

ارزیابی کاربرد تکنیک شبکه‌بندی و روش AHP به منظور پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چم‌شور استان کردستان)

- ❖ امید رحمتی*؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ علی‌اکبر نظری سامانی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ نریمان محمودی؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ بهرام چوین؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

یکی از راه‌های خارج شدن از بحران افت سطح آب زیرزمینی، اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی است که باعث انتقال آب از سطح زمین به داخل آن و متعادل کردن سطح ایستابی می‌گردد. تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی، خود یکی از مهم‌ترین مراحل اجرای این گونه پروژه‌ها است. در این پژوهش، قابلیت کاربرد تکنیک شبکه‌بندی و روش AHP برای پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور در حوزه آبخیز چم‌شور برای مراتع در نظر گرفته شده، شبکه‌بندی با اندازه سلول ۰/۱ کیلومترمربع تعریف گردید و پارامترهای زمین‌شناسی، شیب، ضخامت لایه غیراشباع، هدایت الکتریکی و قابلیت انتقال برای ورود به مدل انتخاب شد. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی برای اجرای تغذیه مصنوعی با استفاده از تکنیک شبکه‌بندی، روش وزن‌دهی AHP و ترکیب خطی وزنی تهیه گردید. برای ارزیابی مدل از سامانه تغذیه مصنوعی اجرا شده در حوزه آبخیز مورد مطالعه استفاده شد که عملکرد موفقی در زمینه متعادل کردن سطح سفره آب زیرزمینی، کاهش سیلاب‌های مخرب و افزایش پوشش گیاهی داشته است. در نهایت، دقت مدل AHP همراه با تکنیک شبکه‌بندی ۸۷/۵ درصد به دست آمد. بنابراین، پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی حاصل از تکنیک شبکه‌بندی و روش AHP قابل اطمینان بوده و استفاده از آن در مکان‌یابی سامانه‌های پخش سیلاب به منظور تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی پیشنهاد می‌گردد.

کلید واژگان: پتانسیل تغذیه مصنوعی، تکنیک شبکه‌بندی، مدل AHP، حوزه آبخیز چم‌شور

۱. مقدمه

در بررسی کاربردهای سنجش از دور در زمینه هیدروژئولوژی، جهت تهیه نقشه از تکنیک شبکه‌بندی استفاده شده است [۷]. همچنین تکنیک شبکه‌بندی و روش تحلیل سلسله مراتبی برای پهنه‌بندی پتانسیل منابع آب زیرزمینی به کار رفته و نتایج نشان داده که دقت مدل بالاست [۱۱]. در این پژوهش، تکنیک شبکه‌بندی و روش تحلیل سلسله مراتبی به منظور پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی استفاده شده و در نهایت نقشه نهایی ارزیابی می‌گردد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چم‌شور با وسعت ۱۵۶۱۵۳/۶ هکتار، در جنوب شرقی استان کردستان واقع گشته و براساس سامانه مختصات جغرافیایی بین طول‌های ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و بین عرض‌های ۳۴ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی، در زون ۳۸ جغرافیایی قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه این منطقه، ۳۴۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه، تقریباً ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. از لحاظ زمین‌شناسی، بخش اعظم منطقه مورد مطالعه را رسوبات کواترنری تشکیل می‌دهد. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده از آزمایش پمپاژ، آبخوان موجود در این حوزه آبخیز، از نوع آزاد بوده و متوسط قابلیت انتقال و ضریب ذخیره آن به ترتیب عبارت است از ۴۲۳ مترمربع در روز و ۰/۳ درصد [۱۵]. همچنین در این حوضه، یک سامانه پخش سیلاب در سال ۱۳۸۱ توسط وزارت جهاد کشاورزی اجرا شده است که ضمن کاهش سیلاب‌های مخرب در منطقه، باعث تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و سامانه پخش سیلاب اجرا شده را در استان کردستان نشان می‌دهد.

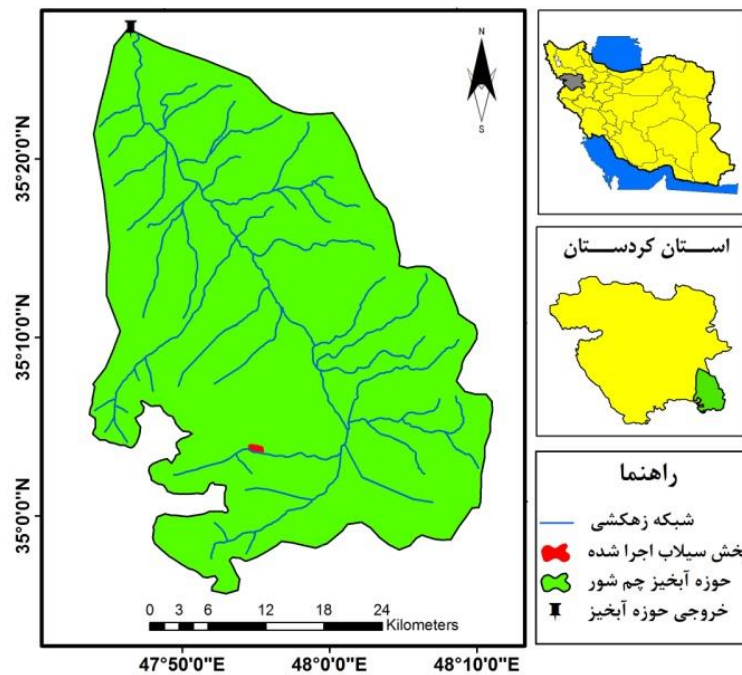
یکی از راه‌های خارج شدن از بحران افت سطح آب زیرزمینی، اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی است که باعث انتقال آب از سطح زمین به داخل آن و متعادل کردن سطح ایستابی می‌گردد. اولین اقدام برای اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، شناخت منطقه و مکان‌یابی مناطق مناسب برای اجرای آن است. در مناطقی که زمین کافی با خاک‌های نفوذپذیر موجود باشد، به شرط اینکه شرایط هیدروژئولوژی منطقه اجازه دهد تغذیه مصنوعی مفید خواهد بود [۵].

