

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره یک، فروردین ماه ۱۴۰۰

پهنه‌بندی کیفی آب شرب با استفاده از روش‌های ANP و FANP

(مطالعه موردی: دشت بیرجند)

زهرا قربانی^۱

علی شهیدی^۲

محسن احمدی^{۳*}

m.ahmadede@gmail.com

عاطفه صیادی^۴

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آبی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. متأسفانه به علت ماهیت این منبع آبی، تصمیم‌گیری در خصوص کیفیت آن‌ها در سطح دشت دشوار است. به همین دلیل تکنیک‌های نوین مانند پهنه‌بندی به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و فازی بدین منظور مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این تحقیق نیز پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از روش‌های ANP و FANP است.

روش بررسی: دشت بیرجند واقع در شرق ایران با عرض جغرافیایی 30° تا 33° شمالی و طول جغرافیایی 45° تا 49° قرار گرفته است. بدین منظور پارامترهای منیزیم، کلسیم، کلر، کل املاح محلول، پی‌اچ و سختی کل برای ۱۸ چاه و ۹ قنات در سطح دشت مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پارامترهای کلر، منیزیم و پی‌اچ بیشترین اثر را بر کیفیت آب زیرزمینی در دشت بیرجند داشتند به طوری که به ترتیب ۱۷/۲، ۱۶/۱ و ۱۵/۹ درصد کیفیت آب آبخوان تحت تأثیر مقادیر این پارامترها قرار داشت. نتایج نشان داد که جنوب‌شرقی از کیفیت مناسب‌تری نسبت به سایر مناطق برخوردار بود در حالی که غلظت پارامترها در جنوب‌غربی این دشت در بالاترین حد بودند. نتایج روش ANP

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

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

۳- دکتری آبیاری و زهکشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان (نویسنده مسئول مکاتبات)

۴- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

نشان داد که مناطق با کیفیت خیلی خوب، خوب، نسبتاً خوب، نسبتاً بد، بد و خیلی بد به ترتیب ۵/۲۶، ۱۰/۵۶، ۵۴/۵۲، ۱۵/۸۹، ۱۰/۵۷ و ۳/۱۸ درصد از آبخوان را شامل شدند. این نتایج براساس روش FANP به ترتیب برابر ۵/۹۷، ۲۲/۰۱، ۲۸/۸۵، ۳۰/۱۶، ۹/۵۴ و ۳/۴۷ درصد بودند.

نتیجه‌گیری: در روش FANP تغییرات مکانی و عدم قطعیت در نظر گرفته شده و به همین دلیل مساحت مناطق با کیفیت نسبتاً خوب و نسبتاً بد به هم نزدیک شده است. با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌شود تراکم چاه‌های شرقی بیشتر شود تا آب با کیفیت مطلوب‌تری برداشت گردد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل شبکه‌ای فازی، کیفیت آب زیرزمینی، دشت بیرجند

Zoning of Water Quality Using ANP and FANP Methods **(Case Study: Birjand Plain)**

Zahra Ghorbani¹

Ali Shahidi²

Mohsen Ahmadede^{3*}

m.ahmadede@ymail.com

Atefeh Sayadi⁴

Accepted: 2018.11.14

Received:2016.08.06

Abstract

Background: Groundwater is the most important water sources in arid and semi-arid regions. Due to its nature, it is difficult to decide about groundwater quality at each part of a basin. Regarding to this, new techniques like multi criteria decision making and fuzzy methods has been used. This research was conducted to zone Birjand groundwater quality by using ANP and FANP methods.

Material and Methods: Birjand plain located at the east of Iran with latitude between 32° 30' -33° 00' and longitude between 58° 45' -59° 41'. In this study, the parameters: Mg²⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻, Cl¹⁻, total dissolved solids (TDS), pH and total hardness (TH) for 18 wells and 9 aqueducts were collected.

Results: The results indicated that Cl¹⁻, Mg²⁺ and pH had the most effective on groundwater quality so that these parameters showed the effectiveness as 17.2, 16.1 and 15.9%, respectively. Results of zoning and fuzzy showed that southeast had more quality rather than other regions. Concentrations of mentioned parameters were high in southwest. ANP result revealed that very good, good, moderate, semi inappropriate, inappropriate and bad quality regions were as 5.25, 10.56, 54.52, 15.89, 10.57 and 3.18%, respectively. These parts according to FANP result were 5.97, 22.01, 28.85, 30.16, 9.54 and 3.47%, respectively.

Conclusion: Since FANP assumed uncertainty and spatiality, the area of moderate and semi inappropriate regions were closer in this method compare to ANP. Regarding to the results, it is recommended to dig more wells in east of Birjand basin for achieving better groundwater quality.

