Archive of SID.ir

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۷، مهر - آبان ۱۴۰۲، ص. ۷۳۳-۷۱۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 17, Oct.-Nov. 2023, p. 719-733

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت ارومیه برای مصارف کشاورزی با استفاده از روش ترکیبی مدل‌های آسیب‌پذیری آلودگی، پتانسیل و شاخص کیفیت آب زیرزمینی

مینا رحیمی[۱]، وحید رضاوردی‌نژاد[۲*]، جواد بهمنش[۳]، فرخ اسدزاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۷

چکیده

در این مطالعه، منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه برای مصارف کشاورزی با استفاده از روش ترکیبی که شامل مدل‌های آسیب‌پذیری، پتانسیل و کیفیت آب زیرزمینی است، ارزیابی شدند. آسیب‌پذیری با روش دراستیک ارزیابی شد و نقشه نهایی در پنج کلاس با آسیب‌پذیری خیلی زیاد تا خیلی کم طبقه‌بندی گردید. لایه‌های NDVI، مدل رقومی ارتفاعی، تراکم زهکشی، بارش و تراکم چاه به‌عنوان ورودی‌های مدل پتانسیل در نظر گرفته شدند و برای تعیین وزن هر لایه از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. نقشه پتانسیل نیز در پنج کلاس با پتانسیل خیلی زیاد تا خیلی کم طبقه-بندی گردید. نقشه کیفیت آب زیرزمینی با سه لایه ورودی شامل هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذبی سدیم (SAR) و کربنات سدیم باقی‌مانده (RSC) و روش وزن‌دهی تولید شد. نقشه ترکیبی با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC) با پنج طبقه تولید شد. طبقه‌های یک و دو با ۴۰/۳۱ درصد مساحت، برای مصارف کشاورزی مناسب هستند که شامل مناطق شمالی، شمال غربی و مناطق مرکزی نیمه شمالی است. طبقه سه با ۲۲/۹۰ درصد مساحت در وضعیت متوسط قرار دارد و مناطق مرکزی نیمه شمالی و نیمه جنوبی را دربرگرفته است. طبقه‌های چهار و پنج نیز با ۳۶/۷۹ درصد مساحت، در وضعیت نامناسب برای مصارف کشاورزی قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب زیرزمینی، شوری، کیفیت آب، مدل دراستیک، نسبت جذبی سدیم

مقدمه

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. درحالی‌که متوسط میزان بارندگی سالانه در جهان ۸۱۳ میلی‌متر است، میزان بارندگی در منطقه خاورمیانه و ایران به ترتیب ۲۱۷ و ۲۲۸ میلی‌متر است که کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی در جهان می‌باشد (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). با توجه به کمبود آب در ایران، افزایش جمعیت و گسترش زمین‌های کشاورزی برای تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به رشد، وابستگی کشاورزی به منابع آب زیرزمینی افزایش یافته است که این امر سبب شده است علاوه بر کمیت، کیفیت این منابع نیز کاهش یابد (بامداد ماچیانی و همکاران، ۱۳۹۳). کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف نظیر جنس مواد سازنده آبخوان و یا فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی و صنعت تغییر یابد (Soyaslan, 2020). عدم استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در مقدار مناسب، آلودگی منابع آب زیرزمینی به نیترات و نمک‌های محلول را به دنبال دارد. امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها به درون آب زیرزمینی را آسیب‌پذیری می‌نامند. آسیب‌پذیری به‌عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آبی در نظر گرفته می‌شود که وابسته به میزان حساسیت این سیستم به تأثیرات انسانی و یا طبیعی می‌باشد (Visa et al., 2006). برای ارزیابی آسیب‌پذیری آلودگی آب زیرزمینی، روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به روش شاخص وزنی اشاره نمود. روش دراستیک از جمله روش‌های شاخص وزنی است که به دلیل مقرون به صرفه بودن و نیاز به داده‌های کم، به طور گسترده توسط محققان مختلف استفاده می‌شود. سینها و همکاران، آسیب‌پذیری آلودگی آب زیرزمینی منطقه چاتیسگاره کشور هند را با استفاده از مدل اصلاح شده دراستیک مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه با جایگزین نمودن پارامترهای هدایت

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- ستاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.4.9.9

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

هیدرولیکی و نقشه کاربری اراضی با یکدیگر، این مدل اصلاح گردید. نتایج تحلیل حساسیت پارامترها نشان داد که پارامترهای عمق سطح ایستابی، کاربری اراضی و توپوگرافی در مقایسه با سایر پارامترها سبب تغییرات بیشتری می‌شوند (Sinha et al., 2016). تیواری و همکاران در مطالعه خود، از هفت لایه شامل عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، بافت خاک، شیب، محیط وادوز و هدایت هیدرولیکی برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی استفاده نمودند. نتایج حاصل از مدل نیز با مقادیر سولفات و آهن مورد مقایسه قرار گرفت (Tiwari et al., 2016). در مطالعه‌ای انجام شده در آبخوان دشت تبریز توسط برزگر و همکاران، آسیب‌پذیری آلودگی آب‌های زیرزمینی این دشت با استفاده از روش دراستیک بررسی شد. این محققان برای بهبود بخشیدن مدل از روش‌های هوش مصنوعی نظیر: ANN، SFL، MFL، NF و SCMAI استفاده نمودند. به‌منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از این مدل‌ها، از آمار نیترات ۲۴۳ نمونه آب زیرزمینی استفاده شد که نتایج نشانگر هم‌بستگی بالا بین اطلاعات حاصل از مدل دراستیک و نیترات نمونه‌های برداشتی داشت (Barzegar et al., 2016). آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نه‌تنها از دیدگاه کیفی بلکه به لحاظ کمی نیز باید مورد ارزیابی قرار گیرد. داشتن دانش و اطلاعات از منابع آب زیرزمینی و پتانسیل‌های آن نیازمند استفاده از ابزارهای پرهزینه و روش‌های سخت و پیچیده می‌باشد (Rahmati et al., 2015). روش‌های سنتی اکتشاف آب‌های زیرزمینی از طریق حفاری، روش‌های هیدرژئولوژیکی، ژئولوژیکی و ژئوفیزیک می‌باشند که بسیار پرهزینه و زمان‌بر بوده و به نیروی انسانی ماهر نیاز دارند (Todd and Mays, 2005). بنابراین پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از یک روش استاندارد برای مدیریت منابع آب زیرزمینی به‌خصوص در مناطق با کمبود داده ضروری است. از دیدگاه اکتشاف آب زیرزمینی، اصطلاح پتانسیل می‌تواند به‌صورت احتمال وقوع آب زیرزمینی در یک منطقه تعریف شود (Rahmati et al., 2015). یکی از روش‌های تعیین پتانسیل آب زیرزمینی، روش وزن‌دهی است. رحمتی و همکاران در مطالعه‌ای، پتانسیل آب زیرزمینی منطقه کردستان ایران را مورد بررسی قرار داده و برای اختصاص وزن به هر لایه از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده نمودند. لایه‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل: تراکم خطواره، تراکم زهکشی، بارش، لیتولوژی و درصد شیب می‌باشند. با استفاده از روش حذف تک پارامتر نیز مشخص شد که پارامترهای بارش و درصد شیب به ترتیب پراهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین پارامترها در محاسبه مدل پتانسیل می‌باشند (Rahmati et al., 2015). موخرجی و همکاران در مطالعه‌ای انجام شده در هند به ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی پرداختند. در این مطالعه لایه‌های استفاده شده شامل: تراکم زهکشی، ژئومورفولوژی، لیتولوژی، تراکم خطواره، شیب، بافت خاک، ارتفاع اراضی و نقشه کاربری اراضی است که برای دستیابی به داده‌ها از آمار ۹۰ چاه مشاهداتی در طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ استفاده شده است (Mukherjee et al., 2012). مالیک و همکاران در شهر دهلی‌نو کشور هند، از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مشخص نمودن مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر منابع آب زیرزمینی و تعیین پتانسیل آب زیرزمینی استفاده نمودند. این پارامترها شامل: ژئومورفولوژی، ژئولوژی، بافت خاک، مدل رقومی ارتفاعی (DEM[1])، نقشه کاربری اراضی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره، مجاورت به آب‌های سطحی، دمای آب و عمق آب می‌باشد (Mallic et al., 2014). شوری منابع آب از آشکارترین پدیده‌های کاهش کیفیت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. بهره‌برداری از این منابع در بسیاری از مناطق جهان که با مشکل کمبود آب مواجه هستند تا حد زیادی به درجه شوری و میزان آن بستگی دارد (روحی و همکاران، ۱۳۹۲). هدایت الکتریکی (EC[2])، معیاری جهت محاسبه خطر شوری و نسبت جذبی سدیم (SAR[3]) معیاری جهت محاسبه خطر قلیائیت برای محصولات بوده و از مهم‌ترین عوامل در تعیین خصوصیات کیفی آب برای مصارف کشاورزی می‌باشد (Gautam et al., 2015). کربنات سدیم باقی‌مانده (RSC[4]) به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آب‌های کربناته می‌باشد. مقادیر بالای بی‌کربنات سدیم برای خصوصیات ظاهری خاک مضر است و سبب باقی ماندن یک لایه سیاه‌رنگ روی سطح خاک می‌گردد (Li et al., 2016). استفاده از روش‌های ترکیبی به محققان این امکان را می‌دهد که تأثیر توأم فاکتورهای مؤثر بر آب زیرزمینی را ارزیابی نمایند. موسی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) آسیب-پذیری آبخوان روضه چای را با استفاده از ترکیب شاخص‌های SINTACS، DRASTIC و SI ارزیابی نمودند. استخراج آب‌های زیرزمینی در استان آذربایجان غربی در سال‌های اخیر به‌منظور تأمین نیاز آبی بخش کشاورزی با توجه به محدودیت منابع آب سطحی، افزایش یافته است؛ لذا ارزیابی آب زیرزمینی برای مشخص نمودن وضعیت کلی آن با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت این منابع بسیار مهم و کاربردی می‌باشد. مطابق بررسی منابع صورت گرفته، در مطالعات مختلف شاخص‌های آسیب‌پذیری آلودگی و پتانسیل آب زیرزمینی به طور جداگانه بررسی شده‌اند (Rahmati et al., 2015; Ikirri et al., 2023; Genjula et al., 2023; Saravanan et al., 2023). در برخی از مطالعات نیز از ترکیب شاخص‌های مختلف آسیب‌پذیری آلودگی استفاده شده است که فقط نشانگر میزان آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان‌ها می‌باشد (موسی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ Luo et al., 2023). اما در هیچ مطالعه‌ای در داخل کشور، از ترکیب شاخص‌های آسیب‌پذیری آلودگی، پتانسیل و

