

پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی

چکیده

پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی یک منطقه از مهم‌ترین مراحل در مدیریت کیفیت منابع آب زیرزمینی به شمار می‌آید. با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به زمان و مکان می‌توان جنبه مصرفی آن را از لحاظ شرب، کشاورزی یا صنعت مشخص نمود. در این تحقیق خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه میان‌جنگل فسا در شرق استان فارس با توجه به مناسب بودن آب برای شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. ۱۹ نمونه آب زیرزمینی برداشت و از لحاظ پارامترهای کیفی اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، باقیمانده خشک (TDS)، سختی کل (TH)، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر، سدیم، پتاسیم و سولفات آنالیز شیمیایی گردید. برای درک توزیع مکانی مناطق مناسب و نامناسب از نرم‌افزار ArcGIS استفاده و لایه‌های اطلاعاتی تهیه گردید و در نهایت تحلیل همپوشانی به‌منظور تعیین محل‌های نامناسب بر اساس دیاگرام‌های شور و ویلکاکس صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های جنوبی منطقه که ۱۹/۲۳ درصد از مساحت منطقه را شامل می‌شود میزان عناصر سدیم، کلر، سولفات، TDS و TH زیاد بوده و بنابراین از نظر شرب دارای کیفیت نامناسب نیست. بخش‌های شمالی و شمال شرق منطقه که حدود ۸۰/۷۶ درصد از مساحت منطقه را شامل می‌شود به دلیل وجود سازند بختیاری دارای کیفیت مناسب از نظر شرب است. نتایج نشان می‌دهد که حدود ۸۰ درصد از منطقه دارای کیفیت مناسب برای کشاورزی است و فقط حدود ۱۷ درصد از آن دارای کیفیت نامناسب از نظر کشاورزی است.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، دیاگرام شور، دیاگرام ویلکاکس.

علیرضا کیهانی^۱
حسین فتحیان^{۲*}

۱. کارشناس سواحل، تالابها و آبهای مرزی، معاونت حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان.
۲. گروه مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات

Fathian.h@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۸

این مقاله برگرفته از فعالیت پژوهشی سایر است.

مقدمه

انسان برای حیات و فعالیت‌های متنوع خود نیازمند آب با کمیت و کیفیت خوب است. به همین جهت حفاظت منابع آب، خصوصاً حفاظت آب‌های شیرین یکی از عوامل اصلی در حفظ بهداشت و توسعه جوامع است (Vathananukji, 1994). اولین فعالیت برای حفاظت و بهینه‌سازی استفاده از آب، کسب اطلاعات دقیق در مورد منابع بالقوه به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. علاوه بر آن، این منابع آب باید به‌طور مستمر پایش شوند تا شناخت کاملی از تغییرات و خصوصاً کیفیت آنها جهت توسعه پایدار ایجاد گردد (Nagarajan, 2010). یکی از خصوصیات مناطق خشک و نیمه‌خشک که تقریباً اکثر ایران را شامل می‌شود میزان بالای نمک در خاک و آب مورد استفاده جهت کشاورزی است. غلظت زیاد نمک در آب منجر به ایجاد خاک‌های شور می‌گردد. لذا علاوه بر تخمین کمیت، کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز پیش‌شرط مهمی در بهره‌برداری از این منابع است (Chapman, 1996). در رابطه با این موضوع، محققین متعددی در ایران و سایر کشورها کیفیت آب‌های زیرزمینی را با توجه به نیازهای منطقه‌ای و محلی مورد بحث قرار داده‌اند (نجاتی جهرمی و همکاران، ۱۳۸۷). پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی یک منطقه از مهم‌ترین مراحل در مدیریت کیفیت منابع آب زیرزمینی به شمار می‌آید. با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به زمان و مکان می‌توان جنبه مصرفی آن را از لحاظ شرب، کشاورزی یا صنعت مشخص نمود (Stephan, 2003).

