نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۴، شماره ۱، سال ۱۴۰۱، صفحات ۲۸۳ تا ۲۹۸
DOI: 10.22060/ceej.2021.18764.6954

تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از یک سیستم GIS-AHP مبنا و مقایسه آن با دیاگرام ویلکوکس (مطالعه موردی دشت رفسنجان)

سمیه صالحی[۱]، علی اسماعیلی[۲]، هادی فرهادی[۳*]

۱-دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.
۲-دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.
۳-دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، یاران .

خلاصه: تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی با توجه به ضرورت استفاده از آن‌ها در مصارف شرب، کشاورزی و صنعت، یک امر ضروری به شمار می‌رود. دشت رفسنجان به علت وجود باغات پسته یکی از اقتصادی ترین دشت های کشور محسوب می شود. بنابراین مدیریت صحیح و مطالعات دقیق آب های زیرزمینی در این دشت امری ضروری است. تحقیق حاضر در جهت ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان با کاربرد کشاورزی انجام شده است. در مرحله اول پس از انتخاب پارامترهای ارزیابی کیفیت آب، وزن دهی به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام شده و سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با توجه به طبقه‌بندی کیفیت آب آبیاری دانشگاه کالیفرنیا تعیین شد. با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی نهایی کیفیت آب زیرزمینی، حدود ۱/۶ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای آب‌هایی با کیفیت خیلی خوب، ۲۰ درصد دارای کیفیت متوسط، ۵۲/۷ دارای کیفیت نامناسب و ۲۵/۷ دارای کیفیت خیلی بدی می‌باشند. همچنین بر اساس تحلیل آماری دیاگرام ویلکوکس، آب ۱/۵ درصد از چاه های منطقه دارای کیفیت خوب، ۱۶/۲ درصد دارای کیفیت متوسط و ۶۰/۲ درصد دارای کیفیت نامناسب می‌باشند. ۲۲/۱ درصد از چاه ها نیز به دلیل کیفیت بسیار بد در دیاگرام جای نمی گیرند. این پژوهش نشان داد که با به کارگیری یک روش GIS-AHP مبنا، می‌توان این نوع داده را به صورت مکانی تجزیه و تحلیل کرد و نتایج متقن به‌دست آورد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۲
بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۰۸
پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹
ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۰۵/۲۱

کلمات کلیدی:
تعیین کیفیت آب زیرزمینی
دشت رفسنجان
تحلیل سلسله مراتبی
سیستم اطلاعات جغرافیایی
دیاگرام ویلکوکس

۱- مقدمه

همواره آب به عنوان یک نیاز همیشگی و اساسی نه تنها برای مصارف بشر، بلکه برای توسعه و پیشرفت صنعت نیز به شمار می‌رود. دسترسی مجاز و غیرمجاز به آب‌های زیرزمینی به طور عجیبی در سال‌های اخیر با توجه به فعالیت‌های صنعتی، شهری و فعالیت‌های زیاد کشاورزی افزایش پیدا کرده است. کسب اطلاعات و دانش از شیمی آب اهمیت ویژه‌ای در تعیین کیفیت آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق دارد، در حالی که از آب برداشت شده هم برای مصارف کشاورزی و هم برای شرب استفاده می‌شود. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی تاثیر شگرفی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دارد. با توجه به ضرورت مسئله، تاکنون مطالعات متعددی به منظور تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی انجام شده است.

امروزه به طور گسترده از روش‌های مختلفی برای تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان استفاده می‌شود. به عنوان مثال، Pour Moghadas و همکاران در سال ۲۰۰۳، کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه لنجانات اصفهان را مورد بررسی قرار دادند که در آن از اطلاعات ۱۶ حلقه چاه استفاده کردند [۱]. Saidi و همکاران در سال ۲۰۰۹ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی[۱] (GIS) و شاخص حساسیت آب[۲] (SWI) کیفیت آب‌های زیرزمینی را در تونس مورد بررسی قرار دادند [۲].Delbari و همکاران در سال ۲۰۱۳ با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و به کارگیری پارامترهایی همچون هدایت الکتریکی[۳] (EC)، سدیم، نسبت جذب سدیم[۴] (SAR) و کل مواد جامد محلول در آب[۵] (TDS) کیفیت آب‌های زیرزمینی را در دشت شیراز تعیین کردند [۳]. Karunanidhi و همکاران در سال ۲۰۱۳ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و نمودار ویلکوکس، کیفیت آب مصرفی برای اهداف کشاورزی را مورد ارزیابی قرار دادند [۴].Peragon و همکاران نیز در سال ۲۰۱۵ برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی در جنوب اسپانیا از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند [۵].

