تحلیل مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت زاوه برای استفاده درشرب با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرآیند سلسله مراتبی

مهدیه رشید سرخ آبادی[۱]، علی شهیدی[۲]، عباس خاشعی سیوکی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۰۳

چکیده

نیاز روزافزون بشر به غذا و آب منجر به افزایش روند پمپاژ آب‌های زیرزمینی و در نتیجه افت سطح ایستابی و تهی شدن سفره‌ها گردیده است که پیامدهای آن از جمله افزایش هزینه‌های استحصال آب، نشست زمین و کاهش کیفیت آب، امروزه به یک مشکل جهانی تبدیل شده است. در راستای مقابله با مسئله بحران کیفی آب، در این تحقیق به تعیین مناطق مناسب استحصال آب شرب در آبخوان دشت زاوه واقع در استان خراسان رضوی اقدام نمودیم. بدین منظور پارامترهای Cl, Ca, Mg, TDS, TH, So_4, pH در محیط GIS بر اساس طبقه‌بندی شولر کلاس‌بندی گردیدند. سپس با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP و تلفیق آن با منطق ارزش‌دهی تدریجی فازی FAHP به تعیین مناسب‌ترین مکان‌های استحصال آب شرب در دشت پرداخته شد. نتایج حاصل از هر دو فرآیند به یک‌دیگر نزدیک و مشابه بودند. مدل تهیه شده با چاهه‌ای آب شرب موجود در سطح آبخوان مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان دادند که بر طبق این دو روش حدود ۲۵٪ مناطق شمالی و مرکزی آبخوان دشت دارای بالاترین کیفیت آب زیرزمینی بوده است. با حرکت به سمت مناطق غربی آبخوان، از کیفیت آب زیرزمینی کاسته شد به طوری که حدود ۱۵٪ نقاط غربی تحت پوشش وضعیت کیفی ضعیف قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، مکان‌یابی، منطق فازی، AHP.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، آبیاری - زهکشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران ، ۰۹۱۵۸۳۳۰۵۳۳
mahdiehrashid@gmail.com
[۲] استادیار، آبیاری - زهکشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران ، ۰۹۱۵۵۳۲۰۹۷۸
a47sh@ birjand.ac.ir
[۳] استادیار، آبیاری - زهکشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران ، ۰۹۱۵۳۳۲۷۴۷۸
abbaskhashei@ birjand.ac.ir

مقدمه

امروزه عواملی همچون افزایش چشمگیر جمعیت کره زمین و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع محیط زیست برای تأمین نیازهای اقتصادی، تأثیر خاص خود را بر منابع آب برجای گذارده است. به‌طوری که مسائل مربوط به بحران و مدیریت آب از دیدگاه سازمان ملل متحد پس از مشکل جمعیت، به‌عنوان دومین مسئله اصلی جهان شناخته شده است. باید توجه داشت که امکان افزایش منابع آب شیرین جهان و حل این بحران وجود ندارد، تنها کاری که می‌توان کرد، بهبود روش‌های استفاده از آن است (ببران و هنربخش، ۱۳۸۷).

آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان است. در شرایط کنونی بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب کشور ایران بخصوص در بخش شرب توسط منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد (خدائی و همکاران، ۱۳۸۵). در حال حاضر در سطح کشور سالانه حدود ۷۸ میلیارد متر مکعب آب از منابع زیرزمینی برداشت می‌شود (صداقت، ۱۳۹۰).

تمرکز بالای نمک‌های محلول در آب زیرزمینی عمدتاً ناشی از هوازدگی سنگ‌هاست (هاینس و فیلد[1]، ۲۰۰۰). توسعه صنعتی همراه با رشد جمعیت و افزایش میزان مصرف باعث آلودگی منابع طبیعی می‌شود (مهردادی و همکاران، ۲۰۰۹). منبع آلودگی آب زیرزمینی می‌تواند شامل نفوذ آب شور، زباله‌ها، تراوش از مخازن زیرزمینی، فعالیت شدید کشاورزی و استفاده از نمک جهت کنترل برف در جاده‌ها باشد (میرسلیو و باشکین[2]، ۱۹۹۹).

آلودگی‌های مختلف انتشار یافته درسطح آب‌های زیرزمینی دارای مضرات زیست محیطی فراوانی بوده که مستقیماً زندگی بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از جمله این تأثیرات می‌توان به آلودگی آب شرب مصرفی و محصولات مختلف کشاورزی و مسمومیت‌های ناشی از استفاده آن‌ها، همچنین به از بین رفتن آبزیان در سطح منطقه‌های مختلف اشاره کرد. لازم به ذکر است که تأثیرات آلاینده‌های مختلف در محیط زیست متفاوت می‌باشد (کتی پوند[3]، ۲۰۰۵). از این‌رو لازمه هر گونه اقدام جهت کنترل و کاهش آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی و تأثیرات آن‌ها آگاهی کامل از نحوه توزیع و پراکندگی آلاینده‌های موجود در سطح بوده که در اختیار داشتن چنین اطلاعاتی صرفاً از طریق ایستگاه‌های سنجش آلودگی توزیع یافته در سطح منطقه مورد مطالعه و درون‌یابی نقاط نمونه برداری شده و انجام آنالیزهای مختلف امکان‌پذیر می‌باشد (عبدالقادری بوکانی و همکاران، ۱۳۸۷).

سامانه اطلاعات جغرافیایی ابزار مهمی در برنامه‌ریزی مکانی هستند (بریل[4]، ۲۰۰۱). از دهه ۱۹۹۰، راهبرد یک پارچه کردن تصمیم‌گیری چند معیاره با GIS برای حل مسائل برنامه‌ریزی فضایی، توجه چشمگیری در میان برنامه‌ریزان شهری پیدا کرد (نصیری، ۱۳۸۸).

روش فرآیند سلسله مراتبی (AHP)، ابزاری جهت ساده سازی تصمیم‌گیری‌های پیچیده است، با این توصیف که در تحلیل تصمیم چند معیاره به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی از چندین معیار سنجش ممکن است استفاده گردد (اصغرپور، ۲۰۰۶). در این روش ابتدا مجموعه‌ای از معیارهای متناسب با هدف یا اهداف تصمیم توسط کارشناسان تعیین و پس از وزن‌دهی و اولویت بندی به‌منظور انجام ارزیابی توان و مکان‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرند (ژو و همکاران[5]، ۲۰۰۷).

AHP به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری و تحلیل مطرح می‌باشد که می‌تواند معیارهای چندگانه را تحلیل و مقایسه کند (بنای رضوی، ۱۳۸۶). به‌منظور مدل سازی عدم اطمینان‌ها در ترجیحات افراد بشر، تئوری مجموعه‌های فازی با مقایسات زوجی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ترکیب می‌شود. بدین ترتیب درک دقیق‌تری از فرآیند تصمیم‌گیری ارائه شده حاصل می‌گردد (آیاگ و ازدمیر[6]، ۲۰۰۶).

مفاهیم اساسی تئوری مجموعه فازی، برای اولین بار توسط لطفی زاده معرفی گردید (زاده، ۱۹۶۵) که پیشرفت تئوری و عملی از آن زمان تاکنون بسیار زیاد بوده است.

به‌منظور استفاده از مزایای هر دو تکنیک فازی و AHP همچنین غلبه بر نقاط ضعف آن‌ها، ون لاهون و

1. Haines & Field
2. Miroslave & Bashkin
3. Kathy Pond
4. Brail
5. Xue et al
6. Ayag and Ozdemir

پیدریز[1] (۱۹۸۳) اولین بار اصول منطق فازی را در تحلیل سلسله مراتبی بکار بردند.