Al-Hameed و همکاران (۲۰۲۵) کیفیت آب زیرزمینی منطقه Al-Baha عربستان سعودی را با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارزیابی کردند. در این مطالعه پارامترهایی نظیر TDS، نیتрат، کلراید و آلودگی میکروبی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که بخش قابل توجهی از منابع آب زیرزمینی به دلیل تجاوز برخی پارامترها از حدود مجاز WHO، برای مصارف شرب و کشاورزی نامناسب هستند. نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه‌شده، کارایی GIS را در شناسایی مناطق بحرانی کیفیت آب به‌خوبی نشان داد. Singh و Kumar (2024) با هدف کاهش عدم قطعیت در ارزیابی کیفیت آب آبیاری، رویکرد منطق فازی را با شاخص‌های متداول کیفیت آب ترکیب کردند. نتایج نشان داد که مدل فازی نسبت به روش‌های کلاسیک، توانایی بیشتری در تفکیک مناطق مناسب و نامناسب آبیاری دارد. این مطالعه تأکید می‌کند که استفاده از روش‌های هوشمند می‌تواند ارزیابی واقع‌بینانه‌تری از کیفیت آب زیرزمینی برای کشاورزی فراهم کند. Neshat و همکاران (۲۰۱۸) کیفیت آب زیرزمینی برای آبیاری در مناطق روستایی چابهار ایران را با استفاده از شاخص IWQI و GIS بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص‌هایی مانند EC و SAR بیشترین نقش را در تعیین محدودیت‌های آبیاری دارند. نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی بیانگر آن بود که بخش قابل توجهی از منطقه دارای کیفیت مناسب تا نسبتاً مناسب برای کشاورزی است، که اهمیت تلفیق شاخص‌های کمی و تحلیل فضایی را برجسته می‌سازد.

Nguyen و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) و GIS، وضعیت کیفی آبخوان Pleistocene در ویتنام را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اگرچه اغلب مناطق دارای کیفیت خوب تا عالی هستند، اما در برخی نواحی افزایش غلظت یون‌های محلول موجب کاهش قابلیت مصرف شرب شده است. این پژوهش اهمیت بررسی تغییرات مکانی و فصلی کیفیت آب زیرزمینی را در مدیریت منابع آب تأیید می‌کند. Rahmani و همکاران (۲۰۲۲) پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب را در مناطق شهری ایران با استفاده از GIS انجام دادند. نتایج نشان داد که توزیع مکانی کیفیت آب به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و تراکم جمعیت قرار دارد. این مطالعه GIS را به‌عنوان ابزاری مؤثر برای پشتیبانی تصمیم‌گیری در مدیریت بهداشتی منابع آب معرفی می‌کند. Adimalla و Qian (2018) کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب و آبیاری را در یک منطقه نیمه‌خشک با استفاده از تکنیک‌های ژئواستاتیکی و GIS بررسی کردند. نتایج تحلیل بیش از ۴۰۰ نمونه آب نشان داد که تغییرات مکانی کیفیت آب قابل توجه بوده و برخی پارامترهای شیمیایی محدودیت‌هایی برای مصرف شرب ایجاد می‌کنند. این تحقیق بر لزوم مدیریت یکپارچه منابع آب زیرزمینی تأکید دارد.

