

ارزیابی پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی جهت مصارف آب شرب با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت ارومیه)

رقیه صمدی^۱، جواد بهمنش^{۲*} و حسین رضایی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه ارومیه

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۹

چکیده

روند روبه رشد جمعیت و نیاز به منابع جدید آب، ارزیابی کیفیت آب و راهبرد مدیریت منابع آب را اجتناب ناپذیر کرده است. در این پژوهش دشت ارومیه به عنوان دشتی که با افت سطح آب و کیفیت رو به رو است انتخاب گردید. آنچه مورد هدف است پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت ارومیه برای مصارف شرب با استفاده از عوامل موثر در کیفیت از طریق مدل AHP و تکنیک GIS می باشد. برای نیل به اهداف از اطلاعات ۱۲۸ حلقه چاه آب عمیق مربوط به دوره آماری ۹۱-۱۳۹۰ استفاده شد. در ابتدا نقشه های رستری منطقه مورد مطالعه با روش های مختلف درون یابی تهیه گردید. با توجه به نحوه پراکندگی نمونه ها، برای تهیه نقشه های پهنه بندی سدیم، کلر، سولفات، کل نمک های محلول، سختی کل و هدایت الکتریکی از روش کریجینگ استفاده شد. بر اساس نمودار شولر و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، بهینه ترین وزن ها برای هر یک از متغیرهای هیدروشیمیایی انتخاب شد. در نهایت با تلفیق و هم پوشانی لایه های هیدروشیمیایی و اعمال وزن های نهایی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پتانسیل کیفی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای تعیین مکان های مناسب برای مصارف شرب تهیه گردید. نتایج نشان داد که در بین پنج منطقه پتانسیلی معرفی شده از نظر طبقه بندی شولر ۷۸/۴ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده خوب تا قابل قبول، ۷/۷ درصد در محدوده نامناسب، ۱۲/۹ درصد در محدوده بد و ۱ درصد در محدوده قابل شرب در مواقع ضروری هستند. به طور کلی بخش مرکزی و جنوبی و شمال شرقی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه بهترین کیفیت آب زیرزمینی را برای مصارف شرب دارد.

کلید واژه ها: دشت ارومیه، پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی، آب شرب، مدل تحلیل سلسله مراتبی، تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی.

Evaluation of Groundwater Qualitative Potential for Drinking Water Consumptions by AHP Model and GIS Technique (Case Study: Urmia Plain)

R.Samadi¹, J.Behmanesh^{2*} and H.Rezaie³

1-M.Sc Student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Urmia University

2*-Associate Professor of Water Engineering, Department of Water Engineering, Urmia University

3-Associate Professor of Water Engineering, Department of Water Engineering, Urmia University

Received:9 February 2014

Accepted:21 October 2014

Abstract

Increasing population and demand for water resources caused to evaluation water quality and manage water resources unavoidable. In Urmia plain water quality and quantity is confronted with critical condition. The purpose of this research is to zone the groundwater quality in Urmia plain for potation consumptions by AHP model and GIS technique. To achieve these purposes, the data of 128 deep wells from 2011 to 2012 was used. In the beginning, raster maps of studied region were provided with different methods of interpolation. In attention to wells distribution in the plain the Kriging method was used to zone maps of Sodium, Chlorine, Sulfate, Total dissolved solids, total hardness and electrical conductivity. Based on Schuler

diagram and using analytical hierarchy process, the most efficient weights for each hydro-chemical variables were selected. Finally with overlapping hydro-chemical layers and exerting definitive weights in geographic information system, groundwater qualitative potential map in the studied region for determining the suitable places for drinking water was provided. The results showed that among five defined potential region, 78.4% of studied region is in good up to acceptable range, 7.7% is in inappropriate range, 12.9% is in bad range and 1% is in potable in necessary times. Entirely, central, south, northeast and northwest parts of studied region have best quality of groundwater for drinking consumptions.

Keywords: Urmia plain, Qualitative potential of groundwater resources, Drinking water, AHP model, GIS technique.

اشاره کرد: چزگی و همکاران (۱۳۸۹) به مکان یابی محل های مناسب برای احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره با تاکید بر منابع آب غرب استان تهران پرداختند. نتایج نشان داد که معیار آب در مقایسه با دیگر معیارها در ارجحیت قرار دارد و مناسب ترین آبراهه ها برای احداث سد زیرزمینی، آبراهه های با رتبه سه و چهار می باشد. از نظر کیفیت آب هم اگر در منطقه منابع آلوده کننده آب مانند کارخانجات صنعتی و نظایر آن وجود داشته باشد در مرحله اول مکان یابی، مناطق پایین دست به عنوان مکان های نامناسب حذف می گردد و در سایر موارد کیفیت آب عمدتاً متأثر از زمین شناسی منطقه می باشد که در شرایط متعارف چندان مشکل ساز نیست. اقتصادی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل فرآیند سلسله مراتبی و شبکه عصبی مصنوعی به بررسی مکان های مناسب تغذیه مصنوعی در منطقه شهریاری استان یزد اقدام کردند و مناطق شناسایی شده با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه عصبی مصنوعی را با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج حاکی از آن بود که شبکه عصبی مصنوعی توانست مکانهای مناسب و نامناسب را به خوبی شناسایی نماید. این رو می توان از تلفیق شبکه عصبی مصنوعی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به منظور شناسایی مکان های مناسب تغذیه مصنوعی در حوزه های آبخیز با اطلاعات اندک استفاده نمود. رضانی مهربان و همکاران (۱۳۹۰) در مورد مکان یابی محل های انجام عملیات تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی با به کارگیری روش های تصمیم گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی دشت شمیل و آشکا را در استان هرمزگان مطالعه کردند. در این راستا لایه های اطلاعاتی مربوط به هر کدام از معیارها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی^۴ طبقه بندی شد و وزن دهی با استفاده از دو روش وزن دهی تجمعی ساده و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با بکارگیری فن بردار ویژه صورت گرفت. نقشه توانمندی تغذیه مصنوعی در چهار طبقه به طور کامل نامناسب، نامناسب، تا حدودی مناسب و مناسب طبقه بندی شد. مقایسه نتایج حاصل از دو روش نشان داد که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در کنار فن بردار ویژه، نتایج با اعتبار بیشتری را

