Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دوازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵
Volume 12, No. 2, Summer 2016 (IR-WRR)
۱۵۲-۱۵۷

یادداشت فنی

تحلیل مکانی گروهی و تحلیل مکانی فازی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت شهربابک به منظور اهداف شرب و کشاورزی

حسین ریاحی مدوار[۱*] و اکرم سیفی[۲]

چکیده

در ایران به دلیل محدودیت و ناپایداری منابع آب سطحی، به طور گسترده‌ای از آب‌های زیرزمینی برای اهداف شرب، آبیاری و صنعت به عنوان منبع آب جایگزین استفاده می‌شود. این پژوهش با هدف تدوین رویکردی برای ارائه پهنه‌های کیفی آب زیرزمینی دشت شهربابک براساس ابزارهای نوین پهنه‌بندی مکانی فازی و تحلیل گروهی مکانی در محیط GIS انجام شده است. بر مبنای نتایج تحلیل فازی به ترتیب ۲۱/۴ و ۴۰/۵ درصد از آب‌های آبخوان دارای کیفیت مطلوب برای اهداف شرب (واقع در شرق و جنوب شرقی) و برای اهداف کشاورزی و آبیاری (قسمت‌های شمالی) می‌باشند. تحلیل گروهی نشان داد که چهار نوع آب آبیاری شامل C3-S1، C3-S4، C4-S1 و C4-S2 در آبخوان دشت شهربابک مشهود است. طبقه C4S1 با شوری زیاد و خطر سدیم کم، نوع غالب آب در منطقه مورد مطالعه بود. نتایج این مطالعه نشان دادند که تحلیل داده‌های کیفی آب با استفاده تحلیل مکانی فازی و تحلیل گروهی در GIS می‌تواند به روشن شدن فاکتورهای کنترل کننده کیفیت آب زیرزمینی کمک کند.

کلمات کلیدی: آبخوان دشت شهربابک، پهنه‌بندی، تحلیل فازی، تحلیل گروهی، کیفیت آب آبیاری.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۲/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱/۳۰

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، ایران.
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، ایران.
*- نویسنده مسئول

Technical Note

Spatial Grouping Analysis and Fuzzy Spatial Analysis of Shahr-e-Babak Plain Groundwater Quality for Drinking and Irrigation

H. Riahi Madvar [1] and Akram Seifi[2]*

Abstract

In Iran the groundwater is frequently being utilized as a water resource for drinking, irrigation, and industrial purposes due to limited and unreliable surface water resources. The main aim of this study is to develop systematic approach in GIS inference fuzzy system management to analyze and map the groundwater quality of Shahr-e-Babak plain located in northwest of Kerman Province. The analysis showed that 21.4 and 40.5 percent of Shahr-e-Babak plain groundwater have suitable quality for drinking (in east and southeast) and for irrigation (in north and northeast), respectively. Grouping analysis also showed four types of irrigation water i.e. C3S1, C3S4, C4S1 and C4S2. High salinity low sodium hazard type of C4S1 was the most dominant in the study area. The results declared that the use of spatial fuzzy and grouping analysis in GIS can obviously clarify controlling factors of aquifer water quality.

Keywords: Shahr-e-Babak plain aquifer, Zoning, Fuzzy analysis, Grouping analysis, Irrigation water quality.

Received: February 19, 2016
Accepted: April 18, 2016

1- Assistant Professor, Dept. of Water Engineering, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran. Email: hossien.riahi@gmail.com
2- Assistant Professor, Dept. of Water Engineering, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

توزیع غیریکنواخت منابع آب شیرین و شرب، افزایش جمیعت و فعالیت‌های مختلف انسانی، عدم وجود منابع سطحی آب، باعث افزایش فشار بر منابع آب‌های زیرزمینی برای تأمین نیازها در بخـــش‌های مختلف صنعت، معدن و کشاورزی می‌شود (Annapoorna and Janardhana, 2015). در حال حاضر، در ایران مصرف غیراصولی آب‌های زیرزمینی در بخش‌های کشاورزی و صنعت، مشکلات بسیاری از لحاظ کمیت و کیفیت این منابع آبی و چالش‌های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی به وجود آورده است. این موارد، اهمیت آب‌های زیرزمینی برای کشور و نیاز به اقدامات پیشگیرانه را آشکار می‌کند.

