نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال نهم- شماره ۳۱- زمستان ۱۳۹۴
Vol. 9, No. 31, Winter 2015

پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی با استفاده از روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی (مطالعه موردی: دشت ورامین)

یوسف رزندی[۱]، آرش ملکیان[۲]، شهرام خلیقی سیگارودی[۳] و بهنوش فرخ‌زاده[٤]

تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۱۰/۹ تاریخ پذیرش :۱۳۹٤/۷/۱۱

چکیده

با افزایش جمعیت و نیازهای آبی موجود، ضرورت و اهمیت منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب شیرین، بیش از پیش آشکار می‌شود. در این پژوهش، به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی دشت ورامین از معیارهای تراکم آبراهه‌ای، فاصله از آبراهه، شیب، طبقات ارتفاعی، ضخامت آبخوان، تراز آب زیرزمینی، مقدار بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافی و میزان نفوذپذیری استفاده شده است. نقشه معیارهای مذکور تهیه و به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی، معیارها مربوطه مورد وزن‌دهی قرار گرفتند و با تعیین نرخ تأثیرگذاری برای هر کلاس و استفاده از روش منطق فازی، نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی به دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش روی هم گذاری تهیه شدند و دقت هر روش به کمک چاه‌هایی با آبدهی بالا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با توجه به پیچیدگی‌های هیدروژئولوژیکی موجود در منطقه دقت روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ٦۱ درصد و روش تحلیل سلسله مراتبی ٥٤درصد بوده است. همچنین مناطقی با پتانسیل بالا بیشتر در نیمه شمالی دشت که پوشیده از رسوبات درشت‌دانه دوران کواترنر هستند قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، ضمن صرفه‌جویی در زمان و هزینه، قابلیت مناسبی در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی داراست.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل‌یابی، آب‌های زیرزمینی، روش تحلیل سلسله مراتبی، منطق فازی، دشت ورامین

مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان می باشدکه بعد از یخچال‌ها و پهنه‌های یخی، بزرگترین ذخیره آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهد [۱۰]، به طوری که در بسیاری از کشورهای نواحی خشک و نیمه‌خشک بیش از ۸۰ درصد منابع آبی مورد استفاده را تأمین می‌کند [۲]. در کشور ایران نیز، از آنجا که منابع آب سطحی در بسیاری از مناطق محدود می‌باشد، آب‌های زیرزمینی به عنوان مناسب‌ترین منبع در دسترس جهت تأمین آب مورد نیاز به حساب می‌آید [۲]. شرایط موجود در کشور اعم از قرارگیری در کمربند اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، بارندگی کم (۲۵۰ میلیمتر در سال)، عدم توزیع یکنواخت بارندگی، عدم الگوی کشت مناسب و تأمین ۵۰ درصد آب مصرفی کشور از منابع آب زیرزمینی توجه به این منبع با ارزش را دو چندان می‌کند [۵]. در نتیجه برای مدیریت منابع آب زیرزمینی شناسایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی و مد نظر قرار دادن آن حائز اهمیت می‌باشد. برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب یکی از زیرمجموعه‌های مدیریت منابع تجدید شونده است که در زمینه تصمیم‌گیری، ارتباط زیادی با تصمیم‌گیری‌های چند معیاره دارد [۲۰]. تصمیم‌گیری را می‌توان به عنوان مهم‌ترین چالش پیش روی کارشناسان و تحلیل گران در حل مسائل مختلف دانست. به همین دلیل روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی برای پشتیبانی تصمیم‌گیری طی چند دهه اخیر ارائه شده است. مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی[۵] معمولاً شامل مجموعه‌ای از موقعیت‌های مکانی است که می‌باید بر اساس چندین معیار مختلف ارزیابی شوند. پردازش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سیستم اطلاعات جغرافیایی را می‌توان به منزله فرآیندی که داده‌های مکانی و مقادیر ارزیابی‌ها را باهم ترکیب می‌کند، در نظر گرفت [۱۱]. به عبارت دیگر آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی مدلی مشخص برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌های مکانی ارائه می‌دهد که تحقیقات بسیاری نیز تاکنون روی آن‌ها صورت گرفته [۱۸].

مطالعات متعددی در زمینه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده ازروش تحلیل سلسله مراتبی[٦] سامانه اطلاعات مکانی

---

[۱] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
[۲] نویسنده مسئول و استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
پست الکترونیک: malekian@ut.ac.ir
[۳] استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
[٤] استادیار دانشگاه ملایر

[5] Spatial Multi-Criteria Decision Analysis
[6] Analytical Hierarchy Process

صورت گرفته است به طوری کهسریواستاوا و بهاتاچاریا [۲۵] در پژوهشی به منظور بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی از متغیرهای کاربری اراضی، ژئومرفولوژی، تراکم زهکشی، سنگ‌شناسی و شیب زمین و روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. نتایج اعتبار سنجینشان داد که نقشه حاصل از پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی با نقشه مقاومت سنجی و داده‌های آزمایش پمپاژ همخوانی داشتند.

سیوکی و همکاران]۸ [، برای شناسایی مکان‌های مناسب جهت استحصال آب زیرزمینی از نظر کمی و کیفی در دشت نیشابور از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده کردند، در این پژوهش سه پارامتر افت سطح ایستابی، شوری آبخوان و ضریب انتقال آبخوان مورد بررسی قرار گرفت و به این نتیجه رسیدند که بهترین نواحی برای برداشت آب زیرزمینی، مناطق جنوب شرقی دارای ضخامت زیاد با قابلیت نفوذپذیری بالا می‌باشند.

سیف و کارگر [۲۳] به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز سیرجان با استفاده از روشتحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات مکانی پرداخته‌اند و در نهایت نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی را به کمک سه روشWeighted Overlay، WeightedSum و Raster Calculator برای این منطقه تهیه کردند و به این نتیجه رسیدند که نقشه تهیه شده به کمک روش WeightOverlay از اطمینان بالاتری برخوردار بود.

یوسفی و همکاران [۲۸] نیز جهت ارزیابی وضعیت پتانسیل منابع آب‌های زیرزمینی کوه‌های هزار مسجد از روشتحلیل سلسله مراتبی فازی، تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که تلفیق این روش‌ها، از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و روشی مناسب برای بررسی وضعیت پتانسیل منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

رحیمی و موسوی [۱٦]، جهت پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی در دشت شاهرود، روش سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی را بکار گرفتند و به این نتیجه رسیدند که مناطق دارای حداکثر ارتفاع و مناطقی که دارای ارتفاع کم ولی منطبق بر رس و مارن هستند دارای کمترین پتانسیل جهت استحصال آب می‌باشند و دیگر مناطق دشت دارای پتانسیل آب زیرزمینی قابل قبولی می‌باشد.

