نشریه شمـاره ۵، بهار و تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۱۳-۱

نشریه مدیریت بیابـان

www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

ارزیابی متغیرهای موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی بر اساس تحلیل حساسیت (بررسی موردی: دشت قروه-دهگلان)

امید رحمتی[۱]، علی اکبر نظری سامانی[۲*]، محمد مهدوی[۳]

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه لرستان، دانشکدهٔ کشاورزی، خرم آباد
۲. دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۳. استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
* نویسنده مسئول: *aknazari@ut.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۱

چکیده

آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از با ارزش‌ترین منابع طبیعی نقش بسیار مهمی در تأمین نیاز آبی به‌ویژه درمناطق خشک دارد. در این پژوهش، به‌منظور تحلیل حساسیت متغیرهای موثر در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) از متغیرهای سنگ‌شناسی، بارندگی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب زمین در قالب یک مطالعهٔ موردی در دشت قروه-دهگلان استفاده شد. وزن نرمال‌شده این متغیرها بر اساس مقایسه‌های زوجی روش تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*) مبتنی بر بردار ویژه تعیین گردید. پس از تهیه نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی اعتبارسنجی مدل با استفاده از نتایج آزمایش پمپاژ ۲۰ حلقه چاه در منطقه مورد بررسی انجام شد. تحلیل حساسیت متغیرهای موثر در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از روش حذفی انجام گرفت و در نهایت دقت نقشه‌ها ارزیابی گردید. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که همه متغیرهای موردنظر دارای تأثیر مثبت در دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی بوده و به ترتیب بیشترین و کمترین دقت پیش‌بینی مربوط به حالت‌های حضور تمام متغیرها (۸۵ ٪) و حذف متغیر سنگ‌شناسی از مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری (۶۰ ٪) بود. بنابراین متغیر سنگ‌شناسی از طریق تاثیر بر روی ویژگی‌های فیزیکی از جمله تراکم خطواره و گسل، نفوذپذیری و تراوایی بیشترین تأثیر را روی دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی دارد. همچنین نتایج نشان داد که متغییرهای بارندگی و شیب با وجود تغییر اندکی که در یک دشت دارند، در مقدار دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی مؤثر هستند.

واژگان کلیدی: تحلیل حساسیت؛ تصمیم‌گیری چند معیاره؛ آب زیرزمینی؛ قروه-دهگلان

■ مقدمه

آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی شناخته شده که به دلیل وابستگی مناطق خشک برای تأمین نیاز آبی، اهمیت بسیار زیادی دارد (*Todd & Mays, 2005*). وجود متغیرهای مختلف و مشخص نبودن اولویت تأثیرگذاری آن‌ها در پیش‌بینی، موجب ایجاد خطا در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره و کاهش دقت نقشه‌های پیش‌بینی می‌گردد. تحلیل حساسیت فرایندی رایج برای تشخیص اثر تغییر متغیرهای ورودی بر خروجی نهایی مدل است (*Steele et al., 2009; Ravalico et al., 2010*). همچنین تحلیل حساسیت به‌عنوان مولفهٔ کلیدی در توسعه و درک مدل‌ها شناخته شده است (*Saltelli et al., 2000*). در مواردی که عدم قطعیت متغیرها اجازهٔ تصمیم‌گیری دقیق نمی‌دهد، روش‌های تحلیل حساسیت متغیرهای کلیدی را برای مدیران شناسایی کرده تا به کمک آن‌ها مقدار دقت مدل را به نحو احسن ارتقاء دهند (*Hyde & Maier, 2006*).

تاکنون در پژوهش‌های مختلفی ضمن تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] (*MCDA*) از تحلیل حساسیت استفاده شده است. *Janssen* و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی مدیریت یکپارچه تالاب‌ها، به‌منظور تحلیل حساسیت مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) روش ساده‌ای ارائه دادند. آن‌ها ابتدا وزن تمام معیارها را یکسان فرض کردند، سپس با تغییر وزن هریک از معیارها، اولویت تأثیرگذاری متغیرها بر نتیجه نهایی مشخص شد. *Hyde et al. (2005)* به‌منظور تحلیل اثرات عدم قطعیت وزن متغیرها در تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) در زمینه طرح‌های مدیریت منابع آب از تکنیک تحلیل حساسیت استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که انجام تحلیل حساسیت و بررسی عدم قطعیت وزن معیارها یکی از بخش‌های مهم فرایند تصمیم‌گیری است.

امروزه تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) به عنوان یک ابزار مهم در زمینه تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع طبیعی و به طور ویژه مدیریت منابع آب شناخته شده است. مطالعات گسترده‌ای تاکنون در خارج از کشور (*Rose & Krishnan, 2009; Pietersen, 2007; Jha et al., 2010; Murthy & Mamo, 2009; Machival et al., 2011*) و در ایران (*Khashei Seuoki et al., 2010*) در زمینه شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام گرفته است. نتیجه پژوهش‌های آنها نشان داده است که استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره در بررسی پتانسیل آب زیرزمینی مفید و قابل اعتماد است. *Adiat* و همکاران (۲۰۱۲) به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی منطقه‌ای در مالزی از تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و متغیرهای بارندگی، سنگ‌شناسی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب زمین به‌عنوان ورودی مدل استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که بکارگیری روش‌های تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی قابل اطمینان است. اما در هیچ‌کدام از این مطالعات، اولویت تأثیرگذاری متغیرهای ورودی مدل بر تصمیم‌گیری نهایی و دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی مشخص نشده است.

به همین منظور در پژوهش حاضر، برای شناسایی اولویت تأثیرگذاری متغیرهای ورودی تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، از تحلیل حساسیت استفاده شده است. هدف اصلی این پژوهش، تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (*MCDA*) در بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی است.

