[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]

اقتباس یک شاخص کیفیت آب برای ارزیابی کیفیت شرب نمونه‌های منفرد آب سطحی و زیرزمینی، و مقایسه نتایج با روش اولیه

حبیب‌الله بیگی‌هرچگانی* و سیده سمیرا حشمتی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۲۷)

چکیده

هدف این مقاله اقتباس یک شاخص کیفیت آب و مقایسه آن با روش اصلی و مشابه برای ارزیابی کیفیت شرب آب است. به این منظور، از داده‌های ۱۳ مؤلفهٔ کیفی در نمونه‌های آب ۹۷ حلقه چاه سفره‌ی شهرکرد استفاده شد. در روش اصلی که در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی اجرا می‌شود نقشه‌های مؤلفه‌ها ابتدا نرمال و پس ازتبدیل به نقشه‌های رتبه نقشهٔ شاخص کیفیت آب زیرزمینی به‌دست می‌آید. به‌طور مشابه، به‌منظور محاسبهٔ شاخص کیفیت آب زیرزمینی برای هر چاه، مشاهدات هر مؤلفه در آن چاه نرمال و رتبه‌گذاری شدند. سپس نقشهٔ شاخص کیفیت آب زیرزمینی دوباره ترسیم شد. هر دو نقشه روند تغییرات مشابهی را نشان دادند (R= ۰/۹۱). کمینه و میانگین شاخص در هر دو روش یکسان (به‌ترتیب ۸۱ و ۸۴) بود. روش اقتباسی بیشینهٔ شاخص را تا ۷٪ کمتر و محتاطانه‌تر برآورد کرده و در برآورد درصد پوشش تا ۶٪ اختلاف نشان داد. هم‌بستگی نقشهٔ روش اقتباسی حاضر به هم‌بستگی مشاهدات نزدیک‌تر است. نتایج تعیین وزن، تحلیل همبستگی و تحلیل حساسیت تشابه دو روش و گاهی برتری روش اقتباسی را نشان داد. در مجموع روش اقتباسی بهتر از روش سامانه اطلاعات جغرافیایی عمل می‌کند و برای نمونه‌های منفرد، معدود و با دارای عدم پراکنش مکانی (یکنواخت) نیز قابل کاربرد است.

کلمات کلیدی: شهرکرد، آبخوان، شاخص کیفیت آب زیرزمینی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل حساسیت

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:beigi.habib@gmail.com

مقدمه

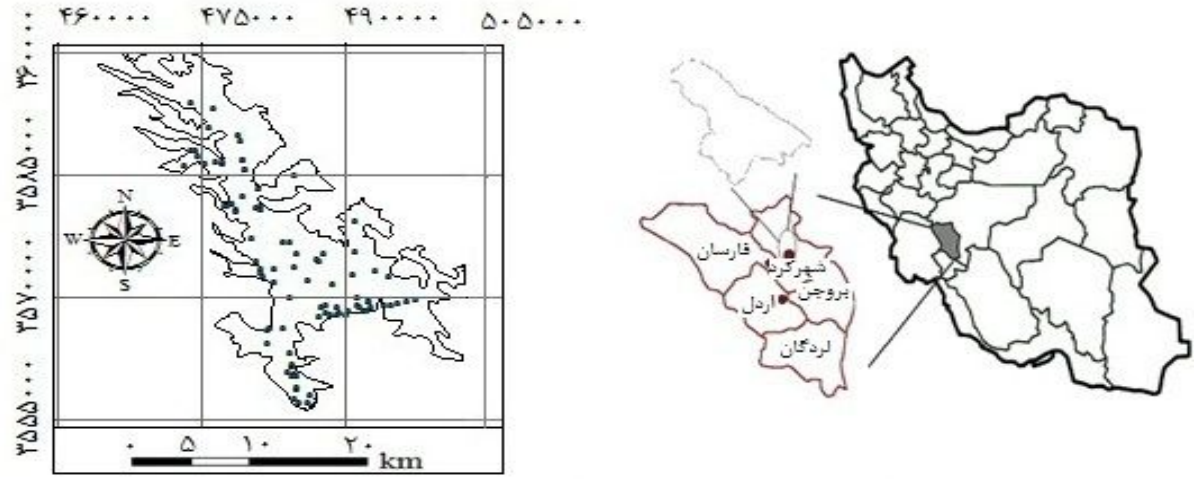
ارزیابی کیفیت آب با وجود حجم زیاد داده‌ها و تعداد زیاد مؤلفه‌ها مشکل خواهد بود. یکی از روش‌های مفید برای ارزیابی کیفیت آب شاخص(WQI) است (۸). شاخص WQI به روش‌های مختلفی تعریف و محاسبه می‌شوند، ولی در همهٔ روش‌ها برآیند اثر مؤلفه‌های مختلف کیفی آب در قالب یک عدد کلی که بیانگر کیفیت آب است ارائه می‌شود (۱۴). از این رو، یک برداشت کلی از کیفیت آب به مدیران منابع آب و مردم عادی انتقال می‌یابد. تعداد و نوع مؤلفه‌های مورد استفاده در محاسبه‌ی WQI انعطاف‌پذیر و متغیر است (۸). علاوه بر این، مقدار عددی شاخص هم در بازه‌های مختلفی قرار می‌گیرند. منظور از GWQI یک شاخص WQI است که برای آب زیرزمینی محاسبه می‌شود. چون در این‌جا هدف ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب است، به‌همین منظور، از استانداردهای کیفی سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای آب شرب در محاسبهٔ GWQI استفاده می‌شود (۱۲). در پژوهش حاضر شاخص GWQI طوری تعریف شده است که هر چه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد بهترین کیفیت و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد پایین‌ترین کیفیت را خواهد داشت.

به‌منظور تشخیص مؤلفه‌های مهم‌تر در یک شاخص GWQI از تحلیل حساسیت استفاده می‌شود. نتیجهٔ تحلیل حساسیت تشخیص مؤلفه‌هایی است که در یک سفرهٔ آب بیشترین تأثیر را بر کیفیت کلی آب خواهند داشت و بنابراین پایش مکرر، دقیق‌تر و صحیح‌تر آن ضروری خواهد بود. از روش‌های تحلیل حساسیت GWQI اثر حذف تک‌نقشه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی به اختصار ساج (۸) و اثر حذف تک‌مؤلفه در روش غیرنقشه است (۶).

کیفیت آب زیرزمینی حوزهٔ ناسونو (ژاپن) با استفاده از GWQI در محیط ساج بررسی شد (۸). برای این‌منظور، هفت مؤلفه کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^{+})، کلر (Cl^{-})، سولفات (SO_4^{2-})، نیترات (NO_3^{-})و کل جامدات محلول (TDS) در ۵۰ حلقه چاه اندازه‌گیری شد. به روشی مشابه (۱۲) کیفیت آب زیرزمینی راجستان واقع در غرب هند را بر پایهٔ ساج ارزیابی کردند. در این مطالعه از ۹ مؤلفه برای محاسبهٔ GWQI استفاده شد. برای این‌منظور از ۵۳ حلقه چاه نمونه‌برداری و مؤلفه‌های Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^{+}، K^{+}، SO_4^{2-}، سختی (Hardness)، اسیدیته (pH)، TDS و هدایت الکتریکی (EC) در هر نمونه اندازه‌گیری شد. در هر دو مطالعه نقشه‌های این مؤلفه‌ها پس از ترسیم به روش کریجینگ به نقشه‌های نرمال و سپس به نقشه‌های رتبه تبدیل شد. پس از استخراج خلاصهٔ آماری نقشه‌ها از میانگین رتبهٔ هر نقشه به‌عنوان وزن هر مؤلفه در تهیهٔ نقشهٔ GWQI استفاده شد. در ناسونوی ژاپن، با این که مؤلفه‌های TDS و سولفات دارای میانگین وزن بالاتری نسبت به سایر مؤلفه‌ها بودند تحلیل حساسیت به روش حذف تک نقشه نشان دهندهٔ حساسیت بیشتر GWQI به Mg^{2+} بود. در راجستان هند، Hardness ، EC، TDS و Mg^{2+} به واسطهٔ میانگین وزن بالاتری که نسبت به سایر عوامل داشتند بر GWQI مؤثرتر بودند. با این حال، تحلیل حساسیت با حذف تک‌نقشه نشان داد که شاخص GWQI در این سفره نسبت به سختی، Na^{+} و SO_4^{2-} حساس‌تر است .