Key words: Fuzzy Analytical Network Process, Groundwater Quality, Birjand Plain

1- MSc student of hydraulic structures, University of Birjand, Birjand, Iran

2 - Associated professor of water engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

3- PhD of irrigation and drainage, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO
**(Corresponding Author)*

4- PhD student of irrigation and drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

مقدمه

سدیم، کلر و سولفات) در دشت اردکان یزد پرداختند. این محققان نشان دادند که پارامترهای کیفیت آب در این دشت همبستگی بالایی نسبت به هم داشتند و مقادیر آن‌ها تحت تأثیر یکدیگر بود. زهتابیان و عسگری (۱۶) با استفاده از پارامترهای نسبت جذبی سدیم و هدایت الکتریکی به پهنه‌بندی کیفیت آب در دشت گرمسار پرداختند. از جمله مطالعات دیگر در خصوص استفاده از روش‌های زمین‌آمار برای پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی می‌توان به تحقیقات سانچز مارتوس و همکاران (۱۷) در پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در جنوب شرقی اسپانیا و فتوانی و همکاران (۱۸) در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت‌های آبیاری شده در شمال شرقی مراکش اشاره کرد. تحقیقات معدودی نیز در خصوص تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS برای پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی انجام شده است. مطالعات گاناپورام و همکاران (۱۹) در ایالت آندرها پرادش در هند و خاشعی‌سیوکی و همکاران (۲۰) در دشت نیشابور از جمله این تحقیقات به شمار می‌روند که با استفاده از روش AHP انجام شده‌اند. گرچه روش ANP به منظور بهبود روش AHP ارائه شده است ولی با این وجود مطالعه‌ای با استفاده از تلفیق روش ANP و GIS تاکنون انجام نشده است.

البته استفاده از روش ANP در محیط GIS، به دلیل خاصیت تغییرات مکانی سبب ایجاد خطای تورش می‌گردد؛ بنابراین به منظور تقویت تصمیم‌گیری، می‌توان روش ANP را با سیستم‌های فازی ترکیب کرد (۲۱). ترکیب این روش سبب ایجاد یک روش تصمیم‌گیری جدید به نام تحلیل شبکه‌ای فازی^۵ خواهد شد که توانایی در نظرگرفتن عدم قطعیت را نیز دارد (۲۲).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منابع آب زیرزمینی یکی از راه‌های دسترسی به منابع آب هستند. با توجه به اهمیت این منابع آب، تصمیم‌گیری در خصوص کیفیت آن‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. از روش‌های نوین تصمیم‌گیری در این خصوص می‌توان به روش‌های زمین‌آمار و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ اشاره کرد (۷-۱). از طرفی چون هر پارامتر شیمیایی آب، اثر متفاوتی بر کیفیت نهایی دارد؛ استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۲ نیز کمک شایانی به بهبود نظر نهایی در این خصوص می‌کند. تحلیل شبکه‌ای^۳ از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که تاکنون در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۸-۱۴). این روش به منظور بهبود روش تحلیل سلسله مراتبی^۴ ارائه شده است. در این روش، خلاف روش AHP، به جای سلسله مراتب از یک رابطه درونی پیچیده در میان سطوح تصمیم و گزینه‌ها استفاده می‌کند. در روش ANP، علاوه بر اهمیت معیار، اهمیت گزینه‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود و سیستم تصمیم‌گیری خطی با یک سیستم پیچیده‌تر جایگزین می‌گردد. همچنین در روش‌های MCDM چون معیار قضاوت تصمیم‌گیری است؛ استفاده از روش ANP خطای تصمیم‌گیری در مقایسات زوجی را کاهش می‌دهد (۹).

مطالعات متعددی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و GIS در خصوص پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی انجام شده است. در تحقیقی تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۱۵) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار به پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب (کل املاح محلول، سختی کل، هدایت الکتریکی، نسبت جذبی

1-Geography Information System (GIS)

2-Multi Criteria Decision Making (MCDM)

3-Analytical Network Process (ANP)

4-Analytical Hierarchy Process (AHP)

5-Fuzzy Analytical Network Process (FANP)

پس از پهنه‌بندی و تهیه لایه‌های رستری، لایه‌های مورد نظر با استفاده از توابع عضویت فازی، به لایه‌های فازی تبدیل شدند. در روش فازی، میزان ارزش‌گذاری به هر کدام از پیکسل‌ها براساس اعداد بین صفر تا یک می‌باشد به طوری که هر چه عدد مورد نظر به یک نزدیک‌تر باشد کیفیت آن پارامتر بهتر است (۷). در این تحقیق برای پارامتر pH از تابع دوزنقه‌ای (رابطه ۷) و برای سایر پارامترها از تابع تابع Z-Shape (رابطه ۸) استفاده شد. تابع دوزنقه‌ای از نوع افزایشی-کاهشی و تابع Z-Shape از نوع کاهشی می‌باشد. این توابع به ترتیب دارای چهار و دو نقطه بحرانی هستند که براساس طبقه‌بندی شولر تعیین شدند (جدول ۲).

