مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶

ص ۸۷۹-۸۶۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۵
تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۰۲/۱۳

ارزیابی کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی (مطالعهٔ موردی: دشت قروه-دهگلان)

❖ **امید رحمتی***؛ دانش‌آموختهٔ دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان

❖ **علی اکبر نظری سامانی؛** استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ **محمد مهدوی؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

تعیین پتانسیل منابع آب زیرزمینی با توجه به نیاز روزافزون کشور ایران به آب، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر تلقی می‌گردد. در این پژوهش، به منظور ارزیابی کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی در شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی، از پارامترهای سنگ‌شناسی، بارندگی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب زمین در قالب مطالعه‌ای موردی در دشت قروهٔ دهگلان استفاده شد. نظر ده کارشناس برای مقایسات جفتی این پارامترها در قالب پرسش‌نامه تهیه گردید. وزن نرمال‌شدهٔ این پارامترها بر اساس مقیاس ساعتی و اهمیت نسبی آن‌ها در پتانسیل آب زیرزمینی با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فن بردار ویژه تعیین گردید. برای تهیهٔ نقشهٔ توزیع خطواره‌ها از تصاویر +ETM ماهوارهٔ لندست و نرم افزار PCI Geomatica استفاده شد. درنهایت، نقشهٔ پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی به وسیلهٔ ترکیب خطی وزنی و با استفاده از نرم افزار ArcGIS9.3 تهیه شد. اعتبارسنجی نقشهٔ پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی بر پایهٔ مدل نسبت فراوانی و با استفاده از نتایج آزمایش پمپاژ ۲۰ چاه در منطقهٔ مورد مطالعه انجام گرفت. نتایج حاصل از مقایسهٔ پتانسیل پیش‌بینی‌شدهٔ آب زیرزمینی و توصیف ظرفیت ویژهٔ چاه‌ها نشان داد که دقت نقشهٔ پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی ۸۵ درصد است. بنابراین به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی به منظور پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی مخصوصاً در آبخوان‌های فاقد اطلاعات بسیار مفید و قابل اعتماد است.

کلید واژگان: تحلیل سلسله مراتبی، آب زیرزمینی، پتانسیل، ظرفیت ویژه، دشت قروه-دهگلان

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۸۹۳۶۸۹۸۱۳۹۳+
Email: omid_rahmati@ut.ac.ir

۱. مقدمه

تعیین پتانسیل منابع آب زیرزمینی با توجه به نیاز روزافزون کشور ایران به آب، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر تلقی می‌گردد. این درحالی است که بیش از ۵۰ درصد نیاز آبی کشور، از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. از طرفی دیگر، رسوبات کواترنری مهم‌ترین مخزن ذخیرهٔ آب زیرزمینی در مناطق خشک محسوب می‌گردد [۷]؛ که گسترش این رسوبات در ایران بسیار وسیع است [۲].

تکنیک های مختلفی برای بررسی پتانسیل آب زیرزمینی وجود دارد. تحلیل‌های چینه‌شناسی و روش حفاری چاه‌های اکتشافی، واقعی‌ترین و استانداردترین روش برای شناخت ویژگی‌های آبخوان و تعیین پتانسیل آب زیرزمینی است [۱۱]؛ اما این روش ها زمان‌بر و هزینه‌بر بوده و نیاز به تخصص و مهارت زیادی در این زمینه دارد [۸ و ۱۴]. همچنین نتایج تکنیک‌های ژئوفیزیک نیز همواره نیازمند اعتبار سنجی به وسیلهٔ داده های حفاری است [۱].

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[1] به عنوان یک ابزار مهم در زمینهٔ تصمیم‌گیری‌های زیست محیطی و منابع آب شناخته شده است [۴ و ۱۶]. در یک پژوهش با استفاده از پارامترهای سنگ‌شناسی، ساختار زمین، پوشش سطح زمین، شیب و شبکهٔ زهکشی و به‌کارگیری فرایند تحلیل سلسله مراتبی، تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پتانسیل منابع آب زیرزمینی بخشی از کشور اتیوپی پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که ارتباط نزدیکی بین پهنه های پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی و عملکرد چاه‌ها وجود دارد [۱۴]. این درحالی است که میزان کارایی روش و دقت نقشهٔ پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی در اکثر این پژوهش‌ها بررسی نشده است. همچنین در پژوهشی دیگر که منابع آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پیش‌بینی شد؛ نتایج نشان داد که دشت‌سرهای با رسوبات ضخیم و دشت‌های سیلابی دارای پتانسیل آب زیرزمینی خوبی هستند [۹].

پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی نیازمند استفاده از داده‌های مختلف هیدرولوژیکی، ژئومرفولوژیکی، زمین شناسی و... است که مدیریت و ادغام صحیح آن‌ها لازمهٔ اصلی دقت و صحت پیش‌بینی است. به همین منظور در این پژوهش برای ادغام صحیح داده‌ها و همچنین ارتباط صحیح و منطقی بین پارامترهای محیطی، از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی در بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی است.

۲. روش‌شناسی

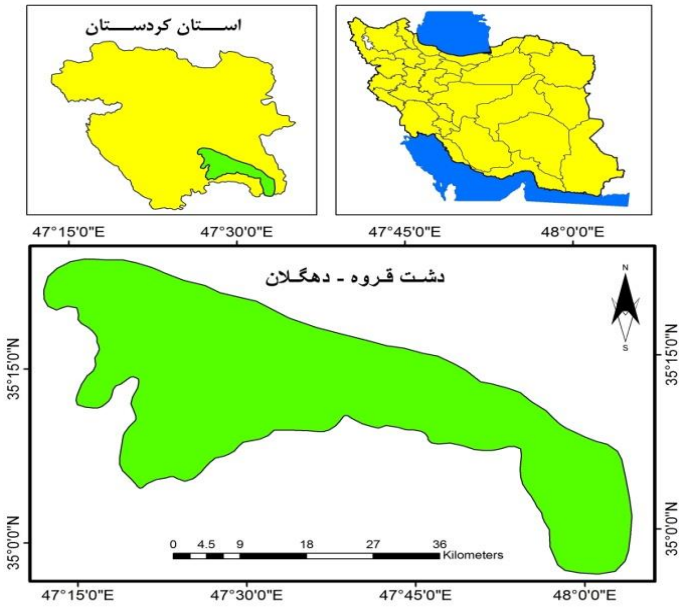
۱،۲. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

دشت قروه- دهگلان با وسعت ۱۳۱۴/۲ کیلومترمربع در شرق استان کردستان واقع گشته که بر اساس سامانهٔ مختصات جغرافیایی بین طول‌های °۴۷ و ′۱۰ تا °۴۸ و ′۸ شرقی و بین عرض‌های °۳۴ و ′۵۵ تا °۳۵ و ′۲۵ شمالی، در زون ۳۸ جغرافیایی قرار دارد. از لحاظ زمین شناسی، دشت قروه-دهگلان بخشی از زون ساختمانی سنندج-سیرجان بوده که جزء فعال‌ترین زون های ساختمانی ایران محسوب می‌گردد. متوسط سالانهٔ بارندگی و دمای منطقهٔ مورد مطالعه، به ترتیب تقریباً ۳۴۰ میلی‌متر و ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه را در استان کردستان نشان می‌دهد.

۲،۲. شبکه‌بندی منطقهٔ مورد مطالعه

[1] Analytical Hierarchy Process: (AHP)

در برخی از مطالعات انجام‌شـــده، به منظور تجزیه و تحلیل و کمی کردن تأثیر برخی عوامل از جمله شـــبکهٔ زهکشـــی، توزیع خطواره‌ها و ... از تکنیک شـــبکه‌بندی اســـتفاده شـــده اســـت [۱ و ۹]. به همین منظور، ســـطح منطقهٔ مورد مطالعه با اســـتفاده از نرم افزار ArcGIS 9.3 به صـورت یکنواخت شـبکه‌بندی گردید (اندازهٔ هر سـلول ۹/۵۴ کیلومترمربع درنظر گرفته شد).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

۳،۲. انتخاب پارامترهای تأثیرگذار بر پتانســـیل آب زیرزمینی

پارامترهای ســـنگ‌شـــناســـی، خاک‌شـــناســـی، الگوهای ژئومرفولوژی، تراکم خطواره‌ها و... بر پتانســـیل منابع آب زیرزمینی تأثیرگذارند [۳، ۱۱ و ۱۸]. در این پژوهش برای پیش‌بینی پتانســـیل آب زیرزمینی پنج پارامتر بارندگی، سنگ‌شناسی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب زمین درنظر گرفته شده است.