صابری و همکاران [۲۲] در راستای پتانسیل‌یابی، ارزیابی و مدیریت آب‌های زیرزمینی در تاقدیس کمستان استان خوزستان با به‌کارگیری روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی و استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری روش تحلیل سلسله مراتبی به بررسی منابع آب زیرزمینی در این منطقه پرداختند و جهت صحت‌سنجی،نتایج بدست آمده با نقشه موقعیت و دبی چشمه‌های منطقه مورد مقایسه قرار گرفتند و به این نتیجه رسیدند که حدود ۵۰٪ منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل خیلی خوب و خوب برای استخراج آب زیرزمینی می‌باشد و همچنین این روش از دقت بالایی برخوردار است که می‌توان از آن برای پتانسیل‌یابی نواحی مختلف و نیز تحقیقات مشابه استفاده شود.

ماچیوال و همکاران [۹] در پژوهشی پتانسیل آب زیرزمینی را با استفاده از پارامترهای شیب، ژئومرفولوژی، زمین‌شناسی، خاک، بارندگی و نزدیکی به منابع آب سطحی و برپایه روش تحلیل سلسله مراتبی مورد پیش‌بینی قرار دادند. نتایج نشان داد که نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شده برای منطقه مورد مطالعه، با اطلاعات حاصل از آزمایش پمپاژ مطابقت داشته و دارای صحت قابل قبولی می‌باشد.

آدیات و همکاران [۱] در یک پژوهش با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] به ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی بخشی از کشور مالزی پرداختند و در نهایت نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی را با استفاده از نتایج آزمایش پمپاژ آبخوان اعتبارسنجی کردند. نتایج نشان داد که روش تحلیل سلسله مراتبی در این زمینه دارای دقت قابل اعتمادی است.

رحمتی و همکاران [۱۷] در پژوهشی به بررسی پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی توسط روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه مریوان پرداختند و نتایج بدست آمده را به کمک چاه‌هایی با آبدهی بالا مورد اعتبارسنجی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این مدل دارای دقت قابل قبول ۷۵ درصد در منطقه مورد مطالعه بوده است و اظهار داشتند که روش تحلیل سلسله مراتبی در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی مقرون به صرفه می‌باشد.

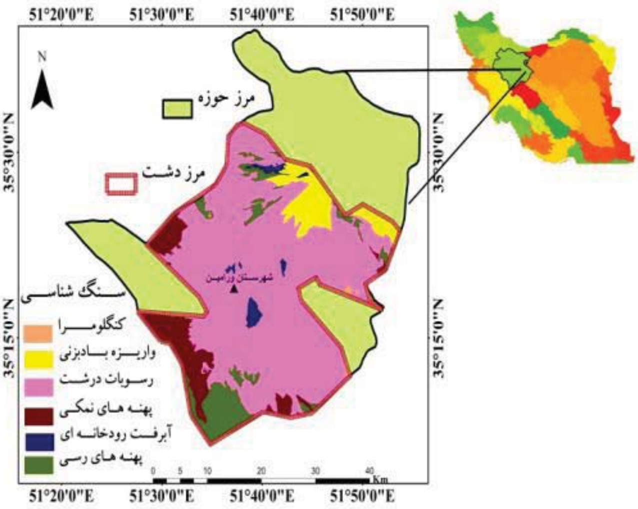
به طور کل می‌توان نتیجه گرفت که پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی به کمک روش سامانه اطلاعات مکانی، منطق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی دارای دقت قابل قبولی بوده و در هزینه و زمان صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را انجام می‌دهد. با توجه به وجود سد ماملو در بالادست دشت و تخصیص حق آبه ناچیز از این سد برای کشاورزی دشت ورامین و کم بودن منابع آب سطحی، حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در کل سطح دشت رواج چشمگیری داشته است و بدین جهت آبزیر زمینی به عنوان مهم‌ترین منبع آب آبیاری در کلدشت محسوب می‌شود [۲٦]. همچنین به دلیل حکم فرما بودن شرایط پیچیده بر روی دشت ورامین از قبیل وجود آبخوان‌های آزاد عمیق، کم عمق و معلق و وجود پدیده فرونشست [٦]، ضرورت شناسایی وضعیت منابع آب در منطقه مورد مطالعه را جهت مدیریت هر چه بهتر این منابع، هشدار می‌دهد. در همین راستا هدف این پژوهش، ارزیابی کارایی روش منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی با بکارگیری عوامل مختلف هیدرولوژیکی، اقلیمی، توپوگرافیکی و زمین‌شناسی جهت تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت ورامین قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

دشت ورامین بین طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳٦ دقیقه و درجنوب شرقی دشت تهران واقع شده است

---

[1] 1- Geographical Information System



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت ورامین

Fig 1. Geographical locationof the plain

(شکل ۱). این دشت از شمال به ادامه رشته کوه‌های البرز و از جنوب به تپه ماهورهای سیاه کوه و از غرب به رودخانه شور و از شرق به دشت ایوانکی منتهی می‌گردد. مساحت آن ۱۰۲۷ کیلومترمربع بوده و متوسط ارتفاع دشت از سطح دریا ۹۵۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی و دمای دشت به ترتیب ۳۲۵ میلی‌متر و ۱۷/٤ درجه سانتی‌گراد بوده و همچنین منحنی‌های هم قابلیت انتقال رسوبات آبرفتی بین ۱۰۰ مترمربع در روز در حاشیه رودخانه جاجرود واقع در جنوب غربی دشت تا ۳۰۰۰ مترمربع در روز در اراضی مخروطه افکنه‌ای جاجرود واقع در شمال دشت متغیر می‌باشد؛ و با توجه به آزمایش پمپاژ انجام شده در دشت ورامین ضریب ذخیره این دشت به طور متوسط ٦ درصد برآورد گردیده است [٢٦]. طبق آمار سال ۱۳۸۹ مصرف آب در این محدوده شامل ٤٥٨/٨٨ میلیون مترمکعب در سال از آب‌های زیرزمینی و ۲۵۰/٤۷ میلیون مترمکعب در سال از جریان‌های سطحی و چشمه‌ها است که به ترتیب ٦١٨/٤٥ میلیون مترمکعب به مصرف کشاورزی، ٦٩/٨٦ میلیون مترمکعب مصرف شرب و ۲۱/۰٤ میلیون مترمکعب به مصرف صنعت می‌رسد [٢٦]. سازندهای حاشیه شمال و شمال شرقی منطقه اغلب مربوط به ولکانیک‌های ائوسن و مارن و سنگ‌های آهکی الیگومیوسن و همچنین شیل و سیلت همراه با رسوبات تبخیری میوسن می‌باشد. به طور کلی این رسوبات با منشأ سیلابی در تغذیه آبخوان اهمیت زیادی دارد [٢٩].