مقدمه

آب زیر زمینی، یک ذخیره مهم آب برای کاربردهای مختلف به شمار می رود. کشور ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک با نزولات جوی بسیار اندک می باشد، به طوری که میانگین بارش سالیانه آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان است (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶). ایران دارای مشخصات هیدرولوژیکی خاص نظیر نزولات جوی ۴۱۳ میلی متر، تبخیر و تعرق ۲۹۶ میلی متر در سال، حجم آب قابل دسترس ۱۱۷ میلیارد مترمکعب، سرانه آب تجدید شونده ۱۹۰۰ مترمکعب (متوسط آب تجدید شونده جهانی ۷۶۰۰ مترمکعب) و مصرف ۳/۴ میلیارد مترمکعب می باشد که حدود ۶۵ درصد آن از آب های زیرزمینی تأمین می گردد (علیزاده، ۱۳۸۸). بنابراین به دلیل عدم دسترسی به آب های سطحی در بخش های زیادی از کشورمان آب زیر زمینی در تأمین آب مصرفی در بخش های کشاورزی، شرب و صنعت نقش اساسی دارد. در سال های اخیر با افزایش روزافزون جمعیت، توسعه صنعت، رشد شهرنشینی و به تبع آن افزایش تقاضا به مواد غذایی و تولیدی، بهره برداری از منابع آب زیرزمینی چندین برابر شده است. بنابراین مدیریت و ارزیابی آب زیرزمینی برای مصارف مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی روشی است ساده، قوی و منعطف و برای تصمیم گیری در شرایطی که انتخاب بین گزینه ها مشکل است، استفاده می شود (برتولینی و همکاران، ۲۰۰۶). تحلیل سلسله مراتبی^۲ یکی از گسترده ترین ابزارهای تصمیم گیری چند معیاره است که از نظر مدیریتی بزرگترین انگیزه برای انجام مطالعات کیفیت آب، نیازهای کیفی آب و اثرات متقابل آن بر مصارف مختلف است (معروفی و همکاران، ۱۳۸۸). برای مثال فعالیت های کشاورزی، صنعتی و نزدیکی به نواحی مسکونی بر نحوه پراکنش شاخص های کیفی و متعاقب آن در تغییر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان تأثیر به سزایی دارد (بکری و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعات مختلفی در زمینه های مختلف با استفاده از روش سلسله مراتبی صورت گرفته است که می توان به برخی موارد

1- Bertoloni *et al.*

2-Analytical Hierarchy Process

3- Bakri *et al.*

متعددی به منظور بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی توسط محققان مختلف در راستای پهنه بندی پارامترهای کیفیت آب آبخوان با استفاده از روش های زمین آماری انجام شده است. از جمله مقدم و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام کردند. در این راستا سری های زمانی تشکیل شده برای سه پارامتر هدایت الکتریکی، پی اچ و کل املاح محلول ارزیابی گردید و تأثیر عوامل مختلف، به ویژه نوسانات آب و هوایی در دوره های زمانی سه ساله، مدنظر قرار گرفت. نتایج نشان داد افزایش فعالیت های انسانی، نوسانات آب و هوایی، دمای آب و آلودگی های انتقال یافته از خارج محدوده مطالعاتی به ترتیب از عوامل مؤثر بر کیفیت آب دشت مشهد می باشند. احمدنژاد و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت زیرراه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. در این مطالعه متغیرهای هیدروشمیایی به روش مجذورعکس فاصله^۵ درون یابی شد و در نهایت با تلفیق لایه های متغیرهای هیدروشمیایی، نقشه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی ترسیم شد. احمدی و صدق‌آمیز (۲۰۰۷) نشان دادند بسیاری از پارامترهای آبخوان دارای ساختار مکانی بوده و به بررسی وضعیت افت آبخوان نیز پرداختند. در مطالعه ای در حوضه آبریز فیروزآباد، برای بخش های کشاورزی و شرب به صورت مجزا کیفیت آب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی شد که نتیجه آن ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب تر در زمینه کیفیت این حوضه بود (عسکری مارنانی و همکاران، ۲۰۰۱). کلینهو و همکاران^۶ (۲۰۰۵) در ارزیابی تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی، هدایت الکتریکی و نترات دریافتند که افت سفره آب زیرزمینی در مقایسه با سال ۱۹۹۰ به شش متر رسیده است. با توجه به بررسی های صورت گرفته لزوم بررسی پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت ارومیه مشخص می گردد. بنابراین این پژوهش سعی دارد تا با استفاده از تحلیل پارامترهای تاثیرگذار در کیفیت آب زیرزمینی، تهیه لایه رستری، وزن دهی به مولفه ها از طریق روش سلسله مراتبی و ترکیب لایه ها در محیط نرم افزار ArcGIS10، بهترین مکان های مناسب را از لحاظ شرب تعیین و پهنه بندی کند. نتایج بدست آمده از این پژوهش در مدیریت منابع آبی محدوده مطالعاتی از اهمیت قابل توجهی برخوردار می باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت ارومیه باعرض جغرافیایی ۳۹° ۱۳' و طول جغرافیایی ۱۷° ۲' ۳۶° درجه در شمال غربی ایران با متوسط بارندگی ۳۰۴ میلی متر در سال دارای اقلیم سرد و خشک می باشد. این دشت با مساحت ۱۳۸۷۳۲/۵ هکتار در اراضی

ارائه میدهد. کرمی شاه ملکی و همکاران (۱۳۹۰) به مقایسه روش های رگرسیون لجستیک^۱، درستیک^۲ اصلاح شده و تحلیل سلسله مراتبی درستیک^۳ در بررسی آسیب پذیری آب های زیرزمینی پرداختند. نتایج مبین دقت بالای روش تحلیل سلسله مراتبی درستیک نسبت به روش های ترکیبی مطالعه شده در این تحقیق بود. چابک بلداجی و همکاران (۱۳۸۹) به مکان یابی عرصه پخش سیلاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در حوضه آبریز عشق آباد طیس اقدام نمودند. بدین منظور لایه های اطلاعاتی شیب، نفوذپذیری، ژئومرفولوژی، جنس سازند و تراکم پوشش گیاهی در قالب مدل های مختلف با یکدیگر تلفیق و نقشه اولویت مکانی پخش سیلاب تهیه گردید. مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با نقشه سامانه پخش سیلاب اجرا شده در منطقه مطالعاتی نشان داد که عوامل به کار گرفته شده در مدل برای دستیابی به مکان یابی پخش سیلاب مناسب بوده و طرح اجرا شده در محدوده مناطق بسیار مناسب و خوب که توسط مدل تعیین شده بود قرار گرفت. لذا مدل تحلیل سلسله مراتبی روش مناسبی جهت مکان یابی عرصه های پخش سیلاب در حوزه های آبخیز مناطق خشک کشور می باشد. همچنین نخعی و دیعی (۱۳۹۱) در مطالعه ای به ارزیابی کیفیت آب شرب دشت درگز با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند و نقشه پتانسیل کیفی منابع آب های زیرزمینی را در پنج پهنه بدست آوردند. نتایج نشان داد به طور کلی بخش جنوب غربی منطقه مورد مطالعه بهترین کیفیت آب زیرزمینی را برای مصارف شرب دارد که ۶۹ درصد از منطقه را شامل می شود.

