سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.13, No. 3, Autumn 2021

۱۱۳-۱۲۶
مقاله پژوهشی

بررسی کیفیت آب در محیط GIS با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

مهران شایگان[۱] و مرضیه مکرم[۲*]

۱. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار بخش جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴

چکیده

استان فارس، با توجه به واقع‌شدن در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، دچار کمبود منابع آب سطحی شده است. بنابراین، به‌منظور بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، تعیین کیفیت آب بسیار اهمیت دارد. با توجه به اهمیت موضوع، هدف این مطالعه تعیین میزان کیفیت مناطق جنوب شهر شیراز در استان فارس است. به‌منظور تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی از نقاط نمونه‌برداری‌شده، از روش میانگین عکس فاصله (IDW) استفاده شد. در ادامه، برای همگن‌کردن هریک از لایه‌های تهیه‌شده، روش فازی به‌کار رفت. در این روش، تابع عضویت برای هریک از نقشه‌های پهنه‌بندی تعریف شد و داده‌ها بین ۰ و ۱، براساس درجهٔ اهمیتی که در کیفیت آب دارند، قرار گرفتند. در نهایت، برای وزن‌دهی به لایه‌ها و تهیهٔ نقشهٔ نهایی کیفیت آب، از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب حدود ۸۰٪ منطقهٔ مورد مطالعه مطلوب است؛ درحالی‌که کیفیت آب شرب در حدود ۴٪ از منطقه (بخش‌هایی از شمال و شرق) نامطلوب است.

کلیدواژه‌ها: کیفیت آب، فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، روش فازی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* نویسندهٔ مکاتبه‌کننده: داراب، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی. تلفن: ۵۳۶۰۶۲۰۷، ۰۹۱۷۷۸۴۵۳۲۰

Email: m.mokarram@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

مطالعات بسیاری در زمینهٔ بررسی کیفیت آب انجام شده است. اخیراً، در مطالعات کیفیت آب، از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1] برای بررسی مکانی کیفیت آب در مناطق گوناگون استفاده شده است. GIS یکی از بهترین ابزارها برای بررسی دقیق منابع آب، با درنظرگرفتن فاکتور مکان، محسوب می‌شود. ازجمله مهم‌ترین قابلیت‌های GIS استفاده از روش‌های زمین‌آمار با دقت بالا برای تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی است.

تقی‌زاده[2] و همکاران (۲۰۰۸) نقشه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی را، در دشت یزد ارسنجان، با روش‌های زمین‌آمار تهیه کردند. نتایج نشان داد که روش‌های زمین‌آمار، در تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی درمورد هریک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه، دقت بالایی دارند.

از دیگر روش‌های تهیهٔ کیفیت آب، روش فازی است. این روش یکی از شیوه‌های مطلوب و مناسب بررسی ویژگی‌های کیفی آب در محیط GIS شمرده می‌شود. منطق فازی، که لطفی‌زاده (۱۹۶۵) آن را معرفی کرد، از روش‌های مطلوب هوش مصنوعی به‌منظور توسعهٔ سیستم‌های پیچیده و نامشخص مانند اندیس‌های محیط‌زیستی است (Chau, 2006). سعی منطق فازی بر این است اندیس‌ها را به‌گونه‌ای بسط دهد که به تفکر انسان نزدیک‌تر باشد و با استفاده از اطلاعات فازی، از خطاها و ابهامات و مشکلات جلوگیری کند (Silvert, 2000).

در سال‌های اخیر، با استفاده از منطق فازی، مطالعات بسیاری دربارهٔ موضوعات کیفیت آب‌های سطحی (Lermontov, 2009) و بررسی کیفی آب با اهداف کشاورزی انجام شده است (Mirabbasi, 2008; Mokarram, 2016, Mokarram & Sathyamoorthy, 2016). داهیا[3] و همکاران (۲۰۰۷) کیفیت آب‌های زیرزمینی را با همین شیوه بررسی کردند. در این مطالعه، پارامتر سختی در کنار غلظت کلسیم و منیزیم به‌کار رفته و سختی بیان‌کنندهٔ غلظت کلسیم و منیزیم موجود در آب است.

علی‌آبادی و سلطانی‌فرد[4] (۲۰۱۴)، با استفاده از روش فازی، تأثیر هدایت الکتریکی در آب و خاک را مطالعه و بررسی کردند. طبق نتایج، در تعیین کیفیت آب در منطقهٔ مورد مطالعه، دقت روش ممدانی[5] ۷۶٪ و سوگنو[6] ۵۲٪ بود.

شکور و همکاران (۱۳۹۳) از منطق فازی برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیلوردی استفاده کردند. با استفاده از نرم‌افزار متلب، قوانین استنتاج فازی کیفیت آب شرب ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد ۴۰٪ از نمونه‌ها با درصد اطمینان ۸.۱۳ تا ۲.۱۵ غیرقابل شرب است؛ ۳۳٪ از نمونه‌ها با درصد اطمینان ۵۰ قابل شرب و ۲۷٪ از نمونه‌ها با درصد اطمینان ۷۳ تا ۲.۸۵ مطلوب است. ودیعتی و نخعی (۱۳۹۴) از روش فازی برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی در استان تهران بهره بردند. بدین‌منظور، هفت پارامتر مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی شامل نسبت جذب سدیم، کل مواد جامد محلول، درصد سدیم انحلالی، کلرور، سولفات، سدیم و بی‌کربنات به‌کار رفت. نتایج نشان داد که ۱۳۴ نمونه در ردهٔ مطلوب و با سطح اطمینان ۳۶.۵٪ تا ۷۶.۳٪ و ۳۸ نمونه در ردهٔ قابل قبول و با سطح اطمینان ۲۳.۷٪ تا ۵۴.۵٪ قرار گرفتند. شش نمونهٔ باقی‌مانده نیز در ردهٔ غیرقابل قبول و با حداکثر سطح اطمینان ۲۸.۷٪ قرار داشتند. عبدالهی آرپناهی و اسلامی (۱۳۹۹) کیفیت آب کارون را با روش AHP بررسی کردند. نتایج نشان داد که ایستگاه‌های گتوند، عرب اسد، چشمهٔ سد شهید عباسپور و گرگر شوشتر دارای آب با کیفیت بسیار مناسب‌اند. صفاری‌نیا و همکاران (۱۳۹۹) کیفیت آب اراضی پایین‌دست سد مخزنی مهاباد را، با روش فازی، بررسی و برای تحلیل‌ها