روش‌های وزندهی ساده و بردار ویژه برای پهنه‌بندی عملیات تغذیه مصنوعی به کار گرفته شده است و نتایج نشان داده که روش تحلیل سلسله مراتبی در کنار بردار ویژه، نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد [۱۲]. همچنین پارامترهای شیب، عمق آب زیرزمینی، کیفیت رسوبات، میزان نفوذپذیری و کاربری اراضی، برای تعیین مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی استفاده شده است [۶]. توانایی روش تحلیل سلسله مراتبی در مکان‌یابی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی با استفاده از سامانه پخش سیلاب اجرا شده در حوزه آبخیز عشق‌آباد طبرس نیز مثبت ارزیابی گردید [۳].

همچنین سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تجزیه و تحلیل عوامل نفوذپذیری سطحی، شیب، قابلیت انتقال، ضخامت لایه غیراشباع و کیفیت آبرفت جهت تعیین مناطق مناسب تغذیه مصنوعی مفید تلقی شده است [۴]. آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی^۱ با ادغام آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره^۲ و سیستم اطلاعات جغرافیایی تعریف می‌گردد و در حل مشکلات تصمیم‌گیری و مکان‌یابی مناطق مناسب برای پروژه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، دارای کارایی بالا و نیازمند صرف کم‌ترین هزینه است [۲].

1 SMCA: Spatial Multi-Criteria Decision Analysis

2 MCDA: Multi-Criteria Decision Analysis



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

طبقه بندی گردید.

با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، نقشه رقومی زمین شناسی استخراج گردید. از آنجایی که تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی عموماً در واحدهای کواترنری انجام می گیرد، بخش هایی شامل سنگ های نفوذناپذیر و نامناسب برای انجام تغذیه مصنوعی حذف گردید. بنابراین واحدهای کواترنری باقی مانده و مهم شامل دشت آبرفتی کم شیب (Q_{i3})، رسوبات رودخانه ای (Q_{al}) و رسوبات مخروط افکنه ای (Q_f) برای بررسی شایستگی تغذیه مصنوعی استخراج شد.

عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی و ضخامت بخش غیراشباع از معیارهای مهم و تاثیرگذار بر میزان تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی است. بر این اساس، عمق آب زیرزمینی به کمک اطلاعات چاه های پیژومتری محاسبه و نقشه هم عمق آب زیرزمینی برای مهرماه ۱۳۹۰ تهیه گردید. جهت تهیه نقشه قابلیت انتقال از داده های آزمایش پمپاژ دشت قروه-دهگلان که توسط شرکت آب منطقه ای

۲.۲. روش تحقیق

۱.۲.۲. انتخاب معیارها

در این پژوهش برای مکان یابی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی حوزه آخیز چم شور، از تکنیک شبکه بندی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۱ استفاده می شود. ابتدا معیارهای تاثیرگذار بر تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی انتخاب شد که عبارتند از شیب، زمین شناسی، ضخامت بخش غیراشباع، قابلیت انتقال و کیفیت آب زیرزمینی. سپس لایه های رقومی تمام معیارها در محیط نرم افزار ArcGIS 9.3 تهیه گردید.

۲.۲.۲. تهیه لایه های رقومی

جهت دستیابی به نقشه شیب منطقه مورد مطالعه، از نقشه مدل رقومی ارتفاع^۲ منطقه استفاده شد. سپس نقشه شیب منطقه به سه کلاس ۰-۲، ۲-۴ و ۴-۶ درصد

1 AHP: Analytical Hierarchy Process

2 DEM: Digital Elevation Model

جدول ۱. مقیاس انجام مقایسه‌های زوجی

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

۴.۲.۲. آزمون سازگاری مقایسه‌ها

برای اینکه مقایسه‌های انجام شده سازگار و قابل قبول باشد، باید نرخ ناسازگاری^۳ (IR) از ۰/۱ کمتر باشد. مقدار نرخ سازگاری بر اساس رابطه‌های (۱) و (۲) به دست می‌آید.

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

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

که در این رابطه‌ها، CI ، λ ، n و RI به ترتیب عبارتند از نسبت سازگاری، میانگین بردار سازگاری، تعداد پارامترها و شاخص تصادفی. شاخص تصادفی اعداد ثابتی بوده که مقدار آن به تعداد پارامترها بستگی دارد.

۵.۲.۲. تعیین نرخ (R) کلاس‌های هر معیار

نرخ اختصاص یافته به هر کلاس، براساس توان نسبی آن در تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی است. این امتیازها عبارتند از ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و به ترتیب بیانگر توانمندی تغذیه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد هستند.