یکی از بهترین سیستم هایی که دسترسی به اطلاعات زیاد، متنوع و تجزیه و تحلیل را آسان تر و سریع تر می کند، سیستم اطلاعات جغرافیایی است. از این سیستم در زمینه های متنوعی، از جمله پهنه بندی کیفی آب زیرزمینی استفاده می شود (احمدنژاد و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به افزایش حجم داده ها، ماهیت رقومی آنها و توسعه کاربردها و تحلیل های مورد نیاز، روش های سنتی تحلیل داده های مکانی، مانند روش های آماری نمی توانند به تنهایی و با قابلیت اطمینان بالا مورد استفاده قرار گیرند. زیرا این روش ها، اصولاً برای کار با داده های کم حجم طراحی شده اند و در مواجهه با حجم عظیم داده ها نه تنها سرعت و کارایی لازم را نخواهند داشت، بلکه قادر به پاسخگویی نیازهای جدید نیز نخواهند بود. در این میان استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی راه حل مناسبی برای تحلیل و استخراج اطلاعات مفید از داده های مکانی است (ازکان^۴، ۲۰۰۷). از آنجا که این تحلیل ها اطلاعات سودمندی از داده های مکانی موجود استخراج می کنند، می توانند در تصمیم گیری های آتی بسیار موثر باشند. مطالعات

- 1- Logistic Regression
- 2- Drastic
- 3- AHP-DRASTIC
- 4- Ozcan

5- Inverse Distance Weighted
6- Kelinhu et al.

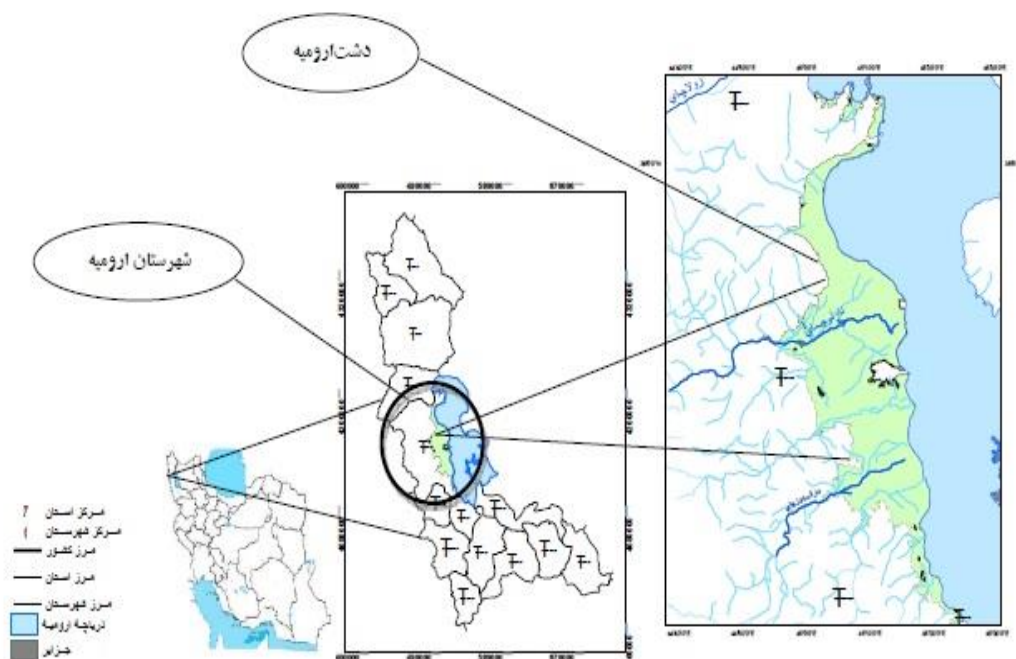
پارامترهای مؤثر و روش تهیه لایه های اطلاعاتی آنها

در این پژوهش برای ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی نظیر کلر (Cl)، سدیم (Na)، سولفات (SO_4)، سختی کل (TH)، کل املاح محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) محدوده مطالعاتی، در ابتدا با توجه به مساحت منطقه ۱۲۸ حلقه چاه عمیق انتخاب و از آب آنها نمونه برداری شد. چاه های مذکور توسط شرکت سهامی آب منطقه ای آذربایجان غربی برای بررسی وضعیت سطح ایستابی آب و کیفیت شیمیایی دشت ارومیه بر اساس اصول علمی و آماری حفر شده است. لازم به ذکر است که چاه ها طوری انتخاب شده اند که تقریباً تمام دشت را پوشش می دهند. در شکل (۲) موقعیت چاه ها قابل مشاهده است. برای انجام مطالعات از متوسط مقادیر پارامترهای کیفی ۱۲۸ حلقه چاه عمیق در سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ استفاده گردید. سپس داده ها به محیط GIS انتقال یافت. با استفاده از روش درون یابی کریجینگ نقشه های مربوط به کلر (Cl)، سدیم (Na)، سولفات (SO_4)، سختی کل (TH)، کل املاح محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) به صورت رستری استخراج گردید. سپس هر یک از پارامترها با توجه به استاندارد ارائه شده در روش شولر طبقه بندی و در نرم افزار GIS رتبه بندی شدند. جدول (۱) طبقه بندی کیفی آب شرب براساس طبقه بندی شولر را نمایش می دهد.

ساحلی و کم شیب ضلع غربی دریاچه ارومیه واقع شده است. تعداد ۷۸۹ حلقه چاه عمیق و ۱۷۹۱۹ حلقه چاه نیمه عمیق که به ترتیب با تخلیه سالانه ۱۸۷/۳۷ میلیون متر مکعب و ۱۴۱/۴۳ میلیون متر مکعب و با مجموع تخلیه سالانه ۳۲۸/۸۰ میلیون متر مکعب مورد بهره برداری قرار می گیرند.

