

مقاله پژوهشی:

ارزیابی شاخص‌های کیفی آب آبیاری (مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی)

ندا خان‌محمدی^{۱*}، رقیه حمزه‌نژاد^۲، حسین رضایی^۳

۱- فارغ‌التحصیل دکتری مهندسی آب، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- فارغ‌التحصیل دکتری علوم خاک، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استاد گروه مهندسی آب، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، ارومیه، ایران

* نویسنده مسئول: n.khanmohammadi@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

چکیده

ارزیابی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها، نقش مهمی در مدیریت بهینه آبخوان ایفا می‌کند. بدین منظور، شاخص‌های کیفی آب آبیاری در آب زیرزمینی استان آذربایجان غربی مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به آمار موجود، آمار کیفی ۲۱ چاه مربوط به سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۰ استخراج شد. شاخص همبستگی پیرسون برای تعیین ارتباط بین شاخص‌ها و نمودار ویلکوکس جهت تعیین کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی تغییرات مکانی شاخص‌ها در کل منطقه نیز از روش زمین آمار کریجینگ جهت پهنه‌بندی شاخص‌ها استفاده شد. نتایج همبستگی پیرسون بین شاخص‌های محاسبه شده، ارتباط معنی‌دار مقادیر همه شاخص‌ها با هم، جز شاخص pH، را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی توسط نمودار ویلکوکس نشان داد که ۴۳ درصد از محدوده‌ها در کلاس C3S1، ۳۸ درصد محدوده‌ها در کلاس C2S1 و ۱۹ درصد محدوده‌ها در سه کلاس C4S3، C3S2 و C4S2 می‌باشند. بررسی مکانی تمامی شاخص‌ها در کل استان نشان داد که آب زیرزمینی قسمت‌های شمال و جنوب شرقی استان و اطراف دریاچه ارومیه، برای استفاده کشاورزی، نامرغوب‌تر از قسمت‌های میانی و غربی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: استان آذربایجان غربی، پهنه‌بندی، شاخص کیفی، نمودار ویلکوکس.

مقدمه

منبع آب‌های زیرزمینی یکی از حیاتی‌ترین منابع طبیعی است که هسته سیستم محیط زیستی را تشکیل می‌دهند. این منبع تامین‌کننده اصلی مصارف آب‌آشامیدنی، فعالیت‌های خانگی، کشاورزی، صنعتی، تفریحی و محیط زیست می‌باشد (Janatrostami and Salahi, 2020). پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی، آبخوان‌هایی را که برای مصارف مختلف از جمله آبیاری مناسب هستند، مشخص می‌کند. از آن جایی که نمونه‌برداری از تمام نقاط محدوده مطالعاتی مقدور نیست، روش‌های درون‌یابی، ابزاری قدرتمند در تخمین داده‌ها مبتنی بر ساختار مکانی هستند. روش‌های گوناگون برای بررسی تغییرات ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان روش کریجینگ را نام برد (Heshmati and Beige Harchegani, 2012).

(Zehtabian et al., 2002) کیفیت آب رودخانه جاجرود را مورد بررسی قرار دادند و رابطه تغییرات ماهانه EC و SAR را با دبی مشخص کردند. سپس با استفاده از دیگرام ویلکوکس کیفیت آب رودخانه مورد نظر را در هر ایستگاه تعیین کردند.

(Taghizade-Mehrjardi et al., 2008)، با استفاده از اطلاعات کیفی مربوط به ۷۳ حلقه چاه در دشت اردکان یزد، توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی را بررسی نمودند. آن‌ها در مطالعه خود، قابلیت روش‌های زمین آماری کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس وزنی فاصله را جهت درون‌یابی مکانی شاخص‌های EC، TDS و SAR مورد مقایسه قرار دادند. ایشان برتری روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را نسبت به روش معکوس وزنی فاصله در میان‌یابی پارامترهای ذکر شده نتیجه گرفتند.

(Heshmati and Beige Harchegani, 2012)، شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی را در دشت شهرکرد به منظور استفاده در طراحی سامانه‌های آبیاری توسط روش زمین آمار کریجینگ پهنه‌بندی نمودند. آن‌ها در پژوهش خود از میانگین نتایج سه نوبت نمونه‌برداری از ۹۷ حلقه چاه در منطقه مورد مطالعه استفاده نمودند. شاخص‌های EC، TDS، TSS، PH، LI، SAR، PI، RSC و %Na شاخص‌های مورد مطالعه در پژوهش ایشان بودند. نتایج ایشان نشان داد که بر اساس میانگین دو شاخص EC و TDS، آب زیرزمینی شهرکرد به ترتیب

در گروه نسبتاً خوب و خوب قرار می‌گیرد. ایشان همچنین نتایج قابلیت کاربرد آب زیرزمینی را در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از شاخص‌های مختلف ارائه نمودند.

