



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## مکان‌یابی مناطق مستعد برداشت آب شرب با تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و فازی (مطالعه موردی: آبخوان طبس)

محسن احمدی<sup>۱\*</sup>، علی شهیدی<sup>۲</sup>، زهرا قربانی<sup>۳</sup>

۱. (نویسنده مسئول): دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳. دانشجوی کارشناسی سازه‌های آبی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

### چکیده

زمینه و هدف: نقش آب زیرزمینی به خصوص در مناطق کویری به منظور تامین آب شرب همواره مورد توجه بوده است. لیکن مطالعات و تصمیم‌گیری در خصوص استحصال آب از این منبع آب هزینه‌بر و دشوارتر از منابع سطحی است. بنابراین لزوم توجه به روش‌های نوین تصمیم‌گیری در این زمینه مانند پهنه‌بندی اهمیت می‌یابد. با توجه به اثرات متفاوت پارامترهای شیمیایی آب در کیفیت نهایی آن، کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و فازی مانند *AHP*، *FAHP*، *ANP* و *FANP* منجر به تهیه نقشه‌های دقیق‌تری در این زمینه می‌گردد. هدف این پژوهش پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های *ANP* و *FANP* و مقایسه نتایج روش‌های *AHP* و *FAHP* با *ANP* و *FANP* است. بدین منظور تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان طبس واقع در شرق ایران با عرض جغرافیایی  $19^{\circ}$  تا  $33^{\circ}$  و  $50^{\circ}$  تا  $33^{\circ}$  شمالی و طول جغرافیایی  $43^{\circ}$  تا  $60^{\circ}$  و  $12^{\circ}$  تا  $63^{\circ}$  شرقی انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه پارامترهای *Ca*، *Mg*، *SO<sub>4</sub>*، *Cl*، *TDS*، *EC* و *TH* مورد مطالعه قرار گرفتند. ابتدا نقشه‌های رستری هر پارامتر تهیه و این نقشه‌ها به لایه‌های فازی تبدیل گردیدند. سپس لایه‌های مورد نظر با اعمال وزن‌های بدست آمده از روش‌های *AHP* و *ANP* تلفیق شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیشترین اوزان در روش *ANP* به پارامترهای *Cl* (۰/۱۷۲)، *Mg* (۰/۱۶۱) و *EC* (۰/۱۵۹) اختصاص داشت. بیشترین اوزان در روش *AHP* نیز به پارامترهای *Cl* (۰/۴۵۷)، *TDS* (۰/۱۶۳) و *EC* (۰/۱۱۴) اختصاص یافت. همچنین غلظت کلیه پارامترهای مورد بررسی در نقشه‌های پهنه‌بندی و فازی شده از سمت شرق و جنوب شرقی به شمال غربی افزایش نشان داد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج بدست آمده و جهت جریان، کیفیت آب زیرزمینی با حرکت در آبخوان (از سمت جنوب و شرق به شمال غربی) کاهش یافت. بنابراین قسمت‌های شرق و جنوب شرقی به عنوان مناطق مطلوب جهت تامین آب شرب مشخص شد. مساحت این مناطق در روش‌های *AHP*، *ANP*، *FAHP* و *FANP* به ترتیب ۲۲/۱۲، ۲۵/۰۸، ۵۷/۳۵ و ۵۸/۲۴ درصد از کل آبخوان را شامل می‌شود.

### اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۶  
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۴/۲۶  
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۰۳  
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۹/۳۰

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، پهنه‌بندی، روش *FANP*، کیفیت آب

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

m.ahmadee@ymail.com

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی بنا به خصوصاتی که دارند همواره بیشتر از منابع آب سطحی مورد توجه قرار گرفته‌اند و این اهمیت در مناطق کویری و فاقد رودخانه‌های دائمی بیشتر بوده است. از طرفی افزایش جمعیت و نیاز به تامین منابع آب شرب قابل اطمینان سبب توجه بیشتر در خصوص برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی شده است. با توجه به هزینه‌های گزاف حفر چاه جهت بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی، امروزه از روش‌های زمین آماری بدین منظور استفاده می‌شود (۱، ۲). در همین راستا می‌توان به سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان یکی از ابزارهای مهم در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری برای داده‌های مکانی و روش‌های زمین آماری اشاره کرد (۷-۳). البته با توجه به اثر متفاوت هر پارامتر بر کیفیت نهایی آب، بهتر است از تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با روش‌های زمین آماری استفاده کرد تا اثر پارامترهای مختلف بر تصمیم نهایی دقیق‌تر شود (۸). از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توان به تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) (۹) اشاره کرد که ابزارهای مهمی در خصوص وزن‌دهی و افزایش قدرت تصمیم‌گیری محسوب می‌شوند (۱۴-۱۰).

روش AHP دربرگیرنده مجموعه‌ای از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری‌ها به شیوه‌ای منطقی است به طوری که می‌توان گفت این روش از یک طرف وابسته به تصورات شخصی و طرح‌ریزی سلسله مراتبی یک مساله است و از طرف دیگر با منطق، درک و تجزیه برای تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی مرتبط است (۱۵). فرض اصلی در AHP روی عملکرد مستقل گروه‌های بالایی سلسله مراتبی از قسمت‌های پایین آن است (۱۶، ۱۷). این فرض در برخی شرایط صادق نیست بنابراین ممکن است سبب ایجاد خطا در نتایج شود (۱۸). به همین منظور، روش ANP به منظور تکمیل AHP معرفی شده است. این روش نیز به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای شناخته شده و اساس کار آن بر مبنای مقایسه

زوجی گزینه‌ها است. روش ANP از یک رابطه درونی پیچیده در میان سطوح تصمیم و گزینه‌ها استفاده می‌کند و سیستم تصمیم‌گیری خطی را با یک سیستم شبکه‌ای جایگزین می‌کند. در روش ANP، اهمیت گزینه‌ها نیز مانند اهمیت معیار در نظر گرفته می‌شود و به همین دلیل خطای تصمیم‌گیری در مقایسات زوجی کاهش می‌یابد (۱۲). ANP متشکل از دو جزء سلسله مراتب کنترلی (شامل ارتباط بین هدف، معیارها و زیرمعیارها) و ارتباط شبکه‌ای (شامل وابستگی بین عناصر و خوشه‌ها) است (۱۹).

تاکنون مطالعات بسیاری با استفاده از GIS در خصوص تعیین کیفیت آب زیرزمینی انجام شده است. به عنوان مثال می‌توان به تحقیقات Mehrjerdi و همکاران اشاره کرد (۲۰). این محققان کیفیت آب زیرزمینی در دشت اردکان یزد را با استفاده از پارامترهای شیمیایی مانند EC، TDS و Cl پهنه‌بندی کردند. Zahedifar و همکاران با استفاده از برخی پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی به پهنه‌بندی کیفیت این منبع آب جهت مصارف شرب در دشت فسا پرداختند (۲۱). این محققان از روش‌های زمین‌آمار و نرم‌افزار GIS بدین منظور استفاده کردند. Zehtabiyani و همکار با استفاده از روش‌های زمین‌آمار به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در حوضه آبخیز گرمسار پرداختند (۲۲). این محققان از برخی پارامترهای شیمیایی بدین منظور استفاده کردند. از جمله مطالعات دیگر می‌توان به تحقیقات Sanches (۲۳)، Fetouani و همکاران (۲۴)، Rezaei و همکاران (۲۵) اشاره کرد.