1. Geographic Information System
2. Taghizadeh
3. Dahiya
4. Aliabadi & Soltanifard
5. Mamdani
6. Sugeno

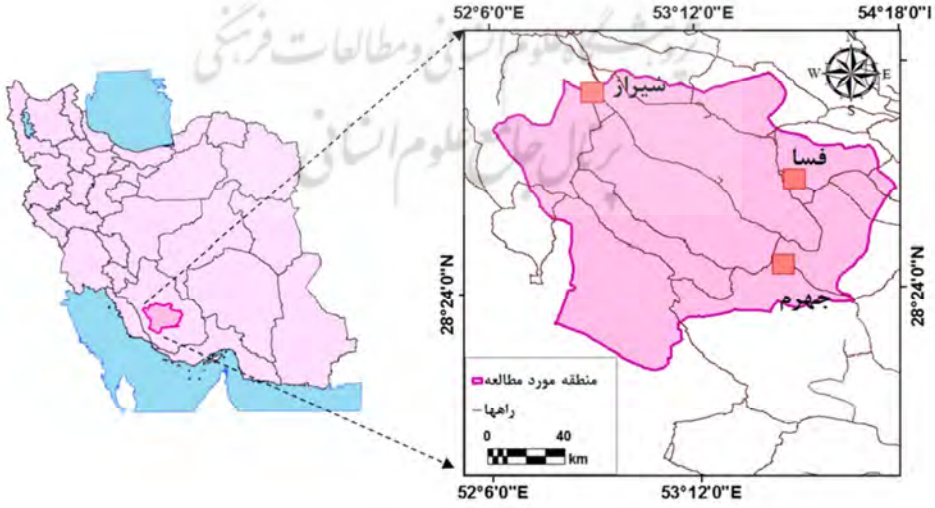
از نرم‌افزار متلب استفاده کردند. از مدل ممدانی هم در طبقه‌بندی کیفی آب و توابع عضویت مثلثی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مدل بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که شاخص فازی در برآورد کیفیت آب سطحی منطقهٔ مورد مطالعه دقت بسیاری دارد.

حسنی[1] و همکاران (۲۰۱۲) از روش فازی برای تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی استفاده کردند. کاهه[2] و همکاران (۲۰۱۰)، به‌منظور پیش‌بینی کیفیت آب رودخانهٔ کارون، از روش فازی (Mean- C) بهره بردند. نتایج نشان داد که، با استفاده از روش فازی، می‌توان پارامترهای کیفی رودخانه را پیش‌بینی کرد. صابری نصر[3] و همکاران (۲۰۱۳) برای طبقه‌بندی و شناسایی کیفیت و تجزیه‌وتحلیل آب‌های زیرزمینی از روش فازی استفاده کردند. اسکناپیکو[4] و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از این روش، کیفیت آب رودخانه را ارزیابی کردند و مشخص شد که روش فازی نتایج بهتری در ارزیابی کیفیت آب به‌دست می‌دهد. با توجه به نتایج این مطالعات، مشخص می‌شود که روش فازی را می‌توان به‌منزلهٔ ابزار جامعی برای نشان‌دادن کیفیت آب، به‌ویژه با هدف تعیین کیفیت آب شرب، به‌کار برد (حسنی و همکاران، ۱۳۹۱) (Mokarram et al., 2021).

با توجه به دقت بالای روش فازی در مطالعاتی که تا کنون انجام شده و اهمیت بررسی کیفیت آب، هدف این مطالعه استفاده از روش یادشده و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و روش مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به‌منظور تعیین کیفیت آب در جنوب شیراز (استان فارس) است. شایان ذکر است که، در این پژوهش، از روش AHP نیز برای تهیهٔ نقشهٔ نهایی کیفیت آب استفاده و نتایج با روش ANP مقایسه شد.

۲- منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در جنوب استان فارس، ایران، واقع شده و موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به قرارداشتن منطقهٔ مورد نظر در اراضی کشاورزی، این منطقه به‌منظور تعیین مناطق مناسب از نظر کیفیت آب انتخاب شد. مساحت منطقه ۱۹۶۶۹ کیلومترمربع و بیشترین و کمترین ارتفاع آن، به‌ترتیب، ۳۱۷۲ و ۳۱۴ متر است. حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه از نظر کشاورزی، شهری، باغات و دیگر موارد دارای اهمیت فراوانی است؛ بنابراین، بررسی کیفیت آب این منطقه بسیار اهمیت دارد و در این پژوهش، در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

1. Hasani
2. Kahe
3. Saberi Nasr
4. Scannapieco

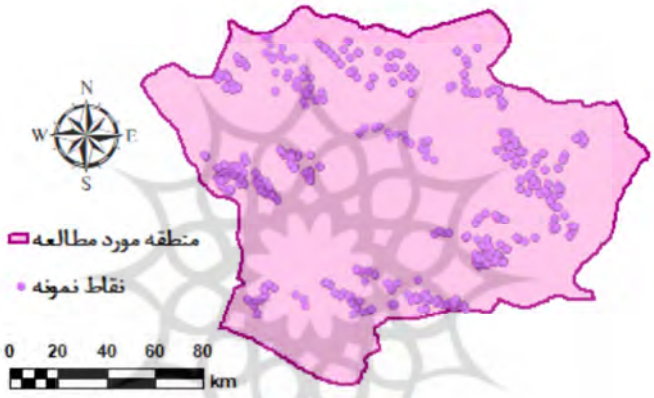
۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به‌منظور تعیین کیفیت آب شرب زیرزمینی، از دویست نمونهٔ آب استفاده شد (سازمان آب استان فارس، ۱۳۹۸) و مقدار کلسیم، کلر، شوری، منیزیم، سدیم، سولفات، سختی کل و کل مواد جامد محلول[1] برای هریک از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. پراکنش نقاط نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده شده است.

شایان ذکر است که ویژگی‌های کمّی هریک از پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در جدول ۱ آمده است.