Mousavi و همکاران (۲۰۲۳) کیفیت آب زیرزمینی دشت رفسنجان را با استفاده از شاخص‌های کیفی، منطق فازی، دیاگرام‌های هیدروشیمیایی و GIS ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کیفیت آب برای مصارف شرب در بخش‌هایی از آبخوان نامناسب است، درحالی‌که برای آبیاری در برخی مناطق همچنان قابل استفاده است. این مطالعه تفاوت نیازهای کیفی شرب و کشاورزی را در پهنه‌بندی منابع آب برجسته می‌کند. Patel و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از شاخص IWQI و GIS به شناسایی مناطق مناسب آبیاری در ایالت Gujarat هند پرداختند. نتایج نشان داد که بخش عمده‌ای از منطقه به دلیل شوری و سدیمیت بالا در طبقه نامناسب برای آبیاری قرار دارد. این پژوهش اهمیت پایش کیفی آب زیرزمینی برای برنامه‌ریزی پایدار کشاورزی را نشان می‌دهد. Benaabidate و همکاران (۲۰۲۳) کیفیت آب زیرزمینی منطقه خشک Ain Sefra در الجزایر را با استفاده از WQI و روش درونیابی IDW بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش شوری و غلظت یون‌های اصلی، مصرف آب برای شرب و آبیاری را محدود کرده است. نقشه‌های پهنه‌بندی تولیدشده نقش GIS را در مدیریت منابع آب مناطق خشک تأیید می‌کند. Sharma و همکاران (۲۰۱۸) کیفیت آب زیرزمینی را با رویکرد GIS محور و تحلیل ژئوشیمیایی در شمال شرق هند بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی تأثیر مستقیمی بر کیفیت آب زیرزمینی دارند. این مطالعه اهمیت تحلیل مکانی کیفیت آب برای برنامه‌ریزی مصرف شرب و کشاورزی را مورد تأکید قرار می‌دهد. هدف از این تحقیق، پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه میان جنگل فسا از نظر مصارف آب شرب و کشاورزی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی در این مقاله منطقه میان جنگل فسا است که در ۱۲۰ کیلومتری جاده شیراز- فسا و در شمال غربی شهرستان فسا واقع گردیده است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی $35^{\circ} 15' 53''$ تا $38^{\circ} 15' 53''$ طول شرقی و $45^{\circ} 55' 28''$ تا $29^{\circ} 13' 15''$ عرض شمالی واقع گردیده است. عمده دستگاه‌هایی که این منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند نظیر اکثر مناطق کشور منشاء غربی داشته است. منطقه میان جنگل فسا در یال غربی خرمن کوه در ناحیه کوهستانی زاگرس قرار داد. آبخوان محدوده مورد بررسی از نوع آبرفتی و مواد سازنده آن حاصل فرسایش سازندهای اواخر دوران سوم زمین‌شناسی است. منابع آب این محدوده شامل چاه، قنات و چشمه هستند (حسینی مرندی و محمدنیا، ۱۳۹۰). این محدوده بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران در منطقه زاگرس چین‌خورده واقع می‌گردد. واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده در جنوب غربی ایران واقع شده است. روند عمومی این منطقه تقریباً شمال غربی- جنوب شرقی است. به‌منظور ارزیابی کیفیت آب منطقه میان جنگل فسا در مرحله نخست از ۱۹ حلقه چاه موجود در منطقه نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها از لحاظ پارامترهای کیفی اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، باقیمانده خشک (TDS)، سختی کل (TH)، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر، سدیم، پتاسیم و سولفات مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. در مرحله بعد داده‌های فوق به‌منظور بررسی تغییرات کیفی جهت مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از دیاگرام‌ها یا نمودارهای شولر و ویلکاکس ابتدا در محیط Excel 2010 مرتب گردیدند. سپس با تجزیه و تحلیل مکانی داده‌های شیمیایی آب زیرزمینی در سرتاسر منطقه مورد مطالعه کیفیت آن از لحاظ شرب و کشاورزی به مناطق مناسب تا نامناسب پهنه‌بندی گردید. درواقع تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه بوده و موجب دستیابی سریع و آسان در کوتاه‌ترین زمان ممکن به توزیع مکانی پهنه‌های مناسب تا نامناسب از لحاظ شرب و کشاورزی می‌گردد. برای تهیه این نقشه‌ها ابتدا داده‌های مرتب شده در محیط Excel به فرمت Text تبدیل و سپس با استفاده از منوی Grid در نرم‌افزار Surfer10 برای هر یک از آنها یک Grid ترسیم و با فرمت DAT ذخیره گردیدند. فرمت‌های DAT در محیط Excel به فرمت قابل قبول نرم‌افزار Arc GIS 10 تبدیل شدند. درنهایت در این نرم‌افزار پایگاه اطلاعاتی داده‌ها تشکیل شد و نقشه‌های هم‌ارزش Na^{+} ، Cl^{-} ، SO_4^{2-} ، TDS، TH، EC و SAR با استفاده از روش درون‌یابی (Kriging) تهیه گردید و با استفاده از دستور Raster Calculator و بر اساس طبقه‌بندی شولر نقشه پهنه‌بندی شرب از تلفیق نقشه‌های هم‌ارزش Na^{+} ، Cl^{-} ، SO_4^{2-} ، TDS و TH بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس نقشه پهنه‌بندی کشاورزی از تلفیق نقشه‌های هم‌ارزش EC و SAR به دست آمد و مناطق مناسب و نامناسب برای هر کدام از مصارف مورد نظر مشخص گردیدند.

نتایج

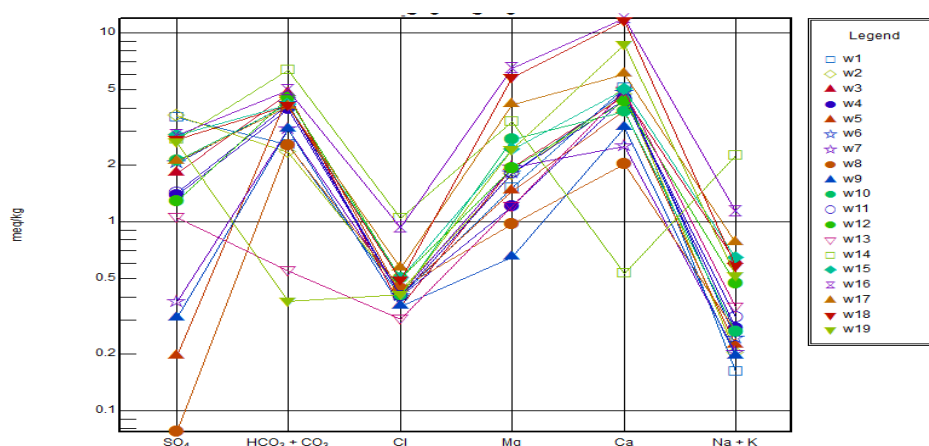
دیاگرام شولر و نقشه پهنه‌بندی شرب نمونه‌های آب زیرزمینی