همچنین مطالعات بسیاری با استفاده از روش‌های AHP و ANP به منظور تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه بهینه انجام شده است. از جمله می‌توان به مطالعات Okada و همکاران در بررسی اثرات بهبود مدیریت و سخت افزار به منظور عملکرد مطلوب‌تر پروژه‌های آبیاری (۲۶)، Montazar و همکار در بررسی و ارزیابی شبکه‌های آبیاری (۲۷)، Srdjevic و همکار در ارزیابی طرح‌های مدیریت آب را در حوضه‌ی پاراگواسو در برزیل (۲۸) و Razavi Toosi و همکار در اولویت‌بندی

ANP مناطق مناسب برای ایجاد نیروگاه‌های بادی را در استان اردبیل تعیین کردند؛ سپس به مقایسه این دو روش پرداختند (۱۸). در تحقیقی دیگر، Dahiya و همکاران از روش فازی برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده قرار دادند (۳۹). Ashournejad و همکاران (۴۰) با استفاده از روش FANP به شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند شهرستان اصفهان پرداخت. Mohammadi Zanjirani و همکاران (۹) با استفاده از روش FANP به مکان‌یابی مراکز بهداشتی و درمانی در شهرستان رامسر پرداختند. Hosseini و همکار (۴۱) با استفاده از FANP به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فراموشی سازمانی پرداختند.

براساس مرور منابع، گرچه روش‌های AHP و FAHP در برخی مطالعات استفاده شده است لیکن تاکنون تحقیقی در خصوص استفاده از روش‌های ANP و FANP در ارزیابی کیفیت آبخوان‌ها انجام نشده است. از طرفی با توجه به اهمیت آبخوان طبس در تامین آب شرب منطقه، لزوم انجام این تحقیق دیده می‌شود. بنابراین هدف این پژوهش شامل: الف) پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های ANP و FANP؛ ب) مقایسه نتایج روش‌های AHP و FAHP با ANP و FANP است.

### مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی در استان خراسان جنوبی و در محدوده شهرستان طبس به عرض جغرافیایی  $19^{\circ} 33'$  تا  $50^{\circ} 33'$  شمالی و طول جغرافیایی  $42^{\circ} 40'$  تا  $63^{\circ} 12'$  شرقی واقع شده است (شکل ۱). به منظور تعیین مناطق مستعد برداشت آب جهت مصارف شرب، از نتایج نمونه‌برداری منتهی به سال ۱۳۹۳ شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی استفاده شد. داده‌های مورد استفاده توسط بطری‌های نمونه‌برداری با ظرفیت ۲۵۰ mL از کلیه هشت چاه و دو قنات واقع در این منطقه (مجموعاً ده نقطه) برداشت و پارامترهای Ca، Mg، Cl،  $SO_4$ ، TDS، EC و TH برای هر نمونه تعیین شده بود. بدین

گزینه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ (۲۹) اشاره کرد. در سال‌های اخیر کاربرد روش AHP در بررسی کیفیت آب زیرزمینی افزایش یافته است ولی تاکنون مطالعه‌ای براساس روش ANP انجام نشده است. به عنوان مثال Ganapuram و همکاران با استفاده از روش AHP در ایالت Andhra Pradesh در هند به بررسی مناطق مستعد استحصال آب زیرزمینی پرداختند (۳۰). در تحقیقی دیگر Khashei-siuki و همکاران با استفاده از همین روش پتانسیل استحصال آب از آبخوان دشت نیشابور را بررسی کردند (۳۱).

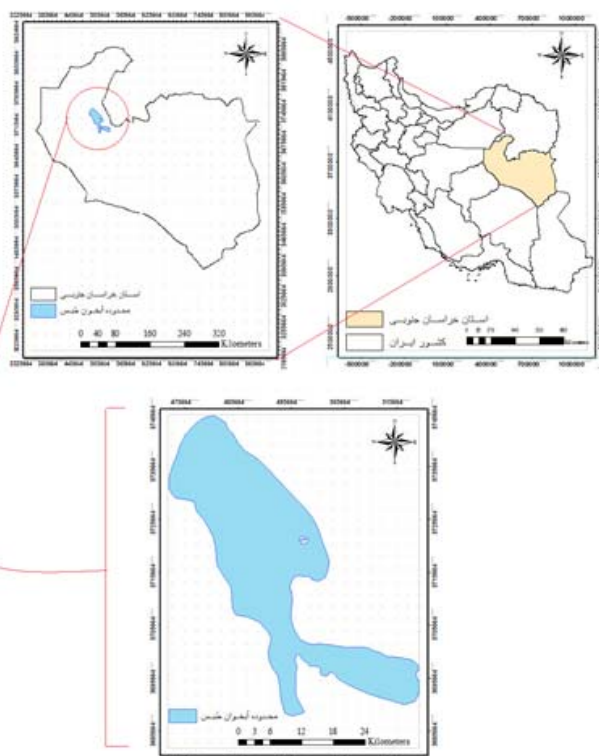
سیستم‌های فازی نیز توانایی تقسیم‌بندی و تصمیم‌گیری در زمینه‌های مختلف را دارند و می‌توان آنها را با روش‌های مختلف تصمیم‌گیری ترکیب نمود (۳۲). از طرفی با توجه به اینکه نتایج مقایسه‌ها در روش‌های کلاسیک (AHP و ANP) به دلیل خاصیت تغییرات مکانی سبب ایجاد خطای تورش می‌گردد (۳۳)؛ نیاز به ترکیب این روش‌ها دیده می‌شود (۳۴). بدین منظور می‌توان با ترکیب روش‌های AHP و ANP با روش فازی، روش‌های تصمیم‌گیری جدیدی تولید نمود (روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) و تحلیل شبکه‌ای فازی (FANP)) که توانایی در نظر گرفتن عدم قطعیت را نیز داشته باشند (۳۵). روش‌های FAHP و FANP در واقع تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری و ماتریس تاثیرات وابستگی متقابل بین معیارها هستند. در روش‌های سنتی تصمیم‌گیری، قضاوت براساس اعداد قطعی است در حالی که این رویکرد نمی‌تواند به درستی فرایند تصمیم‌گیری و تفکر انسانی را منعکس کند (۳۶). این روش‌ها برای نخستین بار توسط Sepand و همکاران مورد استفاده قرار گرفتند (۳۷) سپس در تحقیقات دیگر توسعه یافتند. از جمله این تحقیقات می‌توان به مطالعات Faraji و همکاران اشاره کرد (۳۳). این محققان با استفاده از روش FAHP به پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبریز گربایگان پرداختند. Malekian و همکاران با استفاده از FAHP به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز اخترآباد پرداختند (۳۸). Azizi و همکاران با استفاده از روش‌های FAHP و

نقره تعیین شدند. برای تعیین TH از روش حجم‌سنجی با استفاده از محلول استاندارد ETDA استفاده گردید (۴۲). خلاصه آماری ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در این دشت در جدول ۱ نشان داده شده است.

صورت که اندازه‌گیری EC توسط EC متر پرتابل و سنجش سایر پارامترها در آزمایشگاه انجام شد. TDS توسط روش تبخیر، Ca، Mg با استفاده از روش تیتراسیون ETDA، SO<sub>4</sub> با استفاده از اسپکترومتر و Cl با استفاده از تیتراسیون نترات

جدول ۱- خلاصه آماری ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت طبس

| TH     | EC                     | TDS     | SO <sub>4</sub> | Cl    | Mg   | Ca    | پارامتر آماری     |
|--------|------------------------|---------|-----------------|-------|------|-------|-------------------|
| meq/L  | mmhos.cm <sup>-1</sup> | meq/L   |                 |       |      |       |                   |
| ۲۷۰    | ۸۷۱                    | ۵۵۵     | ۱               | ۳/۳   | ۲/۴  | ۱/۵   | کمینه             |
| ۲۹۵۰   | ۱۸۱۰۰                  | ۱۱۵۸۰   | ۱۳/۳            | ۱۶۱   | ۱۹/۲ | ۳۹/۸  | بیشینه            |
| ۸۴۰/۴۵ | ۴۷۲۴/۱۸                | ۳۰۲۰/۸۲ | ۵/۰۵            | ۳۷/۴۱ | ۶/۴۴ | ۶/۴۳  | میانگین           |
| ۵۱۰    | ۳۱۹۰                   | ۲۰۴۰    | ۲۰۱/۶           | ۷۴۵/۵ | ۵۷/۶ | ۱۱۲   | میانه             |
| ۹۵/۲   | ۱۰۳/۲                  | ۱۰۳/۳   | ۶۸/۲۲           | ۱۲۰/۵ | ۸۴/۳ | ۱۰۵/۵ | درصد ضریب تغییرات |
| ۸۰۰/۲۳ | ۴۸۷۴/۸۹                | ۳۱۱۹/۷۵ | ۳/۴۴            | ۴۵/۰۸ | ۵/۴۲ | ۱۰/۹۴ | انحراف معیار      |