(Sajadi Mian Ab et al., 2012)، تأثیر آب شور خلیج فارس را بر روی کیفیت آب زیرزمینی دشت عسلویه در استان بوشهر بررسی نموده و منشاء آنومالی کلرید سدیم را تعیین نمودند. نتایج آنالیزهای شیمیایی در مطالعه ایشان، نشان‌دهنده شوری بیش از حد آب زیرزمینی دشت، به خصوص در مجاورت دریا بود.

(Niknia et al., 2013) آب چاه‌های دشت نیشابور را از نظر کیفی جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه دارای کیفیت قابل قبولی از نظر کشاورزی و شرب می‌باشد و از لحاظ صنعت نمونه‌ها دارای خاصیت رسوب‌گذار و فقط تعداد کمی از آن‌ها دارای خاصیت خوردگی می‌باشند.

(Sadeghi Aghdam et al., 2019)، کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت نقده را جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت بررسی نمودند. در مطالعه مذکور، تجزیه و تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی با اطلاعات زمین‌شناسی، کاربری اراضی و توزیع واحدهای صنعتی دشت صورت گرفت و مشخص گردید که آب‌های زیرزمینی باکیفیت نامناسب به طور عمده در نواحی شمالی مرکز دشت و نواحی شرقی دشت وجود دارند.

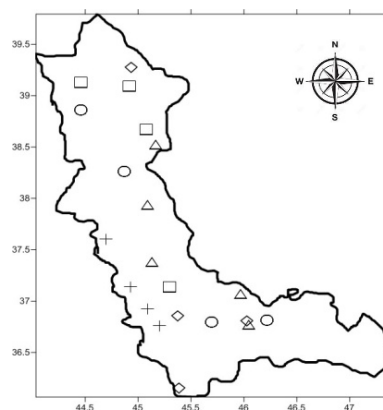
(Janatrostami and Salahi, 2020) آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت گیلان را با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، پایش کیفی کرده و نتایج به‌دست آمده را تحلیل نمودند.

(Yonesi et al., 2020)، روند تغییرات پارامترهای کیفی را مورد مطالعه قرار داده و کیفیت آب زیرزمینی را در آبخوان نجف‌آباد پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب در طی زمان بود.

بررسی شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی و پهنه‌بندی آن، امکان ارزیابی بهتر آب، جهت مصارف مختلف را در آبخوان‌های محدوده مطالعاتی فراهم می‌آورد. بدین منظور در این پژوهش، نه شاخص کیفی مختلف آب زیرزمینی در استان آذربایجان غربی مورد ارزیابی قرار گرفته و تغییرات مکانی آن‌ها در کل استان، توسط پهنه‌بندی مقادیر شاخص‌ها بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

استان آذربایجان غربی واقع در شمال غربی ایران، منطقه مورد مطالعه در این پژوهش را شکل می‌دهد. با توجه به آمار کیفی موجود، ۲۱ محدوده برای منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. برای هر محدوده یک چاه عمیق به عنوان چاه معرف جهت تحلیل پارامترهای کیفی در استان آذربایجان غربی در نظر گرفته شد. موقعیت چاه‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و موقعیت چاه‌ها
Figure 1- Study area and well's situation

پارامترهای کیفی مختلف در این منطقه جهت تعیین انواع شاخص‌های کیفی طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۰ مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های TH, SAR, EC, Na, pH, TDS, RSC و LI شاخص‌های مورد مطالعه در پژوهش بودند. مقادیر EC, TDS و pH در آمار کیفی

موجود بوده و شاخص‌های دیگر با استفاده از روابط مربوطه تخمین زده شدند.

شاخص سختی کل: برای محاسبه سختی کل (TH) بر حسب میلی گرم بر لیتر می‌توان از رابطه (۱) استفاده کرد:

$$TH = (Ca + Mg) \times 50 \quad (1)$$

در این رابطه، Ca و Mg به ترتیب بیان کننده غلظت کلسیم و منیزیم بر حسب میلی اکوی والانته در لیتر می‌باشد. هرچند بالاترین حد مجاز سختی کل ۵۰۰ میلی گرم در لیتر است ولی عملاً آب‌هایی که سختی آن‌ها از ۲۰۰ میلی گرم در لیتر بیشتر باشد، مطلوب نمی‌باشند (Heshmati and Beige Harchegani, 2012; Alizade, 2005).