به منظور وزن‌دهی پارامترها با روش ANP از نرم‌افزار Super Decision استفاده شد. پهنه‌بندی نقشه‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 انجام گردید.

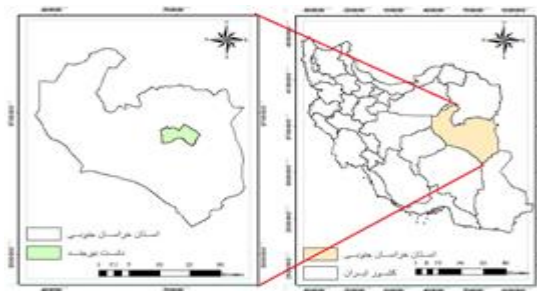
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ 1 & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c < x \leq d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (۷)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2 & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1-2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (۸)$$

تحقیقات متعددی با استفاده از ترکیب روش AHP و سیستم‌های فازی انجام شده است (۱۳، ۲۲ و ۲۳) ولی مطالعات انجام شده با استفاده از روش FANP بسیار اندک می‌باشند. بنابراین در تحقیق حاضر، از این روش برای پهنه‌بندی کیفیت آب شرب در دشت بیرجند استفاده شد.

روش بررسی

این مطالعه بر روی دشت بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی به عرض جغرافیایی $30^{\circ} 32'$ تا $33^{\circ} 00'$ شمالی و طول جغرافیایی $45^{\circ} 48'$ تا $49^{\circ} 41'$ انجام شد (شکل ۱). به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی در این دشت، پارامترهای کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، کلر (Cl^{-})، سولفات (SO_4^{2-})، کل املاح محلول^۱ (TDS)، پی‌اچ (pH) و سختی کل^۲ (TH) برای ۱۸ چاه‌ها و ۹ قنات موجود در سطح این دشت تعیین شد. سپس با استفاده از روش زمین آمار IDW^۳ لایه‌های مورد نظر برای هر پارامتر تهیه گردید. در ادامه به منظور وزن‌دهی به هر لایه و تلفیق کل لایه‌ها با هم، از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- The location of the study area

- 1-Total dissolved solids
- 2-Total Hardness
- 3-Inverse Distance Weighting

جدول ۲- نقاط بحرانی توابع عضویت فازی برای پارامترهای مورد استفاده

Table 2 – Critical points of fuzzy membership functions for the parameters used

حدود تابع فازی				عناصر
d	c	b	a	کیفی
-	-	۱۸۰۰	۱۲۰	Ca ²⁺
-	-	۱۰۰۰	۷۰	Mg ²⁺
-	-	۲۹۰۰	۱۸۰	Cl ¹⁻
-	-	۲۳۰۰	۱۴۰	SO ₄ ²⁻
-	-	۸۰۰۰	۵۰۰	TDS
۸/۸	۷/۳	۷	۶/۵	pH
-	-	۴۰۰۰	۲۵۰	TH

نتایج و بحث

است که سبب شد وزن پارامترها اختلاف بیش از حد نسبت به هم نداشته باشند (۹).

در شکل ۲ نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای مورد بررسی در سطح دشت نشان داده شده است. در شکل ۳ نیز پهنه‌بندی عناصر پس از فازی کردن نشان داده شده است. پهنه‌بندی پارامتر کلسیم در سطح دشت نشان داد که غلظت این پارامتر در اکثر مناطق کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. غلظت کلسیم در شرق دشت بیشترین مقدار را داشت. گرچه در بخش‌هایی از جنوبی غربی آبخوان نیز غلظت کلسیم بین ۲۰ تا ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود. کمترین غلظت این پارامتر نیز در جنوب شرقی آبخوان مشاهده شد. پهنه‌بندی فازی این پارامتر نشان داد که بیشترین غلظت کلسیم در جنوب غربی آبخوان وجود داشت به طوری که مقدار آن برابر صفر بود. نقاط پراکنده در مرکز دشت نیز دارای غلظت بالایی از کلسیم بودند ولی مساحت این نقاط نسبت به کل دشت بسیار کم بود. مناطق جنوبی و جنوب شرقی دارای غلظت پایینی از

