مکان‌یابی مناسب استحصال آب شرب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند)

اکبر کشاورز[1] عباس خاشعی سیوکی[2] محمدحسین نجفی[3]

(دریافت ۹۱/۱۰/۱۰ پذیرش ۹۲/۲/۲۲)

چکیده

کاهش کیفیت آبهای زیرزمینی که ناشی از برداشت‌های بی‌رویه از این منبع است، باعث شده شناسایی مکان‌های مناسب به‌منظور استحصال آب زیرزمینی برای شرب امری مهم و بسیار مورد توجه تلقی شود. در این تحقیق عناصر کیفی سدیم، کلسیم، منیزیم، SO_4 ، TDS ، هدایت الکتریکی، کلر و نیترات از استاندارد شولر و همچنین از پارامترهای افت سطح آب و ضریب قابلیت انتقال آب به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد و با استفاده از روش AHP وزن‌های آنها محاسبه شدند. با تهیه لایه‌های رستری معیارها در محیط GIS و همچنین با استفاده از توابع عضویت فازی لایه‌های فازی، معیارها ایجاد شدند که در نهایت با همپوشانی لایه‌های رستری فازی معیارها، لایه نهایی استعداد استحصال آب شرب به‌دست آمد. با طبقه‌بندی نقشه نهایی در پنج کلاس ضعیف، متوسط، نسبتاً خوب، خوب و بسیار خوب به‌ترتیب ۲/۲۴، ۲۸/۰۸، ۲۷/۸۶، ۲۸/۱۷ و ۱۳/۶۳ درصد از آبخوان در این طبقات قرار گرفتند. مدل تهیه شده با چاههای آب شرب موجود در سطح آبخوان مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان دادند که قسمت‌های شرقی دشت دارای شرایط مناسب‌تری از لحاظ استحصال آب شرب هستند.

واژه‌های کلیدی: عناصر کیفی، مکانیابی آب شرب، دشت بیرجند، GIS، FAHP

Locating of Suitable Area of Pumping Drinking Water Using FAHP Method (Case Study: Birjand Aquifer)

A. Keshavarz [1] *A. Khashei Seouki [2]* *M. H. Najafi [3]*

(Received Dec. 30, 2012 Accepted June 18, 2013)

Abstract

Groundwater quality deterioration which originates from excessive pumping caused motivation of the identification of suitable area for groundwater harvesting. In this study, eight quality parameters e.g. Na, Ca, Mg, SO4, TDS, EC, CL and NO3 of Schuler standard along with water level drawdown and water transmissivity coefficient (T) were considered as decision criteria and were calculated using Analytical Hierarchy Process (AHP) method. Then raster data layers of criteria were prepared in GIS tools fuzzified using fuzzy membership function and criteria fuzzy layers decision were created by overlaying of fuzzy raster layers of criteria. As main goal of the paper, final layer of suitable area of water drinking harvest was categorized in five class containing poor, average, fairly good, good and very good levels. The results showed that 2.24, 28.08, 27.86, 28.17 and 13.63 percent of the aquifer area respectively are placed in the mentioned classes. Also a comparison was carried out between modeling results and drinking water wells in the aquifer. Results showed that the eastern parts of the plain have favorable conditions for water drinking exploitation.

Keywords: Quality Parameters, Location of Drinking Water, Birjand Plain, GIS, FAHP.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند (نویسنده مسئول) (۰۵۶۱) ۲۲۵٤۰٤۱ abbaskhashei@birjand.ac.ir
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

1. M.Sc. Student of Water Resources Management, College of Agriculture, Birjand University, Birjand
2. Assist. Prof. of Water Eng., College of Agriculture, Birjand University, Birjand (Corresponding Author) (+98 561) 2254041 abbaskhashei@birjand.ac.ir
3.Assist. Prof. of Water Eng., College of Agriculture, Birjand University, Birjand