در مجموع ۱۸۷۰۸ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق و ۴۶ دهانه چشمه و ۴۹ رشته قنات منابع آب زیر زمینی را تخلیه می نمایند. جهت جریان آب زیر زمینی از غرب به شرق می باشد و چشمه های این منطقه در دره های مناطق کوهستانی ظاهر گردیده اند که مالکیت بعضی از آنها در کنار روستاها با افراد بوده و جهت مصارف کشاورزی و شرب مورد استفاده قرار می گیرد. به علاوه چشمه سارهای کوچک و بزرگ از دامنه های کوه های مرزی ایران و ترکیه و دره ها سرچشمه گرفته و این چشمه سارها با تعداد فراوان خود رودخانه های این منطقه را تشکیل می دهند.

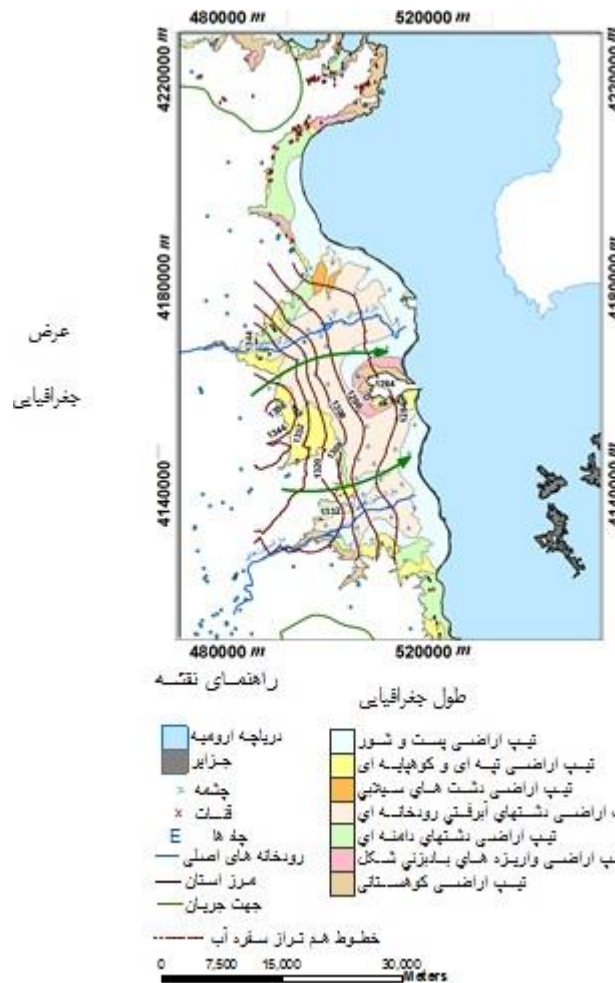
موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و قرارگیری آن در کنار دریاچه ارومیه، به اهمیت تحقیق و ارزیابی پارامترهای کیفیت آب های زیرزمینی غرب دریاچه ارومیه می افزاید. این تغییرات و کاهش سطح آب دریاچه تاثیر بسیاری در حرکت آب های زیرزمینی داشته و باعث تغییرات فراوانی در کیفیت آب های زیرزمینی مناطق مختلف غرب دریاچه ارومیه شده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- طبقه بندی کیفیت آب براساس طبقه بندی شولر (نخعی و دیعی، ۱۳۹۱)

کیفیت آب	کل جامدات محلول (TDS) (mg/L)	سختی کل (TH) (mg/L, CaCO ₃)	سدیم (Na ⁺) (mg/L)	کلر (Cl ⁻) (mg/L)	سولفات (SO ⁴⁺) (mg/L)
خوب	۵۰۰<	۲۵۰<	۱۱۵<	۱۷۵<	۱۴۵<
قابل شرب	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۵۰-۵۰۰	۱۱۵-۲۳۰	۱۷۵-۳۵۰	۱۴۵-۲۸۰
نامناسب	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۳۰-۴۶۰	۳۵۰-۷۰۰	۲۸۰-۵۸۰
بد	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۴۶۰-۹۲۰	۷۰۰-۱۴۰۰	۵۸۰-۱۱۵۰
موقتا قابل شرب	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۹۲۰-۱۸۴۰	۱۴۰۰-۲۸۰۰	۱۱۵۰-۲۲۴۰
غیر قابل شرب	۸۰۰>	۴۰۰>	۱۸۴۰>	۲۸۰۰>	۲۲۴۰>



شکل ۲- تیپ اراضی و موقعیت چاه های مورد مطالعه جهت بررسی حرکت آب زیرزمینی

یکی از جامع ترین سیستم های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه است و امکان تدوین مساله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می کند. همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مساله را دارد. برای نیل به اهداف مراحل زیر طی شد:

نحوه اجرای فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از کارآمدترین روش های تصمیم گیری چندمعیاره است که اولین بار توسط ساعتی^۱ (۱۹۸۰) مطرح شد. این روش بر اساس مقایسه زوجی عوامل بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می دهد. این فن

صمدی و همکاران: ارزیابی پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی جهت مصارف آب...

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (1)$$

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij}}{n} \quad (2)$$

در این روابط m : تعداد ستون، n : تعداد سطر، a_{ij} : درایه های ماتریس مقایسه زوجی و i, j : درایه های ماتریس نرمالیزه به ازای گزینه i ام، و W_i : وزن گزینه i ام می باشد.

د) تعیین امتیاز نهایی گزینه ها

برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی که منجر به بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می شود، استفاده می گردد (مورینو جیمینز و همکاران^۳، ۲۰۰۵؛ برتولینی و همکاران، ۲۰۰۶). به عبارت دیگر امتیاز نهایی هر یک از گزینه ها از حاصل جمع تلفیق ضرایب لایه های معیارها تعیین می شود (رابطه ۳):

$$V_H = \sum_{k=1}^n W_k (g_{ij}) \quad (3)$$

در این رابطه V_H : امتیاز نهایی گزینه j ، W_k : وزن هر معیار و g_{ij} : وزن گزینه ها در ارتباط با معیارها می باشد.