کشاورز و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به تعیین مناسب‌ترین مناطق استحصال آب شرب در سطح دشت بیرجند پرداختند. آن‌ها بیان کردند که یافتن مکان‌های مستعد استحصال با استفاده از روش‌های علمی نوین می‌تواند از هدر رفت هزینه‌های گزاف حفر چاه جلوگیری کرده و طرح‌ها را از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نماید. همچنین با استفاده از این روش‌ها می‌توان در مدت زمان کوتاهی منطقه وسیعی را مورد بررسی قرار داد و مکان‌های مناسب را در سطح آن منطقه تعیین نمود. بر طبق نظر آن‌ها، به دلیل اینکه پارامترهای مورد استفاده هر کدام تأثیر متفاوتی بر انتخاب محل برای استحصال آب دارند، نیاز است هر عنصر بر اساس درجه اهمیتش، وزن‌دهی شود. برای این منظور از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده کردند.

خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در سطح دشت نیشابور پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود تنها از سه فاکتور ضریب انتقال آب، شوری و افت سطح آب استفاده کردند.

شمعانیان و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از GIS کیفیت آب‌های زیرزمینی و احتمال آسیب‌پذیری آن به منابع آلودگی در حوزه آبریز گرگانرود- قره‌سو را ارزیابی کرده و مهم‌ترین آلاینده و منبع آلودگی را در این منطقه به ترتیب So_4و Cl و فعالیت‌های کشاورزی معرفی کردند.

سان و همکاران[2] (۲۰۰۵) امکان‌پذیری اضافه کردن و مکان‌یابی ایستگاه راه‌آهن با استفاده از تکنیک AHP را پیشنهاد کردند. آن‌ها برای حل مشکلات ذاتیAHP از قبیل وابستگی پرسشنامه‌ها به یکدیگر و وابستگی نتایج به گروه‌هایی که مورد سؤال قرار می‌گیرند از مقیاس فازی و همچنین تحلیل‌های حساسیت برای ارزش وزن‌های گوناگون استفاده کردند.

لولی و همکاران[3] (۲۰۰۹) با استفاده از روش لامبدای ماکزیمم FAHP، به ارزیابی آسیب‌پذیری اکوسیستم و محیط زیست در ناحیه مخزن دنجیانگ‌کو[4] (DRA) در چین پرداختند. براساس پایگاه داده‌ها یک روش ارزیابی آسیب‌پذیری زیست محیطی را با استفاده از ترکیب FAHP و GIS برای DRA توسعه دادند. بر اساس شرایط زیست محیطی و اثرات آنتروپیک آسیب‌پذیری به پنج سطح کلاس‌بندی شد: دارای پتانسیل، سبک، متوسط، سنگین و خیلی سنگین. نتایج نشان دادند که آسیب پذیری زیست محیطی در DRA به طور کلی در حد اعتدال است. نواحی با آسیب‌پذیری زیست محیطی کمتر در نواحی کوهستانی کین لینگ در شمال غرب، نواحی کوهستانی دابا درجنوب و نواحی مجاور مخزن دنجیانگ کو در شرق مشخص شدند. دو ناحیه نیز با آسیب‌پذیری زیست محیطی بالا در شمال مخزن دنجیانگ‌کو در ایالت هنان و در غربی‌ترین قسمت ایالت شانکسی مشخص شدند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روش پیشنهادی یک روش مؤثر برای ارزیابی آسیب‌پذیری زیست محیطی می‌باشد.

زارع نقادهی و همکاران[5] (۲۰۰۹) جهت انتخاب روش بهینه استخراج معدن برای معدن بوکسیت جاجرم از روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی (FAHP) استفاده کردند. آن‌ها هدف ازتحقیق خود را توسعه یک مدل فازی جهت انتخاب روش بهینه استخراج معدن با استفاده از معیارهای عمده و مؤثر و به طور همزمان، رفع قضاوت‌های ذهنی پریشان تصمیم‌گیرندگان نسبت به مصرف بیان کردند. آن‌ها FAHP را جهت تعیین وزن معیارهای تصمیم‌گیرندگان و پس از آن رتبه‌بندی روش‌های تعیین شده را با استفاده از AHP انجام دادند. نتایج نشان داد که FAHP توانایی رتبه بندی ارزشیابی مسائلی را که AHP معمولی عاجز از انجام آن می‌باشد را دارد. آن‌ها با استفاده از FAHP و محاسبات مناسب یک روش خاک‌برداری و خاک‌ریزی متداول و مرسوم را به‌عنوان روش بهینه استخراج معدن زیرزمینی انتخاب نمودند.

شاد و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل‌های فازی، وزن‌های نشان‌گر و ژنتیک مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی را برای استان آذربایجان شرقی انجام داده‌اند. آن‌ها بیان کردند که سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به عنوان علم مدیریت اطلاعات مکانی قادر است ابزارهای مناسب جهت

1. Van Laarhoven & Pedrcyz
2. Sun & et al
3. Lu Li et al
4. Danjiangkou Reservoir Area
5. Zare Naghadehi et al

رفع مشکلات و پیچدگی‌های تعیین مکان بهینه را در اختیار تصمیم‌گیرندگان صنعتی قرار دهد. توابع تلفیقی از انواع توابع تجزیه و تحلیل مکانی GIS هستند که امکان انتخاب مکان بهینه را با استفاده از نقشه‌های ورودی و از طریق عملگرهای تلفیقی فراهم می‌نمایند. این توابع از لحاظ نحوه عملکرد به انواع مختلفی مانند بولین، همپوشانی شاخص، منطق فازی، ژنتیک و وزن‌های نشان‌گر تقسیم می‌شوند؛ بنابراین تعیین تابع تلفیقی مناسب در طراحی و اجرای GIS کاربردی جهت مکان‌یابی بهینه شهرک‌های صنعتی ضروری است. همچنین اظهار نمودند که در منطق فازی عملگرهای اشتراک و اجتماع فازی به علت ضعف این عملگرها کاربردی ندارند درحالی‌که عملگرهای جمع و گامای فازی به دلیل اثر افزایشی مورد استفاده قرار گرفتند.

جبر و آور[1] (۲۰۰۴) در یک منطقه با وسعت ۳۰۰ کیلومتر مربع در ایرسال لبنان که دارای بارندگی کم و نامنظم می‌باشد، روشی را به‌منظور جانمایی مخازن جمع‌آوری کنندهٔ آب باران توسعه دادند. روش آن‌ها مبتنی بر GIS و تحلیل سلسله مراتبی بوده که در سه گام اصلی عمل می‌کند: در ابتدا از GIS برای تولید لایه‌های اطلاعاتی مکانی استفاده می‌گردد، سپس سیستم مدل‌سازی حوضهٔ آبریز (WMS) برای شبیه‌سازی رواناب در حوضه به کار می‌رود و سرانجام در گام سوم یک ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری با استفاده از AHP توسعه می‌یابد که جانمایی مخازن جمع‌آوری آب را برحسب شاخص مناسب بودن مخزن، به انجام می‌رساند.