1 Geographical Information System
2 Susceptibility Water Index
3 Electricity Conductivity
4 Sodium Absorption Ratio
5 Total Dissolved Solids

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Hadifarhadi18@gmail.com

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

در ایران آب زیرزمینی نقش مهمی در فعالیت‌های کشاورزی ایفا می‌کند. در حالت کلی، مناسب بودن آب کشاورزی به فاکتورهای زیادی از جمله: ۱-شوری آب که هدایت الکتریکی آب و کل مواد جامد محلول در آب، میزان آن را تعیین می‌کند، ۲- شاخص نفوذپذیری که با شاخص نسبت جذبی سدیم سنجیده می‌شود، ۳- غلظت مواد سمی مانند سدیم، کلر، خشکی و دیگر اثرات فرعی همچون ازت و بی‌کربنات بستگی دارد. دشت رفسنجان یکی از اقتصادی‌ترین دشت‌های کشور، به دلیل افت شدید سطح آب زیرزمینی، جزو دشت‌های ممنوعه از لحاظ برداشت آب است؛ لذا مطالعه اصولی آن از حساسیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد.

Mortazavi و همکاران در سال ۲۰۰۹، کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان را مورد مطالعه قرار دادند و عنوان کردند که کیفیت آب آن از جنوب شرق به شمال غرب در حال نزول است [۶]. Taghizadeh و همکاران در سال ۲۰۰۹، به منظور پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب به بررسی روش‌های مختلف تعیین کیفیت آب در نرم افزار ArcGIS پرداختند [۷]. Zamzam و همکاران در سال ۲۰۱۰، ارزیابی کیفی آب زیرزمینی از نظر تغییرات کلر با استفاده از مدل ریاضی MT3DMS را به صورت موردی در دشت رفسنجان مورد بررسی قرار دادند [۸]. Zamzam و همکاران در سال ۲۰۱۱، به بررسی روند تغییرات شوری (EC) موجود در آب زیرزمینی توسط مدل عددی MT3DMS در دشت رفسنجان پرداختند [۹]. Mal-akootian و همکاران در سال ۲۰۱۲، به بررسی کیفیت آب شرب بردسیر پرداختند که در آن ۲۷۲۶ نمونه برای آزمایش میکروبی و ۱۳۴ نمونه برای آزمایش شیمیایی از شبکه‌های توزیع آب شرب شهرها و روستاهای تحت مطالعه برداشت گردید. در تحقیق صورت گرفته توسط این پژوهشگران، معیارهای خوردگی شامل اندیس‌های لانژلیه، رایزنر و تهاجمی و پارامترهای غلظت نیترات و نیتریت، تعداد کلیفرم مدفوعی و کلر باقی‌مانده مورد پایش قرار گرفت [۱۰].