۱- مقدمه

حجم کل آبهای موجود در کره زمین بسیار زیاد است، اما متجاوز از ۹۷ درصد از این آبها در اقیانوس‌ها و دریاها متمرکز است و حدود دو درصد نیز به‌صورت یخ و یخچال‌ها در مناطق قطبی تجمع یافته‌اند. بنابراین تنها یک درصد از کل آبهای این سیاره را آب شیرین تشکیل می‌دهد و تنها ۰/۰۳ درصد از آبهای شیرین در دسترس انسان قرار دارد [۱]. آبهای زیرزمینی بنا به دلایل مختلف و مزایایی که نسبت به آبهای سطحی دارند، همیشه مورد توجه بوده و بسیاری از نیازهای بشر اعم از شرب، کشاورزی و صنعت را بر طرف نموده‌اند. افزایش جمعیت و توسعه شهرها، تعیین مکان‌های مناسب استحصال آب شرب از آبهای محصور در سفره‌های زیر زمینی را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های مورد بحث تبدیل کرده است. وجود پارامترهای مختلف مؤثر باعث شده است تا مکان‌های مختلف استعدادهای متفاوتی در امر استحصال آب، به‌ویژه آب شرب دارا باشند. یافتن مکان‌های مستعد استحصال با استفاده از روشهای علمی نوین می‌تواند از هدر رفت هزینه‌های گزاف حفر چاه جلوگیری کرده و طرح‌ها را از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نماید. همچنین با استفاده از این روشها می‌توان در مدت زمان کوتاهی منطقه وسیعی را مورد بررسی قرار داد و مکان‌های مناسب را در سطح آن منطقه تعیین نمود. به‌دلیل اینکه پارامترهای مورد استفاده هر کدام تأثیر متفاوتی بر انتخاب محل برای استحصال آب دارند، نیاز است هر عنصر بر اساس درجه اهمیتش، وزن‌دهی شود. برای این منظور از فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده می‌شود. این روش، دربرگیرنده مجموعه‌ای از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری به یک شیوه منطقی است، به‌طوری که می‌توان گفت این روش از یک طرف وابسته به تصورات شخصی و طرح‌ریزی سلسله مراتبی یک مسئله است و از طرف دیگر با منطق، درک و تجزیه برای تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی مرتبط می‌شود [۲]. روش AHP اولین بار توسط ساعتی مطرح شد [۳]. سیستم‌های فازی، سیستم‌هایی مبتنی بر دانش و قواعد است و از مشخصه‌های آن توانایی تقسیم‌بندی اطلاعات است و به‌علت بالا بودن قدرت تبیین بیشتر نسبت به یک عدد، در علوم مختلف از آن به‌منظور تعمیم اطلاعات استفاده می‌شود [۴].

۱-۲- فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

با وجود مزایای بسیارAHP، به‌کارگیری این روش دارای کمبودهایی است: این روش اساساً در کاربردهای تصمیم‌گیری crisp (غیر فازی) استفاده شده است؛ مقیاس نامتعادل قضاوت را مورد بررسی قرار می‌دهد؛ عدم اطمینان‌های موجود در قضاوت‌های فردی را در نظر نمی‌گیرد؛ قضاوتهای ذهنی، انتخاب و عملکرد تصمیم‌گیران تأثیر بسیار زیادی در نتایج آن دارد. به‌علاوه موضوع قابل قبول این است که ارزیابی‌های افراد از شاخص‌های کیفی اغلب ذهنی وغیر دقیق است. بنابراین AHP متعارف و کلاسیک، در دستیابی دقیق نیازمندی‌های تصمیم‌گیران ناکافی و ناکارآمد به نظر می‌رسد و قادر به انعکاس کامل تفکر بشری نیست [۵]. به‌منظور مدل‌سازی این نوع از عدم اطمینان‌ها در ترجیحات افراد بشر، تئوری مجموعه‌های فازی با مقایسه‌های زوجی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی ترکیب می‌شود. به این ترتیب درک دقیق‌تری از فرایند تصمیم‌گیری ارائه شده حاصل می‌شود. به‌منظور استفاده از مزایای هر دو روش فازی و AHP همچنین غلبه بر نقاط ضعف آنها، ونلارهون وپیدریز اولین بار اصول منطق فازی را در تحلیل سلسله مراتبی به‌کار بردند[۶]. معیارهای به‌کار برده شده در این مطالعه دارای مقیاس‌های متفاوتی بود. این پارامترها با فازی کردن لایه‌ها هم مقیاس شده و سپس با هم ترکیب شدند. روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) روشی قوی در امر تصمیم‌گیری چند معیاری است. با ترکیب این روش با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) امر تصمیم‌گیری چند معیاره در سطوح وسیع و با دقت بالا امکان‌پذیر شده است. بررسی منابع گوناگون نشان داد که مطالعات بسیار محدودی در زمینه مکان‌یابی استحصال آب به‌ویژه آب شرب صورت گرفته است.

