نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۹۲۹-۹۱۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 917-929

مقاله علمی-پژوهشی

شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و ANP (مطالعه موردی: دشت نایبند-طبس)

امیر خزاعی فیض‌آباد[۱]، محسن پور رضا بیلندی[۲]، شهروز مهاجری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰

چکیده

آب‌های زیرزمینی در مناطق نیمه‌خشک و خشک و مناطقی که دسترسی محدود به آب‌های سطحی دارند یک منبع باارزش محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر عمدتاً به دلیل رشد صنعتی شدن، افزایش جمعیت و تغییر سبک زندگی و الگوهای مصرف، تقاضای جهانی آب به‌طور قابل‌توجهی افزایش‌یافته است. در حال حاضر، آب‌های زیرزمینی حدود ۳۴ درصد از کل تأمین آب سالانه جهان را تشکیل می‌دهند و یکی از منابع مهم آب شیرین هستند. جمع‌آوری آب یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین بخش‌های اجرائی پروژه‌های زیربنایی و اقتصادی محسوب می‌شود که استحصال به آن هزینه‌های زیادی را در پی دارد بنابراین، ارزیابی این بخش برای مدیریت پایدار سیستم‌های آب زیرزمینی بسیار مهم است. در این پژوهش از فاکتورهای تأثیرگذار شامل شیب زمین، ژئومورفولوژی، خاک، گسل، پوشش زمین، بارندگی، عمق آب زیرزمینی، تراکم آبراهه و نزدیکی به آب سطحی استفاده شد. بعد از مشخص شدن مهم‌ترین معیارهای مرتبط در راستای فرآیند تصمیم‌گیری، پرسش‌نامه‌ای با عنوان مقایسه زوجی معیارها جهت اخذ نظرات نخبگان و کارشناسان طراحی شد. در ادامه برای محاسبه وزن نرمال معیارهای پتانسیل آب زیرزمینی، از مدل AHP و ANP استفاده شد. در انتها نقشه نهایی در محیط Arc GIS 10.8 تهیه شد. با استفاده از روش AHP و ANP منطقه ازلحاظ پتانسیل آب زیرزمینی به ۵ قسمت خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم شد. نتایج حاصل از دو روش نشان داد که فاکتور بارندگی مهم‌ترین فاکتور در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی است. درنهایت برای اعتبار سنجی نقشه به‌دست‌آمده پتانسیل آب زیرزمینی از اطلاعات ۱۰ حلقه چاه، ۳ قنات و ۳چشمه در ناحیه نایبند استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب زیرزمینی، تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، نایبند،AHP، ANP

مقدمه

تقاضای جهانی آب در طول سال‌ها به‌طور قابل‌توجهی افزایش‌یافته است که عمدتاً به دلیل رشد صنعتی شدن، افزایش جمعیت و تغییر سبک زندگی و الگوهای مصرف است (Siva et al., 2017). انتظار می‌رود به دلیل افزایش جمعیت، آب‌های زیرزمینی در آینده باکمبود چشم‌گیری مواجه شود. آب‌های زیرزمینی منبع نهایی آب برای خانوارهای روستایی و شهری کشورهای توسعه‌یافته و همچنین کشورهای درحال‌توسعه جهان بوده است. بااین‌حال، در طول دهه‌های گذشته، بهره‌برداری بیش‌ازحد مجاز، از منابع آب زیرزمینی جهانی، به دلیل تغییرات آب و هوایی که رخ‌داده، آن‌ها را تحت‌فشار فوق‌العاده‌ای قرار داده است(Arulbalaji et al., 2019).

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، که از سویی به دلیل میزان بارندگی کم و سوی دیگر به دلیل تنوع زمانی و مکانی بارش در نقاط مختلف کشور می‌باشند (Teimouri & Bazrafshan, 2017). به دلیل محدودیت منابع آبی و توزیع نامناسب بارش در کشور، در ابتدا باید موجودی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور را به‌خوبی مطالعه و شناسایی کرد تا بتوان برنامه‌ریزی مناسبی برای بهره‌برداری درست از آن‌ها صورت گیرد. علاوه بر این‌ها بهره‌گیری از فناوری‌های نو و جدید مانند مدل‌سازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای با توجه به ویژگی‌هایی مانند: سرعت و دقت بالا و دید یکپارچه می‌توان به‌عنوان ابزار مناسب در کشف منابع آبی با توجه به

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، بیرجند، ایران
۳- دکترای مهندسی محیط زیست، مدیرعامل شرکت Inter 3، آلمان
(*- نویسنده مسئول: Email: amir.khazaei@birjand.ac.ir)

هزینه‌های بالای روش‌های سنتی مطرح شود (مفیدی‌فر، اصلاح و حسن آبادی، ۱۳۹۴). ازآنجایی‌که آب‌های زیرزمینی ماهیتی پویا دارند، می‌تواند مجموعه داده‌های متنوعی را در یک منطقه غیرقابل دسترسی بزرگ فراهم کند که می‌توان آن را به‌طور کارآمد بر روی یک چارچوب GIS مدیریت و تحلیل کرد.