به‌منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه میان جنگل فسا از لحاظ شرب ابتدا از روش معمول دیاگرام شولر استفاده شد. دیاگرام شولر یک دیاگرام نیمه لگاریتمی است که غلظت یون‌های اصلی را برحسب میلی‌اکی‌والان گرم در لیتر نشان می‌دهد. در این دیاگرام براساس پنج پارامتر شیمیایی سدیم، کلر، سولفات، باقیمانده خشک (TDS) و سختی کل آب (TH)، آب‌ها از نظر مصرف آشامیدنی به شش گروه شامل خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطلوب و غیرقابل شرب تقسیم می‌شوند (Ravikumar et al., 2009). این تقسیم‌بندی‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

در شکل (۱) نیز با بررسی دیاگرام شولر مربوط به نمونه‌های آب ۱۹ چاه موجود از منطقه میان جنگل فسا می‌توان دریافت که کیفیت آب اکثر نمونه‌ها در رده خوب تا قابل قبول قرار دارند. بعضی نمونه‌ها نیز در رده متوسط تا نامناسب قرار گرفته‌اند. بالاین حال در این دیاگرام پارامترهای شیمیایی به‌صورت منفرد در نظر گرفته شده‌اند و نتایج حاصل از آن قابل تعمیم به کل منطقه نمی‌باشند. ازاین‌رو برای درک توزیع فضایی مناطق مناسب و نامناسب روش پهنه‌بندی مکانی برای هر کدام از پنج پارامتر هیدروشیمیایی مذکور به‌صورت مجزا و تلفیقی انجام گرفت.

جدول ۱: معیارهای کیفیت آب شرب طبق نظر شولر

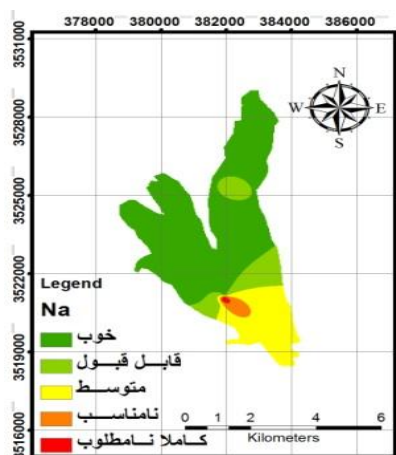
ردیف	کیفیت	Na ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	TDS (mg/l)	TH (mg/l)
۱	خوب	<۱۱۵	<۱۷۵	<۱۴۵	<۵۰۰	<۲۵۰
۲	قابل قبول	۱۱۵-۲۳۰	۱۷۵-۳۵۰	۱۴۵-۲۸۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۵۰-۵۰۰
۳	متوسط	۲۳۰-۴۶۰	۳۵۰-۷۰۰	۲۸۰-۵۸۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰
۴	نامناسب	۴۶۰-۹۲۰	۷۰۰-۱۴۰۰	۵۸۰-۱۱۵۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۵	کاملاً نامطلوب	۹۲۰-۱۸۴۰	۱۴۰۰-۲۸۰۰	۱۱۵۰-۲۳۴۰	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰
۶	غیر قابل شرب	>۱۸۴۰	>۲۸۰۰	>۲۳۴۰	>۸۰۰۰	>۴۰۰۰



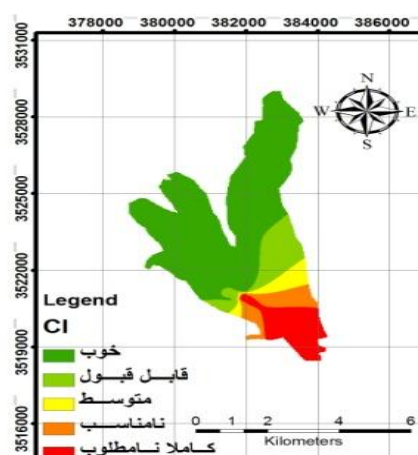
شکل ۱: دیاگرام شولر ۱۹ حلقه چاه از منطقه میان جنگل فسا

براساس شکل (۲) که نقشه هم ارزش سدیم را نشان می‌دهد می‌توان دریافت که میزان سدیم در قسمت‌های شمالی تا مرکز منطقه در حد خوب تا متوسط و در قسمت جنوبی منطقه در حد نامناسب تا کاملاً نامطلوب است. همچنین بر اساس شکل (۳) با توجه به نقشه هم ارزش کلر در منطقه مورد مطالعه، حداکثر غلظت کلر در قسمت جنوبی و خروجی منطقه و کمترین غلظت آن در بخش شمالی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات کلر مشابه روند تغییرات سدیم است و به‌طور کل میزان سدیم و کلر در بخش خروجی منطقه بیشتر از بقیه نقاط است. مطالعات ژئوالکتریکی چاه‌ها نشان می‌دهد که افزایش میزان سدیم و کلر را در بخش جنوبی منطقه می‌توان به آب فروشویی شده از لایه‌های فوقانی خاک و کانی‌های رسی و تبخیری از قبیل هالیت‌ها نسبت داد.