شاخص نسبت جذبی سدیم (SAR) و درصد سدیم محلول (SSP): این شاخص‌ها معیاری برای سنجش سدیم (Na) هستند که با داشتن غلظت عناصر در آب، مقادیر آنها با استفاده از روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌شود:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (2)$$

$$SSP = \frac{Na}{Ca + Mg + Na} \times 100 \quad (3)$$

کلیه مقادیر کاتیون‌ها در رابطه‌های فوق بر حسب میلی اکوی والانته در لیتر می‌باشد. آب‌ها از نظر سدیم محلول در پنج گروه مطابق جدول (۱) قرار می‌گیرند (Alizade, 2005).

جدول ۱- طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی با استفاده از شاخص SSP

Table 1- Classifying water on the basis of the SSP index

مقدار شاخص	نوع کیفیت آب برای آبیاری
SSP<20	عالی
20<SSP<40	خوب
40<SSP<60	قابل قبول
60<SSP<80	مشکوک
80<SSP	بد

لیتر توسط رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود (Heshmati and Beige Harchegani, 2012):

$$RSC = (HCO_3 + CO_3) - (Ca + Mg) \quad (11)$$

بعد از محاسبه مقادیر مربوط به نه شاخص مورد مطالعه، مقدار همبستگی پیرسون بین شاخص‌ها، جهت پی بردن به ارتباط بین آن‌ها، محاسبه شد. سپس، آب زیرزمینی منطقه از نظر کشاورزی طبقه‌بندی گردید. مهمترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد؛ زیرا این دو معیار نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازند. شوری با معیار هدایت الکتریکی (EC) و سدیم با یکی از معیارهای SAR (نسبت جذبی سدیم) یا SSP (درصد سدیم محلول) سنجیده می‌شود. از آنجا که سدیم به تنهایی نمی‌تواند معیار سنجش کیفی آب به لحاظ کشاورزی قرار گیرد، بهتر آن است که تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود. روش طبقه‌بندی ویلکوکس و استفاده از نمودار آن، کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات هیدرولوژی است. در نمودار ویلکوکس، محور افقی به شوری آب و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم اختصاص دارد (Alizade, 2005). نمودار ویلکوکس دارای ۱۶ منطقه است (جدول ۲). آب‌هایی که در منطقه C1S1 واقع شده‌اند؛ دارای بهترین کیفیت بوده و آب‌هایی که در منطقه C4S4 قرار دارند؛ نامناسب‌ترین کیفیت را از نظر کشاورزی دارا می‌باشند (Sajadi Mian Ab et al., 2012). به بیان دیگر، آب‌های خیلی خوب، همگی دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و در گروه C1S1 قرار می‌گیرند (Alizade, 2005). جهت طبقه‌بندی آب زیرزمینی از نظر کشاورزی از نمودار ویلکوکس استفاده شد.

شاخص لانژی (LI): به منظور محاسبه شاخص لانژی که نشان‌دهنده پتانسیل رسوب‌گذاری است، ابتدا سختی کل و قلیائیت کل محاسبه شد. برای محاسبه این شاخص، واکنش آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$pH_s = [9.3 + A + B] - (C + D) \quad (4)$$

که در آن، مقادیر A, B, C و D با استفاده از روابط (۵) تا (۸) حاصل می‌شوند:

$$A = (\log [TDS] - 1) / 10 \quad (5)$$

$$B = -3.12 \times \log (T + 273) + 34.55 \quad (6)$$

$$C = \log [TH] - 0.4 \quad (7)$$

$$D = \log [ALK] \quad (8)$$

در این روابط، TDS کل جامدات محلول (mg/l)، T درجه حرارت به درجه سلسیوس، TH سختی کل بر مبنای کربنات کلسیم معادل (mg/l) و ALK قلیائیت کل بر مبنای کربنات کلسیم (mg/l) می‌باشد. در نهایت، مقدار شاخص لانژی (LI) با استفاده از واکنش واقعی آب (pH) و واکنش آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) توسط رابطه (۹) محاسبه می‌شود (Heshmati and Beige Harchegani, 2012):

$$Li = pH - pH_s \quad (9)$$

شاخص درصد سدیم (Na%): مقدار شاخص درصد سدیم با استفاده از غلظت‌های سدیم (Na)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg) توسط رابطه (۱۰) حاصل می‌شود:

$$Na \% = \frac{Na + K}{Ca + Mg + Na + K} \times 100 \quad (10)$$

در این رابطه، تمامی غلظت‌ها بر حسب میلی اکی والان در لیتر است.