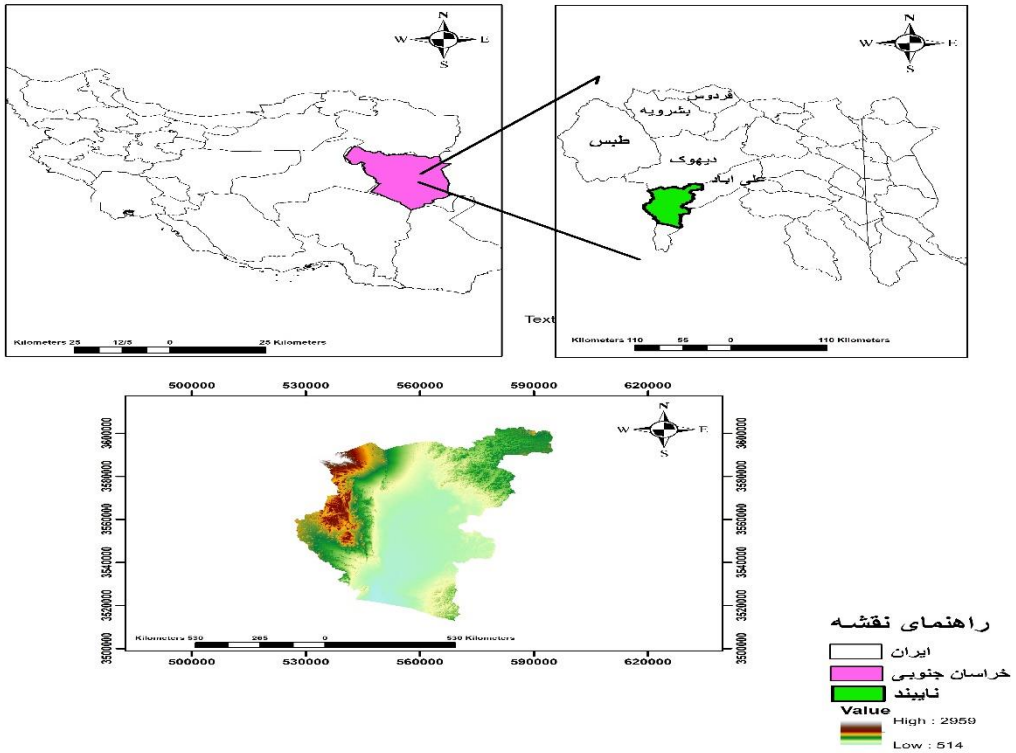
تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) فرآیندی است که بر اساس قضاوت، مقایسه و تجزیه‌وتحلیل صورت می‌گیرد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[1] برای MCDM[2] در دهه‌های اخیر به‌طور موفقیت‌آمیز و گسترده‌ای مورداستفاده قرارگرفته است (Kaliraj et al., 2014). یکی از روش‌های تصمیم‌گیری در موضوعات مختلف، بررسی معیارهای مختلف درگیر و مؤثر در آن موضوع است. در این تصمیم‌گیری‌ها به‌جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی از چندین معیار سنجش ممکن است استفاده گردد که به دودسته کلی چندهدفه MODM[3] و چند شاخصه MADM[4] تقسیم می‌شوند. روش‌های جبرانی، مشتمل بر روش‌هایی از چند شاخصه است که در آن‌ها بین معیارها تبادل صورت می‌گیرد. ازجمله روش‌های جبرانی می‌توان روش مجموع ساده وزنی[5]، تاپسیس[6]، پرومته[7]، الکتر[8]، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[9] و فرآیند تحلیل شبکه‌ای[10] را نام برد. اساس روش تحلیل سلسله مراتبی توانایی در تجزیه‌وتحلیل یک مسئله تصمیم‌گیری با یک ساختار رده‌ای است(رحیمی، سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۸). مطالعات متعددی در این زمینه در داخل و خارج از کشور انجام‌شده است. ازجمله: داودآبادی، فراهانی و آقاجانی در سال ۱۳۹۲ به تعیین پتانسیل‌یابی مناطق مستعد وجود سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور به کمک مدل تلفیق همپوشانی شاخص وزن‌دار پرداختند و سپس از داده‌های چاه‌های فعال موجود در منطقه جهت اعتبار سنجی نقشه نهایی تولیدی استفاده کردند که نقشه ترسیمی به کمک سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دارای صحت بالایی ازنظر مطابقت با موقعیت چاه‌های آب منطقه دارد لذا از این روش جهت تعیین مناطق دارای سفره آب زیرزمینی استفاده کردند. میری و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی اقدام به پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان با استفاده از کاربرد توابع تحلیلی در محیط GIS کردند. در این پژوهش نقشه پهنه‌بندی آب زیرزمینی دشت دهگلان در ۵ کلاس با پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. برای واسنجی مدل از موقعیت چاه‌های پیتزومتری و موقعیت خطواره‌ها استفاده شد که همپوشانی وزنی نتایج قابل‌قبول‌تری را ارائه داد. چوهری و همکاران ادغام تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش‌ازدور و تصمیم‌گیری چند معیاره را برای شناسایی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در منطقه مدینیپور[11] غربی واقع در استان بنگال غربی در هند پیشنهاد دادند. آن‌ها برای این پژوهش از تصویرسازیIRS-1D و داده‌های متعارف، که شامل لایه‌های اطلاعاتی ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، تراکم زهکشی، شیب و قابلیت هدایت آکیفر می‌باشد، استفاده کردند که با وزن دهی لایه‌ها به روش تحلیل سلسه‌مراتبی و نرمال‌سازی اوزان، لایه‌ها را در محیط GIS ادغام کرده و به نقشهٔ مناطق مناسب جهت تغذیهٔ مصنوعی دست یافتند (Chowdhury et al., 2019).آگاروال و همکاران با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای در منطقه اونائوی کشور هندوستان به‌کارگیری آبی آب‌های زیرزمینی را انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که حدود ۲۵ درصد از منطقه پتانسیل خیلی خوب و خوب ازنظر آب زیرزمینی دارد (Agarval et al., 2013). ماکونیو و مصابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) بر اساس تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و باهدف شناسایی مناطق تغذیه بالقوه آب زیرزمینی (GPRZ) آبخوان نیمه‌خشک میدلندهای شکسته مانیارا[12] را پتانسیل‌یابی کردند (Makonyo and Msabi, 2021) هدف اصلی این پژوهش پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی نایبند طبس با استفاده از روش AHP و ANP در محیط GIS است. مطالعه حاضر بر شناسایی مناطق بالقوه آب زیرزمینی با استفاده از سنجش‌ازدور، GIS و تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از روش AHP و ANP می‌پردازد. فرآیند و یافته‌های این مطالعه همچنین می‌تواند برای بهبود برنامه های بهره‌برداری بالقوه از منابع آب زیرزمینی در سایر مناطق با شرایط زمین‌شناسی، هیدروژئولوژیکی و محیطی یکسان مورداستفاده قرار گیرد. این روش در مقایسه با روش‌های ژئوفیزیک و گمانه‌زنی بسیار کم‌هزینه‌تر و سریع‌تر نیز است. همچنین این مطالعه در تدوین راهبردهای مناسب برای مدیریت منابع آب زیرزمینی مخصوصاً در مناطق خشک که با محدودیت منابع آب روبه‌رو هستند نیز مفید خواهد بود و می‌تواند تا حد بالایی جایگزین مناسبی برای راه‌حل‌های

1- Analytical Hierarchy process
2- Multi Criteria Decision Making
3-Multiple Objective Decision Making
4- Multiple Attribute Decision Making
5- Technique of Order
6- Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution
7- Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations; Romethe
8- Electre
9- Analytical Hierarchy Process; AHP
10- Analytic Network Process; ANP
11- Medinipur
12- Manyara

سازه‌ای همانند انتقال آب بین‌حوزه‌ای گردد.

معرفی منطقه موردمطالعه

نایبند، در حاشیه غربی کویر لوت در شرق ایران در یکی از جنوبی‌ترین نقاط شهرستان طبس واقع در خراسان جنوبی قرار دارد. این روستا در ۲۲۰ کیلومتری جنوب شهر طبس (مرکز شهرستان) و به فاصلهٔ ۲ کیلومتری جادهٔ کرمان به خراسان قرار دارد که در شکل ۱ قابل مشاهده است، هم‌چنین از مدل رقومی ارتفاع منطقه در نقشه موردمطالعه استفاده شد. نایبند روستایی در طول جغرافیایی ´۲۹ °۵۴ و عرض جغرافیایی ´۱۵ °۳۲ از توابع دهستان کویر شهرستان طبس است. منطقه نایبند جزء مناطق کویری با آب‌وهوای خشک و قاره‌ای محسوب می‌شود که نوسانات درجه حرارت شبانه‌روزی و ماهیانه آن زیاد است. اغلب ماه‌های سال خشک یا کم باران بوده و معمولاً در فصل زمستان و اوایل فصل بهار باران نسبتاً کمی است. در منطقه موردمطالعه رودخانه‌هایی با جریان دائمی وجود نداشته ولی رودخانه-های متعدد فصلی که معمولاً جریان آب در آن‌ها به هنگام بارندگی به‌صورت سیلاب است دیده می‌شود. همچنین دشت نایبند با ارتفاع ۱۰۹۵متر از سطح دریا قرارگرفته است.