از مزایای روش به‌کار رفته در این دو مطالعه (۸ و ۱۲) قرار گرفتن GWQI در بازهٔ صفر تا ۱۰۰ است. صفر ضعیف‌ترین کیفیت و ۱۰۰ حداکثر کیفیت آب را بیان می‌کند. علاوه بر این، در روش ساج پیشنهادی (۸) وزن هر مؤلفه برابر میانگین نقشهٔ رتبهٔ هر مؤلفه قلمداد می‌شود. اگرچه روش به‌کار رفته در این دو پژوهش ذاتاً برای نمونه‌های آب سطحی هم قابل استفاده است لیکن براساس دو فرض زیر بنا شده است: ۱- تعداد داده‌ها (تعداد مشاهدات یا چاه‌ها) نسبتاً زیاد است؛ و ۲- توزیع مکانی این چاه‌ها خوب و نسبتاً یکنواخت است و در غیر این‌صورت، استفاده از روش مذکور مقدور نخواهد بود به‌نظر می‌رسد که اقتباس این روش در محیط خارج از ساج بتواند در عین حفظ مزایای روش، آن را برای محاسبهٔ شاخص GWQI در یک نمونه آب سطحی (تالاب، رودخانه و چشمه) یا تعداد معدودی چاه مناسب سازد. بدیهی است که دیگر توزیع مکانی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت شهرکرد و مرز آبخوان دشت. موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده با ● نشان داده شده است.

نمونه‌ها موردی نخواهد داشت. مقدار شاخص در روش اقتباس شده همانند روش ساج در مقیاس صفر تا ۱۰۰ قرار می‌گیرد طوری‌که ۱۰۰ حداکثر کیفیت و صفر حداقل کیفیت را نشان می‌دهد. در این روش، تحلیل حساسیت تنها به روش حذف تک‌مؤلفه امکان‌پذیر خواهد بود.

هدف از این مطالعه اقتباس روش GWQI در محیط ساج (۸) برای ارزیابی کیفیت شرب نمونه‌های منفرد؛ و مقایسه نتایج روش اقتباسی GWQI با نتایج روش اولیه (۸) در آب زیرزمینی شهرکرد است. نتایج روش اولیه تحت عنوان "ارزیابی کیفیت شرب آب زیرزمینی شهرکرد بر پایهٔ سیستم اطلاعات جغرافیایی بر پایهٔ یک شاخص" قرار دارد (۴). برخی از نتایج روش اولیه به‌منظور مقایسه در این مقاله نیز آورده شده است.

مواد و روش‌ها

دشت شهرکرد یکی از دشت‌های مهم استان چهارمحال و بختیاری است. این دشت با وسعتی نزدیک به ۵۵۱ کیلومترمربع در ″۵۰ ′۱۰ °۵۱ طول جغرافیایی و در ″۷ ′۳۵ °۳۲ عرض جغرافیایی قرار دارد (شکل ۱). درصد بالایی از آب‌های زیرزمینی دشت در بخش کشاورزی در فصل زراعی استفاده می‌شود. بخش عمده‌ای از آب شرب مردم شهرستان شهرکرد نیز از همین آبخوان تأمین می‌شود (۴).

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

در این مطالعه از میانگین نتایج سه نوبت نمونه‌برداری از ۹۷ حلقه چاه استفاده شده است. این چاه‌ها دارای پراکنش نسبتاً یکنواختی در سطح دشت بودند (شکل ۱). هر نوبت نمونه‌برداری در عرض یک هفته در طی تیر، شهریور و آبان ۱۳۸۹ انجام گرفت. در این مطالعه مؤلفه‌های pH (اسیدیته)، EC (هدایت الکتریکی)، TDS (کل جامدات محلول)، TSS (کل جامدات معلق)، Tu (کدورت)، TH (سختی کل)، HCO_3^- (بی‌کربنات)، SO_4^{2-} (سولفات)، Cl^- (کلراید)، Ca^{2+} (کلسیم)، Mg^{2+} (منیزیم)، K^+ (پتاسیم)، Na^+ (سدیم) به‌منظور تعیین کیفیت آب زیرزمینی در نظر گرفته شدند. نمونه‌ها در بطری‌های ۵۰۰mL پلی‌اتیلنی تیره‌رنگ که از قبل اسیدشویی و سپس با آب مقطر شستشو داده شده بودند جمع‌آوری شدند. بطری‌های محتوی نمونه، داخل یخدان حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل، در یخچال نگهداری و در اسرع وقت براساس استانداردهای APHA(۱۹۹۸) تجزیه شدند (۷). به‌منظور تعیین غلظت املاح محلول در آب شاخص EC اندازه‌گیری شد. شاخص EC و pH نمونه‌ها با یون‌متر istek مدل PDC ۹۱۵ بلافاصله پس از انتقال

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]

به آزمایشگاه قرائت گردید. مؤلفهٔ TSS، با عبور ۱۰۰ mL آب از صافی ۰/۴۵μm و خشکاندن صافی در ۱۰۵°C و توزین با ترازوی آنالیتیک به‌دست آمد. مقدار TDS نمونه‌ها با تبخیر حدود ۱۰۰ mL آب صاف شده و توزین مانده اندازه‌گیری شد. شاخص Tu نمونه‌ها با کدورت‌سنج مدل PC Compact قرائت و با واحد NTU بیان گردید. یون Cl^- در نمونه‌ها بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه به روش تیتر با نیترات نقره اندازه‌گیری شد. یون‌های Na^+ و K^+ به روش شعله‌سنجی، Ca^{2+} و Mg^{2+} به روش تیتر با EDTA ، یون HCO_3^- به روش تیتر با اسیدسولفوریک و SO_4^{2-} به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شدند. از یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} به‌منظور محاسبهٔ TH استفاده شد. سختی کل آب بر مبنای کربنات کلسیم معادل (TH) از معادلهٔ ۱ به‌دست آمد (۳):

$$TH\ (mg/L\ of\ CaCO_3) = 2.5\,[Ca^{2+}] + 4.1\,[\ ] \qquad [1]$$

که در آن سختی کل، کلسیم و منیزیم برحسب mg/L هستند.

توزیع مکانی مؤلفه‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد

نقشه‌های مؤلفه‌های pH، EC، TDS، TSS، Tu، TH، HCO_3^-، SO_4^{2-}، Cl^-، Ca^{2+}، Mg^{2+}، K^+، Na^+ براساس واریوگرام منتخب هر یک از مؤلفه‌ها و با استفاده از روش کریجینگ معمولی در محیط ArcGIS ۹/۳ تهیه شد (به منبع ۲ مراجعه شود) در اینجا به‌طور اجمالی توضیحی راجع به واریوگرام و روش کریجینگ آورده شده است.

برازش مدل واریوگرام و انتخاب مدل مناسب

پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، واریوگرام تجربی γ (h) هر شاخص در محیط variowin ۲/۲۱ ترسیم گردید (۱۳). مدل‌های تئوری واریوگرام نیز در محیط variovin ۲/۲۱ به مشاهدات برازش داده شد و بهترین مدل برای هر شاخص شامل مدل‌های کروی، گوسی و نمایی انتخاب شد (۱۳).

کریجینگ

در این مطالعه به‌منظور پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی، از واریوگرام‌های گوسی و کروی و تخمین‌گر کریجینگ با معادلهٔ زیر استفاده شد:

$$F(x,y) = \sum_{i=1}^{n} w_i \times f_i \qquad [2]$$

که در آنها، F(x, y): مقدار شاخص تخمین زده شده در نقطه‌ای با مختصات x و y؛ n تعداد نقاط اندازه‌گیری شده؛ w_i: وزن نسبت داده شده به هر نقطه، i و f_i: مقدار واقعی شاخص در هر مؤلفه در هر نقطه اندازه‌گیری i است. وزن (Wi) در هر نقطه با استفاده از مدل واریوگرام به‌کار ر فته تعیین می‌شود.

