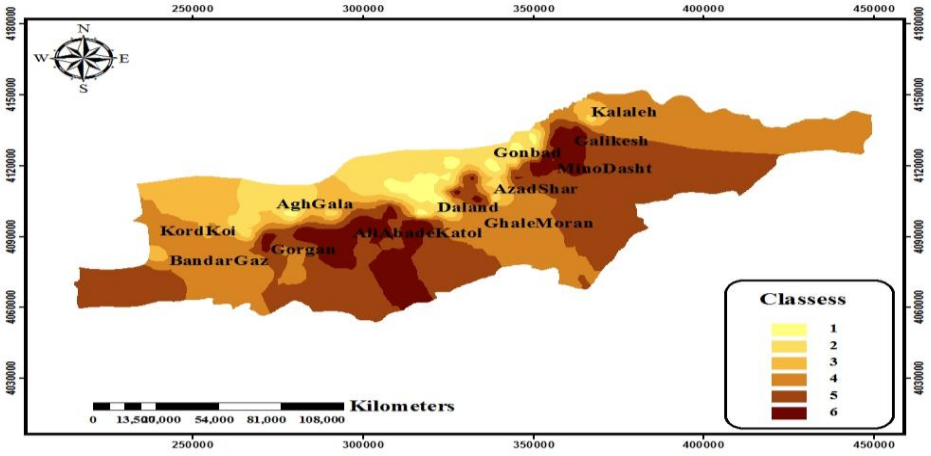
ویلکاکس از نظر کشاورزی در حد متوسط می‌باشند. بر اساس جدول ۵ و شکل‌های ۵ و ٦ می‌توان دریافت که ۳٦/۸٪ چاه‌های استان در وضعیت خوبی از نظر کیفیت پراسنجه‌های شرب قرار دارند که این چاه‌ها به‌طور تقریبی در بیش‌تر نقاط استان وجود دارند و ۳۳/۳۳٪ از چاه‌ها در وضعیت متوسط از نظر کیفیت شرب قرار دارند که این چاه‌ها در محدوده شهرهای علی‌آباد، آزادشهر و کلاله، بخش‌هایی از آق‌قلا و گنبد قرار دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود چاه‌های محدوده شهر کلاله ازنظر کیفیت پراسنجه‌های شرب از وضعیت متوسط در سال ۱۳۸۵ به وضعیت قابل‌قبول در سال ۱۳۹۰ تغییر کرده است.

نتایج حاصل از خوشه‌بندی ۱۰۸ چاه عمیق در سال ۱۳۹۵ در جدول ۷ ارائه گردیده است. پهنه‌بندی نمونه‌ها در هر یک از خوشه‌ها در شکل ۷ نشان داده‌شده است.

جدول ۷- مقدارهای پراسنجه‌های شیمیایی در مرکزهای هر خوشه درسال ۱۳۹۵ براساس خوشه‌بندی فازی.

Table 7. Mean composition of important hydrochemical parameters of cluster centers values (in 2016) of the studied algorithm.