شکل ۱- محدوده موردمطالعه

بررسی عامل‌های مؤثر در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی

برای انجام عملیات مکان‌یابی توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور باید اطلاعات و لایه‌ها را از منابع مختلف با فرمت‌ها قابل شناخت توسط نرم‌افزار جمع‌آوری کرد و سپس لایه‌های مناسب را تهیه و تجزیه‌وتحلیل کرد. در این پژوهش از ۸ عامل تأثیرگذار شامل شیب زمین، ژئومورفولوژی، خاک، گسل(خطواره)، پوشش زمین، بارندگی، عمق آب زیرزمینی و تراکم آبراهه و نزدیکی به آب سطحی استفاده شد. در ادامه به ماهیت لایه‌ها اشاره می‌شود. لازم به ذکر است که پایه نقشه‌های استفاده‌شده ازجمله: نقشه آبراهه، خاک، رقومی ارتفاع، ژئومورفولوژی، خطوط گسل، کاربری اراضی، بارش و خطوط هم عمق این تحقیق، مربوط به برنامه آمایش استان خراسان جنوبی و از اداره محیط‌زیست استان با فرمت shp. گرفته‌شده است(نگارندگان، ۱۴۰۲).

تراکم آبراهه و نزدیکی به آب سطحی

یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در پتانسیل‌یابی و اکتشافات منابع آب مشخصات ژئوهیدرولوژی هر آبخوان است دراین‌بین آبراهه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع تغذیه‌کننده آب زیرزمینی محسوب می‌شوند. ارتباط تراکم آبراهه‌ای بانفوذ پذیری یک آبخوان معکوس است به‌نحوی‌که هرچه تراکم بیشتر باشد رواناب بیشتر می‌شود(رحیمی و موسوی، ۲۰۱۳). نقشه تراکم زهکشی با ابزار Line Density تهیه شد. با ارزش‌گذاری در محیط ArcGIS طبقه اول دارای کم‌ترین ارزش و با

افزایش تراکم زهکشی، اهمیت و وزن پهنه‌ها افزایش می‌یابد. علاوه بر پارامتر تراکم آبراهه، به تحلیل فاصله از آبراهه پرداخته‌شده است. بنابراین از دستور Distance در نرم‌افزار ArcGIS استفاده‌شده و منطقه در هشت دسته طبقه‌بندی شد. فواصل مجاور آبراهه به دلیل دسترسی به آب سطحی و نفوذ بیشتر، پتانسیل بیشتری دارند.

خاک

رده‌بندی خاک به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی بررسی می‌شود. بافت خاک وابستگی معناداری با نفوذپذیری دارد و با تغییر بافت به سمت رس و سیلت میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد(ظاهری، محمودآبادی و رشیدی کوچی، ۱۳۹۱). بر همین اساس نقشه دشت نایبند را بر اساس بافتی که وجود دارد به چهار دسته خیلی سبک، سبک، متوسط (لومی سیلتی) و سنگین (رس سیلتی) طبقه‌بندی شد و به خاک‌هایی که بافت سبک‌تری دارند امتیاز بیشتری اختصاص داده شد.

شیب

پارامتر شیب از فاکتورهای مؤثر بر پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی هستند که نقش مهمی در ضریب رواناب و نفوذپذیری دارد. این فاکتور درشیب هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نقش مؤثری دارند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین به‌منظور تهیه نقشه‌های شیب منطقه در محیط Arc Map از مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوزه استفاده شد. امتیازبندی و کلاس‌بندی شیب به‌گونه‌ای است که هرچه شیب کمتر باشد، مکان‌ها از ارزش بیشتری برخوردار است.

ژئومورفولوژی

یکی از بررسی‌های مهم در مطالعه آب زیرزمینی و درنتیجه کارست‌ها، وضعیت ژئومورفولوژیکی منطقه است، زیرا گسترش کارست نیازمند وجود شرایط مناسب ژئومورفولوژیکی است(اصغری و ریاحی نیا، ۱۳۹۹). ژئومورفولوژی با تشکیل لندفرم‌های سطحی سروکار دارد که تا حدی حرکت و وقوع آب‌های زیرزمینی را کنترل می‌کند (Kumar and Sensing, 2020). نقشه ژئومورفولوژی به سه دسته دشت، مراتع با شیب متوسط و اراضی با شیب تند طبقه‌بندی شدند. دشت‌ها با توجه به تأثیری که در نفوذپذیری و منابع آب زیرزمینی دارند از درجه اهمیت بالایی برخوردارند و در این پژوهش بالاترین وزن به آن‌ها اختصاص یافت.

خطواره(گسل)

افزایش تراکم درزه و گسل‌ها به‌طورکلی اهمیت زیادی در نفوذ و انتقال آب زیرزمینی دارد و به‌این‌ترتیب برای استخراج، حفاظت آب و پراکندگی مواد آلاینده مهم است (Prasad et al., 2008). تراکم خطواره‌ها می‌تواند به‌طور غیرمستقیم نشان‌دهنده مناطق مستعد آب-های زیرزمینی باشد. نواحی با تراکم بالا نواحی مناسبی ازلحاظ آب-های زیرزمینی شمرده می‌شود(عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴).

پوشش زمین

کاربری اراضی یک ویژگی مهم از فرآیند رواناب که نفوذ، فرسایش خاک و تبخیر و تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گینتامو[1] (۲۰۱۰)کاربری‌های مختلف می‌تواند در میزان نفوذ آب دخیل باشد (Gintamo, 2010). نقشه منطقه نایبند به ۶ طبقه مناطق بایر، شوره‌زار، کشاورزی، مراتع فقیر، میان‌دامنه و صخره تقسیم شدند. در این تقسیم‌بندی به مناطق بایر و شوره‌زار بیش‌ترین امتیاز و به صخره کم‌ترین امتیاز داده شد.

بارندگی

لایه بارش منطقه یکی دیگر از لایه‌های اثرگذار در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی است. این نقشه از مجموع باران در ۲۰ سال اخیر با استفاده از ابزار Kriging در Arc GIS 10.8 تهیه شد. نقشه بارش منطقه نایبند بر اساس میزان بارش منطقه ۵ طبقه تقسیم شد و به میزان بارش بیش‌تر امتیاز بالاتری داده شد.