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

سپس روش زمین آمار معکوس وزنی فاصله (Inverse Distance Weighting (IDW)) برای پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از نمونه‌های نقطه‌ای انتخاب و لایه مورد نظر برای هر پارامتر تهیه شد. با وزندهی به هر لایه، لایه‌های ساخته شده با هم تلفیق شدند. روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای (۳۳) برای وزندهی به لایه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

بدین منظور ابتدا ماتریس‌های مقایسه دوتایی تشکیل شد. در واقع ماتریس مذکور، یک ماتریس  $n \times n$  بوده (معادله ۱) که تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسات زوجی اهمیت دو گزینه براساس آن صورت می‌گرفت.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R.I.I = 1.98 \frac{n-2}{n} \quad (5)$$

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (6)$$

سپس وزن‌های بدست آمده برای هر پارامتر توسط روش‌های AHP و ANP مشخص شد (جدول ۳). پس از پهنه‌بندی و تهیه لایه‌های رستری، لایه‌های مورد نظر با استفاده از توابع عضویت فازی، به لایه‌های فازی تبدیل شدند.

جدول ۳- نتایج وزن‌های بدست آمده با روش‌های AHP و ANP

| وزن هر پارامتر |       | عناصر کیفی      |
|----------------|-------|-----------------|
| ANP            | AHP   |                 |
| ۰/۰۹۴          | ۰/۰۲۹ | Ca              |
| ۰/۱۶۱          | ۰/۰۸۵ | Mg              |
| ۰/۱۷۲          | ۰/۴۵۷ | Cl              |
| ۰/۱۲۲          | ۰/۰۶۶ | SO <sub>۴</sub> |
| ۰/۱۵۷          | ۰/۱۶۳ | TDS             |
| ۰/۱۵۹          | ۰/۱۱۴ | EC              |
| ۰/۱۳۱          | ۰/۰۸۵ | TH              |
| ۰/۰۳           | ۰/۰۹  | نرخ ناسازگاری   |

در روش فازی، میزان ارزش‌گذاری به هر کدام از پیکسل‌ها براساس اعداد بین صفر تا یک است به طوری که هر چه عدد مورد نظر به یک نزدیک‌تر، کیفیت آن پارامتر بهتر است (۴). در این تحقیق براساس پارامترهای کیفی آب از تابع Z-Shape استفاده شد (شکل ۲). این تابع از نوع کاهشی بوده و شامل دو نقطه بحرانی است که براساس آن مقدار فازی هر پارامتر تعیین می‌گردد (معادله ۷). طبقه‌بندی شولر نیز به عنوان معیار قضاوت در خصوص نقاط بحرانی انتخاب شد (جدول ۴). در نهایت به منظور ترکیب لایه‌های فازی، از عملگر جمع جبری فازی استفاده گردید.

در معادله فوق  $a_{ij}$  ترجیح عنصر  $i$  نسبت به عنصر  $j$  است. البته در مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر، بنا به شرط معکوسی، معادله ۲ برقرار است.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (2)$$

معیار وزن‌دهی به هر عنصر نیز با توجه به اعداد جدول ۲ و بر اساس نظر متخصصان انجام شد. سپس وزن نهایی هر الگو براساس معادله ۳ و نرخ ناسازگاری براساس معادله ۴ محاسبه گردید.

جدول ۲- مقیاس انجام مقایسات زوجی (۱۵)

| مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی) | امتیاز عددی |
|-----------------------------------|-------------|
| اهمیت مطلق                        | ۹           |
| اهمیت خیلی قوی                    | ۷           |
| اهمیت قوی                         | ۵           |
| اهمیت ضعیف                        | ۳           |
| اهمیت یکسان                       | ۱           |
| ترجیحات بین فاصله‌های بالا        | ۸، ۶، ۴، ۲  |

$$A = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j \quad (3)$$

$$I.R = \frac{I.I}{R.I.I} \quad (4)$$

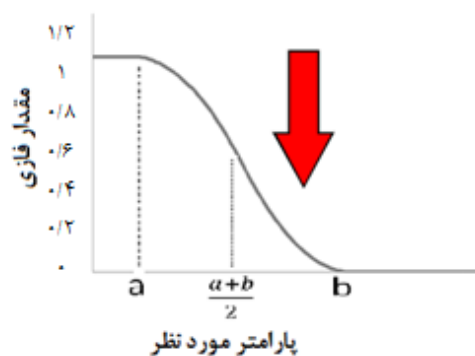
در معادلات مذکور  $a_{ij}$  ترجیح عنصر  $i$  بر  $j$  است.  $w_j$  نشانگر اهمیت معیار،  $A$  ماتریس مقایسه زوجی،  $R.I.I$  شاخص ناسازگاری تصادفی (معادله ۵)،  $I.I$  شاخص ناسازگاری (معادله ۶) و  $I.R$  نرخ ناسازگاری است. نرخ ناسازگاری می‌بایست کمتر از ۰/۱ باشد تا بتوان به نتایج اعتماد نمود (۴۳).

### یافته‌ها

براساس نتایج بدست آمده از روش ANP، پارامتر Cl با مقدار ۰/۱۷۲، بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. پارامترهای Mg و EC نیز به ترتیب با مقادیر ۰/۱۶۱ و ۰/۱۵۹ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در روش AHP نیز پارامترهای TDS، Cl، EC و به ترتیب با اوزان ۰/۴۵۷، ۰/۱۶۳ و ۰/۱۱۴ بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. براساس روش‌های AHP و ANP، کمترین وزن به پارامتر Ca اختصاص داشت به طوری که در این روش‌ها به ترتیب مقدار ۰/۰۲۹ و ۰/۰۹۴ به آن اختصاص یافت.

در شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب پهنه‌بندی پارامترهای مورد نظر قبل و بعد از فازی کردن آنها نشان داده شده است. براساس نتایج بدست آمده از این تحقیق حداکثر مقدار Ca و Mg در این دشت برابر ۱۰۰ mg/L بدست آمد. حداکثر مقدار SO<sub>۴</sub>، Cl و TDS نیز به ترتیب برابر ۶۰، ۱۶۰ و ۱۰۰۰۰ mg/L تعیین شدند. بیشترین مقدار EC برابر ۱۸۱۰۰ mmhos.cm<sup>-1</sup> و حداکثر مقدار TH برابر ۶۰۰۰ mg/L بدست آمد.

نتایج تلفیق لایه‌ها در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. براساس نتایج بدست آمده، براساس روش‌های AHP مناطق با وضعیت خیلی خوب، خوب، نسبتاً خوب، نسبتاً بد، بد و خیلی بد به ترتیب برابر ۲/۱۲، ۲۰، ۲۵/۸۵، ۲۰/۷۱، ۱۰/۷۳ و درصد از کل آبخوان را شامل می‌شوند. مناطق با وضعیت مشابه با استفاده از روش ANP به ترتیب ۱/۲۳، ۲۳/۸۳، ۳۹/۴۸، ۱۱/۸۱، ۱۱/۸۱ و ۱۱/۸۲ درصد از کل آبخوان را به خود اختصاص دادند. درصد مناطق با وضعیت خیلی خوب براساس روش‌های FAHP و FANP به ترتیب برابر ۲۰/۲۹ و ۲۰/۷۲ بود. نتایج همچنین نشان داد که براساس روش FAHP و FANP مناطق با کیفیت خوب، نسبتاً خوب، نسبتاً بد، بد و خیلی بد به ترتیب برابر (۳۷/۰۶ و ۳۷/۵۲)، (۱۳/۴۵ و ۱۲/۵۶)، (۱۶/۷۱ و ۱۸/۴۹)، (۳/۶۱ و ۵/۳۲) و (۷/۱ و ۷/۱۷) درصد از کل آبخوان بدست آمدند.