1- Digital Elevation Model
2- Electrical Conductivity
3- Sodium Adsorption Ratio
4- Residual Sodium Carbonate

Archive of SID.ir

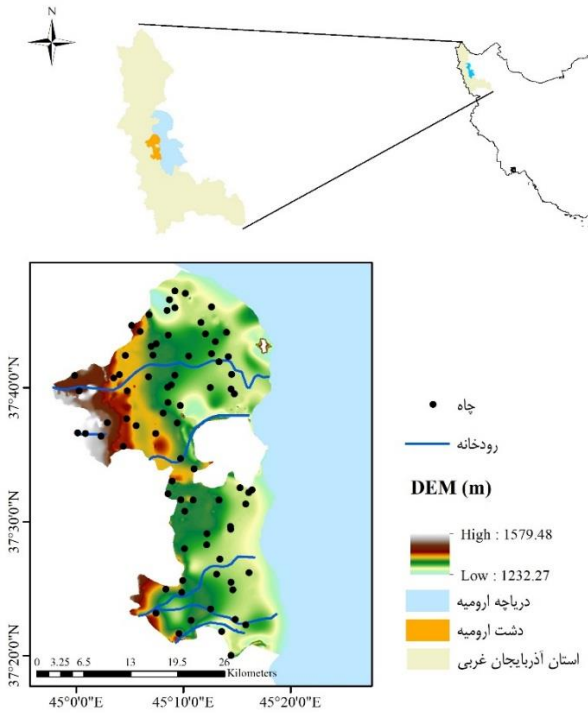
Archive of SID.ir

GWQI که بتواند دید جامعی برای تحلیل منابع آب زیرزمینی ارائه نماید استفاده نشده است. لذا در این مطالعه ارزیابی ترکیبی آب زیرزمینی با استفاده از سه مدل مهم در تحلیل آب‌های زیرزمینی شامل آسیب‌پذیری آلودگی، پتانسیل و شاخص GWQI برای مصارف کشاورزی صورت پذیرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت ارومیه با مساحتی به اندازه ۶۹۲ کیلومترمربع در استان آذربایجان‌غربی و در طول و عرض جغرافیایی به ترتیب °۴۴، ′۵۵ تا °۴۵، ′۱۳ و °۳۷، ′۲۱ تا °۳۷، ′۴۸ واقع شده است (شکل ۱). طول این دشت در امتداد شمال–جنوب به طور متوسط ۵۵ کیلومتر و در امتداد غرب–شرق در حدود ۲۲ کیلومتر است. ارتفاع متوسط دشت در حدود ۱۳۱۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد است. این محدوده در محل تلاقی ۴ حوضه شامل نازلوچای، روضه چای، شهرچای و باراندوزچای واقع شده و به ترتیب از شمال به حوزه‌های آبخیز زولاچای و خورخورچای، از شرق به دریاچه ارومیه، از جنوب به حوزه آبخیز گدارچای و از غرب به حوزه زیوه–سیلوانه محدوده شده است. این دشت دارای اقلیم خشک و سرد بوده و میانگین بارش سالانه در آن در حدود ۳۲۹/۲ میلی‌متر می‌باشد که عمده بارش‌ها در ماه‌های اسفند و اردیبهشت رخ می‌دهد (افخمی‌فر و صراف، ۱۳۹۹). جهت جریان آب زیرزمینی در این دشت از سمت غرب به شرق می‌باشد. آبخوان ساحلی ارومیه از نوع آزاد است و عمدتاً از رسوبات ناشی از فرسایش کوه‌های هم مرز ایران و ترکیه تشکیل شده است (Taghilou and Aftab., 2022).



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی و چاه‌های انتخابی جهت پایش آب زیرزمینی دشت ارومیه

اطلاعات مربوط لاگ چاه‌های حفاری، تراز آب زیرزمینی و آنالیز کیفی آب زیرزمینی ۸۰ حلقه چاه در محدوده مورد مطالعه برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ از شرکت مدیریت منابع آب استان آذربایجان‌غربی اخذ شد. به علاوه، از میانگین مقادیر EC و SAR در هر چاه برای محاسبه شاخص GWQI استفاده شد. فلوچارت انجام مطالعه در شکل (۲) ارائه شده است. جزئیات مربوط به هر قسمت نیز به صورت گام به گام در زیر ارائه و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

مدل آسیب‌پذیری آلودگی آب زیرزمینی

روش دراستیک یکی از روش‌های شاخص هم‌پوشانی است که اولین بار توسط آلر و همکاران برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی ایالت متحده مطرح شد و بر مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است (Aller et al., 1987). وضعیت هیدروژئولوژیکی ترکیبی از همه‌ی فاکتورهای زمین‌شناسی و

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

آب‌شناسی است که حرکت آب‌های زیرزمینی را در یک منطقه کنترل می‌کند. در مدل دراستیک هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی موثر بر آلودگی آب زیرزمینی شامل عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص آبخوان، محیط آبخوان، بافت خاک، توپوگرافی، تأثیر منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی به صورت تلفیقی و به طور موازی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند (Aller et al., 1987). وزن‌های اختصاص یافته به هر پارامتر مدل دراستیک در جدول (۱) ارائه شده است.

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (۱)$$

که در آن، DI: شاخص آسیب‌پذیری دراستیک، D_r: رتبه لایه عمق تا سطح ایستابی، D_w: وزن لایه عمق تا سطح ایستابی، R_r: رتبه لایه تغذیه خالص، D_w: وزن لایه تغذیه خالص، A_r: رتبه لایه محیط آبخوان، A_w: وزن لایه محیط آبخوان، S_r: رتبه لایه محیط خاک، S_w: وزن لایه محیط خاک، T_r: رتبه لایه توپوگرافی، T_w: وزن لایه توپوگرافی، I_r: رتبه لایه محیط غیراشباع، I_w: وزن لایه محیط غیراشباع، C_r: رتبه لایه هدایت هیدرولیکی و C_w: وزن لایه هدایت هیدرولیکی می‌باشد. وزن و رتبه‌های مربوط به هر لایه براساس جدول (۱) تعیین می‌شوند. شاخص آسیب‌پذیری ذاتی در این روش از حاصل‌ضرب وزن هر مشخصه در رتبه آن بدست می‌آید. پس از محاسبه شاخص دراستیک، نواحی آسیب‌پذیر آبخوان مشخص می‌شوند. بزرگتر بودن این شاخص بیانگر آسیب‌پذیری بیشتر آبخوان است.