نقشهٔ سنگ شناسی منقطه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شـناسـی ۱:۱۰۰۰۰۰ قروه و سـنندج تهیه و رقومی گردید. بخش‌های دارای سنگ‌شناسی سخت و نفوذناپذیر جزء آکیفوژ[1] (فاقد توان نفوذ و ذخیرهٔ آب) محسوب شده و به همین دلیل وارد مدل پیش‌بینی پتانســـیل آب زیرزمینی نخواهد شد.

خطواره‌ها ساختارهای تکتونیکی خطی طویلی هستند که حاوی اطلاعات مهم ســـطحی و زیرســـطحی بوده و در میزان نفوذ جریانات ســـطحی، تغذیهٔ آبخوان و یا حرکت آب های زیرزمینی مؤثر ند [۶]. تشـــخیص خطواره های منطقـهٔ مورد مطـالعـه بـا اســـتفـاده از نرم افزار PCI Geomatica و تصـــاویر ماهواره‌ای +ETM[2] ســـال ۲۰۰۰ انجام گرفت. به منظور کمی‌کردن تأثیر خطواره‌ها، پـارامتر تراکم طول خطواره تعریف گردیـد. تراکم طول خطواره مطابق رابطهٔ (۱) عبارت اســـت از نســـبت مجموع

[1] Aquifuge

[2] Enhanced Thematic Mapper Plus

طول تمام خطواره‌های موجود در سلول iام به مساحت همان سلول.

$$Ld = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{L}{A} \quad (km^{-1}) \qquad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

که در آن ΣL مجموع طول خطواره‌های یک سلول برحسب کیلومتر و A مساحت سلول برحسب کیلومترمربع است. مقادیر تراکم طول خطواره برای هر سلول محاسبه و به نقطهٔ مرکز مختصات سلول مربوطه اختصاص داده شد. سپس نقشهٔ تراکم طول خطواره با استفاده از تکنیک درون‌یابی کریجینگ به‌دست آمد.

سیستم شبکهٔ زهکشی یک منطقه به شیب، ماهیت سنگ شناسی و الگوی ساختاری زمین شناسی بستگی دارد. هرچه میزان نفوذپذیری سنگ بیشتر باشد، به تبع آن میزان توسعه یافتگی شبکهٔ زهکشی کمتر است. برای کمی‌کردن تأثیر شبکهٔ زهکشی و وارد کردن آن به مدل پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی، از شبکه‌بندی[1] طراحی شده در مراحل پیشین، استفاده شد. تراکم زهکشی مطابق رابطهٔ (۲) عبارت است از نسبت مجموع طول آبراهه‌های سلول iام به مساحت همان سلول [۱ و ۱۰].

$$Dd = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{L}{A} \quad (km^{-1}) \qquad \text{(رابطهٔ ۲)}$$

که در آن ΣL مجموع طول جریان‌های یک سلول برحسب کیلومتر و A مساحت سلول برحسب کیلومترمربع است. مقادیر تراکم زهکشی به‌دست آمده برای هر سلول، به نقطهٔ مرکز مختصات آن اختصاص داده شد. با بکارگیری تکنیک درون‌یابی کریجینگ، نقشهٔ تراکم زهکشی تهیه گردید.

به منظور تهیهٔ نقشهٔ شیب از مدل رقومی ارتفاع[2] (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) و نرم افزار ArcGIS9.3 استفاده شد. نقشهٔ به دست آمده به پنج کلاس ۳-۰، ۶-۳، ۱۰-۶، ۱۵-۱۰ و بیشتر از ۱۵ درصد گروه‌بندی گردید.

داده‌های بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی قروه، دهگلان، بیانلو، اصحاب، اوچ‌گنبدخان، کهریز، آصف‌آباد، حسن‌خان، صلوات‌آباد و همدان از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه و مقدار میانگین سالانهٔ بارندگی برای بازهٔ زمانی ۱۳۹۱-۱۳۷۰ محاسبه گردید. سپس نقشهٔ میانگین بارندگی سالانهٔ منطقه با استفاده از روش درون‌یابی IDW به‌دست آمد و درنهایت در پنج کلاس ۲۹۰-۲۶۰، ۳۲۰-۲۹۰، ۳۵۰-۳۲۰، ۳۸۰-۳۵۰ و ۴۰۰-۳۸۰ میلی‌متر در سال طبقه‌بندی گردید.