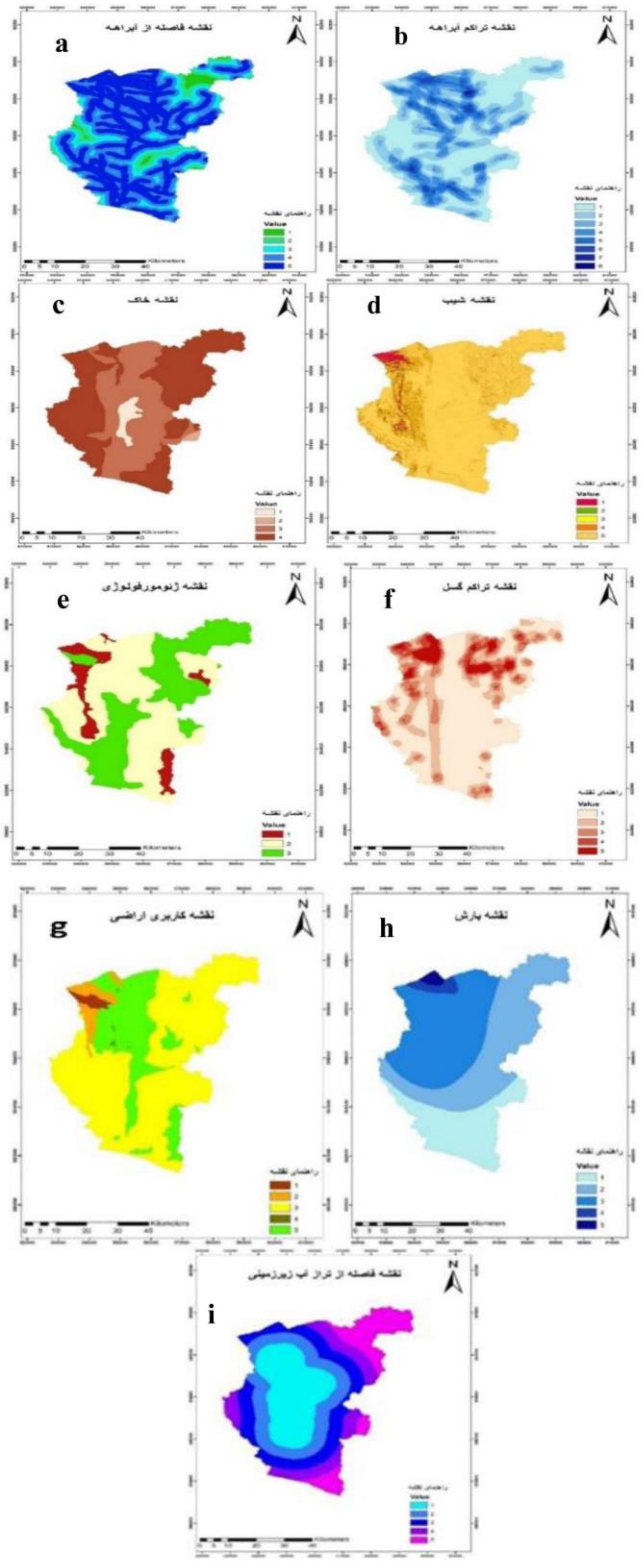
عمق آب زیرزمینی

نقشه هم عمق آب زیرزمینی که از آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی گرفته شد. سپس با استفاده از دستور Euclidean Distance در Arc GIS 10.8 نقشه فاصله از تراز آب زیرزمینی به دست آمد و به ۵ دسته طبقه‌بندی شد. ملاک امتیازدهی همان‌طور که مشخص است هرچقدر از هم عمق فاصله می‌گیریم امتیاز کمتری داده می‌شود.

ابزارها و نرم‌افزارهای مورداستفاده:

به‌منظور جمع‌آوری، پردازش، تجزیه‌وتحلیل و مدل‌سازی داده‌های مختلف و تهیه و تدوین این پژوهش با توجه به روش مورداستفاده در پژوهش حاضر از ابزارهای مختلف ذیل استفاده‌شده است Super Decisions, ARC GIS 10.8, Expert Choice 11.

1- Gintamo



شکل ۲- نقشه‌های ارزش‌گذاری شده؛ a نقشه فاصله از آبراهه، b نقشه تراکم آبراهه، c نقشه خاک، d نقشه شیب ، e نقشه ژئومورفولوژی، f نقشه تراکم گسل، g نقشه کاربری اراضی، h نقشه بارش، i نقشه فاصله از تراز آب زیرزمینی

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی (حبیبی و ایزدیار و سرافرازی، ۱۳۹۳)

مقدار عددی	وضعیت ترجیحات i نسبت به j	توضیحات
۱	ترجیح یکسان	عنصر i و j اهمیت برابر دارند.
۳	کمی مرجح	عنصر i از j اهمیت کمی مهم‌تر است.
۵	خیلی مرجح	عنصر i از j اهمیت مهم‌تر است.
۷	خیلی زیاد مرجح	عنصر i از j اهمیت خیلی مهم‌تر است
۹	کاملاً مرجح	عنصر i از j اهمیت کاملاً مهم‌تر است
۸-۶-۴-۲	بینابین	ارزش‌های بینابین را نشان می‌دهد.

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP

تکنیکAHP به‌عنوان یکی از تئوری‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، توسط آقای ساعتی ابداع و اولین نرم‌افزار مربوط به آن، به نام اکسپرت چویس[1] در سال ۱۹۹۵ تولید گردید. در این روش معیارها باهم مقایسه شده و به هریک نسبت به دیگری نمره‌ای داده می‌شود .سپس یک ماتریس n×n (n تعداد معیارهاست) که در سطر و ستون آن هریک از معیارها وجود دارند تشکیل می‌شود. در این مرحله عدد موجود در سطرi و ستون j نشانگر برتری نسبی معیار i نسبت به معیار j است و AHP با استفاده از قطری کردن ماتریس مذکور، وزن هریک از معیارها را مشخص می‌نماید (Saaty, 1996). در این مطالعه ابتدا لایه‌های اطلاعاتی شامل: ارتفاع توپوگرافی، شیب زمین، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، خاک، بارندگی سالانه، نزدیکی به آب-های سطحی، عمق آب زیرزمینی،کاربری اراضی (پوشش زمین)، سنگ‌شناسی، خطواره و آبراهه در نظر گرفته می‌شوند و سپس پرسش‌نامه‌ای تحت عنوان مقایسه زوجی این معیارها تهیه شد. با استفاده از نظرات ۲۰ نفر از اساتید دانشگاه بیرجند (گروه علوم و مهندسی آب و زمین‌شناسی) برای هر معیار رتبه‌ای در نظر گرفته می شود. سپس برای تکنیکAHP (فرایند سلسله مراتبی تحلیلی) وزن لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار اکسپرت چویس تعیین‌شده و نرمال‌سازی می‌شوند. درنهایت، نقشه‌های موضوعی انتخاب‌شده به روش ترکیبی خطی وزنی در یک محیط GIS برای تولید نقشه پتانسیل آب زیرزمینی ادغام می‌شوند (Machiwal, Jha, & Mal, 2011).