۳-۱- روش میانگین عکس فاصله (IDW) به‌منظور تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی

در این مطالعه، به‌منظور تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی برای هریک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب، از بین روش‌های متفاوت، شیوهٔ IDW انتخاب شد. با توجه به پراکنش تصادفی نمونه‌ها و از سویی، با توجه به ساختار مکانی داده‌ها، روش IDW دقتی بالاتر از دیگر روش‌های زمین‌آمار، ازجمله کریجینگ، داشت و بنابراین، از شیوهٔ یادشده در تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده شد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۰). در این روش،



شکل ۲. موقعیت نقاط نمونه‌برداری

جدول ۱. ویژگی‌های آماری هریک از پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های آب

پارامتر	کلسیم (میلی‌گرم در لیتر)	کلر (میلی‌گرم در لیتر)	سدیم (میلی‌گرم در لیتر)	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	منیزیم (میلی‌گرم در لیتر)	سولفات (میلی‌گرم در لیتر)	سختی کل (میلی‌گرم در لیتر)	TDS (میلی‌گرم در لیتر)
حداقل	۰.۱	۰.۰۸	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۰۰۴	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۱۵
حداکثر	۸۲.۵	۸۱۵	۶۸۵	۶۴۲۸	۱۵۵	۱۵۰	۱۰۶۰۰	۵۳۷۰۵
انحراف معیار	۵.۰۸	۲۵	۱۵	۲۳۴	۶	۸	۵۸۰	۱۶۰۰

1. Total dissolved solids (TDS)

برای تعیین مقادیر هریک از پارامترهایی که در منطقه اندازه‌گیری نشده است، با درنظرگرفتن تأثیر نقاط نزدیک در نقاط مجهولی که مقادیرشان اندازه‌گیری شده، این مقادیر مجهول را تخمین می‌زنند. در واقع، هرچه فاصلهٔ نقاط مجهول از نقاط اندازه‌گیری‌شده بیشتر شود، تأثیر پارامتر مورد نظر کمتر خواهد شد. به‌کمک رابطه (۱) در محیط ArcGIS می‌توان، برای هریک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب، نقشهٔ پهنه‌بندی تعیین کرد.

رابطه (۱)
$$\hat{Z}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^{n} z(x_i) \times d^{-r}_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} d^{-r}_{ij}}$$

که $z(x_0)$ مقدار پیش‌بینی‌شدهٔ متغیر z، $z(x_i)$ مقدار نمونهٔ اندازه‌گیری‌شده در نقطهٔ x_i، d_{ij} فاصلهٔ نقاط نمونه تا نقطهٔ مورد نظر و r ضریبی است که وزن را براساس فاصله مشخص می‌کند.

۳-۲- روش فازی

با توجه به اینکه هریک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب واحد متفاوتی دارد، به‌منظور همگن‌کردن داده‌ها از روش فازی استفاده شد. روش فازی را اولین بار زاده[1] (۱۹۶۵)، به‌منزلهٔ روشی جدید در طبقه‌بندی، مطرح کرد. در این روش هریک از پارامترها، با توجه به اهمیتی که در کیفیت آب دارند، بین ۰ تا ۱ درجه‌بندی شدند؛ به‌طوری‌که مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت پارامتر در تعیین کیفیت آب است. تابع عضویت اهمیت ویژه‌ای در نظریهٔ مجموعه‌های فازی دارد و تمامی اطلاعات دربارهٔ مجموعه‌ای فازی ازطریق تابع عضویت آن توصیف می‌شود و در تمامی کاربردها و مسائل مرتبط با نظریهٔ مجموعه‌های فازی، به‌کار می‌رود. تابع عضویت مقدار فازی‌بودن مجموعه‌ای فازی را مشخص می‌کند و در واقع، به تابعی که درجهٔ عضویت المان‌های گوناگون به یک مجموعه را نشان می‌دهد تابع عضویت می‌گویند. به‌طورکلی، تابع عضویت در مدل فازی طبق رابطه (۲) تعریف می‌شود.

رابطه (۲)
$$A = \{x, \mu_A(x)\} \; for\; each\; x\; \varepsilon\; X.....\}$$

μ_A تابع عضویتی است که درجهٔ عضویت x را در مجموعهٔ A تعریف می‌کند. مقادیر این تابع عضویت، براساس میزان اهمیت آن در کیفیت آب، بین ۰ تا ۱ است. ازآن‌جاکه، با افزایش هریک از عناصر در آب، کیفیت آن کاهش می‌یابد؛ در این مطالعه از تابع عضویت خطی ذوزنقه‌ای یک‌طرفه استفاده شد (رابطه (۳)).

رابطه (۳)
$$\mu_A(x) = f(x) = \begin{cases} 1 & x \le I \\ J - x / J - I & I \prec x \prec J \\ 0 & x \ge J \end{cases}$$

I و J حدود بحرانی هریک از پارامترها نشان می‌دهد و x مقادیر واقعی هریک از پارامترهاست.

۳-۳- وزن‌دهی به هریک از پارامترها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[2]

کیفیت آب، با توجه به مقادیر هریک از پارامترها در آن، به‌اندازه‌های متفاوتی تغییر می‌یابد. در این پژوهش، ابتدا با روش AHP وزن هریک از پارامترها مشخص شد. AHP روشی است که وزن‌دهی به پارامترها را آسان می‌کند. در روش AHP، با مقایسهٔ زوجی، وزن هریک از پارامترها مشخص شد و طبق میزان اهمیت هریک از پارامترها، مقادیری بین ۱ تا ۹ به آنها تعلق گرفت (جدول ۲) (Saaty & Vargas, 2001).

به‌عبارت دیگر، به‌کمک ماتریس مقایسهٔ زوجی طبق معادلات (۴) و (۵)، می‌توان ارزش و اهمیت هر معیار را در مقایسه با دیگر معیارها مشخص کرد.

رابطه (۴)
$$a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}$$

رابطه (۵)
$$a_{ij} = 1 / a_{ji}$$

i و j و k مقادیر مربوط به ماتریس مورد بررسی است.