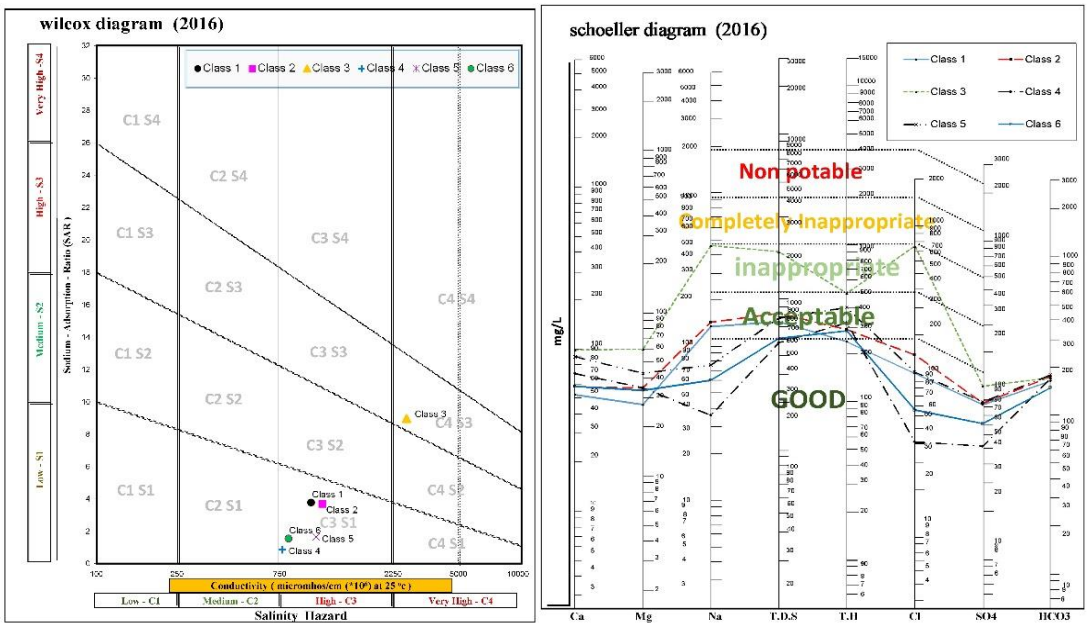
علامت اختصاری	Ca	Mg	Na	T.D.S	Cl	SO_4	HCO_3	SAR	EC
خوشه ۱ Cluster 1	52.4	26.8	135.0	645.4	112.8	93.9	165.2	3.8	1021.7
خوشه ۲ Class 2	58.8	34.0	143.8	728.9	148.9	96.1	175.8	3.7	1156.6
خوشه ۳ Class 3	98.8	59.1	457.7	1792.9	757.5	123.1	172.4	9.8	2872.3
خوشه ٤ Class 4	70.9	34.2	35.5	473.9	40.6	51.4	170.3	0.9	748.4
خوشه ۵ Class 5	89.8	41.9	75.7	681.5	115.1	98.0	180.4	1.7	1081.1
خوشه ٦ Class 6	58.9	32.9	60.2	506.8	65.4	71.3	149.7	1.6	799.8



شکل ۷- نقشه همگن‌بندی مقدارهای کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به مراکز خوشه‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی در سال ۱۳۹۵.

Figure 7. Zoning of hydrochemical parameters from average cluster center values using FCM algorithm in 2016.

با توجه به طبقه‌بندی کیفی شولر حد خوب و نرمال سختی آب شرب کم‌تر از ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و بیشینه مجاز ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. بر اساس دیاگرام شولر و جدول ۷ تنها خوشه ۱ در حد مطلوب و ۵ خوشه دیگر در حد قابل‌قبول برای شرب می‌باشند. سولفات در آب آشامیدنی سهم عمده‌ای در سختی دایم یا غیر کربناتی دارد، غلظت بالای سولفات در تغییر طعم آب مؤثر است. با توجه به جدول ۷ و مقایسه پراسنجه سولفات با دیاگرام شولر مقدار یون سولفات در کل خوشه‌ها در حد مطلوب بوده است. مقدار کل مواد غیر فرار حل شده در آب که شامل یون‌های مختلف است (TDS) به مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای آب‌های آشامیدنی مطلوب شناخته شده است. بر اساس طبقه‌بندی شولر و جدول ۷ خوشه ۳ در حد نامناسب بوده، خوشه ٤ در حد خوب و خوشه‌های ۱، ۲، ۵ و ٦ دارای کیفیت قابل‌قبولی می‌باشند. از آن‌جایی که تعداد نمونه‌ها در خوشه ۳ اندک است، می‌توان این‌گونه استنباط کرد که بخش عمده منطقه دارای کیفیت قابل‌قبول برای شرب هستند. اغلب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها دارای غلظت کلر کم‌تر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشند و هر گونه افزایش قابل‌توجه غلظت کلر در آب، نشانه‌ای از آلودگی احتمالی به شمار می‌آید. با توجه به جدول ۷ و مقایسه آن با دیاگرام شولر مقدار کلر تنها در خوشه ۳ در حد نامناسب بوده و بقیه خوشه‌ها دارای کیفیت مناسب هستند. هم‌چنین با توجه به جدول ۷ و طبقه‌بندی کیفی ویلکاکس، مقدار EC تنها در خوشه ۳ دارای کیفیت نامناسب از نظر کشاورزی بوده و بقیه خوشه‌ها دارای کیفیت مناسب می‌باشند. در شکل ۸ مقدارهای پراسنجه‌های کیفی مرکزهای هر خوشه بر روی دیاگرام شولر و ویلکاکس مربوط به هر کلاس در سال ۱۳۹۵ نشان داده شده است.