ه) محاسبه نرخ ناسازگاری

برای محاسبه نرخ ناسازگاری، ابتدا باید ماتریس مقایسه زوجی (A) در بردار وزن (W) ضرب گردد تا تخمین مناسبی از $\lambda_{max} \cdot W$ به دست آید، به عبارتی $A \times W = \lambda_{max} \cdot W$ باشد. با تقسیم مقدار $\lambda_{max} \cdot W$ بر W مربوطه، مقدار λ_{max} محاسبه می شود. سپس مقدار شاخص ناسازگاری ($I.I.$) از طریق رابطه (۴) و نرخ ناسازگاری ($I.R.$) نیز با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می گردد:

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R.} \quad (5)$$

که در این رابطه $I.I.R.$ (شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی) براساس تعداد درایه های ماتریس (n) از جدول (۳) استخراج می شود (قدسی پور، ۱۳۸۸). اگر مقادیر نرخ ناسازگاری کوچک تر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری ماتریس تصمیم گیری قابل قبول و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم گیرنده در قضاوت های خود تجدیدنظر کند (دی و رامچاران^۴، ۲۰۰۰).

الف) تدوین ساختار سلسله مراتبی

ساختار سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مساله پیچیده واقعی می باشد که در راس آن هدف کلی مساله و در سطوح بعدی معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها قرار دارند. در این قسمت با تجزیه مسائل پیچیده، می توان آنها را به شکلی ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل نمود. به طور کلی ساختار سلسله مراتبی ممکن است به صورت یکی از حالت های زیر طرح گردد که هر یک از حالت ها می توانند در سطوح مختلف، همان طور که در ادامه بیان شده اند، قرار گیرند (دایر و فورمن^۱، ۱۹۹۱).

یک: هدف - معیارها - زیرمعیارها - گزینه ها.

دو: هدف - معیارها - عوامل - زیر عوامل - گزینه ها.

سطح یک: در راس سلسله مراتب قرار گرفته و هدف کلی یعنی تعیین پتانسیل کیفی آب زیرزمینی در دشت ارومیه را شامل می شود.

سطح دو: این سطح معیارها را در بر گرفته و پارامترهای هیدروروشیمیایی نظیر کلر (Cl)، سدیم (Na)، سولفات (SO_4)، سختی کل (TH)، کل املاح محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) را شامل می شود.

سطح سه: این سطح گزینه ها، یعنی مناطق آب زیرزمینی از لحاظ پتانسیل کیفی را شامل می شود که عبارت است از موارد خوب، قابل قبول، نامناسب، بد، قابل شرب در مواقع ضروری. استفاده از این روش کمک شایانی به ارزش دهی پارامترها و تلفیق آن ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی کرده است.

ب) ارجحیت بندی پارامترها

در فرایند تحلیل سلسله مراتبی عوامل به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه شده و بالاترین ارجحیت به لایه ای تعلق می گیرد که حداکثر تأثیر را در تعیین هدف دارد (لوپز و زینک^۲، ۱۹۹۱). در ارجحیت بندی معیارها از قضاوت های شفاهی که به صورت مقایسه ای بین فاکتورها صورت می گیرد، استفاده می شود. این قضاوت ها توسط ساعتی (۱۹۹۴) به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده که در جدول (۲) ارائه شده است. در این پژوهش برای تدوین ساختار سلسله مراتبی از حالت اول استفاده شده که شامل سطوح زیر است (شکل ۳).

ج) تهیه ماتریس نرمالیزه و بردار وزن پارامترها

برای محاسبه وزنی پارامترها ابتدا باید مقادیر هر یک از ستون های ماتریس مقایسه زوجی با هم جمع و هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی به جمع ستون خودش تقسیم گردد (رابطه ۱). سپس میانگین عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه را محاسبه نموده که در نتیجه آن بردار وزن ایجاد می شود (رابطه ۲):

3- Moreno- Jiminez et al.

4- Dey and Ramcharan

1- Dyer and Forman

2- Lopez and Zink

و) ایجاد نقشه پهنه بندی پارامترها

درون یابی روشی است که در آن طیف وسیعی از نقاط گسسته را با توجه به یک سری نقاط معلوم می‌توان ایجاد کرد. برای درون یابی روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از آن‌ها روش کریجینگ است.

روش کریجینگ

کریجینگ روشی کاملاً زمین آماری است که اساساً مبتنی بر میانگین متحرک وزنی است و به دلیل اینکه اولاً فاقد خطای سیستماتیک بوده (که در این صورت باید میانگین خطای برآورد آن صفر باشد) و ثانیاً دارای حداقل واریانس برآورد است. می‌توان گفت بهترین تخمین گر نارایب است. در این روش هر نمونه معلوم در تخمین نقطه مجهول، بستگی کامل به ساختار فضایی محیط مربوطه دارد. در حالی که در روش‌های دیگر درون یابی وزن‌ها فقط به یک مشخصه هندسی مانند فاصله بستگی دارد و با تغییر ساختار فضایی نمونه‌ها تغییر نمی‌کند و با ضعیف شدن ساختار فضایی نقش نمونه‌ها کم‌تر می‌شود، تا آن‌جا که وزن تمام نمونه‌ها برابر خواهد شد. به عبارت دیگر، دامنه تاثیر متغیر معلوم بر متغیر مجهول به حداقل و حداقل فاصله نمونه‌ها از هم بستگی دارد. لذا در استفاده از این روش باید به توزیع فضایی نمونه‌ها و دامنه تاثیر آن‌ها توجه شود. در این پژوهش برای شناسایی و تعیین بهترین مناطق کیفی آبی برای بهره برداری پهنه از منابع آب زیرزمینی در دشت ارومیه از روش سلسله مراتبی و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است.

نتایج و بحث

با توجه به اینکه تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت مهم بوده و روش شولر تنها به مقایسه نمونه‌های آب به صورت مجزا می‌پردازد، برای رفع این مشکل در این مطالعه سعی شده است تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت ارومیه بررسی شود. نقشه‌های مربوط به کلر، سدیم، سولفات، سختی کل، کل املاح محلول و هدایت الکتریکی در محیط GIS با استفاده از روش کریجینگ به صورت رستری استخراج شد. در ادامه بر اساس طبقه بندی شولر لایه‌ها رتبه بندی شدند. بیشترین رتبه‌ها مربوط به محدوده‌هایی می‌باشد که مطلوب‌ترین کیفیت آب زیرزمینی را دارند. از طریق ارجحیت بندی عوامل مؤثر در پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه، با توجه به کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و طبقه بندی ارائه شده توسط شولر وزن هر یک از پارامترها با در نظر گرفتن چگونگی تغییرات و اهمیت آنها در آب زیرزمینی و با تحلیل داده‌ها، ماتریس مقایسه زوجی و نرمالیزه با مرتبه ۳۶ برای معیارها شکل گرفت. در نهایت با استفاده از روش تقریبی میانگین گیری حسابی، وزن نسبی پارامترها محاسبه شد. نتایج حاصل از