مجموعه‌های فازی کارایی زیادی در محاسبه و قضاوت در مورد معیارهای کیفیت آب دارند. از بارزترین مشخصه‌های آنها، توانایی تقسیم اطلاعات است که به همین دلیل استفاده از این روش در علوم مختلف رواج گسترده‌ای دارد. در این روش از مقدار تابع عضویت در دامنه صفر تا یک استفاده می‌شود (Dahiya et al., 2007). تئوری مجموعه فازی بر اساس مشکلات واقعی محیطی ایجاد شده است. هدف نهایی این روش، کاهش ابهام و بی‌دقتی موجود در معیارها و ابزارهای تصمیم‌گیری است (McKone and Deshpande, 2005). از دیگر روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی فرآیندها و کیفیت آب زیرزمینی، تحلیل گروهی و تحلیل خوشه‌ای می‌باشند. این نوع از تحلیل‌ها، ابزار مناسبی برای گروهبندی کردن پارامترها و بررسی ارتباط بین آنها است.

با توجه به اهمیت کاربرد عدم قطعیت به منظور تصمیم‌گیری در مورد پارامترهای کیفی آب زیرزمینی از پهنه‌بندی و طبقه‌بندی فازی برای اهداف شرب و کشاورزی در آبخوان چندمنظوره کشاورزی، صنعتی و معدنی شهربابک استفاده شد. همچنین روش نوین تحلیل گروهی مکانی به منظور تعیین نوع آب کشاورزی و نوع طبقه شیمیایی آب تدوین شد که تاکنون مطالعات کمتری در زمینه پهنه بندی مکانی کیفیت آب زیرزمینی با این روش صورت گرفته است.

۲- ادبیات و پیشینه تحقیق

پژوهشگران مختلفی در سطح دنیا کارایی روش استنتاج فازی در ارزیابی کیفی آب زیرزمینی را بررسی و تائید نموده‌اند. از جمله جدیدترین تحقیقات در این زمینه می‌توان به Sakizadeh (2016)، Yan et al. (2010)، Kumar (2010)، Fu-Cheng et al. (2013)، Natarajan Venkat et al. (2010)، Asikkutlu et al. (2015)، Gharibi et al. (2015)، اشاره نمود. نتایج این پژوهش‌ها نشان‌دهنده موفقیت روش فازی در تعدیل عدم قطعیت‌ها و اختلافات ذاتی داده‌ها و همچنین در تفسیر شرایط پیچیده بود. در زمینه تحقیقات داخلی نیز، Norouzian et al. (2001) پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با روش منطق فازی، Kord and Asghari-Moghaddam (2015) ارزیابی کیفیت آب شرب آبخوان دشت اردبیل با روش فازی و روش زمین آماری کوکریجینگ، Keshavarz et al. (2013) با استفاده از توابع عضویت فازی، لایه‌های فازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی و لایه نهایی استحصال آب شرب آبخوان بیرجند را تولید کردند و Nakhaei et al. (2014) پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت ورامین از نظر کشاورزی به روش تحلیل سلسله مراتبی را انجام داده‌اند. همچنین Venkatramanan et al. (2015) به ارزیابی کیفیت فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی برای اهداف شرب و کشاورزی با استفاده از روش‌های مجموعه فازی، تحلیل گروهی و خوشه‌ای در شهر اولسان کره پرداختند.

۳- متدولوژی تحقیق

۳-۱- تحلیل مکانی فازی

در مدل فازی مکانی، نقشه‌های ورودی بر اساس ضوابط و شرایط و امکان عضویت در مجموعه‌های خاص، به صورت صفر و یک تعریف شدند. در هر واحد مکانی، مقدار صفر نشان دهنده نامناسب بودن موقعیت مکانی آن است که عضوی از مجموعه خاص نمی‌باشد. همچنین مقدار عددی ۱ نشان دهنده مناسب بودن موقعیت مکانی است و به صورت عضوی از مجموعه خاص تعریف می‌شود. دامنه عددی بین صفر و ۱ نیز نشان دهنده سطوح عضویت امکان‌پذیر در نقشه می‌باشد (Zadeh, 1973). مقادیر ورودی با استفاده از توابع عضویت و عملگرهای موجود در ArcGIS به دامنه صفر تا ۱ تبدیل شدند. برای تبدیل داده‌ها، توابع عضویت مختلف همچون توابع S شکل (افزایشی)، Z شکل (کاهشی)، خطی ذوزنقه‌ای و مثلثی استفاده می‌شود (Richards et al., 2001). برای فازی کردن لایه‌های رستری پارامترها، از نظرات کارشناسی و محدوده‌های ارائه شده توسط استاندارد WHO (2006) استفاده گردید و نقشه‌های GIS توابع عضویت همه پارامترها بر اساس محدودیت‌های کیفی آب برای شرب و آبیاری ساخته شد. از عملگر AND برای تولید قوانین و همپوشانی لایه‌ها استفاده شد (Keshavarz et al., 2013). در نهایت، با درونیابی IDW مقادیر سلول‌ها بر اساس ترکیبی خطی

www.SID.ir

Archive of SID

وزن‌دهی شده از مجموعه‌ای از نقاط تعیین می‌شوند. در این روش، وزن تابعی از معکوس فاصله است.