جوتیپراکاش و ساتی[2] (۲۰۰۹) به ارزیابی ساختارها و روش‌های جمع‌آوری آب باران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای مناطق صنعتی بزرگ مقیاس در یک منطقه صنعت خودروسازی بزرگ واقع در نزدیکی ناسیک (ایگاتپوری)، ماهاراشترای هندوستان پرداختند. در یک اقدام برای تعیین حجم آب ذخیره شده از روش‌های بیلان جرمی، دیاگرام ریپل، روش تحلیلی و روش الگوریتم نقطه پیک تابع استفاده شد و بر اساس معیارهای رضایت-بخش متعددی روش AHP برای تعیین مناسب‌ترین روش جمع‌آوری آب باران و تعداد ساختارهای RWH مورد نیاز انتخاب شد. اگر بررسی اقتصاد به تنهایی همراه با پارامترهای خاص مکانی و هیدرولوژیکی در نظر گرفته شود بهترین انتخاب تغذیه آبخوان می‌باشد. اگرچه دیگر معیارها مانند ریسک، حجم آب مورد نیاز بهینه برای بهره‌برداری اضطراری را جبران می‌کند. آن‌ها در نهایت به این نتیجه رسیدند که اگر روش AHP همراه با تمامی معیارهای ممکن استفاده شود می‌تواند ابزاری مفیدتر جهت ارزیابی روش‌ها و ساختارهای RWH باشد.

نیلسون و ونسون[3] (۲۰۰۵)، پهنه‌بندی اکولوژی_کشاورزی رابرای موز و آناناس با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیای و سنجش از دور انجام دادند. روش مورد استفاده در ارزیابی پهنه‌ها، روش چند معیاری و استفاده از روش وزنی برای رتبه‌بندی متغیرها و فاکتورها بود. آن‌ها از روش زمین‌آماری کوکریجینگ برای میان‌یابی داده‌های اقلیمی و تهیه نقشه‌های موضوعی و از روش روی هم‌اندازی رستری برای تعیین طول دوره رشد استفاده کردند. در نهایت نقشه پهنه‌بندی اکولوژی_کشاورزی و نقشه تناسب اراضی برای هر ناحیه برای موز و آناناس تهیه شد.

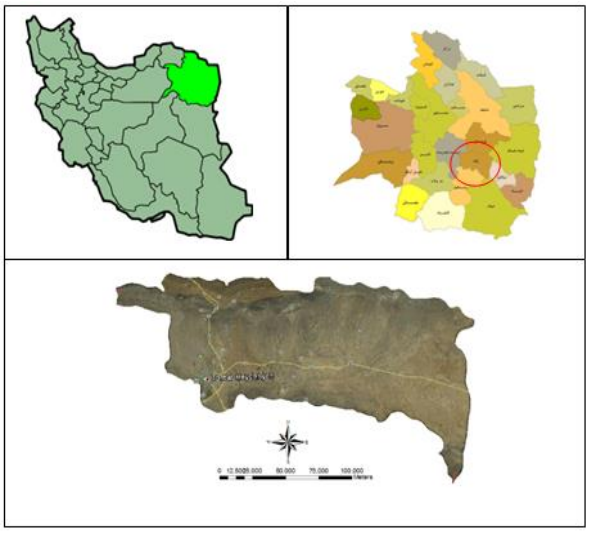
هدف از این تحقیق پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت زاوه، به‌منظور تعیین بهترین مکان‌های استحصال آب شرب بر طبق استاندارد شولر می‌باشد که در این راستا به مطالعه پارامترهای کیفی آب چاه‌های موجود در دشت پرداخته شد و سپس با نقشه‌سازی هر یک از این پارامترها در محیط Arc GIS 9.3 و روش‌های زمین‌آمار مکان‌های مناسب استحصال آب بر اساس فرآیندهای تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) تعیین گردید.

منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مطالعاتی تربت حیدریه-زاوه با گستره‌ای در حدود ۲۵۰۴ کیلومتر مربع (وسعت دشت و ارتفاعات به ترتیب ۱۲۶۰ و ۱۲۴۴ کیلومتر مربع) به طول جغرافیایی ′۲۷ °۵۸ تا ′۰۸ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ′۰۲ °۳۵ تا ′۰۳ °۳۵ شمالی در شمال کویر نمک، در جنوب شهر مشهد واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط این محدوده ۱۶۵۰ متر از سطح دریا و متوسط افت سالانه آبخوان ۰/۶۴ متر می‌باشد است. از نظر آب و هوایی این

[1]. Jabr & Awar
[2]. Jothiprakash & Sathe
[3]. Nilsson & Svenson

منطقه دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه محدوده‌ی دشت ۲۷۵ میلی‌متر، تقریباً یک سوم میانگین بارندگی جهانی است. تغذیه آبخوان آبرفتی توسط رودخانه‌های کال‌سالار و شصت‌دره انجام می‌گیرد (گزارش مطالعات مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب تربت‌حیدریه).



شکل (۱): موقعیت قرارگیری دشت زاوه در نقشه کشور

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت زاوه، از اطلاعات آبان ماه سال ۱۳۸۸، تعداد ۲۴ نمونه کیفی آب‌های زیرزمینی از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی استفاده گردید. در این تحقیق ابتدا از روش سلطانی و همکاران (۱۳۸۳) اقدام به تولید مدل‌های هموار و پیوسته از توزیع مکانی داده‌های مورد بررسی، از طریق درون‌یابی گردید. مهم‌ترین فاکتورهای مورد بررسی در این تحقیق که مؤثر در تعیین بهترین کیفیت آب شرب می‌باشند پارامترهای So_4, pH،TDS TH،Mg،Ca،Cl بودند که در مرحله اول با استفاده از روش‌های مختلف زمین-آمار، داده‌های نقطه‌ای معیارهای تصمیم‌گیری در سطح دشت میان‌یابی شدند که مقدار مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) به عنوان معیار ارزیابی روش‌های مختلف در پهنه‌بندی هر معیار مورد استفاده قرار گرفت. روش کریجینگ به عنوان مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی انتخاب و معیارهای مورد نظر با استفاده از این روش میانیابی شدند و سپس طبقه بندی این پارامترها بر اساس استاندارد شولر که یکی از معتبرترین استانداردها در کیفیت آب می‌باشد، انجام شد.

روش سلسله مراتبی AHP:

روش تصمیم‌گیری چند معیاره شامل یک سری از تکنیک‌ها (از جمله جمع وزن‌ها یا تحلیل‌های همگرایی) است که اجازه می‌دهد، طیفی از معیارهای وابسته به یک مبحث امتیازدهی و وزن‌دهی شده و سپس بوسیله کارشناسان و گروه‌های ذینفع رتبه‌بندی شوند. تصمیم گیری چند معیاره بر یک فرآیند دادن ارزش به گزینه‌هایی که به وسیله چند معیار ارزیابی شده‌اند، دلالت دارد (سوواری[1]، ۲۰۰۸).

در ادامه مراحل تعیین وزن لایه‌های مربوط به معیارهای مختلف با استفاده از روش AHP آورده شده است (کشاورز، ۱۳۹۰):

۱- تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی.

۲- تعیین میزان اهمیت و ارزش هرکدام از معیارها نسبت به تعیین هدف با توجه به جدول ۹ کمیتی ساعتی. جدول (۱) مقیاس ۹ کمیتی ساعتی را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مقیاس ساعتی به منظور تعیین ارجحیت برای مقایسه‌های زوجی

مقدار عددی	ترجیحات
۱	ترجیح یکسان
۳	ترجیح متوسط
۵	ترجیح بیشتر
۷	ترجیح خیلی بیشتر
۹	ترجیح کامل
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

۳- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها

وزن هر فاکتور نشان دهنده میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به فاکتورهای دیگر در عملیات تعیین مکان است؛ بنابراین انتخاب آگاهانه و صحیح وزن‌ها کمک بزرگی در جهت تعیین مکان مناسب استحصال آب شرب می‌نماید. بدین منظور در این مطالعه برای امتیاز دهی به هر پارامتر از ضریب خطرپذیری که از حاصل تقسیم بیشترین مقدار هر پارامتر در منابع آب زیرزمینی دشت بر استاندارد حداکثر مجاز به دست می‌آید، استفاده گردید (جدول ۲).