۴،۲. تعیین وزن پارامترها و نرخ تأثیر کلاس‌ها

برای تعیین وزن معیارها از فرایند تحلیل سلسله مراتبی [۱۷] و تکنیک بردار 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 Saaty استفاده شد (جدول ۱). در این فرایند هر دو پارامتر با توجه به اهمیت نسبی آن‌ها در پتانسیل منابع آب زیرزمینی، درقالب یک پرسش‌نامه، دو به دو مقایسه شد. درنهایت ماتریس مقایسات جفتی و وزن نرمال‌شدهٔ پارامترها براساس نظرات ده کارشناس و با استفاده از نرم افزار Expert Choice 11 به‌دست آمد.

همچنین مقایسات انجام شده زمانی قابل قبول است که نرخ سازگاری[3] (CR) آن ها کمتر از ۰/۱ باشد [۱۷]. مقدار نرخ سازگاری بر اساس رابطه‌های (۳) و (۴) به‌دست می‌آید.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n-1} \qquad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad \text{(رابطهٔ ۴)}$$

که در این رابطه‌ها، CI، λ، n و RI به ترتیب عبارتند از نسبت سازگاری، میانگین بردار سازگاری، تعداد

[1] Grid
[2] Digital Elevation Model: (DEM)
[3] Consistency Ratio

پارامترها و شاخص تصادفی. مقدار شاخص تصادفی به تعداد پارامترها بستگی دارد.

نرخ تأثیر (R) بر اساس اثر نسبی کلاس‌های هر پارامتر در پتانسیل آب زیرزمینی و از طریق جمع‌آوری نظر ده کارشناس تعیین گردید. این نرخ‌ها عبارتند از ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و به ترتیب بیانگر پتانسیل آب زیرزمینی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است.

جدول۱- مقیاس انجام مقایسه‌های زوجی

تعریف	درجهٔ اهمیت
اهمیت مساوی	۱
به نسبت مهم‌تر	۳
اهمیت زیادتر	۵
اهمیت فوق العاده زیادتر	۹
ارزش‌های بینابینی	۸،۴،۶،۲

۵،۲. تعیین شاخص پتانسیل آب زیرزمینی (GWPI)

به منظور تعیین شاخص پتانسیل آب زیرزمینی از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) که رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چند معیاری است، استفاده شد [۱۲]. شاخص پتانسیل آب زیرزمینی مطابق رابطهٔ (۵) برای هر سلول محاسبه گردید و مقدار آن به نقطهٔ مرکز سلول اختصاص داده شد.

(رابطهٔ ۵)

$$GWPI = (Lt_w \times Lt_R) + (Rf_w \times Rf_R) + (Dd_w \times Dd_R) + (Ld_w \times Ld_R) + (S_w \times S_R)$$

که در آن GWPI، Lt، Rf، Dd، Ld و S به ترتیب عبارتند از شاخص پتانسیل آب زیرزمینی، سنگ‌شناسی، بارندگی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب زمین. همچنین اندیس‌های W و R به ترتیب بیانگر وزن پارامتر و نرخ تأثیر کلاس مربوطه است.

در نهایت نقشهٔ پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی با تکنیک درون یابی کریجینگ در نرم افزار ArcGIS9.3 تهیه گردید. لازم به ذکر است از آنجایی که نرخ تأثیر کلاس‌های هر پارامتر (R) محدود به مقدار ۵-۱ است، مقدار شاخص پتانسیل آب زیرزمینی نیز، محدود به ۵-۱ خواهد بود. لذا مقدار شاخص GWPI در پنج کلاس طبقه‌بندی شد (جدول۲).

جدول ۲- طبقات شاخص پتانسیل آب زیرزمینی [۱]

پتانسیل آب زیرزمینی	مقدار شاخص GWPI
خیلی کم	۰-۱
خیلی کم-کم	۱-۲
کم-متوسط	۲-۳
متوسط-زیاد	۳-۴
زیاد-خیلی زیاد	۴-۵