۶.۲.۲. تعیین شاخص پتانسیل تغذیه مصنوعی^۴

تکنیک ترکیب خطی وزنی^۵، برای تعیین شاخص پتانسیل تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی و تهیه نقشه نهایی

کردستان انجام گرفته، استفاده شد. ابتدا داده‌های قابلیت انتقال رقومی شده و سپس نقشه هم‌قابلیت انتقال با استفاده از درون‌یابی خطی تهیه گردید.

برای تهیه نقشه کیفیت آبرفت از اطلاعات هدایت الکتریکی (EC) چاه‌های نمونه‌برداری شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان مربوط به سال ۱۳۹۰ استفاده شد. هرچه میزان EC آب زیرزمینی کم باشد، بیانگر وجود املاح کم در آب و کیفیت مطلوب آب است.

سپس در میان مراتع حوزه آبخیز مورد مطالعه چهار مرتع که از لحاظ هیدرولوژیکی (سابقه وقوع سیلاب) شرایط اولیه اجرای تغذیه مصنوعی را داشتند، برای مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی و ارزیابی مدل انتخاب گشتند. در مرحله بعد با به کارگیری نرم‌افزار ArcGIS 9.3 برای نقشه مراتع مزبور، شبکه‌بندی^۱ تعریف گردید (شکل ۳). اندازه سلول‌های شبکه‌بندی با توجه به توزیع مکانی پارامترهای مورد نظر، ۰/۱ کیلومتر مربع در نظر گرفته شد. این تکنیک، باعث سیستماتیک کردن تصمیم‌های کارشناسی در تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی می‌گردد [۷]. شبکه طراحی شده برای تمام معیارهای مورد نظر اعمال گردید. در هر نقشه مشخص، سلول‌ها با توجه به این که چه کلاسی را پوشش داده‌اند، نرخ‌دهی^۲ شدند.

۳.۲.۲. تعیین وزن معیارها

برای تعیین وزن معیارها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد [۱۳]. این وزن‌دهی، براساس اهمیت نسبی هر معیار در پتانسیل تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی بوده و در قالب مقیاس ۱-۹، امتیاز داده شده است (جدول ۱). برای تعیین وزن معیارها ابتدا پرسش‌نامه‌ای تهیه شد و نظر ده کارشناس برای انجام مقایسه جفتی معیارها استخراج گشت. سپس با کمک نرم‌افزار Expert Choice، ماتریس مقایسات جفتی معیارها تشکیل گردید. در نهایت وزن نرمال شده هر یک از پارامترها به دست آمد.

1 Grid

2 Rating

3 Inconsistency Ratio

4 ARPI: Artificial Recharge Potential Index

5 WLC: Weighted Linear Combination

محلی، سامانه پخش سیلاب اجرا شده در این منطقه مفید بوده و در زمینه افزایش پوشش گیاهی، افزایش آبدهی چاه‌های مناطق پایین‌دست و جلوگیری از سیلاب‌های مخرب، تأثیر فراوانی داشته است. همچنین گزارش‌های تراز سطح ایستابی چاه‌های پیرومتری مناطق پایین‌دست این سامانه، حاکی از افزایش تغذیه آب زیرزمینی و بهبود وضعیت سطح آب زیرزمینی نسبت به سال‌های قبل از اجرای پروژه است. لذا موفقیت‌آمیز بودن این طرح در منطقه مورد مطالعه، معیار مناسبی جهت ارزیابی مدل پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی است.

بدین منظور، نقشه نهایی پتانسیل تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با پروژه پخش سیلاب اجرا شده در منطقه مطالعاتی که دارای عملکرد موفقی بوده است، مطابقت داده شد. بر این اساس سامانه پخش سیلاب اجرا شده نیز با در نظر گرفتن اندازه سلول ۰/۱ کیلومتر مربع (برابر با سلول‌های طراحی نقشه پهنه‌بندی)، شبکه‌بندی شد و در نهایت بعد از روی هم‌گذاری با نقشه پهنه‌بندی نهایی، درصد فراوانی سلول‌های قرار گرفته در طبقات مختلف به دست آمد.

۳. نتایج

نظرات کارشناسی چند متخصص (آب زیرزمینی، ژئومرفولوژی و ...) برای مقایسه جفتی بین پارامترها در قالب پرسش‌نامه جمع‌آوری گردید. جدول ۳ مقایسات جفتی بین پارامترها را با توجه به اهمیت آن‌ها در پتانسیل تغذیه مصنوعی نشان می‌دهد.

۱.۳. آزمون ناسازگاری

پس از انجام مقایسات زوجی معیارها، نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ محاسبه شد. به دلیل اینکه این نرخ ناسازگاری از مقدار ۰/۱ کمتر است، مقایسات انجام گرفته و وزن‌های به دست آمده مورد قبول محسوب می‌گردد.

مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی به کار گرفته شد. ترکیب خطی وزنی، رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاری است. شاخص پتانسیل تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی مطابق معادله (۳) عبارت است از مجموع حاصل ضرب وزن هر پارامتر در نرخ کلاس مربوطه.

$$ARPI = Z_w \cdot Z_R + EC_w \cdot EC_R + T_w \cdot T_R + G_w \cdot G_R + S_w \cdot S_R \quad (3)$$

که در این معادله، Z, EC, T, G, S به ترتیب بیانگر ضخامت لایه غیراشباع، هدایت الکتریکی، قابلیت انتقال، زمین‌شناسی و شیب و اندیس‌های R و W به ترتیب، نشان‌دهنده وزن اصلی معیار و نرخ کلاس مربوطه هستند.