[1] - Sovary

جدول (۲): ماتریس مقایسات زوجی معیارها

	TH(mg/l)	TDS(mg/l)	So_4(mg/l)	Cl(mg/l)	Ca(mg/l)	Mg(mg/l)	pH
TH	۱	۰/۵	۱	۰/۱۷	۴	۲	۰/۵
TDS		۱	۳	۰/۲۵	۶	۴	۱
So_4			۱	۰/۱۴۳	۳	۱	۰/۵
Cl				۱	۹	۸	۵
Ca					۱	۰/۵	۰/۲
Mg						۱	۳
pH							۱

۴- محاسبه میانگین هندسی هر سطر از ماتریس مقایسه زوجی (b_{ij})

$$b_{ij} = \left(\prod_{i=1}^{k} a_{ij} \right)^{1/k} \quad (۱)$$

که در آن:

b_{ij}: میانگین هندسی هر سطر از ماتریس مقایسه زوجی.

a_{ij}: اهمیت معیار i ام نسبت به معیار j ام و

K: تعداد معیارهای تصمیم‌گیری.

۵-نرمالیزه کردن میانگین‌های هندسی حاصل از مرحله چهارم.

$$w_i = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^{k} b_{ij}} \quad (۲)$$

که در آن:

W_i: وزن معیار i ام و

K: تعداد معیارهای تصمیم‌گیری بررسی سازگاری در قضاوت‌ها.

یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است. وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. پس باید سنجه‌ای را یافت که میزان ناهماهنگی داوری‌ها را نمایان سازد (توفیق، ۱۳۷۲). به همین منظور ضریب سازگاری ساعتی (CR) که از تقسیم شاخص سازگاری (CI) به شاخص تصادفی بودن (RI) حاصل می‌شود برآورد شده است. چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (زبردست، ۱۳۸۲).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (۳)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۴)$$

که در آن:

CI: شاخص سازگاری در قضاوت‌ها

CR: ضریب سازگاری در قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان

RI: شاخص تصادفی بودن

n: تعداد معیارهای تصمیم‌گیری و

λ_{max}: مقدار ویژه بیشینه

در روش میانگین هندسی که یک روش تقریبی است، به جای محاسبه مقدار ویژه بیشینه (γ_{max}) از L به شرح زیر استفاده می‌شود که در آن AW_i برداری است که از ضرب ماتریس مقایسه دودویی معیارها در بردار W_i(بردار وزن یا ضریب اهمیت معیارها) به دست می‌آید (زبردست، ۱۳۸۰):

$$L = \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n} \frac{AW_i}{W_i} \right] \quad (۵)$$

که در آن:

AW_i: حاصلضرب ماتریس مقایسه زوجی معیارها در ماتریس وزن‌هی آنها

W_i: بردار وزن‌های معیارهای تصمیم‌گیری و

n : تعداد معیارهای تصمیم‌گیری

شاخص تصادفی بودن با توجه به تعداد معیارها (n) از جدول زیر قابل استخراج است.

جدول (۳): شاخص تصادفی بودن (RI) (لولی و همکاران، ۲۰۰۹)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵		
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹		

که در جدول بالا n عبارت است از تعداد معیارهای تصمیم‌گیری.

لازم به ذکر است که در این تحقیق جهت تعیین وزن نسبی معیارها از نرم افزار تخصصی AHP (Expert Choice) استفاده شده است.

روش سلسله مراتبی فازی FAHP

در نظریه مجموعه کلاسیک، عضویت یک مجموعه به‌صورت درست یا نادرست تعریف می‌شود. روش فازی، احتمال عضویت یک پیکسل را به مجموعه‌های فازی با توجه به تابع عضویت فازی ارزیابی می‌کند. مجموعه‌های فازی (کلاس‌های فازی)، فاقد مرز مشخصی هستند و عضویت و یا عدم عضویت یک مکان در مجموعه‌ای خاص، به‌صورت تدریجی است (وانگ و هال[1]، ۱۹۹۶).

در این مدل ابتدا نقشه‌های ورودی بر اساس ضوابط و شرایط به‌صورت صفر و یک تعریف می‌شوند. بدین نحو که در هر واحد مکانی مقدار ۱ از یک نقشه ورودی نشان دهنده مناسب بودن و مقدار صفر نشان دهنده نامناسب بودن موقعیت مکانی آن است .سپس نقشه‌های ورودی با استفاده از اپراتورهای منطقی مانند AND،OR،XOR و NOT با یکدیگر تلفیق شده و نقشه خروجی را به وجود می‌آورند. در نقشه خروجی واحدهای مکانی حاوی ارزش ۱، مکان‌های مناسب جهت کاربرد مورد نظر هستند (شاد و همکاران، ۱۳۸۸).

یک مجموعه فازی، با استفاده از درجه عضویت فازی مشخص می‌شود (که به آن احتمال نیز گفته می‌شود). چندین تابع عضویت درجات فازی وجود دارد که S شکل (افزایشی)، Z شکل (کاهشی)، خطی، ذوزنقه‌ای و مثلثی از این گونه‌اند (ریچاردز و بویک[2]، ۲۰۰۱). مقدار درجه عضویت هر کلاس و واحد مکانی، بر اساس نظرات کارشناسی و استفاده از دانش داده‌ای تعیین می‌گردد (زیمرمن[3]، ۲۰۰۱. فیشر[4]، ۱۹۸۹).

پس از پهنه‌بندی و تهیه لایه‌های رستری معیارها، این لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی، به لایه‌های فازی تبدیل شدند برای فازی کردن لایه‌های رستری معیارها ابتدا باید نوع معیار از نظر روند ارزش آن (افزایشی، کاهشی، افزایشی- کاهشی) را تعیین نمود که این امر با استفاده از جدول طبقه‌بندی شولر به عنوان معیار قضاوت انجام شد. معادلات (۱) و (۲) به ترتیب مربوط به تابع Z شکل و ذوزنقه‌ای که در مورد پارامترهای این تحقیق صدق می‌کنند در زیر ارائه شده است:

$$\mu(x)=\begin{cases}1 & x<<a\\ 1-2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 & a<x<<\frac{a+b}{2}\\ 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2}<x<b\\ 0 & x>>b\end{cases} \qquad (٦)$$

$$\mu(x)=\begin{cases}0 & x<<a\\ \frac{x-a}{b-a} & a<x<<b\\ 1 & b<x<<c\\ \frac{d-x}{d-c} & c<x<<d\\ 0 & x<<d\end{cases} \qquad (٧)$$

که در آن:

a, b, c, d: نقاط بحرانی برای هر یک از معیارها

به‌منظور فازی کردن نقشه‌های رستری از نرم‌افزار EXCLE استفاده گردید. سپس با استفاده از عملگرهای فازی عملیات تلفیقی مورد نظر انجام می‌شود. پنج عملگر فازی به نام اشتراک فازی، اجتماع فازی، ضرب فازی، جمع فازی و گامای فازی برای تلفیق مجموعهٔ فاکتورها مورد استفاده قرار می‌گیرند که در نهایت با اعمال عملگرهای فازی واحدهای مکانی نقشه خروجی حاوی درجه عضویت خواهند بود. در این تحقیق سه عملگر ضرب فازی، جمع فازی و گامای فازی مورد استفاده قرار گرفتند.