شکل ۲- تابع عضویت Z-Shape

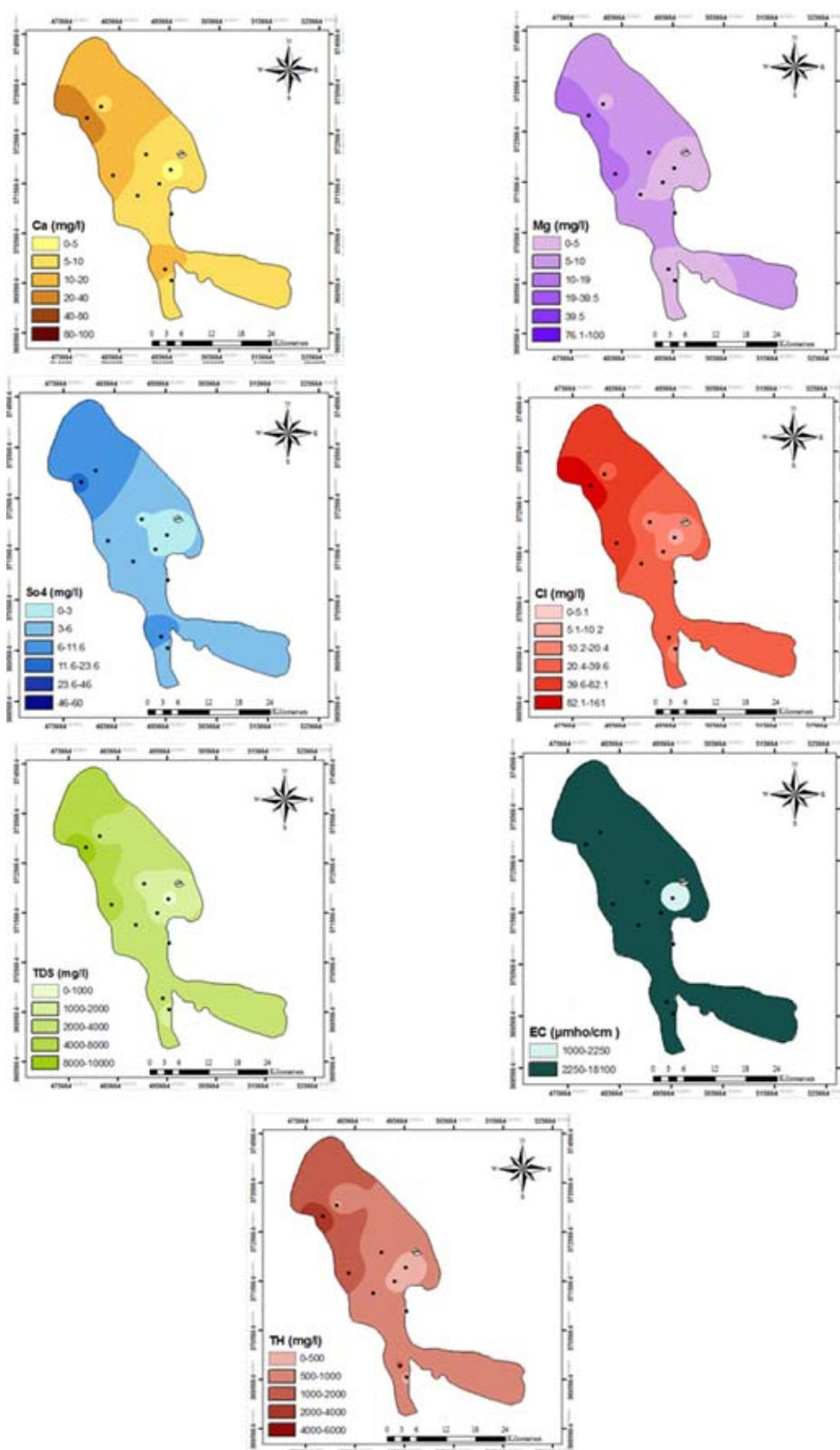
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2 & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1-2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (۷)$$

به منظور وزن‌دهی پارامترها با روش‌های AHP و ANP به ترتیب از نرم‌افزارهای Expert Choice و Super Decision استفاده شد. پهنه‌بندی نقشه‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 انجام گردید.

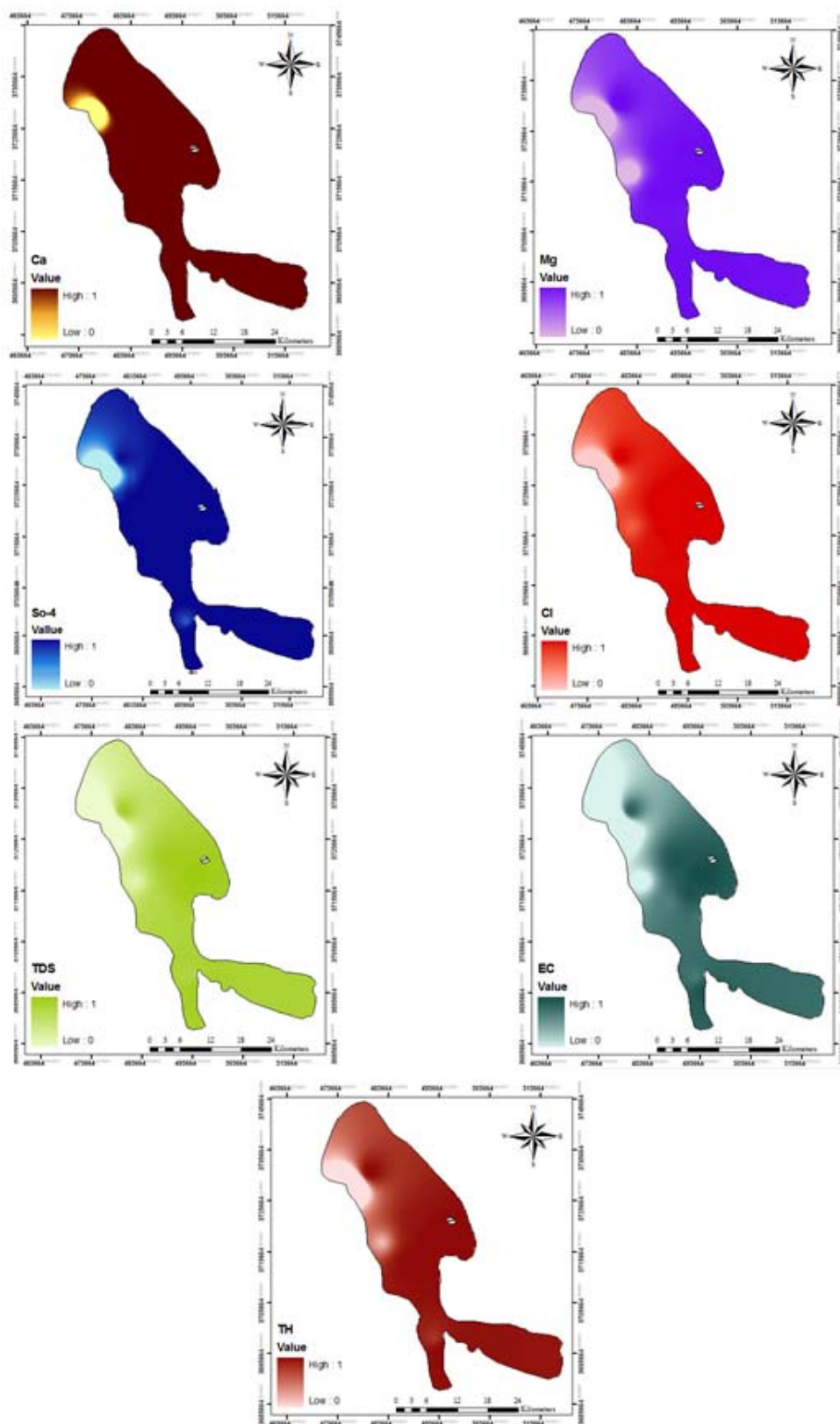
جدول ۴- نقاط بحرانی توابع عضویت فازی در

عناصر مختلف (۴۴)

| عناصر کیفی      | حدود تابع فازی |       |
|-----------------|----------------|-------|
|                 | b              | a     |
| Ca              | ۱۲۰            | ۱۸۰۰  |
| Mg              | ۷۰             | ۱۰۰۰  |
| Cl              | ۱۸۰            | ۲۹۰۰  |
| SO <sub>۴</sub> | ۱۴۰            | ۲۳۰۰  |
| TDS             | ۵۰۰            | ۸۰۰۰  |
| EC              | ۱۵۰۰           | ۱۰۰۰۰ |
| TH              | ۲۵۰            | ۴۰۰۰  |