پارامترهای بارندگی، شیب، سنگ‌شناسی، الگوهای ژئومرفولوژی و تراکم زهکشی بر پتانسیل منابع آب زیرزمینی تأثیرگذارند [۱۵]، [٤]، [۷]. در این پژوهش پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی در قالب پایگاه داده زمینی و متکی بر تحلیل‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و توپوگرافی انجام شده است. بدین منظور متغیرهای نفوذپذیری، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، تراز آب زیرزمینی، شاخص رطوبت توپوگرافی، طبقات ارتفاعی، شیب، بارندگی و ضخامت آبخوان که از عوامل مهم و تأثیرگذار پتانسیل آب زیرزمینی محسوب می‌شوند انتخاب شدند. نقشه نفوذپذیری با استفاده از نقشه سنگ‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در این نقشه میزان نفوذپذیری به صورت مقایسه‌ای و با توجه به نفوذپذیری هر نوع سنگ تعیین شد [١٤]. همچنین تراکم زهکشی یکی از پارامترهای مهم هیدرولوژیک است که بر میزان رواناب خروجی از حوزه آبخیز تأثیر زیادی دارد. تراکم شبکه آبراهه به صورت غیر مستقیم نشان‌دهنده میزان نفوذپذیری بوده به نحوی که بالا بودن تراکم شبکه آبراهه نشان‌دهنده کاهش نفوذ و کم بودن آن به شرط مهیا بودن شرایط زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی نشان‌دهنده بالا بودن میزان نفوذپذیری است که این مسئله در مناطق مخروطه افکنه‌ای که آبراهه وارد دشت می‌شود صدق نمی‌کند و دلیل آن کاهش شیب و شاخه‌شاخه شدن آبراهه است که باعث افزایش تراکم آبراهه در آن منطقه می‌شود. نقشه تراکم زهکشی با توجه به رابطه (۱) برای تمام منطقه مورد مطالعه محاسبه و رقومی گردید.

$$Dd = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{L}{A} \qquad (km^{-1}) \qquad (۱)$$

که در آن LΣ مجموع طول جریان‌های یک سلول برحسب کیلومتر و A مساحت سلول برحسب کیلومترمربع است. آبراهه‌ها در دشت یا تغذیه‌کننده‌اند یا زهکش که در هر دو صورت نشان‌دهنده پتانسیل بالای آب زیرزمینی در نزدیکی آن‌ها می‌باشد. نقشه فاصله از آبراهه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) و در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 تهیه گردید.

شاخص رطوبت توپوگرافی یک شاخص توپوگرافی ثانویه است که میزان تمرکز و تجمع آب در هر پیکسل را نشان می‌دهد و به منظور بدست آوردن این شاخص از رابطه (۲) استفاده می‌شود [۱۵].

$$TWI=\ln(A_s/\tan\beta) \qquad (۲)$$

که در آن β،A_s به ترتیب مساحت حوزه بالادست هر پیکسل

و شیب برحسب درجه می‌باشد که این عامل نیز در نرم‌افزار ArcGIS9.3 تهیه گردید.

تراز آب زیرزمینی یکی از پارامترهای مهم در بررسی وضعیت آب زیرزمینی هر منطقه محسوب می‌شود که تحت تأثیر عواملی نظیر تنش‌های اقلیمی مانند خشکسالی‌ها و تنش‌های به وجود آمده به دست انسان نظیر پمپاژ از چاه‌ها بوده و نسبت به آن‌ها واکنش نشان می‌دهد و عاملی مهم در شناخت منابع آب زیرزمینی هر منطقه می‌باشد که نقشه آن به کمک آمار مربوط به پیزومترهای منطقه در سال ۱۳۸۹ و روش زمین آمار کریجینگ معمولی با میزان مجذور میانگین مربعات خطا ۱۴۲ که دارای خطایی کمتری نسبت به دیگر روش‌ها بوده است در نرم‌افزار ArcGIS9.3 تهیه گردید، همچنین نقشه ارتفاع منطقه مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاع دشت ورامین با قدرت تفکیک ۳۰ متر بدست آمد. شیب یکی از متغیرهای اصلی تأثیرگذار بر ضریب رواناب و تغذیه آب‌های زیرزمینی است. به طوری که مناطق دارای شیب کم، زمان بیشتری برای نفوذ نسبت به مناطق با شیب بیشتر دارند. نقشه شیب منطقه نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. مقدار بارندگی عامل اصلی و تعیین‌کننده میزان آب قابل دسترس نفوذ، رواناب و تبخیر است. نقشه بارندگی منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های میانگین بارندگی ایستگاه‌های جاجرود، ورامین، حمامک، شمس‌آباد، جواد آباد و پرندک تهیه و با روش IDW[1] در محیط نرم‌افزار ArcGIS9.3 درون‌یابی شد. ضخامت آبخوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر پتانسیل منابع آب زیرزمینی است؛ که عوامل قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی آبخوان به این عامل بستگی دارند و در این تحقیق به عنوان یکی از عوامل هیدرولوژیکی آبخوان مورد بررسی قرار گرفته و نقشه ضخامت آبخوان از شرکت آب منطقه‌ای تهران تهیه گردید.

۲-۳ نرمال سازی لایه‌ها به روش منطق فازی

جهت کاهش خطا و کمتر کردن تصمیمات کارشناسی در تعیین کلاسه‌بندی نقشه‌های تهیه شده برای هر متغیر و نشان دادن تغییرات هر متغیر به صورت تدریجی تمامی نقشه‌ها به صورت فازی تهیه شدند. برای آماده و استاندارد سازی لایه‌ها بر اساس منطق فازی از نرم‌افزار ArcGIS9.3 استفاده شد. در این روش برای تبدیل ارزش‌های هر کلاس به امتیاز، باید با یکی از روش‌های استاندارد کردن به امتیاز استاندارد شده تبدیل شوند [۳۰].

– روش نرمال سازی کلی برای کلاس مطلوبیت بالا

این روش نرمال کردن برای کلاس مطلوبیت بالا استفاده می‌شود. در این روش ارزش‌ها به صورت Max Goal و Min Goal استاندارد می‌شود. بدین معنی که هر چه ارزش بالاتر باشد، امتیاز داده شده به یک نزدیک‌تر می‌شود. جهت استاندارد کردن لایه‌ها به این روش، از رابطه (۳) استفاده می‌گردد که X_i لایه مورد مطالعه، X_{min} حداقل ارزش موجود در لایه و X_{max} حداکثر ارزش موجود در لایه است [۳۰].

$$\frac{[X_i - X_{min}]}{[X_{max} - X_{min}]} \qquad (۳)$$

–روش نرمال سازی حداکثری برای کلاس با مطلوبیت پایین

در این روش کلاس‌ها با ارزش پایین‌تر، امتیاز بالاتری می‌گیرند. مثلاً در مورد فاصله از رودخانه، هر چه فاصله کمتر باشد ارزش آن در لایه استاندارد شده بالاتر و به یک نزدیک‌تر است. جهت استاندارد کردن لایه‌ها در این روش از رابطه (٤) استفاده می‌گردد [۳۰].

$$\frac{[X_{max} - X_i]}{[X_{max} - X_{min}]} \qquad (٤)$$

با توجه به تغییرات و تأثیر پارامترهای ارتفاع و تراز سطح ایستابی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی این پارامترها در محیط ArcGIS10.2 توسط تابع گاوسی[2] فازی شدند.