نرخ‌ناسازگاری در روش ANP کمتر از ۰/۱ به دست آمد (جدول ۳) بنابراین می‌توان به اعداد به دست آمده اعتماد نمود (۳۰). براساس نتایج به دست آمده، بیشترین وزن به پارامتر کلر (۰/۱۷۲) اختصاص یافت. بالا بودن وزن پارامتر کلر نشان دهنده اهمیت آن براساس نظرات تصمیم‌گیرندگان بود. این نتایج با مشاهدات سایر محققان از جمله میشر و پاتل (۲۵)، کشاورز و همکاران (۲۶) و داهیا و همکاران (۲۷) مطابقت داشت. پارامترهای منیزیم و پی‌اچ نیز به ترتیب با مقادیر ۰/۱۶۱ و ۰/۱۵۹ وزن بیشتری نسبت به سایر پارامترها داشتند. کل املاح محلول، سختی کل و سولفات نیز به ترتیب با مقادیر ۰/۱۵۷، ۰/۱۳۱ و ۰/۱۲۲ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین مقدار نیز به پارامتر کلسیم با مقدار ۰/۰۹۴ اختصاص یافت. تأثیر کم کلسیم بر کیفیت نهایی آب نیز سبب شد تا وزن کمتری به آن اختصاص داده شود. نتایج مشابه توسط کشاورز و همکاران (۲۶) گزارش شده است. گرچه اختلاف وزن بین کلر و کلسیم برابر ۰/۰۷۸ بود. این اختلاف کم به دلیل در نظر گرفتن اثر همه عوامل در روش ANP

غلظت کل املاح محلول در اکثر نقاط دشت بین ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بود. کمترین غلظت این پارامتر در جنوب شرقی دشت مشاهده شد و غلظت آن در قسمتی از این منطقه حتی پایین تر از ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بود. بیشترین غلظت کل املاح محلول در جنوب غربی دشت دیده شد و مقادیر این پارامتر در این منطقه تا ۸۰۰۰ میلی گرم بر لیتر تعیین شد. نقشه‌ی فازی این پارامتر مشابه نقشه‌ی پهنه‌بندی بود. جنوب غربی دشت با مقادیر برابر یا نزدیک به صفر دارای بدترین وضعیت را از نظر کل املاح محلول داشتند در حالی که مناطق شرقی و جنوب شرقی با مقادیر برابر یا نزدیک به از کیفیت مطلوب تری برخوردار بودند. غلظت منیزیم در جنوب شرقی و بخش‌هایی از جنوب دشت کمتر از ۱۰ میلی گرم بر لیتر بود. این پارامتر در مناطق شمالی و غربی غلظت بیشتری داشت و تا ۲۰ میلی گرم بر لیتر نیز دیده شد. جنوب غربی دشت بیشترین غلظت منیزیم را داشت و غلظت آن بین ۱۹ تا ۴۰ میلی گرم بر لیتر متغیر بود. براساس نقشه‌ی فازی (شکل ۳)، جنوب شرقی و جنوب غربی دشت به ترتیب برابر مقادیر یک و صفر بودند. در مناطق شرقی مقدار منیزیم متمایل به یک بود در حالی که در مناطق شمالی و مرکزی دشت مقدار منیزیم به صفر نزدیک تر بود. مقدار پی‌اچ در سطح دشت تغییرات زیادی نداشت و بین ۷ تا ۸/۸ متغیر بود. مناطق شرقی و جنوب شرقی پی‌اچ بیشتری داشتند در حالی که سایر مناطق دارای پی‌اچ بین ۷ تا ۸ بودند. براساس نقشه‌ی فازی، پی‌اچ در مناطق غربی مقادیری نزدیک به یک داشت. بنابراین کیفیت آب آبخوان در این مناطق به حالت خنثی متمایل تر بود. پی‌اچ شرق دشت به صفر نزدیک تر بود و آب حالت بازی در این مناطق داشت.

نقشه‌ی پهنه‌بندی سولفات نشان داد که غلظت این پارامتر در مناطق مرکزی و بخش‌هایی از شمال دشت بیشتر از سایر مناطق بود. غلظت سولفات در این مناطق تا ۴۶ میلی گرم بر

کلسیم بودند و مقادیر آن‌ها در نقشه‌ی فازی نزدیک به یک بود.

براساس شکل ۲، غلظت کلر در اکثر نقاط دشت مقادیر کمتر از ۴۰ میلی گرم بر لیتر داشت. غلظت این پارامتر در جنوب شرقی دشت پایین تر از سایر مناطق بد به طوری که در بخش‌هایی از این منطقه غلظت کلر به کمتر از ۲۰ میلی گرم بر لیتر نیز می‌رسید. جنوب غربی دشت بیشترین غلظت کلر را داشت. غلظت این پارامتر در این قسمت از دشت بیشتر از ۸۰ میلی گرم بر لیتر بود. براساس نقشه‌ی فازی (شکل ۳)، نقاط پراکنده در مرکز دشت و قسمتی از جنوب غربی دشت دارای بیشترین غلظت کلر بودند به طوری که مقدار فازی این پارامتر به صفر نزدیک بود. جنوب شرقی دشت وضعیت بهتری از نظر غلظت کلر داشت و مقادیر فازی برای این پارامتر به یک نزدیک بود. مقدار فازی پارامتر کلر در سایر مناطق مقادیری کمتر از ۰/۵ داشت.