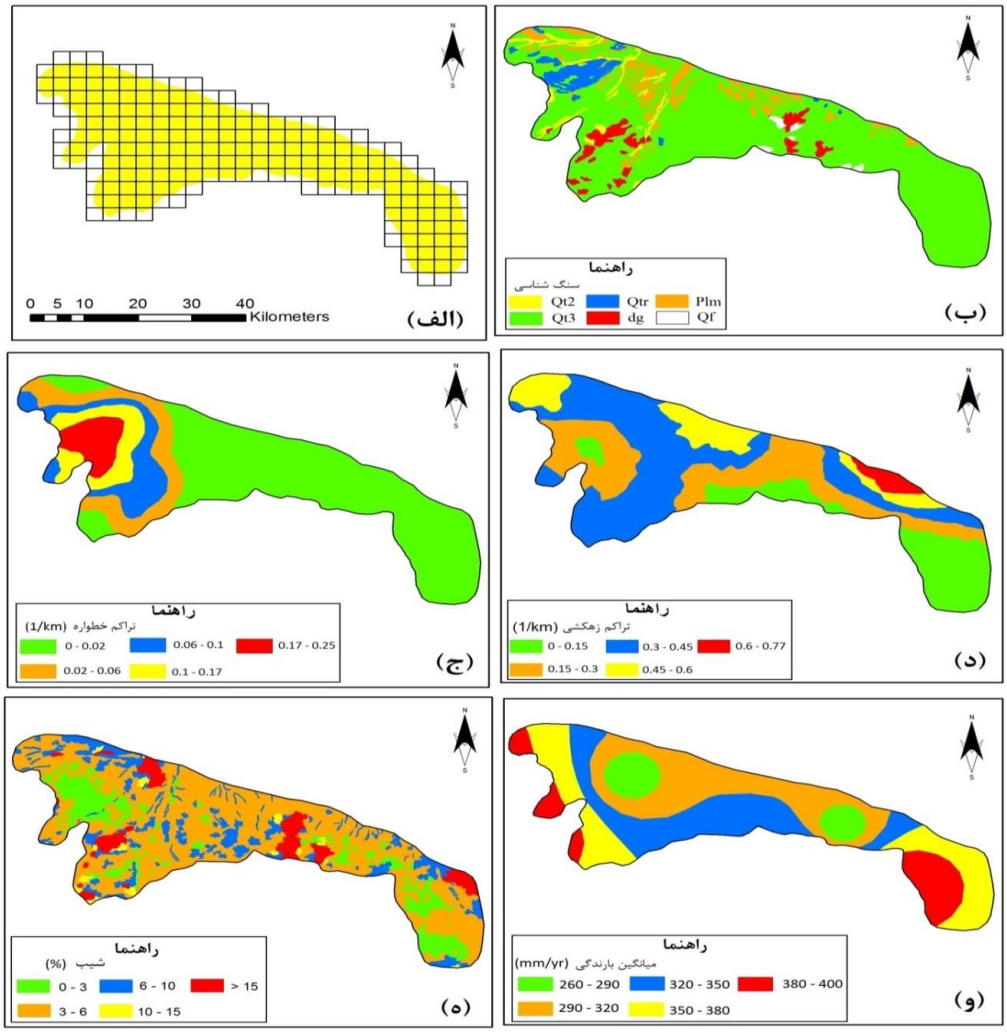
۳. نتایج

۱،۳. تهیهٔ نقشه‌های اولیه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی

نقشه‌های شبکه‌بندی، سنگ‌شناسی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره، بارندگی و شیب منطقهٔ مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.

۲،۳. وزن نرمال‌شدهٔ پارامترها (W) و نرخ تأثیر (R) کلاس‌ها

ماتریس مقایسه های زوجی و وزن نرمال شدهٔ پارامترهای مورد نظر در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین مقدار نرخ سازگاری (CR) پس از محاسبه نسبت سازگاری و میانگین بردار سازگاری، ۰/۰۶ به‌دست آمد که سازگاری مقایسه‌های جفتی و وزن‌های به‌دست آمده را تأیید می‌نماید. نرخ تأثیر کلاس‌های هر پارامتر نیز در جدول (۴) آمده است.



شکل۲. نقشه‌های شبکه‌بندی (الف)، سنگ‌شناسی (ب)، تراکم خطواره (ج)، تراکم زهکشی (د)، شیب (ه) و میانگین بارندگی (و) منطقهٔ مورد مطالعه

جدول۳. ماتریس مقایسه‌های زوجی و وزن نرمال شدهٔ پارامترها

پارامترها	Rf	Lt	Ld	Dd	S	وزن نرمال‌شده (W)
Rf	۱	۳	۳	۵	۷	۰/۴۴
Lt	۱/۳	۱	۳	۵	۷	۰/۲۹
Ld	۱/۳	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۱۶
Dd	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۰۸
S	۱/۷	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۴