شاخص کربنات سدیم مانده (RSC): شاخص RSC نیز با استفاده از غلظت‌های کربنات (CO_3^{2-})، بی‌کربنات (HCO_3)، کلسیم و منیزیم بر حسب میلی اکی والان در

جدول ۲- کیفیت آب بر پایه تقسیم‌بندی ویلکوکس

Table 2- Water quality on the basis of Wilcox classification

نوع کیفیت آب برای آبیاری	رده آب
شیرین- برای آبیاری کاملاً بی ضرر	C1S1
کمی شور- برای آبیاری تقریباً مناسب	C1S2, C2S2, C2S1
شور- برای آبیاری با اعمال تمهیدات لازم، مناسب	C1S3, C2S3, C3S1, C3S2, C3S3
خیلی شور- مضر برای آبیاری	C1S4, C2S4, C3S4, C4S4, C4S3, C4S2, C4S1

آماري مربوط به ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی در استان آذربایجان غربی در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول (۳)، میانه و میانگین اکثر شاخص‌ها نزدیک به هم است که نرمال بودن توزیع داده‌ها را تأیید می‌کند. همچنین در جدول (۳) ملاحظه می‌شود که مقدار ضریب تغییرات برای همه شاخص‌ها جز شاخص pH بیشتر از ۳۰ شده است که این امر نشان‌دهنده تغییرات زیاد شاخص‌های کیفی در سطح استان و یکنواختی نسبی شاخص pH در این محدوده است (Heshmati and Beige Harchegani, 2012; Rezaei et al., 2010).

همبستگی شاخص‌های کیفی: جهت نشان دادن وجود ارتباط بین شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی از شاخص همبستگی پیرسون استفاده شد. جدول (۴) نتایج مربوط به این شاخص را برای ویژگی‌های کیفی نشان می‌دهد.

در نهایت، جهت پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی در منطقه مورد مطالعه، نرمال بودن سری داده‌ها مورد آزمون قرار گرفت و در صورت نرمال نبودن از توابع انتقال مناسب جهت نرمال نمودن آنها استفاده شد. برای اطمینان بیشتر از نرمال بودن سری داده‌های مربوط به شاخص‌ها، از آزمون چولگی و نمودار احتمال توزیع نرمال استفاده شد و تابع انتقال مناسب برای نرمال بودن داده‌ها به کار رفت. بعد از اطمینان از نرمال بودن تمامی شاخص‌های کیفی، داده‌های نهایی نرمال شده وارد نرم‌افزار GS+ شده و توسط روش کریجینگ، پهنه‌بندی شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های آماری: مطالعه شاخص‌های آماری مربوط به سری داده‌های مورد مطالعه، امکان توصیف بهتر و اصولی‌تر آن‌ها را فراهم خواهد نمود. مقادیر شاخص‌های

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی در استان آذربایجان غربی

Table 3- Values of Statistical indices related to groundwater quality in West Azarbayjan

ویژگی	میانگین	میانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
TH	۳۹۴/۷	۳۴۳/۶	۲۲۱/۱	۵۶
SAR	۲/۰	۱/۳	۲/۰	۹۹
EC	۱۱۸۲/۲	۸۶۸/۵	۹۵۴/۹	۸۱
Na%	۲۸/۶	۲۷/۷	۱۴/۹	۵۲
RSC	-۱/۷	-۰/۱	۴/۴	۲۶۲
TDS	۷۶۴/۲	۵۶۴/۵	۶۱۳/۷	۸۰
pH	۷/۷	۷/۸	۰/۲	۳
LI	۰/۱	۰/۱	۰/۷	۱۰۰۲
SSP	۲۷/۵	۲۶/۶	۱۵/۲	۵۵

جدول ۴- همبستگی پیرسون بین شاخص‌های کیفی مرتبط با آب آبیاری (آب زیرزمینی)

Table 4- Pearson correlation between quality indices related to irrigation water (groundwater)

شاخص	TH	SAR	EC	Na%	RSC	TDS	PH	LI
SAR	۰/۸۱۹							
EC	۰/۹۷۷	۰/۹۱۰						
Na%	۰/۶۸۹	۰/۹۲۸	۰/۷۶۷					
RSC	-۰/۸۸۹	-۰/۶۳۸	-۰/۸۶۳	-۰/۴۲۳				
TDS	۰/۹۷۵	۰/۹۱۳	۱/۰۰۰	۰/۷۶۹	-۰/۸۶۶			
pH	-۰/۰۰۴	۰/۱۴۷	۰/۰۵۸	۰/۱۳۷	۰/۰۵۹	۰/۰۵۸		
LI	۰/۸۴۸	۰/۸۸۷	۰/۸۷۱	۰/۸۹۵	-۰/۶۴۹	۰/۸۷۲	۰/۳۲۳	
SSP	۰/۶۹۵	۰/۹۳۱	۰/۷۷۲	۰/۹۹۹	-۰/۴۳۰	۰/۷۷۵	۰/۱۳۲	۰/۸۹۴