مراحل محاسبه و تهیهٔ نقشهٔ GWQI در روش حاضر

ابتدا داده‌های هر مؤلفه از هر چاه با استفاده از رابطهٔ زیر نرمال شد:

$$NI = (C - C_{md}) / (C + C_{md}) \qquad [3]$$

که در آن C مقدار هر مؤلفه در هر چاه و C_{md} بیشترین حد مطلوب هر مؤلفه براساس استاندارد WHO است (۱۲ و ۱۵). در داده‌های حاصل مقدار بین ۱- تا ۱+ قرار می‌گیرد. در مرحلهٔ ۲، داده‌های نرمال شدهٔ هر مؤلفه با استفاده از چند جمله‌ای زیر رتبه‌گذاری شد (۸):

$$R = 0.5 * (NI)^2 + 4.5\,(NI) + 5 \qquad [4]$$

که در آن R: رتبه هر مؤلفه در هر نقطه و NI: دادهٔ نرمال هر مؤلفه در آن چاه است. رتبه‌ها مقداری بین ۱ تا ۱۰ دارند. رتبهٔ ۱ نشان دهندهٔ کمترین میزان تأثیر بر روی کیفیت آب و رتبهٔ ۱۰ نشان دهندهٔ بیشترین میزان تأثیر بر کیفیت آب است. کمترین مقدار NI که ۱- است معادل رتبهٔ ۱ و بیشترین NI که ۱+ است معادل رتبهٔ ۱۰ است. میانگین مقدار مشاهدات رتبه‌بندی شدهٔ هر مؤلفه استخراج و به‌عنوان وزن آن مؤلفه در گام بعدی مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله‌ی ۳، برای هر مؤلفه در هر نقطه (چاه) مقدار GWQI از معادلهٔ زیر به‌دست آمد:

$$GWQI = 100 - [(W_1R_1 + W_2R_2 + \ldots + W_nR_n)/n] \qquad [5]$$

که در آن: W_i وزن نسبی هر مؤلفه بوده و مقدار آن بین ۱ تا ۱۰ است. R_i مقدار رتبه هر مؤلفه در هر نقطه است و n تعداد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]

جدول۱. خلاصهٔ آماری مؤلفه‌های کیفی در آب زیرزمینی شهرکرد، حدود مطلوب WHO برای آب شرب، و درصد عدول

مؤلفه	واحد	میانه	میانگین	کمینه	بیشینه	صدک پنجم	صدک نود و پنجم†	WHO* (۱۴)	درصد عدول●
pH	—	۷/۷	۷/۶	۷/۲	۷/۹	۷/۳	۰/۸	۷/۵–۸/۵	۰
EC	µS/cm	۴۳۱	۴۵۶	۲۶۷	۱۰۶۴	۳۰۱	۶۸۶	۷۵۰	۲
TDS	mg/L	۲۸۳	۲۹۶	۱۵۰	۵۶۷	۱۸۸	۴۳۶	۵۰۰	۲
TSS	mg/L	۷۰	۷۰	۲۵	۱۴۳	۳۸	۱۰۶	۲۵	۹۸
Tu	ntu	۵/۵	۵/۶	۳/۴	۱۱/۷	۱/۴	۸/۲	۵	۲۵
TH	mg/L	۲۲۰	۲۲۰	۱۵۵	۳۳۴	۱۶۷	۲۸۵	۵۰۰	۰
HCO_3^-	mg/L	۱۱۱	۱۱۸	۶۳	۲۲۲	۷۱	۱۷۷	۳۰۰	۰
SO_4^{2-}	mg/L	۲۷	۳۱	۴/۳	۹۷	۱۰	۷۱	۲۰۰	۰
Cl^-	mg/L	۸۸	۸۹	۳۶	۱۷۸	۵۹	۱۳۳	۲۰۰	۰
Ca^{2+}	mg/L	۵۰	۵۰	۳۳	۶۶	۳۹	۶۰	۷۵	۰
Mg^{2+}	mg/L	۲۲	۲۳	۵	۴۷	۱۳	۳۷	۳۰	۱۳
K^+	mg/L	۰/۶	۰/۶	۰/۱	۲	۰/۲	۱/۲	۱۲	۰
Na^+	mg/L	۱۶	۲۴	۴	۹۰	۴	۶۵	۲۰۰	۰

*حدود مطلوب (۲۰۱۱) WHO برای آب شرب است. ● درصد عدول بیانگر تعداد نمونه آب/چاه است که از بین ۹۷ چاه، میانه مؤلفه در آنها از حد مطلوب (۲۰۱۱) WHO فراتر رفته است. † صدک پنجم میانگین ۵درصد کران پائین (تقریباً ۵ چاه با کمترین مقدار) و صدک نود و پنجم میانگین ۵ درصد کران بالای (تقریباً ۵ چاه با بیشترین مقدار) داده‌هاست.

مؤلفه‌های کیفی به‌کار رفته در تعیین GWQI است. مقدار GWQI بین صفر تا ۹۹ قرار می‌گیرد. هرچه مقدار GWQI به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشانهٔ کیفیت بهتر آب زیرزمینی و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشانهٔ کیفیت پایین‌تر آب زیرزمینی است (۸ و ۱۲). در مرحله‌ی ۴ الگوی تغییرات مکانی GWQI در آبخوان شهرکرد تعیین و با استفاده از روش کریجینگ پهنه‌بندی شد. برای این کار به‌ترتیب از نرم‌افزار Variowin ۲/۲۱ (۱۳) و ArcGIS ۹/۳ (۱۱) استفاده شد و سپس، گروه‌های کیفی آب در نقشهٔ GWQI در ده کلاس از صفر تا ۱۰۰ درصد مقیاس‌بندی و طبقه‌بندی شد، به‌طوری‌که کلاس‌های نزدیک‌تر به ۱۰۰ کیفیت بهتر و کلاس‌های نزدیک‌تر به صفر کیفیت ضعیف‌تر را نشان می‌دهند. در ادامه، درصد پوشش و مساحت کلاس‌های کیفیت آب استخراج شد.

مراحل محاسبه و تهیه‌ی نقشه‌ی GWQI در محیط GIS

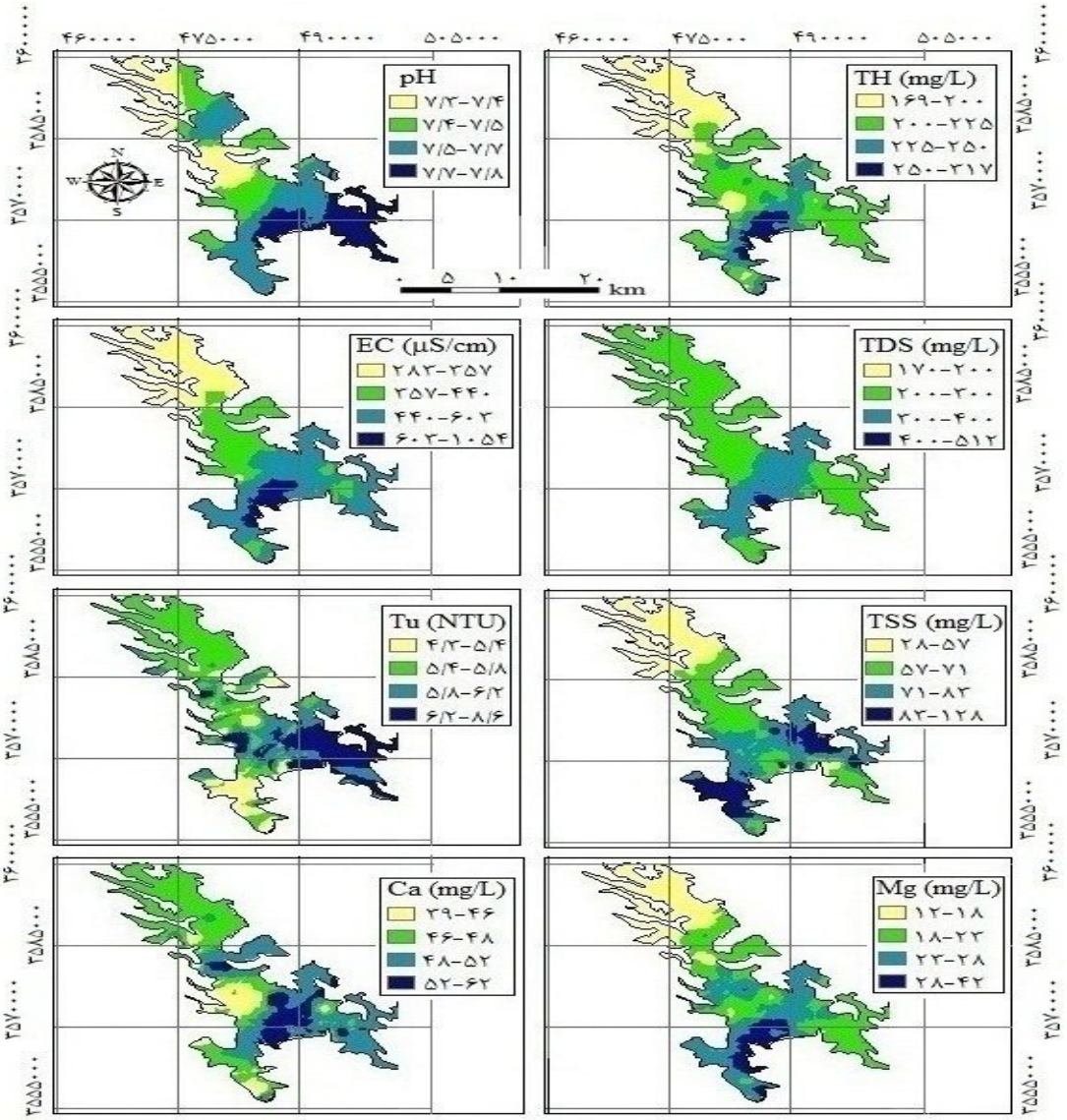
نقشهٔ GWQI به‌طور مشابه در محیط ساج و براساس نقشه‌های مؤلفه‌ها تهیه شد. تفاوت عمده در مرحله اول این بود که ابتدا نقشه‌های مؤلفه‌ها به روش کریجینگ ترسیم شد و سپس گام‌های ۱ تا ۳ روی نقشه‌ها اجرا شد. مشروح این روش در منبع (۲) و (۴) آمده است و در اینجا فقط از برخی نتایج آن برای مقایسه دو روش و ارزیابی روش پیشنهادی استفاده می‌شود.