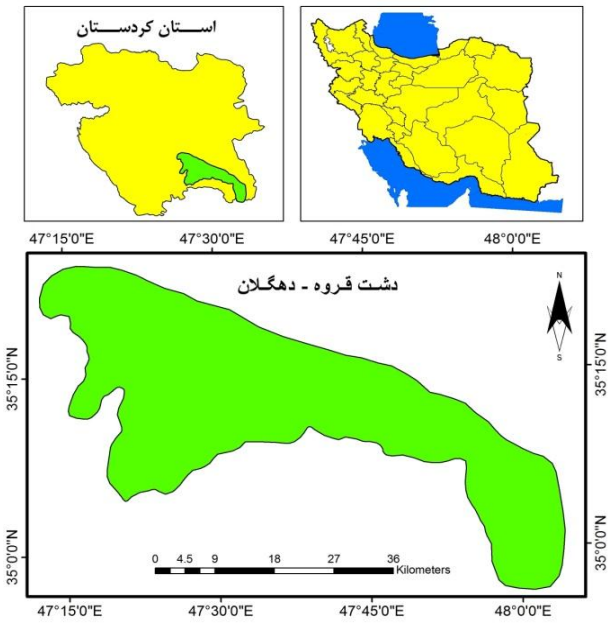
■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

دشت قروه- دهگلان با وسعت ۱۳۱۴/۲ کیلومترمربع در شرق استان کردستان واقع شده که بین مختصات جغرافیایی ′۴۷°۱۰ تا ′۴۸°۸ طول شرقی و عرض‌های ′۳۴°۵۵ تا ′۴۸°۲۵ دقیقه طول شمالی قرار دارد. از لحاظ زمین‌شناسی، دشت قروه دهگلان بخشی از زون ساختمانی سنندج-سیرجاناست و سطح دشت بیشتر توسط رسوبات کواترنری پوشیده شده است. شکل (۱)

[1] - *MCDA: Multi-Criteria Decision Analysis*

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی را در استان کردستان نشان می‌دهد.



شکل۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

روش پژوهش

در این پژوهش متغیرهای بارندگی، سنگ‌شناسی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب زمین برای پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است (*Al Saud, 2010; Jha et al., 2010*).

انجام تحلیل حساسیت متغیرهای مؤثر در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی، در قالب تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) نیازمند انجام مراحل مختلفی به شرح زیر است:

تعیین وزن متغیرها و نرخ[1] کلاس‌ها

برای تعیین وزن معیارها از فرایند تحلیل سلسله مراتبی[2] (*AHP*) و روش بردار ویژه استفاده شد (*Satty, 1980*). این وزن‌دهی بر اساس اهمیت نسبی هر متغیر در پتانسیل آب زیرزمینی انجام گرفت. برای انجام مقایسه‌های جفتی از مقیاس ۹-۱ ساعتی استفاده شد (جدول ۱). در این فرایند هر دو متغیر با توجه به اهمیت نسبی آن‌ها در پتانسیل منابع آب زیرزمینی، درقالب پرسش‌نامه‌ای، دو به دو مقایسه می‌شوند. بنابراین ماتریس مقایس‌های جفتی و وزن نرمال‌شده متغیرها براساس نظرهای شش کارشناس و با استفاده از نرم افزار *Expert Choice 2000* بدست آمد.

نرخ کلاس‌ها (*R*) بر اساس اثر نسبی کلاس‌های هر متغیر در پتانسیل آب زیرزمینی تعیین شد. 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 می‌باشد.

تهیه نقشه‌های موردنیاز

شبکه‌بندی منطقه مورد بررسی

در برخی از مطالعات انجام‌شده، به‌منظور تجزیه و تحلیل و کمی‌کردن تأثیر برخی عوامل از جمله شبکه زهکشی، توزیع خطواره‌ها و غیره از تکنیک شبکه‌بندی استفاده شده است (*Greenbaum, 1989; Dar et al., 2011; Adiat et al., 2012*). به همین منظور، سطح منطقه مورد بررسی با استفاده از نرم افزار *ArcGIS9.3* به صورت یکنواخت شبکه‌بندی گردید (اندازه هر سلول ۹/۵۴ کیلومترمربع درنظر گرفته شد).

جدول ۱. مقیاس انجام مقایسه‌های زوجی (*Saaty, 1980*)

تعریف	درجه اهمیت
اهمیت مساوی	۱
نسبتاً مهمتر	۳
اهمیت زیادتر	۵
اهمیت فوق العاده زیادتر	۹
ارزش‌های بینابینی	۸،۴،۶،۲

نقشه سنگ‌شناسی منقطه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قروه و سنندج تهیه و رقومی شد. این دشت از لحاظ سنگ‌شناسی به دیوریت و دیوریت گابرویی (*dg*)، ماسه‌سنگ آهکی و مارن (*Plm*)، تراورتن (*Q_{tr}*)، رسوب های دشت آبرفتی کم شیب (*Q_{t3}*)، رسوب‌های آبرفتی مرتفع (*Q_{t2}*) و رسوب‌های مخروط‌افکنه‌ای (*Q_f*) تقسیم‌بندی می‌شود. بخش‌های دارای سنگ‌شناسی دیوریت و دیوریت گابرویی (*dg*) جزء آکیفوژ[3] (فاقد توان نفوذ و ذخیره آب) محسوب شدند و به همین دلیل

[1] - *Ratio*
[2] - *Analytic Hierarchy Process*
[3] - *Aquifuge*

وارد مدل پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی نشدند.