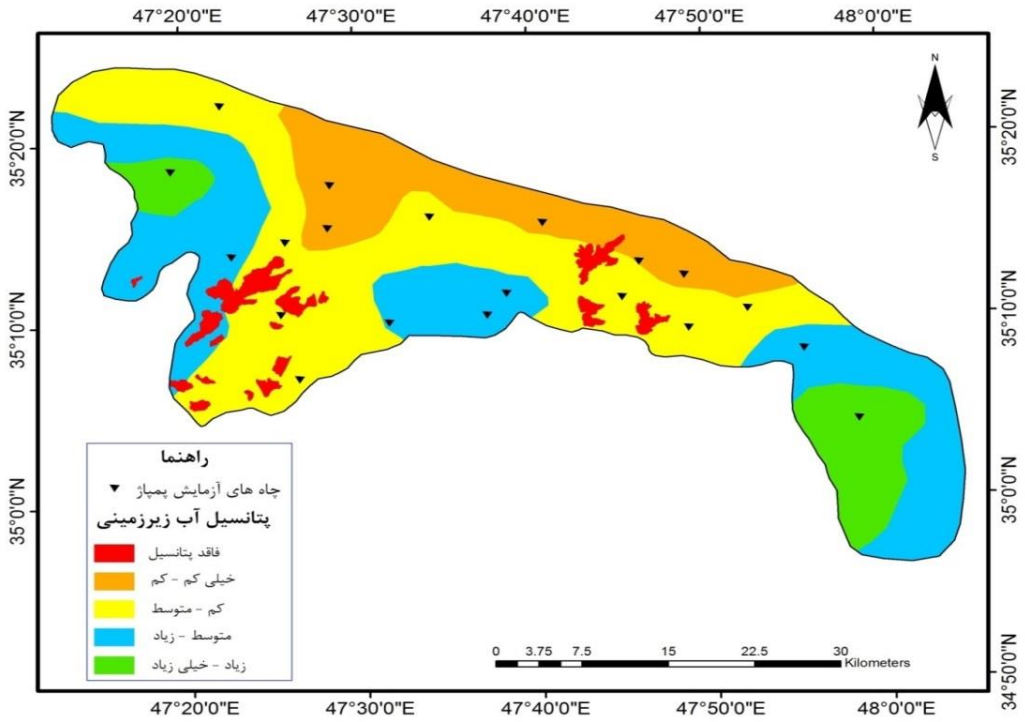
Rf: بارندگی، Lt: سنگ‌شناسی، Ld: تراکم خطواره، Dd: تراکم زهکشی، S: شیب

جدول۴. نرخ تأثیر کلاس‌های هر پارامتر

پارامترها	کلاس‌ها	نرخ تأثیر (R)
سنگ‌شناسی (Lt)	ماسه‌سنگ آهکی و مارن (Plm)	۱
	رسوبات آبرفتی مرتفع (Q_{t2})	۲
	رسوبات مخروط افکنه‌ای (Q_f)	۳
	رسوبات دشت آبرفتی کم‌شیب (Q_{t3})	۴
	رسوبات تراورتن (Qtr)	۵
	دیوریت و دیوریت گابرویی (dg)	–
بارندگی (Rf) (mm/yr)	۲۶۰-۲۹۰	۱
	۲۹۰-۳۲۰	۲
	۳۲۰-۳۵۰	۳
	۳۵۰-۳۸۰	۴
	۳۸۰-۴۰۰	۵
تراکم زهکشی (Dd) (1/km)	۰-۰/۱۵	۵
	۰/۱۵-۰/۳	۴
	۰/۳-۰/۴۵	۳
	۰/۴۵-۰/۶	۲
	۰/۶-۰/۷۷	۱
تراکم خطواره (Ld) (1/km)	۰-۰/۰۲	۱
	۰/۰۲-۰/۰۶	۲
	۰/۰۶-۰/۱	۳
	۰/۱-۰/۱۷	۴
	۰/۱۷-۰/۲۵	۵
شیب (S) (%)	۰-۳	۵
	۳-۶	۴
	۶-۱۰	۳
	۱۰-۱۵	۲
	>۱۵	۱

۳،۳. تهیهٔ نقشهٔ پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی

نقشـــهٔ پیش‌بینی پتانســـیل آب زیرزمینی دشـــت قروه-دهگلان که برا ساس روش تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک شبکه‌بندی به‌دست آمد، در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳. نقشهٔ پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی و موقعیت چاه‌های آزمایش پمپاژ