خاشعی سیوکی و همکاران به ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در سطح دشت نیشابور پرداختند [۴]. آنها در مطالعه خود تنها از سه فاکتور ضریب انتقال آبخوان، شوری و افت سطح آب استفاده کردند. گاناپورام و همکاران در مطالعه‌ای در ایالت آندهرا پرادش در هند، به بررسی و تعیین مناطق دارای پتانسیل مناسب استحصال آب زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌اند [۷]. سپند و همکاران به‌منظور تعیین پتانسیل بهره‌برداری آبخوان‌های کارستی دشت لالی از عکسهای ماهواره‌ای استفاده کردند [۸]. در تحقیق آنها با توجه به کارستی بودن آبخوان و مناسب بودن کیفیت آب، خصوصیات کیفی آب زیرزمینی مورد بررسی قرار نگرفت. جوتیپراکاش و ساتی به ارزیابی ساختارها و روشهای جمع‌آوری آب باران با استفاده از سیستم تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای مناطق صنعتی بزرگ مقیاس در یک منطقه صنعت خودروسازی بزرگ واقع در نزدیکی ناسیک (ایگاتپوری)، ماهاراشترای هندوستان پرداختند [۹]. لولی و همکاران با استفاده از یک روش FAHP به ارزیابی آسیب پذیری اکوسیستم و محیط زیست در ناحیه مخزن دنجیانگکو(DRA) در چین پرداختند [۱۰]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون تحقیقات کمی برای تعیین مناطق مناسب استحصال آبهای زیرزمینی برای استفاده شرب شده است.

وجه تمایز تحقیق حاضر با سایر تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده عبارت است از: ۱- به کارگیری روش تصمیم‌گیری چند معیاری FAHP در مکانیابی مناطق مستعد استحصال آب شرب ۲- لحاظ نمودن تأثیرات فاکتورهای کیفی آب شرب ۳- تلفیق FAHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی. هدف از این تحقیق تعیین مناطق مناسب استحصال آبهای شرب در سطح آبخوان بیرجند با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بود.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز بیرجند که یکی از زیر حوضه‌های کویر لوت محسوب می‌شود، به‌عنوان مهم‌ترین دشت جنوب خراسان در شرق کشور و در فاصله ۴۸۰ کیلومتری جنوب شهر مشهد، با مختصات ۳۴ و ۳۲ تا ۸ و ۳۳ عرض شمالی و ۴۱ و ۵۸ تا ۴۴ و ۵۹ طول شرقی واقع شده است، از شمال به دشت‌های اسدآباد و چاهک موسویه، از جنوب به دشت مختاران و از شرق به دشت سربیشه محدود می‌شود [۱۱].

با در نظر گرفتن پارامترهای کیفی سدیم، کلسیم، منیزیم، SO_4 ، TDS ، هدایت الکتریکی، کلر و نیترات و همچنین پارامترهای افت سطح آب و ضریب قابلیت انتقال آب به‌عنوان معیارهای تأثیرگذار در فرایند تصمیم‌گیری در مورد بهترین مکان‌های استحصال آب شرب در سطح دشت بیرجند، ۱۸ حلقه چاه و ۵ قنات در سطح دشت به‌منظور جمع‌آوری داده‌های خام پارامترهای کیفی ذکر شده مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۱).

۲-۲- پهنه‌بندی معیارهای تصمیم‌گیری

با استفاده از روشهای مختلف زمین آمار، داده‌های نقطه‌ای معیارهای تصمیم‌گیری در سطح دشت میانیابی شدند که مقدار مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) به‌عنوان معیار ارزیابی روشهای مختلف در پهنه‌بندی هر معیار مورد استفاده قرار گرفت. روش کریجینگ به‌عنوان مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی انتخاب و معیارهای مورد نظر با استفاده از این روش میانیابی شدند.

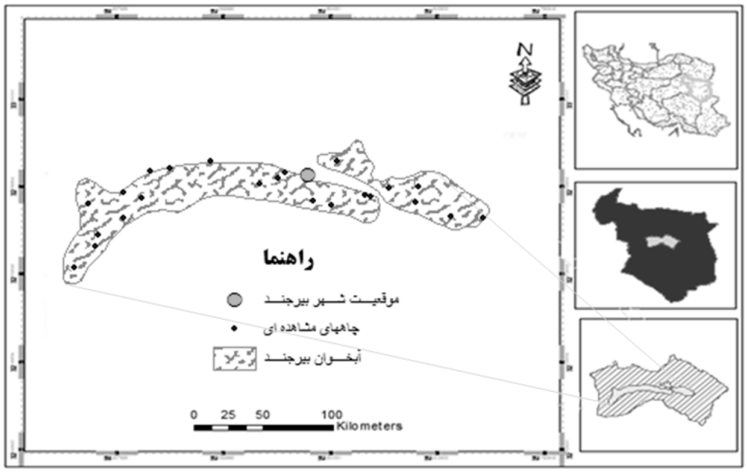
۲-۳- ایجاد لایه‌های فازی

پس از پهنه‌بندی و تهیه لایه‌های رستری معیارها، این لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی، به لایه‌های فازی تبدیل شدند که در شکل ۲ به چند نمونه از این توابع اشاره شده است. این توابع به هر یک از اعضای مجموعه عضوهای هر معیار، ارزشی از صفر تا یک ([۱و۰]) نسبت می‌دهند. برای فازی کردن لایه‌های رستری معیارها ابتدا باید نوع معیار از نظر روند ارزش آن (افزایشی، کاهشی، افزایشی- کاهشی) تعیین شود که این امر با استفاده از جدول طبقه‌بندی شولر به‌عنوان معیار قضاوت انجام شد. جدول ۱ طبقه‌بندی شولر را نشان می‌دهد. با توجه به افزایشی، کاهشی و یا افزایشی- کاهشی بودن هریک از معیارها، تابع فازی مناسب برای فازی نمودن آن معیار انتخاب شد.