۲-٤ تعیین وزن پارامترها

برای تعیین وزن معیارها از فرایند تحلیل سلسله مراتبی [۲۱] و تکنیک‌بردار ویژه استفاده شد. این وزن‌دهی بر اساس اهمیت نسبی هر پارامتر در پتانسیل آب زیرزمینی انجام گرفت. برای انجام مقایسه‌های جفتی از مقیاس ۹-۱ روش ساعتی استفاده شد (جدول ۱). در این فرایند هر دو متغیر با توجه به اهمیت نسبی آن‌ها در پتانسیل آب زیرزمینی، درقالب یک پرسش‌نامه، دو به دو مقایسه و در نهایت ماتریس مقایسات جفتی و وزن نرمال شده متغیرها با استفاده از بسته الحاقی Ext_AHP در نرم‌افزار ArcGIS9.3 بدست آمد.

جدول۱- مقیاس انجام مقایسه‌های زوجی[۱٦]
Table1. scalecomparisonofpaired

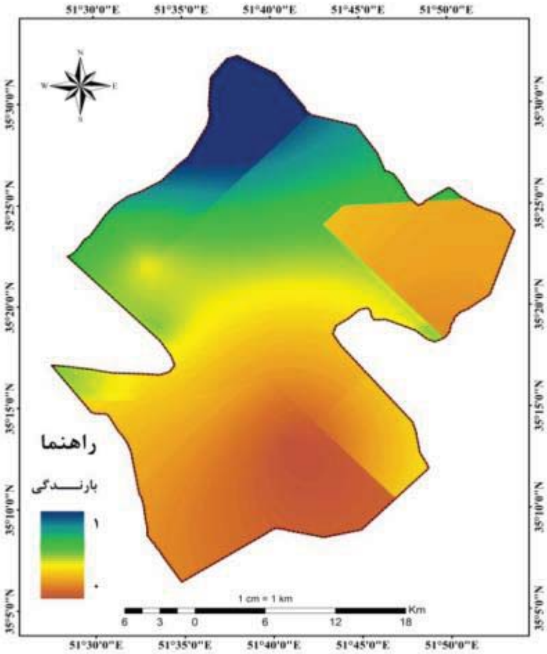
تعریف Definition		درجه اهمیت Degree of importance
اهمیت مساوی	Equal importance	1
نسبتاً مهمتر	Relativelymore important	3
اهمیت زیادتر	Moreimportance	5
اهمیت فوق العاده زیادتر	Muchmore important	9
ارزش‌های بینابینی	Medianvalues	8،4،6،2

در نهایت مقایسات انجام شده زمانی قابل قبول است که نرخ سازگاری[3](CR) آن‌ها کمتر از ۰/۱ باشد [۲۱]. مقدارنرخ سازگاری

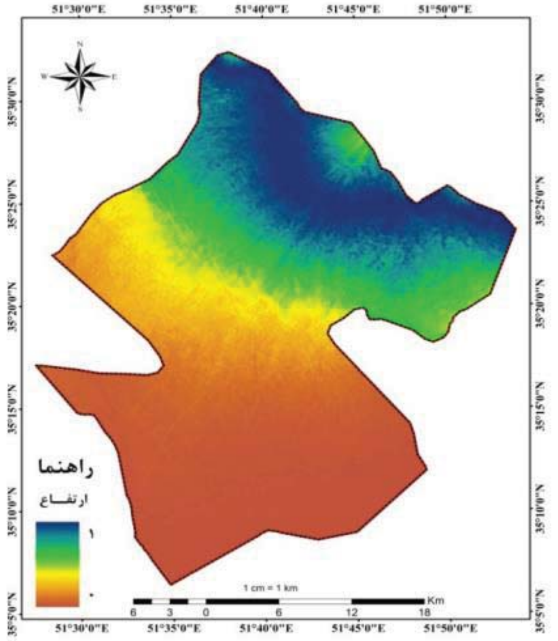
1- Inverse Distance Weighted

2- Gaussian

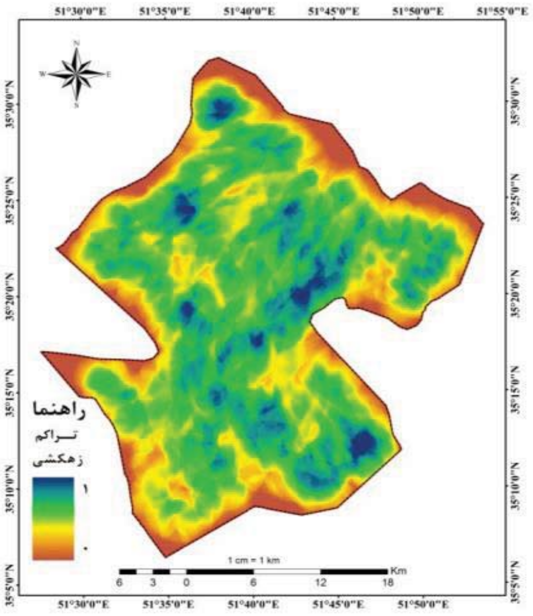
3- Consistency Ratio


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
بارندگی
۱
۰
1 cm = 1 km
6 3 0 6 12 18
Km

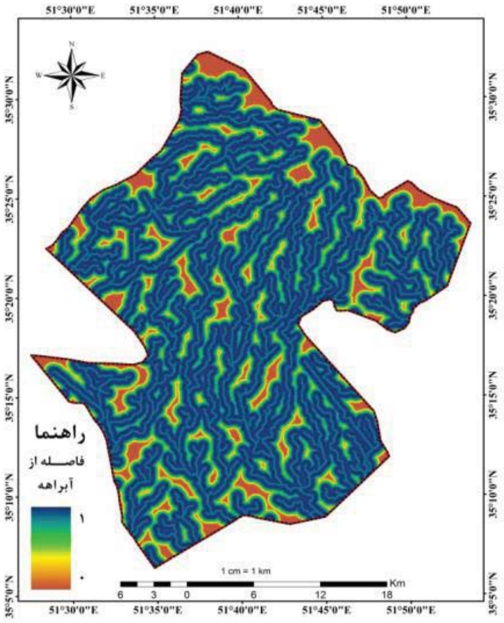
شکل۲- نقشه بارندگی
Fig 2. Rainfall map


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
ارتفاع
۱
۰
1 cm = 1 km
6 3 0 6 12 18
Km