۴،۳. ارزیابی کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی و دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی

به منظور برر سی کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی در پیش‌بینی پتانســـیل آب زیرزمینی از نتایج آزمایش پمپاژ دشـــت قروه-دهگلان اســـتفاده شـــد. ظرفیت ویژه[1] (SPC) مطابق رابطهٔ (۶) تعریف می گردد [۵].

$$SPC = \frac{Q}{S_w} \qquad \text{(رابطهٔ ۶)}$$

که در آن Q و S_w به ترتیب آبدهی چاه و افت ســـطح آب در چاه اســـت. در این مطالعه ۲۰ چاه که دارای نتایج آزمایش پمپاژ بود برای ارزیابی دقت پیش‌بینی روش MCDA اســـتفاده شـــد. موقعیت این چاه‌ها نیز در شـــکل (۳) نشـــان داده شـــده اســـت. توصـــیف واقعی ظرفیت ویژه چاه‌ها، توصـــیف پتانســـیل پیش‌بینی شـــده و مقایســـهٔ بین آن‌ها در جدول (۵) نشان داده شده است.

دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی بر اساس مدل نسبت فراوانی[2] محاسبه گردید (جدول ۶). همان‌گونه که در جدول (۶) مشـــاهده می‌شـــود، ظرفیت ویژهٔ ۱۷ چاه با توصـــیف پیش‌بینی پتانســـیل آب زیرزمینی روش تحلیل ســـلســـله مراتبی مطابقت دارد. بنابراین دقت پیش‌بینی بر اساس مدل نسبت فراوانی ۸۵ درصد برآورد گردید.

[1] Specific Capacity

[2] Frequency-ratio model

جدول۵. مقایسهٔ بین توصیف واقعی ظرفیت ویژه چاه‌ها و توصیف پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی

شمارهٔ چاه	مقدار ظرفیت ویژه ($m^3/h/m$)	توصیف واقعی (ظرفیت ویژه)	توصیف نقشهٔ پیش‌بینی	مقایسه توصیف‌های واقعی و پیش‌بینی
۱	۸	متوسط	متوسط-زیاد	موافق
۲	۵	متوسط	کم-متوسط	موافق
۳	۵	متوسط	کم-متوسط	موافق
۴	۵/۹	متوسط	متوسط-زیاد	موافق
۵	۴/۶	کم	متوسط-زیاد	ناموافق
۶	۱۵	خیلی زیاد	کم-متوسط	ناموافق
۷	۴/۲	کم	کم-متوسط	موافق
۸	۵	متوسط	کم-متوسط	موافق
۹	۸	متوسط	کم-متوسط	موافق
۱۰	۸/۳	متوسط	متوسط-زیاد	موافق
۱۱	۲/۲	کم	کم-متوسط	موافق
۱۲	۳/۴	کم	کم-متوسط	موافق
۱۳	۲/۷	کم	کم-متوسط	موافق
۱۴	۲	کم	متوسط-زیاد	ناموافق
۱۵	۲	کم	کم-متوسط	موافق
۱۶	۴/۹	کم	خیلی کم-کم	موافق
۱۷	۴/۲	کم	خیلی کم-کم	موافق
۱۸	۱/۱	خیلی کم	خیلی کم-کم	موافق
۱۹	۱/۹	خیلی کم	خیلی کم-کم	موافق
۲۰	۲	کم	خیلی کم-کم	موافق

جدول۶- محاسبهٔ دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی

مورد	تعداد چاه
کل آزمایش پمپاژ	۲۰
تطابق بین توصیف واقعی و توصیف پیش‌بینی	۱۷
عدم تطابق بین توصیف واقعی و توصیف پیش‌بینی	۳
دقت پیش‌بینی	(۱۷/۲۰) ×۱۰۰ = ۸۵٪

۴. بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی، مفید و قابل اعتماد است که با نتایج مطالعات [۱۳] مطابقت دارد. همچنین نتایج پیش‌بینی نشان داد که پارامترهای سنگ‌شناسی، بارندگی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب زمین بر پتانسیل آب زیرزمینی تأثیرگذار بوده و بکارگیری آن‌ها در فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای پیش‌بینی پتانسیل

منابع آب زیرزمینی مفید است که با یافته‌های مطالعات [۴]، [۱۱] و [۱۵] همخوانی دارد.