سپس شاخص پتانسیل تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی برای تمام سلول‌های مراتع مورد نظر محاسبه شد و در نهایت به منظور پهنه‌بندی مکان‌های مناسب، مقدار شاخص پتانسیل تغذیه مصنوعی در پنج کلاس طبقه‌بندی شد (جدول ۲).

جدول ۲. طبقات شاخص تغذیه مصنوعی (ARPI)

پتانسیل تغذیه مصنوعی	ARPI
خیلی ضعیف	۰-۱
خیلی ضعیف - ضعیف	۱-۲
ضعیف - متوسط	۲-۳
متوسط - خوب	۳-۴
خوب - خیلی خوب	۴-۵

پس از تهیه نقشه نهایی پتانسیل تغذیه مصنوعی، سه کلاس توانمندی ضعیف-متوسط، متوسط-خوب و خوب-خیلی خوب برای اجرای سامانه تغذیه مصنوعی به دست آمد.

۷.۲.۲. ارزیابی مدل

در حوزه آبخیز چم‌شور سامانه پخش سیلابی توسط وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۸۱ به منظور انجام تغذیه مصنوعی اجرا شده است. مطابق اظهارات مردم

جدول ۳. ماتریس مقایسات زوجی معیارها

	G	S	T	Z	EC
G	۱	۲	۲	۳	۴
S		۱	۳	۳	۲
T			۱	۲	۲
Z				۱	۳
EC					۱

G: زمین شناسی، S: شیب، T: قابلیت انتقال، Z: ضخامت لایه غیر اشباع، EC: هدایت الکتریکی

۲.۳. تعیین نرخ (R) کلاس‌ها

تغییر مقدار یک پارامتر می‌تواند بر فرآیند تغذیه مصنوعی تأثیر به‌سزایی داشته باشد؛ بنابراین توجه به تغییرات مکانی و طبقه‌بندی پارامترها بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش، کلاس‌های هر پارامتر با توجه به توانمندی آن‌ها در پتانسیل تغذیه مصنوعی، در بازه ۱-۵ نرخ‌دهی گردید (جدول ۴). همان‌گونه که در جدول ۴

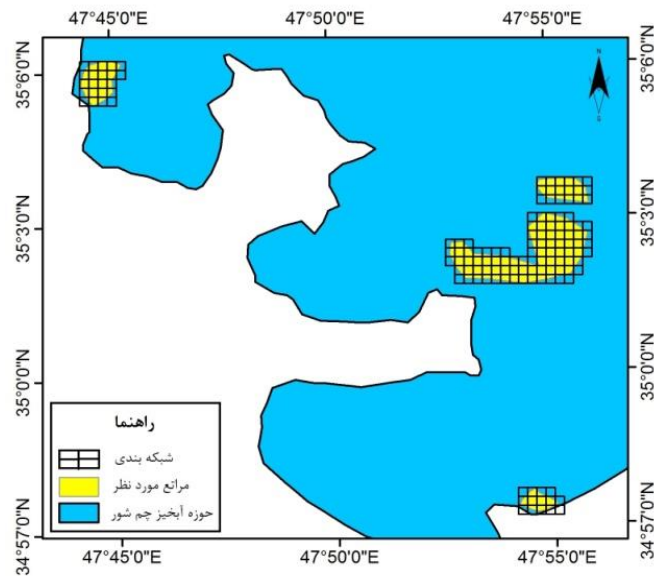
مشاهده می‌گردد، کلاس ضخامت بخش غیراشباع ۱۰۰-۳۰ متر، کلاس هدایت الکتریکی ۵۰۰-۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، کلاس قابلیت انتقال بیشتر از ۳۵۰ مترمربع در روز، کلاس زمین‌شناسی رسوبات رودخانه‌ای و کلاس شیب ۲-۰ درصد به دلیل توانایی بیشتر در فرآیند تغذیه مصنوعی، بیشترین نرخ را به خود اختصاص دادند.

جدول ۴. توانمندی و نرخ‌دهی هر کلاس برای تغذیه مصنوعی

معیارها	کلاس‌ها	پتانسیل تغذیه مصنوعی	نرخ (R)
ضخامت لایه غیراشباع (m)	۰-۱۰	کم	۲
	۱۰-۲۰	متوسط	۳
	۲۰-۳۰	زیاد	۴
	۳۰-۱۰۰	خیلی زیاد	۵
هدایت الکتریکی ($\mu\text{mhos/cm}$)	۰-۵۰۰	خیلی زیاد	۵
	۵۰۰-۱۰۰۰	زیاد	۴
	۱۰۰۰-۲۲۵۰	متوسط	۳
	۲۲۵۰-۴۰۰۰	کم	۲
	>۴۰۰۰	خیلی کم	۱
قابلیت انتقال (m^2/day)	<۷۵	خیلی کم	۱
	۷۵-۱۵۰	کم	۲
	۱۵۰-۲۵۰	متوسط	۳
	۲۵۰-۳۵۰	زیاد	۴
	>۳۵۰	خیلی زیاد	۵
زمین‌شناسی	Q_{a1}	خیلی زیاد	۵
	Q_{t3}	زیاد	۴
	Q_f	متوسط	۳
شیب (%)	۰-۲	خیلی زیاد	۵
	۲-۴	زیاد	۴
	۴-۶	متوسط	۳

سلول‌های شبکه یکسان بوده و هریک از مراتع مورد نظر توسط چندین سلول پوشش داده شده‌اند.