شکل۳- نقشه ارتفاع
Fig 3. Altitude map


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
51°55'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
تراکم
زهکشی
۱
۰
1 cm = 1 km
6 3 0 6 12 18
Km

شکل٤- نقشه تراکم زهکشی
Fig.4 Drainage density map


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
فاصله از
آبراهه
۱
۰
1 cm = 1 km
6 3 0 6 12 18
Km

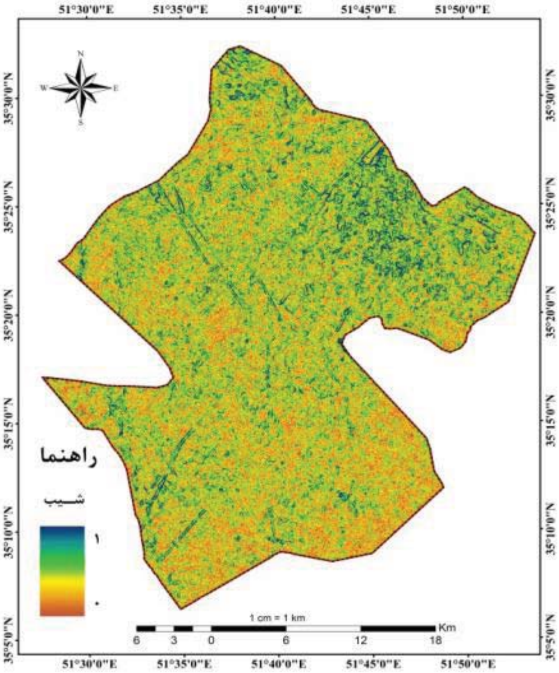
شکل۵- نقشه فاصله از آبراهه
Fig5. Distance from river map

بر اساس رابطه‌های (۵) و (٦) بدست می‌آید.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n-1} CI = \frac{\lambda - n}{n-1} \quad (۵)$$

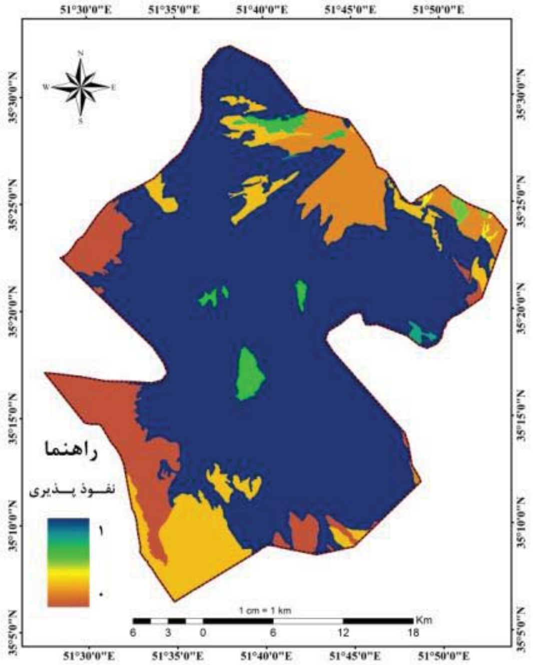
$$CR = \frac{CI}{RI} CR = \frac{CI}{RI} \quad (٦)$$

که در این رابطه‌ها، n، λ، CI و RI به ترتیب عبارتند از نسبت سازگاری، میانگین بردار سازگاری، تعداد پارامترها و شاخص تصادفی. مقدار شاخص تصادفی به تعداد پارامترها بستگی دارد. همچنین برای تهیه نقشه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی به روش تحلیل سلسله مراتبی بدون استفاده از روش فازی، لایه‌های رقومی پارامترهای مورد بررسی در محیط نرم‌افزار ArcGIS۹,۳ کلاس‌بندی شد. نرخ تأثیرگذاری (R) مربوط به هر کلاس بر اساس پرسشنامه و نظر کارشناسی در بازه


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
شیب
۱
۰
1 cm = 1 km
Km
6
3
0
6
12
18

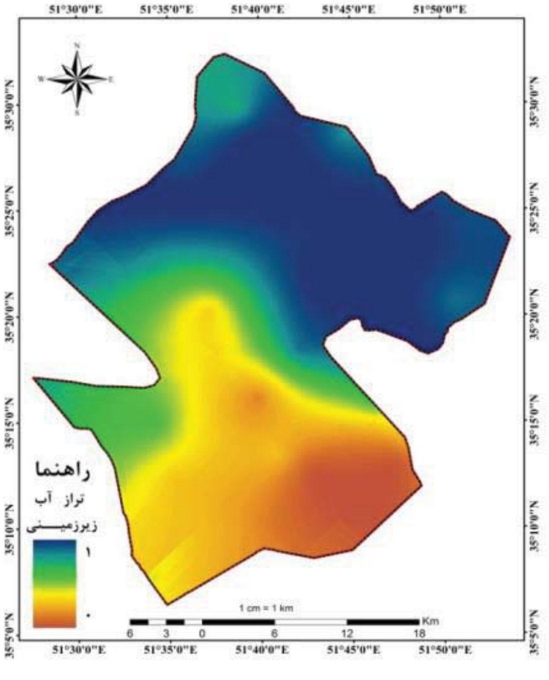
شکل۶- نقشه شیب

Fig 6. Slope degree map


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
نفوذ پذیری
۱
۰
1 cm = 1 km
Km
6
3
0
6
12
18

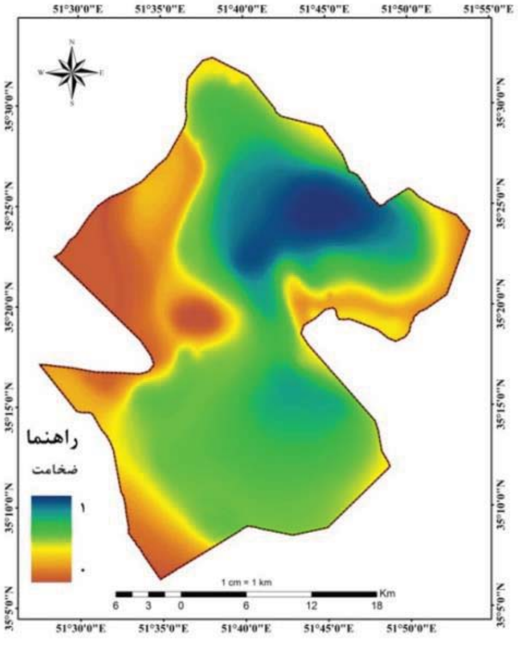
شکل۷- نقشه زمین‌شناسی

Fig 7. Geology map


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
تراز آب زیرزمینی
۱
۰
1 cm = 1 km
Km
6
3
0
6
12
18

شکل۸- نقشه تراز آب زیرزمینی

Fig 8. Water table map


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
51°55'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
ضخامت
۱
۰
1 cm = 1 km
Km
6
3
0
6
12
18

شکل۹- نقشه ضخامت آبخوان

Fig 9. Aquifer thickness map

۱ تا ۵ تعیین شد و در مرحله بعد با استفاده از روش نسبت فراوانی هر یک از این نرخ‌ها نرمال سازی گردید [۷]، [۱۷]. نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی باروش روی هم گذاری وزنی[1] در نرم‌افزار **ArcGIS9.3** به دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی

---

[1] Weighted Overlay

فازی تهیه شد و برای اعتبارسنجی پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی از چاه‌هایی با آبدهی بالا استفاده گردید.