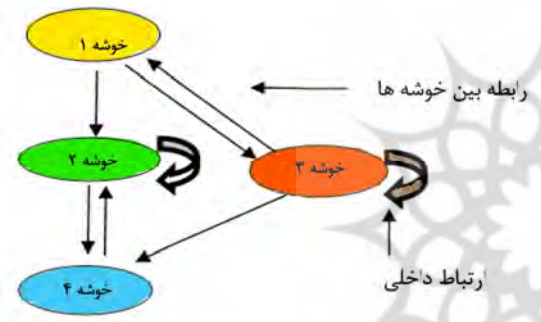
1. Zadeh
2. Analytical Hierarchy Process

جدول ۲. مقادیر مقایسهٔ زوجی در روش AHP

توضیحات	ارزش توصیفی	ارزش عددی
اهمیت برابر	۱	۱
-	ضعیف	۲
یک فاکتور کمی بر دیگری ارجحیت دارد	تقریباً متوسط	۳
-	متوسط	۴
یک فاکتور ارجح بر دیگری است	اهمیت بیشتر از دیگری	۵
-	قوی	۶
یک عنصر اهمیتی بیشتر از عنصر دیگر دارد	خیلی قوی	۷
-	خیلی خیلی قوی	۸
یک عنصر خیلی بیشتر از عنصر دیگر اهمیت دارد	کاملاً ارجح	۹
وقتی پارامتر i با j مقایسه می‌شود و دارای یکی از ارزش‌های بالاست، پارامتر j ارزشی متقابل با i دارد		عمل متقابل (دوطرفه)

منبع: Saaty & Vargas, 2001

با توجه به رابطه (۴) و (۵)، با مقایسهٔ دوبه‌دوی هریک از پارامترهای مؤثر در تعیین کیفیت آب، اعدادی بین ۱ تا ۹ برای آنها در نظر گرفته می‌شود و با تشکیل ماتریس مقایسهٔ زوجی، در نهایت، برای هریک از پارامترها ارزشی بین ۰ تا ۱ انتخاب می‌شود. طبق رابطه (۵)، وزن هریک از پارامترها در محدودهٔ ۰ تا ۱ تغییر می‌کند و مجموع وزن نهایی همهٔ پارامترها برابر با ۱ است.



شکل ۳. نمونه‌ای از ساختار ANP

منبع: Saaty, 1996

۳-۴- روش ANP

در روش ANP که یکی از روش‌های وزن‌دهی به پارامترهاست، برای مدل‌کردن مسئله، شبکه‌ای رسم می‌شود که گره‌های آن معادل هدف [۵]، معیارها [۶] و گزینه‌ها [۷] است. بردارهای جهت‌داری که این گره‌ها را به هم وصل می‌کنند نشان‌دهندهٔ جهت اثر گره‌ها در یکدیگرند.

تکنیک ANP، با چارچوب جامع و فراگیر، می‌تواند تمامی تعاملات و روابط میان سطوح تصمیم گیری را در نظر بگیرد که تشکیل ساختاری شبکه‌ای می‌دهند. خوشه‌ها معرف سطوح تصمیم‌گیری‌اند و کمان‌ها تعاملات میان سطوح تصمیم‌گیری را نشان می‌دهند. جهت کمان‌ها وابستگی را مشخص می‌کند (شکل ۳) (دری و حمزه‌ای، ۱۳۸۹).

در روش ANP، مانند روش AHP، ابتدا مقایسهٔ زوجی عناصر در هر سطح، با توجه به اهمیت نسبی آن در برابر معیار کنترل، انجام می‌شود. در مرحلهٔ بعد، وزن‌های داخلی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها، که در مرحلهٔ مدل‌سازی مشخص شده بود، محاسبه می‌شود. در این مرحله، وابستگی‌های درونی و بازخوردی مد نظر است.

در روش ANP، برای مقایسهٔ داخلی هریک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب، از سوپرماتریس استفاده می‌شود تا وابستگی‌های داخلی میان اجزای سیستم موشکافی شود. اجزای سوپرماتریس از ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی وابستگی‌های درونی به‌دست می‌آیند و در آن جای‌گذاری می‌شوند. هر ارزش غیرصفر در ستون سوپرماتریس نشان‌دهندهٔ

اهمیت نسبی وزن حاصل‌شده از ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی وابستگی‌های درونی است (فرجی سبکبار و دیگران، ۱۳۸۹؛ ملکی و دیگران، ۱۳۸۹). سوپرماتریس، در حقیقت، ماتریسی جزءبندی‌شده است که در آن هر بخش ماتریس رابطهٔ میان دو گره (سطح تصمیم‌گیری) را در کل مسئلهٔ تصمیم‌گیری نشان می‌دهد. فرم استاندارد سوپرماتریس را ساعتی[1] (۱۹۹۶) معرفی کرده است (دری و حمزه‌ای، ۱۳۸۹).

مراحل روش ANP از این قرار است:

۱. ایجاد ماتریس مقایسهٔ زوجی و تعیین بردارهای اولویت: در این بخش، طبق رابطه (۶)، بردار اهمیت داخلی محاسبه می‌شود که بیانگر اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌هاست.

$$AW = \lambda_{max} w$$

A ماتریس مقایسهٔ دودویی معیارها، W بردار ویژه و λmax بزرگ‌ترین مقدار ویژهٔ عددی است.

۲. ایجاد سوپرماتریس: نمونه‌ای از سوپرماتریس برای تعیین وزن هریک از معیارها در رابطه (۷) آمده است.

رابطه (۷)
$$W_n = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ w_{21} & 0 & 0 \\ 0 & w_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

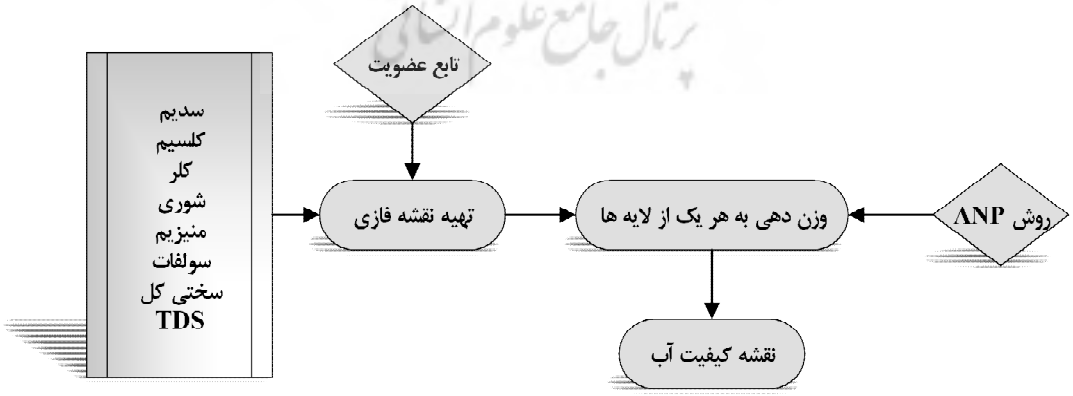
در این سوپرماتریس، w_{21} وزن معیارهای اصلی بر اساس هدف است که اثر هدف را در معیارها مشخص می‌کند، w_{32} وزن معیارها در خوشه مرتبط با خود است که تأثیر معیارها را در گزینه‌ها نشان می‌دهد و I نیز ماتریس واحد است.