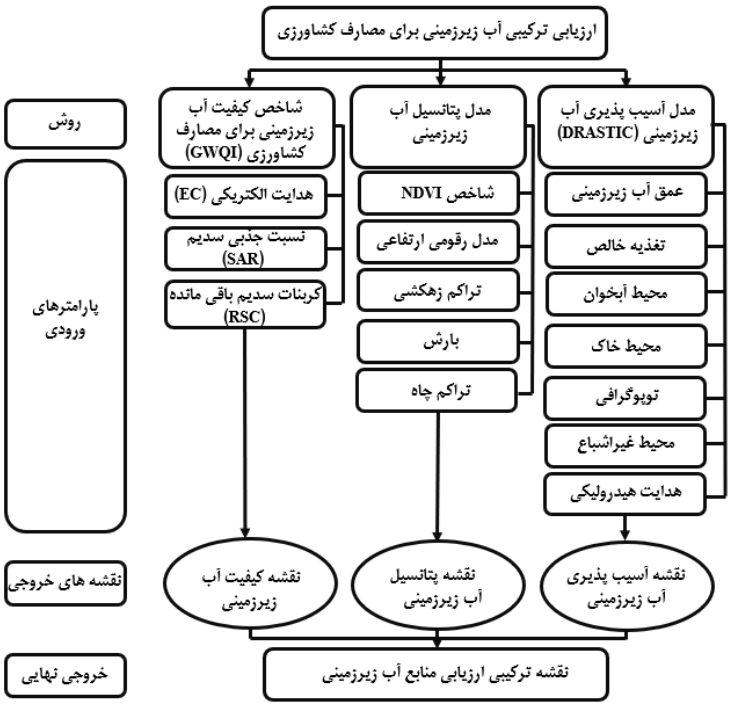
ورودی‌های مدل دراستیک

– عمق سطح ایستابی: یکی از عوامل مهم در کنترل توانایی آلاینده برای رسیدن به آبخوان است عمق تا سطح ایستابی است. در واقع هرچه عمق سطح ایستابی بیشتر باشد، زمان بیشتری لازم است تا مواد آلاینده به آب زیرزمینی برسد. بنابراین سطوح ایستابی عمیق‌تر شانس آلودگی کمتری دارند (Koon et al., 2023).

– تغذیه خالص: آب زیرزمینی عمدتاً از طریق بارش و نفوذ آن در خاک تغذیه می‌شود. تغذیه آب زیرزمینی از طریق بارش به نفوذپذیری خاک، شدت بارش و شیب سطح زمین بستگی دارد (Singh and Saravanan, 2022). یکی از روش‌های تعیین تغذیه خالص در یک آبخوان روش پیسکوپو می‌باشد (Piscopo, 2001):

(۲) نفوذپذیری خاک+ بارش+ درصد شیب= تغذیه خالص

– محیط آبخوان: این عامل به خصوصیات مواد تشکیل دهنده منطقه اشباع نظیر میزان تخلخل، جنس و اندازه ذرات بستگی دارد که میزان پویایی و تحرک آلودگی و به عبارتی رقیق‌سازی آلودگی نظیر تجزیه شیمیایی، جذب، پخش و تأخیر را کنترل می‌کند. هرچه مواد سفره، دانه درشت‌تر باشد، به دلیل نفوذپذیری بالاتر این مواد، پتانسیل آلودگی آبخوان نیز بیشتر خواهد شد. بنابراین، آلاینده‌ها حساسیت بیشتری به یک سیستم با نفوذپذیری بالا، اندازه ذرات درشت‌تر و ظرفیت میرایی کمتر دارند (Singh and Saravanan, 2022).



شکل ۲- لایه‌های ورودی برای ارزیابی یکپارچه آب زیرزمینی دشت ارومیه برای مصارف کشاورزی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۱- وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل دراستیک.

پارامتر	رتبه	پارامتر	رتبه	پارامتر	رتبه
عمق تا سطح ایستابی (متر)	۵	تغذیه خالص	٤	محیط آبخوان	۳
۰-۲	۱۰	۱۱-۱۳	۱۰	رس سیلتی	۱
۲-۳	۹	۹-۱۱	۸	سیلت	۲
۳-۹	۷	۷-۹	۵	رس- سیلت- شن	۳
۹-۱۵	۵	۵-۷	۳	سیلت- گراول	۴
۱۵-۲۳	۳	۳-۵	۱	شن	۵
۲۳-۳۰	۲	-	-	شن-رس	۶
-	-	-	-	شن- گراول	۷
-	-	-	-	ماسه و شن	۸
پارامتر	رتبه	پارامتر	رتبه	پارامتر	رتبه
محیط خاک	۲	شیب (درصد)	۱	محیط غیراشباع	۵
رس	۱	۰-۲	۱۰	رس/سیلت	۱
لوم رسی	۲	۲-۶	۹	سنگ رسی	۳
لوم سیلتی	۳	۶-۱۲	۵	سنگ آذرین	۶
لوم شنی	۶	۱۲-۱۸	۳	شن و گراول	۸
شن	۹	>۱۸	۱	سنگ آهک	۱۰
پارامتر	رتبه				
هدایت هیدرولیکی	۳				
<۴	۱				
۴-۱۲	۲				
۱۲-۲۸	۴				
۲۸-۴۰	۶				
۴۰-۸۰	۸				
۸۰-۱۰۰	۹				
>۱۰۰	۱۰				

- محیط خاک: محیط خاک به بخش هوازده بالایی منطقه غیراشباع گفته می‌شود که تا حد نفوذ ریشه گیاهان ادامه دارد. این بخش از نظر فعالیت‌های بیولوژیکی و وجود مواد آلی بسیار حائز اهمیت است و میزان آب نفوذی و آلاینده‌ها را به داخل آبخوان کنترل می‌کند. به طور کلی هر چقدر اندازه ذرات تشکیل دهنده ریزتر و نفوذپذیری خاک کمتر و درصد مواد آلی و ضخامت خاک بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (Singh et al., 2015).

- توپوگرافی: توپوگرافی به شیب سطح زمین اشاره دارد. این فاکتور، ریسک نفوذ آلاینده که ممکن است از سطح زمین به همراه رواناب سطحی به آب زیرزمینی دست یابد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Saravanan et al., 2023). با افزایش شیب، رواناب سطحی افزایش می‌یابد و فرصت نفوذ کاهش می‌یابد.

- محیط غیراشباع: این لایه از مهم‌ترین لایه‌های موجود در مدل دراستیک است زیرا آلودگی برای رسیدن به سطح آب زیرزمینی باید از این محیط عبور کند. این بخش، از پایان لایه خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه دارد. در مدل دراستیک فرض بر این است که محیط و شرایط منطقه غیراشباع تأثیر زیادی بر مواد آلاینده دارند زیرا در این منطقه، فرصت جذب و یا رقیق شدگی وجود دارد (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

- هدایت هیدرولیکی: توانایی مواد تشکیل دهنده آبخوان در انتقال آب، هدایت هیدرولیکی نامیده می‌شود که به درصد فضاهای

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

خالی در لایه آبدار (تخلخل موثر) بستگی دارد. هدایت هیدرولیکی عامل کنترل کننده حرکت و زمان ماندگاری مواد آلاینده از نقطه‌ای است که وارد آبخوان می‌شوند تا درون سفره قرار گیرند. به همین علت با افزایش هدایت هیدرولیکی، پتانسیل آلودگی نیز بیشتر می‌شود (Saravanan et al., 2023).

مدل پتانسیل آب زیرزمینی

آب‌های زیرزمینی منابع پنهان و ارزشمندی هستند که نقشه-برداری از این منابع کاری سخت و چالش‌برانگیز است. آزمایش‌های حفاری و آنالیزهای چینه‌شناسی، روش‌های استاندارد و قابل اطمینان برای تعیین موقعیت چاه‌های گمانه و ضخامت آبخوان هستند. این روش‌ها در زمینه تحقیقات آب زیرزمینی نیاز به هزینه، صرف زمان زیاد و نیروی کار فراوان دارد (Mallic et al., 2014). سیستم سنجش از راه دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) روش‌هایی کم هزینه هستند که با صرف زمان کم به ارزیابی و مدیریت منابع آب زیرزمینی کمک کرده و از اهمیت زیادی در مناطقی که با کمبود داده مواجه هستند یا مناطقی که دور افتاده می‌باشند برخوردار است (Machiwal et al., 2015). لایه‌های ورودی موثر برای ساخت مدل پتانسیل آب زیرزمینی شامل شاخص گیاهی NDVI[1]، مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، تراکم زهکشی، بارش و تراکم چاه‌ها می‌باشند. رتبه و وزن لایه‌ها متناسب با اهمیت هر لایه در جدول (۲) ارائه شده است.

ورودی‌های مدل پتانسیل آب زیرزمینی

– شاخص NDVI: در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای بررسی تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی و کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای توسعه داده شده است. NDVI شاخصی است که برای نظارت پویا بر پوشش گیاهی استفاده می‌شود. مقادیر این شاخص بین منفی یک تا یک می‌باشد که با نزدیک شدن به عدد یک میزان پوشش گیاهی افزایش می‌یابد (Mokarram et al., 2015). در این مطالعه، برای تعیین شاخص NDVI از محیط Google Earth Engine و از تصاویر ماهواره لندست هشت که تصحیح اتمسفری روی آن اعمال شده است استفاده شد. شاخص NDVI با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$NDVI=(B5-B4)/(B5+B4) \quad (۳)$$

که در آن، NDVI: شاخص تفاضلات گیاهی نرمال شده، B5: باند پنج ماهواره لندست هشت (فروسرخ نزدیک[2]) و B4: باند چهار ماهواره لندست هشت (قرمز[3]) می‌باشد.