خطواره‌ها[1] ساختارهای زمین ساختی خطی طویلی هستند که دارای اطلاعات مهم سطحی و زیرسطحی هستند و در مقدار نفوذ جریان سطحی، تغذیه آبخوان و یا حرکت آب‌های زیرزمینی موثرند (*Elewa & Qaddah, 2011*). تشخیص خطواره‌های منطقه مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار *PCI Geomatica* و تصاویر ماهواره‌ای *ETM+*[2] سال ۲۰۰۰ انجام گرفت. به‌منظور کمی‌کردن تأثیر خطواره‌ها، متغیر تراکم طول خطواره تعریف گردید. تراکم طول خطواره (*Ld*) مطابق رابطه (۱) عبارت است از نسبت مجموع طول تمام خطواره‌های موجود در سلول ***i***ام به مساحت همان سلول.

$$Ld=\Sigma L/A \qquad (km^{-1}) \qquad (۱)$$

که در آن ΣL مجموع طول خطواره‌های یک سلول برحسب کیلومتر و A مساحت سلول برحسب کیلومترمربع است. مقدار تراکم طول خطواره برای هر جزء شبکه (سلول) محاسبه و به نقطه مرکز مختصات سلول مربوطه اختصاص داده شد. سپس نقشه تراکم طول خطواره با استفاده از درون‌یابی کریجینگ به دست آمد.

شبکه زهکشی منطقه مورد بررسی با استفاده از نرم افزار *ArcGIS9.3* و مدل رقومی ارتفاع[3] (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) بدست آمد. برای کمی‌کردن تاثیر شبکه زهکشی و واردکردن آن به مدل پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی، از شبکه‌بندی طراحی شده در مراحل پیشین، استفاده شد. تراکم زهکشی (*Dd*) مطابق رابطه (۲) عبارت است از نسبت مجموع طول آبراهه‌های سلول ***i***ام به مساحت همان سلول (*Adiat et al., 2012*).

$$Dd=\Sigma L/A \qquad (km^{-1}) \qquad (۲)$$

که در آن ΣL مجموع طول جریان‌های یک سلول برحسب کیلومتر و A مساحت سلول برحسب کیلومترمربع است. مقادیر تراکم زهکشی بدست آمده برای هر جزء شبکه، به نقطه مرکز مختصات آن اختصاص داده شد. مشابه متغیر قبل نقشه تراکم زهکشی تهیه شد.

به‌منظور تهیه تهیهٔ شیب از مدل رقومی ارتفاع و نرم افزار *ArcGIS9.3* استفاده شد. نقشه 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 سالانه بارندگی برای بازه زمانی ۱۳۹۱-۱۳۷۰ محاسبه گردید. سپس نقشه میانگین بارندگی سالانه منطقه با استفاده از روش درون‌یابی *IDW* بدست آمد و درنهایت در پنج کلاس ۲۹۰-۲۶۰، ۳۲۰-۲۹۰، ۳۵۰-۳۲۰، ۳۸۰-۳۵۰ و ۴۰۰-۳۸۰ میلی‌متر در سال طبقه‌بندی شد.

تعیین شاخص پتانسیل آب زیرزمینی (*GWPI*)

به‌منظور تعیین شاخص پتانسیل آب زیرزمینی از روش ترکیب خطی وزنی[4] (*WLC*) که رایج‌ترین روش در تحلیل ارزیابی چند معیاری است، استفاده شد (کرم، ۱۳۸۳). شاخص پتانسیل آب زیرزمینی مطابق رابطهٔ (۳) برای هر جزء شبکه محاسبه شد و مقدار آن به نقطه مرکز سلول اختصاص داده شد.

$$GWPI= Lt_w.Lt_R+Rf_w.Rf_R+Dd_w.Dd_R+Ld_w.Ld_R+S_w.S_R \qquad (۳)$$

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 متغیر و نرخ کلاس مربوطه است.

ارزیابی دقت مدل

دقت نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی به وسیله داده‌های ظرفیت ویژه چاه‌های دشت قروه دهگلان مورد ارزیابی قرار گرفت. ظرفیت ویژه[5] (*SPC*) که براساس آزماش پمپاژ بدست می‌آید، مطابق رابطه (۴) تعریف می‌شود (*Delleur, 1998*).

[1] - *Lineament*
[2] -*Enhanced Thematic Mapper Plus*
[3] - *Digital Elevation Model*
[4] - *Weighted Linear Combination*
[5] - *Specific Capacity*

$$SPC=Q/S_w \quad (۴)$$

که در آن Q و S_w به ترتیب آبدهی چاه و افت سطح آب در چاه می‌باشد. در این پژوهش ۲۰ چاه که دارای نتایج آزمایش پمپاژ بود برای ارزیابی دقت پیش‌بینی روش *MCDA* در حالت‌های مختلف حضور متغیرها استفاده شد.

تحلیل حساسیت مدل

تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*)با روش حذفی انجام شد. در هر مرحله، یکی از متغیرهای ورودی مدل (بارندگی، سنگ شناسی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب) حذف شد و نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی بر پایه فقط چهار متغیر باقی‌مانده تهیه شد. دقت پیش-بینی مدل در هر حالت با روش نسبت فراوانی[1] و به وسیله داده‌های ظرفیت ویژه چاه‌ها محاسبه شد.

■ نتایج

ماتریس مقایسه های زوجی و وزن نرمال‌شده متغیرها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی و وزن نرمال‌شده متغیرها

متغیرها	*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	۱/۵	۱/۳	۱	۱	۰/۰۴

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

همچنین نرخ (*R*) کلاس‌های هریک از متغیرها با توجه به توانمندی آن‌ها در پتانسیل منابع آب زیرزمینی در جدول ۳ آمده است.