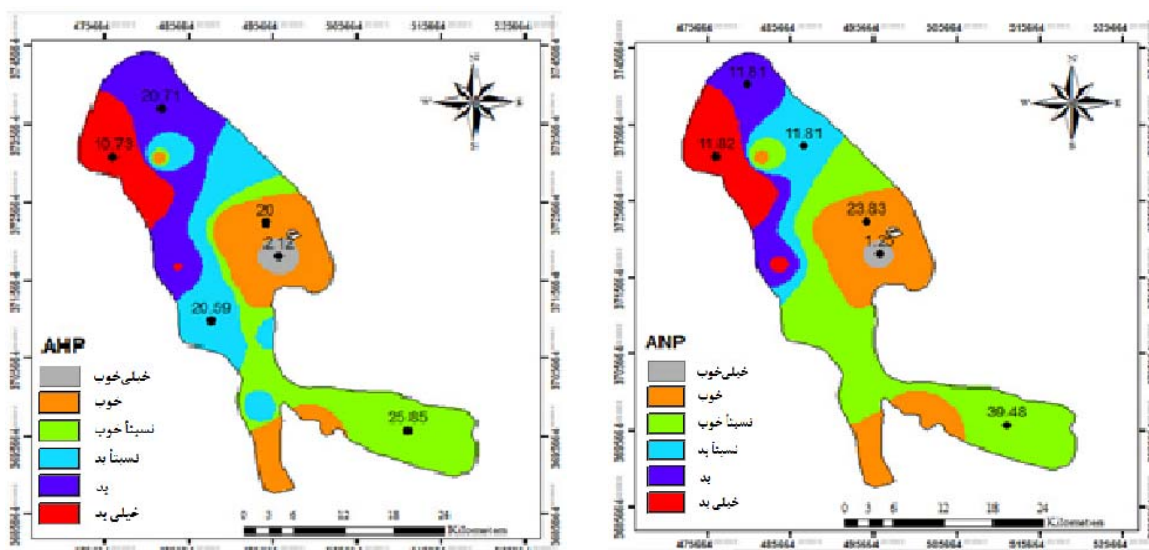


شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی پارامترهای  $Ca$ ،  $Mg$ ،  $SO_4$ ،  $Cl$ ،  $TDS$ ،  $EC$  و  $TH$

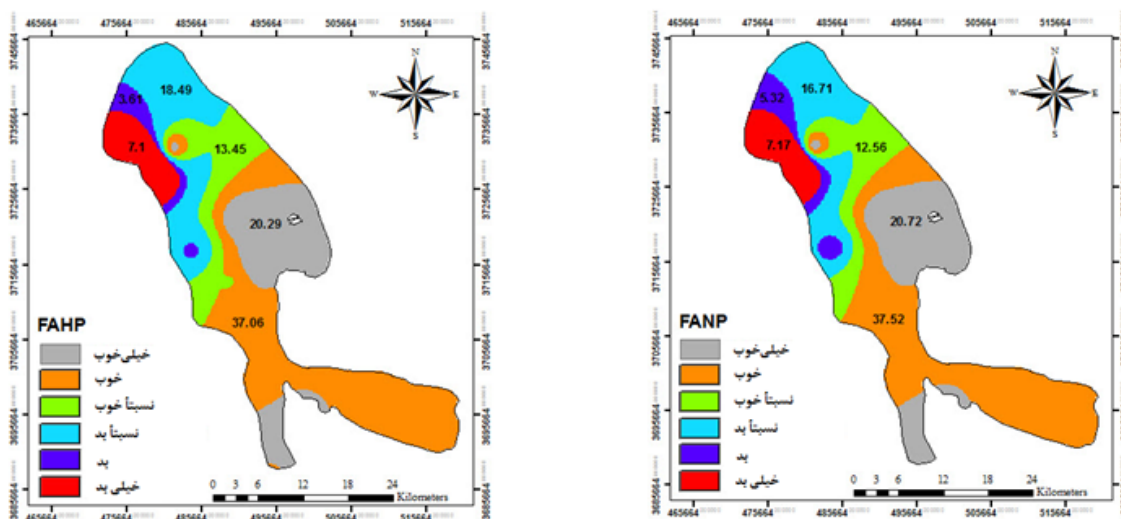


شکل ۴- نقشه‌های فازی پهنه‌بندی شده پارامترهای Ca, Mg, SO<sub>4</sub>, Cl, TDS, EC و TH





شکل ۵- نقشه نهایی حاصل از روش‌های AHP (سمت چپ) و ANP (سمت راست)



شکل ۶- نقشه نهایی حاصل از روش‌های FAHP (سمت چپ) و FANP (سمت راست)

با مشاهدات Dahyia و همکاران (۳۹) مطابقت داشت. این محققان نیز اثر Cl را مؤثر از پارامترهایی مانند کاتیون‌ها بیان کردند. سایر محققان از جمله Mishra و همکار (۴۵) نیز Cl را از عوامل مؤثر در کیفیت آب‌های زیرزمینی بیان کرده‌اند. Ca و  $SO_4$  نیز کمترین اوزان را داشتند و علت آن اثر کمتر این پارامترها بر کیفیت نهایی آب براساس نظرات تصمیم‌گیرندگان

### بحث

براساس نتایج بدست آمده از روش‌های AHP و ANP مشاهده شد که EC و TDS وزن‌های نزدیک به هم داشتند که این براساس رابطه بین این دو پارامتر توجیه می‌شود. بیشتر بودن وزن Cl و EC در روش‌های AHP و ANP بیانگر مؤثر بودن این پارامتر در تعیین کیفیت آب است. این نتایج

در نقشه فازی شده، در مناطق شمالی و شمال غربی بدست آمد. غلظت Cl در سایر مناطق به یک نزدیک بود.

غلظت TDS نیز در نقشه‌های پهنه‌بندی و فازی همانند پارامترهای پیشین بود و بیشترین مقدار این پارامتر در مناطق شمالی و شمال غربی بدست آمد. مقادیر این پارامتر در این مناطق بین ۴۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ mg/L متغیر بود. کمترین مقدار این پارامتر، کمتر از ۱۰۰۰ mg/L، نیز در بخشی از مناطق شرقی مشاهده شد. براساس نقشه فازی، مقدار TDS در بخش وسیعی از مناطق شمالی و غربی آبخوان برابر یا نزدیک به صفر بود. با فاصله گرفتن از این مناطق و نزدیک شدن به مناطق شرقی و جنوبی، مقدار Cl افزایش یافته و به یک نزدیک‌تر شد. نتایج بدست آمده برای پهنه‌بندی EC در دشت طبس نشان داد که کل منطقه تقریباً در بازه متوسطی قرار دارد و مقدار این پارامتر در بازه  $18100 - 22500 \text{ mmhos.cm}^{-1}$  متغیر بود. در حالی که نقشه فازی شده این پارامتر نشان داد که میزان این پارامتر در مناطق جنوبی کمتر از مناطق شمالی است. براساس نقشه فازی، مقدار EC در شمال و شرق آبخوان برابر صفر بود. بخش‌هایی از مرکز آبخوان نیز مقادیر نزدیک به صفر داشتند. مناطق جنوبی نیز دارای مقادیر نزدیک به یک بودند. بیشترین TH در شمال و شرق آبخوان بدست آمد و مقدار آن در بازه ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ mg/L متغیر بود. مناطق مرکزی سختی بین ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ mg/L داشتند و از کیفیت متوسطی برخوردار بودند. بخش‌هایی از شرق آبخوان دارای سختی کمتر از ۵۰۰ mg/L بود. براساس نقشه فازی، قسمت‌هایی از شرق آبخوان مقادیر برابر و نزدیک به صفر داشتند. قسمت‌هایی از مرکز آبخوان نیز مقادیر بین ۰/۵-۰/۳ داشتند. جنوب آبخوان دارای مقادیر برابر یا نزدیک به یک بود.