– مدل رقومی ارتفاعی: نقشه ارتفاعی یک منطقه مشخص کننده میزان پستی و بلندی‌های موجود در سطح زمین است. در مناطق مرتفع آب حاصله به جای نفوذ در سطح زمین به صورت رواناب جاری می‌شود ولی مناطقی که مسطح‌تر هستند آب حاصله در صورت مساعد بودن شرایط خاک به صورت عمقی در خاک نفوذ می‌کند و به آب‌های زیرزمینی می‌رسد و در آن‌جا ذخیره می‌گردد (Mehra et al., 2016).

– تراکم زهکشی: تراکم زهکشی یکی از رایج‌ترین انواع پارامترها برای ارزیابی تغذیه زمین می‌باشد. این پارامتر به طور مستقیم با میزان رواناب و نفوذ در ارتباط است (Saidi et al., 2017). یک ناحیه با تراکم کم زهکشی باعث می‌شود که میزان نفوذ افزایش یافته و رواناب سطحی کاهش یابد. بنابراین مناطقی که دارای تراکم زهکشی کمتر هستند برای تغذیه آب‌های زیرزمینی مناسب می‌باشند (Magesh et al., 2012).

– بارش: باران اغلب به عنوان منبع غالب تغذیه آب‌های زیرزمینی در تمام مناطق اقلیمی مطرح می‌شود (Gumma and Pavelic., 2013). بدیهی است هرچه میزان بارش در منطقه‌ای زیاد باشد انتظار می‌رود تغذیه آب‌های زیرزمینی بیشتر باشد و برعکس.

– تراکم چاه‌ها: چاه‌ها از جمله منابع برداشت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف می‌باشند. هرچه تراکم چاه در محدوده‌ای زیاد باشد امکان تغییرات کمی و کیفی در منابع آب زیرزمینی نیز بیشتر خواهد بود (Taheri et al., 2020).

روش تعیین وزن لایه‌های مدل پتانسیل آب زیرزمینی

در این مطالعه، برای تعیین وزن مربوط به لایه‌های مدل پتانسیل آب زیرزمینی از روش فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP[4]) استفاده شد. AHP، پروسه‌ای است که در آن اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان در مورد لایه‌های ورودی به تحلیل‌گر منتقل می‌شود و بر پایه ترکیبی از ماتریس‌های دو به دو است که تمامی ورودی‌ها را با یکدیگر مقایسه می‌نماید. این فرآیند به‌منظور برآورد وزن هر لایه ورودی در مقایسه با سایر ورودی‌هاست (آصفی و همکاران، ۱۳۹۳). این روش در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی ارائه شده است که در آن برای مقایسه ورودی‌ها، از اعداد یک تا نه استفاده می‌شود (Saaty, 1980). عدد یک نشانگر اهمیت یکسان ورودی‌ها و عدد نه نشانگر اهمیت قابل توجه یک ورودی در مقایسه با دیگر ورودی‌هاست. پس از انجام فرآیند مقایسه، وزن هر لایه ورودی محاسبه شده و وزن نسبی نامیده می‌شود (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷).

1- Normalized Difference Vegetation Index
2- Near-Infrared
3- Red
4 Analytical Hierarchy Process

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۲- رتبه و وزن‌های اختصاص یافته به ورودی‌ها مدل پتانسیل آب زیرزمینی.

پارامتر (وزن‌های اختصاص یافته به روش AHP)	کلاس‌ها و رتبه‌های اختصاص یافته به هر پارامتر				
	۱	۲	۳	٤	٥
شاخص NDVI (۲۵)	۰/۴۱ – ۰	۰ – ۰/۵۰	۰/۵۰ – ۰/۸۲	–	–
مدل رقومی ارتفاعی (۱۹)	>۱۶۰۰	۱۶۰۰–۱۵۰۰	۱۵۰۰–۱۴۰۰	۱۴۰۰–۱۳۰۰	<۱۳۰۰
تراکم زهکشی (۱۹)	۰ – ۰/۵۰	۰/۵۰ –۱	۱ – ۱/۵۰	۱/۵۰ – ۱/۷۰	–
بارش (۲۲)	۳۰۰–۲۷۵	۳۲۴–۳۰۰	–	–	–
تراکم چاه‌ها (۱۵)	۰ – ۰/۱۰	۰/۱۰ – ۰/۲۰	۰/۲۰ – ۰/۳۰	–	–

شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI[1])

GWQI یکی از روش‌های هم‌پوشانی است که با روش وزن‌دهی و استفاده از سه پارامتر مهم در بررسی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی شامل هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذبی سدیم (SAR) و کربنات سدیم باقی مانده (RSC) تهیه شد (Adhikari et al., 2012). لازم به ذکر است که منابع آب زیرزمینی در این دشت، برای آبیاری انواع مختلف زمین‌های زراعی و باغی مورد استفاده قرار می‌گیرد. EC نشانگر خطر شوری می‌باشد و معیاری برای سنجش توانایی یک محلول برای انتقال الکتریسیته است. بنابراین، بهترین و واقعی‌ترین روش برای بیان شوری، ارزیابی EC آب است (Aghazadeh and Mogaddam., 2010). SAR معیاری جهت محاسبه خطر شوری و قلیائیت برای محصولات بوده و از مهمترین عوامل در تعیین خصوصیات کیفی آب برای مصارف کشاورزی می‌باشد (Gautam et al., 2015). RSC نیز معیاری برای ارزیابی آب‌های کربناته می‌باشد. وزن‌های در نظر گرفته برای هر پارامتر از رابطه (۱) محاسبه شد (Adihkari et al., 2012):

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=0}^{n} w_i} \quad (۱)$$

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i}\right) \times 100 \quad (۲)$$

که در آن، Ci: غلظت واقعی هر پارامتر در هر نمونه آب و Si: میزان استاندارد در نظر گرفته شده به هر پارامتر بر اساس طبقه‌بندی USSL می‌باشد (USSL., 1954). مقادیر Si اختصاص یافته به پارامترهای مذکور در جدول (۳) ارائه شده است.

زیر شاخص SI_i نیز برای هر پارامتر کیفی آب زیرزمینی بر اساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود که برای GWQI با توجه به رابطه (۴) مورد نیاز است:

$$SI_i = W_i \times Q_i \quad (۳)$$

$$GWQI = \sum[(SI_{SAR})_i + (SI_{EC})_i + (SI_{RSC})_i] \quad (۴)$$

که در آن، SI_{SAR}: زیر شاخص محاسبه شده برای پارامتر SAR، SI_{EC}: زیر شاخص محاسبه شده برای پارامتر EC و SI_{RSC}: زیر شاخص محاسبه شده برای پارامتر RSC می‌باشد.

روش تهیه نقشه ترکیبی آب زیرزمینی

خوشه‌بندی چندمتغیره[2]، یک روش طبقه‌بندی بدون نظارت است که در این مطالعه برای ترکیب نقشه‌های آسیب‌پذیری آلودگی، پتانسیل و کیفیت آب زیرزمینی استفاده شد. روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC[3]) یکی از روش‌های خوشه‌بندی چندمتغیره است که در آن با در نظر گرفتن واریانس و کواریانس پیکسل‌های هر کلاس اولیه، احتمال اینکه یک پیکسل بتواند به هر یک از کلاس‌ها تعلق یابد محاسبه می‌شود و سپس پیکسل به کلاسی که بیشترین احتمال را دارد تعلق می‌گیرد. خروجی نقشه‌های آسیب‌پذیری آلودگی، پتانسیل و کیفیت آب زیرزمینی به عنوان ورودی‌های مدل MLC در نظر گرفته شد. در الگوریتم مورد نظر، همه سلول‌ها به تعداد طبقاتی که کاربر درنظر می‌گیرد جدا می‌شوند. در این مطالعه، پنج طبقه کلی شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در نظر گرفته شده است. فرآیند تکرار برای به‌روزرسانی مقادیر میانگین کلاس‌های تعیین شده تا رسیدن به تعداد تکرارهای تعریف شده توسط کاربر و یا تا زمانی که کمتر از دو درصد پیکسل‌های یک خوشه به خوشه دیگر نسبت به مقادیر میانگین جدید در یک تکرار تغییر یابد، ادامه می‌یابد. منطق این احتمال و وزن‌دهی نیز براساس قوانین تصمیم‌گیری بیزین است. (Mehra et al., 2016).