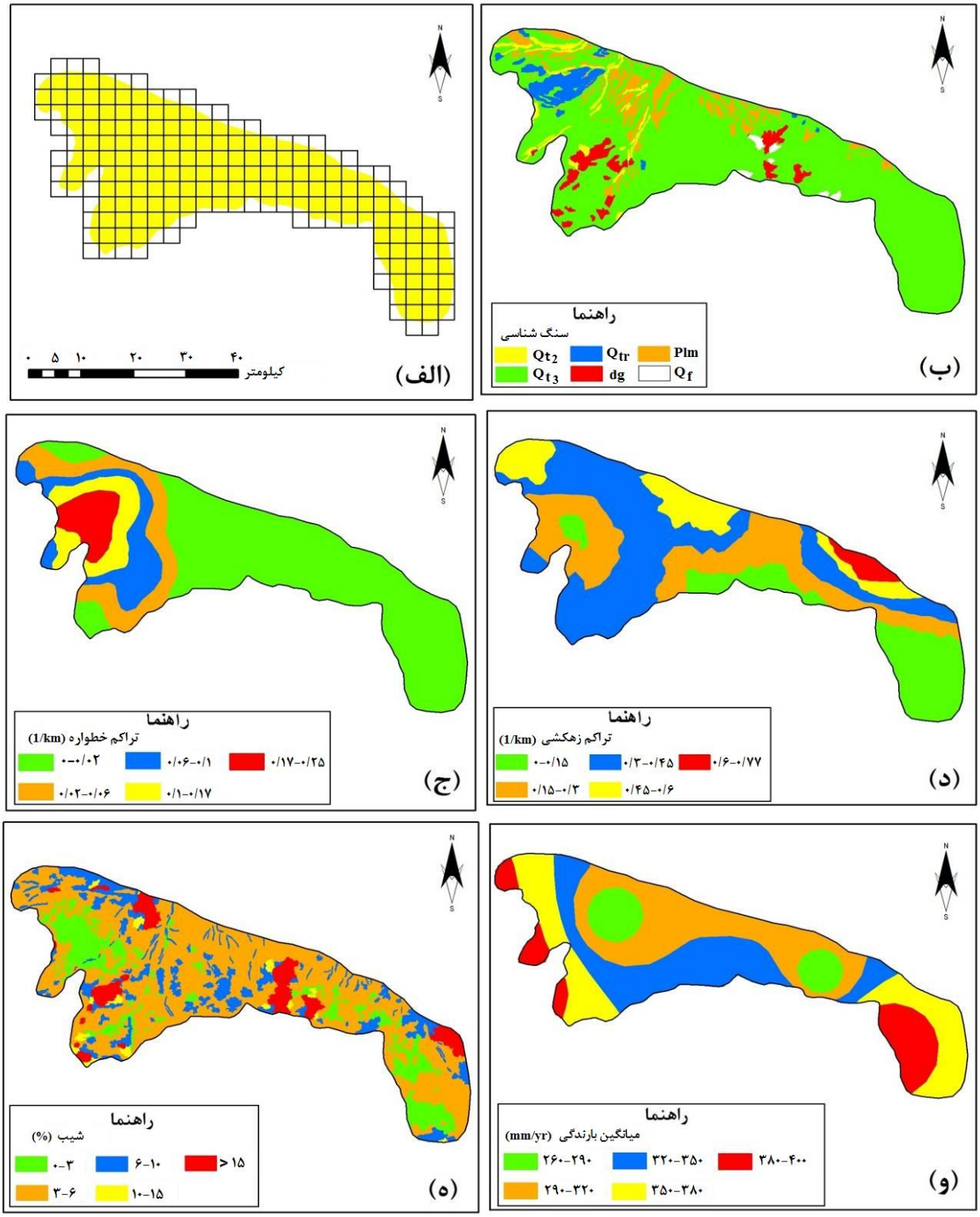
نقشه‌های شبکه‌بندی، سنگ‌شناسی، تراکم خطواره، تراکم زهکشی، شیب زمین و بارندگی دشت قروه-دهگلان در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳. نرخ کلاس‌های هریک از متغیرها

متغیرها	کلاس‌ها	نرخ (*R*)
سنگ‌شناسی (*Lt*)	ماسه سنگ آهکی و مارن (*Plm*)	۱
	رسوبات آبرفتی مرتفع (Q_{t2})	۲
	رسوبات مخروط افکنه ای (Q_f)	۳
	رسوبات دشت آبرفتی کم شیب (Q_{t3})	۴
	رسوبات نراورتن (*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
تراکم‌زهکشی (*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
تراکم‌خطواره (*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

شاخص پتانسیل آب زیرزمینی بر اساس روش ترکیب خطی وزنی (*WLC*) و برپایه تکنیک شبکه‌بندی، برای هر سلول شبکه بدست آمد؛ سپس مقدار این شاخص به نقطه مرکز سلول اختصاص داده شد. نتایج محاسبه شاخص *GWPI* برای اجزای شبکه شبکه دشت قروه-دهگلان در جدول ۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که چون نرخ (*R*)کلاس هریک از متغیرها 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 که در جدول ۵ نشان داده شده است.

[1] - *Frequency-Ratio*



شکل ۲. نقشه‌های منطقه مطالعاتی:

شبکه‌بندی (الف)، سنگ‌شناسی (ب)، تراکم خطواره (ج)، تراکم زهکشی (د)، شیب (ه) و میانگین بارندگی (و)