شد. نوع کیفیت و رده‌های مختلف آب بر پایه تقسیم‌بندی ویلکوکس در جدول (۵) آمده است. با توجه به نتایج جدول (۵)، آب زیرزمینی محدوده‌های ارومیه، بازرگان، خوی، رشکان، سلماس، سیه‌چشمه، صائین‌قلعه، قره‌ضیالدین و مهاباد در کلاس C3S1، آب زیرزمینی محدوده‌های اشنویه، پیرانشهر، تکاب، زنگنه، زیوه، سردشت، سرو و نقده در کلاس C2S1، آب زیرزمینی محدوده‌های پلدشت و میاندوآب در کلاس C3S2، آب زیرزمینی محدوده بوکان در کلاس C4S3 و آب زیرزمینی محدوده اواغلی در کلاس C4S2 می‌باشد. علاوه بر شاخص SAR، شاخص SSP نیز می‌تواند معیاری برای سنجش کیفیت آب از نظر کشاورزی باشد. مقدار شاخص SSP برای ۲۱ محدوده مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی در شکل (۲) ارائه شده است. با توجه به مقدار شاخص SSP در استان آذربایجان غربی، محدوده‌های اشنویه، پیرانشهر، رشکان، زیوه، سردشت، سرو، سیه‌چشمه و نقده دارای آب با کیفیت عالی، محدوده‌های ارومیه، بازرگان، تکاب، خوی، زنگنه، سلماس، صائین‌قلعه، قره‌ضیالدین و مهاباد دارای آب با کیفیت خوب، اواغلی، بوکان و میاندوآب دارای آب با کیفیت قابل قبول و پلدشت دارای آب با کیفیت مشکوک از نظر کشاورزی می‌باشد. بررسی دو شاخص SAR و SSP به همراه پارامتر EC در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که خطر شوری بیشتر از سدیم خاک‌های منطقه مورد مطالعه را تهدید می‌کند. بهره‌برداری بیش از حد از چاه‌های منطقه و افزایش تعداد چاه‌های غیر مجاز می‌تواند از عوامل اصلی افزایش شوری در منطقه مورد مطالعه باشد. کاهش بهره‌برداری از چاه‌ها، اصلاح روش‌های آبیاری و استفاده از رقم‌های مقاوم می‌تواند در کاهش مقدار شوری آب زیرزمینی مؤثر باشد. آبیاری قطره‌ای از جمله روش‌های مناسب جهت کاهش مصرف آب کشاورزی می‌باشد، اما این روش نیاز به آب با کیفیت بالا داشته و تجمع نمک را در اطراف ریشه به همراه خواهد داشت. مقدار حداقل (۰/۹-) و حداکثر (۱/۵) شاخص LI در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان از پتانسیل منطقه مورد مطالعه، جهت رسوب‌گذاری و خوردگی دارد که آب آن را جهت استفاده در سیستم آبیاری قطره‌ای نامناسب می‌نماید.

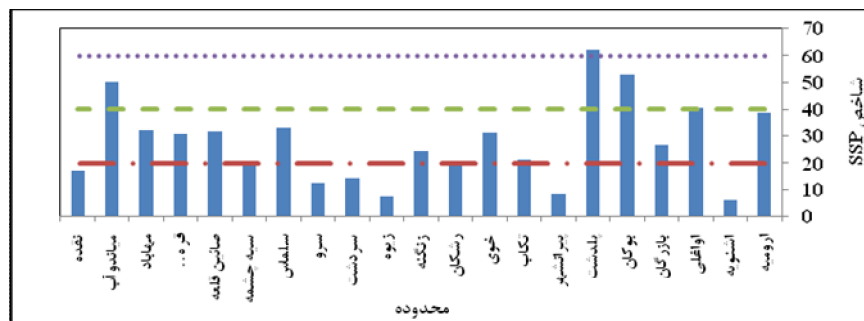
با توجه به نتایج جدول (۴) ملاحظه می‌شود که بین EC و TDS همبستگی مثبت معنی‌دار و قوی وجود دارد که مشابه نتایج Taghizade-Mehrjardi و همکاران (Taghizade-Mehrjardi et al., 2008) ($R=0/99$) و حشمتی و بیگی‌هرچگانی (Heshmati and Beige Harchegani, 2012) ($R=0/86$) می‌باشد. با توجه به نتایج P-value همبستگی بین تمامی شاخص‌ها با هم، جز شاخص pH، در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است. شاخص‌های EC و TDS همبستگی معنی‌دار مثبتی با شاخص‌های TH، SAR، Na%، LI و SSP و همبستگی معنی‌دار منفی با RSC نشان دادند. حشمتی و بیگی-هرچگانی (Heshmati and Beige Harchegani, 2012) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج همبستگی SAR و Na% با شاخص‌های EC و TDS تقریباً مشابه است، اما در پژوهش حشمتی و بیگی-هرچگانی (Heshmati and Beige Harchegani, 2012)، همبستگی این شاخص‌ها با شاخص EC در مقایسه با شاخص TDS بیشتر بود که ایشان بر این اساس، بیشتر بودن نقش کاتیون‌ها در EC را بیشتر از آنیون‌ها بیان نمودند. همبستگی قوی مثبت بین شاخص‌های SAR و Na% در مطالعه حشمتی و بیگی-هرچگانی (Heshmati and Beige Harchegani, 2012) نیز مشاهده شد. مقادیر کم پتاسیم (k) در پژوهش حاضر و مطالعه حشمتی و بیگی-هرچگانی (Heshmati and Beige Harchegani, 2012) علت این امر می‌باشد. مقدار کم غلظت پتاسیم، تاثیر غلظت‌های Ca، Mg، Na و HCO_3 را در محاسبه شاخص‌های SAR و Na% بیشتر می‌کند. وجود همبستگی قوی بین شاخص‌های مورد مطالعه، امکان حذف برخی از شاخص‌ها را در مطالعه کیفی آب‌های زیرزمینی استان نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، با توجه به ارتباط قوی بین اکثر شاخص‌ها، بررسی برخی پارامترهای اساسی، دقت کافی را جهت تحلیل آب از نظر کشاورزی فراهم می‌آورد.