۳. انتخاب گزینهٔ برتر: درصورتی‌که سوپرماتریس کل شبکه را پوشش دهد، گزینه‌ای که بیشترین اولویت را دارد برترین گزینه در نظر گرفته می‌شود.

فلوچارت شکل ۴ مراحل انجام‌شدن این تحقیق را نشان می‌دهد.

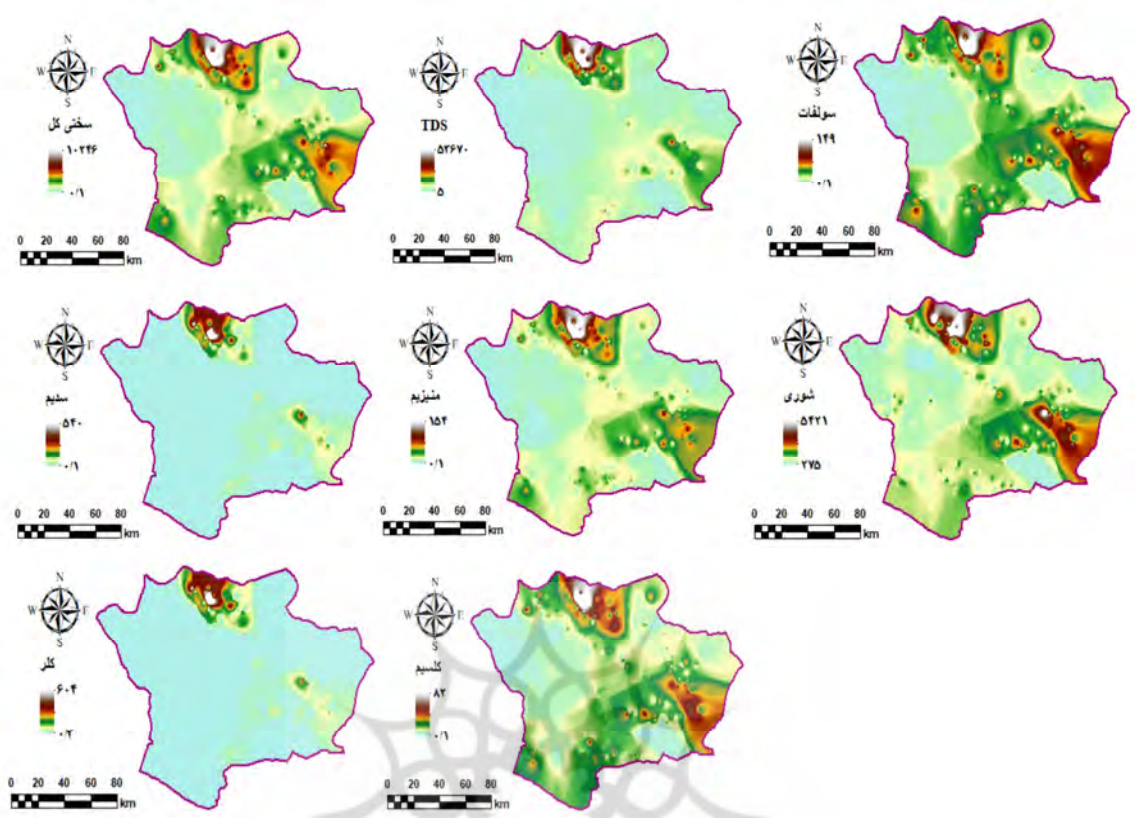
۴- نتایج

نقشهٔ پهنه‌بندی هریک از عناصر مؤثر در کیفیت آب در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵، مشخص می‌شود که آلودگی آب بیشتر در بخش‌هایی از شمال و جنوب و جنوب‌شرق منطقه وجود دارد و بخش‌های غربی منطقه فاقد آلودگی است. حداکثر مقدار سولفات و کلسیم، به‌ترتیب، ۱۴۹ و ۸۲ میلی‌گرم بر لیتر و کمتر از استانداردهای جهانی است. بنابراین، این دو عامل در آلودگی آب تأثیری ندارند. اما میزان حداکثر سختی کل، TDS، سدیم، منیزیم، شوری و کلر به‌ترتیب ۱۰۲۴۶، ۵۲۶۷۰، ۵۴۰، ۱۵۴، ۵۴۲۱ و ۶۰۴ میلی‌گرم بر لیتر و از حد استاندارد بیشتر است که منجر به کاهش کیفیت آب برای آشامیدن می‌شود.



شکل ۴. مراحل اجرای مدل به‌منظور تعیین مناطق مناسب از نظر کیفیت آب

1. Saaty



شکل ۵. نقشهٔ پهنه‌بندی هریک از عناصر مؤثر در کیفیت آب منطقهٔ مورد مطالعه

ابتدا برای تهیهٔ نقشهٔ فازی هریک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب منطقهٔ مورد مطالعه، از تابع عضویت استفاده شد. بدین‌منظور طبق جدول ۳، حدود بحرانی ۲۰۰، ۲۰۰، ۰.۳، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۵۰۰ برای عناصر کلسیم، کلر، شوری، منیزیم، سدیم، سولفات، TDS و سختی کل به‌صورتی در نظر گرفته شد که مقادیر بیشتر از حدود بحرانی برابر با ۰ و مقادیر کمتر نزدیک به عدد ۱ در روش فازی باشد.

جدول ۳. حدود بحرانی هریک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب

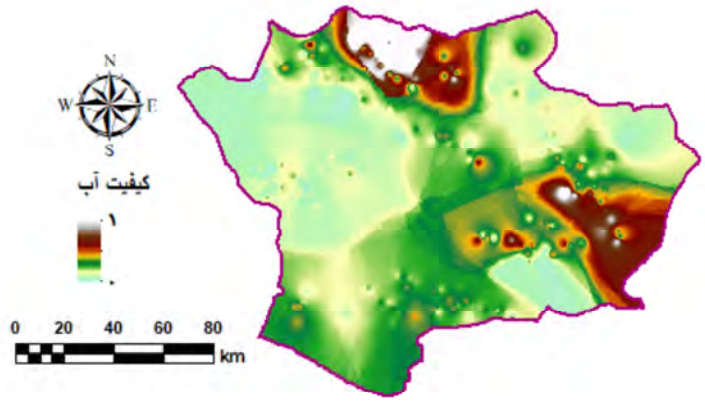
Parameter	Limit
Ca^{2+} (mg L^{-1})	200
Cl^{-} (mg L^{-1})	200
Mg^{2+} (mg L^{-1})	150
Th (mg L^{-1})	500
Na^{+} (mg L^{-1})	200
SO_4^{2-} (mg L^{-1})	200
TDS (mg L^{-1})	500
EC (dS m^{-1})	0.3