نتایج و بحث

مدل آسیب‌پذیری آب زیرزمینی

شکل (۳) نقشه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت ارومیه را نشان می‌دهد که در پنج کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی شده

1- Groundwater Quality Index

2 Multivariate Clustering
3 Maximum Likelihood Classification

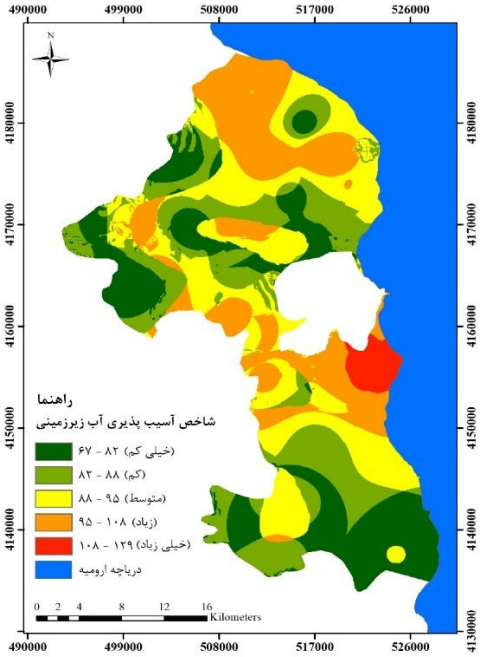
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

است. مطابق شکل مشاهده می‌شود که در مناطق شرقی، مرکزی و شمالی این دشت پتانسیل آسیب‌پذیری آلودگی زیاد و خیلی زیاد می‌باشد. با بررسی لایه‌های ورودی این مدل مشاهده شد سطح آب زیرزمینی در مناطقی که در کلاس زیاد و خیلی زیاد قرار دارند بالاتر بوده و به سطح زمین نزدیک‌تر است. لایه عمق تا سطح ایستابی وزن دو تا ۱۰ را به خود اختصاص داده است که اکثر مناطق رتبه هفت دارند که نشان دهنده بالا بودن سطح آب زیرزمینی است.

جدول ۳- مقادیر استاندارد و وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای نقشه کیفیت آب زیرزمینی.

پارامتر	مقادیر S_i	رتبه براساس اهمیت هر پارامتر	وزن اختصاص یافته به هر پارامتر
SAR	۱۰	۵	۰/۵
EC	۲۵۰	۳	۰/۳
RSC	۲/۵	۲	۰/۲



شکل ۳- نقشه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت ارومیه با استفاده از مدل دراستیک

هرچه تراز آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک‌تر باشد آلاینده‌ها سریع‌تر با آب ترکیب شده و به آب زیرزمینی می‌رسند. مناطق مرتفع که بخش‌های شمال‌غربی را شامل می‌شود رتبه‌های پایین دارند که نشان دهنده فاصله زیاد آب زیرزمینی و سطح زمین می‌باشد. کوون و همکاران در مطالعه خود که به بررسی آسیب‌پذیری آلودگی آب زیرزمینی در مونتسرادو لیبری پرداخته‌اند با ذکر این نکته که سطح آب زیرزمینی بالا، احتمال انتقال آلاینده به منابع آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد این لایه را در سه کلاس با رتبه‌های هشت تا ۱۰ طبقه‌بندی نمودند که نشان می‌دهد در این منطقه آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک است (Koon et al., 2023). سوی اصلان برای ارزیابی آسیب‌پذیری آلودگی دشت بوجاک کشور ترکیه، لایه عمق تا سطح ایستابی را در پنج کلاس طبقه‌بندی نمود (Soyaslan, 2020) و به مناطقی که در آن عمق سطح ایستابی بالاتر از ۲۰ متر و پایین‌تر از پنج متر است به ترتیب رتبه‌های یک و پنج را اختصاص داد. آبخوان، سازند زمین‌شناسی اشباع شده است که آب را به صورت قابل توجهی ذخیره کرده و تحت گرادیان هیدرولیکی انتقال می‌دهد و عمدتاً از شن و گراول تشکیل شده می‌شود (Su et al., 2022). در مطالعه حاضر، این لایه در سه کلاس با رتبه‌های پنج، شش و هفت طبقه‌بندی شد که در حدود ۷۰ درصد دشت دارای رتبه شش می‌باشند. مناطق با رتبه پنج شامل مناطق جنوب شرقی و مرکزی و مناطق با رتبه هفت شامل مناطق غربی می‌باشد که نشان دهنده بالا بودن قابلیت انتقال آب در این مناطق است. در حالت کلی، هرچه مواد سازنده آبخوان درشت دانه‌تر باشد پتانسیل آلودگی نیز بیشتر است (Saravanan et al., 2023). بافت و نوع خاک تأثیر قابل توجهی در محدود نمودن نفوذ آب به زمین داشته و پتانسیل انتقال عمودی یک آلاینده به همراه آب به منطقه غیراشباع را نشان می‌دهد (Liu et al.,

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

2022). مطابق توصیه‌های آلر و همکاران، این لایه در پنج کلاس با رتبه‌های یک تا پنج طبقه‌بندی شد. مناطق شمال شرقی و جنوب غربی رتبه یک و مناطق جنوب شرقی و شمال غربی رتبه دو دارند. در این بخش‌ها، قسمت سطحی زمین متشکل از رس و رس سیلتی و در برخی از مناطق ترکیبی از رس و سیلت و شن به مقدار بسیار کم می‌باشد که نشان می‌دهد پتانسیل آلودگی در این قسمت کم است. سایر مناطق رتبه‌های سه، چهار و پنج را به خود اختصاص داده‌اند که در مجموع ۲۴ درصد مساحت محدوده را شامل می‌شود و دارای پتانسیل آسیب‌پذیری آلودگی بالا می‌باشند. آلاینده‌ها می‌توانند به مدت طولانی‌تری در مناطق با شیب کم باقی بمانند (Saravanan et al., 2023). بنابراین هرچه شیب سطح زمین کمتر باشد، آلاینده فرصت زیادتری برای نفوذ به آب زیرزمینی دارد. در حدود ۷۷ درصد مساحت دشت، شیب کمتر از دو درصد و رتبه ۱۰ دارد که در این حالت، شانس نفوذ آب باران و آلاینده در بالاترین حد خود قرار دارد. در مناطق شرقی، مرکزی و شمالی این دشت، لایه غیراشباع رتبه پنج و شش دارد و بدان معناست که با توجه به جنس مواد که عموما دانه‌درشت هستند انتقال آلاینده سریعتر رخ خواهد داد و آسیب‌پذیری آلودگی در این مناطق بالا خواهد بود. سوی اصلان نیز در مطالعه خود برای مناطقی که جنس مواد منطقه غیراشباع درشت دانه است رتبه‌های بیشتری نسبت به مناطق با جنس مواد ریزدانه در نظر گرفته است (Soyaslan, 2020). در این مطالعه برای تعیین هدایت هیدرولیکی از جنس مواد سازنده آبخوان و قابلیت انتقال آب آن‌ها، برای محاسبه هدایت هیدرولیکی کل آبخوان استفاده شده است. این لایه در چهار کلاس با رتبه‌های یک، دو، چهار و شش طبقه‌بندی شده است که بالاترین رتبه‌ها مربوط به مناطق شرقی دشت است. سنر و داوراز در مطالعه خود از آزمایش پمپاژ برای تعیین هدایت هیدرولیکی استفاده و هدایت هیدرولیکی را در پنج کلاس طبقه‌بندی نمودند و برای مناطق با هدایت هیدرولیکی زیاد، بالاترین رتبه را درنظر گرفتند (Sener and Davraz, 2013). نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج ماجدی‌اصل و همکاران که آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت ارومیه را با استفاده از روش GALDIT ارزیابی نموده‌اند مطابقت دارد (ماجدی اصل و همکاران، ۱۴۰۱). این محققان در مطالعه خود نشان دادند که شدت آسیب‌پذیری در مناطق شرقی و مرکزی دشت ارومیه زیاد و در قسمت‌های غربی کمتر است. اصغری مقدم و همکاران آسیب‌پذیری آلودگی دشت عجب‌شیر واقع در شرق دریاچه ارومیه را با استفاده از مدل دراستیک اصلاح شده بررسی نمودند. این محققان برای اصلاح مدل، کاربری اراضی را نیز به عنوان لایه ورودی مدل درنظر گرفتند. نتایج نشان داد ۳/۲، ۶۶/۸ و ۳۰ درصد از مساحت محدوده مطالعاتی به ترتیب آسیب‌پذیری زیاد، متوسط و کم دارند. مناطق با آسیب‌پذیری زیاد نیز در شمال و شمال غربی دشت که در مجاورت دریاچه ارومیه می‌باشند واقع شده‌اند (Asghari Moghaddam et al., 2023).