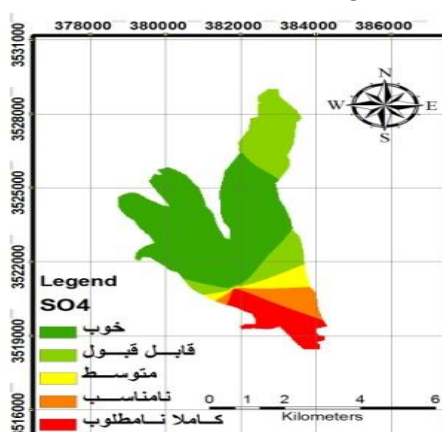
بر اساس شکل (۴) که نقشه هم ارزش سولفات نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه را نشان می‌دهد. در بخش‌های جنوبی میزان سولفات به علت وجود سازند آهکی آسماری-چهرم و حضور رسوبات ناشی از فرسایش این سازند در حد نامناسب تا کاملاً نامطلوب قرار دارد. اما در بقیه نقاط منطقه به‌ویژه بخش‌های شمالی و در مجاورت سازند بختیاری غلظت آن در حد خوب تا متوسط قرار دارد.



شکل ۲: نقشه هم ارزش سدیم منطقه میان جنگل فسا



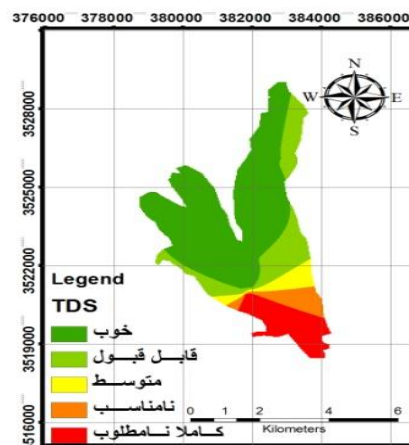
شکل ۳: نقشه هم ارزش کلر منطقه میان جنگل فسا



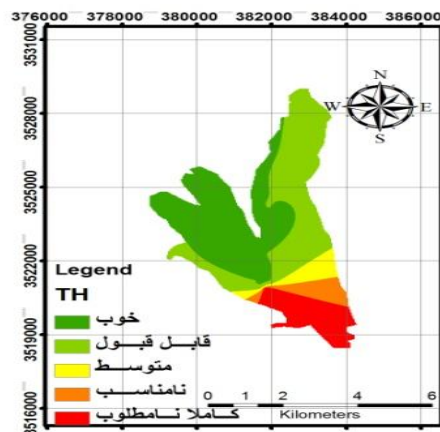
شکل ۴: نقشه هم ارزش سولفات منطقه میان جنگل فسا

بر اساس شکل‌های (۵) و (۶) از نظر مجموع املاح آب زیرزمینی (TDS) و سختی کل آب (TH)، بخش اعظم منطقه (حدود ۲۰ کیلومترمربع) به‌ویژه بخش‌های شمالی که در نزدیک منطقه تغذیه‌ای قرار دارند دارای کیفیت بهتری نسبت به بقیه نقاط می‌باشند. اما در بخش‌های جنوبی منطقه (حدود ۶ کیلومترمربع) به علت نفوذ آب‌های سطحی با املاح زیاد، کیفیت آب به شدت افت پیدا می‌کند. زیرا به‌طور طبیعی با دور شدن از نقاط تغذیه آبخوان با افزایش انحلال کانی‌ها و واکنش میان سنگ و آب، مقادیر یونی نیز افزایش و بالطبع کیفیت آب کاهش می‌یابد. همچنین حضور سازند آهکی آسماری-چهرم در این بخش نیز تأثیر بسزایی در تنزل کیفیت آب دارد.

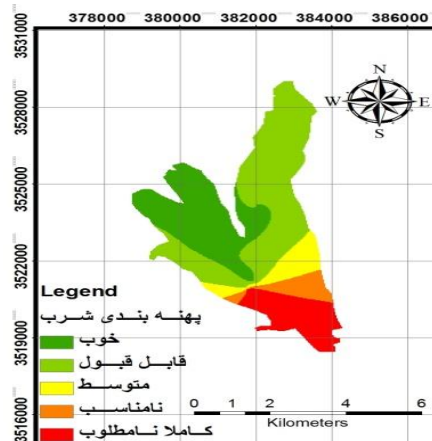
بر اساس شکل (۷) نیز که نقشه پهنه‌بندی شرب منطقه میان جنگل فسا را نشان می‌دهد قسمت‌های قابل‌توجهی از منطقه مورد مطالعه (حدود ۲۰ کیلومترمربع) به‌ویژه بخش‌های شمالی به دلیل وجود سازند بختیاری و نزدیکی به محل تغذیه دارای کیفیت بهتری نسبت به بقیه نقاط می‌باشند. اما بخش‌های جنوبی به علت تأثیر سازند آهکی آسماری-چهرم و شیب آن که به سمت منطقه است کیفیت نامناسبی را نشان می‌دهند. همچنین بالا بودن غلظت عناصر محلول آب زیرزمینی در بخش‌های جنوبی محدوده مورد مطالعه را می‌توان به دلایل متعدد دیگری از جمله بالا بودن سطح آب زیرزمینی، تأثیر فعالیت‌های کشاورزی و پساب‌های ناشی از آن در این بخش‌ها از منطقه نسبت داد.