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی: برای طبقه‌بندی آب زیرزمینی از نظر کشاورزی از نمودار ویلکوکس که بر پایه هدایت الکتریکی و درصد سدیم بنا شده است، استفاده

جدول ۵- کیفیت آب بر پایه تقسیم‌بندی ویلکوکس

Table 5- Water quality based on the Wilcox classification

محدوده	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
ارومیه	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
اشنویه	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
اواغلی	C4-S2	خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب
بازرگان	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
پوکان	C4-S3	خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب
پلدشت	C3-S2	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
پیرانشهر	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
تکاب	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
خوی	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
رشکان	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
زنگنه	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
زیوه	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
سردشت	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
سرو	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
سلماس	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
سیه چشمه	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
صائین قلعه	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
قره ضیال‌الدین	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
مهاباد	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
میاندوآب	C3-S2	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
نقده	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی



شکل ۲- مقدار شاخص SSP در منطقه مورد مطالعه

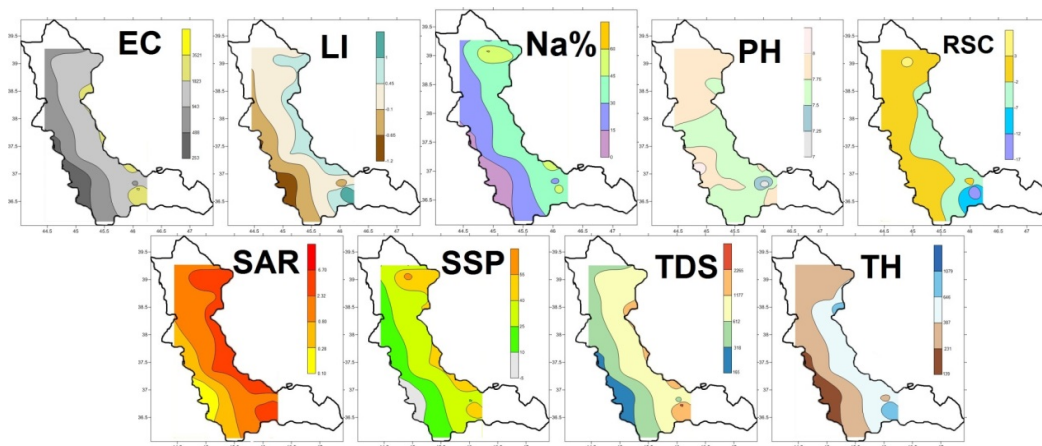
Figure 2- Values of SSP index in study area

قابلیت این روش در پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی در مطالعه حشمتی و بیگی‌هرچگانی (Heshmati and Beige Harchegani, 2012) نشان داده شده است. شکل (۳) توزیع مکانی شاخص‌های کیفی را در استان

پهنه‌بندی شاخص‌ها: کاربرد روش زمین آماری کریجینگ جهت پهنه‌بندی شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه، امکان بررسی مکانی شاخص‌ها را فراهم آورده و مدیریت صحیح آب در منطقه را به دنبال خواهد داشت.