۳-۲- تحلیل گروهی

ابزار تحلیل گروهی به ارزیابی اثربخشی گروه‌های تقسیم‌بندی می‌پردازد و به فهم و درک بهتر از داده‌ها کمک می‌کند و خوشه‌های طبیعی مخفی در اطلاعات را برجسته می‌سازد. در تحلیل گروهی، تعداد گروه‌ها بر اساس آماره F مشخص می‌شود. بزرگ بودن این آماره نشان دهنده حداکثر سازی تشابه بین اعضای یک گروه و حداکثر سازی تمایز گروه‌ها با هم است (ESRI, 2010).

$$F = \frac{\left(\frac{R^2}{n_c - 1}\right)}{\frac{(1 - R^2)}{(n - n_c)}} \quad (۱)$$

که

$$R^2 = \frac{SST - SSE}{SST} \quad (۲)$$

و SST نشان دهنده اختلاف بین گروهی و SSE بیانگر شباهت داخل گروهی است:

$$SST = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_v} \left(V_{ij}^k - \overline{V^k}\right)^2 \quad (۳)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_v} \left(V_{ij}^k - \overline{V_t^k}\right)^2 \quad (۴)$$

که n تعداد خصوصیات، n_i تعداد خصوصیات موجود در گروه i، n_c تعداد کلاس‌ها (گروه‌ها)، n_v تعداد متغیرهای استفاده شده برای خصوصیات گروه، V_{ij}^k مقدار k امین متغیر از j امین خصوصیت در i امین گروه، $\overline{V^k}$ مقدار میانگین k امین متغیر و $\overline{V_t^k}$ مقدار میانگین k امین متغیر در گروه i می‌باشد.

بر اساس این روش گروه‌بندی، انواع چاه‌های آب و تناسب آنها برای مصارف شرب و کشاورزی طبقه‌بندی می‌شوند و چاه‌ها و مناطق با خصوصیات مشابه در گروه‌های یکسان قرار می‌گیرند که امکان نمایش بصری گروه‌بندی‌های فضائی را فراهم می‌سازد. تعداد بهینه گروه‌ها نشان‌دهنده وضعیتی است که در تعداد کمتر یا بیشتر از آن ماکزیمم مقادیر تشابه درون گروهی و تمایز برون گروهی حاصل نمی‌شود و در یک فرآیند تقسیم متوالی گروه‌ها مشخص می‌شود.

۴- معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز شهربابک -خاتون آباد با وسعت ۳۱۹۷ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع حوضه در ناحیه شمالی ۳۴۴۰ متر و گودترین نقطه آن در کویر ۱۵۳۰ متر می‌رسد. این حوضه به دو زیر حوضه شهربابک به وسعت ۱۹۳۵ کیلومتر مربع و خاتون آباد با وسعت ۱۲۶۲ کیلومترمربع تقسیم می‌شود. دشت شهربابک در ناحیه شمال غرب استان کرمان در حوزه آبریز ابرقو سیرجان واقع شده است. این محدوده دارای وسعتی حدود ۴۱۱۲ کیلومترمربع بوده که حدود ۶۹ درصد آن را دشت آبرفتی تشکیل می‌دهد. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن، خشک می‌باشد. دشت شهربابک فاقد جریان دائمی آب‌های سطحی است و سیلاب‌های حاصل از ریزش باران از دامنه کوه به سوی پهنه میانی دشت در آبراهه‌ها جریان یافته تا بخشی از سفره آب زیرزمینی را تغذیه نماید (Kerman Regional Water Authority, 2012).