روش فرآیند تحلیل شبکهANP

فرایند تحلیل شبکه که در مجموعه مدل‌های جبرانی قرارگرفته یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. این مدل "شبکه" را جایگزین "سلسله‌مراتب" کرده و بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی طراحی‌شده است. در فرایند تحلیل سلسله‌مراتب بخش‌ها و شاخه‌های بالاتر سلسله مستقل از بخش‌ها و سطوح پایین-تر است. درصورتی‌که در فرایند تحلیل شبکه بخش‌ها و سطوح با همدیگر ارتباط متقابلی دارد (فرجی سبک‌بار و همکاران، ۱۳۹۱). فرآیند تحلیل شبکه‌ای هر موضوع و مسئله‌ای را به‌صورت شبکه‌ای از هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع‌بندی شده‌اند، در نظر می‌گیرد. به‌عبارت‌دیگر، در یک شبکه، بازخورد و ارتباط متقابل بین خوشه‌ها امکان‌پذیر است(رحیمی، سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۸)(شکل ۲).

محاسبه نرخ سازگاری ماتریس مقایسات زوجی معیارها

نرخ ناسازگاری شاخصی است که نشان می‌دهد چه میزان مقایسه‌های زوجی انجام‌شده باهم سازگاری دارند. مقایسه‌های زوجی توسط خبرگان صورت می‌گیرد و در صورتی می‌توان به نتایج مقایسه‌ها اعتماد کرد که این مقایسه‌ها سازگار باشند. وزن‌های اختصاص داده‌شده فقط زمانی سازگار خواهند بود که نسبت سازگاری برابر و یا کمتر از ٪ ۱۰ باشد؛ در غیر این صورت وزن‌ها باید در جهت کاهش ناسازگاری مجدداً ارزیابی و تخمین زده شود (Saaty, 1996).

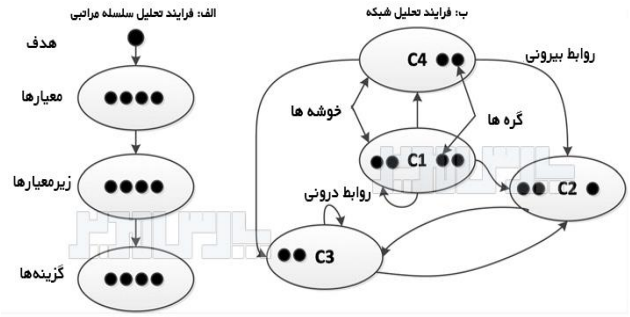
بحث

وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی درروش AHP

همان‌طور که گفته شد با استفاده از نظرات ۲۰ نفر از اساتیدوخبرگان متخصص درزمینهٔ آب و ۲۰ نفر از واجدان شرایط در ارگان‌های مربوطه مانند: آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی و شرکت آب و فاضلاب استفاده شد. برای هر معیار رتبه‌ای در نظر گرفته شد. جهت مقایسه زوجی و تعیین وزن لایه‌های اطلاعاتی برای روش AHP از نرم‌افزار Expert Choice استفاده‌شده است. میزان اهمیت معیارهای مقایسه شده را می‌توان از مقایسه زوجی معیار و گزینه‌ها مشخص نمود.

تفسیر وزن‌های به‌دست‌آمده در این نرم‌افزار نشان‌دهنده این است که معیار بارندگی با وزن ۰/۳۱۲ بیش‌ترین و معیار شیب با وزن ۰/۰۴۹ کم‌ترین اهمیت و تأثیر را دارد. میزان موردقبول نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی این معیارها باید کمتر از ۰/۱ باشد با توجه به نتایج حاصل نرخ ناسازگاری در این بخش ۰/۰۹ به دست آمد که درشکل ۳ قابل مشاهده است.

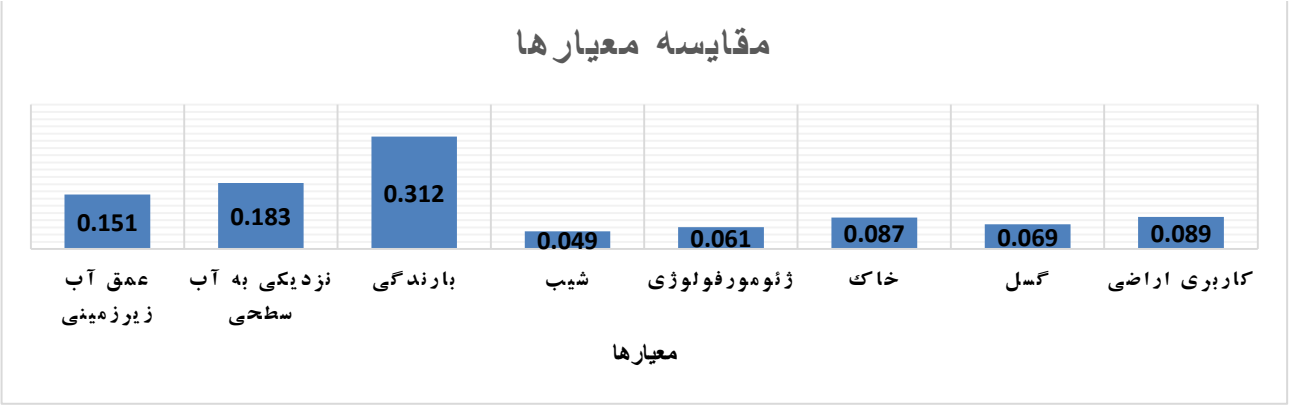
1 Expert Choice



شکل ۲- الف: فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ب: فرایند تحلیل شبکه

جدول ۱. مقایسه زوجی معیارها

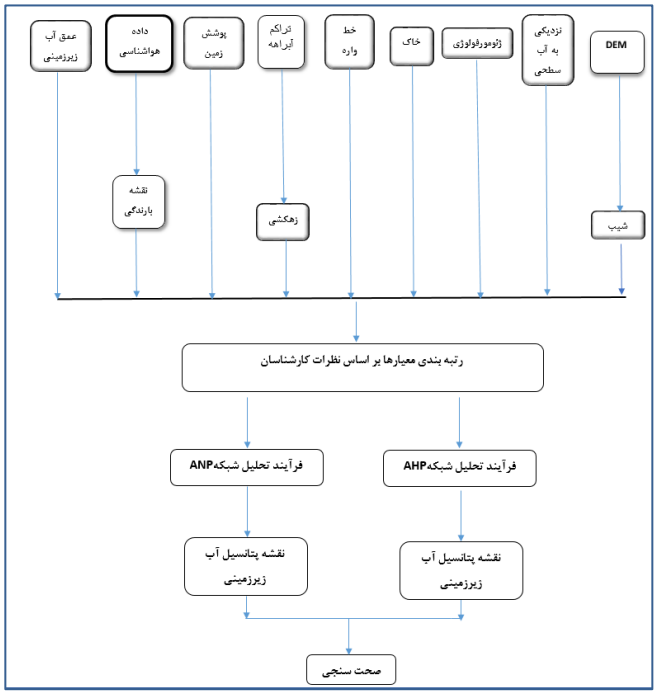
	عمق آب زیرزمینی	نزدیکی به آب سطحی	بارندگی	شیب	ژئومورفولوژی	خاک	گسل	کاربری اراضی
عمق آب زیرزمینی	۱	۱,۲	۱,۲	۴	۳	۲	۳	۲
نزدیکی به آب سطحی	۲	۱	۱,۲	۳	۳	۲	۳	۳
بارندگی	۲	۲	۱	۷	۵	۵	۵	۴
شیب	۱,۴	۱,۳	۱,۷	۱	۱	۱,۴	۲	۱,۵
ژئومورفولوژی	۱,۳	۱,۳	۱,۵	۱	۱	۲	۱,۲	۱,۲
خاک	۱,۲	۱,۲	۱,۵	۴	۱,۲	۱	۲	۱
گسل	۱,۳	۱,۳	۱,۵	۱,۲	۲	۱,۲	۱	۲
کاربری اراضی	۱,۲	۱,۳	۱,۴	۵	۲	۱	۱,۲	۱