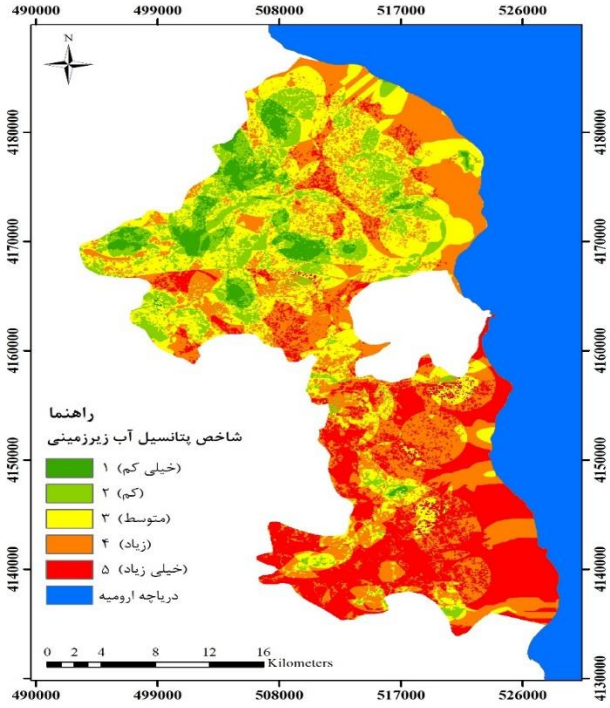
مدل پتانسیل آب زیرزمینی

نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در شکل (۴) ارائه شده است. ۴/۱۹، ۱۲/۷۲، ۲۷/۳۴، ۳۲/۶۷ و ۲۳/۰۸ درصد از مساحت محدوده مطالعاتی به ترتیب در کلاس‌های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. در مناطق جنوبی و شرقی دشت ارومیه، پتانسیل آب زیرزمینی بالاست. این مناطق جزو محدوده‌هایی با ارتفاع پایین هستند بنابراین آب فرصت زیادی برای نفوذ در داخل زمین دارد. همانطور که ذکر شد هرچه تراکم چاه بالاتر باشد امکان تغییرات کمی و کیفی در منابع آب زیرزمینی نیز بالاست. تراکم چاه در دشت ارومیه در مناطق غربی و مرکزی متمرکز است که نشان دهنده بالا بودن پتانسیل آب زیرزمینی است. شاخص NDVI به نوعی تعیین کننده پوشش گیاهی در محدوده است و با نزدیک شدن به عدد یک، میزان پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. در مناطق جنوبی، مرکزی و غربی دشت ارومیه مقدار شاخص NDVI با رتبه ۳ بالاتر از سایر مناطق است. بنابراین یکی دیگر از علل بالا بودن پتانسیل در این مناطق این شاخص است. هرچه میزان پوشش گیاهی در منطقه‌ای زیادتر باشد از سرعت جریان رواناب سطحی کاسته می‌شود و آب فرصت بیشتری برای نفوذ دارد.

همانطور که ذکر شد بارش باران از منابع مهم تغذیه منابع آب زیرزمینی است. در این مطالعه بارش باران مطابق مقادیر ارائه شده در جدول (۲) در دو کلاس طبقه‌بندی شده است. نیمه جنوبی این دشت میزان بارش بیشتری نسبت به نیمه شمالی دریافت می‌کند لذا تغذیه در این مناطق زیاد خواهد بود. مهرا و همکاران با تهیه نقشه پتانسیل و تقسیم آن در ۵ کلاس به این نتیجه رسیدند که اکثر مناطق در محدوده مطالعاتی در وضعیت متوسط برای تغذیه آب زیرزمینی با توجه به لایه‌های زمین‌شناسی و هواشناسی دارند (Mehra et al., 2016). ایفدیگو در تحقیق خود، پتانسیل آب زیرزمینی منطقه لافیا کشور نیجریه را با استفاده از روش AHP و اهمیت ورودی‌ها بررسی نمود (Ifediegwu, 2022). لایه‌های ورودی این مدل شامل ژئولوژی، بارندگی، ژئومورفولوژی، شیب، تراکم زهکشی، خاک، کاربری اراضی و تراکم گسل می‌باشد. نقشه نهایی تهیه شده به روش وزن‌دهی به چهار منطقه با پتانسیل خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف که به ترتیب ۱۹/۳، ۱۲/۹، ۵۷/۸ و ۱۰ درصد محدوده را شامل می‌شود تقسیم شد. لازم به ذکر است که بالا بودن پتانسیل آب زیرزمینی در نیمه جنوبی دشت به معنی امکان برداشت آب مازاد از این مناطق نمی‌باشد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ٤- نقشه پتانسیل آب زیرزمینی دشت ارومیه.

در حالت کلی، ذخایر آب در منابع آب زیرزمینی کاهش یافته است و چه‌بسا سالیان زیادی نیاز است تا با مدیریت مصرف آب بتوان تا حدودی کمبود آب ایجاد شده طی سالیان متمادی را جبران نمود. بنابراین این مدل، فقط نشانگر پتانسیل تغذیه منابع آب زیرزمینی است و نمی‌توان با استناد بر آن، در خصوص مقدار آب موجود و یا مقدار آب قابل برداشت اظهارنظر نمود.

شاخص کیفیت آب زیرزمینی

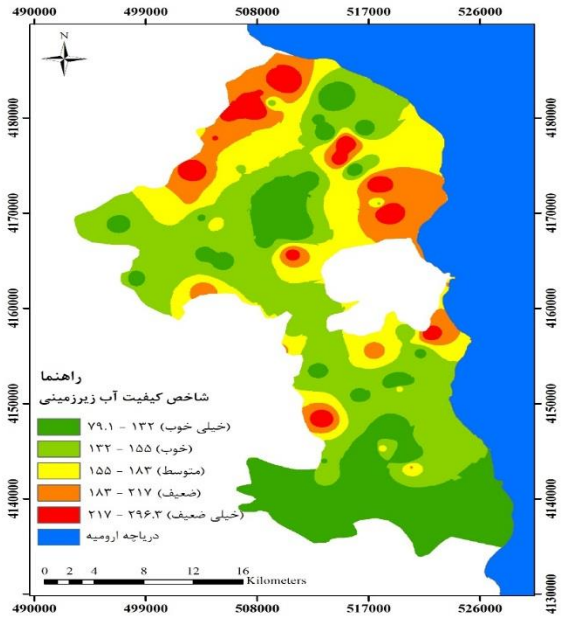
طبقه‌بندی کیفیت آب بر مبنای هر پارامتر به صورت مجزا نمی‌تواند تناسب آب برای مصارف کشاورزی را به خوبی نشان دهد. بنابراین به جای استفاده از طبقه‌بندی‌های مختلف برمبنای هر پارامتر به صورت مجزا، می‌توان از شاخصی استفاده نمود که با ترکیب پارامترهای مهم و موثر کیفیت آب را به خوبی و به صورت جامع طبقه‌بندی نماید. شاخص GWQI یکی از شاخص‌های موثر می‌باشد که در مطالعه حاضر برای محاسبه آن، از سه پارامتر EC، SAR و RSC محاسبه شده است (شکل ۵). با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که در حالت کلی شاخص GWQI در وضعیت خوب قرار دارد. تنها ۱۶/۲۲ درصد از مساحت این دشت که در شرق و شمال محدوده واقع شده‌اند در وضعیت مناسبی قرار ندارند. قرار گرفتن در مجاورت دریاچه شور ارومیه و استفاده از کودهای شیمیایی مختلف برای مصارف کشاورزی با توجه به رایج بودن کشاورزی در این منطقه، از جمله دلایل طبقه‌بندی این شاخص در کلاس با طبقه‌های ضعیف و خیلی ضعیف می‌باشد. محققان مختلفی در مطالعات خود اقدام به تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی نموده‌اند که نتایج کار این محققان و مطالعه حاضر در جدول (۴) ارائه شده است. در تحقیقات محققان مذکور، پارامتر شوری به عنوان مشکل اصلی عنوان شده است و علت قرار گیری درصد بالایی از مساحت محدوده مطالعاتی در گروه متوسط تا ضعیف به این پارامتر ربط داده شده است. در این مطالعه نیز شوری در بازه ۵۱۴/۱۸ تا ۱۹۳۱/۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر قرار دارد که در محدوده خطرات با شوری متوسط تا بسیار زیاد می‌باشد.

جدول ٤- نتایج مطالعه حاضر و مطالعات صورت گرفته در زمینه نقشه کیفیت آب زیرزمینی.

منبع	درصد مساحت کلاس با کیفیت خوب و خیلی خوب	درصد مساحت کلاس با کیفیت متوسط تا خیلی ضعیف
مطالعه حاضر	۶۴/۲۵	۳۵/۷۵
Arya et al. (1999)	۲۶	۵۸
Khan (2007)	۲۵	۵۵
Mehra et al. (2016)	۳۶	۶۴

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۵- نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) دشت ارومیه.