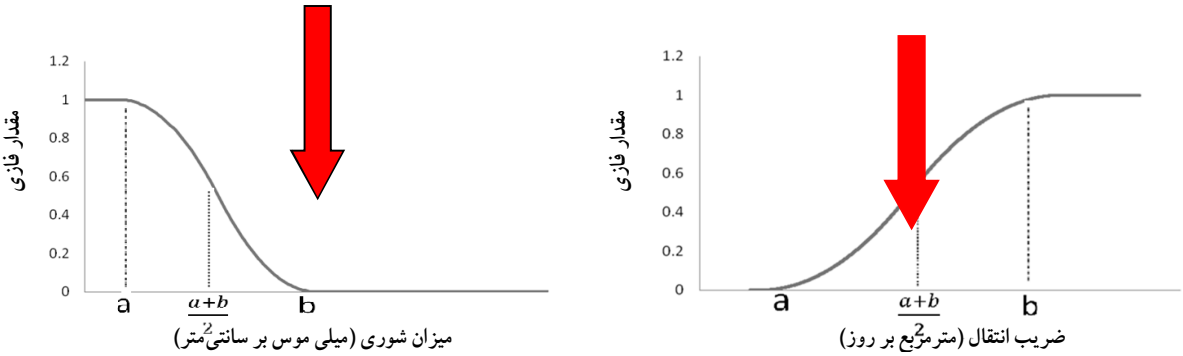
۲-۴- محاسبه وزن معیارهای تصمیم

با جمع‌آوری نظرات کارشناسی، ارزش و اهمیت معیارها دو به دو نسبت به هم مشخص و ماتریس مقایسه زوجی معیارها تشکیل شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس[1] که اصول آن بر اساس روش AHP استوار است، وزن هر کدام از معیارها بدست آمد. یکی از مزیتهای فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، امکان بررسی

[1] Expert Choice



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخوان بیرجند و چاههای آب شرب موجود



شکل ۲- نمودار توابع عضویت فازی Z-Shape و S-Shape

جدول ۱- طبقه‌بندی آب توسط استاندارد شولر

طبقه‌بندی آب برای آشامیدن	pH (mg/lit)	Ca^{+2} (mg/lit)	Mg^{+2} (mg/lit)	Na^{+} (mg/lit)	SO_4^{-2} (mg/lit)	Cl^{-} (mg/lit)
خوب	۷/۳	۲۰	۴/۵	۶۹	۳۷	۲۸
قابل قبول	۷/۸	۲۵	۶	۷۳	۴۸	۳۵
نامناسب	۹	۸۵	۳۷	۱۰۴	۵۷	۵۴
بد	۱۰	۱۳۰	۷۲	۷۳۰	۶۵۰	۵۵۰
قابل استفاده در شرایط اضطراری	۱۱	۱۷۵	۸۵	۸۸۰	۷۲۰	۶۰۳
غیر قابل شرب	>۱۱	۲۴۰	۱۴۴	۱۱۵۰	۹۶۰	۱۲۴۲

سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است. وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود، احتمال ناهماهنگی در قضاوتها وجود دارد. پس باید سنجه‌ای را یافت که میزان ناهماهنگی داوری‌ها را نمایان سازد [۱۲]. به همین منظور ضریب سازگاری ساعتی[1] که از تقسیم شاخص سازگاری[2] به شاخص تصادفی بودن[3] حاصل می‌شود، برآورد می‌شود. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است و در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود [۱۳].

۲-۵- ترکیب لایه‌های فازی معیارها

در لایه‌های فازی شده معیارها به هر کدام از پیکسل‌ها (گزینه‌ها) ارزشی بین صفر تا یک [۱،۰] تعلق می‌گیرد که درجه عضویت مقدار خام معیار مربوطه در آن پیکسل است. در هر پیکسل وزن محاسبه شده مربوط به هر معیار در درجه عضویت معیار مورد نظر مربوط به آن پیکسل ضرب می‌شود تا ارزش واقعی هر معیار در هر پیکسل به‌دست آید.