نتایج نشان داد که کلاس‌های رسوبات کواترنری ارتباط زیادی با پتانسیل منابع آب زیرزمینی دارد و بررسی نوع رسوبات کواترنری سبب کاراتر شدن روش تحلیل سلسله مراتبی در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی شد؛ که نتایج پژوهش [۷] نیز آن را تأیید می‌نماید. همچنین استفاده از تکنیک شبکه‌بندی در روش تحلیل سلسله مراتبی، موجب سیستماتیک کردن تصمیم‌گیری‌های کارشناسی شد که این مطلب نیز با نتیجهٔ پژوهش [۱] مطابقت دارد.

ترکیب خطی وزنی (WLC) برای ایجاد شاخص تناسب و انتقال تصمیم‌گیری‌ها به سیستم شبکه‌بندی دارای قابلیت خوبی بوده و پهنه‌بندی قابل اعتمادی ارائه می‌دهد که با نتایج پژوهش [۱۲] مطابقت دارد.

در نهایت به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور بررسی پتانسیل آب زیرزمینی، مخصوصاً در کشورهای درحال توسعه که دسترسی به اطلاعات و داده‌های هیدروژئولوژیکی، ژئوفیزیکی و آزمایش پمپاژ با مشکل و محدودیت مواجه است، پیشنهاد می‌گردد.

References

[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] Ahmadi, H. and Feiznia, S. (2006). *Quaternary Formation*, 2ed Edition, University of Tehran press.

[3] Al Saud, M. (2010). Mapping potential areas for groundwater storage in Wadi Aurnah Basin, western Arabian Peninsula, using remote sensing and geographic information system techniques. *Hydrogeology Journal*, 18, 1481–1495.

[4] Chowdhury, A., Jha, M.K., Chowdary, V.M. and Mal, B.C. (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, 231–250.

[5] Delleur, J.W. (1998). *The handbook of groundwater engineering*, CRC press LLC.

[6] Elewa, H.H. and Qaddah, A.A. (2011). Groundwater potentiality mapping in the Sinai Peninsula, Egypt, using remote sensing and GIS-watershed-based modeling. *Hydrogeology Journal*, 19, 613–628.

[7] Feiznia, S., Shahbazi, R. and Ahmadi, H. (2012). Relationship between Quaternary Sediments, Geomorphological Facies and Groundwater (Case Study: Cheshmeh-Ali Catchment and Hajaligholi Playa, Damghan). *Iranian Journal of Range and Watershed Management*, 65 (1), 101-116.

[8] Fetter, C.W. (1994). *Applied hydrogeology*, 4th Edition, Prentice Hall press.

[9] Ganapuram, S., Vijaya Kumar, G.T., Murali Krishna, I.V., Kahya, E. and Demirel, M.C. (2009). Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*, 40, 506–518.

[10] Greenbaum, D. (1989). Hydrogeological applications of remote sensing in areas of crystalline basement. *Conference of Proc groundwater exploration and development in crystalline basement aquifers*, Zimbabwe, pp. 388-394.

[11] 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.

[12] Karam, A. (2004). Application of weighted linear combination (WLC) to potential zonation of landslides (Case Study: Sarkhoon region in Chahar Mahal Bakhtiari Province). *Iranian Journal of geography and development*, 2, 131-146.

[13] 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 Resource Manage*, 25, 1359–1386.

[14] Murthy, K.S.R. and Mamo, A.G. (2009). Multi-criteria decision evaluation in groundwater zones identification in Moyale-Teltele subbasin, South Ethiopia. *International Journal of remote sensing*, 11, 2729–2740.

[15] Preeja, K.R., Joseph, S., Thomas, J. and Vijith, H. (2011). Identification of groundwater potential zones of a tropical river basin (Kerala, India) using remote rensing and GIS techniques. *Journal of Indian society remote sensing*, 39, 83-94.

[16] Rose, R.S.S. and Krishnan, N. (2009). Spatial analysis of groundwater potential using remote sensing and GIS in the Kanyakumari and Nambiyar basins, *Indian Journal society remote sensing*, 37, 681–692.

[17] Saaty, T.L. (1980). The Analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill, New York press.

[19] Sif, A. and Kargar, A. (2010). Investigation of groundwater potential using analytical hierarchy process and geographic information system. Iranian Journal of natural geography, 12, 75–90.