[1]. Wang and Hall
[2]. Richards and Boyce
[3]. Zimmermann
[4]. Fisher

عملگر ضرب فازی

عملگر ضرب فازی در یک موقعیت مشخص موجود در فاکتورهای مختلف، درجه عضویت واحدهای مکانی را ضرب نموده و در نقشه نهایی منظور می‌نماید. این عملگر به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$\mu = \Pi_{i=1}^{n}(\mu_i) \qquad (۸)$$

که در آن:

μ_i: وزن فاکتور iام و

n: تعداد فاکتورها

با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی کوچک شده و به سمت صفر میل می‌کند، بنابراین بر روی فاکتورها اثر کاهشی خواهد داشت (شاد و همکاران، ۱۳۸۸).

عملگر جمع فازی

این عملگر مکمل عملگر ضرب فازی می‌باشد که به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود و با استفاده از آن مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی بزرگ شده و به سمت ۱ میل می‌کند.

$$\mu = \left(1 - \prod_{i=1}^{n}(1-\mu_i)\right) \qquad (۹)$$

بدین معنی که قسمتی از شواهد و فاکتورها یکدیگر را تقویت نموده و در نتیجه اثر افزایشی بر هم خواهند داشت (شاد و همکاران، ۱۳۸۸).

عملگر گامای فازی

این عملگر، حالت کلی از ضرب و جمع فازی است که در آن فاکتورها طبق رابطه (۵) تلفیق می‌شوند.

$$\mu = \left[1-\Pi_{i=1}^{n}(1-\mu_i)\right]^{\gamma} \times \left[\Pi_{i=1}^{n}(\mu_i)\right]^{1-\gamma} \qquad (۱۰)$$

در این رابطه مقدار گاما بین اعداد صفر تا یک قابل تعیین است. اگر مقدار گاما یک انتخاب شود، رابطه تبدیل به عملگر جمع فازی و اگر مقدار گاما صفر انتخاب شود رابطه به عملگر ضرب فازی تبدیل خواهد شد. این عملگر زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی شواهد کاهشی و اثر برخی دیگر افزایشی است (شاد و همکاران، ۱۳۸۸).

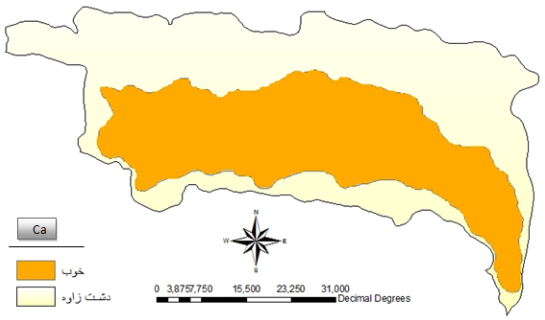
نکته قابل توجه در اجرای مدل فازی گاما محاسبه مقدار گاما است. برای این منظور بایستی به ازای هر گامای ورودی نقشه خروجی را تولید نموده و میزان وابستگی آن را با لایه مکان‌های چاه‌های شرب موجود محاسبه نمود. بدین ترتیب با مقایسه میزان وابستگی‌های موجود در حد فاصل صفر تا یک، گامای مناسب تعیین می‌شود.

در نهایت توسط وزن دهی AHP و با استفاده از خاصیت امکان عملیات ریاضی بر روی نقشه‌های رستری در محیط GIS، کلیه نقشه‌های کلاس‌بندی و فازی با دو روش AHP و FAHP به دو نقشه نهایی برای تعیین مکان‌های مناسب استحصال آب شرب در دشت زاوه تبدیل شدند.

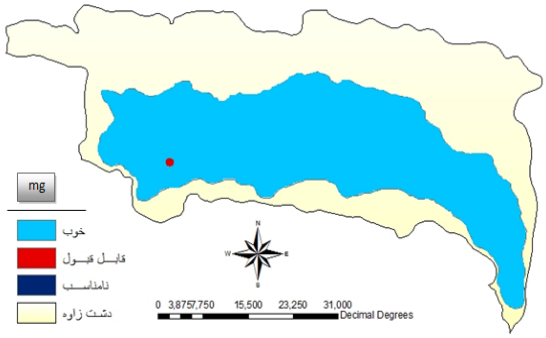
نتایج و بحث

نتایج حاصل از کلاس‌بندی معیارهای So_4, pH،TDS,TH،Mg،Ca،Cl در مرحله اول، مطابق اشکال (۲) تا (۸) می‌باشند.

عناصر کلسیم و منیزیم به مقدار قابل ملاحظه‌ای در اکثر آب‌ها وجود دارد که باعث سختی آب می‌شود و استفاده از آن را برای شرب و صنعت محدود می‌کند (علیزاده، ۱۳۸۸). با توجه به شکل‌های (۲) و (۳) آبخوان دشت از نظر میزان کلسیم و منیزیم در کلاس خوب قرار دارد.

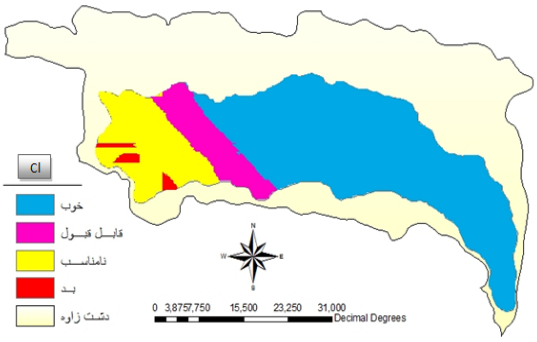


شکل (۲): نقشه کلاس بندی شده کیفیت کلسیم در دشت



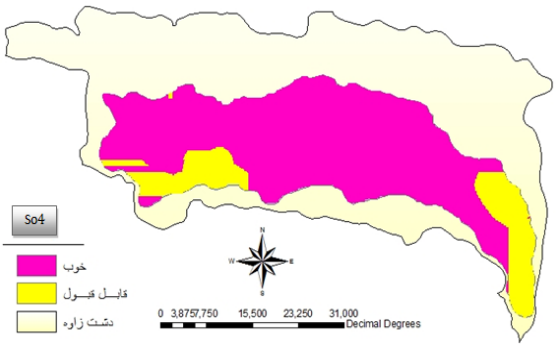
شکل (۳): نقشه کلاس بندی شده کیفیت منیزیم در دشت

از دیگر آنیون‌هایی که در تمام آب‌های طبیعی یافت می‌شود کلر است. غلظت‌های بالای کلرور باعث ایجاد طعم درآب شرب می‌گردد، علاوه بر آن مقادیر زیاد آن نیز می-تواند سبب ایجاد سمیت گردد. حد آستانه طعم برای کلرور به نوع کاتیون ترکیبی با آن بستگی دارد (علیزاده، ۱۳۸۸). مطابق شکل (۴)، تنها نقاط غربی دشت دارای مقادیر نامناسب کلر می‌باشند و سایر نقاط محدودیتی از نظر میزان کلر ندارند.