ارجحیت بندی، ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه بردار وزن عوامل مؤثر در جدول (۴) ارائه شده است. در شکل‌های (۴) و (۵) لایه‌های رستری پارامترهای کلر، سدیم، سولفات، سختی کل، کل املاح محلول و هدایت الکتریکی نشان داده شده است که در آن پارامترهای کیفیت آب به صورت زیر رتبه بندی شده است. وزن نهایی (W_p) پهنه‌های پتانسیل کیفی در منطقه مطالعاتی از مجموع حاصلضرب لایه‌ها در وزنشان به دست می‌آید. نتایج حاصل از محاسبه وزن نهایی مناطق پتانسیلی به صورت رابطه (۶) می‌باشد:

$$W_p = 0.394 \times Na + 0.288 \times TDS + 0.189 \times CL + 0.059 \times EC + 0.040 \times TH + 0.028 \times SO_4 \quad (6)$$

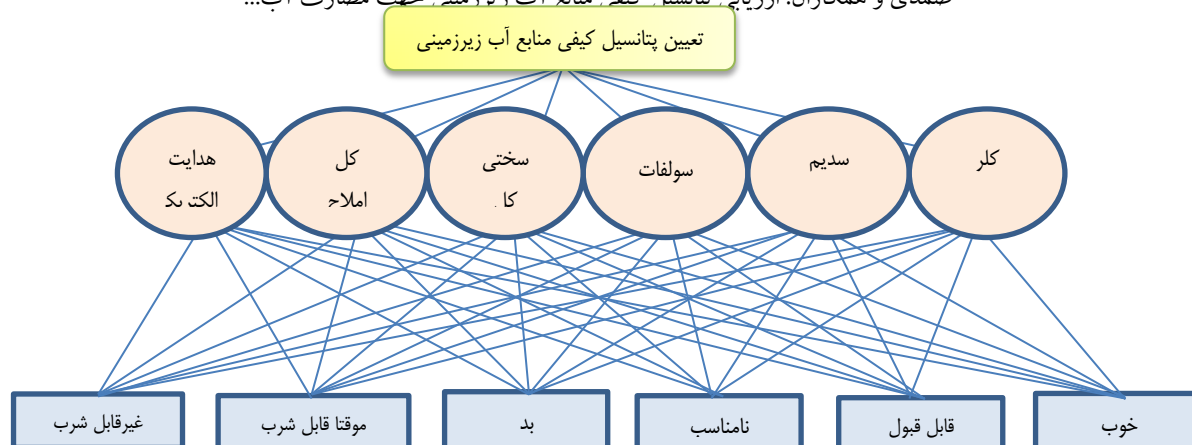
نرخ ناسازگاری برای ماتریس پارامترهای مؤثر با استفاده از روش تقریبی میانگین گیری حسابی محاسبه گردید که عدد حاصل ۰/۰۳۶ می‌باشد. نتیجه به دست آمده سازگاری عوامل مؤثر در پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت ارومیه را تایید می‌کند. لایه هدف بر اساس ضرایب مذکور تهیه و نتایج آن در شکل (۵) ارائه شده است.

در بین مناطق پتانسیلی فوق، از ۱۳۸۷۳۲/۵ هکتار که در این تحقیق مورد بررسی و تحلیل کیفی آب زیرزمینی قرار گرفته است حدود ۱۰۸۸۸۳/۱ هکتار از آن از نظر طبقه بندی شولر در محدوده خوب تا قابل قبول، ۱۰۶۷۹/۶۵ هکتار در محدوده نامناسب و ۱۷۹۰۱/۴۸ هکتار در محدوده بد و ۱۲۶۸/۲۱ هکتار در محدوده قابل شرب در مواقع ضروری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که محدوده‌های مرکزی، جنوبی، شمال شرقی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه وضعیت مناسبی برای تأمین آب شرب دشت ارومیه دارند. در اراضی کوهستانی و اراضی دشت‌های دامنه‌ای در شمال منطقه (شکل ۲) وجود قنات‌های متعدد و برداشت‌های بی-رویه نیز باعث کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی شده است.

نتایج حاصل از بررسی پتانسیل کیفی منابع آب در دشت ارومیه نشان داد که می‌توان این حوضه را به پنج پهنه پتانسیل کیفی تقسیم نمود که هر پهنه از لحاظ عوامل مورد بررسی و بر اساس استاندارد شولر در مساحت و دامنه‌های مختلفی قرار دارد (جدول ۵).

با توجه به شکل‌های (۲) و (۵) می‌توان چند گزینه پیشنهادی برای تأمین آب شرب، ارائه داد. محدوده مرکزی و جنوبی و شمال شرقی و شمال غربی دشت ارومیه کیفیت بالایی دارد. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شد، تیپ اراضی دشت‌های آبرفتی رودخانه-ای در بخش مرکزی که شامل مخروط افکنه‌های قدیمی مرتفع از نظر زمین شناسی بوده و همچنین دو رودخانه اصلی نازلوچای و باراندوزچای که بزرگ‌ترین رودخانه منطقه مورد مطالعه هستند، آبخوان آبرفتی دشت ارومیه را تغذیه می‌کنند. بنابراین کیفیت آب در این بخش از منطقه مورد مطالعه مناسب باشد.

صمدی و همکاران: ارزیابی پتانسیل کف منابع آب زیرزمینی جهت مصارف آب...