جدول ۳- نتایج وزن‌های به دست آمده با روش ANP

Table 3 – Results obtained weights by AHP

عناصر کیفی	وزن هر پارامتر
Ca ²⁺	۰/۰۹۴
Mg ²⁺	۰/۱۶۲
Cl ¹⁻	۰/۱۷۲
SO ₄ ²⁻	۰/۱۲۳
TDS	۰/۱۵۷
pH	۰/۱۶۰
TH	۰/۱۳۲
نرخ ناسازگاری	۰/۰۳

لیتر نیز مشاهده شد. شرق و غرب دشت از غلظت سولفات پایین تری برخوردار بودند. براساس نقشه‌ی فازی، غلظت سولفات در جنوب غربی دشت نزدیک به صفر مشاهده شد. بنابراین غلظت این پارامتر در این قسمت بیشتر از سایر مناطق دشت بود. مناطق جنوبی و جنوب شرقی دشت دارای وضعیت بهتری از نظر غلظت سولفات بودند.

سختی کل در جنوب شرقی و بخش‌هایی از مرکز و غرب دشت کمتر از ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر بود. در سایر مناطق غلظت این پارامتر بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر متغیر بود. قسمت کوچکی از جنوب غربی دشت نیز دارای غلظت سختی کل بیشتر از ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بود. پراکندگی فازی این پارامتر در سطح دشت مشابه نقشه‌ی پهنه‌بندی آن بود با این تفاوت که بخش‌هایی از مناطق مرکزی دشت نیز از کیفیت نامطلوبی از نظر غلظت سختی کل برخوردار بودند.

بنابراین براساس شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده شد که غلظت اکثر پارامترها از شرق به غرب دشت افزایش داشت. علت آن می‌تواند جهت شیب سنگ بستر آبخوان باشد که در جهت شرقی-غربی است. حرکت آب زیرزمینی در این امتداد و تأثیر پذیرفتن آن از سازندهای زمین‌شناسی سبب کاهش کیفیت آن می‌شود (۲۸). این نتایج با مشاهدات کیت و همکاران (۲۸) و تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۱۵) مطابقت داشت.

تلفیق لایه‌ها با استفاده از روش‌های ANP و FANP در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس روش ANP مناطق با کیفیت خیلی خوب، خوب و نسبتاً خوب به ترتیب ۵/۲۶، ۱۰/۵۶ و ۵۴/۵۲ درصد از کل آبخوان را شامل شدند. جنوب شرقی دشت کیفیت مطلوب‌تری نسبت به سایر قسمت‌ها داشت و کیفیت آب در این قسمت در کلاس خیلی خوب قرار گرفت. مناسب بودن کیفیت پارامترهای کلر و منیزیم در این منطقه اثر زیادی بر کیفیت نهایی آب در این قسمت داشته است. این نتایج با مشاهدات خاشعی سیوکی و

همکاران (۲۰) و کشاورز و همکاران (۲۶) مطابقت داشت. گرچه غلظت کلر و منیزیم در مناطق شمالی دشت نسبتاً بالا بود ولی به علت مناسب بودن آب از نظر پی‌اچ، این منطقه در کلاس نسبتاً خوب قرار گرفتند. بدترین کیفیت آب (کلاس خیلی بد) در جنوب غربی آبخوان مشاهده شد و ۳/۱۸ درصد از آبخوان را شامل می‌شد. ۱۰/۵۷ درصد از آبخوان نیز در کلاس بد قرار داشت که شامل بخش‌هایی از جنوب غربی دشت و مناطق مرکزی بود. علت این نتایج بالا بودن غلظت اکثر پارامترها در این مناطق بود. ۱۵/۸۹ درصد آبخوان نیز در کلاس نسبتاً بد قرار داشت که به صورت پراکنده در مرکز و شمال دشت دیده شد. نتایج روش FANP نشان داد که مناطق با کیفیت آب در کلاس‌های خیلی خوب، خوب و نسبتاً خوب به ترتیب ۵/۹۷، ۲۲/۰۱ و ۲۸/۸۵ درصد از آبخوان را شامل شدند. مقایسه‌ی این ارقام با نتایج روش ANP نشان داد که کیفیت آب در کلاس خوب ۱۱/۵۴ درصد افزایش داشت در حالی که کیفیت آب در کلاس نسبتاً خوب ۲۵/۶۷ درصد کاهش داشت. علت آن افزایش مناطق با کیفیت مطلوب براساس منیزیم و کاهش این مناطق براساس پی‌اچ در نقشه‌های فازی بود. مناطق با کیفیت خیلی بد و نسبتاً بد به ترتیب ۳/۴۷، ۹/۵۴ و ۳۰/۱۶ درصد از مساحت آبخوان را تشکیل دادند. تغییرات کلاس‌های خیلی بد و بد نسبت به نتایج به دست آمده از روش ANP کم بود ولی اختلاف مساحت در کلاس نسبتاً بد (بین دو روش ANP و FANP) برابر ۱۴/۲۷ درصد بود.