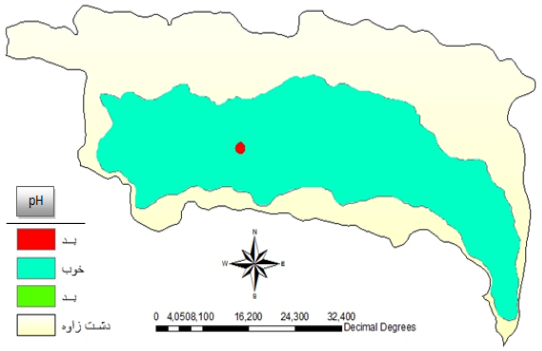
شکل (۴): نقشه کلاس بندی شده کیفیت کلر در دشت

سولفات در تمام آب‌های طبیعی به مقدار فراوان وجود دارد. سولفات‌های سدیم، منیزیم و پتاسیم به آسانی در آب محلولند اما سولفات کلسیم یا گچ قابلیت حل محدودی دارد. وجود سولفات در آب آشامیدنی می‌تواند ایجاد طعم قابل ملاحظه‌ای نماید. نامطلوب شدن آب با طبیعت کاتیون مربوطه متغیر است (ولایتی،۱۳۸۸). بر اساس شکل (۵) دشت محدودیتی از نظر میزان سولفات ندارد.



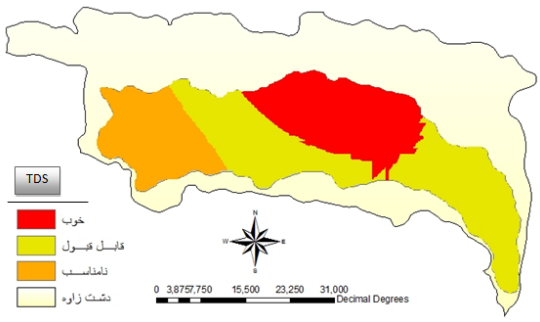
شکل (۵): نقشه کلاس بندی شده کیفیت سولفات در دشت

از نظر اسیدیته pH در آب شرب نباید از ۶/۵ کمتر و از ۹/۲ بیشتر باشد، محدوده ۷ تا ۸/۵ برای آب شرب مطلوب است (علیزاده، ۱۳۸۸). مطابق شکل (۶) به جز ناحیه بسیار کوچکی در قسمت مرکزی دشت، در سایر نقاط آبخوان محدودیتی از نظر pH وجود ندارد.



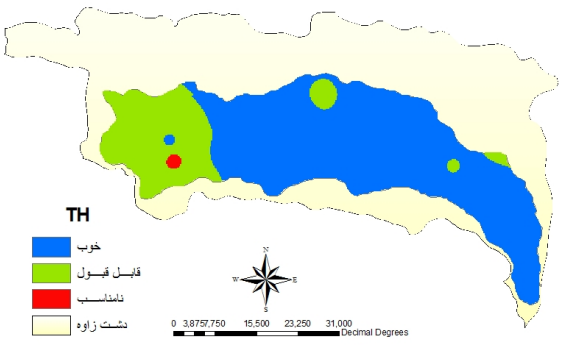
شکل (۶): نقشه کلاس بندی شده کیفیت pH در دشت

کل مواد جامد محلول شامل مجموع مواد جامدی است که در آب محلول است، ولی شامل رسوبات معلق، کلوئیدها و گازهای محلول نمی‌شود. TDS پارامتر بسیار مؤثری در ایجاد طعم آب آشامیدنی است (ولایتی، ۱۳۸۸). مطابق شکل (۷) تنها قسمت‌هایی از شمال و مرکز آبخوان در کلاس خوب قرار دارند و قسمت‌های غربی منطقه دارای حد مطلوبی از پارامتر TDS نمی‌باشند.



شکل (۷): نقشه کلاس بندی شده کیفیت TDS در دشت

نقشه کلاس‌بندی شده سختی کل در آبخوان در شکل (۸) نمایش داده شده است.



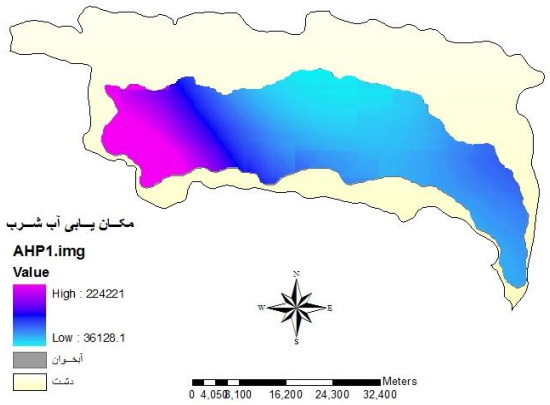
شکل (۸): نقشه کلاس بندی شده کیفیت TH در دشت

در مرحله دوم با محاسبه وزن‌های نسبی هریک از معیارهای تحت بررسی با استفاده از نرم‌افزار Expert choice نتایج مطابق جدول (۲) حاصل گردید:

جدول (۲): مقادیر وزن‌های نسبی هر یک از پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب شرب

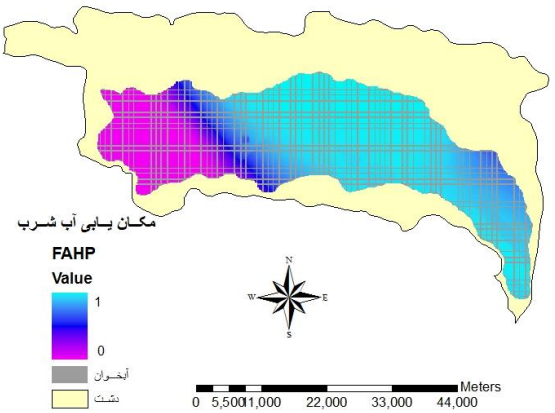
معیارها	وزن
TH	۰/۰۸۵
TDS	۰/۱۶۳
So_4	۰/۰۶۶
Cl	۰/۴۵۷
Ca	۰/۰۲۹
Mg	۰/۰۸۵
pH	۰/۱۱۴

ضریب سازگاری بدست آمده از محاسبات نرم‌افزار برابر ۰/۰۹ بوده است که مقداری کمتر از ۰/۱ می‌باشد، بنابراین ماتریس قضاوت سازگار است. بدین ترتیب با انجام عملیات انطباق ریاضی بر روی نقشه‌های بدست آمده در محیط GIS نقشه نهایی حاصل از AHP مطابق شکل (۹) ایجاد گردید:



شکل (۹): نقشه مکان‌یابی آب شرب با روش AHP در دشت

معیارهای TH، Ca، Mg، CL، TDS، SO4 با توجه به جدول شولر معیارهایی کاهشی هستند. بنابراین این معیارها با استفاده از تابع عضویت Z-Shape فازی شدند؛ اما پارامتر pH دارای ارزشی افزایشی-کاهشی جهت نیل به هدف مورد نظر این تحقیق بوده و با استفاده از تابع عضویت ذوزنقه به ارزش‌های فازی تبدیل شد. ضمناً نقاط بحرانی (مرزی) معیارها جهت فازی کردن لایه‌های رستری آن‌ها نیز با استفاده از حدود استاندارد شولر تعیین شدند به این صورت که ارزش فازی یک به ارزش کیفی بسیار خوب و ارزش فازی صفر به ارزش کیفی بد تعلق گرفتند. با ضرب لایه‌های فازی معیارها در وزن‌های محاسبه شده مربوطه و ترکیب و همپوشانی (Over lay) آن‌ها در محیط GIS با استفاده از عملگر جمع جبری فازی، لایه نهایی استحصال آب شرب در سطح آبخوان تهیه شد که در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