تحلیل حساسیت GWQI نسبت به حذف مؤلفه‌ها

تحلیل حساسیت به روش حذف تک مؤلفه صورت گرفت. در این تحلیل GWQI هر نمونه چاه، سیزده مرتبه، هر بار با حذف یکی از مؤلفه‌ها، تهیه و اثر حذف هر مؤلفه بر GWQI که با استفاده از سیزده مؤلفه تهیه شده بود، بررسی شد. به این‌منظور، شاخص تغییر از معادلهٔ زیر محاسبه شد (۸):

$$V_{wi} = ۱۰۰\ [(GWQI_{۱۳} - GWQI_{wi})/GWQI_{۱۳}] \qquad [۶]$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]



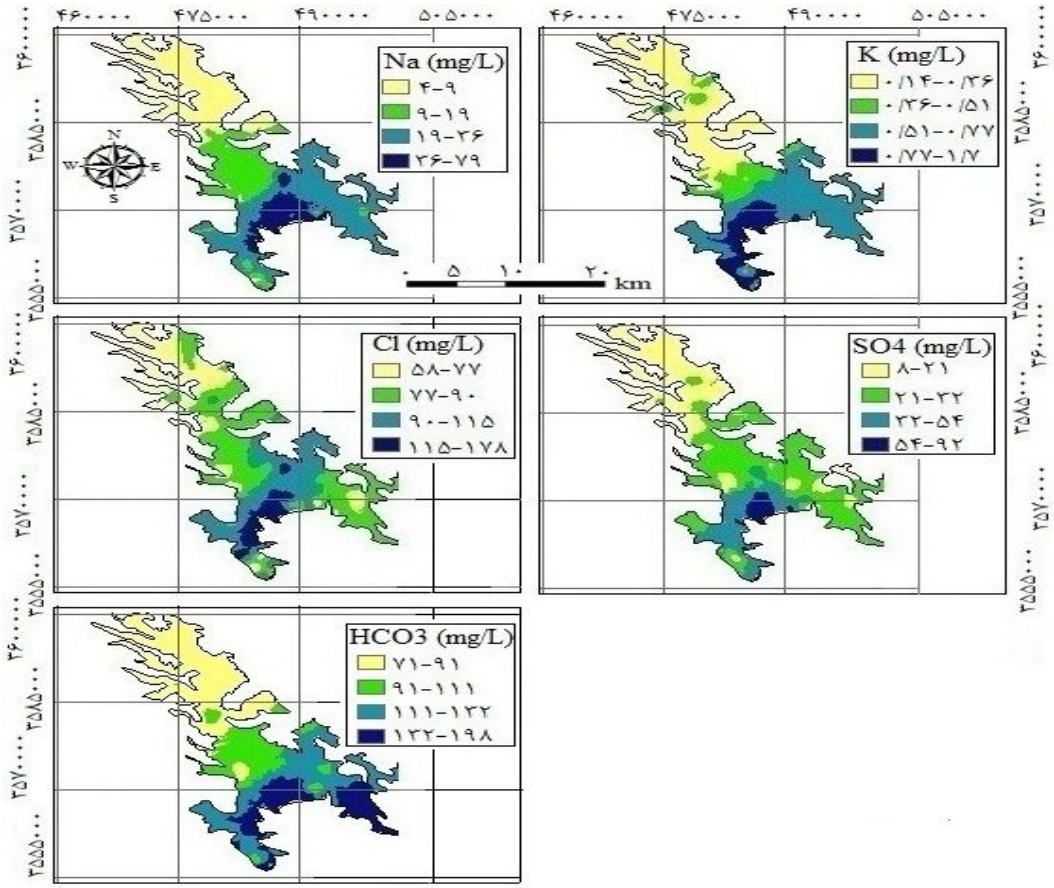
شکل ۲. نقشه‌های pH، TH، EC، TDS، کدورت و TSS در آب زیرزمینی شهرکرد

که در آن: V_{wi} شاخص تغییر (٪) بدون مؤلفهٔ i ام؛ $GWQI_{wi}$ شاخص کیفیت آب بدون مؤلفهٔ i ام و $GWQI_{۱۳}$ شاخص کیفیت آب با حضور سیزده مؤلفهٔ کیفی است.

نتایج و بحث

خلاصهٔ آماری مربوط به مؤلفه‌های مورد بررسی در آب زیرزمینی شهرکرد در جدول ۱ آورده شده است. آب زیرزمینی شهرکرد براساس میانه و یا میانگین مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده از جمله کاتیون‌ها و آنیون‌ها و سختی عموماً کیفیت مطلوبی برای شرب دارد. با این حال بیشینهٔ برخی مؤلفه‌ها (EC وTDS) و به‌ویژه TSS، Tuو $Mg^{۲+}$ گاهی از حد مطلوب فراتر می‌رود. نه تنها میانگین بلکه حتی کمینهٔ TSS نیز از حد مطلوب عدول می‌کند. تقریباً در تمام چاه‌ها مقدار TSS از حد مطلوب خارج است. همین‌طور، در ۲۵ درصد چاه‌ها مقدارTu خارج از حد مطلوب است. از آنجایی‌که این مؤلفه‌ها همبسته هستند (به منبع ۲ مراجعه شود) این امر بی‌جهت نیست. مقدار $Mg^{۲+}$ نیز در ۱۳ درصد چاه‌ها (چاه‌های جنوبی) بیشتر از حد مطلوب است. این درحالی است که در سایر چاه‌ها مقدار $Mg^{۲+}$ زیر حد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]



ادامه شکل ۲. نقشه‌های Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^{+}، K^{+}، Cl^{-}، SO_4^{2-} و HCO_3^{-} درآب زیرزمینی شهرکرد

استاندارد قرار دارد که نشان دهنده انحلال کم Mg^{2+} در آب زیرزمینی شهرکرد است. در این میان EC و TDS با دو درصد عدول مشکل خاصی به نظر نمی‌رسند. این چاه‌ها در جنوب دشت شهرکرد واقع هستند. علت بالا بودن غلظت مؤلفه‌ها در جنوب دشت شهرکرد در قسمت پهنه‌بندی آمده است.