نتایج

۳-۱تهیه نقشه‌های اولیه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی

نقشه‌های بارندگی، ارتفاع، تراز آب زیرزمینی، تراکم آبراهه، فاصله از آبراهه، شیب، نفوذپذیری، جهت، فاصله از آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی و ضخامت آبخوان منطقه مورد مطالعه که به حالت فازی و بر اساس پتانسیل آب زیرزمینی بدست آمده‌اند که در شکل‌های (۲) تا (۱۰) نشان داده شده است.

وزن نرمال شده معیارها مورد نظر در جدول (۲) نشان داده شده است. مقدار نرخ سازگاری (CR) پس از محاسبه نسبت سازگاری و میانگین بردار سازگاری، ۰/۰۴ بدست آمد که سازگاری مقایسه‌های جفتی و وزن‌های بدست آمده را تأیید می‌نماید و در شکل ۱۱ وزن نهایی نرمال شده معیارها نشان داده شده است.

نرخ تأثیرگذاری مربوط به هر کلاس که بر اساس پرسشنامه و نظرات کارشناسی تعیین شده بود در مرحله بعد با استفاده از روش نسبت فراوانی نرمال سازی گردید که این نرخ نشان‌دهنده میزان تأثیر هر یک از کلاس‌ها در هر پارامتر می‌باشند. با توجه به امتیازات داده شده نرخ مربوط به هر کلاس در جدول ۳ نشان داده شده است.

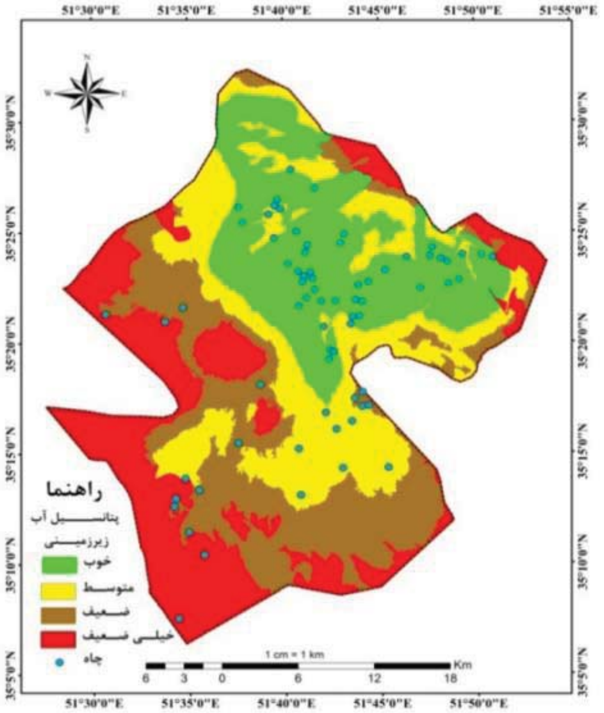
۳-۲ پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی و اعتبارسنجی آن

نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی دشت ورامین که براساس دو روش تحلیل سلسله مراتبی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بدست آمده، در شکل ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است و مشخص شد که روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی

جدول۲- وزن دهی معیارهای مختلف با استفاده از روش AHP

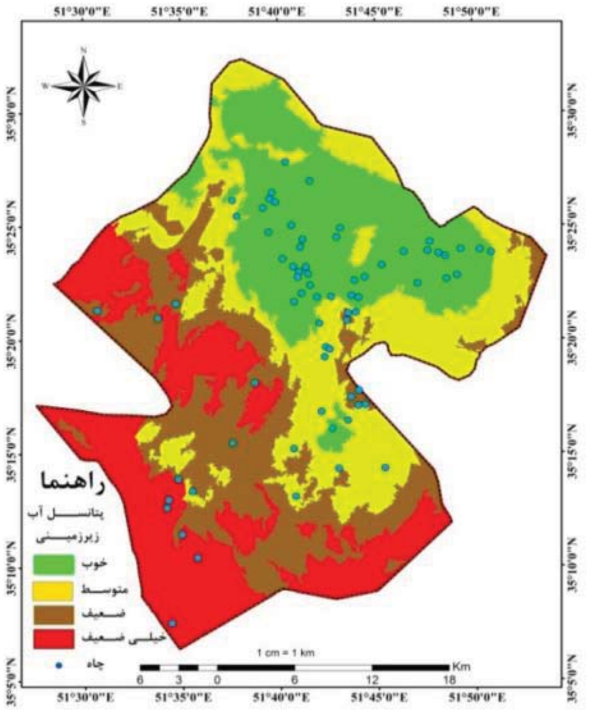
Fig2. The weighting different criteriausing AHP method

فاصله از آبراهه	تراکم آبراهه	ضخامت آبخوان	تراز آب زیرزمینی	ارتفاع	شیب	زمین شناسی (نفوذپذیری)	بارندگی	شاخص رطوبت توپوگرافی
Distance from river	Drainage density	Aquifer thickness	Water table	Attitude	Slope degree	Geology (Permeability)	Precipitation	TWI
095/0	073/0	288/0	141/0	049/0	041/0	22/0	0./057	030/0


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
51°55'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
پتانسیل آب زیرزمینی
خوب
متوسط
ضعیف
خیلی ضعیف
چاه
1 cm = 1 km
6 3 0 6 12 18
Km

شکل ۱۱-نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

Fig 11. GroundwaterpotentialmapsusingFuzzy AHP


51°30'0"E
51°35'0"E
51°40'0"E
51°45'0"E
51°50'0"E
35°30'0"N
35°25'0"N
35°20'0"N
35°15'0"N
35°10'0"N
35°5'0"N
راهنما
پتانسیل آب زیرزمینی
خوب
متوسط
ضعیف
خیلی ضعیف
چاه
1 cm = 1 km
6 3 0 6 12 18
Km

شکل ۱۲- نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش تحلیل سلسله مراتبی