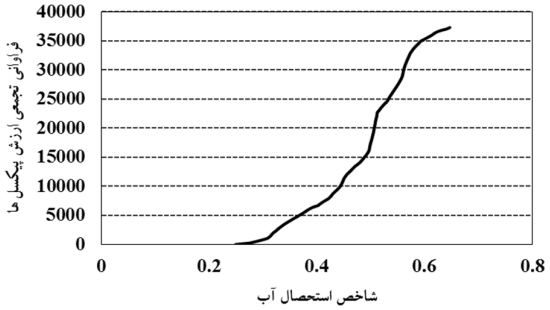
۲-۶- عملگرهای فازی

به‌منظور ترکیب لایه‌های فازی از عملگرهای فازی مختلفی استفاده می‌شود که عبارت‌اند از : ۱- عملگر جمع جبری فازی ۲- عملگر ضرب جبری فازی ۳- عملگر AND ۴- عملگر OR ۵- عملگر گاما. از آنجا که عملگر ضرب جبری فازی عملگری بسیار محافظه‌کارانه و با حساسیت بالا است و مقادیر تلفیقی عضویت فازی بسیار کوچک و نزدیک به صفر و در بسیاری از پیکسل‌ها ارزش صفر را تولید می‌کند، بنابراین استفاده از آن نتایج را متفاوت با واقعیت نشان داد. صفر بودن ارزش عضویت فازی در عملگر ضرب جبری فازی باعث شد تا عملگر گاما نیز نتایج رضایت بخشی را ایجاد نکند. بنابراین از این دو عملگر، در روی هم‌اندازی لایه‌ها استفاده نشد و با استفاده از عملگر جمع جبری فازی که مکمل عملگر ضرب جبری فازی است در محیط GIS 9.3، لایه‌های فازی ضمن تأثیر وزن‌هایشان با یکدیگر ترکیب شده و لایه اطلاعاتی نهایی استعداد منطقه حاصل شد. بعد از تهیه نقشه نهایی استحصال آب، فراوانی تجمعی ارزش پیکسل‌های آن طبق شکل ۳ رسم شد و نقاطی که در آنها شیب نمودار دستخوش تغییرات محسوس‌تری شده است، به‌عنوان مرزهای کلاس‌های طبقه‌بندی در جدول ۲ ارائه شدند [۴].

[1] Consistency Ratio (CR)
[2] Consistency Index (CI)
[3] Random Index (RI)

جدول ۲- نقاط بحرانی توابع عضویت فازی در عناصر مختلف

عناصر کیفی	حدود تابع عضویت فازی	
	a	b
Na	۱۱۵	۱۸۵۰
Ca	۱۲۰	۱۸۰۰
Mg	۷۰	۱۰۰۰
So_4	۱۴۰	۲۳۰۰
TDS	۵۰۰	۸۰۰۰
EC	۱۵۰۰	۱۰۰۰۰
CL	۱۸۰	۲۹۰۰
T	۵۰۰	۳۰۰۰
NO_3	۰	۴۵
S	۰/۲ متر	۵ متر



شکل ۳- نمودار فراوانی تجمعی پیکسل های مربوط به نقشه ترکیبی مناطق مستعد استحصال آب شرب

۳- نتایج و بحث

معیارهای Na، Ca، Mg، CL، TDS، SO_4 با توجه به جدول شولر معیارهایی کاهشی هستند. معیارهای EC و افت سطح آب نیز دارای ارزشی کاهشی هستند [۴] . حداکثر مجاز NO_3 نیز با استفاده از استاندارد سازمان بهداشت جهانی[1] ، ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر بوده و بنابراین این معیارها با استفاده از تابع عضویت Z-Shape فازی شدند. اما پارامتر T دارای ارزشی افزایشی برای نیل به هدف مورد نظر این تحقیق بوده و با استفاده از تابع عضویت S-Shape به ارزش‌های فازی تبدیل شد. نمودارهای Z-Shape و S-Shape در شکل ۲ نشان داده شده است. روابط ۱ و ۲ به‌ترتیب توابع عضویت Z-Shape وS-Shape را نشان می‌دهند. ضمناً نقاط بحرانی (مرزی) معیارها به‌منظور فازی کردن لایه‌های رستری آنها نیز با استفاده از حدود استاندارد شولر تعیین شد؛ به این صورت که ارزش فازی یک به ارزش کیفی بسیار خوب و ارزش فازی صفر به ارزش کیفی بد تعلق گرفت. جدول ۲ نقاط بحرانی a و b معیارها را نشان می‌دهد. شکل۴ نقشه‌های فازی شده معیارهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

$$\mu(x)=\begin{cases}1, x \le a\\ 1-2(\frac{x-a}{b-a})^2, a < x \le \frac{a+b}{2}\\ 2(\frac{b-x}{b-a})^2, \frac{a+b}{2} < x < b\\ 0, x \ge b\end{cases} \quad (۱)$$