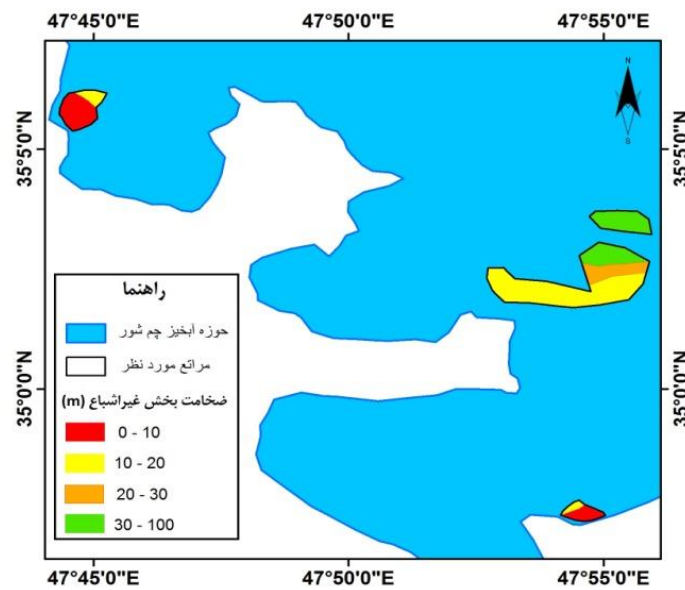
نقشه شبکه‌بندی مراتع مورد نظر در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، اندازه



شکل ۲. نقشه شبکه‌بندی مراتع مورد نظر

که در شکل ۳ نشان داده شده است.

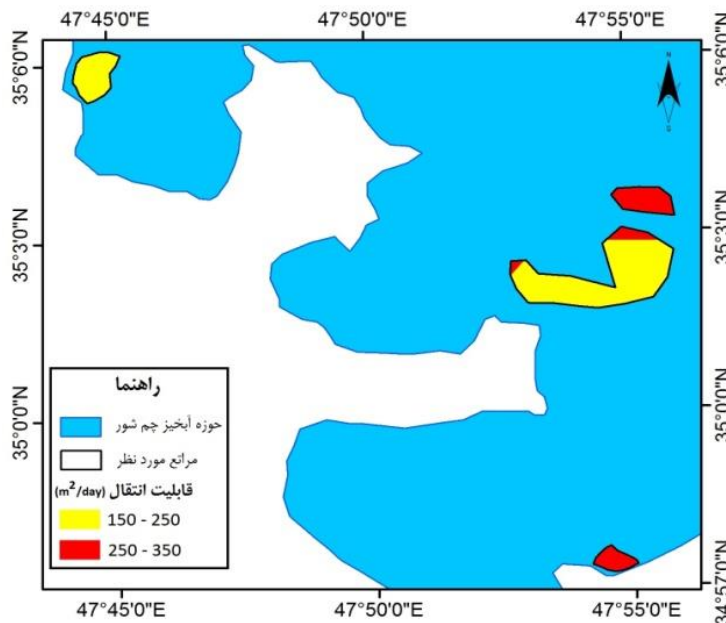
نقشه ضخامت بخش غیراشباع مورد مطالعه به سه کلاس 10، $30-100$ و $30-100$ متر طبقه‌بندی شد



شکل ۳. نقشه ضخامت لایه غیر اشباع مراتع مورد نظر

۳۵۰-۲۵۰ و بیشتر از ۳۵۰ مترمربع در روز طبقه‌بندی گردید (شکل ۴).

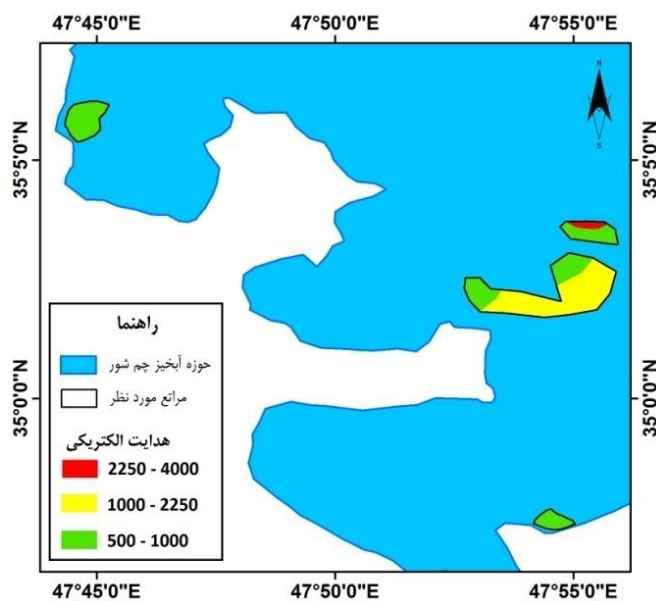
نقشه قابلیت انتقال با توجه به نتایج آزمایش پمپاژ تهیه و در پنج کلاس 75، $150-75$، $250-150$،



شکل ۴. نقشه قابلیت انتقال مراتع مورد نظر

۵۰۰، ۲۲۵۰-۱۰۰۰ و ۴۰۰۰-۲۲۵۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر طبقه‌بندی گردید (شکل ۵).