با جمع‌بندی نتایج بدست آمده از شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود غلظت پارامترهای مورد بررسی از سمت شرق و جنوب به سمت شمال و غرب افزایش یافته است. این به دلیل جهت حرکت آب زیرزمینی در این آبخوان است. چون در حوضه مرکزی و کویری ایران، سازندهای زمین‌شناسی منشأ اصلی کاهش کیفیت آب

بود. Keshavarz و همکاران (۴۴) نیز پارامترهای Cl، TDS و EC را از عوامل موثر بر کیفیت آب آبخوان گزارش کردند و پایین‌ترین اوزان را به پارامترهای  $\text{SO}_4$  و Ca اختصاص دادند. علت متغیر بودن وزن‌های بدست آمده از دو روش AHP و ANP به ماهیت این دو روش برمی‌گردد. اختلاف بین بیشترین و کمترین وزن در روش AHP برابر ۰/۴۲۸ (بین پارامتر Ca و Cl) و در روش ANP برابر ۰/۰۷۸ (بین پارامتر Ca و Cl) بدست آمد. با توجه به اینکه در روش ANP عوامل موثر به صورت شبکه‌ای بر هم اثر می‌گذارند؛ وزن‌های بدست آمده ملایم‌تر از روش AHP بود (۱۲).

براساس نتایج بدست آمده از نقشه‌های پهنه‌بندی (شکل ۳)، بیشترین غلظت Ca در مناطق شمالی مشاهده شد. براساس نقشه‌های فازی (شکل ۴)، غلظت این پارامتر در کل دشت مطلوب بود و فقط در بخش کوچکی از ناحیه شمال غربی مقادیر نزدیک به صفر مشاهده شد. غلظت پارامتر Mg در آبخوان در مناطق جنوبی تا حداکثر ۳۰ mg/L بود در حالی که در مناطق شمالی تا ۷۶ mg/L نیز تعیین شد. براساس نقشه‌های فازی، غلظت این پارامتر در بخش‌هایی از غرب منطقه صفر بود و در سایر مناطق مقدار این پارامتر عددی نزدیک به یک داشت. غلظت  $\text{SO}_4$  در شمال آبخوان بیشترین مقدار را داشت و مقادیر آن بین ۴۶ تا ۶۰ mg/L متغیر بود. بخش‌هایی از شرق آبخوان دارای کمترین مقادیر  $\text{SO}_4$  بود به طوری که غلظت این کاتیون در این مناطق کمتر از ۶ mg/L تعیین شد. گرچه نقشه فازی شده این پارامتر محافظه کارانه‌تر به نظر می‌رسد ولی نتایجی تقریباً مشابه با نقشه غیرفازی نشان داد. غلظت پارامتر Cl در بخش‌هایی از شرق آبخوان کمترین مقدار را داشت. مقدار این پارامتر در این منطقه بین صفر تا ۱۰ mg/L متغیر بود. مناطق جنوبی و بخش‌هایی از مرکز آبخوان دارای غلظت Cl بین ۱۰ تا ۴۰ mg/L بودند. غلظت Cl در مناطق شمالی به ۶۰ mg/L نیز می‌رسید. بیشترین مقدار Cl نیز در بخش‌هایی از غرب منطقه مشاهده شد که حداکثر به ۱۶۱ mg/L می‌رسید. براساس نقشه فازی، مقادیر حداکثر Cl،

نتایج تلفیق لایه‌ها توسط روش‌های FAHP و FANP نشان داد که آب زیرزمینی در بخش‌های شرقی و جنوبی کیفیت مناسبی و در بخش شمال غربی کیفیت نامطلوبی داشت (شکل ۶). گرچه نتایج این دو روش یکسان بود ولی تفاوت اندکی در مساحت تحت پوشش هر قسمت بدست آمد. علت این تفاوت را می‌توان در وزن‌دهی به پارامترها توسط هر روش دانست. مناطق مطلوب در شرق و جنوب آبخوان طبس در روش FANP به ترتیب ۲/۹۶ و ۱۳/۹۹ درصد نسبت به روش FAHP افزایش داشت. افزایش مشابهی نیز در مناطق نامطلوب شمال غرب تعیین شد به طوری که مساحت این بخش در روش FANP، ۱/۷۱ درصد بیشتر از روش FAHP بدست آمد.

مقایسه نتایج چهار نقشه نهایی (FAHP، ANP، AHP) و FANP نشان داد که بیشترین و کمترین مساحت تحت پوشش مناطق مطلوب در بخش شرقی به ترتیب در روش‌های FANP و FAHP بدست آمد. بیشترین و کمترین مساحت مطلوب در بخش جنوبی نیز به ترتیب به روش‌های ANP و AHP اختصاص یافت. همچنین درصد مناطق نامطلوب در روش‌های AHP و ANP بیشتر از روش‌های FAHP و FANP تعیین شد و مناطق وسیع‌تری از شمال غربی تا شمال آبخوان را پوشش داد. مقایسه این نتایج نشان داد که مدل‌های فازی جواب مناسب‌تری در تفکیک مناطق نشان می‌دهند. این نتایج با مشاهدات Esavi و همکاران (۵۰) مطابقت دارد. این محققان نیز، در نظر گرفتن عدم قطعیت در روش‌های فازی را سبب بهبود نتایج در پهنه‌بندی گزارش کردند. همچنین نتایج نشان داد که تفاوت بارز نقشه‌های بدست آمده توسط روش‌های فازی نسبت به روش‌های AHP و ANP، در جداسازی محدوده‌های بیشتر به عنوان مناطق بدون پتانسیل بود (۵۱).

### نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که براساس روش AHP، پارامترهای TDS، Cl و EC به ترتیب با وزن‌های ۰/۴۵۷، ۰/۱۶۳ و ۰/۱۱۴ بیشترین اثر را بر کیفیت آب زیرزمینی در این دشت داشتند. در روش ANP، نیز Cl، Mg و EC به ترتیب با وزن‌های

زیرزمینی هستند (۴۶-۴۹)، کیفیت آب این آبخوان در مسیر حرکت آن کاهش یافته است به طوری که در محل خروج آب از آبخوان کمترین کیفیت را داشت. این نتایج با مشاهدات Khashei Siuki و همکاران (۳۱) مطابقت دارد. این محققان نیز با پهنه‌بندی آب زیرزمینی در دشت نیشابور، کاهش کیفیت آب را بر اثر حرکت در آبخوان گزارش کردند. Keith و همکاران (۴۷) و Mehrjerdi و همکاران (۲۰) نیز در تحقیقات خود نتایج مشابه گزارش کردند.