Fig12.GroundwaterpotentialmapsusingAHP

جدول٣- تعیین نرخ هر کلاس برای هر معیار

Table 3. Rate determination of each class for each criterion

Normalizedrate	Initial rate	Classes	Digitallayers	Normalizedrate	Initial rate	Classes	Digitallayers
0/357	5	0 - 6/0	Drainage density تراکم زهکشی	0/033	1	1	Geology زمین شناسی
0/285	4	6/0 – 7/0		0/033	1	2	
0/214	3	7/0 – 8/0		0/066	2	3	
0/142	2	8/0 – 2/1		0/066	2	4	
0/058	1	796 - 830	Altitude ارتفاع	0/1	3	5	
0/117	2	830 - 860		0/1	3	6	
0/117	2	860 -911		0/133	4	7	
0/176	3	911 - 956		0/133	4	8	
0/235	4	956 - 993		0/166	5	9	
0/294	5	993 - 1109		0/166	5	10	
0/058	1	34 - 100	Aquifer thickness ضخامت	-	30	-	جمع کل
0/117	2	100 – 167		0/178	5	0 - 59	Distance from river فاصله از رودخانه
0/117	2	167 - 198		0/178	5	59– 149	
0/176	3	198 - 221		0/142	4	149 -239	
0/235	4	198 - 256		0/142	4	239 - 328	
0/294	5	256 - 339		0/107	3	328 - 418	
0/142	2	79 - 91	Precipitation بارندگی	0/107	3	418 - 517	
0/214	3	91 - 99		0/071	2	517 - 637	
0/285	4	99 - 117		0/035	1	637 - 816	
0/357	5	117 - 187		0/035	1	816 - 2550	
0/066	1	760 - 795	Water table تراز آب زیرزمینی	0/416	5	0 - 5/1	Slope degree شیب
0/133	2	795 - 821		0/333	4	5/1 – 2/3	
0/2	3	821 - 868		0/25	3	2/3 – 9/4	
0/266	4	868 - 894		0/083	1	9/4 – 9/35	
0/033	5	894 - 938		0/141	2	3/3 – 9/5	TWI شاخص رطوبت خاک
				0/241	3	9/5 – 9/6	
				0/285	4	9/6 – 7/8	
				0/357	5	7/8 – 3/20	

جدول ٤- مساحت کلاس‌های مختلف نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی

Table 4. Classareaofthe mapto predictthe potential forgroundwater

Percent ofthe area of eachclassinAHP method	The area ofeachclassinAHP method(km^2)	Percent ofthe area of eachclassinFuzzyAHP method	The area ofeachclassin Fuzzy AHP method(km^2)	Potentialgroundwater
59/24	49/252	07/25	47/258	Good خوب
31/26	17/270	36/25	44/260	Average متوسط
77/24	33/254	89/24	6/255	Poor ضعیف
07/24	18/247	55/24	09/252	Very poor خیلی ضعیف

هر کدام به ترتیب توانایی مشخص کردن ٦١ و ٥٤ درصد از چاه‌ها را در مناطق خوب از نظر پتانسیل آب زیرزمینی دارا می‌باشند. همچنین مساحت مربوط به کلاس‌های مختلف نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی در دو روش تحلیل سلسله مراتبی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جدول ٤ نشان داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های تحقیق می‌توان گفت که کابرد روش تحلیل

سلسله مراتبی فازی در برنامه‌ریزی محیطی از اهمیت به سزایی برخوردار است و به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا یک مسئله پیچیده طبیعی را به صورت ساختار سلسله مراتبی تبدیل نموده و با به کار گیری منطق فازی با سرعت و دقت کافی به حل آن بپردازد. مقایسه مساحت مربوط به کلاس‌های مختلف در نقشه‌های پیش‌بینی پتانسیل در دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی نشان می‌دهد که مساحت برآورد شده توسط دو مدل تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته و فقط در مناطق متوسط بیشترین اختلاف را نشان داده‌اند که برابر با ۱۰ کیلومترمربع می‌باشد، اما دقت روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ٦١ درصد و دقت روش تحلیل سلسله مراتبی ٥٤ درصد برآورد شده است که با توجه به این مسئله می‌توان به دقت روش تحلیل سلسله مراتبی فازی پی‌برد. اگرچه یافته‌های سریواستاوا و بهاتاچاریا [۲۵] و رحمتی و همکاران [۱۷] نشان از مقبولت مدل تحلیل سلسله مراتبی برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل آبزیرزمینی دارد اما در این پژوهش با توجه به وجود شرایط پیچیده حاکم بر دشت از قبیل وجود آبخوان‌های آزاد عمیق، کم عمق و معلق و وجود یک معبر هیدروژئولوژیکی و پدیده فرونشست در دشت [٦]،برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل آبزیرزمینی، مفید و قابل اعتماد شناخته نشد. نتایج نشان داد که به‌کارگیری روش فازی در تهیه نقشه معیارهای لازم واستاندارد سازی آن‌ها برای پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی دارای عملکرد موفقی است، به طوری که روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دارای دقت بیشتری نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی در برآورد مناطق مناسب جهت استحصال آب زیرزمینی می‌باشد، که علت آن را می‌توان عدم دخالت کارشناسی در تعیین وزن‌های مربوط به کلاس‌های هر پارامتر دانست که با نتایج سِیوکی و همکاران همخوانی دارد. پهنه‌های دارای پتانسیل بالای آب زیرزمینی بیشتر بر پایین دست مخروطه‌افکنه جاجرود که دارای شیب کم و نفوذپذیری مناسبی است منطبق می‌باشد. با توجه به نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی و نقشه ضخامت آبخوان مشخص می‌شود که این دو نقشه همخوانی محسوسی با یکدیگر دارند به طوری که در مناطق عمیق پتانسیل بالای آب زیرزمینی پیش‌بینی شده است و بالعکس که دلیل آن را می‌توان اهمیت بالای این پارامتر در تشکیل آبخوان دانست، این یافته‌ها با نتایج آدیات و همکاران [۲] همخوانی دارد. در نهایت به‌کارگیری ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش فازی به منظور ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی، مخصوصاً در کشورهای درحال توسعه که دسترسی به اطلاعات و داده‌های هیدروژئولوژیک، ژئوفیزیکی و آزمایش پمپاژ با مشکل و محدودیت مواجه است، پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1- Adiat, K. A. N. Nawawi, M. N. M. and Abdullah, K. 2012. Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool – A case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. Journal of Hydrology.: 440–441: 75–89.

2- Alizadeh, A. 2003. Principles of Applied Hydrology. University of MashhadPress. (In Persian)

3- Chowdary, V. Chakraborthy, D. Krishna, Y. Sharma, J. Dadhwal, V. 2013. Multi-criteria decision making approach for watershed prioritization using AHP technique and GIS. Water resource management. 27:3555-3571.

4- Elewa, H. and Qaddah, A. 2011. Groundwater potentiality mapping in the Sinai Peninsula, Egypt, using remote sensing and GIS-watershed-based modeling.Journal of Hydrogeology: 19: 613–628.