شکل ۵: نقشه هم ارزش TDS منطقه میان جنگل فسا



شکل ۶: نقشه هم ارزش TH منطقه میان جنگل فسا



شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی منطقه میان جنگل از لحاظ آب شرب

در جدول (۲) نیز مساحت پهنه‌ها از لحاظ شرب، از رده خوب تا نامناسب برای هر کدام از پارامترهای کیفی فوق و نقشه پهنه‌بندی شرب نشان داده شده است.

جدول (۲): مساحت پهنه‌های خوب تا نامطلوب برای هر کدام از پارامترهای Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , TDS و TH و نقشه پهنه‌بندی آب شرب منطقه میان جنگل (برحسب کیلومتر مربع)

وضعیت	Na^+	Cl^-	SO_4	TDS	TH	پهنه‌بندی آب شرب
خوب	۱۸	۱۷	۱۵	۱۵	۱۰	۷
قابل قبول	۳	۳	۵	۵	۹	۱۱
متوسط	۴/۵	۱	۱	۱/۵	۱/۵	۲
نامناسب	$4/3 \times 10^{-4}$	۲	۲	۱/۵	۱/۵	۲
کاملاً نامطلوب	7×10^{-6}	۳	۳	۳	۴	۴

دیاگرام ویلکاکس و نقشه پهنه‌بندی کشاورزی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه میان جنگل فسا

برای تعیین کیفیت آب کشاورزی از طبقه‌بندی ویلکاکس که یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در این زمینه است استفاده شده است. در این طبقه‌بندی آب کشاورزی بر اساس میزان هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) در جدول (۳) به ۴ گروه با کیفیت عالی، خوب، متوسط و نامناسب و در جدول (۴) بر اساس تقسیم‌بندی ویلکوکس به ۱۶ رده تقسیم‌بندی می‌شود (singhal, 1999).

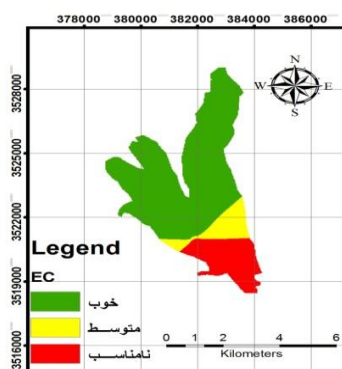
جدول (۳): معیارهای طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی

کیفیت آب	EC	رده	SAR	رده
عالی	$EC < 250$	C1	$SAR < 10$	S1
خوب	$250 < EC < 750$	C2	$10 < SAR < 18$	S2
متوسط	$750 < EC < 2250$	C3	$18 < SAR < 26$	S3
نامناسب	$EC < 2250$	C4	$SAR > 26$	S4

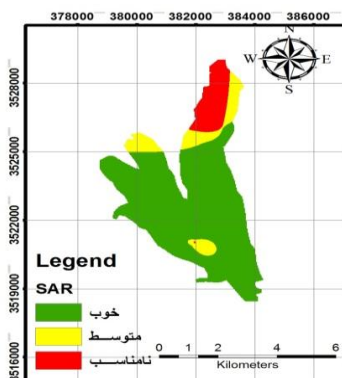
جدول (۴): رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس تقسیم‌بندی ویلکاکس