جدول ۴. محاسبه شاخص پتانسیل آب زیرزمینی برای اجزای شبکه

شماره سلول	مختصات مرکز سلول (UTM)		سنگ‌شناسی		بارندگی		تراکم زهکشی		تراکم خطواره		شیب		GWPI
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	R	W. R	R	W. R	R	W. R	R	W. R	R	W. R	ΣW. R
۱۱	۷۰۴۹۹۵/۷	۳۹۲۱۵۹۳/۵	۵	۱/۵۵	۳	۱/۳۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۳/۵۱۵
۲	۷۰۸۱۰۶/۶	۳۹۲۱۵۹۳/۵	۴	۱/۲۴	۳	۱/۳۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۳/۲۰۵
۳	۷۱۱۲۱۷/۶	۳۹۲۱۵۹۳/۵	۱	۰/۳۱	۳	۱/۳۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۲/۲۷۵
۴	۷۰۱۸۲۷/۱	۳۹۱۸۵۱۱/۳	۲	۰/۶۲	۳	۱/۳۵	۲	۰/۱۴	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۲/۳۷۵
۵	۷۰۴۹۶۶/۹	۳۹۱۸۴۵۳/۷	۱	۰/۳۱	۳	۱/۳۵	۳	۰/۲۱	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۲/۱۳۵
۶	۷۰۸۱۳۵/۴	۳۹۱۸۴۸۲/۵	۲	۰/۶۲	۳	۱/۳۵	۳	۰/۲۱	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۲/۴۴۵
۷	۷۱۱۲۱۷/۶	۳۹۱۸۵۱۱/۳	۲	۰/۶۲	۳	۱/۳۵	۴	۰/۲۸	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۲/۵۱۵
۸	۷۱۴۳۵۷/۳	۳۹۱۸۴۵۳/۷	۲	۰/۶۲	۳	۱/۳۵	۴	۰/۲۸	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۲/۵۱۵
۹	۷۱۷۳۸۱/۸	۳۹۱۸۳۹۶/۱	۱	۰/۳۱	۲	۰/۹	۴	۰/۲۸	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۱/۷۵۵
۱۰	۷۲۰۴۳۵/۲	۳۹۱۸۳۶۷/۳	۳	۰/۹۳	۲	۰/۹	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۲/۴۴۵
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۱۹۵	۷۷۹۳۱۵/۵	۳۸۷۵۰۵۹/۰	۵	۱/۵۵	۳	۱/۳۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۴	۰/۱۸	۳/۵۶
۱۹۶	۷۶۹۷۳۷/۳	۳۸۷۲۰۷۰/۵	۵	۱/۵۵	۵	۲/۲۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۴	۰/۱۸	۴/۴۶
۱۹۷	۷۷۳۰۸۵/۹	۳۸۷۲۰۳۴/۵	۴	۱/۲۴	۵	۲/۲۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۳	۰/۱۳۵	۴/۱۰۵
۱۹۸	۷۷۶۰۷۴/۴	۳۸۷۲۰۷۰/۵	۴	۱/۲۴	۳	۱/۳۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۴	۰/۱۸	۳/۲۵
۱۹۹	۷۷۹۲۷۹/۰	۳۸۷۲۰۷۰/۵	۴	۱/۲۴	۳	۱/۳۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۴	۰/۱۸	۳/۲۵
۲۰۰	۷۷۳۰۱۳/۹	۳۸۶۹۰۴۶/۰	۴	۱/۲۴	۳	۱/۳۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۲	۰/۰۹	۳/۱۶
۲۰۱	۷۷۶۱۱۰/۵	۳۸۶۸۹۳۷/۹	۴	۱/۲۴	۳	۱/۳۵	۵	۰/۳۵	۱	۰/۱۳	۲	۰/۰۹	۳/۱۶

جدول ۵. طبقات شاخص *GWPI* (*Adiat et al., 2012*)

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

نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی دشت قروه دهگلان که براساس تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) و حضور پنج متغیر بدست آمد که در شکل ۳ مشاهده می شود.

مقایسه نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی (براساس حضور پنج متغیر) و توصیف داده‌های ظرفیت ویژه در جدول ۶ نشان داده شده است.

دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی بر اساس مدل نسبت فراوانی[1] محاسبه شد (جدول ۷). همان‌گونه که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، ظرفیت ویژه ۱۷ چاه با پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی روش *MCDA* مطابقت