نتایج تلفیق لایه‌ها با هم نشان داد که براساس روش AHP، مناطق غربی و جنوبی در بازه مطلوبی از لحاظ کیفیت آب به شمار می‌روند (شکل ۵). این نتایج ناشی از وضعیت مطلوب پارامترهای EC، Cl و TDS در این مناطق است. مناطق شمالی و شمال غربی نیز وضعیت نامطلوبی از لحاظ کیفیت آب زیرزمینی داشتند که علت آن نامناسب بودن پارامترهایی مانند Cl و TDS در این ناحیه است. براساس نتایج بدست آمده توسط روش AHP، بیشترین مناطق مطلوب از لحاظ کیفیت آب در بخش‌های جنوبی و شرقی قرار داشتند. بیشتر بودن چاه‌های بهره‌برداری در این مناطق نیز این نتایج را تایید می‌کنند. Khashei Siuki و همکاران (۳۱) و Keshavarz و همکاران (۴۴) نیز در تحقیقات خود نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. این محققان نیز اثربخشی پارامترهای با وزن بیشتر بر کیفیت نهایی آب زیرزمینی را تایید کرده و بیشتر بودن چاه‌های بهره‌برداری را یکی از نشانه مطلوب بودن کیفیت آب در هر ناحیه برشمرده‌اند. نقشه‌های نهایی کیفیت آب براساس روش ANP نیز مشابه روش AHP بود و تنها در مساحت مناطق مورد نظر اختلاف اندکی داشتند (شکل ۵). با توجه به نتایج این دو روش، مشاهده شد که مناطق مطلوب برداشت آب در روش ANP بیشتر از روش AHP بوده و سطوح پوشش داده شده توسط این روش در مناطق غربی و جنوبی به ترتیب ۲/۶۸ و ۱۳/۶۳ درصد از روش AHP بیشتر بود. مناطق نامطلوب در بخش شمالی در روش ANP ۸/۹ درصد از روش AHP کمتر تعیین شد ولی افزایشی در حدود ۱/۰۹ درصد در مناطق نامطلوب غربی در روش ANP بدست آمد. اختلاف این نتایج به دلیل تفاوت وزن‌های بدست آمده، براساس جدول ۲، برای هر روش است (۱۲).

تحقیق است. افزایش چاه‌های نمونه‌برداری و ادامه پایش کیفیت آب زیرزمینی در این دشت سبب خواهد شد تا بتوان در خصوص روش‌های مورد مطالعه بهتر تصمیم‌گیری نمود. همچنین با توجه به ماهیت این روش‌ها، نمی‌توان دقت هر روش را محاسبه کرد ولی روش FANP، به دلیل در نظر گرفتن اثر شبکه‌ای و عدم قطعیت، به عنوان روش برتر پیشنهاد می‌شود. بنابراین براساس نتایج بدست آمده از روش FANP، مناطق شرق و جنوب آبخوان به ترتیب با پوشش آب شرب برخوردار هستند. بنابراین افزایش چاه‌های بهره‌برداری در این مناطق (و به خصوص جنوب آبخوان) پیشنهاد می‌شود.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۰/۱۷۲، ۰/۱۶۱ و ۰/۱۵۹ اثر بیشترین نسبت به سایر پارامترها بر کیفیت آب داشتند. تلفیق نقشه‌های پهنه‌بندی شده با استفاده از روش‌های AHP و ANP نشان داد که مناطق غربی و جنوبی از کیفیت آب زیرزمینی مطلوب‌تری برخوردار هستند و شمال آبخوان نامناسب‌ترین منطقه از نظر کیفیت آب بود. براساس روش‌های FAHP و FANP، مناطق شرقی و جنوبی آبخوان از کیفیت بهتری نسبت به سایر مناطق برخوردار بودند و قسمت شمال غربی آبخوان نامناسب‌ترین منطقه تعیین شد. مقایسه روش‌های AHP و ANP نشان داد که کاربرد روش ANP سبب افزایش ۱۶/۳۱ درصدی مناطق مطلوب شد. روند مشابه بین دو روش FAHP و FANP نیز مشاهده شد به طوری که کاربرد روش FANP سبب افزایش ۱۶/۹۵ درصدی مناطق مطلوب جهت برداشت آب از آبخوان شد. کمبود داده‌های در دسترس از سطح دشت و به خصوص در زمان‌های مختلف از جمله کاستی‌های این

### منابع

1. Shaabani M. Determination of the most suitable geostatistical method for mapping of groundwater pH and TDS (a case study: Arsanjan Plain). *Journal of Water Engineering*. 2009;1:47-59 (in Persian).
2. Collins MG Steiner FR, Rushman MJ. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environmental Management*. 2001;28(5):611-21.
3. Yaakup A, Ahmad Nazri ML, Sulaiman S, Bajuri H. GIS in urban planning and management. *Malaysian Experience International Symposium & Exhibition on Geoinformation Penang*; 2005; Malaysia.
4. Nadun SNEM, Maarof I, Ghazali R, Samad AM, Adnan R. Sustainable groundwater potential zone using remote sensing and GIS. *6th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*; 2010 May 21-23; Malacca City, Malaysia.
5. Morari F, Lugato E, Borin M. An integrated non-point source model-GIS system for selecting criteria of best management practices in the Po Valley, North Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2004;102:247-62.
6. Malegi-Gonadishi F, Rahnama MB. The study of drinking quality of Zarand plain groundwater using geostatistics and GS+ software. *2nd National Conference on Water and Wastewater Reuse*; 2009; Power and Water University of Technology; Tehran (in Persian).
7. Gintamo T. Groundwater potential elevation based on integrated GIS and Remote Sensing techniques, in Bilate River catchment: South Rift Valley of Ethiopia [dissertation]. Ethiopia: University of Addis Ababa; 2010.
8. Minaee M. Agricultural implements spatial plan-

- ning model using fuzzy logic and GIS (case study: Freidonshahr) [dissertation]. Tehran: University of Tehran; 2009 (in Persian).
9. Mohammadi Zanjirani D, Shahbandarzadeh H, Ghorbanpour A, Mohammadi Baghmollaie M. The Application of fuzzy analytical network process (FANP) approach for appropriate location selection of health centers: case study in Ramsar City. Iranian South Medical Journal. 2012;15(2):127-36 (in Persian).
  10. Saaty TL, Vargas LG. Prediction Projection and Forecasting. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1998.
  11. Saaty TL. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill; 1980.
  12. Saaty TL. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. Pittsburgh: RWS Publications; 1996.
  13. Panahandeh M, Arastou M, Ghavidel A, Ghanbari F. Use of analytical hierarchy process model (AHP) in landfill site selection of Semnan Town. Iranian Journal of Health and Environment. 2010;2(4):276-83 (in Persian).
  14. Asgari G, Rahmani AR, Dehghanian AR, Soltanian AR. Using analytical hierarchy process for selecting the optimum wastewater treatment process for dairy products factories. Iranian Journal of Health and Environment. 2014;7(1):43-54 (in Persian).
  15. Ghodsipour SH. Analytical Hierarchy Process (AHP). Tehran: Amir Kabir University Publication; 2006 (in Persian).
  16. Dyson R G. Strategic development and SWOT analysis at the University of Warwick. European Journal of Operational Research. 2004;152:631-40.
  17. Chung L, Shu-Hsing AHL, Pearn WL. Analytic network process (ANP) Approach for product mix planning in semiconductor fabricator. International Journal of Production Economics. 2005;96:15-36.
  18. Azizi A, Jaafari HR, Malek Mohammadi B, Khoosh Akhlagh F. Locating wind power using fuzzy analytic hierarchy process and analytic network process in Ardebil. Journal of Applied Research in Geographical Sciences. 2014;4(34):174-94 (in Persian).
  19. Amiri Z, Amiri M. Evaluation economical and technical loan applicant plan using fuzzy analytic network process. Journal of Development & Evolution Management. 2015;1394(20):11-25 (in Persian).
  20. Mehrjerdi R, Zareian M, Mahmodi Sh, Heidari A. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan Plain). World Applied Science Journal. 2008;4(1):9-17.
  21. Zahedifar M, Moosavi SAA, Rajabi M. Zoning the groundwater chemical quality attributes of Fasa plain using geostatistical approach. Journal of Water and Soil. 2013;27(4):812-22 (in Persian).
  22. Zehtabiyani GH, Asgari H. Spatial analysis of groundwater quality characteristics of Garmsaar watershed. Tehran: University of Tehran; 2009 (in Persian).
  23. Sanches F. Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques. 2001;46(2):227-42.
  24. Fetouani S, Sbaa M, Vanclooster M, Bendra B. Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (North-east Morocco). Agricultural Water Management. 2008;95:133-42.
  25. Rezaei M, Dvatgr N, Tajdar H, Abolpour B. Spatial variation of some water quality indices in groundwaters of Gilan province using geostatistics. Journal of Soil and Water. 2009;24(5):932-41 (in Persian).
  26. Okada H, Styles SW, Grismer ME. Application of the analytic hierarchy process to irrigation project improvement: Part II. How professionals evaluate an irrigation project for its improvement. Agricultural Water Management. 2008;95:205-10.
  27. Montazar A, Zadbagher E. An analytical hierarchy model for assessing global water productivity of irrigation networks in Iran. Water Resources Management. 2010;24(11):2817-32 .
  28. Srdjevic B, Medeiros YDP. Fuzzy AHP assessment of water management plans. Water Resource Management. 2008;22:877-94.
  29. Razavi Toosi SL , Samani JMV. Evaluating water transfer projects using Analytic Network Process (ANP). Water Resources Management. 2012;26:1999-14.
  30. Ganapuram S, Kumar V, Krishna M, Kahya E, Demirel C. Mapping of groundwater potential zones