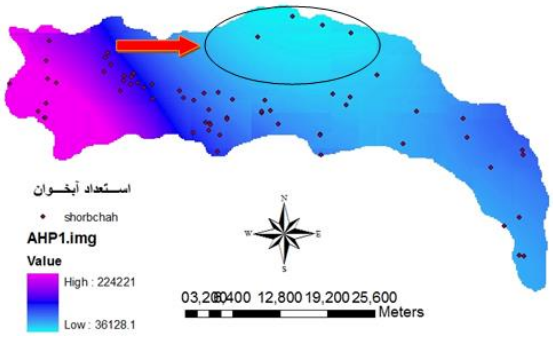


شکل (۱۰): نقشه مکان‌یابی آب شرب با روش فازی در دشت

با توجه به نقشه‌های نهایی (شکل‌های ۹ و ۱۰) تفاوت چندانی در مقایسه نقشه‌های حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی وجود نداشته و مستعدترین مناطق از نظر استحصال و برداشت آب شرب در نواحی شمالی و مرکزی آبخوان قرار گرفته‌اند که حدود ۲۵٪ از مساحت آبخوان را شامل می‌شود. این امر را می‌توان ناشی از وضعیت مناسب کلیه پارامترها دانست که همگی دارای شرایط مطلوبی در این نواحی هستند. با حرکت به سمت غرب آبخوان به تدریج از میزان استعداد استحصال و کیفیت آب شرب این نواحی کاسته شده به نحوی که حدود ۱۵٪ از نواحی غربی آبخوان از وضعیت نامناسبی جهت برداشت آب شرب دارا می‌باشند. علت این پدیده را نیز می‌توان نامناسب بودن وضعیت پارامترهایی چون Cl و TDS بیان نمود.

تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفته است که مؤید کار ما می‌باشد، از جمله: قادری و هزارخانی (۱۳۹۱) در طبقه‌بندی هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت چهاردولی قروه به این نتیجه رسیدند که مقادیر یون‌های آزمایشی بر طبق جدول استاندارد سازمان زمین‌شناسی آمریکا بیشتر از مقادیر استاندارد جهت آشامیدن می‌باشد و آب قابلیت شرب ندارد. رضازاده ورقچی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی آلودگی آب زیرزمینی دشت مشهد با مشخص کردن مناطق آلوده در دشت بر اساس شاخص‌های استاندارد آب شرب به این نتیجه رسیدند که می‌بایست در برابر تغییر مکان چاه‌های آب شرب که در محدوده آلوده قرار دارد اقدامات مؤثر صورت پذیرد و نسبت به بهره برداری بهینه تصمیماتی اتخاذ گردد.

با مقایسه مدل تهیه شده با موقعیت جغرافیایی چاه-های آب شرب موجود در سطح آبخون همانطور که در شکل ده نشان داده شده است، تراکم پایین چاه‌های موجود در شمال آبخوان را می‌توان دلیل اصلی کیفیت بالای آب شرب در این ناحیه در نتیجه برداشت کم از آب زیرزمینی دانست.



شکل (۱۰): نقشه استعداد استحصال آب شرب در سطح آبخوان دشت زاوه

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از روش فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) به تعیین مناسب‌ترین مناطق استحصال آب شرب در سطح دشت زاوه پرداخته شد و از پارامترهای TH، Ca، Mg، CL، TDS، SO4 و pH به عنوان معیارهای تأثیرگذار در امر تصمیم‌گیری استفاده و ابتدا مقادیر نقطه‌ای آن‌ها (چاه) با استفاده از روش‌های زمین آماری در سطح آبخوان میان‌یابی و پهنه‌بندی شد. با فازی نمودن لایه‌های رستری معیارها با استفاده از توابع عضویت فازی و محاسبه وزن اهمیت نسبی آن‌ها با استفاده از روش AHP و نرم‌افزار اکسپرت چویس، این لایه‌ها پس از تأثیر وزن‌ها با هم ترکیب شده و لایه‌های نهایی مناطق مستعد استحصال آب شرب تهیه شدند. با توجه به نقشه‌های نهایی، تفاوت چندانی در مقایسه نقشه-های حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی وجود نداشته و مناطق بسیار خوب و خوب نواحی شمالی و مرکزی آبخوان را در بر گرفته و پوشش دادند، اما با حرکت به سمت غرب آبخوان از کیفیت آب برای مصارف شرب کاسته شد، به‌طوری که نواحی غربی آبخوان در وضعیتی متوسط و ضعیف واقع شده‌اند. با مقایسه نتایج این تحقیق با موقعیت چاه‌های آب شرب موجود در سطح آبخوان، صحت نتایج حاصله به اثبات می‌رسد. به دلیل پایین بودن تراکم چاه‌ها در شمال آبخوان نسبت به سایر نواحی، می‌توان جهت احداث چاه در این ناحیه برای استحصال آب شرب با کیفیت مطلوب اقدام نمود.

منابع

۱. ببران، ص. و ن. هنربخش. ۱۳۸۷. بحران وضعیت آب در ایران و جهان. فصلنامه راهبرد، سال شانزدهم، شماره ۴۸، ص ۲۱۲-۱۹۳.

۲. بنای رضوی، م. ۱۳۸۶. مکان‌یابی پارک‌های شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و تحلیل سلسله مراتبی AHP (نمونه موردی شهر بیرجند). پایان‌نامه کارشناسی ارشدشهرسازی برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه تهران، دانشکده هنر و معماری گروه شهرسازی.

۳. توفیق، ف. ۱۳۷۲. ارزشیابی چند معیاری در طرح ریزی کالبدی. مجله آبادی، شماره۱۱، ص ۴۳-۴۰.

۴. خاشعی سیوکی، ع.، ب. قهرمان و م. کوچک‌زاده. ۱۳۹۰. ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت نیشابور). مجله پژوهش آب ایران. سال پنجم، شماره ۹، ص ۱۸۰-۱۷۱.

۵. خدائی، ک.، ع.ا. شهسواری و ب. اعتباری. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین به روش DRASTIC و GODS. مجله زمین‌شناسی ایران، سال دوم، شماره چهارم، ص ۸۷-۷۳ .

۶. رضازاده ورقچی، ف.، ع. خاشعی سیوکی و ح. شجاعی سیوکی. ۱۳۸۹. بررسی آلودگی آبهای زیرزمینی دشت مشهد به منظور ارزیابی شاخص‌های آب شرب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. نخستین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران.

۷. زبردست، ا. ۱۳۸۲. کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. مجله هنرهای زیبا، شماره ۱۲، ص ۱۶-۸.

۸. زبردست، ا. ۱۳۸۰. کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. مجله هنرهای زیبا، شماره ۱۰، ص ۲۱-۱۳.

۹. سلطانی، م.ج.، م. گودرزی و س. شش‌انگشت. ۱۳۸۴. ارزیابی کارایی مدل‌های زمین‌آماری در GIS برای تهیه نقشه فرسایندگی باران حوضه آبخیز لتیان. اولین همایش سیستم اطلاعات مکانی تهران.

۱۰. شاد، ر.، ح. عبادی، م. سعدی مسگری و ع. ر. وفائی نژاد. ۱۳۸۸. طراحی و اجرای GIS کاربردی جهت مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با استفاده از مدل‌های فازی، وزن‌های نشانگر و ژنتیک. نشریه دانشکده فنی، دوره۴۳، شماره۴، ص ۴۲۹-۴۱۷.