شکل ۸- دیاگرام شولر و ویلکاکس بر اساس مقدارهای مراکز خوشه‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی در سال ۱۳۹۵.

Figure 8. Schuler and Wilcox diagram for the FCM based on cluster center values in 2016.

به‌طورکلی نتایج خوشه‌بندی فازی (FCM) در سال ۱۳۹۵ و مقایسه کیفی آن با طبقه‌بندی شولر و ویلکاکس نشان داد که بیش‌تر پراسنجه‌ها در خوشه ۳ دارای کیفیت متوسط هستند که تقریباً ۵/۵۵٪ از چاه‌های استان را شامل می‌شوند. این چاه‌ها در محدوده شهرهای آق‌قلا، کلاله و آزادشهر قرار دارند. هم‌چنین ۵۰/۹۲٪ چاه‌ها در خوشه ٤ و ٦ قرار دارند که این خوشه‌ها با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ ازنظر کیفیت شرب و کشاورزی در محدوده خوب قرار می‌گیرند. این چاه‌ها در محدوده شهرهای علی‌آباد کتول، بندرگز، قلعه موران و گالیکش قرار دارند. همان‌طورکه مشاهده می‌شود کیفیت آب‌های زیرزمینی استان در بعضی از بخش‌ها از وضعیت قابل‌قبول در سال ۹۰ به وضعیت متوسط در سال ۹۵ کاهش داشته است.