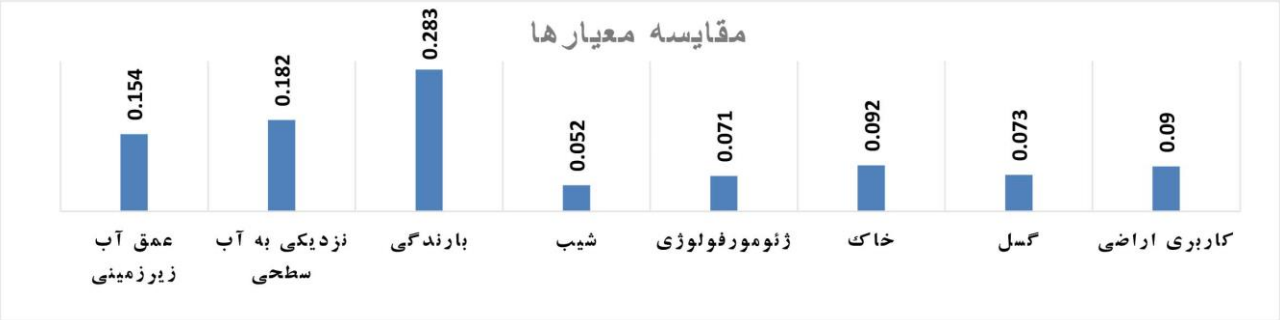
شکل ۳- مقایسه‌ی زوجی معیارها بر اساس وزن نرمال شده به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Expert Choice

وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی درروش ANP

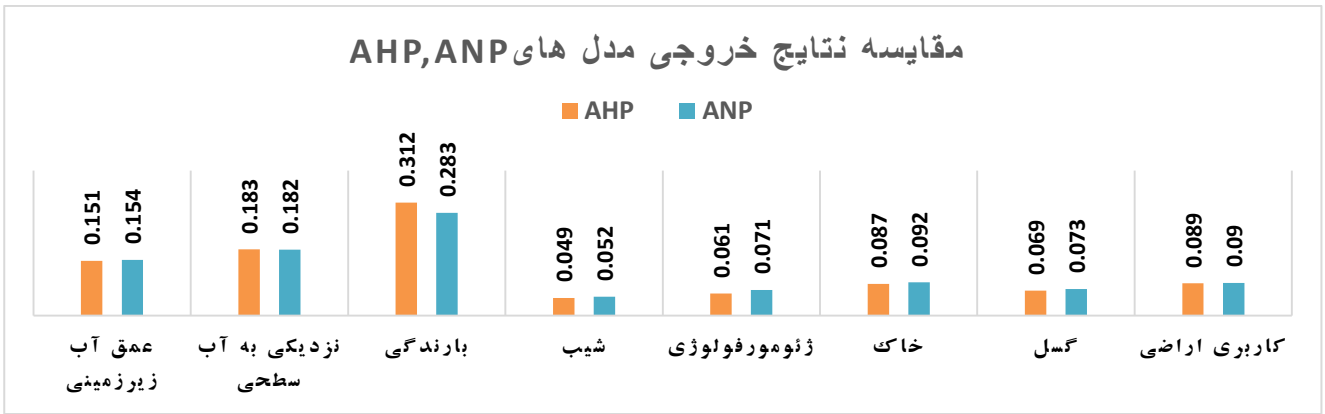
برای وزن دهی درروش ANP نیز از نظرات ۲۰ نفر اساتیدوخبرگان متخصص درزمینه‌ی آب و ۲۰ نفر از واجدان شرایط در ارگان‌های مربوطه مانند: آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی و شرکت آب و فاضلاب استفاده شد. برای هر معیار رتبه‌ای مشابه روش AHP در نظر گرفته شد. برای به دست آوردن وزن معیارهای مشخص درروش ANP از نرم‌افزار سوپر دسیژن استفاده شد. برای این کار رتبه‌هایی که توسط کارشناسان و اساتید برای معیارهای مختلف که درروش AHP مشخص شد، در نرم‌افزار وارد شد و درنتیجه نرم‌افزار وزن نهایی هر معیار را مشخص می‌کند. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده می‌شود، در این پژوهش معیار بارندگی با وزن ۰/۲۸۳ بیشترین تأثیر و شیب با ۰/۵۲کمترین اثر را در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی دارد.



شکل ۵- روند انجام پژوهش(نگارندگان، ۱۴۰۲)



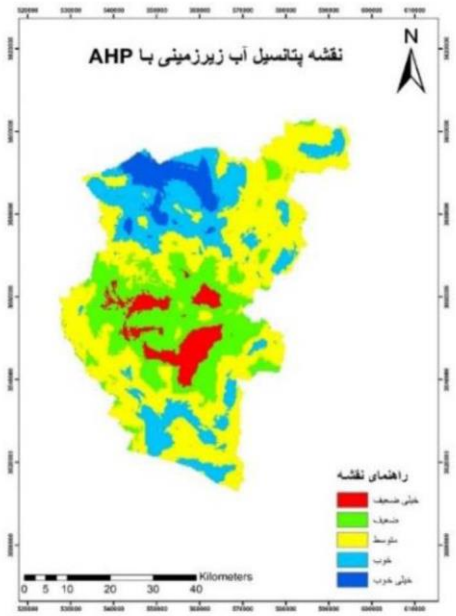
شکل ٤- مقایسه‌ی زوجی معیارها بر اساس وزن نرمال شده به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Super Decisions



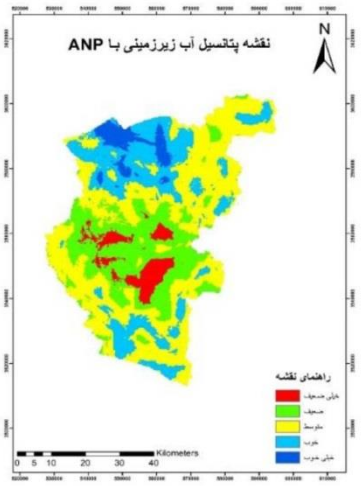
شکل ۵- نمودار مقایسه نتایج خروجی مدل‌های AHP,ANP