پهنه‌بندی مؤلفه‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد

نقشه‌های کریجینگ مؤلفه‌های کیفی آب در شکل ۲ دیده می‌شود. طبق این نقشه‌ها میزان/غلظت تمام مؤلفه‌ها در بخش جنوب و جنوب شرقی آبخوان شهرکرد بیشتر از بخش‌های دیگر آبخوان است. در بخش شمال غربی آبخوان نیز میزان/غلظت مؤلفه‌ها، عموماً حداقل است (شکل ۲). این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های دیگر (۵ و ۶) در همین آبخوان همخوان هستند. عامل بالا بودن غلظت مؤلفه‌ها در نواحی جنوبی دشت احتمالاً می‌تواند انحلال بیشترکانی‌های سازندهای آهکی، شیل و مارن، نفوذ زهاب‌های صنعتی از مناطق صنعتی و وجود تصفیه‌خانه در جنوب، نشت فاضلاب‌های شهری و همچنین جهت جریان شمالی – جنوبی آب زیرزمینی باشد. از طرف دیگر از شمال به جنوب دشت عمق سطح ایستابی کاهش می‌یابد، در نتیجه نفوذ آب‌های سطحی به آب زیرزمینی با سهولت بیشتری صورت می‌گیرد و بر غلظت املاح افزوده می‌شود.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]

جدول ۲. خلاصهٔ آماری مشاهدات رتبه‌بندی شده سیزده مؤلفهٔ کیفی در روش حاضر و مقادیر متناظر در روش اولیه در آب زیرزمینی شهرکرد

مؤلفه	براساس مشاهدات (روش حاضر)				براساس روش ساج			
	کمینه	بیشینه	میانگین*	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
pH	۴/۷۵	۵/۰۳	۴/۸۹	۰/۰۶	۴/۸۸	۵/۰۲	۴/۹۵	۰/۰۳
EC	۲/۹۷	۵/۷۹	۳/۸۹	۰/۵۲	۳/۰۷	۵/۷۷	۳/۷۹	۰/۴۴
TDS	۲/۷۳	۵/۲۸	۳/۸۳	۰/۵۰	۳/۱۰	۵/۲۲	۳/۷۴	۰/۳۱
TSS	۵/۰۰	۸/۴۱	۷/۱۲	۰/۶۰	۵/۳۱	۸/۲۵	۷/۱۵	۰/۴۱
Tu	۴/۱۶	۶/۸۸	۵/۲۸	۰/۵۱	۲/۱۰	۵/۷۰	۳/۹۸	۱/۱۰
TH	۲/۷۷	۴/۱۲	۳/۳۲	۰/۲۷	۲/۹۰	۴/۰۴	۳/۲۴	۰/۱۸
HCO_3^-	۲/۲۷	۴/۳۳	۳/۱۰	۰/۴۶	۲/۴۲	۴/۱۰	۲/۹۷	۰/۳۳
Cl^-	۲/۱۰	۴/۷۳	۳/۳۱	۰/۴۵	۲/۶۸	۴/۷۳	۳/۲۸	۰/۲۹
SO_4^{2-}	۱/۱۲	۳/۴۹	۱/۹۵	۰/۴۹	۱/۲۷	۳/۴	۱/۸۱	۰/۳۰
Ca^{2+}	۳/۳۲	۴/۷۳	۴/۰۹	۰/۲۷	۳/۶۴	۴/۵۹	۴/۰۷	۰/۱۱
Mg^{2+}	۲/۱۱	۶/۰۰	۴/۳۷	۰/۶۷	۳/۱۷	۵/۷۸	۴/۲۳	۰/۴۵
Na^+	۱/۱۴	۳/۳۷	۱/۷۳	۰/۵۷	۱/۱۳	۳/۱۴	۱/۵۹	۰/۳۷
K^+	۱/۰۷	۲/۰۵	۱/۳۳	۰/۱۷	۱/۰۸	۱/۹۰	۱/۲۸	۰/۱۱

* میانگین مشاهدات رتبه‌بندی شده هر مؤلفه (ستون چهارم از سمت راست) به‌عنوان وزن در مرحله بعدی برای محاسبهٔ GWQI به‌کار رفته است.

براساس نقشه‌های کدورت و TSS تقریباً ۱۰۰٪ آبخوان دارای کدورت و TSS بیشتر از حد مطلوب است (شکل ۲ و جدول ۱). با این حال شدت عدول کدورت از حد مطلوب چندان زیاد نیست و کدورت حداکثر به ۵/۸ NTU می‌رسد ولی شدت عدول TSS زیاد و تا ۵ برابر حد مطلوب است. بین ۲٪ تا ۵٪ از آبخوان دارای مقدار EC، TDS و منیزیم خارج از حد مطلوب است که در جنوب دشت واقع شده است (شکل ۲). مقادیر مؤلفه‌های دیگر شامل pH، TH، آنیون‌ها (HCO_3^-، SO_4^{2-} و Cl^-) و سه کاتیون (Ca^{2+} ، K^+ و Na^+) از حدود مطلوب WHO فراتر نرفته است.

درصد عدول مستخرج از نقشهٔ هر مؤلفه با درصد عدول آن (جدول ۱) مطابقت کلی و خوبی دارد. به‌علاوه نقشه‌ها نشان می‌دهند که عدول مؤلفه‌ها در جنوب و جنوب شرقی آبخوان شهرکرد رخ می‌دهد. جنوب و جنوب شرقی آبخوان جایی است که مراکز صنعتی، تصفیه خانه فاضلاب شهرکرد، دامداری‌های فشرده و کشاورزی پرنهاده در آن واقع است (۶). علاوه بر این جهت گرادیان هیدرولیکی از شمال غربی به سوی جنوب دشت است (۶) و احتمال حمل آلاینده‌ها به این بخش از آبخوان زیاد است. بنابراین بی‌جهت نیست که میزان غلظت مؤلفه‌ها در این بخش از آبخوان بیشتر از بخش‌های دیگر است.

تعیین وزن مؤلفه‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد

خلاصهٔ آماری رتبه‌های سیزده مؤلفه در جدول ۲ آورده شده است. میانگین مشاهدات رتبه‌بندی شده به‌عنوان وزن مؤلفه در رابطهٔ ۴ اعمال شده تا شاخص GWQI آب زیرزمینی به‌دست آید. وزن مؤلفه‌ها در روش اقتباسی نیز بین ۱ تا ۱۰ متغیر است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]

وزن مؤلفه‌ها در مطالعهٔ حاضر بین ۱/۳۳ (K^+) و ۷/۱۲ (TSS) قرار دارد. در روش ساج برای کمترین وزن برای K^+ و برابر با ۱/۲۸ و بیشترین وزن TSS برابر با ۷/۱۵ به‌دست آمد. بنابراین، از این نظر، روش اقتباسی به‌خوبی روش اولیه است.

مطابق جدول ۲ در هر دو روش مؤلفهٔ TSS بیشترین وزن را داشت، در روش ساج مؤلفه‌های pH، Mg^{2+} و Ca^{2+} و در روش اقتباسی کدورت، pH، Mg^{2+} و Ca^{2+} به‌ترتیب بیشترین وزن را بعد از TSS داشتند و تنها استثنا، ظهور Tu به‌عنوان دومین مؤلفهٔ مهم در روش اقتباسی بود. همچنین در هر دو روش میانگین رتبه (وزن) مؤلفه‌ها مشابه بود. تنها استثنا به کدورت مربوط می‌شود که در روش اقتباسی وزن بزرگ‌تری پیدا کرده بود. به جز از Tu، در مورد تمام مؤلفه‌های دیگر کمینه و بیشینه در دو روش مشابه و انحراف معیار در روش اقتباسی اندکی بیشتر بود.

در هر دو روش K^+، Na^+ و SO_4^{2-} به‌ترتیب کمترین وزن (وزن کمتر از ۲) را داشتند. بدیهی است که اختلافات اندک موجود در نتایج دو روش به‌دلیل خطای ناشی از به‌کارگیری تخمین‌گر کریجینگ در مرحلهٔ اول تهیهٔ نقشه در روش ساج است (۱). بنابراین می‌توان فرض کرد که نتایج روش اقتباسی دقیق‌تر و صحیح‌تر از روش ساج است زیرا هیچگونه تخمینی در مشاهدات اعمال نشده است. شاید به‌همین دلیل باشد که در روش اقتباسی کدورت آب اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. با توجه به جدول ۱ دیده می‌شود که NTU دومین مؤلفه بعد از TSS است که بیشترین درصد عدول را نشان می‌دهد. بنابراین اهمیت و وزن بیشتر برای این مؤلفه قابل انتظار بود که در روش حاضر ظاهر می‌شود.