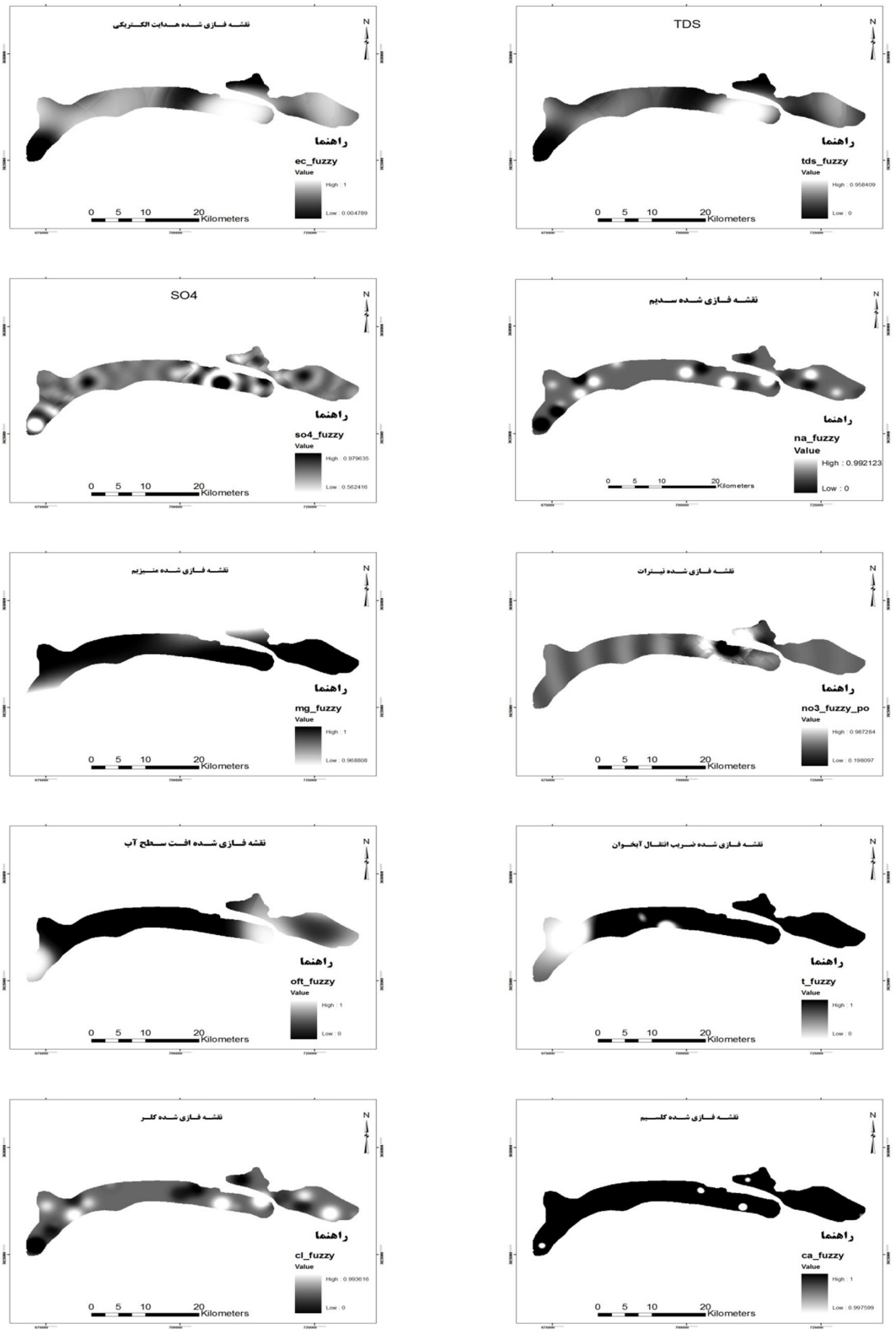
$$\mu(x)=\begin{cases}0, x \le a\\ 2(\frac{b-x}{b-a})^2, a < x \le \frac{a+b}{2}\\ 1-2(\frac{x-a}{b-a})^2, \frac{a+b}{2} < x < b\\ 1, x \ge b\end{cases} \quad (۲)$$

ارزش‌های فازی مابین مقادیر حدی صفر و یک متغیر است. در شکل ۴ با نزدیک شدن به ارزش فازی صفر از میزان تأثیرگذاری هر پارامتر در مساعد نمودن شرایط استحصال آب کاسته شده و با نزدیک شدن به ارزش فازی یک، بر میزان تأثیرگذاری هر پارامتر در مساعد نمودن شرایط افزوده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود به جز پارامتر افت سطح آب، مابقی پارامترها تقریباً در نواحی غرب و جنوب غرب آبخوان دارای شرایطی نامساعد و ارزش فازی ضعیف بوده و از غرب به شرق بر این ارزش افزوده می‌شود.