نتیجه‌گیری

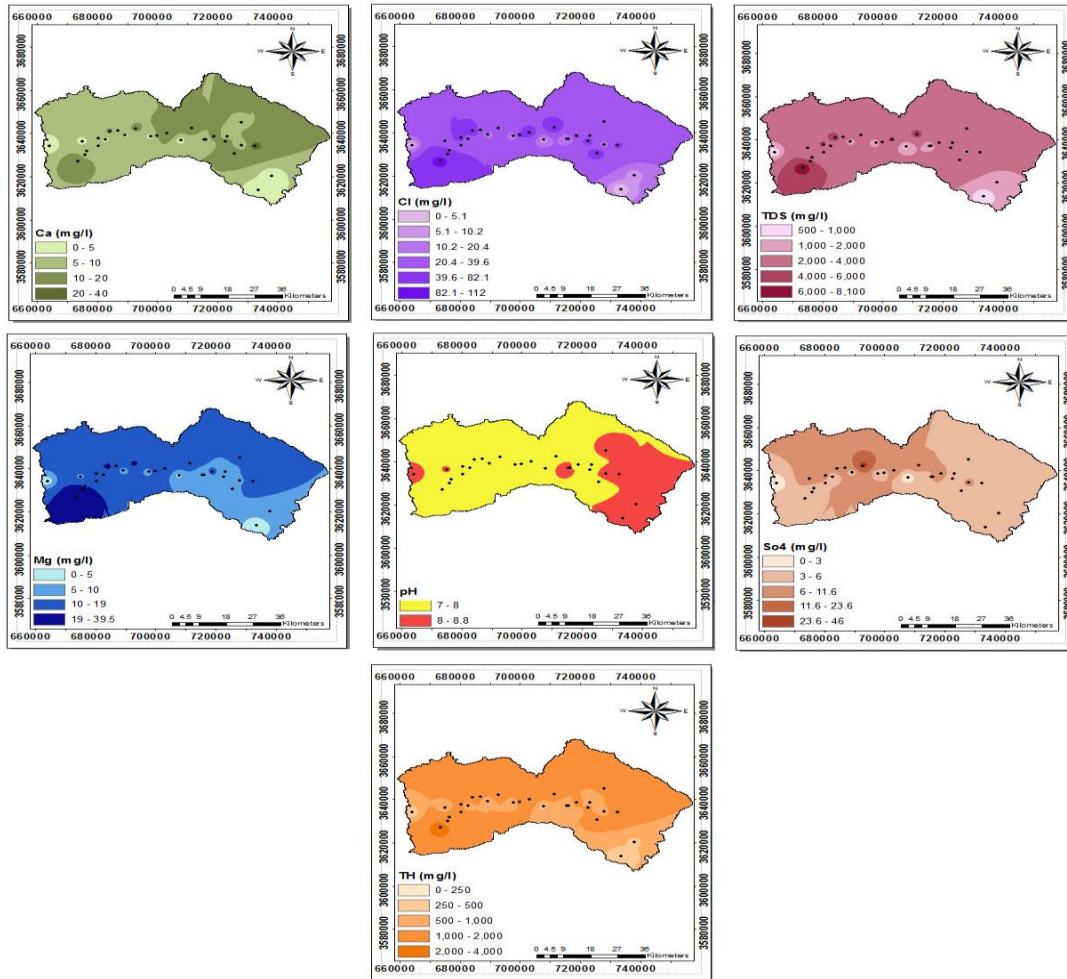
نتایج این تحقیق نشان داد که پارامترهای کلر، منیزیم و پی‌اچ بیشترین اثر را بر کیفیت آب زیرزمینی در دشت بیرجند داشتند به طوری که به ترتیب ۱۷/۲، ۱۶/۱ و ۱۵/۹ درصد کیفیت آب آبخوان تحت تأثیر مقادیر این پارامترها قرار داشت. براساس نتایج پهنه‌بندی و فازی عناصر در این دشت، مشاهده شد که جنوب شرقی از کیفیت مناسب‌تری نسبت به سایر

FANP تغییرات مکانی و عدم قطعیت در نظر گرفته شده است و به همین دلیل مساحت مناطق با کیفیت نسبتاً خوب و نسبتاً بد تعدیل شد و به هم نزدیک شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، پیشنهاد می‌شود تراکم چاه‌های شرقی بیشتر شود تا آب با کیفیت مطلوب‌تری برداشت گردد.