نقشه ترکیبی ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی

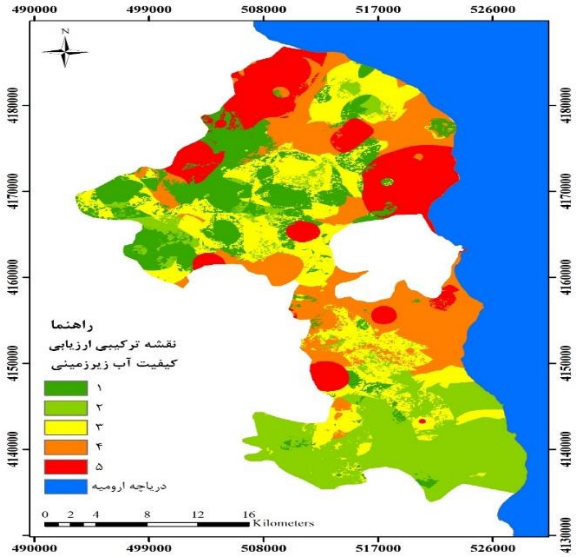
نقشه ترکیبی آب زیرزمینی تهیه شده با روش خوشه‌بندی چندمتغیره، در پنج کلاس طبقه‌بندی و در شکل (۶) ارائه شده است. مشخصات این نقشه با در نظر گرفتن نقشه‌های آسیب‌پذیری آلودگی، پتانسیل و شاخص GWQI در جدول (۵) ارائه شده است. منطقه ۱ منطقه‌ای خوب برای مصارف کشاورزی با آسیب‌پذیری آلودگی خیلی کم به آلاینده‌های سطحی و زیرسطحی، پتانسیل خیلی زیاد و کیفیت خیلی خوب می‌باشد. این منطقه ۱۶/۹۳ درصد دشت را شامل می‌شود و شامل مناطق شمالی، شمال غربی و مناطق مرکزی نیمه شمالی است. منطقه ۲ منطقه‌ای خوب برای مصارف کشاورزی با آسیب-پذیری آلودگی کم، پتانسیل زیاد و کیفیت خوب می‌باشد. این محدوده نیز ۲۳/۳۸ درصد دشت را شامل شده و قسمتی از بخش‌های جنوبی، مرکزی و شمالی دشت را دربرگرفته است. در حالیکه منطقه ۳، منطقه‌ای متوسط برای مصارف کشاورزی با آسیب‌پذیری آلودگی، پتانسیل و کیفیت متوسط است. مساحت این منطقه ۲۲/۹۰ درصد بوده و در حالت کلی، مناطق مرکزی نیمه شمالی و نیمه جنوبی را تشکیل داده است. منطقه‌های ۴ و ۵ آسیب‌پذیری آلودگی بالایی به آلاینده‌های سطحی و زیرسطحی دارند و برای مصارف کشاورزی مناسب نمی‌باشد. مهرا و همکاران با بررسی تناسب منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی به این نتیجه رسیدند که ۶۲ درصد از مساحت محدوده مطالعاتی برای مصارف کشاورزی مناسب است. ۳۸ درصد از مساحت محدوده نیز نامناسب برای مصارف کشاورزی است (Mehra et al., 2016).

نتیجه‌گیری

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت ارومیه با استفاده از روش ترکیبی نشان داد که منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی تحت تأثیر هر سه متغیر آسیب‌پذیری آلودگی، پتانسیل و شاخص GWQI می‌باشند. تعامل این متغیرها با یکدیگر می‌تواند در تصمیم‌گیری جوامع مرتبط با کشاورزی برای انتخاب الگوی کشت و استفاده از منابع آب زیرزمینی، موثر باشد. عدم نظارت صحیح بر منابع آب زیرزمینی به همراه افزایش آلودگی‌های سطحی و زیرسطحی و تغییرات اقلیمی می‌تواند منابع آب زیرزمینی را در وضعیت نامناسب قرار دهد. تأخیر در شروع بارندگی‌ها، وقوع بارندگی کمتر از مقدار مورد نیاز و عدم دسترسی به آب‌های سطحی کشاورزان را مجبور به استفاده از منابع آب زیرزمینی می‌نماید که نه تنها بر سلامت خاک بلکه بر عملکرد محصول نیز تأثیر می‌گذارد. بنابراین تعیین مکان‌های مناسب برای استخراج منابع آب زیرزمینی دارای اهمیت بالایی است. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی به روش ترکیبی، مکان‌های مساعد برای مصارف کشاورزی براساس آسیب‌پذیری آلودگی، پتانسیل و کیفیت آب را به صورت یکجا تعیین می‌کند. بنابراین از این مطالعه می‌توان به عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی در راستای انجام مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی استفاده نمود.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ٦- نقشه ترکیبی آب زیرزمینی دشت ارومیه.

جدول ٥- مشخصات نقشه ترکیبی آب زیرزمینی و درصد اختصاص یافته به هرکلاس.

منطقه	لایه‌های مورد نیاز نقشه یکپارچه آب زیرزمینی			درصد مساحت مربوط به هر منطقه
	کیفیت آب زیرزمینی	پتانسیل آب زیرزمینی	آسیب‌پذیری آب زیرزمینی	
۱	خیلی خوب	خیلی زیاد	خیلی کم	۱۶/۹۳
۲	خوب	زیاد	کم	۲۳/۳۸
۳	متوسط	متوسط	متوسط	۲۲/۹۰
۴	ضعیف	کم	زیاد	۲۰/۶۵
۵	خیلی ضعیف	خیلی کم	خیلی زیاد	۱۶/۱۴

منابع

آصفی، م.، زارعی، ح. و رادمنش، ف. ۱۳۹۳. تصحیح مدل سینتکس به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS جهت بررسی آسیب‌پذیری آبخوان؛ مطالعه موردی دشت اندیمشک. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. (۱۸) ۵: ۱۲۵-۱۰۹.

ابراهیمی، س. ح.، نشاط، ا.، جوادی، س. و آقامحمدی، ح. ۱۳۹۷. اصلاح روش DRASTIC در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از دو روش تحلیل حساسیت تک‌پارامتری SPSA و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP. اکوهیدرولوژی. (۴) ۵: ۱۲۰۲-۱۱۹۱.

افخمی‌فر، س. و صراف، ا. ۱۳۹۹. پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت ارومیه با استفاده از مدل هیبرید تبدیل موجک-ماشین یادگیری بیشینه و بهینه‌سازی با ازدحام ذرات کوانتومی. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۲ (۲): ۳۶۴-۳۵۱.

امیراحمدی، ا.، ابراهیمی، م.، زنگنه اسدی، م. ع. و اکبری، ا. ۱۳۹۲. بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۶: ۵۶-۳۷.

بامداد ماچیانی، س.، خالدیان، م.، رضایی، م. و تاجداری، خ. ۱۳۹۳. ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان گیلان برای مصارف کشاورزی و صنعت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. (۲)۸: ۲۵۶-۲۴۶.

روحی، ح.، کلانتری، ن.، محمدی بهزاد، ح. و دانشیان، ح. ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر بر خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت الباجی). مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. ۹: ۹-۱.

ماجدی‌اصل، م.، محمودپور، ه.، صادق فام، س. و ابراهیم‌پور، ا. ۱۴۰۱. ارزیابی کیفی آبخوان ساحلی دشت ارومیه با استفاده از روش آسیب‌پذیری GALDIT اصلاح شده. نشریه آبیاری و زهکشی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ایران. (۱)۱۶: ۶۷-۵۵.

محمدجانی، ا.، یزدانیان، ن. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند. (۶۶-۶۵) ۲۱: ۱۴۴-۱۱۷.

موسی‌زاده، ر.، عباس نوین‌پور، ا. و صادقی‌اقدم، ف. ۱۳۹۹. تعیین آسیب‌پذیری آبخوان روضه‌چای دشت ارومیه با استفاده از روش ترکیبی شاخص‌هایSINTACS، DRASTIC و SI. پژوهش-های آبخیزداری. (۳)۳۳: ۹۰-۷۰.

Ifediegwu, S.I. 2022. Assessment of groundwater potential zones using GIS and AHP techniques: a case study of the Lafia district, Nasarawa State, Nigeria. Applied Water Science, 12(1), 10-27.

Asghari Moghaddam, A., Nouri Sangarab, S. and Kadkhodaie Ilkhchi, A. 2023. Assessing groundwater vulnerability potential using modified DRASTIC in Ajabshir Plain, NW of Iran. Environmental Monitoring and Assessment. 195(4): 497-512.

Arya, V., Singh, S., Kumar, A., Rao, T., Chaudhary, B., Rao, G., Saroha. G.P., Sharma, M.P., Singh, A., Lal, N. and Kumar, U. 1999. Mapping of soil and water resources of Mewat area: Problems and their management using remote sensing techniques. Hisar: Haryana State Remote Sensing Application Centre, Haryana Agriculture University.

Adihkari, K., Chakraborty, B. and Gangopadhyay, A. 2012. Assessment of Irrigation Potential of Groundwater using Water Quality Index Tool. Environmental Research Journal. 6(3): 197-205.

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., Petty, R. and Hackett, G. 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Ada, Oklahoma: U.S. and Environmental Protection Agency.

Aghazadeh, N. and Mogaddam, A. A. 2010. Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh Area, Northwest of Iran. Journal of Environmental protection. 1(01): 30.

Barzegar, R., Moghaddam, A.A. and Baghban, H. 2016. A supervised committee machine artificial intelligent for improving DRASTIC method to assess groundwater contamination risk: a case study from Tabriz plain aquifer, Iran. Stochastic environmental research and risk assessment. 30(3): 883-899.

Gautam, K. S., Maharana, Ch., Sharma, D., Singh, A. K., Tripathi, J. K. and Kumar, S. S. 2015. Evaluation of groundwater quality in the Chotanagpur plateau region of the Subarnarekha River basin, Jharkhand, India. Sustain. Water Quality and Ecology. 6: 57-74.