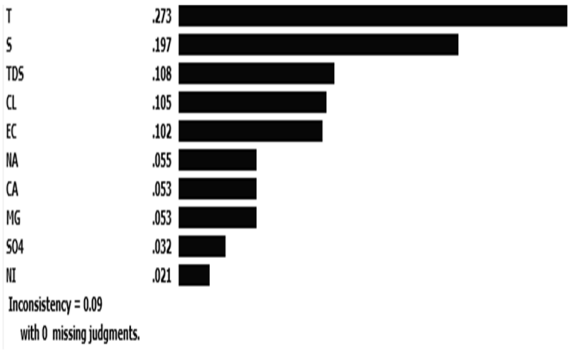
شکل ۵ وزن معیارها را به‌صورت گرافیکی نمایش داده است. معیارهای ضریب انتقال آبخوان و NO_3 به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن را به‌خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضریب سازگاری در قضاوت‌ها نیز ۰/۰۹ به‌دست آمده است که کوچک‌تر از ۰/۱ است و نشان دهنده رعایت سازگاری در نظرات تصمیم‌گیرندگان است [۱۳].

با رسم نمودار فراوانی تجمعی ارزش پیکسل‌ها، مرزهای طبقات مختلف آن تعیین شد که نتایج آن در شکل ۳ مشاهده می‌شود [۴].

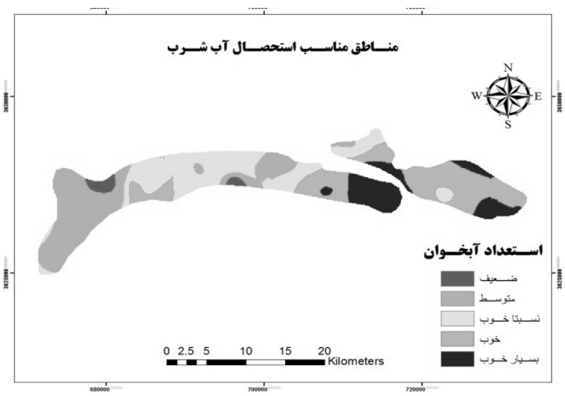
[1] Word Health Organization (WHO)



شکل ۴- لایه‌های فازی معیارهای تصمیم‌گیری



شکل ۵- وزن معیارهای تصمیم‌گیری



شکل ۶- نقشه طبقه‌بندی استعداد استحصال آب شرب در سطح آبخوان بیرجند

جدول ۳- محدوده و درصد مساحت هر طبقه از دشت

طبقات	محدوده شاخص	درصد مساحت
ضعیف	۰/۲۴۸۷-۰/۳	۲/۲۴
متوسط	۰/۳-۰/۴۵	۲۸/۰۸
نسبتا خوب	۰/۴۵-۰/۵۱	۲۷/۸۶
خوب	۰/۵۱-۰/۵۷	۲۸/۱۷
خیلی خوب	۰/۵۷-۰/۶۴۶۷	۱۳/۶۳

با ضرب لایه‌های فازی معیارها در وزن‌های محاسبه شده مربوطه و ترکیب و همپوشانی آنها در محیط GIS با استفاده از عملگر جمع جبری فازی، لایه نهایی استحصال آب شرب در سطح آبخوان تهیه شد که در شکل ۶ نشان داده شده است. با طبقه‌بندی نقشه نهایی در ۵ کلاس ضعیف، متوسط، نسبتاً خوب، خوب و بسیار خوب به ترتیب ۲/۲۴ ، ۲۸/۰۸، ۲۷/۸۶، ۲۸/۱۷ و ۱۳/۶۳ درصد از آبخوان در این طبقات قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به نقشه نهایی، مستعدترین مناطق از نظر استحصال و برداشت آب شرب در نواحی شرقی آبخوان قرار گرفته‌اند که کلاس‌های خوب و بسیار خوب را شامل می‌شود. این امر را می‌توان ناشی از وضعیت مناسب پارامترهایی مانند ضریب انتقال آبخوان، کلسیم، منیزیم و تا حدودی پارامتر افت سطح آب دانست که همگی دارای شرایط مطلوبی در این نواحی هستند. نواحی مرکزی آبخوان دارای شرایط متوسطی از نظر استحصال آب شرب بوده و در کلاس نسبتاً خوب قرار می‌گیرند. از شرق به سمت غرب آبخوان به تدریج از میزان استعداد استحصال و کیفیت آب شرب این نواحی کاسته شده به نحوی که در نواحی غربی آبخوان وضعیت نامناسبی برای برداشت آب شرب قابل مشاهده است و این قسمت از آبخوان در کلاس متوسط و ضعیف طبقه‌بندی می‌شود. علت این پدیده را نیز می‌توان نامناسب بودن وضعیت پارامترهایی چون ضریب انتقال آبخوان، افت سطح آب، TDS و EC بیان نمود. با مقایسه مدل تهیه شده با موقعیت جغرافیایی چاه‌های آب شرب موجود در سطح آبخون همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، روند تغییر تراکم چاهها منطبق بر نتیجه حاصل از این تحقیق بوده و از شرق آبخوان به سمت غرب آن از تعداد چاه‌ها کاسته می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