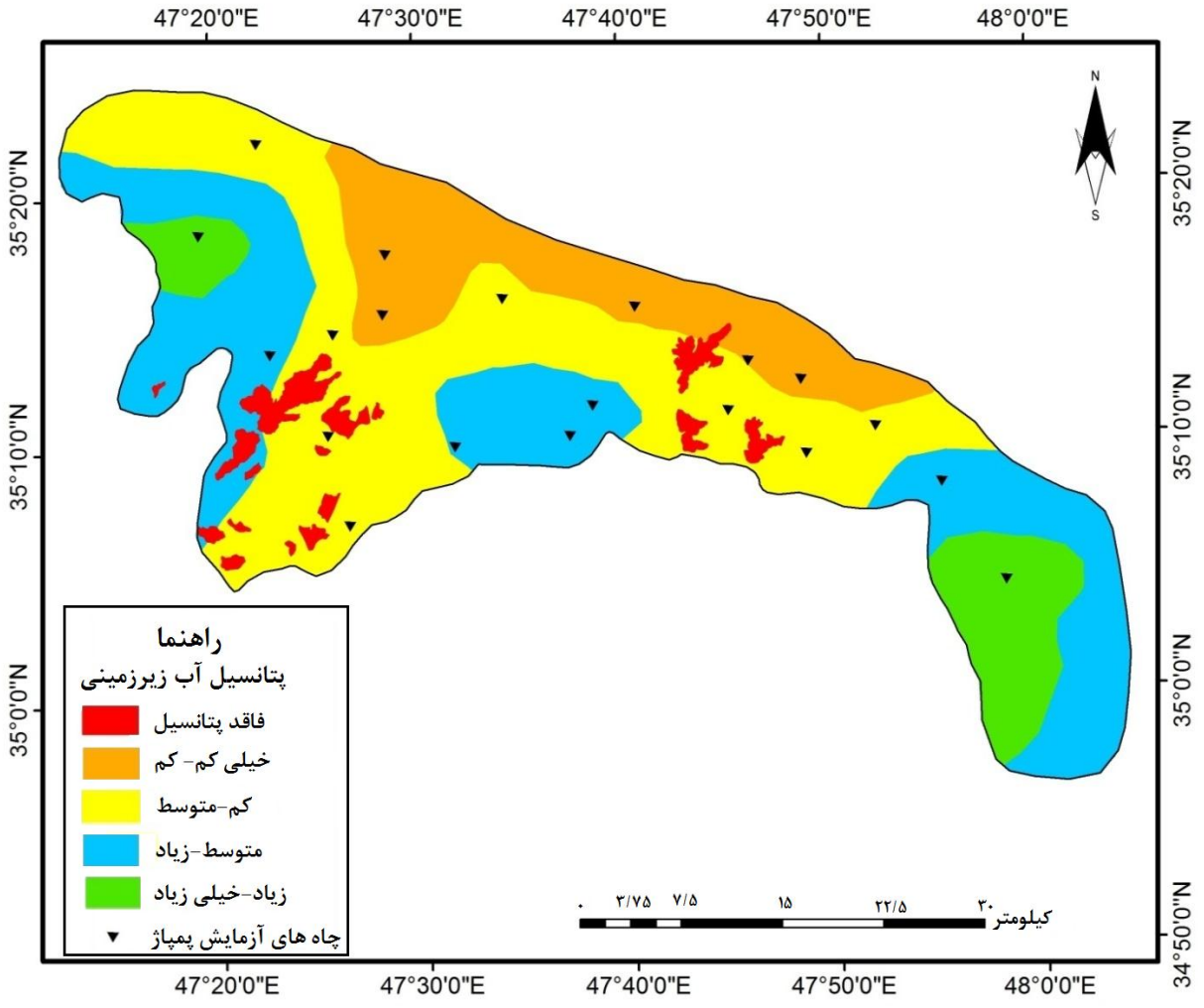
[1] - *Frequency-ratio model*

دارد. بنابراین دقت پیش‌بینی بر اساس مدل ۸۵ درصد برآورد شد.

نتایج تحلیل حساسیت مدل

مشابه ارزیابی دقت نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی که بر اساس پنج متغیر انجام گرفت؛ دقت نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی در حالت‌هایی که فقط چهار متغیر حضور داشتند نیز تعیین شد. به عبارت دیگر با استفاده از حذف یک متغیر از مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری و ارزیابی مجدد با استفاده از داده‌های ظرفیت ویژه، دقت پیش‌بینی مدل در هرحالت بدست آمد. نتایج مطابقت داده‌های ظرفیت ویژه ۲۰ چاه مورد - نظر با هریک از نقشه‌های نهایی در جدول ۸ نشان داده شده است.

بر اساس تحلیل حساسیت انجام شده، اولویت تأثیرگذاری متغیرهای موردنظر بر دقت نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی نیز به ترتیب عبارتند از: سنگ‌شناسی، بارندگی، شیب / تراکم خطواره و تراکم زهکشی.



شکل۳. نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی برپایه پنج متغیر و موقعیت چاه‌های آزمایش پمپاژ

جدول۶. مقایسه بین توصیف واقعی ظرفیت ویژه چاه‌ها و توصیف پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی

شماره چاه	مختصات چاه (UTM)		مقدار ظرفیت ویژه ($m^3/h/m$)	توصیف واقعی (ظرفیت ویژه)	توصیف نقشه پیش‌بینی	مقایسه توصیف‌های واقعی و پیش‌بینی
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی				
۱	۷۳۰۰۸۵	۳۸۹۴۶۲۵	۸	متوسط	متوسط-زیاد	موافق
۲	۷۵۶۱۵۰	۳۸۹۴۲۳۶	۵	متوسط	کم-متوسط	موافق
۳	۷۶۲۴۰۴	۳۸۹۲۴۳۵	۵	متوسط	کم-متوسط	موافق
۴	۷۶۶۹۷۳	۳۸۸۷۹۴۶	۵/۹	متوسط	متوسط-زیاد	موافق
۵	۷۱۶۳۵۱	۳۹۰۱۲۸۲	۴/۶	کم	متوسط-زیاد	ناموافق
۶	۷۵۰۳۴۶	۳۸۹۷۳۳۹	۱۵	خیلی زیاد	کم-متوسط	ناموافق
۷	۷۲۲۳۰۶	۳۸۸۸۸۴۲	۴/۲	کم	کم-متوسط	موافق
۸	۷۲۱۲۵۵	۳۹۰۹۲۵۶	۵	متوسط	کم-متوسط	موافق
۹	۷۳۳۵۸۰	۳۹۰۵۴۴۶	۸	متوسط	کم-متوسط	موافق
۱۰	۷۴۰۲۹۳	۳۸۹۷۶۷۱	۸/۳	متوسط	متوسط-زیاد	موافق
۱۱	۷۲۰۶۴۵	۳۸۹۵۳۹۸	۲/۲	کم	کم-متوسط	موافق
۱۲	۷۲۱۰۰۱	۳۹۰۲۷۸۴	۳/۴	کم	کم-متوسط	موافق
۱۳	۷۱۵۲۸۷	۳۹۱۶۶۶۵	۲/۷	کم	کم-متوسط	موافق
۱۴	۷۴۰۳۴۴	۳۸۹۵۳۲۹	۲	کم	متوسط-زیاد	ناموافق
۱۵	۷۶۱۲۶۵	۳۸۹۶۲۳۵	۲	کم	کم-متوسط	موافق
۱۶	۷۲۴۶۸۴	۳۹۰۴۲۳۸	۴/۹	کم	خیلی کم-کم	موافق
۱۷	۷۵۱۸۱۱	۳۹۰۰۹۵۲	۴/۲	کم	خیلی کم-کم	موافق
۱۸	۷۵۳۹۸۳	۳۸۹۹۱۸۰	۱/۱	خیلی کم	خیلی کم-کم	موافق
۱۹	۷۲۴۸۶۶	۳۹۰۸۶۴۰	۹/۱	خیلی کم	خیلی کم-کم	موافق
۲۰	۷۴۳۳۹۱	۳۹۰۴۸۸۵	۲	کم	خیلی کم-کم	موافق