- in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*. 2009;40(7):506-18.
31. Khashei-siuki A, Ghahraman B, Kouchakzadeh M. Evaluation of potential water harvesting aquifer using fuzzy AHP (Case study: Neyshabur Plain). *Iranian Water Research*. 2011;9(5):171-80 (in Persian).
  32. Rohollahi AR. Estimate the unconfined aquifer hydrodynamic optimal detection method using genetic algorithm [dissertation]. Birjand: University of Birjand; 2011 (in Persian).
  33. Faraji HA, Hassanpour S, Azizi A, Malakian A, Alvavipanah K. Floodwater spreading site selection by FAHP and GCA and comparison of model performance (case study: Garbaygan catchment, Fasa plain, Shiraz). *Physical Geography Research Quarterly*. 2013;3(84):55-76 (in Persian).
  34. Zebardast A. Application of analytical hierarchy process (AHP) in urban and regional planning program. *Fine Arts Journal*. 2001;10:13-21 (in Persian).
  35. Jiang H, Eastman RR. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographic Information Systems*. 2000;14(2):173-84.
  36. Kahraman C, Cebeci U, Ulukan Z. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*. 2003;16(6):382-94.
  37. Sepand S, Chitsazan M, Ragzan KMY. Use of remote sensing and GIS to determine potential water Lale plain. *Geomatics Conference in Tehran*; 2009; University of Tehran, Tehran (in Persian).
  38. Malekian A, Oftadegan Khuzani A, Ashurnejad Q. Flood hazard zoning in watershed scale using fuzzy logic (case study: Akhtar Abad watershed). *Physical Geography Research Quarterly*. 2013;44(4):131-52 (in Persian).
  39. Dahiya S, Singh BGS, Garg VK, Kushwaha HS. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. *Journal of Hazardous Materials*. 2007;147:938-46.
  40. Ashournejad Q, Taheri M, Aliabbaspour R. Using fuzzy analysis network process (Fuzzy ANP) in recognizing optimum place of transfer stations for solid waste in Esfahan. *Journal of Environmental Studies*. 2013;39(3):165-77 (in Persian).
  41. Hosseini SY, Moghdani R. Prioritize the affecting factors on organizational forgetting: using FANP and non-linear planning approach. *Journal of Executive Management*. 2013;5(9):3-13 (in Persian).
  42. ISIRI. Determination of metal ions in water and wastewater, ISIRI-2354. 5th ed. Tehran: Institute of Standards & Industrial Research of Iran; 2007 (in Persian).
  43. Saaty TL. The allocation of intangible resource: The analytic hierarchy process and linear programming. *Socio-Economic Planning Science*. 2001;37(7):169-84.
  44. Keshavarz A, Khashei Seouki A, Najafi MH. Locating of suitable area of pumping drinking water using FAHP method (case study: Birjand Aquifer). *Journal of Water & Wastewater*. 2013;25(91):132-42 (in Persian).
  45. Mishra PC, Patel RK. Study of the pollution load in the drinking water of Rairangpur, a small tribal dominated town of North Orissa. *Indian Journal of Environment and Ecoplanning*. 2001;5(2):293-98.
  46. Srinivasamoorthy K, Chidambaram S, Prasanna MV, Vasanthavihar M, Peter J, Anandhan P. Identification of major sources controlling groundwater chemistry from a hard rock terrain — A case study from Mettur taluk, Salem district, Tamil Nadu, India. *Journal of Earth System Science*. 2008;117(1):49-58.
  47. Keith, Wilson LG, Fitch HR, Esposito DM. Sources of spatial-temporal variability in groundwater quality data and methods of control. Arizona, USA: Groundwater Monitoring Program Report; 1983.
  48. Hamzaoui-Azaza F, Ketata M, Bouhlila R, Gueddari M, Riberio L. Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss-Koutine aquifer. southeastern Tunisia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010;174(1):283-98.
  49. Shahbazi R, Feiznia S. Geological effects on degradation of surface water and groundwater quality in central drainage basin of Iran (case study: Cheshmeh-Ali Damghan watershed). *Quarterly Environmental Erosion Researches*. 2011;1(1):93-104 (in Persian).
  50. Esavi V, Karami J, Alimohammadi A, Niknezhad SA. Comparison the AHP and Fuzzy-AHP decision making methods in underground dam site selection in Taleghan basin. *Scientific Quarterly Journal, Geo-*

science. 2012;22(85):27-34 (in Persian).

51. Yousefi Sangani K, Mohammadzadeh H, Akbari M. An evaluation of groundwater potential zones using combined fuzzy-AHP method and GIS/RS technologies: a case study of NE Hezarmasjed Mountain, Khorasan Razavi Province. *International Bulletin of Water Resource & Development*. 2014;2(4):127-41 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Locating of Suitable Areas to Provide Drinking Water Using Multi Criteria Decision Making and Fuzzy Logic Process (Case Study: Tabas Aquifer)

M Ahmadee\*<sup>1</sup>, A Shahidi<sup>2</sup>, Z Ghorbani<sup>3</sup>

1. PhD Student of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Associated Professor of Water Engineering, University of Birjand, Ahvaz, Iran

3. MSc Student of Hydraulic Structures, University of Birjand, Birjand, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 25 April 2016  
**Revised:** 16 July 2016  
**Accepted:** 24 July 2016  
**Published:** 20 December 2016

**Key words:** Groundwater, Zoning, FANP, Water quality

**\*Corresponding Author:**  
[m.ahmadee@ymail.com](mailto:m.ahmadee@ymail.com)

### ABSTRACT

**Background and Objective:** The role of groundwater has always been an important issue in order to provide drinking water especially in desert areas. However, studies and decision-making on water supply from the water source is more costly and difficult rather than surface water. Therefore, it is important to note the newest methods like zoning. Due to the effects of water chemical parameters on the quality, application of AHP, ANP, FAHP, and FANP methods lead to more accurate results. The aim of this research was to zone groundwater quality using ANP and FANP models and comparison of the results obtained by those achieved, by AHP and FAHP models.

**Materials and Methods:** For this purpose, the study was conducted to zone groundwater quality in Tabas aquifer located at the east of Iran with latitude between 33° 19' -33° 50' and longitude between 60° 42' -63° 12'. In this study, the parameters studied were Mg, Ca, SO<sub>4</sub>, Cl, total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), and total hardness (TH). Raster maps for each parameter were prepared and these maps were converted to fuzzy maps. Then, the maps were integrated together using the weights from AHP and ANP methods.

**Results:** The research indicated that the most weighted parameters using ANP method were Cl (0.172), Mg (0.161) and EC (0.159). Cl (0.457), TDS (0.163) and EC (0.141) were the most weighted parameters using AHP methods. In addition, the concentration of each parameter was increased from the east and southeast to the northeast.

**Conclusion:** Based on the results and groundwater flow path, water quality was reduced due to water flow in aquifer (from the east and southeast to northeast). Hence, the east and the southeast were the best location to provide drinking water. The area of these regions were 22.12, 25.08, 57.35 and 58.24% out of total area as determined using AHP, ANP, FAHP, and FANP, respectively.

Please cite this article as: Ahmadee M, Shahidi A, Ghorbani Z. Locating of suitable areas to provide drinking water using multi criteria decision making and fuzzy logic process (case study: Tabas aquifer). Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(3):331-46.