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

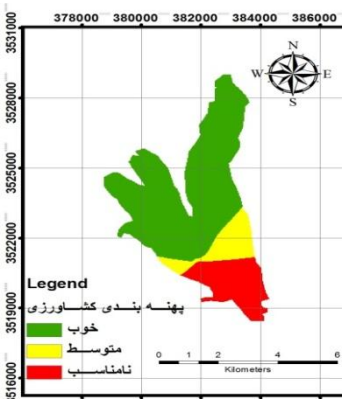
بر اساس دیاگرام ویلکاکس، کیفیت آب کشاورزی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه میان جنگل فسا در رده خوب تا متوسط قرار دارند. ولی همان‌گونه که در فوق بیان شد به دلیل نبود تحلیل مکانی در این دیاگرام‌ها نمی‌توان تحلیل درستی از کل منطقه داشت. بنابراین جهت تهیه مدل کیفی آب کشاورزی منطقه میان جنگل فسا از روش پهنه‌بندی استفاده شد. در شکل‌های (۸)، (۹) و (۱۰) به ترتیب نقشه‌های هم‌ارزش EC، SAR و پهنه‌بندی کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس نشان داده شده است. همان‌طور که نقشه پهنه‌بندی آب کشاورزی نشان می‌دهد اکثر نواحی منطقه (حدوداً ۸۳٪ از مساحت منطقه) دارای کیفیت خوب و مناسبی از لحاظ کشاورزی بوده و فقط بخش جنوبی آن (حدود ۱۷٪ از مساحت منطقه) از کیفیت نامناسبی برخوردار است. علت نامناسب بودن کیفیت آب برای مصارف کشاورزی در بخش جنوبی را می‌توان به بالا بودن میزان EC، تأثیر سازند آهکی آسماری - چهارم و انحلال رسوبات ناشی از آن در این بخش از منطقه نسبت داد.



شکل ۸: نقشه هم ارزش EC



شکل ۹: نقشه هم ارزش SAR



شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی از لحاظ آب کشاورزی

در جدول (۵) نیز مساحت پهنه‌ها از لحاظ آب کشاورزی از رده خوب تا نامناسب برای هر کدام از پارامترهای EC، SAR و نقشه پهنه‌بندی آب کشاورزی نشان داده شده است.

جدول ۵: مساحت پهنه‌های خوب تا نامناسب منطقه میان جنگل فسا برای هرکدام از پارامترهای EC، SAR و نقشه پهنه‌بندی آب کشاورزی (برحسب کیلومتر مربع)

وضعیت	EC	SAR	پهنه‌بندی آب کشاورزی
خوب	۱۹	۲۰	۱۸
متوسط	۲/۵	۳	۳/۵
نامناسب	۴/۵	۳	۴/۵

بحث و نتیجه‌گیری

سیستم اطلاعات جغرافیایی یک فناوری مناسب جهت مطالعه آب‌های زیرزمینی است. استفاده از این سیستم باعث صرفه‌جویی در وقت، هزینه و همچنین افزایش دقت در نتایج حاصله می‌شود. با وارد کردن داده‌ها در محیط GIS می‌توان نقشه‌های کیفی و کشاورزی را با دقت و سرعت بالا تهیه کرد و می‌توان با به‌روز کردن اطلاعات به‌راحتی از وضعیت آبخوان در زمان‌های مختلف آگاهی یافت و در نتیجه مدیریت صحیحی را بر نحوه بهره‌برداری از آن اعمال نمود. در این پژوهش نقشه‌های هم‌ارزش سدیم، کلر، سولفات، TDS و TH و نقشه پهنه‌بندی آب شرب منطقه میان جنگل فسا در استان فارس روند مشابهی را نشان می‌دهند و در این نقشه‌ها بخش‌های جنوبی منطقه میان جنگل فسا (حدود ۱۹/۲۳ درصد از مساحت منطقه) میزان این عناصر زیاد است و در بقیه قسمت‌ها (حدود ۸۰/۷۶ درصد از مساحت منطقه) میزان این عناصر کم است. بنابراین بخش‌های شمالی و شمال شرق منطقه به دلیل وجود سازند بختیاری در اطراف منطقه دارای کیفیت مناسب و بخش‌های جنوبی به علت وجود سازند آهکی آسماری-چهرم دارای کیفیت نامناسب می‌باشند و مقایسه با دیاگرام شولر نیز موید این مطلب است. همچنین نقشه پهنه‌بندی آب کشاورزی منطقه میان جنگل فسا نشان می‌دهد که حدود ۸۰ درصد از منطقه دارای کیفیت مناسب برای کشاورزی است و فقط حدود ۱۷ درصد از آن دارای کیفیت نامناسب است. درواقع به‌جز بخش‌های جنوبی بقیه قسمت‌های منطقه برای کشاورزی مناسب‌اند و مقایسه آن با دیاگرام ویلکاکس نیز موید این نتیجه است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت مطالعات پایه سازمان آب برق خوزستان و دفتر پژوهش‌های کاربردی به دلیل هماهنگی با آب منطقه‌ای فارس برای در اختیار گذاشتن آمار و اطلاعات و نقشه‌های پایه، قدردانی می‌گردد.