با توجه به جدول ۲ مؤلفه‌های TSS، NTU، pH، Mg^{2+} و Ca^{2+} در آب زیرزمینی شهرکرد احتمالاً باید باعث کاهش کیفیت آب شوند و برعکس K^+، Na^+ و SO_4^{2-} و HCO_3^- با وزن‌های کمتر از ۲ احتمالاً تأثیر کمتری در کاهش کیفیت آب زیرزمینی شهرکرد خواهند داشت (۱۲). در حوضهٔ ناسانو (ژاپن) مؤلفه‌های TDS و SO_4^{2-} به‌ترتیب با وزن‌های ۱/۹ و ۱/۶ دارای میانگین رتبهٔ بالاتر و Mg^{2+} با وزن ۱/۱ دارای کمترین میانگین رتبه نسبت به سایر عوامل بودند (۸). در راجستان هند، Hardness، EC، TDS و Mg^{2+} به‌ترتیب با وزن‌های ۷/۴۵، ۵/۸۹، ۵/۸۲ و ۵/۴۲ بیشترین تأثیر و مؤلفه‌های SO_4^{2-} و Na^+ با وزن‌های ۳/۰۷ و ۳/۷۷ کمترین تأثیر را بر GWQI داشتند (۱۲). به‌نظر می‌رسد تفاوت در مؤلفه‌های مهم‌تر یا کم اهمیت‌تر و وزن آنها در هر آبخوان ناشی از سازندهای زمین‌شناختی خاص آبخوان مورد بحث باشد. بنابراین، ماهیت کارستی و آهکی آبخوان شهرکرد می‌تواند دلیل اهمیت بیشتر مؤلفه‌های TSS، pH، Ca^{2+} و Mg^{2+} ، که عمدتاً وابسته به سیستم کارستی هستند، در این آبخوان باشد.

مقایسهٔ دو نقشه‌ی GWQI

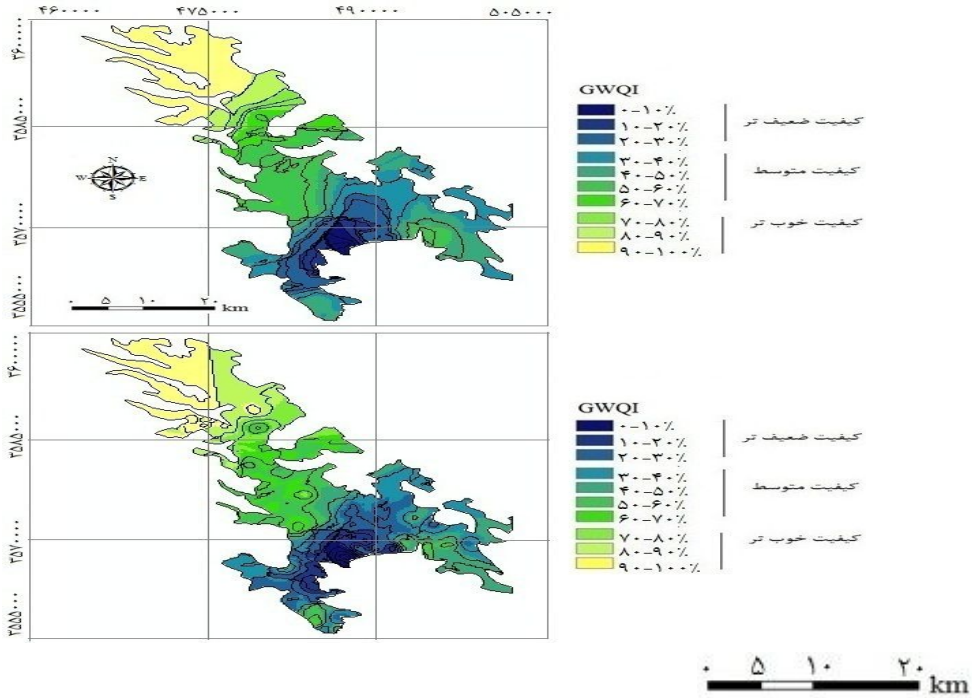
شاخص GWQI در آب زیرزمینی شهرکرد از واریوگرام کروی با دامنهٔ تاثیر۲۶۹۳ متر، آستانهٔ تأثیر (C0) برابر ۴۱ و اثر قطعه‌ای (C) صفر تبعیت می‌کرد و چون نسبت C/(C+C.) از ۰/۲۵کمتر بود کلاس وابستگی مکانی شاخص قوی بود (۱۰). براساس مشخصات واریوگرام GWQI و با استفاده از کریجینگ نقشهٔ GWQI آب زیرزمینی شهرکرد تهیه و به همراه نقشهٔ GWQI حاصل از روش ساج در شکل ۳ نشان داده شده است. نقشهٔ GWQI در روش فعلی به نقشهٔ GWQI تولید شده در محیط ساج بسیار شبیه و همبستگی اسپیرمن این دو نقشه ۰/۹۱ است. چنان‌که در هر دو نقشه دیده می‌شود کیفیت در شمال غربی آبخوان حداکثر بوده و در بخش جنوبی آبخوان به حداقل می‌رسد (شکل ۳). با توجه به شکل ۴ مقدار GWQI از شمال غربی به جنوب دشت کاهش داشت که به معنی کاهش کیفیت آب از شمال غربی به جنوب آبخوان است. این روند با روند مؤلفه‌های کیفی در طول آبخوان کاملاً همخوانی دارد (شکل ۲). در نقشه‌های شکل ۲ هم دیده شد که کیفیت آب براساس هر مؤلفه از شمال غربی به سمت جنوب کاهش می‌یافت. بنابراین، GWQI محاسبه شده توانسته است که برآیند مؤلفه‌ها را در آبخوان شهرکرد به خوبی منعکس سازد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]



شکل ۳. نقشهٔ GWQI آب زیرزمینی شهرکرد براساس روش اقتباسی (شکل الف) ، و روش ساج (شکل ب)

جدول ۳. خلاصهٔ آماری مشاهدات GWQI و نقشه‌های آن در دو روش اقتباسی و ساج

مشاهدات (n =۹۷)			روش اقتباسی			روش ساج		
کمینه	بیشینه	میانگین و میانه	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
۸۱	۸۶	۸۴	۸۰	۸۵	۸۴	۸۰	۹۲	۸۴

به‌منظور مقایسهٔ کمّی دو روش، خلاصهٔ آماری مشاهدات GWQI و نقشه‌های GWQI در جدول ۳ آورده شده است. مطابق این جدول در هر دو روش نقشه‌کشی کمینه و میانگین GWQI یکسان است و در روش ساج بیشینه GWQI به مقدار ۷٪ بیشتر برآورد شده است و نتایج روش اقتباسی به مشاهدات نزدیک‌تر است. بنابراین به‌نظر می‌رسد که در مجموع نقشهٔ GWQI در روش اقتباسی بهتر از روش اولیه تولید شده است.

به‌منظور مقایسهٔ بیشتر دو روش، همبستگی شاخص‌های محاسبه شده برای هر چاه با مشاهدات مؤلفه‌ها و همبستگی نقشهٔ GWQI با نقشه‌های مؤلفه‌های کیفی (به هر دو روش) محاسبه و در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول ۴ دیده می‌شود که GWQI محاسبه شده هر چاه قوی‌ترین همبستگی را با EC، TH، Mg^{2+} و TDS نشان می‌دهد. در دو نقشهٔ GWQI نیز ترتیب این همبستگی با نقشه‌های مؤلفه‌ها حفظ گردیده است که حاکی از صحت هر دو روش پهنه‌بندی و نقشه‌کشی است. علاوه براین، همبستگی هر دو نقشه‌ی GWQI با نقشه‌های مؤلفه‌ها از هم‌بستگی مقادیر محاسبه‌شده‌ی GWQI با مقادیر مؤلفه‌ها قوی‌تر به نظر می‌رسد. با این حال، هم‌بستگی نقشهٔ GWQI در روش اقتباسی با نقشه‌های مؤلفه‌ها عموماً قوی‌تر از همبستگی متناظر GWQI در روش ساج با مؤلفه‌ها است. بنابراین می‌توان گفت که روش اقتباسی محاسبه GWQI دست کمی از روش مشابه در محیط ساج ندارد و حتی بهتر عمل می‌کند.