پس از تهیهٔ نقشه‌های وزن‌دارشده با استفاده از روش Index Overlay، در نهایت، تمامی لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر ترکیب شدند و نقشه‌های نهایی حاصل از روش ANP به‌دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴. وزن هریک از معیارهای مؤثر در کیفیت آب

معیار	امتیاز
کلسیم	۰.۳۳
کلر	۰.۲۳
سدیم	۰.۱۶
شوری	۰.۱۱
منیزیم	۰.۰۷
سولفات	۰.۰۵
سختی کل	۰.۰۳
TDS	۰.۰۲

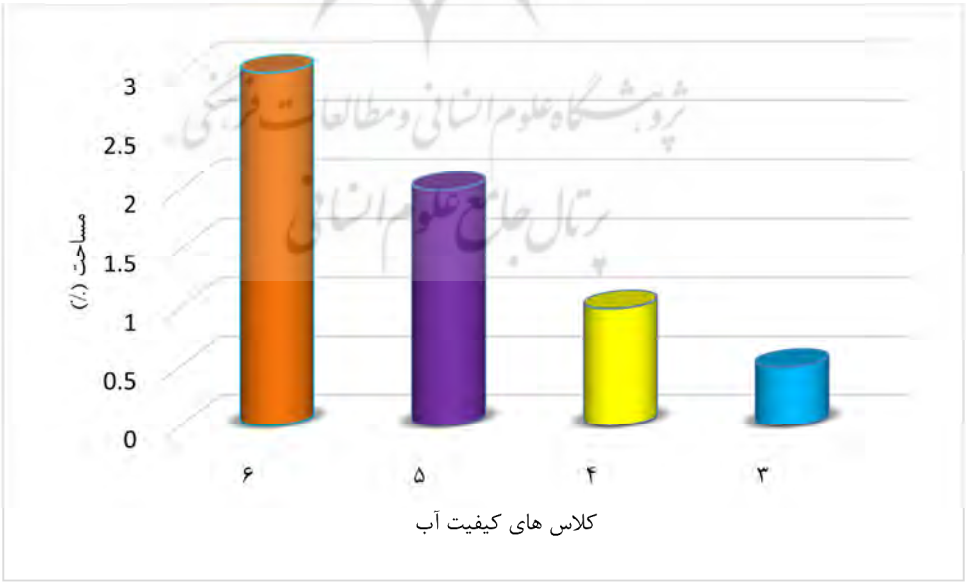
نقشهٔ نهایی با استفاده از روش ANP در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. نقشهٔ نهایی کیفیت آب با استفاده از روش ANP

با توجه به شکل ۶، مشخص می‌شود بخش‌هایی از شمال و شرق منطقهٔ مورد مطالعه، که دارای مقادیر نزدیک به ۱ هستند، کیفیت اندکی دارند اما در بقیهٔ مناطق، به‌ویژه غرب منطقهٔ مورد مطالعه، کیفیت آب بالاست. مساحت مناطق قرارگرفته در کلاس‌های متفاوت کیفیت آب در شکل ۷ آمده است و کلاس‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب در بازه‌های ۰.۲۵-۰، ۰.۵- ۰.۲۵، ۰.۷۵- ۰.۵ و ۱- ۰.۷۵ مقادیر فازی قرار گرفته‌اند. با توجه به شکل ۷، حدود ۸۰٪ از منطقه دارای آب با کیفیت خوب است و نزدیک به ۴٪ منطقه در کلاس ضعیف از نظر کیفیت آب قرار گرفته است.

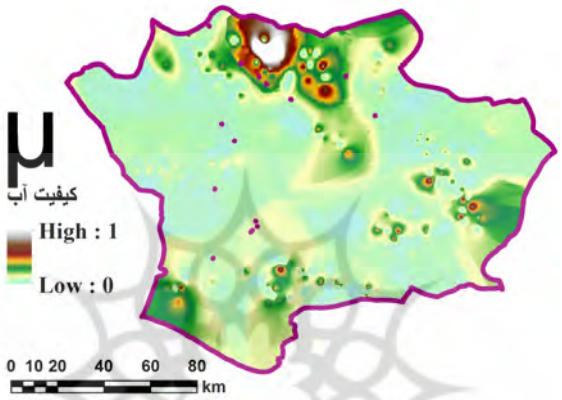
در ادامه، از روش AHP برای وزن‌دهی به لایه‌ها و تهیهٔ نقشهٔ کیفیت آب استفاده شد. طبق جدول ۵، از دیدگاه کارشناسان، کم‌اهمیت‌ترین عامل مؤثر در کیفیت آب TDS با وزن ۰.۰۰۲ است و کلسیم با وزن ۰.۳۳ بیشترین اهمیت را در تعیین کیفیت آب دارد.



شکل ۷. درصد مساحت هریک از کلاس‌های کیفیت آب

جدول ۵. وزن هریک از پارامترها با استفاده از مقایسهٔ دوبه‌دو در روش AHP

معیار	Ca	Cl	Na	EC	Mg	So_4	TH	TDS	وزن
Ca	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۰.۳۳
Cl	۰.۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۰.۲۳
Na	۰.۳۳	۰.۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۰.۱۶
EC	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۵	۱	۲	۳	۴	۵	۰.۱۱
Mg	۰.۲	۰.۲	۰.۳۳	۰.۵	۱	۲	۳	۴	۰.۰۷
So_4	۰.۱۶	۰.۱۶	۰.۲	۰.۳۳	۰.۵	۱	۲	۳	۰.۰۵
TH	۰.۱۴	۰.۱۴	۰.۱۶	۰.۲	۰.۳۳	۰.۵	۱	۲	۰.۰۳
TDS	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۴	۰.۱۶	۰.۲	۰.۳۳	۰.۵	۱	۰.۰۲



شکل ۸. نقشهٔ نهایی کیفیت آب با استفاده از روش AHP

با توجه شکل ۵، مشخص می‌شود که مقدار سدیم، کلر و TDS در بیشتر بخش‌های منطقهٔ مورد مطالعه (به‌جز بخش کوچکی از شمال) اندک است که بی‌تأثیربودن آنها را در کیفیت آب بیان می‌کند. در مقابل، مقدار سولفات، کلسیم، منیزیم و سختی کل در بسیاری از بخش‌های منطقهٔ مورد مطالعه زیاد است که تأثیر بیشتر این عناصر را در کیفیت آب می‌رساند. همچنین، با توجه به شکل ۵، معلوم می‌شود شوری آب در کیفیت آب تأثیرگذار است؛ به‌طوری‌که در بخش‌های شمال و شرق، که کیفیت آب با استفاده از مدل پایین تعیین شده است، مقدار بیشتری دارد. بنابراین، با توجه به نتایج ANP که حاکی از مقایسهٔ درونی و بیرونی پارامترها برای وزن‌دهی به لایه‌هاست، دقتی بالاتر از روش AHP دارد و مناطق واقع در شرق، که حاوی عناصر بسیارند (شکل ۵)، طبق روش AHP آلودگی کمتری در آنها شناسایی شده است.