۵- ارایه و تفسیر نتایج

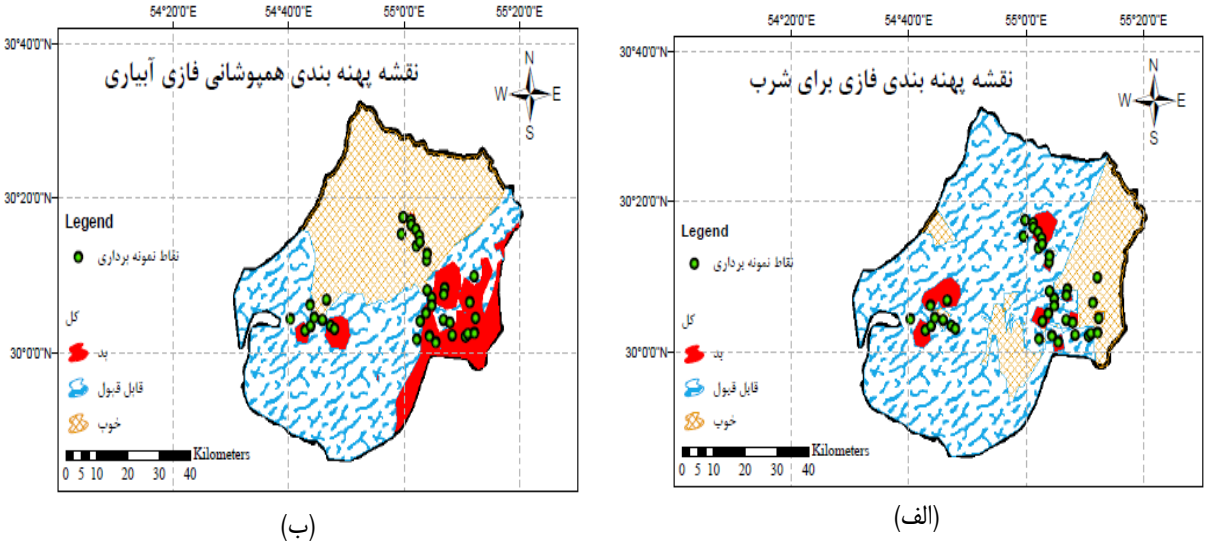
در این تحقیق برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های ناحیه‌ای از روش وزن‌دهی عکس فاصله در محیط GIS استفاده گردید. ارزیابی کیفیت فیزیکوشیمیایی آب برای استفاده شرب و آبیاری بر اساس غلظت پارامترهای اولیه و مقایسه آنها با محدوده‌های ارائه شده توسط WHO انجام می‌شود. در روش فازی GIS، برای اهداف شرب از هفت پارامتر کیفی آب در دو گروه (گروه اول: پارامترهای pH، TDS، SO_4 و Cl، گروه دوم: پارامترهای Ca، Mg و TH) و برای اهداف کشاورزی از پنج پارامتر EC، SAR، Na%، HCO_3 و MH در یک گروه به دلیل اهمیت آنها در کیفیت آبیاری استفاده گردید. برای حل به روش فازی، از نظرات کارشناسی و حدود پیشنهادی Venkatramanan et al. (2015) استفاده گردید و نقشه‌های پهنه‌بندی تابع عضویت فازی برای اهداف شرب و آبیاری ترسیم شد. برای ساخت مدل فازی از قوانین متعددی برای استخراج نقشه‌های گروه‌های اول (۸۱ قانون) و دوم (۲۷ قانون) و در نتیجه نقشه نهایی شرب و همچنین استخراج نقشه مناطق مستعد آبیاری بر مبنای نقشه‌های فازی پارامترهای کیفی استفاده شد. برای ارزیابی نهایی کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف شرب، بایستی نقشه‌های GIS فازی حاصل از گروه ۱ و ۲ را همپوشانی کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

در شکل ۱ الف، نتایج همپوشانی فازی گروه‌های ۱ و ۲ برای اهداف شرب آورده شده است. در این شکل ملاحظه می‌شود که کیفیت آب زیرزمینی در مناطق شرقی و جنوب شرقی آبخوان دشت شهربابک، برای اهداف شرب مطلوب است که ۲۱/۴ درصد از مساحت دشت را به خود اختصاص داده‌اند. در این شکل، لکه‌های قرمز رنگ نشان دهنده کیفیت غیرقابل قبول (بد) آب شرب هستند که در نواحی محدودی از قسمت‌های جنوبی، غربی و شرقی آبخوان دیده می‌شوند که شامل ۲/۸ درصد از مساحت دشت می‌شود. ملاحظه می‌شود که آب زیرزمینی دشت از نظر کیفیت شرب به سمت نامطلوب شدن پیش می‌رود که در صورت عدم جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی در سال‌های آتی این وضعیت بدتر خواهد شد.