جدول۷. محاسبه 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	٪۸۵ = ۱۰۰×(۱۷/۲۰)

جدول۸. ارزیابی دقت نقشه‌های پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی در حالت‌های مختلف حضور متغیرها

حالت	مجموعه تصمیم‌گیری	نسبت موافق	دقت پیش‌بینی (٪)
۱	حضور همه متغیرها	۱۷/۲۰	۸۵
۲	حذف بارندگی	۱۴/۲۰	۷۰
۳	حذف سنگ‌شناسی	۱۲/۲۰	۶۰
۴	حذف تراکم زهکشی	۱۶/۲۰	۸۰
۵	حذف تراکم خطواره	۱۵/۲۰	۷۵
۶	حذف شیب	۱۵/۲۰	۷۵

■ بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که دقت روش تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) در شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی، به شدت به تعداد متغیرهای بارندگی، سنگ‌شناسی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب زمین وابسته است. همانطور که در نتایج آنالیز حساسیت مشاهده شد، بیشترین دقت پیش‌بینی مدل مربوط به حالتی است که تمام متغیرها در آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره حضور دارند (۸۵٪)؛ کمترین دقت پیش‌بینی مربوط به حالتی است که متغیر سنگ‌شناسی از مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری حذف گردید (۶۰ ٪). بنابراین متغیر سنگ‌شناسی از طریق تاثیر بر روی ویژگی های فیزیکی از جمله: تراکم خطواره و گسل، نفوذپذیری و تراوایی بیشترین تأثیر را روی دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی دارد.

هچنین همهٔ متغیرهای سنگ‌شناسی، بارندگی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره و شیب زمین تأثیر مثبتی بر دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی داشتند. به عبارت دیگر در اثر حذف هریک از آن‌ها، دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. این درحالی است که در بررسی آنالیز حساسیت متغیرهای موثر در پتانسیل آب زیرزمینی مشاهده شده است که برخی از متغیرها (تراکم خطواره، بافت خاک و...) تأثیر مثبتی بر دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی دارند و برخی دیگر (ارتفاع، شیب، تراکم زهکشی و...) دارای تأثیر منفی هستند (*Oh et al., 2011*).

در این پژوهش مشخص شد که متغیر شیب زمین تأثیر مثبتی بر دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی دارد؛ به گونه‌ای که با حذف آن از مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری، دقت پیش‌بینی نسبت به حالت جامعیت متغیرها، افت محسوسی داشت (۱۰٪). این یافته که حضور متغیر شیب زمین در مجموعه لایه‌های آنالیز تصمیم‌گیری تأثیر مثبتی بر دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی دارد، با نتایج پژوهش *Adiat* و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی کامل دارد. آن ها نشان دادند که حضور متغیر شیب زمین در مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری با وجود تغییرات کم آن در دشت‌ها، ضروری است و حذف آن از مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری موجب کاهش شدید دقت پیش‌بینی می‌گردد. این درحالی است که در برخی مطالعات نتایج متفاوتی در مورد تأثیرگذاری متغیر شیب زمین بر پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی ذکر شده است. نتایج پژوهش ارتباط ظرفیت ویژه آب زیرزمینی با متغیرهای محیطی نشان داد که متغیر شیب تأثیر منفی بر دقت پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی دارد (*Oh et al. ,2011*) به گونه‌ای که حذف آن از مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری موجب افزایش دقت مدل پیش‌بینی می‌شود. دلیل این امر به احتمال به خاطر وجود شیب‌های تند در منطقه مورد بررسی آن‌ها است.

همانطور که مشاهده شد حضور متغیر سنگ‌شناسی در بین مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری نقش مهمی ایفا می‌کند؛ به‌گونه‌ای که حذف آن از مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری موجب ۲۵ درصد کاهش دقت پیش‌بینی شد. دشت‌های آبرفتی ایران بیشتر از رسوب‌های کواترنری پوشیده شده‌اند (احمدی و فیض نیا، ۱۳۸۴). لذا تفکیک کلاس‌های رسوبات کواترنری در قالب لایه سنگ‌شناسی بسیار اهمیت دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که طبقه‌های رسوب کواترنری ارتباط زیادی با پتانسیل منابع آب زیرزمینی دارد و بررسی نوع رسوبکواترنری موجب کاراترشدن روش آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی شد؛ که با نتایج پژوهش فیض نیا و همکاران مطابقت کامل دارد (فیض نیا و همکاران، ۱۳۹۱).

مقدار بارندگی در یک دشت دارای تغییرات کمی است؛ اما نتایج این پژوهش نشان داد که وجود آن در بین مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری موجب دقیق‌تر شدن و کاراتر شدن تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی می‌شود؛ به گونه‌ای که حذف آن از مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری موجب ۱۵ درصد افت در دقت پیش‌بینی شد. بنابراین بکارگیری آن برای غنی‌تر کردن مجموعه لایه‌های تصمیم‌گیری مفید و لازم است.