۱۱. شمعانیان، غ.ح.، م. رقیمی، ا. یخکشی و م.ح. احمدی. ۱۳۸۴. هیدروژئوشیمی منابع آبریز گرگانرود- قره‌سو، استان گلستان. نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.

۱۲. صداقت، م. ۱۳۹۰. زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی). چاپ دوم، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.

۱۳. عبدالقادری بوکانی، ن.، ع. حجت و ع.ا. آل شیخ. ۱۳۸۷. مدل‌سازی آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آنالیزهای زمین آماری (مطالعه موردی شهرستان شیراز). یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.

۱۴. علیزاده، ا. ۱۳۸۸. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ بیست و هفتم، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع) مشهد.

۱۵. قادری، ز. و ا. هزارخانی. ۱۳۹۱. طبقه بندی هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت چاردولی قروه. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۶، شماره ۴، ص ۴۲۳-۴۱۵.

۱۶. کشاورز، ا.، ع. خاشعی سیوکی و م.ح. نجفی. ۱۳۹۲. مکان‌یابی مناسب استحصال آب شرب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند). مجله آب و فاضلاب، شماره ۳، ص ۱۴۲-۱۳۵.

۱۷. کشاورز، ا. ۱۳۹۰. تعیین مکان‌های مستعد جمع آوری آب باران (RWH) با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت بیرجند). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ۱۱۹ صفحه.

۱۸. نصیری، ا. ۱۳۸۸. کاربرد تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی (SMCDM) با GIS درکاربری اراضی شهری. همایش ژئوماتیک ۸۸، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.

۱۹. ولایتی، س. ۱۳۸۸. هیدرولوژی سازندهای نرم و سخت مبانی نظری و عملی. انتشارات جهاد دانشگاهی.

20. Millero, F.J., R. Feistel, D.J. Wright and T.J. McDougall. 2008. The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale. Deep Sea Research, 55(1): 50-72.

21. Asgharpour, M.J. 2006. Multi criteria decision making. Tehran, Tehran university press.

22. Ayag, Z. and ozdemir R.G. 2006. A fuzzy ahp approach to evaluating machine tool alternatives. Journal of intelligent manufacturing, 17: 179-190.

23. Bong, S.K., D. Sun and H. Hyun. 2005.Development of the Feasibility Model for Adding New Railroad Station Using AHP Technique. Journal of the Eastern Asia society for Transportation Studies, 6: 13-17.

24. Brail, R. and R. Klosterman. 2001. Planning support systems: integrating Geographic Information systems, models, and visualization tools. USA: ESRI- Press.

25. Field, F.W. and P.J. Haines. 2000. Environmental Analytical Chemistry. Blackwell Science Ltd, USA.

26. Fisher, P.F. 1989. Knowledge-based approaches to determining and correcting areas of unreliability in geographic databases. In M.Goodchild and S.Gopal (eds) Accuracy of Spatial Databases (Taylor & Francis, London), 45-54.

27. Jabr, W.Mand F.A. El-Awar. 2004. GIS and analytic hierarchy process for sitting water harvesting reservoirs. The department of land and water resources at the faculty of agriculture and food sciences of the American University of Beirut-Lebanon.

28. Jothiprakash, V.S and V. Mandar. 2009.Evaluation of Rainwater Harvesting Methods and Structures Using Analytical Hierarchy Process for a Large Scale Industrial Area.Water Resourceand Protection, 1:427-438.

29. Lu Li, Zhi-Hua Shi, Wei Yin, Dun Zhu, Sai Leung Ng, Chong-Fa Cai, A-Lin Lei .2009. A fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to eco-environmental vulnerability assessment for the danjiangkou reservoir area, China,Ecolojical Modelling220,PP:3439-3447.

30. Mehrdadi, N., G.R.N. Bidhendi, T. Nasrabadi, H. Hoveidi, M. Amjadi and M.A. Shojaee. 2009. Monitoring the arsenic concentration in groundwater resources, case study: Ghezelozan Water Basin, Kurdistan, Iran. Asian Journal of Chemistry 21(1): 446-450.

31. Miroslave, R and V.N. Bashkin. 1999. Practical Environmental Analysis169, 248.

32. Nilsson, E. and A. Svensson. 2005. Agro-Ecological Assessment of phonxay District, Louang Phrabang Province, Lao PDR. Physical Geography and Ecosystems Analysis, Lund University.

33. Pond, K. 2005. Water Recreation and Disease: plausibility of Associated Infections Acute Effects. Sequelae and Mortality, World Health Organization (WHO), London, UK.

34. Radojevicand, M. and V.N. Bashkin. 1999. Practical Environmental Analysis, Royal Society of Chemistry, 169-248.

35. Richards, J.P., A.J. Boyce and M.S. Pringle. 2001. Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile: a model and temporal localization of porphyry Cu mineralization. Economic Geology, 98: 1515-1533.

36. Sovary, F. 2008. GIS and Multicriteria Decision analysis, New York, 63-69.

37. Van Laarhoven, P.J.M. and W. Pedrcyz. 1983. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Fuzzy Sets and Systems, 11: 22-241.

38. Wang, F. and G.B. Hall. 1996. Fuzzy representation of geographical boundaries in GIS. International Journal of Geographical Information Science, 10(5): 573-590.

39. Xue, Y.J., Y.M. Hu, S.G. Liu, J.F. Yang, G.C. Chen and S.T. Bao. 2007. Improving land resource evaluation using fuzzy neural network ensembles. Remote sensing of Environment, 11:369-384.

40. Zadeh, L.A .1965. Fuzzy sets. Information and Control, 8: 338-353.

41. Zare Naghadehi, M., R. Mikaeil and M. Ataei. 2009. The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to selection of optimum underground mining method for Jajarm Bauxite Mine, Iran. Expert Systems with Applications, 36(4):8218-8226.

42. Zimmermann, H.J. 2001. Fuzzy set Theory and Its Applications. 4th Ed. Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, London.

Spatial analysis of groundwater quality for drinking use on Zaveh plain with Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process combination

Mahdieh Rashid Sorkh Abadi[1], Ali Shahidi[2], Abbas Khashei-Siuki[3]

Abstract

Increasing in human requirements has led to increase groundwater pumping and consequently decrease groundwater-table and discharge aquifers, that nowadays its results including an increase in water exploration costs, subsiding the soil and decreased water quality have became an worldwide problem. in the direction of confronting with water quality crisis, in this study appropriate regions for drinking water pumping in the aquifer of Zaveh plain, located in Khorasan Razavi Province, were determined. To reach this purpose, according to Schuler classification, parameters including pH, So_4, TH, TDS, Mg, Ca and Cl were classified using GIS. Then the best places for drinking water extraction in the plain were determined using Analytical Hierarchy Process (AHP) in combination with Fussy Analytical Hierarchy Process (FAHP). The results of both process were similar and close. Supplied model was compared with drinking water wells in the aquifer. The results showed that about 25% of northern and central area in the aquifer has the highest groundwater quality. Moving towards western areas in the aquifer, the quality of groundwater decreased so that about 15% of western areas are included in low quality conditions.

Keywords: Location of drinking water, Quality elements, GIS, FAHP

[1]Master student of Irrigation & Drainage, Faculty of Agriculture, Birjand university; mahdiehrashid@yahoo.com
[2]Assistant Professor, Dept. of water eng., Faculty of Agriculture, Birjand university; a47sh@yahoo.com
[3]Assistant Professor, Dept. of water eng., Faculty of Agriculture, Birjand university; abbaskhashei@yahoo.com