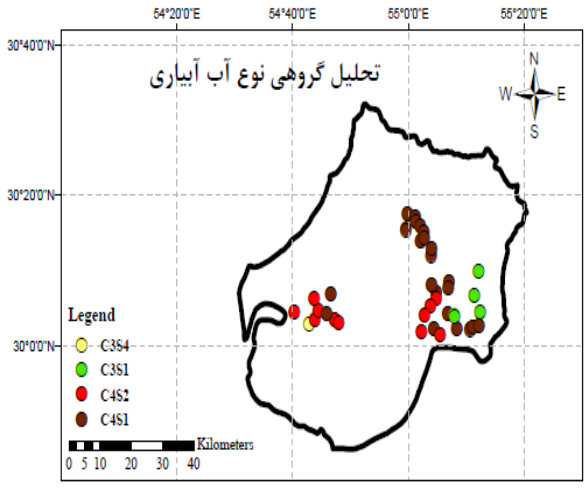
نقشه همپوشانی پارامترهای کیفی آبیاری در شکل ۱ ب آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، کیفیت آب برای اهداف آبیاری در قسمت‌های جنوبی و جنوب شرقی و در تعدادی از چاه‌های موجود در منطقه رباط واقع در غرب آبخوان غیر قابل قبول می‌باشد که شامل ۱۲/۶ درصد از مساحت آبخوان می‌شود. قسمت‌های شمالی آبخوان دشت شهربابک دارای کیفیت مطلوب برای آبیاری است که مساحتی در حدود ۴۰/۵ درصد را به خود اختصاص داده است.



(الف) (ب)

شکل ۱- نقشه پهنه‌بندی مناطق دارای آب زیرزمینی مستعد (الف) شرب و (ب) آبیاری بر اساس سیستم استنتاج فازی در GIS

نتایج تحلیل گروهی در شکل ۲ نشان داد که اکثر آبخوان به جز قسمت کوچکی از شرق آبخوان، در کلاس C4 قرار دارد. همچنین بر اساس نقشه تحلیل گروهی در شکل ۲ و درصد مشارکت در هر گروه و محدوده مؤثر هر گروه، از بین چهار گروه کیفیت کشاورزی، بیشترین نمونه‌ها در طبقه C4-S1 قرار دارند و طبقه C4-S2 گروه دوم با بیشترین فراوانی می‌باشد. این دو گروه نشان دهنده وضعیت شوری بالا با مقدار سدیم پایین و در نتیجه خطر سدیم کم می‌باشند. با ادامه روند کنونی از نظر کیفیت آب زیرزمینی دشت شهربابک و با وجود مناطق صنعتی بسیاری که در این شهرستان وجود دارد انتظار می‌رود که در صورت عدم مدیریت و بهره‌برداری مناسب این آب‌ها در آینده‌ای نه چندان دور، امکان کشاورزی در این دشت به طور کل از بین خواهد رفت و وضعیت دشت وخیم‌تر خواهد شد.



شکل ۲- تحلیل گروهی آبخوان بر مبنای اهداف کشاورزی

www.SID.ir

Archive of SID

۶ – نتیجه گیری

مطالعه حاضر مربوط به بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت شهربابک می‌باشد که با روش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی دارای کیفیت مطلوب برای اهداف شرب و قسمت‌های شمالی و شمال شرقی دارای کیفیت مطلوب برای آبیاری بودند. دلیل کیفیت غیرقابل قبول برای اهداف شرب در قسمت‌های غربی و برای اهداف کشاورزی در قسمت‌های شرقی، رواناب آبیاری، فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب خانگی، دفع زباله و شوری زیاد خاک و آب عنوان شد. با توجه به بررسی صورت گرفته و نتایج حاصل، مشخص شد که منابع آب زیرزمینی منطقه دارای مقادیر زیادی شوری تا بیشینه ۱۵۰۰۰ µS/cm هستند که برای کشاورزی کیفیت نامناسبی محسوب می‌شود. زیرا ممکن است کیفیت محصولات تولیدی نامطلوب باشد و شوری زیاد موجب تخریب بافت خاک گردد. همچنین تحلیل گروهی نشان داد که چهار نوع آب آبیاری شامل C3-S1، C3-S4، C4-S1 و C4-S2 در آبخوان دشت شهربابک مشهود است. طبقه C4-S1 با شوری بالا و سدیم کم دارای بیشترین فراوانی در آبخوان دشت شهربابک بود. از آنجایی که آبخوان دشت شهربابک چندمنظوره است و برای اهداف شرب، کشاورزی و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد، عدم مدیریت صحیح منابع آب‌های زیرزمینی این دشت در آینده‌ای نه چندان دور سبب افت بسیار شدید این منابع و کاهش شدید کیفیت این منابع خواهد شد.