مطالعات نشان می‌دهد که گنبدهای نمکی واقع در بخش‌های شرقی ناحیه یکی از عوامل آلودگی آب منطقهٔ مورد مطالعه است و این نکته با مطالعات بوستانی و همکاران (۱۳۸۶) هم‌خوانی دارد. همچنین، طبق مطالعات، زیادبودن نیترات در آب زیرزمینی مناطق شرقی یکی دیگر از دلایل آلودگی آب در این مناطق است که از فعالیت دامداری در منطقه ناشی می‌شود. حسینی مرندی و همکاران (۱۳۹۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. ظهرابی و خسروی (۱۳۹۵) نشان دادند علت آلودگی آب در مناطق شرقی وضعیت توپوگرافی منطقه، بهره‌برداری بیش‌ازحد آب زیرزمینی، گسترش صنعت و آلودگی‌های ضمن فعالیت‌های صنعتی است و این نکته صحت نتایج مدل ANP را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به‌منظور تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی از نقاط نمونه‌برداری‌شده، هریک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب از روش IDW در محیط GIS استفاده شد. ازاین‌رو، پارامترهای سختی کل، پتاسیم، کلسیم، شوری، منیزیم، سدیم، سولفات و TDS، PH درمورد دویست حلقه چاه بررسی شد. در این تحقیق، به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ کیفیت آب، از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و توابع عضویت فازی در محیط GIS استفاده شد. نتایج حاصل از روش ANP فازی نشان داد کیفیت آب، مناطق واقع در شمال و بخش‌هایی از شرق منطقه، نامطلوب است. در حقیقت، با تعیین نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب می‌توان مناطق دارای کیفیت کمتر را شناسایی و در مرحلهٔ بعد، علت آلودگی آب در این مناطق را بررسی کرد. سپس تا حد امکان برای کاهش این عوامل کوشید و چنانچه این کار امکان‌پذیر نباشد، از آشامیدن آب این مناطق جلوگیری کرد. با توجه به اینکه آب‌های آلوده منجر به بیماری‌های بسیاری در انسان می‌شود، مطالعه و تعیین نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب بسیار اهمیت دارد.

۶- منابع

اخوان، ر.، کرمی خرم‌آبادی، م.، سوسنی، ج.، ۱۳۹۰، **کاربرد دو روش کریجینگ و IDW در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ کاکارضای خرم‌آباد لرستان)**، مجلهٔ جنگل ایران، دورهٔ سوم، شمارهٔ ۴، صص. ۳۱۶-۳۰۵.

بوستانی، س.، کمپانی زارع، م.، نوشادی، م.، ۱۳۸۶، **بررسی اثر گنبدهای نمکی بر روی منابع آب در منطقهٔ دهرم استان فارس**، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوزه‌های آبخیز، کرج.

حسنی، ق.، محوی، ا.ح.، ناصری، س.، عرب‌علی‌بیک، ح.، یونسیان، م.، قریبی، ح.، ۱۳۹۱، **طراحی شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی**، مجلهٔ سلامت و بهداشت اردبیل، دورهٔ سوم، شمارهٔ ۱، صص. ۳۱-۱۸.

حسینی مرندی، ح.، محمدنیا، م.، روستا، م.ج.، هاتف، ب.، ۱۳۹۱، **بررسی منشأ آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی منطقهٔ میان‌جنگل فسا**، تحقیقات منابع آب ایران، دورهٔ هشتم، شمارهٔ ۳ (مسلسل ۲۵)؛ صص. ۹۲-۸۸.

دری، ب.، حمزه‌ای، ا.، ۱۳۸۹، **تعیین استراتژی پاسخ به ریسک در مدیریت ریسک به وسیلهٔ تکنیک ANP (مطالعهٔ موردی: پروژهٔ توسعهٔ میدان نفتی آزادگان شمالی)**، مدیریت صنعتی، دورهٔ دوم، شمارهٔ ۴، صص. ۹۲-۷۵.

سازمان آب استان فارس، ۱۳۹۸. https://www.frrw.ir.

شکور، ص.، اصغری مقدم، ا.، ندیری، ع.، ودیعتی، م.، ۱۳۹۳،**کاربرد منطق فازی در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیلوردی**، سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تبریز.

صفاری‌نیا، ش.، عبقری، ه.، عرفانیان، م.، ۱۳۹۹، توسعهٔ شاخص فازی کیفیت آب در ارزیابی کیفی آب بالا و پایین‌دست سد مخزنی مهاباد، **مجلهٔ منابع طبیعی ایران، دورهٔ هفتادوسوم، شمارهٔ ۳، صص. ۵۴۰-۵۲۵.**

ظهرابی، ص.، **خسروی**، ح.، ۱۳۹۵، **بررسی روند آلودگی آب‌های زیرزمینی شهرستان فسا جهت مصارف شرب**، اولین همایش ملی منابع طبیعی و توسعهٔ پایدار در زاگرس مرکزی، شهرکرد.

عبدالهی **آرپناهی**، ح.، اسلامی، ح.، ۱۳۹۹، **ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ کارون برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی با استفاده از مدل AHP**، فصلنامهٔ علمی- تخصصی مهندسی آب، دورهٔ هشتم، شمارهٔ ۱، صص. ۱۱-۱.

فرجی سبکبار، ح.، نصیری، ح.، حمـزه، م.، طـالبی، س.، رفیعی، ی.، ۱۳۸۹، **سـنجش میـزان پایـداری نواحی روستایی برپایهٔ مدل تحلیل شبکه بـا استفاده از تکنیـک بـردا (مطالعـهٔ مـوردی: نواحی روستایی شهرستان فسا)**، پژوهش های جغرافیـای انسـانی، دورهٔ چهـل‌ودوم، شـمارهٔ ۷۲، صص. ۱۵۶- ۱۳۵.