شناسایی پهنه‌های مستعد پتانسیل آب زیرزمینی با روش **AHP**

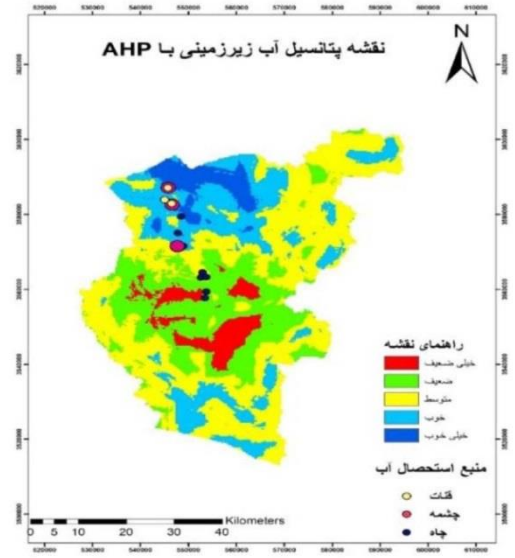
به‌منظور تهیه نقشهٔ پتانسیل آب زیرزمینی با روشAHP، وزن-های به‌دست‌آمده را با یکدیگر با دستورraster calculator درGIS تلفیق و نقشه‌های تهیه‌شده و وزن دهی شده را به روش سلسله مراتبی فازی در محیط روش طبقه‌بندی کمی، نقشه به ۵ طبقه خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف، خیلی ضعیف طبقه‌بندی شد. مناطق مستعد آب زیرزمینی ۵ درصد، مناطق خوب ۲۱ درصد، مناطق متوسط ۴۴درصد، مناطق ضعیف ۲۲ درصد و مناطق خیلی ضعیف ۶ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند(شکل ۶).



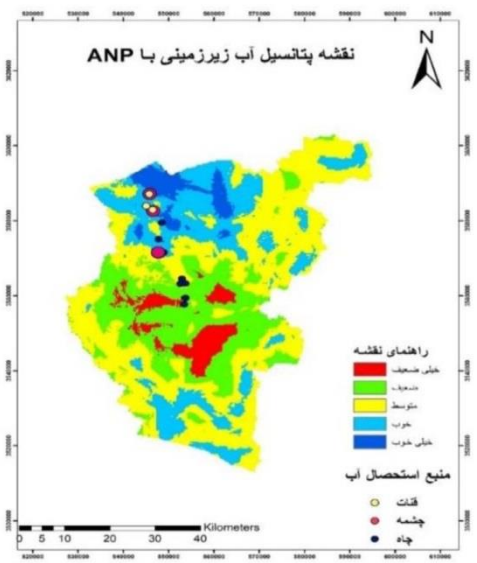
شکل ٦ - نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با روشAHP



شکل ۷- نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با روشANP



شکل ۱۰- موقعیت چاه‌های موجود روی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با روش AHP



شکل ۱۱- موقعیت چاه‌های موجود روی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با روش ANP

جدول ۳- اطلاعات چشمه‌های استفاده در صحت‌سنجی (شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، ۱۴۰۱)

نام چشمه	نام شهرستان	نام محدوده	سال آمار	میانگین دبی(L/S)
دیگ رستم۲	طبس	نایبند	۱۳۹۸	۲/۲۷۵
دیگ رستم ۱	طبس	نایبند	۱۳۹۸	۲/۱۵
آب رضا	طبس	نایبند	۱۳۹۸	۰/۰۴۵

شناسایی پهنه‌های مستعد پتانسیل آب زیرزمینی با روشANP

به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با روشANP، وزن-های به‌دست‌آمده را با یکدیگر با دستورraster calculator درGIS تلفیق و نقشه‌های تهیه‌شده و وزن دهی شده را به روش سلسله مراتبی فازی در محیط روش طبقه‌بندی کمی، نقشه به ۵ طبقه خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف، خیلی ضعیف طبقه‌بندی شد. مناطق مستعد آب زیرزمینی ۴ درصد، مناطق خوب ۲۲ درصد، مناطق متوسط ۴۵ درصد، مناطق ضعیف ۲۳ درصد و مناطق خیلی ضعیف ۵ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۷).

صحت سنجی

برای سنجش اعتبار نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی از موقعیت چاه، قنات و چشمه منطقه استفاده شد، که در شکل و شکل مشاهده می‌شود. طبق اطلاعات تعداد ۱۰ حلقه چاه، ۳ عدد قنات و۳ چشمه وجود دارد که بخش قابل‌توجهی از منابع حاصل‌شده از آب زیرزمینی در ناحیه خیلی خوب ازنظر پتانسیل آب زیرزمینی قرار گرفت که این موضوع نشان‌دهندهٔ صحت بالای نتایج پژوهش در به کار بردن تکنیک‌های سنجش‌ازدور، GIS، AHP و ANP در پتانسیل‌یابی آب های زیرزمینی است.

نتیجه‌گیری

با توجه به توانایی‌های بالای نرم‌افزار Arc GIS درزمینهٔ مسائل مکانی و جغرافیایی با استفاده از واردکردن داده‌های مؤثر در شناسایی آب‌های زیرزمینی به کمک سایر منابع مانند نقشه‌های موضوعی، برداشت‌های زمینی و یا خروجی‌های سایر نرم‌افزارها مانند ENVI به محیط GIS می‌توان مناطقی با پتانسیل بالای آب زیرزمینی را به‌وسیله تجزیه‌وتحلیل آن‌ها با دقت قابل‌قبول تعیین کرد و به این طریق بازدیدهای میدانی برای حفر چاه‌ها و یا سایر استفاده-های آب زیرزمینی را به این مناطق محدود نمود و درنتیجه در صرف هزینه‌ها و زمان صرفه‌جویی کرد. باید به این نکته توجه داشت که نتایج حاضر با توجه به بضاعت داده‌ای موجود و نقشه‌های در دسترس فراهم‌شده است. به‌طوری‌که بیشترین محدودیت داده در خصوص نقشه‌های ژئومورفولوژی و خاک و پوشش زمین بوده است که کمترین

دقت را داشته‌اند. با توجه به اینکه دراین‌بین نقش معیارهای ژئوموفولوژی و خاک در این تحقیق به اثبات رسیده است (علی‌الخصوص با توجه به کمبود و نقص داده گفته‌شده). بنابراین نقشه‌ی نهایی پتانسیل آب زیرزمینی می‌تواند تا حدودی لااقل در مناطق شمال شرقی و جنوب غربی منطقه موردمطالعه دستخوش تغییراتی شود. همچنین مطمئناً یکی از بهترین روش‌های صحت سنجی نقشه نهایی تولیدشده، استفاده از داده‌های ژئوفیزیک است که در این منطقه در دسترس نبود تا بتوان وجود آبخوان در مناطق گفته‌شده را با دقت و اطمینان بالاتر تعیین کرد. تنها نقشه مورداستفاده جهت صحت سنجی نقشه چاه، چشمه و قنات موجود منطقه است که آن‌هم به دلیل کم بودن داده از دقت بالایی برخوردار نیست. با تلفیق لایه‌های اثرگذار بر تمرکز آب زیرزمینی محدوده موردمطالعه ازنظر وجود ذخایر آب زیرزمینی پتانسیل‌یابی شد. نتایج نشان می‌دهد که با روشAHP حدود ۵ درصد از مساحت محدوده و با روشANP حدود ۴ درصد پتانسیل خیلی خوبی در این زمینه دارد که این مناطق بیشتر در شمال غربی منطقه قرار دارند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از صحت سنجی روش ANP وAHP ضمن تائید کاربرد این روش در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، نشان‌دهنده کارایی نسبتاً دقیق این روش در امر تصمیم‌گیری است و نیز امکان مطالعات اکتشافی جدیدی را جهت تأمین منابع آبی در محدوده‌های شناسایی‌شده با پتانسیل خوب و خیلی خوب به وجود می‌آورد.