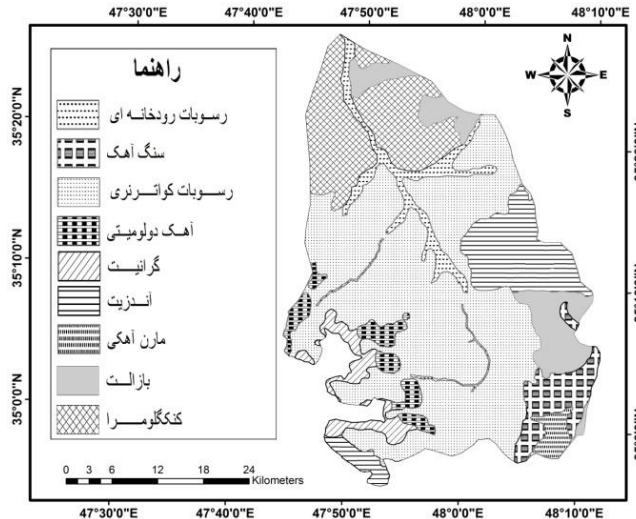
نقشه هدایت الکتریکی پس از درون‌یابی داده‌های هدایت الکتریکی آب زیرزمینی به دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، نقشه حاصل در سه کلاس ۱۰۰۰-



شکل ۵. نقشه هدایت الکتریکی مراتع مورد نظر

رسوبات کواترنری بخش اعظم منطقه را به خود اختصاص داده است.

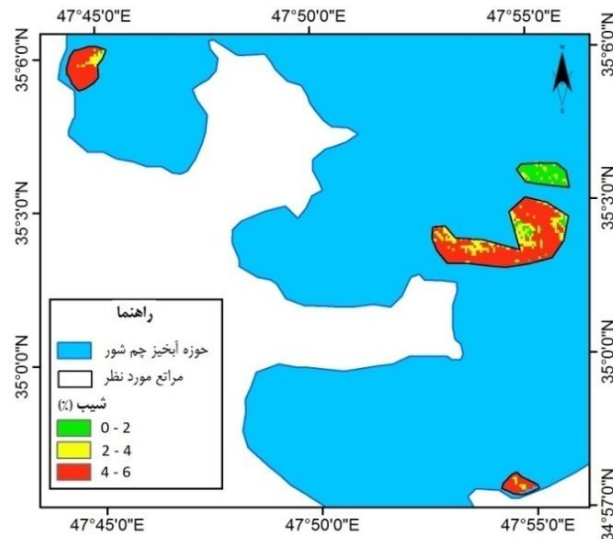
نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد،



شکل ۶. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

موردنظر به گونه‌ای انتخاب شدند که دارای شیب کمتر از ۶ درصد باشند. مراتع موردنظر دارای کلاس‌های شیب ۰-۲، ۲-۴ و ۴-۶ درصد است.

نقشه شیب منطقه مورد مطالعه در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، به دلیل محدودیت شیب اجرای سامانه تغذیه مصنوعی، مراتع



شکل ۷. نقشه شیب مراتع مورد نظر

کلاس‌ها، برای تمام سلول‌های شبکه محاسبه و به نقطه مرکز سلول اختصاص داده شد (جدول ۵).

شاخص پتانسیل تغذیه مصنوعی با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی و براساس مقادیر وزن پارامترها و نرخ

جدول ۵. وزن معیار (W)، نرخ کلاس (R) و شاخص ARPI برای تمام سلول‌های شبکه‌بندی

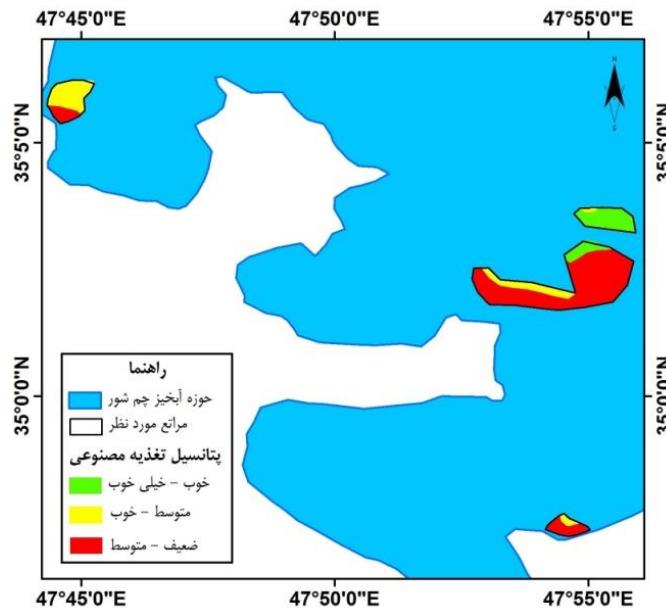
ARPI	هدایت الکتریکی (W=۰/۱۰۸)		قابلیت انتقال (W=۰/۱۱۵)		زمین‌شناسی (W=۰/۱۳۶)		شیب (W=۰/۲۷)		ضخامت لایه غیراشباع (W=۰/۱۲)		مختصات مرکز سلول		شماره سلول	
	W.R	R	W.R	R	W.R	R	W.R	R	W.R	R	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی		
Σ(W.R)	۲/۲۸	۰/۲۴	۳	۰/۴۵	۳	۱/۰۸	۳	۰/۲۷	۱	۰/۲۴	۲	۳۸۷۲۰۷۵	۷۶۶۳۰۹	۱
	۲/۶۴	۰/۲۴	۳	۰/۴۵	۳	۱/۴۴	۴	۰/۲۷	۱	۰/۲۴	۲	۳۸۷۲۳۰۵	۷۶۵۴۱۵	۲
	۳/۵۷	۰/۲۴	۳	۰/۴۵	۳	۱/۴۴	۴	۱/۰۸	۴	۰/۳۶	۳	۳۸۷۲۵۷۸	۷۶۵۵۵۷	۳
	۳	۰/۲۴	۳	۰/۴۵	۳	۱/۸	۵	۰/۲۷	۱	۰/۲۴	۲	۳۸۸۱۸۱۴	۷۶۶۰۳۸	۴
	۴/۵۵	۰/۳۲	۴	۰/۶	۴	۱/۸	۵	۱/۳۵	۵	۰/۴۸	۴	۳۸۸۳۴۹۰	۷۶۶۴۷۰	۵