در پایان تأکید می‌شود که در مطالعات بعدی وزن‌دهی متغیرهای موثر در پتانسیل آب زیرزمینی در روش‌های تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDA*) به

ترتیب اولویت تأثیرگذاری آن‌ها در پتانسیل آب زیرزمینی (که عبارتند از: سنگ‌شناسی، بارندگی، شیب/تراکم خطواره و تراکم زهکشی)، انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد که ضمن توجه به جامعیت مجموعه متغیرها در تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، حضور لایه سنگ شناسی در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی بسیار تأثیرگذار است و این متغیر به همراه زیر عامل‌های آن باید همواره مد نظر قرار گیرند.

■ منابع

۱. احمدی، ح. فیض‌نیا، س. (۱۳۸۴). سازندهای دوره کواترنری. تهران: انتشارات دانشگاه تهران

۲. فیض نیا، س. شهبازی، ر. احمدی، ح. (۱۳۹۱). رابطه بین رسوبات کواترنری با رخساره‌های ژئومرفولوژی و آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چشمه علی دامغان و پلایای حاج علی قلی). *نشریه مرتع و آبخیزداری*، (۱)۶۵، ۱۱۶-۱۰۱.

۳. کرم، ع. (۱۳۸۳). کاربرد مدل ترکیب خطی وزین (*WLC*) در پهنه بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش (مطالعه موردی: منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری). *فصلنامه جغرافیا* و توسعه، ۲، ۱۴۶-۱۳۱.

4. *Adiat, K. A. N., Nawawi, M. N. M. & 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.*

5. *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.*

6. *Delleur, J. W. (1998). The handbook of groundwater engineering, CRC press LLC, 940 p.*

7. *Saaty, T. L. (1980). The Analytic hierarchy process: Planning, priority setting, Resource allocation. McGraw-Hill, New York.*

8. *Elewa, H. H., & 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.*

9. *Greenbaum, D. (1989). Hydrogeological applications of remote sensing in areas of crystalline basement. Proc groundwater exploration and development in crystalline basement aquifers, Zimbabwe.*

10. *Hyde, K. M., Maier, H. R., & Colby, C. B. (2005). A distance-based uncertainty analysis approach to multi-criteria decision analysis for water resource decision making. Journal of Environmental Management, 77, 278–290.*

11. *Hyde, K. M., & Maier, H. R. 2006. Distance-based and stochastic uncertainty analysis for multi-criteria decision analysis in excel using visual basic for applications. Environmental Modelling and Software, 21(12), 1695-1710.*

12. *Janssen, R., Goosen, H., Verhoeven, M. L., Verhoeven, J. T. A., Omtzigt, A. Q. A. & Maltby, E. (2005). Decision support for integrated wetland management. Environmental Modelling and Software, 20, 215-229.*

13. *Jha, M. K., Chowdary, V. M. & 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.*

14. *Machiwal, D., Jha, M. K., & Mal, B. C. (2011). Assessment of Groundwater Potential in a Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, GIS and MCDM Techniques. Water Resource Management, 25, 1359–1386.*

15. *Murthy, K. S. R., & 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.*

16. *Oh, H., Kim, Y., Choi, J., Park, E., & Lee, S. (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. Journal of Hydrology, 399, 158–172.*

17. *Pietersen, K. (2006). Multiple criteria decision analysis (MCDA): a tool to support sustainable management of groundwater resources in South Africa. Water SA, 32(2), 119-128.*

18. *Ravalico, J. K., Dandy, G. C., & Maier, H. R. (2010). Management Option Rank Equivalence (MORE) – A new method of sensitivity analysis for decision-making. Environmental Modelling & Software, 25, 171–181.*

19. *Rose, R. S. S., & Krishnan, N. (2009). Spatial Analysis of Groundwater Potential using Remote Sensing & GIS in the Kanyakumari and Nambiyar Basins, India. Journal of Indian Society of Remote Sensing, 37, 681–692.*

20. *Saltelli, A., Chan, K., & Scott, E. M. (2000). Sensitivity Analysis. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.*

21. *Todd DK, Mays LW (2005) Groundwater hydrology, 3rd edn. Wiley, New York, p 636*

No. 4, Spring & Summer, 2015, pp 1-13

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Sensitivity Analysis of Conditioning Factors In Groundwater Potential Prediction (Case Study: Ghorve-Dehgolan Plain)

O. Rahmati[1], A.A. Nazari Samani[*2], M. Mahdavi[3]

1- Ph.D Student, University of Lorestan, Iran
2- Associate Professor, University of Tehran, Iran
3- Emeritus Professor, University of Tehran, Iran
** Corresponding author, E-mail: aknazari@ut.ac.ir*

Received: 6/10/2013 ***Accepted: 11/01/2015***

Abstract

Groundwater is known as one of the most valuable natural resources which play an important role in providing water supply in arid areas. In this study, multi-criteria decision-making (MCDA) methods were used for sensitivity analysis of the effective parameters in groundwater potential prediction based on the lithology, annual rainfall, drainage density, lineament density and land slope parameters in Ghorveh-Dehgolan plain as a case study. The normalized weights of the parameters were determined based on the paired comparisons of AHP approach. After preparing the groundwater potential prediction map, validation of the model was conducted by using the pumping tests data of 20 wells in the study area. Sensitivity analysis of the effective parameters in groundwater potential prediction was measured using the elimination method and finally accuracy of the maps was evaluated. The results of the sensitivity analysis showed that all parameters have a positive impact on the accuracy of the groundwater potential prediction while the best accuracy was obtained by combination of all layers (85%), and the worst accuracy resulted when the lithology was eliminated from the decision layers (60%). Therefore, the lithology parameter through effects on physical properties such as density of lineaments and faults, porosity and permeability has the highest impacts on the accuracy of groundwater potential prediction. The results also revealed that rainfall and slope variables, in despite of their little changes in a plain, are effective in accuracy of groundwater potential prediction.

Keywords*: Sensitivity analysis; Multi-Criteria Decision; Groundwater potential, Ghorveh-Dehgolan*