تشکر و قدردانی

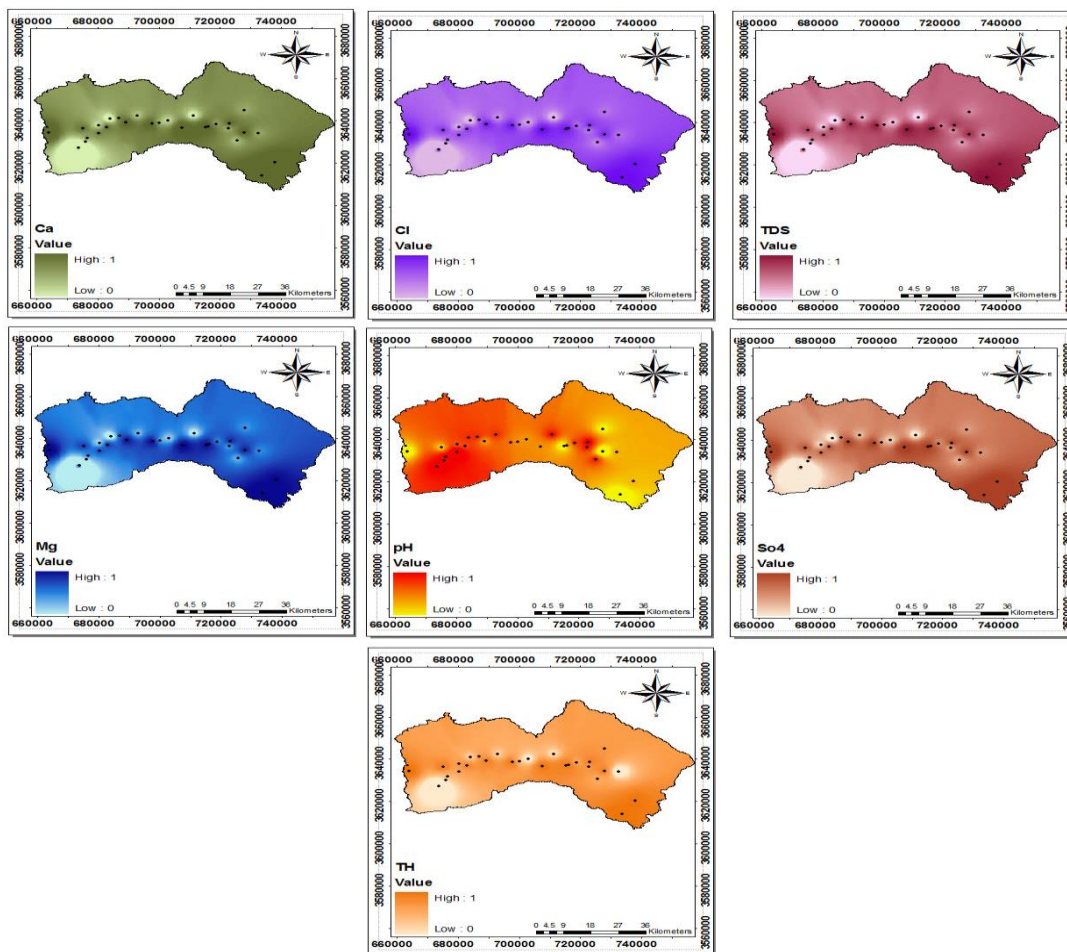
نویسندگان از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی جهت همکاری در تهیه داده‌ها تشکر و قدردانی می‌کنند.

مناطق برخوردار بود در حالی که غلظت پارامترهای مورد مطالعه در جنوب‌غربی این دشت در بالاترین حد خود بودند. تلفیق کلیه پارامترها براساس روش ANP نشان داد که مناطق با کیفیت خیلی خوب، خوب، نسبتاً خوب، نسبتاً بد، بد و خیلی بد به ترتیب ۵/۲۶، ۱۰/۵۶، ۵۴/۵۲، ۱۵/۸۹، ۱۰/۵۷ و ۳/۱۸ درصد از آبخوان را تشکیل دادند. این نتایج براساس روش FANP به ترتیب برابر ۵/۹۷، ۲۲/۰۱، ۲۸/۸۵، ۳۰/۱۶، ۹/۵۴ و ۳/۴۷ درصد بودند. اختلاف به دست آمده بین دو روش ANP و FANP به دلیل ماهیت این دو روش است. در روش



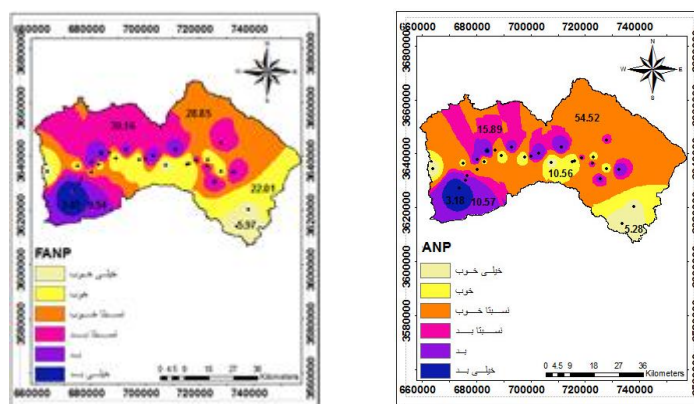
شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی پارامترهای Ca^{2+} , Cl^{-} , TDS, Mg^{2+} , pH, SO_4^{2-} و TH