نتیجه‌گیری کلی

روش‌های ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی و تشخیص موقعیت‌های مناسب برداشت برای شرب و کشاورزی، از چالش‌هایی است که به لحاظ کاربردی بودن، از اهمیت فراوانی برخوردار است. در بحث ارزیابی و مدیریت کیفی آب، روش تحقیق خوشه‌بندی فازی می‌تواند درجایی کاربرد داشته باشد که ترکیبی از پراسنجه‌های متعدد و مختلف کیفی که هرکدام به‌نحوی در تغییر کیفیت آب می‌توانند مشارکت داشته باشند، در پیش‌رو قرار گیرد. طبقه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان گلستان با استفاده ترکیب الگوریتم ژنتیک با خوشه‌بندی فازی، بر روی ١٤ پراسنجه کیفی در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ مربوط به چاه‌های عمیق صورت گرفت. جهت تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. بعد از خوشه‌بندی داده‌ها در نرم‌افزار MATLAB نتایج خوشه‌بندی از نظر کیفی با دیاگرام شولر و ویلکاکس بررسی و مقایسه گردید و برای درک بهتر براساس ماتریس مقدارهای درجه عضویت خروجی خوشه‌بندی، کلاس‌بندی پراسنجه‌ها برای منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. نتایج بیانگر آن بود که در سال ۱۳۸۵، تعداد بهینه خوشه‌ها ٦ خوشه بوده است که خوشه ٦ که شامل ۲/۷٪ از چاه‌های موردمطالعه را شامل می‌شود در وضعیت نامناسبی از نظر کیفیت شرب و کشاورزی قرار دارند که این چاه‌ها در محدود شهرکلاله قرار دارند. هم‌چنین ٢٤/٣٪ چاه‌ها نیز از نظر وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی در وضعیت خوب و قابل‌قبول از نظر شرب و کشاورزی قرار دارند که این چاه‌ها در خوشه ٤ در محدوده شهرهای علی‌آباد، دلند، آزادشهر، مینودشت، گنبد و گالیکش قرار دارند. نتایج خوشه‌بندی در سال ۱۳۹۰ نیز منطقه مطالعاتی را به ۵ کلاس تقسیم کرده است. بر اساس نتایج می‌توان دریافت که ٣٦/٨٪ چاه‌های استان در وضعیت خوبی از نظر کیفیت پراسنجه‌های شرب و کشاورزی قرار دارند که این چاه‌ها به‌طور تقریبی در بیش‌تر نقاط استان وجود دارند و ۳۳/۳۳٪ از چاه‌ها در وضعیت متوسط از نظر کیفیت شرب قرار دارند که این چاه‌ها در محدوده شهرهای علی‌آباد، آزادشهر، کلاله، بخش‌هایی از آق‌قلا و گنبد قرار دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود چاه‌های محدوده شهر کلاله از نظر کیفیت پراسنجه‌های شرب از وضعیت متوسط در سال ۱۳۸۵ به وضعیت قابل‌قبول در سال ۱۳۹۰ تغییر کرده است. هم‌چنین نتایج خوشه‌بندی فازی در سال ۱۳۹۵ و مقایسه کیفی آن با طبقه‌بندی شولر و ویلکاکس نشان داد که بیش‌تر پراسنجه‌ها در خوشه ۳ دارای کیفیت متوسط هستند که به‌طور تقریبی ۵/۵۵٪ از چاه‌های استان را شامل می‌شوند. این چاه‌ها در محدوده شهرهای آق‌قلا، کلاله و آزادشهر قرار دارند. هم‌چنین ۹۲/۵۰٪ چاه‌ها در خوشه ٤ و ٦ قرار دارند

که این خوشه‌ها با توجه به شکل‌ها از نظر کیفیت شرب و کشاورزی در محدوده خوب قرار می‌گیرند. این چاه‌ها در محدوده شهرهای علی‌آبادکتول، بندرگز، قلعه موران و گالیکش قرار دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود کیفیت آب‌های زیرزمینی استان در بعضی از بخش‌ها از وضعیت قابل‌قبول در سال ۹۰ به وضعیت متوسط در سال ۹۵ رسیده است که این نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در ۵ سال گذشته بوده است و باید برنامه‌های مدیریتی مناسب اتخاذ گردد هم‌چنین مشاهده شد روش خوشه‌بندی فازی روش مناسبی برای بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی است که پژوهش‌های گوپال و گوپتا (۲۰۱٤) و آهنی و همکاران (۲۰۱٦) نیز تأییدکننده این نتیجه بوده است (۱ و ٦)؛ زیرا یکی از مزایای استفاده از خوشه‌بندی فازی در مدل‌سازی توزیع مکانی این است که ساختار داده‌ها و ارتباط بین آن‌ها شناسایی شده و با به‌کارگیری آن می‌توان بر محدودیت‌ها و مشکلاتی که در روش‌های دیگر همچون آنتروپی داده‌ها، غیرهمگنی داده‌ها، تأثیر فرایندهای محیطی مختلف روی توزیع مکانی و غیره وجود دارد، فائق آمد و مدل‌سازی صحیح‌تری از مسأله ارایه داد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله نویسنده مسئول مقاله، از دانشگاه زابل که این پژوهش با حمایت مالی این دانشگاه صورت گرفته است کمال تشکر و سپاسگزاری را دارد.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات این مقاله از پایان‌نامه دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه زابل که در سال ۱۳۹۵-۱۳۹٦ انجام شده است استخراج گردیده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

در این پژوهش مشارکت دانشجو (فریبا پوراحمدی) شامل جمع‌آوری داده‌ها، انجام محاسبات و مدلسازی نوشتن متن پایان‌نامه، مشارکت استاد راهنما (نویسنده مسئول مقاله) شامل راهنمایی تمام بخش‌های پژوهش و تفسیر نتایج، نگارش نسخه اولیه و ویرایش متن بوده است. مشارکت مشاور اول (سلمان شریف آذری) شامل کمک به مدل‌سازی انجام فعالیت‌های گرافیکی، ترسیم و دسترسی به نقشه و اطلاعات مکانی و مشارکت مشاور دوم (خانم پریسا کهخا مقدم) شامل کمک به نگارش متن پایان‌نامه بوده است.