منابع

اصغری، ص. و ریاحی نیا، م. (۱۳۹۹). پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی در دشت خرم‌آباد با استفاده از دو روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، ۹(۲)، ۱۴۱-۱۵۸.

حبیبی و ایزدیار و سرافرازی. (۱۳۹۳). تصمیم گیری چندمعیاره فازی. انتشارات کتیبه گیل. ۱۷۱ص.

رحیمی، د. و موسوی، س. (۱۳۹۲). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شاهرود-بسطام). جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۴۴(۱۷): ۱۳۹-۱۵۹.

عزیزی، احمد. (۱۳۹۴). شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در دشت بیرجند. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه زابل.

فرجی‌سبکبار، ح.، رفیعی، ی.، نصیری، ح.،حمزه، م.، طالبی، س. و رفیعی، ی. (۱۳۹۱). تعیین عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی بر پایه‌ی تلفیق روش‌های ANP و مقایسه زوجی در محیط GIS ، مطالعه موردی دشت گربایگان فسا. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی،۲۲(۴): ۱۴۳-۱۶۶.

مظاهری، م.، محمودآبادی، م. و رشیدی کوچی، ز. (۱۳۹۱). بررسی نقش برخی خصوصیات خاک برشدت نفوذ آب در شرایط طبیعی. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب.

مفیدی فر، م.، اصلاح، م. و حسن‌آبادی، ع. (۱۳۹۴). مقایسه مدل‌های تصمیم‌گیری تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حوضه دشت یزد – اردکان در محیط GIS، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۶(۱): ۱۴۹-۱۵۶.

میثم داودآبادی، ف. و حمید، آ. (۱۳۹۲). پتانسیل‌یابی مناطق مستعد وجود سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور به کمک مدل تلفیق همپوشانی شاخص وزن‌دار .کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری.

میری، ادریس. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی با استفاده از کاربرد توابع تحلیلی GIS (مطالعه موردی:دشت دهگُلان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز.

رحیمی، ه.، سلمان ماهینی، ع. کامیاب، ح. (۱۳۹۸). مقایسه روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)در آمایش سرزمین به روش اختصاص چندهدفه زمین (MOLA).

Agarwal, E., Agarwal, R., Garg, R. D. and Garg, P. K. (2013). Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. Journal of earth system science. 122: 887-898 .

Arulbalaji, P., Padmalal, D. and Sreelash, K. (2019). GIS and AHP techniques based delineation of groundwater potential zones: a case study from southern Western Ghats, India. Scientific reports. 9(1): 2082 .

Chowdhury, A., Jha, M., Chowdary, V. and Mal, B. (2009). Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater potential in West Medinipur district, West Bengal, India. International Journal of Remote Sensing. 30(1): 231-250 .

Gintamo, T. 2010. Groundwater potential elevation based on integrated GIS and Remote Sensing techniques. Bilate River catchment: South Rift Valley of Ethiopia.

aquifer, North-Eastern Tanzania. Remote Sensing Applications: Society and Environment. 23: 100544 .

Prasad, R., Mondal, N., Banerjee, P., Nandakumar, M., & Singh, V. 2008. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. Environmental geology. 55: 467-475 .

Saaty, T. L. (1996). Decision making with dependence and feedback: The analytic network process (Vol. 4922): RWS publications Pittsburgh.

Siva, G., Nasir, N. and Selvakumar, R. (2017). Delineation of groundwater potential zone in Sengipatti for Thanjavur district using analytical hierarchy process. Paper presented at the IOP conference series: Earth and environmental science.

Teimouri, F. and Bazrafshan, O. (2017). Analysis of temporal distribution of rainfall in Iran over the past four decades. Geography and Development. 15(48): 171-188.

M. Sc. Thesis of Hydrogeology, University of Addis Ababa .

Kaliraj, S., Chandrasekar, N. and Magesh, N. (2014). Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. Arabian Journal of Geosciences. 7: 1385-1401 .

Kumar, S., & Sensing, I. R. 2020. Indian Space Research Organisation. Hands-on. 1430. 1600 .

Machiwal, D., Jha, M. K. and Mal, B. C. (2011). Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques. Water resources management. 25: 1359-1386 .

Makonyo, M. and Msabi, M. M. (2021). Identification of groundwater potential recharge zones using GIS-based multi-criteria decision analysis: A case study of semi-arid midlands Manyara fractured

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 917-929

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۹۲۹-۹۱۷

Identifying areas with Ground Water Potential Using Multi-Criteria Decision-Making Models, AHP and ANP (case study: Naiband-Tabas plain)

A. Khazai Faiz abad[1], M. Pourreza-Bilondi[2], Sh.Mohajeri[3]
Recived: Apr.16, 2023 Accepted: Aug.01, 2023

Abstract:

Groundwater becomes an important resource in semi-arid and arid regions and areas where access to surface water is limited. In recent years, due to the growth of industrialization, increase in population and change in lifestyle and consumption patterns, it is globally significant. Currently, groundwater accounts for about 34% of the world's total annual water supply and is one of the most important sources of fresh water. Water collection is one of the most important and vital parts of implementing infrastructure and economic projects, which entails a lot of costs, therefore, the evaluation of this matter is for the management of sustainable systems. Groundwater is very important. In this research, influential factors including land slope, geomorphology, soil, fault, land cover, rainfall, depth of underground water, watercourse density and proximity to surface water are used. A questionnaire with the title of comparing two criteria was designed to obtain the opinions of elites and design. In the following, AHP and ANP models are used to calculate the normal weight of underground water potential. At the end, the final map was prepared in the Arc map 10.8 environment. Using AHP and ANP methods, the area was divided into 5 parts: very good, good, medium, poor and very poor. The results of two methods showed that the rainfall factor is the most important factor in determining the potential of underground water. Finally, the information of 10 wells, 3 Qantas and 3 springs in Nayband area was used to evaluate the validity of the obtained map of underground water potential.

Keywords: AHP, ANP, Groundwater potential, Multi-criteria decision analysis, Nayband

1- Master student of water science and engineering, Birjand University, Birjand, Iran
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
3- PhD in environmental engineering, CEO of Inter 3, Germany
(*- Corresponding Author Email:amir.khazaei@birjand.ac.ir)