Figure 2- Zoning map of the parameters Ca^{2+} , Cl^{-} , TDS, Mg^{2+} , pH, SO_4^{2-} and TH



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی پارامترهای Ca^{2+} , Cl^{-} , TDS, Mg^{2+} , pH, SO_4^{2-} و TH

Figure 3- Zoning map of the parameters Ca^{2+} , Cl^{-} , TDS, Mg^{2+} , pH, SO_4^{2-} and TH



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی ANP (سمت راست) و FANP (سمت چپ)

Figure 4- Zoning map of AHP (Right) and ANP (left)

منابع

7. Nadun S. N. E. M, Maarof I, Ghazali R, Samad A. M, Adnan R. Sustainable groundwater potential zone using remote sensing and GIS. *Signal Processing and Its Applications (CSPA), 6th International Colloquium on*, 1(6), 21-23. 2010.
8. Saaty T L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York. 1980.
9. Saaty T L. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications, Pittsburgh. 1996.
10. Saaty T L, Vargas L G. *Prediction Projection and Forecasting*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 1998.
11. Okada H, Styles S. W, Grismer M E. 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: 205–210.
12. Montazar A, Zadbagher E. An analytical hierarchy model for assessing global water productivity of irrigation networks in Iran. *Water Resources Management*. 2010; 24(11): 2817-2832.
13. Srdjevic B, Medeiros Y D P. Fuzzy AHP Assessment of Water Management Plans. *Water Resource Management*. 2008; 22: 877-894.
14. Razavi Toosi S L, Samani J M V. Evaluating water transfer projects using Analytic Network Process (ANP). *Water resources Management*. 2012; 26:1999-2014.
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.
2. Collins M G, Steiner F R, Rushman M J. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environmental Management*. 2001; 28 (5): 611–621.
3. Malegi-Gonadishi F, Rahnema M. B, Rezaei A S. The study of drinking quality of Zarand plain groundwater using geostatistics and GS+ software. *Second National Conference on Water and Wastewater reuse*. Power and Water University of Technology. Tehran November, 2009.
4. 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.
5. Yaakup A, Ahmad Nazri M. L, Sulaiman S., Bajuri, H. GIS in urban planning and management. In: *Malaysian Experience International Symposium & Exhibition on Geoinformation*, Penang, Malaysia. 2005.
6. Gintamo T. T. Groundwater potential elevation based on integrated GIS and Remote Sensing techniques, in *Bilate River catchment: South Rift Valley of Ethiopia*. M.Sc. Thesis of Hydrogeology, University of Addis Ababa. 2010.

22. Jiang H, Eastman R R. Application of Fuzzy Measures in Multi- criteria Evaluation in GIS, *International Journal of Geographic Information Systems*. 2000; 14(2): 173-184.
23. Malekian A, Oftadegan Khuzani A, Ashurnejad Q, Flood hazard zoning in watershed scale using fuzzy logic (case study: Akhtar Abad watershed), *Physical Geography Research*. 2013; 44(4): 131-152.
24. Saaty T L. The allocation of intangible resource: The analytic hierarchy process and linear programming. *Socio-Economic Planning Science*. 2001; 37(3): 169-184.
25. Mishra P C, Patel R K. 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): 293-298.
26. Keshavarz A, Khashei Seouki A, Najafi M H. 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).
27. Dahiya S., Singh B, Gaur S, Garg V K, Kushwaha H S. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. *Journal of Hazardous Materials*. 2007; 147: 938-946.
- Keith S J, Wilson L G, Fitch H R, Esposito D M. Sources of spatial-temporal variability in groundwater quality data and methods of control. *Groundwater Monitoring Program Report*, Spring, Arizona, USA. 1983.
15. Taghizadeh 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.
16. Zehtabian Gh, Mohammad Askari H. Zoning of quality of groundwater in Garmsar basin. *Research Project*. University of Tehran. 2007. (In Persian).
17. Sanches Matros F, Jimenz Espinosa R, Pulido Bosch A. 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): 227-242.
18. Fetouani S, Sbaa M, Vanclooster M, Bendra B. Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (North-east Morocco). *Journal of Agricultural Water Management*. 2008; 95: 133-142.
19. 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): 506-518.
20. Khashei Siuki A, Ghahraman B, Kouchakzadeh M. Fuzzy-Analytic Hierarchy Process Method for Evaluating Groundwater Potentials of Aquifers (Case study: Nayshabur Plain). *IWRJ*. 2011; 5(9): 1-10. (In Persian).
21. Zebardast A. Application of analytical hierarchy process (AHP) in urban and regional planning program. *Fine Arts Journal*. 2001; 10: 13-21.