اصول اخلاقی

همه نویسندگان این مقاله اصول اخلاقی در انجام و انتشار پژوهش را مد نظر قرار داده اند.

حمایت مالی

این پژوهش درقالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه زابل و با حمایت مالی این دانشگاه و اعتبار پژوهانه استاد راهنما (نویسنده مسئول) با کد UOZ-GR-9618-18 صورت گرفته است.

منابع

1. Ahani, A., and Mousavi Nadoushani, S. 2016. Assessment of some combinations of hard and fuzzy clustering techniques for regional station of catchments in Sefidroud basin. Journal of Hydroinformatics. 18: 1033-1054.
2. Bezdek, J.C., Chuah, S.K., and Leep, D. 1986. Generalized K-nearest neighbor rules. Fuzzy Sets and System. 18: 237-256.
3. Bezdek, J.C., Ehrlich, R., and Full, W. 1984. FCM: the fuzzy c-means Clustering algorithm. Computers and Geosciences. 10: 2. 191-203.
4. Bricker, O.P., and Jones, B.F. 1995. Main factors affecting the composition of natural waters, in CRC Press, Boca Raton, pp. 1-5.
5. Dahiya, S., Singh, B., Gaur, S., Garg, V.K., and Kushwaha, H.S. 2007. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. J. of Hazardous Materials, 147: 938-946.
6. Goyal, M.K., and Gupta, V. 2014. Identification of Homogeneous Rainfall Regimes in Northeast Region of India using Fuzzy Cluster Analysis. Water Resources Management, 28: 13. 4491-4511.
7. Guler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E., and Turner, A.K. 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, Hydrogeology Journal, 10: 455-474.
8. Guler, C., and Thyne, G.D. 2004. Delineation of hydrochemical facies distribution in a regional groundwater system by means of fuzzy c-means clustering. Water Resources Research. 40: 2345-2360.
9. Guler, C., Kurt, M., Alpasalan, M., and Akbulut, C. 2012. Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques, Journal of Hydrolog. 414-415: 435-451.
10. Kalantari, N., Rahimo, M., and Akbari, A. 2009. Hydrochemical study of Mianaab plain using Statistical method, hydrochemical diagrams and fuzzy logic, Iranian Journal of Geology. 3: 9. 15-25. (In Persian)
11. Kathy, P., World Health Organization. Water, Sanitation and Health Team. 2005. Water recreation and disease : plausibility of associated infections: acute effects, sequelae and mortality, 239p.
12. Ocampo-Duque, W., Ferre-Huguet, N., Domingo, J.L., and Schuhmacher, M. 2006. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. J. of Environment International, 32: 6. 733-742.
13. Ott, W.R. 1978. Water quality indices: A survey of indices used in the United States, Office of Monitoring and Technical Support, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency; Available to the public through National Technical Information Services. EPA-600/4-78-005.
14. Sivasankar, V., Kameswari, M., Msagati, T.A.M., Venkarapathy, M., and Senthil Kumar, M. 2013. Fuzzy set approach-A tool to cluster Holy samples of groundwater quality parameters at Rameswaram South India, Journal of Water Resources and Ocean Science. 2: 3. 33-39.
15. Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy Sets. Information control, 8: 338-353.
16. Zou, H., Zou, Z., and Wang, X. 2015. An Enhanced K-Means Algorithm for Water Quality Analysis of the Haihe River in China, International Journal of Environmental Research and Public Health, 12: 11. 14400-14413.