	۳/۴۹	۰/۱۶	۲	۰/۴۵	۳	۱/۴۴	۴	۱/۰۸	۴	۰/۳۶	۳	۳۸۸۳۷۴۳	۷۶۶۰۵۶	۱۳۷
	۴/۵۹	۰/۲۴	۳	۰/۶	۴	۱/۸	۵	۱/۳۵	۵	۰/۶	۵	۳۸۸۳۷۱۱	۷۶۵۷۶۷	۱۳۸
	۳/۶۹	۰/۳۲	۴	۰/۶	۴	۱/۴۴	۴	۱/۰۸	۴	۰/۲۴	۲	۳۸۸۷۷۵۳	۷۴۹۹۰۲	۱۳۹

۳.۳. نقشه پتانسیل تغذیه مصنوعی

می‌گردد، این مراتع براساس شاخص پتانسیل تغذیه مصنوعی به کلاس‌های ضعیف-متوسط، متوسط-خوب و خوب-خیلی خوب طبقه‌بندی شده است.

نقشه پتانسیل تغذیه مصنوعی مراتع موردنظر در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده



شکل ۸. پتانسیل تغذیه مصنوعی مراتع موردنظر

کلاس‌های پتانسیل ضعیف-متوسط و خوب-خیلی خوب به خود اختصاص داده است.

مساحت هریک از کلاس‌های پتانسیل تغذیه مصنوعی، در جدول ۶ نشان داده شده است. براین اساس، بیشترین و کمترین مساحت مراتع مورد نظر را به ترتیب،

جدول ۶. مساحت طبقات پتانسیل تغذیه مصنوعی

طبقات پتانسیل تغذیه مصنوعی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
ضعیف-متوسط	۶۰۱/۵۲	۶۲/۵
متوسط-خوب	۱۹۵/۹۹	۲۰/۳۶
خوب-خیلی خوب	۱۶۴/۸	۱۷/۱۴
جمع کل	۹۶۲/۳۱	۱۰۰

با حالت مورد استفاده در پیش‌بینی) انجام گردید. همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، ۱۴ سلول (۸۷/۵٪) از سامانه پخش سیلاب اجرا شده در کلاس خوب-خیلی خوب و ۲ سلول آن (۱۲/۵٪) در کلاس متوسط-خوب قرار گرفته است. بنابراین براساس روش نسبت فراوانی، دقت مدل ۸۷/۵٪ بدست آمد.

۴.۳. ارزیابی کارایی مدل

براساس روی هم‌اندازی سامانه پخش سیلاب اجراشده در منطقه مورد مطالعه (سامانه‌ای با عملکرد موفق در زمینه تغذیه مصنوعی) و نقشه پیش‌بینی پتانسیل تغذیه مصنوعی، کارایی این روش ارزیابی گردید. دقت پیش‌بینی مدل برپایه شبکه‌بندی طراحی شده (اندازه سلول یکسان

جدول ۷. درصد فراوانی سلول‌های سامانه پخش سیلاب اجرا شده و دقت مدل

پتانسیل تغذیه مصنوعی	تعداد سلول‌های پخش سیلاب اجرا شده	درصد سلول‌های قرار گرفته در هر طبقه	دقت مدل (%)
خوب-خیلی خوب	۱۴	۸۷/۵	
متوسط-خوب	۲	۱۲/۵	۸۷/۵
سایر طبقات	۰	۰	

پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی، نیازمند صرف زمان و هزینه کمتر است و نتایج مطالعات [۳] و [۱۴] این مطلب را تأیید می‌نماید. همچنین نتیجه مطالعات قبلی نشان داد که روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، یکی از قوی‌ترین ابزارها برای مکان‌یابی سامانه‌های پخش سیلاب است [۸]، که نتیجه این پژوهش با آن همخوانی دارد.

استفاده از تکنیک شبکه‌بندی در تصمیم‌گیری چند-معیاره مکانی، موجب سیستماتیک کردن تصمیم‌گیری-

۴. بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها در کنار تکنیک شبکه‌بندی، برای مکان‌یابی مناطق مناسب سامانه تغذیه مصنوعی رویکردی جدید، مناسب و مفید است.

استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی در این پژوهش نشان داد که علاوه بر داشتن دقت کافی در

درصد تاج پوشش گیاهی شده است [۹]. همچنین گزارش‌های آماری شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان نشان داده است که اجرای این سامانه موجب افزایش تغذیه و بهبود سطح ایستابی آب زیرزمینی شده است. بنابراین، دقت مدل براساس میزان هم‌پوشانی سلول‌های شبکه‌بندی مدل و پخش سیلاب اجراشده، ۸۷/۵ درصد به‌دست آمد.

بنابراین نتایج این پژوهش اثبات کرد که تکنیک شبکه‌بندی و روش AHP در پهنه‌بندی و شناسایی مناطق دارای پتانسیل تغذیه مصنوعی دارای کارایی خوبی است. همچنین ضمن قابل اطمینان بودن پهنه‌بندی مکان‌های مناسب پروژه تغذیه مصنوعی، در هزینه و زمان مربوط به شناسایی مکان‌های مساعد پروژه تغذیه مصنوعی، صرفه‌جویی زیادی می‌گردد. بنابراین این پژوهش استفاده از تکنیک شبکه‌بندی و روش AHP را در مطالعات مکان‌یابی تغذیه مصنوعی پیشنهاد می‌نماید.

های کارشناسی شد که با پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد [۱]. همچنین استفاده از پارامترهای شیب، ضخامت لایه غیراشباع، زمین‌شناسی، قابلیت انتقال و هدایت الکتریکی توانست نقشه تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با دقت بالا ارائه دهد که با نتایج مطالعات [۴] و [۱۱] همخوانی 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 [۱۰] مطابقت دارد.

نتایج این پژوهش نشان داد که رسوبات Q_{al} نسبت به رسوبات Q_f و Q_{t3} توانایی بهتری در نفوذ آب سطحی و تغذیه آب زیرزمینی دارد و برای انجام عملیات تغذیه مصنوعی، نرخ بیشتری را به خود اختصاص داد.

براساس نتایج پژوهش‌های قبلی، سامانه پخش سیلاب اجرا شده در حوزه آبخیز چم‌شور، باعث افزایش تولید و

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] Azizur Rahman, M., Rusteberg, B., Gogu, R.C., Ferreira, J.B.L. and Sauter, M. (2012). A new spatial multicriteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. *Journal of Environmental Management* 99, 61-75.
- [3] Chabok Baladchi, m., Hassanzadeh taghavi, M. and Ebrahimi Khosfi, Z. (2011). Site selection of the flood spreading by using from Analytic Hierarchy Process (AHP). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 13, 31-38.
- [4] Ghermez cheshme, b., Ghayoumian, J. and Faiznia, S. (2003). Application of GIS and DSS to site selection prone areas of flood spreading (case study: Meymeh region). *Journal of Tarbiat Modares University* 4, 115-131.
- [5] Ghayoumian, J., Ghermezcheshme, B., Feizinia, S. and Noroozi, A. A. (2005). Integrating GIS and DSS for identification of suitable area to artificial recharge project (case study Meimeh Basin, Isfahan). *Environmental Geology* 47, 493-500.
- [6] Ghayoumian, J., Mohseni Saravi, M., Feizinia, S., Nouri, B. and Malekian, A. (2007). Application of GIS techniques to determine areas most suitable for agricultural recharge in a Coastal Aquifer in Southern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 30, 364-374.
- [7] Greenbaum, D. (1989). Hydrogeological applications of remote sensing in areas of crystalline basement. *Conference of Groundwater Exploration and Development in Crystalline Basement Aquifers, Zimbabwe*.

- [8] Hekmat pour, M., Faiznia, S., Ahmadi, H. and Khalil Pour, A. (2008). Zonation of suitable areas for artificial charge, in the Varamin plain by GIS and Decision Support System (DSS). *Iranian Journal of Environmental Studies* 42, 1-8.
- [9] Jamali, A., Ashouri, p. and Zare Kia, S. (2011). Determining and prioritization of flood spreading zonation to recharge of aqueducts, wells and springs in the dry areas (Case Study: Yazd miankuh watershed). *Iranian Journal of Range and Desert Researches* 17(1), 106-114.
- [10] Karam, A. (2005). 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.
- [11] Mehrvarz Moghanloo, K., Faiznia, S., Ghayoumian, J. and Ahmadi, H. (2006). Study of quaternary deposits to determining prone areas of flood spreading by remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) techniques (Case Study: Tasuj plain). *Iranian Journal of Range and Desert Researches* 21, 437-467.
- [12] Ramezani Mehryan, M., Malek Mohammadi, B., Jafari, H.R. and Rafiee, Y. (2012). Site selection of artificial recharge using multi criteria decision making and GIS methods (Case Study: Shamil and ashkara plains, Hormozgan). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 14, 1-10.
- [13] Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15, 234-281.
- [14] Shrier, C., Fontane, D. and Garcia, L. (2008). Spatial knowledge-based decision analysis system for pond site assessments. *Journal of Water Resources Planning and Management* 134(1), 14-23.
- [15] Water resources department of Kurdistan province (1957). Aquifer testing report of Ghorve-Dehgolan plain. Geowat consulting engineering.