دراین تحقیق با استفاده از روش فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) به تعیین مناسب‌ترین مناطق استحصال آب شرب در سطح دشت بیرجند پرداخته شد و از پارامترهای سدیم، کلسیم، منیزیم، SO_4 ، TDS ، هدایت الکتریکی، کلر، افت سطح آب و ضریب قابلیت انتقال آب به‌عنوان معیارهای تأثیرگذار در امر تصمیم‌گیری استفاده و ابتدا مقادیر نقطه‌ای آنها (چاه و قنات) با استفاده از روش‌های زمین آماری در سطح آبخوان میانیابی و پهنه‌بندی شد. با فازی نمودن لایه‌های رستری معیارها با استفاده از توابع عضویت فازی و محاسبه وزن اهمیت نسبی آنها با استفاده از روش AHP و نرم‌افزار اکسپرت چویس، این لایه‌ها پس از تأثیر وزن‌ها با هم ترکیب شده و لایه نهایی مناطق مستعد استحصال آب شرب تهیه شد. پس از طبقه‌بندی این لایه در پنج کلاس ارزشی ضعیف، متوسط، نسبتاً خوب، خوب و بسیار خوب، کلاس‌های خوب و بسیار خوب نواحی شرق آبخوان را در بر گرفته و پوشش دادند، ولی رفته رفته از شرق آبخوان به سمت غرب آن از کیفیت آب برای مصارف شرب کاسته شد، به‌طوری که نواحی غربی آبخوان در کلاس متوسط و ضعیف واقع شدند. با مقایسه نتایج این تحقیق با موقعیت فعلی چاههای آب شرب موجود در سطح آبخوان، صحت نتایج حاصله به اثبات می‌رسد.

۵- مراجع

1. Tofigh, F. (1994). "Multi-criteria evaluation in physical planning." *Journal of The Village*, 11, 40-43.
2. Khashei-siuki, A., Ghahraman, B., and Kouchakzadeh, M. (2011). "Evaluation of potential water harvesting aquifer using fuzzy AHP (Case study: Neyshabur Plain)." *J. of Water Research*, 9 (5), 171-180.
3. Shakib-Danesh, M., and Fazli, P. (2009). "Distinguish between successful and unsuccessful companies using approach (FAHP - TOPSIS) in the Tehran Stock Exchange." *J. of Management Sciences*, 4(11), 88-115.
4. Rohollahi, A.R. (2011). "Estimate the unconfined aquifer hydrodynamic optimal detection method using genetic algorithm." M.Sc. hesis, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand. 185 p. (In Persian)
5. Zebardast, A. (2001). "Application of analytical hierarchy process (AHP) in urban and regional planning program." *Fine Arts Journal*, 10, 13-21.
6. Sepand, S., Chitsazan, M., Ragzan, K., and Mirzai, Y. (2009). "Use of remote sensing and GIS to determine potential water Lale plain." *Geomatics Conference in Tehran*, Tehran University, Tehran. (In Persian)
7. Godsipur, S.H. (2006). *Analysis hierarchy process*, *(AHP)*, 5th E., Amirkabir University of Technology, Tehran. (In Persian)
8. Mirarabi, A., and Nakhaei, M. (2008) "Prediction of groundwater level drawdown in Birjand plain artificial neural network." *Proceedings of the Twelfth Symposium of Geological Society of Iran*, Iran. National Companies in the Oil-Rich South.
9. Ayag, Z., and Ozdemir, R.G. (2006) . "A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives." *J. of Intelligent Manufacturing*, 17, 179-190.
10. Ganapuram, S., Kumar, V., Krishna, M., Kahya, E., and Demirel, C. (2009). "Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS." *Advances in Engineering Software*, 40(7), 506-518.
11. Jothiprakash, V., and Sathe Mandar, V. (2009). "Evaluation of rainwater harvesting methods and structures using analytical hierarchy process for a large scale industrial area." *J. Water Resource and Protection*, 1, 427-438.
12. Lu, L., Zhi-Hua, Shi., Wei, Y., Dun Z., Sai Leung N., G., Chong-Fa, C., and A-Lin L. (2009). "A fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to eco-environmental vulnerability assessment for the danjiangkou reservoir area." *China, Ecological Odelling*, 220, 3439-3447.
13. Saaty, T.L. (1980). *The analytical hierarchy process*, Planning Priority, Resource Allocation, TWS Pub., USA.