استان، نسبت به آب‌های دیگر نقاط استان، قابلیت خوردگی بیشتری دارند. به عبارت دیگر آب‌های زیرزمینی اطراف دریاچه و جنوب شرقی استان مناسب جهت آبیاری قطره‌ای نبوده و رفته رفته با دور شدن از آن و حرکت به سمت غرب استان از میزان رسوب‌گذاری این آب‌ها کاسته می‌شود. تغییرات شاخص‌های EC، TDS، SAR، TH، Na%، LI و SSP مشابه بوده و با نزدیک شدن به طرف دریاچه مقدار این شاخص‌ها رو به افزایش است؛ حال آنکه شاخص RSC با نزدیک شدن به دریاچه، کاهش می‌یابد (منفی‌تر می‌شود). بر اساس شاخص RSC، همه آب‌های زیرزمینی محدوده‌های مورد مطالعه، جز آب زیرزمینی یک محدوده، جهت آبیاری مناسب می‌باشند. به طور کلی آب زیرزمینی قسمت‌های شمال و جنوب شرقی استان و اطراف دریاچه ارومیه، از لحاظ کشاورزی، نامرغوب‌تر از قسمت‌های میانی و غربی می‌باشد.

آذربایجان غربی نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳)، نقشه‌های توزیع مکانی شاخص‌های EC و TDS مشابه هم می‌باشند که با توجه به همبستگی با مقدار یک بین آنها امری کاملاً طبیعی است. قسمت‌های جنوب غربی استان دارای مقادیر کمی از شاخص‌های EC و TDS می‌باشند، اما رفته رفته با نزدیک شدن به محدوده دریاچه ارومیه، بر مقدار این شاخص‌ها افزوده می‌شود. در جنوب استان نیز مقدار این شاخص‌ها رو به افزایش است. مقدار pH در شمال، غرب و جنوب شرقی استان بیشتر از چاه‌های دیگر بوده که نشان‌دهنده بازی‌تر شدن آب در این مناطق می‌باشد. مقدار LI از سمت جنوب غربی استان به سمت دریاچه رفته رفته از مقادیر منفی به سمت مقادیر مثبت می‌رود که نشان‌دهنده افزایش قابلیت رسوب‌گذاری آب می‌باشد. آب‌های زیرزمینی اطراف دریاچه ارومیه، رسوب‌گذارتر و آب‌های زیرزمینی اطراف جنوب غربی



شکل ۳- توزیع مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی در استان آذربایجان غربی
Figure 3- Regional distribution of groundwater quality indices in West Azarbayjan

نتیجه‌گیری

ارزیابی به‌هنگام داده‌های کیفی آب زیرزمینی و شاخص‌های مربوطه، گامی مهم در مدیریت و بهره‌برداری صحیح از منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد. بدین منظور، نه شاخص مختلف کیفیت توسط آمار کیفی آب زیرزمینی در استان آذربایجان غربی محاسبه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقدار شاخص‌های آماری مربوط به ویژگی‌های کیفی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که همه شاخص‌ها جز شاخص pH دارای تغییرات زیادی در سطح استان می‌باشند. ارزیابی همبستگی پیرسون بین شاخص‌های محاسبه‌شده، ارتباط معنی‌دار مقادیر همه شاخص‌ها با هم، جز شاخص pH، را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نتیجه داد. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی توسط نمودار ویلکوکس نشان داد که آب زیرزمینی محدوده‌های ارومیه، بازرگان، خوی، رشکان، سلماس، سیه‌چشمه، صائین‌قلعه، قره‌ضیال‌الدین و مهاباد در کلاس C3S1، آب زیرزمینی محدوده‌های اشنویه، پیرانشهر، تکاب، زنگنه، زیوه، سردشت، سرو و نقده در کلاس C2S1، آب زیرزمینی محدوده‌های پلدشت و میاندوآب در کلاس C3S2، آب زیرزمینی محدوده بوکان در کلاس C4S3 و آب زیرزمینی محدوده اواغلی در کلاس C4S2 می‌باشد. افزایش

تعداد چاه‌ها و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه کاهش کیفیت آب زیرزمینی، لزوم استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای و کشت گیاهان مقاوم را بیش از پیش آشکار می‌کند. اما باید در نظر داشت که گرفتگی قطره‌چکان‌ها ارتباط نزدیکی با کیفیت آب آبیاری دارد و بالابودن میزان کل جامدات محلول (TDS) و کل جامدات معلق (TSS) در آب، معمول‌ترین عوامل گرفتگی قطره‌چکان‌ها هستند (Ostovari et al., 2011). بررسی مقادیر شاخص LI در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان از پتانسیل بالای منطقه مورد مطالعه جهت رسوب‌گذاری و خوردگی دارد که آب آن را جهت استفاده در سیستم آبیاری قطره‌ای نامناسب می‌نماید. همچنین تجمع نمک در اطراف ریشه بعد از آبیاری با سیستم قطره‌ای را نیز نباید از نظر دور داشت. بررسی تمامی شاخص‌ها در کل استان نشان داد که آب زیرزمینی قسمت‌های شمال و جنوب شرقی استان و اطراف دریاچه ارومیه، از لحاظ کشاورزی، نامرغوب‌تر از قسمت‌های میانی و غربی می‌باشد. بنابراین باید در کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای در کل استان ضوابط لازم را رعایت نمود و با هر روشی میزان مصرف آب خصوصاً آب زیرزمینی را برای مصارف کشاورزی کاهش داد.