منابع

- حسینی مرندی، ح. و محمدنیا، م. ۱۳۹۰. بررسی مقدار زیاد نیترات در آب زیرزمینی حوضه آبخیز میان جنگل فسا. پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- نجاتی جهرمی، ز.، چیت‌سازان، م. و میرزایی، ی. ۱۳۸۷. بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه عقیلی با استفاده از GIS با تاکید بر مصارف کشاورزی، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب: ۳-۷.
- Adimalla, N. and Qian, H. 2018. Groundwater quality evaluation using geostatistical techniques and GIS: A case study of a semi-arid region. *Applied Water Science*, 8, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0795-6>
- Al-Hameed, A.A., Al-Zarah, A.I. and Al-Shammari, S.S. 2025. Groundwater quality assessment using water quality and GIS techniques for drinking and irrigation purposes. *Environmental Science and Pollution Research*, 32, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s43995-025-00276-0>
- Benaabidate, L., Ziani, A. and Benhamza, M. 2023. Assessment of groundwater suitability for drinking and irrigation purposes using WQI and GIS in arid regions. *Environmental Earth Sciences*, 82, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11183-9>

- Chapman, D. 1996.** Water Quality Assessment: A Guide to the of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, UNESCO, WHO, UNEP, E and FNSPON, Cambridge: 47-53.
- Mousavi, S. A. A., Fathian, H. and Khorshidi, H. 2023.** Groundwater quality assessment for drinking and agricultural uses using fuzzy logic and GIS techniques (Rafsanjan Plain, Iran). *Applied Water Science*, 13, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01891-9>
- Nagarajan, R. 2010.** Evaluation of groundwater quality and its suitability for dringing and agricultural use in Thanjavur city, tamil Nadu, India. *Computers and Geosciences*, 35(16): 1007-1016.
- Neshat, A., Pradhan, B., Pirasteh, S. and Shafri, H.Z.M. 2018.** Groundwater quality assessment for irrigation using GIS-based irrigation water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6833-9>
- Nguyen, T.T., Tran, D.Q. and Pham, Q.H. 2020.** Groundwater quality zoning using GWQI and GIS techniques. *Science and Technology Development Journal – Engineering and Technology*, 3, 1–12.
- Patel, P., Shah, D. and Desai, V. 2023.** Identification of irrigation suitability zones using IWQI and GIS-based spatial analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11120-7>
- Rahmani, M., Jafari, M. and Eslamian, S. 2022.** Spatial assessment of groundwater quality for drinking purposes using GIS techniques. *Applied Water Science*, 12, 1–13.
- Ravikumar, K., venkatesharju, K. and Somashrkar, R. K. 2009.** Major ion chemistery and hydrochemical studies of groundwater of Bangalore South Taluk, India. *Springer science, Environment Monitor Asses*, 118 (4): 107-127.
- Singhal, B.B.S. and Gupta, R.P. 1999.** *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*, Kluwer Academic Publ., Netherland: 75-76.
- Singh, R. and Kumar, P. 2024.** Fuzzy logic-based irrigation water quality assessment under uncertainty conditions. *Sustainable Water Resources Management*, 10, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.suswat.2024.100102>
- Sharma, D. A., Kansal, A. and Singh, R. 2018.** GIS-based groundwater quality assessment and hydrogeochemical characterization. *RSC Advances*, 8, 1–15. <https://doi.org/10.1039/C8RA00577J>
- Stephan, J. 2003.** Spatial analysis, interpretation and regionalization of groundwater quality data in the central valley of Cochabamba (BOLIVIA), *ITC journal*, 35(3): 112-126.
- Vathananukij, H. 1994.** *Water Quality Analysis on the chao-phra-ya Estuary using remote Sensing Data*, Kasetsart university RIO Thailand thesis: 144 pp.

Groundwater Quality Zoning for Drinking and Agricultural Uses Using Geographic Information Systems

Alireza Keihani ¹
Hossein Fathian ^{*2}

1. Expert in Coasts, Wetlands, and Transboundary Waters, Deputy for Water Resources Protection and Utilization, Khuzestan Water and Power Authority.

2. Department of Water Resources Engineering, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

***Corresponding author:**
Fathian.h@iau.ac.ir

Received date: **December/03/2025**
Accepted date: **January/18/2026**

Abstract

In this study, the chemical characteristics of groundwater in the Mian-Jangal Fasa region, located in the eastern part of Fars Province, were investigated with respect to its suitability for drinking and agricultural purposes. A total of 19 groundwater samples were collected and chemically analyzed for quality parameters including pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), total hardness (TH), calcium, magnesium, bicarbonate, chloride, sodium, potassium, and sulfate. The analyzed values were compared using Scholler and Wilcox diagrams, and the results indicated that most of the samples are suitable for drinking and agricultural uses. To understand the spatial distribution of suitable and unsuitable areas, ArcGIS software was employed to prepare the relevant information layers. Finally, an overlay analysis was conducted to identify unsuitable zones based on the Scholler and Wilcox diagrams. The final map shows that, except for the southern parts, most areas of the region are suitable for agricultural use, and comparison with the Scholler and Wilcox diagrams confirms this finding.

Keywords: Zoning, Geographic Information System, Schuler Diagram, Wilcox Diagram