Genjula, W., Jothimani, M., Gunalan, J. and Abebe, A. (2023). Applications of statistical and AHP models in groundwater potential mapping in the Mensa River catchment, Omo river valley, Ethiopia. Modeling Earth Systems and Environment. 1-19.

Gumma, M.K. and Pavelic, P. 2013. Mapping of groundwater potential zones across Ghana using remote sensing, geographic information systems, and spatial modeling. Environmental monitoring and assessment. 185(4): 3561-3579.

Ikirri, M., Boutaleb, S., Ibraheem, I. M., Abioui, M., Echogdali, F. Z., Abdelrahman, K. and Faik, F. (2023). Delineation of Groundwater Potential Area using an AHP, Remote Sensing, and GIS Techniques in the Ifni Basin, Western Anti-Atlas, Morocco. Water. 15(7): 1436.

Koon, A. B., Anornu, G. K., Dekongmen, B. W., Sunkari, E. D., Agyare, A. and Gyamfi, C. 2023. Evaluation of groundwater vulnerability using GIS-based DRASTIC model in Greater Monrovia, Montserrado County, Liberia. Urban Climate. 48: 101427.

Khan, S.A. 2007. Groundwater information booklet: Mewat District. Haryana: Government of India, Indian Ministry of Water Resources Central Groundwater Board, cgwb. Gov. in/District _Profile/Haryana/Mewat. pdf.

Liu, M., Xiao, C. and Liang, X. 2022. Assessment of groundwater vulnerability based on the modified DRASTIC model: A case study in Baicheng City. China. Environmental Earth Sciences. 81(8): 230. https://doi.org/10.1007/ S12665-022-10350-8

Li, P., Wu, J. and Qian, H., 2016. Hydrochemical appraisal of groundwater quality for drinking and irrigation purposes and the major influencing factors: a case study in and around Hua County, China. Arabian Journal of Geosciences. 9(1): p.15.

Luo, D., Ma, C., Qiu, Y., Zhang, Z. and Wang, L. (2023). Groundwater vulnerability assessment using AHP-DRASTIC-GALDIT comprehensive model: a case study of Binhai New Area, Tianjin, China. Environmental Monitoring and Assessment. 195(2): 268.

Mukherjee, P., Kumar Singh, Ch. and Mukherjee, S. 2012. Delineation of Groundwater Potential Zones in Arid Region of India- A Remote Sensing and GIS Approach. Water Resour Manage. 26: 2643-2672.

Mallic, J., Kumar Singh, C., Al-Wadi, H., Ahmed, M., Rahman, A., Shashtri, S. and Mukherjee, S. 2014. Geospatial and geostatistical approach for groundwater potential zone delineation. Hydrological Processes. 29(3): 395-418.

Mehra, M., Oinam, B. and Kumar, C. H. 2016. Integrated Assessment of Groundwater for

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

vulnerability using modified DRASTIC model in Kharum Basin, Chhattisgarh, India. China. Arab J Geosci. 9:98.

Su, X., Belvedere, P., Tosco, T. and Prigiobbe, V. 2022. Studying the effect of sea level rise on nuisance flooding due to groundwater in a coastal urban area with aging infrastructure. Urban Climate. 43: 101164.

Saidi, S., Hosni, S., Mannai, H., Jelassi, F., Bouri, S. and Anselme, B. 2017. GIS-based multi-criteria analysis and vulnerability method for the potential groundwater recharge delineation, case study of Manouba phreatic aquifer, NE Tunisia. Environmental Earth Sciences. 76(15): 511.

Singh, L. and Saravanan, S. 2022. Assessing streamflow modeling using single and multi-site calibration approach on Bharathpuzha catchment, India: a case study. Modeling Earth Systems and Environment. 8(3): 4135–4148.

Singh, A., Srivastav, S. K., Kumar, S. and Chakrapani, G. J. 2015. A modified-DRASTIC model (DRASTICA) for assessment of groundwater vulnerability to pollution in an urbanized environment in Lucknow. India. Environmental Earth Sciences. 74(7): 5475–5490.

Taghilou, A. A. and Aftab, A. 2022. Groundwater management in the framework of socio-ecological system: a case study of Urmia plain, Iran. Sustainable Water Resources Management. 8(3): 1-13.

Taheri, K., Missimer, T. M., Amini, V., Bahrami, J. and Omidipour, R. 2020. A GIS-expert-based approach for groundwater quality monitoring network design in an alluvial aquifer: a case study and a practical guide. Environmental Monitoring and Assessment. 192: 1-20.

Tiwari, A.K., Singh, P.K. and De Maio, M. 2016. Evaluation of aquifer vulnerability in a coal mining of India by using GIS-based DRASTIC model. Arabian Journal of Geosciences. 9(6): 438.

Todd, D.K. and Mays, L.W. 2005. Groundwater hydrology edition (Vol. 1625). Wiley, New Jersey.

USSL, S. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Department of Agriculture.

Visa, J. M., Andero, B., Perles, M. J., Carrasco, F., Vadillo, I. and Jimenez, P. 2006. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (Karstic) Aquifer: the COP method. Hydrogeology Journal. 14(6): 912-925.

Agricultural use in Mewat district of Haryana, India using geographical information system (GIS). J Indian Soc Remote Sens. 44(5): 747-758.

Machiwal, D., Rangi, N. and Sharma, A. 2015. Integrated knowledge- and data-driven approaches for groundwater potential zoning using GIS and multi-criteria decision-making techniques on hard-rock terrain of Aharcatchment, Rajasthan, India. Environmental Earth Sciences. 73:1871–1892.

Mokarram, M., Hojjati, M., Roshan, G. and Negahban, S. 2015. Modeling the behavior of Vegetation Indices in the salt dome of Korsia in North-East of Darab, Fars, Iran. Modeling Earth Systems and Environment. 1(3): 1-9.

Magesh, N.S., Chandrasekar, N. and Soundranayagam, J.P. 2012. Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. Geoscience Frontiers. 3(2): 189-196.

Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map explanatory notes. Parramatta NSW: Department of Land and Water Conservation, Report No. CNR 2001.017.

Rahmati, O., Samani, A.N., Mahdavi, M., Pourghasemi, H.R. and Zeinivand, H. 2015. Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. Arabian Journal of Geosciences. 8(9): 7059-7071.

Saaty, TL/ 1980. The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York.

Sener, E. and Davraz, A. 2013. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey). Hydrogeology Journal. 21(3):701-714.

Soyaslan, İ.İ. 2020. Assessment of groundwater vulnerability using modified DRASTIC-Analytical Hierarchy Process model in Bucak Basin, Turkey. Arabian Journal of Geosciences. 13(21):1127.

Saravanan, S., Pitchaikani, S., Thambiraja, M., Sathiyamurthi, S., Sivakumar, V., Velusamy, S. and Shanmugamoorthy, M. 2023. Comparative assessment of groundwater vulnerability using GIS-based DRASTIC and DRASTIC-AHP for Thoothukudi District, Tamil Nadu India. Environmental Monitoring and Assessment, 195(1): 1-19.

Sinha, M. K., Verma, M. K., Ahmad, I., Biaer, K., Jha, R. and Azzam, R. 2016. Assessment of groundwater

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 17, Oct.-Nov. 2023, p. 719-733

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۷، مهر - آبان ۱۴۰۲، ص. ۷۳۳-۷۱۹

Assessment of Groundwater for Agricultural Uses in Urmia Plain with Combined Method of Pollution Vulnerability and Potential Models and Groundwater Quality Index

M. Rahimi[1], V. Rezaverdinejad[*2], J. Behmanesh[3], F. Asadzadeh[4]

Recived: Feb.29, 2023 Accepted: May.28, 2023

Abstract

In this study, the groundwater resources of Urmia Plain were evaluated for agricultural uses using a combined method that includes vulnerability, potential, and groundwater quality models. The vulnerability was evaluated by the DRASTIC method and the final map was classified into five classes with very high to very low vulnerability. The layers of NDVI, digital elevation model, drainage density, precipitation, and well density was considered as inputs of the potential model, and Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to determine the weight of each layer. The potential map was also classified into five classes with very high to very low potential. The groundwater quality map was produced with three input layers including electrical conductivity (EC), sodium absorption ratio (SAR), and residual sodium carbonate (RSC) and weighting method. The combined map was produced by the maximum likelihood classification (MLC) method with five classes. The first and second zones with 40.31% of the area are suitable for agricultural uses, which include the northern, northwestern, and central semi-northern regions. The third zone with 22.90% of the area is in moderate condition and includes the central areas of the northern half and the southern half. The fourth and fifth zones with 36.79% of the area are in an unsuitable condition for agricultural use.

Keywords: DRASTIC Model, Groundwater Potential, Salinity, Sodium Absorption Ratio, Water Quality

1- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran
2- Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran
3- Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran
4- Associate Professor, Department of Soil Science, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran
(*- Corresponding Author Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir)

Archive of SID.ir