منابع

1. Janatrostami S., Salahi A., 2020. Designing an optimal groundwater quality monitoring network using a genetic algorithm-based optimization approach (case study: Guilan's aquifer). Sciences Environmental. 18(2). 19-40. [in Persian with English Summary].
2. Heshmati S., BeigeHarchegani H., 2012. Spatial variability and mapping of shahrekord groundwater quality for use in the design of irrigation systems. Water Research in Agriculture. 26(1). 43-59. [in Persian with English Summary].
3. Zehtabian G.H., Rafiei Emam, A., Alavipanah S.K., Jafari M., 2002. Assessment of Jajrood river water quality on Varamin. Desert. 8 (2). 164-176. [in Persian with English Summary].
4. Taghizade-Mehrjardi R.M., Zareian Mahmodi S.H., Heidari A., 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (case study: Yazd-Ardakan plain). World Applied Science Journal. 4(1). 9-17.
5. Sajadi Mian Ab Z., Kalantari N., Mozafarizadeh J., 2012. Effect of Persian Gulf Saline Water on Quality of Asaluyeh Plain Groundwater and Determine the Origin of Nacl Anomaly. Iran. J. Health & Environ. 5(1). 63-76. [in Persian with English Summary].

6. Niknia A., Saeb K., Ansari M., 2013. The investigation of pollution and healthy quality on the well waters in Neyshabour Plain in order to the agricultural, industrial, potable usage. International conference on the 3rd environmental planning and management, Tehran, Iran. [in Persian with English Summary].
7. Sadeghi Aghdam F., Nadiri A.A., Asgharai Moghaddam A., Novinpour E.A., 2019. Assessing the suitability and quality zoning of groundwater resources of Naqadeh plain for drinking, agriculture, and industrial purposes. Journal of RS & GIS for Natural Resources. 9(4). 17-36. [in Persian with English Summary].
8. Yonesi H., Torabipoudeh H., Shahinejad B., Arshia A., Mirzapour H., 2020. Groundwater quality trend analysis and zoning using TFPW-MK and GIS (Case Study: Najaf Abad 12. Aquifer). Journal of Water and Soil Resources Conservation. 9(3). 143-156. [in Persian with English Summary].
9. Alizadeh A., 2005. Principles of Applied Hydrology. Emam Reza University, Mashhad.[in Persian].
10. Rezaei M., Davatgar N., Tajdari K., Abolpour B., 2010. Investigation the spatial variability of some important groundwater quality factors in Guilan, Iran. Journal of Water and Soil. 24(5). 932-941. [in Persian with English Summary].
11. Ostovari Y., Beigi Harchegani, Davoodian H.A.R., 2011. Assessment, Spatial Variability and Mapping of Some Water Quality Parameters for Use in Drip Irrigation Design in Lordegan Plain, Iran. Iranian Journal of Irrigation and drainage. 5(2). 242-253. [in Persian with English Summary].



Original Article:

Evaluation of Quality Indices of Water Irrigation (Case Study: West Azarbayjan Province)

Neda Khanmohammadi^{1*}, Roghaie Hamzenejad², Hossein Rezaie³

1- PhD in Water Engineering, Urmia Lake Research Institute, Urmia, Iran

2- PhD in Soil Sciences, Urmia Lake Research Institute, Urmia, Iran

3- Proffessor of Water Engineering, Urmia Lake Research Institute, Urmia, Iran

*Corresponding Author E-mail: n.khanmohammadi@urmia.ac.ir

Received: 12-09-2021; Accepted: 28-11-2021

Abstract

Evaluation of groundwater quality indices and their zoning has an important role in the optimal management of aquifer. For this purpose, quality indices related to groundwater irrigation of West Azarbayjan province, were evaluated. Related to existing data, quality statistics of 21 wells during 2001-2011 were extracted. Pearson correlation index was used to determine the relationship between indices and Wilcox diagram to determine groundwater quality. Kriging geostatistical method was used to study the spatial changes of the indices in the study area. The results of Pearson correlation between the calculated indices showed a significant relationship, at the 95% confidence level, between the values of all indices, except the pH index. Groundwater quality assessment by Wilcox diagram showed that 43% of the studied area are located in C3S1 class, 38% of the studied area are located in C2S1 class and 19% of the studied area are located in three classes C3S2, C4S3 and C4S2. Spatial study of all indices showed that the groundwater in the northern and southeastern parts of the province and around Lake Urmia, for agriculture use, is worse than the middle and western parts.

Keywords: Quality index, West Azarbayjan, Wilcox diagram, Zoning