5- Ghaforinia, A. 2006. Hydro Climatology balance analysis of Hamedan Spring Plain aquifer and evaluation using computer models PMWIN. Ms thesis. Faculty of Agriculture. Bu-Ali Sina University. (In Persian)

6- Heidarian,M. and Fatehi dizaji, A. 2012. Environmental effects of uncontrolled withdrawal of groundwater resources in the plain. Monthly water Message (Tehran Regional Water Company) 197-198: 6. (In Persian)

7- Jha, M. K., Chowdary, V. M. and Chowdhury, A. 2010. Groundwater assessment in Salboni Block, West Bengal (India) using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis techniques. Hydrogeology Journal.: 18: 1713–1728.

8- Khashei, A. Ghahreman, B. and Kochakzadeh, M. 2011. potential assessment of Extraction of water from the aquifer fuzzy analytic hierarchy process (case study: Neishabour Plain). Iranian Journal of Water Research. 5(9), 171-180. (In Persian)

9- Machiwal, D. and Mal, B. 2011. Assessment of Groundwater Potential in a Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, GIS and MCDM Techniques. Water Resour Manage.: 25: 1359–1386.

10- Mahdavi, M., 2008. Applied hydrology Volume II, Tehran University Press. 240 p.

11- Malczewski, J. 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science.: 20 (7): 703–726.

12- Model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran. Geocarto international. 2014: 37-41.

Journal of Advanced Applied Geology. 6, 6-20. (In Persian)

23- Seyf, A. and Karegar, A. 2011. Finding potential sources of groundwater by means of a hierarchical and geographical system (case study: Sirjan watershed). Journal of Natural Geography. 12, 75-90. (In Persian)

24- Singh, A. and Prakash, S. 2002. An integreted approach of Remote Sensing, Geophysics and GIS to evaluation of Groundwater potentiality of Ojhalasubwatershed, Mirzapur district, U.P., India. Asian Conference on GIS.

25- Srivastava, P. K. and Bhattacharya, A. K. 2006. Groundwater assessment through an integrated approach using remote sensing, GIS and resistivity techniques: a case study from a hard rock terrain. International Journal of Remote Sensing. 27(20): 4599-4620.

26- Updating results of studies of water resources balance in Salt Lake watershed, joined No. 34: water balance studies of Varamin, 2009. Consulting Engineers Company of water resources and sustainable development.

27- VanderPost, C. and McFarlane, M. 2007. Groundwater investigation in semi-arid developing countries, using simple GIS tools to facilitate interdisciplinary decision making under poorly mapped conditions: The Boteti area of the Kalahari region in Botswana. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 9: 343–359.

28- Yousefi, K. Mohamadzadeh , H. and Akbari, M. 2012. Mountains Hezar Masjed potential issue with using phase modulation and AHP (Case Study: Northeast Mountains Hezar Masjed). The first national conference on the crisis and its consequences. (In Persian)

29- Zehtabyan, G. Rafighi, A. Alavipanah, K. and Jafari, M. 2004. Investigation of plain water for the irrigation of agricultural lands Journal of Geographical research. 48, 91-102. (In Persian)

30- Zeyaeyan, P. Khaledi, Sh. Khandan, S. and Alizadeh, A. 2011. Zoning Grvklymayy citrus in Lorestan province using overlapping Index. Journal of geographical environment planning. 8, 21-36. (In Persian)

13- Murthy, K. and Mamo, A. 2009. Multi criteria decision evaluation in groundwater zones identification in Moyale-Teltelesubbasin, South Ethiopia. International Journal of Remote Sensing. 30(11): 2729-2740.

14- Oliaiy. A. 2014. Study of hydrogeology and zoning karstic areas with potential water resources. Ms thesis, Faculty of Natural Resources, Tehran University. (in Persian)

15- Pourghasemi HM, Beheshtirad M. Assessment of a data-driven evidential belief function

16- Rahimi, D. and Mousavi, H. 2013. Potential sources of groundwater detection technique using AHP and GIS (Case study: Shahroud-bastam watershed). Journal of Geography and Planning. 44, 139-159. (In Persian)

17- Rahmati, O. Nazari samani, A. Mahdavi, M. Pourghasemi, H. Zeinivand, H. 2014. Groundwater potential mapping Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. Arabian journal of geoscinces.

18- Ramezani, M. Malekmohamadi, B. Jafari, H. and Rafiee, Y. 2011. Locate sites for artificial recharge of groundwater operations using multi-criteria decision-making methods and GIS (Case study: Hormozgan province, Shamil and Ashkara plain). 14, 1-10. (In Persian)

19- Rao, Y. and Jugran, D. 2003. Delineation of groundwater potential zones and zones of groundwater quality suitable for domestic purposes using remote sensing and GIS. Hydrological Sciences Journal: 48(5): 821-833.

20- Romero, C. and Rehman, T. 1987. Natural resources management and the use of multiple criteria decision making techniques: A review. European Review of agricultural Economics: 14: 61-89.

21- Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York.

22- Saberi, A. Rangzan, K. Mehjori, R. and keshavarzi, M. 2013. Finding potential groundwater resources by integrating remote sensing and GIS Analytical Hierarchy Process (AHP) Anticline Kmstan in Khuzestan province.

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 9, No. 31, Winter 2015

سال نهم- شماره ۳۱- زمستان ۱۳۹۴

Abstract

Potential Detection of Groundwater Using composite Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Logic (Case Study: Varamin plain)

Y. Razandi[1], A. Malekian[2], Sh. Khalighi Sigharoudi[3] and B. Farrokhzadeh[4]

Received: 2015.10.3   Accepted:2014.12.30

Increasing populationin one side and water demands in other sides, the importance of groundwater resources as one of the most important fresh water resources, be more and more apparent. In this study, stream density, distance from drainage, slope, elevation, thickness of the aquifer, water table, rainfall, topography wetness index and the rate of permeability criteria were used to identify areas with potential of groundwater in Varamin plain. The Map of these criteria prepared and weighted using Analytical Hierarchy Process method, and with determination of the effective rate for each class and using fuzzy logic, prediction map of groundwater potential with two methods ofAHPand fuzzy AHP were preparedandaccuracy ofthemethodwas evaluatedusingwellswithhighdischarge. The results showed that,due tohydro-geologicalcomplexityof thearea,accuracy of fuzzy AHPand AHP was respectively 61 and 54 percent. Also, theareas withhigh potential were located inthe northern half oftheplainswhichcovered withcoarse sedimentduring theQuaternary.The results showed thatapplication offuzzyAHPmethod, besidessaving timeand money, had a goodabilitytopredictthe groundwater potential.

Keywords: Potential Detection, Groundwater, Analytical Hierarchy Process, Fuzzy Logic

---

1. Ms Garduated in watershed management, Faculty of natural resources, University of Tehran
2. Assistant proffeser, Faculty of natural resources, University of Tehran Corresponding Author Email: malekian@ut.ac.ir
3. Assistant proffeser, Faculty of natural resources, University of Tehran
4.Assistant proffeser University of Malayer