در نقشهٔ GWQI (شکل ۳) ده کلاس کیفیت آب از ۰ تا ۱۰۰٪ با فاصله‌های ۱۰٪ تعریف شده است. سه کلاس با کمترین مقادیر (۳۰-۰٪) به‌عنوان گروه با کیفیت پایین‌تر در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]

جدول ۴. همبستگی اسپیرمن GWQI محاسبه شده با مؤلفه‌ها و هم‌بستگی اسپیرمن نقشه‌های GWQI با نقشه‌های مؤلفه‌ها

مؤلفه یا نقشه	GWQI مشاهدات	GWQI روش اقتباسی	GWQI روش ساج
pH	۰/۴۶-	۰/۷۰-	۰/۴۶-
EC	۰/۸۸-	۰/۹۰-	۰/۸۵-
TDS	۰/۷۶-	۰/۹۲-	۰/۸۸-
TSS	۰/۴۷-	۰/۸۴-	۰/۷۹-
Tu	۰/۱۷-	۰/۲۸-	۰/۱۰-
TH	۰/۸۴-	۰/۸۵-	۰/۸۹-
HCO_3^-	۰/۷۲-	۰/۷۸-	۰/۶۶-
Cl^-	۰/۶۸-	۰/۷۳-	۰/۸۱-
SO_4^{2-}	۰/۶۵-	۰/۷۳-	۰/۷۶-
Ca^{2+}	۰/۴۱-	۰/۴۶-	۰/۳۸-
Mg^{2+}	۰/۷۷-	۰/۹۰-	۰/۹۱-
Na^+	۰/۷۰-	۰/۸۷-	۰/۷۴-
K^+	۰/۵۸-	۰/۷۸-	۰/۶۸-

جدول ۵. کلاس‌های کیفیت آب زیرزمینی شهرکرد (براساس GWQI)، درصد پوشش هر کلاس، و محل عمومی وقوع در آبخوان

GWQI (%)	کلاس کیفیت آب	درصد پوشش			محل عمومی وقوع
		روش اقتباسی	روش ساج	تفاوت	
۰-۳۰	پایین	۱۵	۱۹	-۴	جنوب دشت
۳۱-۷۰	متوسط	۵۶	۵۰	+۶	شمال تا مرکز دشت
۷۱-۱۰۰	بالا	۲۸	۳۱	-۳	شمال غربی دشت

جنوب دشت واقع شده‌اند. چهار کلاس بعدی (۷۰-۳۱٪) در گروه با کیفیت متوسط قرار دارند که عموماً در شمال تا مرکز دشت واقع شده‌اند. سه کلاس آخر (۱۰۰-۷۱٪) در گروه با کیفیت بالا طبقه‌بندی شدند که شمال غربی دشت را پوشش داده‌اند. درصد پوشش و مساحت این سه گروه کیفی آب در جدول ۵ داده شده است. روش اقتباسی با روش ساج در تعیین کلاس کیفیت آب حداکثر ۶٪ اختلاف داشته است (جدول ۵). این اختلاف در کلاس کیفیت متوسط آب است که بیشتر مساحت سفره را اشغال کرده است. به‌نظر می‌رسد که، با توجه به نتایج ارائه شده در جدول‌های ۳ و ۴، برآورد روش اقتباسی حاضر از درصد پوشش کلاس‌های کیفیت آب دقیق‌تر باشد.

تحلیل حساسیت GWQI نسبت به مؤلفه‌های کیفی آن

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت به روش حذف تک‌مؤلفه در جدول ۶ آمده است. در همین جدول نتایج تحلیل حساسیت به روش حذف تک‌نقشه نیز که در روش ساج مورد استفاده قرار گرفت یادآوری شده است (۲). از مقایسه نتایج تحلیل حساسیت به روش حذف تک‌مؤلفه با روش حذف تک‌نقشه چنین بر می‌آید که مؤلفهٔ TSS با میانگین شاخص تغییر ۳/۴۴ و ۳/۵۰ در هر دو روش تهیهٔ نقشهٔ GWQI حساس‌ترین مؤلفه است، مؤلفهٔ Na^+ با میانگین شاخص تغییر ۱/۴۳ و ۱/۳۰ در هر

جدول ۶. مقایسه‌ی مقادیر شاخص تغییر GWQI در روش اقتباسی و روش ساج در آب زیرزمینی شهرکرد (درصد)

مؤلفه	روش حاضر: (حذف تک‌مؤلفه)				روش ساج: (حذف تک‌نقشه)			
	کمینه	بیشینه	میانگین*	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
pH	۰/۵۴	۰/۹۷	۰/۷۸	۰/۰۸	۰/۶۴	۱/۰۱	۰/۸۳	۰/۰۶
EC	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۰۸
TDS	۰/۲۴	۰/۴۷	۰/۳۶	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۰۵
TSS	۲/۰۶	۴/۳۳	۳/۴۴	۰/۴۰	۲/۳۳	۴/۲۳	۳/۵۰	۰/۲۵
Tu	۰/۶۶	۱/۹۸	۱/۱۴	۰/۲۱	۰/۱۱	۱/۶۲	۰/۷۷	۰/۳۸
TH	۰/۳۲	۰/۶۳	۰/۴۹	۰/۰۵	۰/۴۱	۰/۶۲	۰/۵۱	۰/۰۳
HCO_3^-	۰/۳۸	۰/۸۴	۰/۶۳	۰/۰۹	۰/۴۶	۰/۸۴	۰/۶۸	۰/۰۴
Cl^-	۰/۲۳	۰/۹۷	۰/۵۰	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۷۱	۰/۴۹	۰/۰۵
SO_4^{2-}	۰/۹۸	۱/۴۲	۱/۲۱	۰/۰۸	۱/۰۴	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۰۶
Ca^{2+}	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۹۸	۰/۶۲	۰/۰۷
Mg^{2+}	۰/۰۷	۰/۷۴	۰/۳۴	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۶۱	۰/۳۵	۰/۱۲
Na^+	۱/۲۳	۱/۷۰	۱/۴۳	۰/۰۹	۱/۱۶	۱/۴۳	۱/۳۰	۰/۰۵
K^+	۱/۰۷	۱/۴۸	۱/۳۱	۰/۰۷	۰/۲۸	۰/۸۰	۰/۵۲	۰/۰۷

* میانگین مشاهدات رتبه‌بندی شده هر مؤلفه (ستون چهارم از سمت راست) به‌عنوان وزن در مرحله بعدی برای محاسبهٔ GWQI به‌کار رفته است

دو روش دومین مؤلفهٔ حساس است. همچنین کمینهٔ شاخص تغییر تمام مؤلفه‌ها و انحراف معیار شاخص تغییر در هر دو روش کمابیش شبیه است و در روش حذف تک مؤلفه (روش اقتباسی) میانگین و بیشینهٔ شاخص تغییر کدورت، SO_4^{2-} و K^+ نسبت به روش حذف تک‌نقشه (روش ساج) مقداری بیشتر است. بنابراین در مجموع دو روش تحلیل حساسیت نتایج کمابیش مشابهی به‌دست می‌دهند.

در آب زیرزمینی شهرکرد، بزرگ‌ترین میانگین شاخص تغییر در هر دو روش مربوط به مؤلفهٔ TSS است. بنابراین شاخص GWQI در سفره شهرکرد، نسبت به این مؤلفه حساس‌تر است. با این حال تفاوت‌هایی هم بین دو روش استخراج شاخص GWQI دیده می‌شود مثلا کمترین حساسیت در روش فعلی نسبت به Ca^{2+} و در روش اولیه نسبت به TDS و SO_4^2 نشان داده شده است (جدول ۶).