شکل ۳- ساختار سلسله مراتبی تعیین پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه

جدول ۲- مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی عوامل (ساعتی ۱۹۸۰)

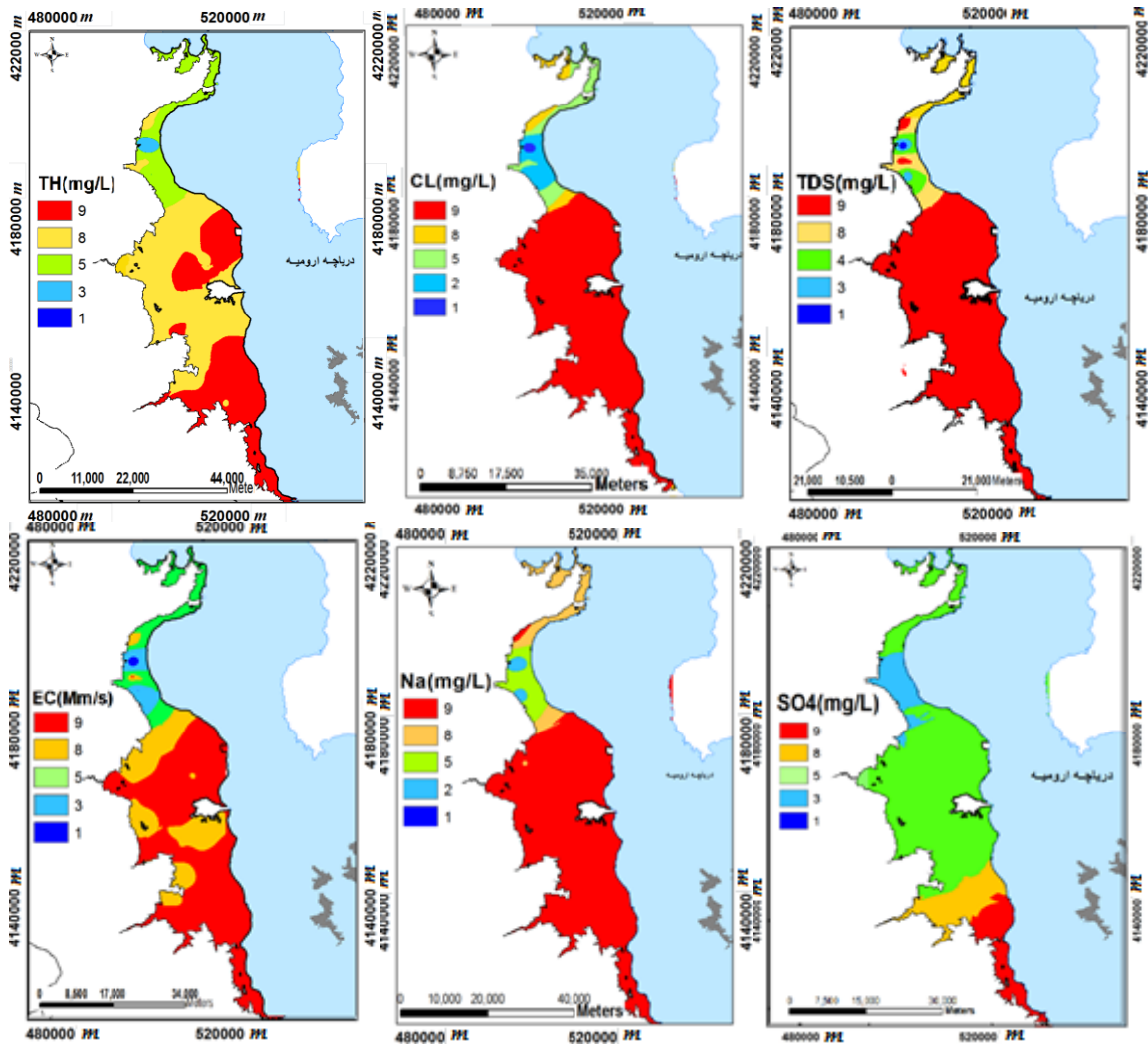
ترجیحات (قضاوت شفاهی)	
۹	کاملا مرجح یا کاملا مطلوب
۷	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مطلوب
۱	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲,۴,۶,۸	ترجیحات بین فواصل قوی

جدول ۳- مقادیر شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی (قدسی پور، ۱۳۸۸)

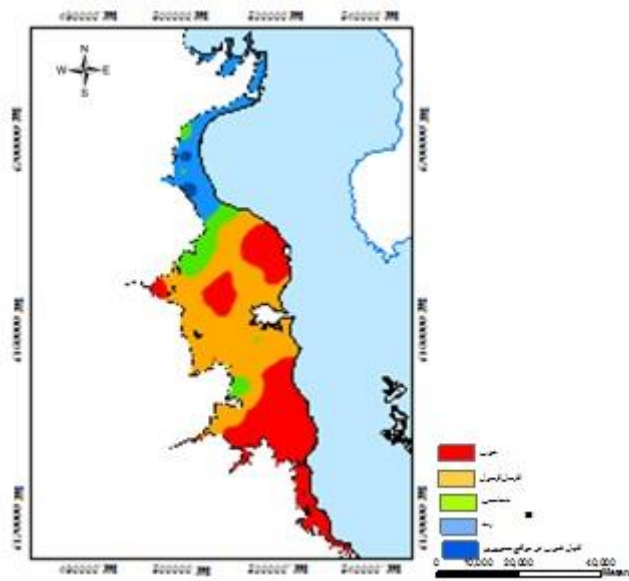
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	n
۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۴	۱/۱۲	۰/۹	۰/۵۸	۰	۰	I.I.R

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن معیارها جهت تعیین پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه

معیارها	Na	TDS	CL	EC	TH	SO ₄	بردار وزن
Na	۱	۲	۳	۷	۸	۹	۰/۳۹۴
TDS	۰/۵	۱	۲	۷	۸	۹	۰/۲۸۸
CL	۰/۳۳۳	۰/۵	۱	۵	۶	۷	۰/۱۸۹
EC	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۲	۱	۲	۳	۰/۰۵۹
TH	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۶۷	۰/۵	۱	۲	۰/۰۴۰
SO ₄	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۱	۰/۰۲۸



شکل ۴- لایه های رستری پارامترهای سختی کل، کلر، کل املاح محلول، هدایت الکتریکی و سدیم در ارزیابی پتانسیل کیفی آب به روش کریجینگ در دشت ارومیه



شکل ۵- نقشه نهایی پتانسیل کیفی آب زیرزمینی دشت ارومیه

جدول ۵- مساحت پهنه های پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت ارومیه به هکتار

پهنه بندی حوضه از لحاظ پتانسیل کیفی	خوب	قابل قبول	نامناسب	بد	قابل شرب در مواقع ضروری
مساحت پهنه (هکتار)	۶۲۱۰۸/۹۷	۴۶۷۷۴/۱۸	۱۰۶۷۹/۶۵	۱۷۹۰۱/۴۸	۱۲۶۸/۲۱

نتیجه گیری

هدف این پژوهش شناسایی و پهنه بندی پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت ارومیه با استفاده از عوامل موثر در کیفیت آب های زیرزمینی، از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی بود. وزن هریک از لایه ها با روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین شد و با تلفیق لایه های مربوطه در محیط GIS نقشه نهایی که نشان دهنده بهترین منطقه برای تأمین آب شرب بر اساس استاندارد شولر است، تهیه شد. به طوری که بخش زیادی از منطقه مطالعاتی، بر اساس نمودار شولر در محدوده پتانسیل خوب تا قابل قبول طبقه بندی قرار گرفت و در شمال دشت پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی در گروه نامناسب تا بد و قابل شرب در مواقع ضروری قرار گرفت.

تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی، به علت توانایی بالای آن در مدیریت حجم عظیمی از اطلاعات، ابزاری نیرومند برای این نوع مطالعات اولیه به شمار می رود. علاوه بر این، مدل تحلیل سلسله مراتبی توسط برنامه ریزان برای حل معضلات پیچیده ای که در امر مدیریت با آن رو به رو هستند، به کار گرفته می شود. بنابراین تلفیق تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل تحلیل سلسله مراتبی می تواند به عنوان روشی قدرتمند برای تهیه نقشه پهنه بندی پتانسیل کیفی منابع آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به یافته های تحقیق می توان گفت که کاربرد توأمان سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل تحلیل سلسله مراتبی در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب از اهمیت بسزایی برخوردار است. در نتیجه بهره گیری از این روش در مدیریت منابع آب به مدیران و برنامه ریزان توصیه می گردد.

منابع

- احمدنژاد، ز.، کلاتری، ن.، کشاورزی، م.، بوسلیک، ز. و ز. سجادی. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت زیرراه با استفاده از GIS. چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه.
- اقتصادی، ف.، قاسمیان، د.، خیرخواه زرکش، م. و ب. ثقفیان. ۱۳۹۰. مکان یابی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به منظور مدیریت آبهای زیرزمینی در منطقه شهریاری استان یزد. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
- چابک بلداجی، م.، حسن زاده نفوتی، م. و ز. ابراهیمی خوسفی. ۱۳۸۹. مکانیابی عرصه پخش سیلاب با استفاده از روش (AHP) تحلیل سلسله مراتبی: مطالعه موردی حوزه آبخیز عشق آباد طبس. مجله علمی و پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، (۱۳): ۳۸-۳۱.
- چزگی، ج.، مرادی، ح. و م. خیرخواه. ۱۳۸۹. مکان یابی محل های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره با تاکید بر منابع آب (مطالعه موردی غرب استان تهران). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، (۱۳): ۶۸-۶۵.
- رضائی مهربان، م.، ملک محمدی، ب.، جعفری، ح. و ی. رفیعی. ۱۳۹۰. مکان یابی محل های انجام عملیات تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی با بکارگیری روش های تصمیم گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان هرمزگان، دشت شمیل و آشکارا). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، (۱۴): ۱۴-۱.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۸. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ بیست و ششم.
- کریمی شاه ملکی، ن.، بهبهانی، س.، مسلح بوانی، ع. و ک. خدایی. ۱۳۹۱. مقایسه روش های DRASTIC، Regression Logistic اصلاح شده و AHP-DRASTIC در بررسی آسیب پذیری آب های زیرزمینی. مجله محیط شناسی، ۳۸ (۴): ۹۲-۷۹.
- قدسی پور، ح. ۱۳۸۷. فرایند تحلیل سلسله مراتبی. انتشارات دانشگاه امیرکبیر، چاپ پنجم.
- مسعودیان، ا. و م. کاویانی. ۱۳۸۶. اقلیم شناسی ایران. انتشارات دانشگاه اصفهان.

- ۱۰- معروفی، ا.، ترنجیان، ا. و ح. زارع ایبانه. ۱۳۸۸. ارزیابی روش های زمین آمار جهت تخمین هدایت هیدرولیکی و pH زه آب های آبراهه ای همدان- بهار. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۶(۲): ۱۷۸-۱۶۹.
- ۱۱- مقدم، ع.، قلعه بان تکمه داش، م. و ک. اسماعیلی. ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۰(۳): ۲۵-۲۱.
- ۱۲- نخعی، م.، و م. دبیتی. ۱۳۹۱. به ارزیابی کیفیت آب شرب دشت درگز با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش آب ایران، ۱۱(۱): ۱۲۱-۱۱۵.
- 13- Ahmadi, S. H. and A. Sedghamiz. 2007. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129:277-294.
- 14- Askari Marnani, S., Chitsazan, M. and Y. Mirzayi. 2001. Investigation of water quality in Firoozabad Sub-Chchment in view of domestic and agricultural usage using GIS. P 1-8, the 8th International Congress on River Engineering, Shahid Chmran University, Iran.
- 15- Bakri, D. A., Rahman, S. and L. Bowling. 2008. Sources and management of urban stormwater pollution in rural catchments. *Journal of Hydrology*, 356(3):200-211
- 16- Bertolini, M., Braglia, M. and G. Carmignani. 2006. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. *International Journal of Project Management*, 24:422-430.
- 17- Dey, P. K. and E. K. Ramcharan. 2000. Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados. *Journal of Enviromental Management*, 88: 1384-1395.
- 18- Dyer, R. F. and E. H. Forman. 1991. *An analytical approach to marketing decisions*. Prentice Hall, USA.
- 19- Kelinhu, U., Yuangfang, H. Hong Li, L., Deli Chan, Ch. and D. Robert Edlin. 2005. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. *Enviroment International*, 31: 893- 903.
- 20- Lopez, H. J. and J. A. Zink. 1991. GIS assisted modelling of soil induced mass movement hazards, A case studdy of the Upper Coello river Basin. Tolima, Colombia, *Journal of the Interdenominational Theological Center*, 4:202-220.
- 21- Moreno- Jiminez, J. M., Joven, J. A., Pirla, A. R. and A.T. Lanuza. 2005. A spreadsheet module for consistent consensus buiding in AHP decision making. *Journal of Group Decision and Negotiation*, 14:89-108.
- 22- Ozcan, R. 2007. Assessment of the water quality of troia for the multipurpose usages. Springer Science. *Environmental Monitoring and Assessment*, 130: 389-400.
- 23- Saaty, T.L. 1994. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, *Interfaces*, 24 (6):19-43.
- 24- Saaty, T. L. 1980. *The analytical hierarchy process, pinning priority, resource allocation*. Ministry of Traffic and Public Works Publication, USA.