ملکـی، م.، محقـر، ف.، کریمـی دسـتجردی، د.، ۱۳۸۹، **تدوین و ارزیابی استراتژی های سـازمانی بـا به‌کارگیری مدل‌های SWOT و فرایند تحلیل شـبکه‌ای (ANP)**، مـدیریت فرهنـگ سـازمانی، سال هشتم، شمارهٔ ۲۱، صص. ۱۷۶- ۱۵۹.

ودیعتی، م.، نخعـی، م.، ۱۳۹۴، **ارزیـابی کیفیـت آب زیرزمینـی اسـتان تهـران از نظـر مصـارف کشاورزی با استفاده از مدل استنتاج فـازی**، دانش آب و خاک، دورهٔ بیسـت‌وپـنجم، شـمارهٔ ۱ (پیاپی ۱)، صص. ۴۱-۲۵.

Aliabadi, K. & Soltanifard, H., 2014, **The Impact of Water and Soil Electrical Conductivity and Calcium Carbonate on Wheat Crop Using a Combination of Fuzzy Inference System and GIS**, International Journal of Scientific & Technology Research, 3(9).

Chau, K.A., 2006, **Review on Integration of Artificial Intelligence into Water Quality Modelling**, Marine Pollution Bulletin, (52), PP. 726-733.

Dahiya, S., 2007, **Analysis of Groundwater Quality Using Fuzzy Synthetic Evaluation**, Journal of Hazardous Materials, (147), PP. 938-946.

Hasani, Gh., Mahvi, A.H., Naseri, S., Arabalibeik, H., Yonesian, M. & Gharibi, H., 2012, **Designing Fuzzy-Based Groundwater Quality Index**, Journal of Health, 3(1), PP. 18-31 (in Persian).

Kahe, M., Aghili, R. & Gheshmi, M., 2010, **Forecast Karoon River Water Quality by Using Fuzzy Logic and CMean Clustering Method**, 8th International Conference of River Engineering, Jan 26-28, Ahvaz, Iran (in Persian).

Lermontov, A., 2009, **River Quality Analysis Using Fuzzy Water Quality Index: Ribeira do Iguape River Watershed, Brazil**, Ecological Indicators, (9), PP. 1188-1197.

Minhaj, M.B., 2002, **Principles of Neural Networks**, Amirkabir University Press, second edition, Tehran.

Mirabbasi, R., Mazloumzadeh, S.M. & Rahnama, M.B., 2008, **Evaluation of Irrigation Water Using Fuzzy Logic**, Research Journal of Environmental Sciences, (2), PP. 340-353.

Mokarram, M., 2016, **Modeling of Multiple Regression and Multiple Linear Regressions for Prediction of Groundwater Quality (Case Study: North of Shiraz)**, Modeling Earth Systems and Environment, 2(1), P. 3.

Mokarram, M. & Sathyamoorthy, D., 2016, **Investigation of the Relationship between Drinking Water Quality Based on Content of Inorganic Components and Landform Classes Using Fuzzy AHP (Case Study: South of Firozabad, West of Fars Province, Iran)**, Drinking Water Engineering and Science, 9(2), PP. 57-67.

Mokarram, M., Saber, A. & Obeidi, R., 2021, **Effects of Heavy Metal Contamination Released by Petrochemical Plants on Marine Life and Water Quality of Coastal Areas**, Environmental Science and Pollution Research, 28(1-2), PP. 1-15.

Naseriparsa, M., Bidgoli, A.M. & Varaee, T., 2014, **A Hybrid Feature Selection Method to Improve Performance of a Group of Classification Algorithms**, International Journal of Computer Applications, 69, PP. 28-35.

Saaty, T.L., 1996, **Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process** (Vol. 4922), RWS Publ.

Saaty, T.L. & Vargas, L.G., 2001, **How to Make a Decision**, In Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, Springer, Boston, MA, PP. 1-25.

Saberi Nasr, A., Rezaie, M. & Mansuri, M., 2013, **Evaluating Mamdani Fuzzy Inference System Usage in the Analysis of Groundwater Quality (Case Study: Tabas Aquifer)**, Iranian Journal of Water and Environment Engineering, 1(1), PP. 25-34 (in Persian).

Scannapieco, D., Naddeo, V., Zarra, T. & Belgiorno, V., 2012, **River Water Quality Assessment: A Comparison of Binary and Fuzzy Logic Based Approaches**, Ecological Engineering, 47, PP. 132-40.

Silvert, W., 2000, **Fuzzy Indices of Environmental Conditions**, Ecological Modelling, 130, PP. 111-119.

Taghizadeh Mehrjerdi, R., Zareian, M., Mahmodi, S.H. & Heidari, A., 2008, **Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistic (Case Study: Yazd-Ardakan Plain)**, World Applied Science Journal, 4(1), PP. 7-9.

Zadeh, L.H., 1965, **Fuzzy Sets**, Information and Control, 8, PP. 338-353.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.13, No. 3, Autumn 2021
113-126

Investigation of Water Quality Using Fuzzy and Analytic Network Process (ANP) Methods in GIS

Shaygan M.[1] and Mokarram M.[2*]

1. Assistant Prof., Dep. of Remote Sensing & GIS, Tarbiat Modarres University, Tehran
2. Associate Prof., Dep. of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University

Abstract

Fars province has a shortage of surface water resources due to its location in arid and semi-arid regions in Iran. Therefore, in order to exploit groundwater resources, determining water quality is very important. Due to the importance of the subject in this study, the aim is to determine the quality of the southern regions of Shiraz in Fars province. To prepare zoning maps of the sampled points, the Inverse distance weighting (IDW) method was used. Then, to homogenize each of the prepared layers, the fuzzy method was used. In this method, by defining the membership function for each of the zoning maps, the data were placed between zero and one based on the degree of importance they have for water quality. Finally, the analytic network process (ANP) method was used to weigh the layers and prepare the final water quality map. The results showed that about 80% of the study area has good water quality. While about 4% of the region (parts of the north and east) has poor quality in terms of drinking.

Keywords: Water quality, Analytic network process (ANP), Fuzzy Method.

* Correspondence Address: Fars, Darab, Dep. of Range and Watershed Managemen. Tel: +98 71 53606207, 09177845320
Email: m.mokarram@shirazu.ac.ir