در حوضه ناسانوی ژاپن شاخص GWQI بیشترین حساسیت را به منیزیم با میانگین شاخص تغییر ۰/۵ درصد و کمترین حساسیت را به TDS با میانگین تغییر ۰/۱ درصد داشت (۸). در حالی‌که، در راجستان هند شاخص GWQI بیشترین حساسیت را به Hardness و SO_4^{2-} با میانگین تغییر ۳/۹۸ و ۲/۲۶ و کمترین حساسیت را به HCO_3^- با میانگین تغییر ۰/۱۹ داشت (۱۲). بنابراین نه تنها نوع مؤلفه بلکه شدت حساسیت به آن (از جمله مقدار شاخص تغییر) و نیز حساس‌ترین مؤلفه از حوضه‌ای به حوضه‌ی دیگر متفاوت است. علت را احتمالاً می‌توان به تفاوت در نوع آبخوان، نوع آب و هوا، میزان بارش، و نوع سازندهای زمین‌شناختی آبخوان‌ها نسبت داد. از طرف دیگر علل ذکر شده می‌تواند نوسان غلظت برخی مؤلفه‌ها را باعث گردد که بایستی با دقت بیشتری مثلاً هر روز یا هر هفته پایش شوند.

مقایسهٔ جدول۶ با جدول ۲ نشان می‌دهد که مؤلفهٔ TSS هم وزن بالایی داشته و هم GWQI به آن بیشترین حساسیت را

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]

دارد. در واقع این مؤلفه در آب زیرزمینی شهرکرد هم بر الگوی GWQI مؤثرتر است و هم حذف آن باعث تغییرات بیشتری در GWQI می‌شود (۸، ۱۲). در راجستان هند نیز مؤلفهٔ Hardness هم دارای وزن بالاتری بود و هم GWQI به آن حساسیت بیشتری داشت (۹). به نظر می‌رسد که وقتی وزن مؤلفه فاصله‌ی فاحشی با وزن مؤلفه‌های بعدی داشته باشد در تحلیل حساسیت نیز ممکن است به‌عنوان حساس‌ترین مؤلفه ظاهر شود.در حالی که در آبخوان ناسانوی ژاپن با این که TDS و SO_4^{2-} وزن بیشتری داشتند ولی GWQI به Mg^{2+} حساس‌تر بود (۸). به‌عبارت دیگر تنها وزن بیشتر مؤلفه لزوماً به‌معنای حساسیت بیشتر GWQI نسبت به آن نیست.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت حساسیت GWQI به مؤلفه‌هایش و شدت حساسیت از آبخوانی به آبخوان دیگر متفاوت است؛ و وزن بیشتر مؤلفه لزوماً به معنای حساسیت بیشتر GWQI نسبت به آن نیست. چراکه حساسیت GWQI نسبت به یک مؤلفه در واقع نشان دهنده این است که آن مؤلفه باید با دقت بیشتری پایش گردد درحالی‌که وزن بیشتر یک مؤلفه می‌تواند نمایانگر غلظت بالای آن و یا درصد عدول از حد استاندارد باشد. در پژوهش حاضر با این که مؤلفه‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} دارای میانگین رتبهٔ نسبتاً بالایی هستند (جدول ۲) ولی در تحلیل حساسیت (جدول ۶) مشخص شد که GWQI نسبت به آنها حساسیت زیادی ندارد. برعکس، در ناسانوی ژاپن با این که GWQI به Mg^{2+} حساسیت بالایی داشت ولی این مؤلفه دارای میانگین رتبهٔ پایینی بود (۸). در همین مطالعه، مؤلفهٔ TDSدارای میانگین رتبهٔ بالاتری بود ولی GWQI به آن حساسیت کمی داشت (۸).

شدت حساسیت GWQI به مؤلفه‌هایش نیز از آبخوانی به آبخوان دیگر متفاوت است. در ناسانوی ژاپن مقدار تغییر حساس‌ترین شاخص (Mg^{2+}) برابر ۰/۵ درصد است (۸) در حالی که در آبخوان شهرکرد مقدار تغییر حساس‌ترین شاخص تغییر (TSS) به ۳/۵ درصد و در راجستان هند به ۳/۹۸ درصد می‌رسد (۱۲).

نتیجه‌گیری

نقشهٔ GWQI در روش فعلی به نقشهٔ GWQI تولید شده در محیط ساج بسیار شبیه است و روند تغییرات نقشه‌ی GWQI در روش حاضر همانند نقشهٔ GWQI با روند تغییرات نقشه‌های مؤلفه‌ها همخوان است. برآورد درصد پوشش کلاس‌های کیفیت آب در دو روش نزدیک و محل عمومی وقوع کلاس‌ها در دو روش نیز مشابه هستند. حداکثر کیفیت آب زیرزمینی شهرکرد در روش فعلی کمی محتاطانه‌تر برآورد شد (۷٪ کمتر) و درصد پوشش کلاس‌ها حداکثر تا ۶٪ اختلاف داشت . احتمالاً، در هر دو مورد، برآورد روش حاضر به‌دلیل همبستگی قوی‌تری بین GWQI با مؤلفه‌ها صحیح‌تر از روش اولیه است. براساس روش اقتباسی همانند روش ساج شاخص GWQI نسبت به TSS و Na^{+} حساس‌تر است. بنابراین در آب زیرزمینی شهرکرد این دو مؤلفه بایستی با دقت بیشتری بررسی و پایش شوند. به‌نظر می‌رسد روش اقتباسی به‌کار رفته حاضر در ترسیم نقشهٔ GWQI همانند روش ساج برای آبخوان شهرکرد و احتمالاً آبخوان‌های مشابه بسیار مناسب باشد زیرا قادر به انعکاس تغییرات مؤلفه‌های کیفی در این آبخوان است. علاوه بر این روش اقتباسی محاسبه GWQI برای نمونه‌های منفرد و معدود سطحی و زیرزمینی و نیز نمونه‌هایی که توزیع مکانی یکنواخت ندارند قابل کاربرد است.

منابع مورد استفاده

۱. حسنی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین آمار. انتشارات دانشگاه تهران .چاپ اول، ۳۱۴ ص.

۲. حشمتی، س. س. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی برخی شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت شهرکرد جهت مصارف مختلف. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]

۳. حشمتی، س. س.، و ح. بیگی. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد به‌منظور استفاده در طراحی سامانه‌های آبیاری. مجله پژوهش آب در کشاورزی ۲۶(۱):۵۹-۴۴.

۴. حشمتی، س. س.، و ح. بیگی. ۱۳۹۳. ارزیابی کیفیت شرب آب زیرزمینی شهرکرد بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی بر پایه یک شاخص. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۶۹(۱۸): ۱۹۰-۱۷۹.

۵. لاله‌زاری، ر.، و س. ح. طباطبائی. ۱۳۸۹. خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد. محیط‌شناسی ۳۶(۵۳): ۶۲-۵۵.

۶. میرزایی، س. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه‌های خطر آلودگی آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از GIS و مدل‌های دراستیک و سینتکس. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی،دانشگاه شهرکرد.

7. APHA. 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. American Public Health Association Inc. Washington, USA.
8. Babiker, I., A. A. Mohamed and T. Hiyama. 2007. Assessing groundwater quality using GIS. J.Water Resour. Manage 21:699–715.
9. Boyd, C. E. 2000. Water quality, an introduction. Kluwer Academic Publishers.
10. Cambardella, C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, D. L. Parkin, R. F. Karlen, R. F. Turco and A. E. Koropaka. 1994. Field–scale variability of soil properties in central Iowa soils. J. Soil Sci. Soc. Am. 58(5): 1501-1511.
11. ESRI Inc. 2008. ArcGIS TM. Version 9.3. www.esri.com.
12. Machiwal, D., M. K. Jha and B. C. Mal. 2011. GIS-based assessment and characterization of groundwater quality in a hard-rock hilly terrain of Western India.J. Environ Monit Assess 174(1-4): 645–663.
13. Pannatier Y. 1998. Variowin: software for data analysis in 2D. Version 2.21. Springer Verlag. 93 pages. Downloadable from web.
14. Ramakrishnaiah, C. R., C. Sadadhiv and G. Rangnna. 2009. Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. J. Environ. of Chemistry 6(2): 523-530.
15. World Health Organization (WHO). 2011. Guidelines for drinking water quality. Vol. 1: Recommendations (3rd edition). WHO, Geneva. Downloadable from web.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.30.0]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.30]