پی نوشت‌ها

1- Geographic information system
2- Grouping Analysis
3- Magnesium Hazard
4- Sodium Absorption Ratio
5- Sodium Percent
6- Total Hardness
7- World Health Organization

۷- مراجع

Annapoorna H, Janardhana MR (2015) Assessment of groundwater quality for drinking purpose in rural areas surrounding a defunct copper mine. Aquatic Procedia, 4:685-692

Asikkutlu B, Akkoz C, Ozturk BY, Gumus NE (2015) Evaluation of water quality using fuzzy logic in Beykavagi Pond, Turkey. Journal of Selcuk University Natural and Applied Science, 4(1): 132-152

Dahiya S, Singh B, Gaur S, Garg VK, Kushwaha HS (2007) Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. Hazard Mater 147:938–946

ESRI (2010) ArcGIS 10.2 Software and user manual. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA. http://www.esri.com/

Fu-Cheng L, Xue-Zhao H (2013) Application of fuzzy c-means clustering for assessing rural surface water quality in Lianyungang City. In: Proc. of Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA,2013), IEEE,Madrid, Spain , 5-7 Jun, 291-295

Gharibi H, Mahvi AH, Nabizadeh R, Arabalibeik H, Yunesian M, Sowlat MH (2012) A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. Environmental Management, 112: 87-95

Kerman Regional Water Authority (2012) Groundwater studies of Shahe-e-Babak plain aquifer. 143 p

Keshavarz A, Khashei Seouki A, Najafi MH (2013) Locating of suitable area of pumping drinking water using FAHP method (Case Study: Birjand Aquifer). Water and Wastewater, 3: 135-142 (In Persian)

Kord M, Asghari-Moghaddam A (2015) Evaluation of drinking water quality of Ardabil plain aquifer by cokriging and fuzzy logic. Water and Soil Conservation, 21(5): 225-240 (In Persian)

Kumar NV, Mathew S, Swaminathan G (2010) A hybrid approach towards the assessment of groundwater quality for potability: a fuzzy logic and GIS based case study of Tiruchirappalli City, India. Geographic Information System, 2(03): 152

McKone TE, Deshpande AW (2005) Can fuzzy logic bring complex environmental problems into focus?. Environmental Science Technology, 39:42–47

Nakhaei M, Vadiati M, EsmaeiliFalak M (2014) Groundwater qualitative zoning of Varamin Plain for agricultural applications using Analytical Hierarchy Process method in GIS. Iran-Water Resources Research, 9(3): 94-98 (In Persian)

Natarajan Venkat K, Samson M, Ganapathiram S (2010) Multifactorial fuzzy approach for the assessment of groundwater quality. Water Resource and Protection, 2(6):597

Norouzian K, Tajrishy M, Abrishamchi A (2001) Water quality zoning of rivers by the technique of fuzzy clustering analysis. Computational Methods in Engineering (Esteghlal), 20(1): 55-68 (In Persian)

Richards JP, Boyce AJ, Pringle MS (2001) Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile: a

www.SID.ir

Archive of SID

WHO (World Health Organization) (2006) Guidelines for drinking water quality, 3rd edn. WHO, Geneva

Wilcox LV (1955) Classification and use of irrigation waters. US Department of Agriculture, Washington, p 969

Yan H, Zou Z, Wang H (2010) Adaptive neuro fuzzy inference system for classification of water quality status. Environmental Sciences, 22(12): 1891-1896

Zadeh LA (1973) Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1:28– 44

model and temporal localization of porphyry Cu mineralization. Economic Geology, 98: 1515-1533.

Sakizadeh, M (2016) Artificial intelligence for the prediction of water quality index in groundwater systems. Modeling Earth Systems and Environment, 2: 1-9

Venkatramanan S, Chung SY, Rajesh R, Lee SY, Ramkumar T, Prasanna MV (2015) Comprehensive studies of hydrogeochemical processes and quality status of groundwater with tools of cluster, grouping analysis, and fuzzy set method using GIS platform: a case study of Dalcheon in Ulsan City, Korea. Environmental Science and Pollution Research, 22(15): 11209-11223

www.SID.ir