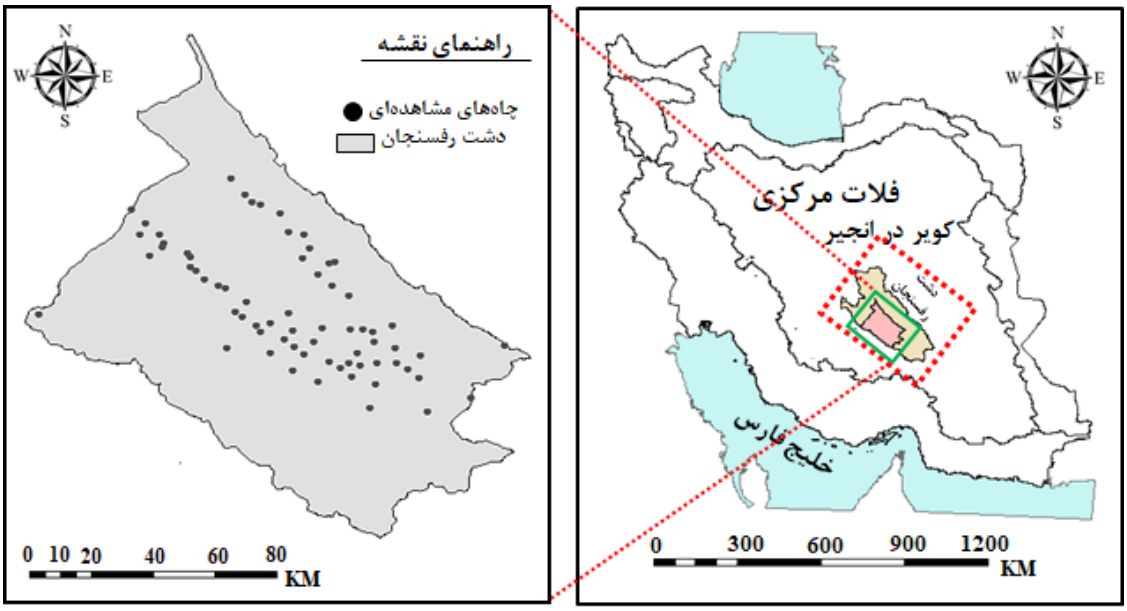
Zamzam و همکاران در سال ۲۰۱۲، به مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان TDS موجود در آب زیرزمینی توسط مدل ریاضی و در دشت رفسنجان پرداختند. در این پژوهش، به منظور بررسی میزان TDS آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان مدل کمی و کیفی دشت توسط مدل‌های MT3DMS و MODFLOW تهیه گردید و کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت در شمال غرب دشت رفسنجان پیشنهاد شد [۱۱]. Ghafouri Fard و Amiri در سال ۲۰۱۳، تغییرات مکانی- زمانی کیفیت آب زیرزمینی دشت رفسنجان را مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه از داده‌های کیفی آب زیرزمینی، حدود ۶۵ حلقه چاه در دشت رفسنجان در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸ استفاده شد، که در آن با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ[1] در محیط نرم افزار GIS بر اساس استاندارد طبقه‌بندی ویلکوکس اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شد. نتایج نشان داد که روند کاهش کیفیت آب زیرزمینی برای تمام منطقه مورد مطالعه در تمام جهات وجود دارد [۱۲].

Joghatayi و همکاران در سال ۲۰۱۵، به بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت جغتای پرداختند که در آن از شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه با توجه به عبور از سازندهای متنوع دارای کیفیت پایینی است [۱۳].

Hosseini و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در محدوده‌ی شبکه‌های آبیاری و زهکشی با اهداف شرب و کشاورزی در دشت عباس پرداختند [۱۴]. در این تحقیق، جهت بررسی ترکیب شیمیایی آب زیر زمینی منطقه مورد مطالعه از تعداد ۲۱ حلقه چاه استفاده شده بود. Khan و همکاران در سال ۲۰۱۹، تجزیه و تحلیل هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی در مناطق Remah و Al Khatim امارات متحده عربی را مورد بررسی قرار دادند [۱۵]. Rahaman و همکاران در سال ۲۰۱۹، به مدل‌سازی اطلاعات آب‌های زیرزمینی استخراج شده از داده‌های GRACE در حوزه رودخانه کلرادو پرداختند [۱۶].

برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در دشت رفسنجان، افت شدید سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب دشت با توجه به اهمیت اقتصادی آن، مطالعات بیشتری را می‌طلبد تا با استفاده از ابزارهای جدید و دقیق بتوان کیفت آب دشت را تعیین و تصمیمات جدی را اتخاذ کرد. بنابراین، در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در دشت رفسنجان، از روش تعیین کیفیت بر اساس طبقه‌بندی کیفیت آب آبیاری دانشگاه کالیفرنیا مبتنی بر ابزار ساده و ارزشمند تحلیل سلسله مراتبی[2] (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. سیستم اطلاعات جغرافیایی یکی از ابزارهای قدرتمند آنالیز کیفیت است؛ زیرا، این ابزار به صورت مکانی قادر به بررسی مسئله و ارائه یک پاسخ بهینه است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نیز یک روش کلی ارائه شده برای سنجش مسائل کمی و کیفی است که بخش وسیعی از مسائل چند معیاره را حل می‌کند. در نهایت به منظور اعتبار بخشی به نتایج حاصل از پهنه‌بندی کیفیت آب، صحت و درستی آن‌ها از دیاگرام ویلکوکس که یک روش آمار مبنا است، استفاده شد.

1 Kriging
2 Analytical Hierarchy Process



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای

Fig. 1. Study area and location of observation wells

۲- روش شناسی

۲- ۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه مطابق با شکل ۱، بخشی از حوضه آبریز درجه دو کویر دره انجیر- ساغند بوده که این حوضه آبریز جزو حوضه‌های آبریز درجه یک فلات مرکزی ایران محسوب می‌گردد. دشت رفسنجان با وسعت ۱۲۵۱۳/۷ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه ۵۲ دقیقه تا ۵۶ درجه ۳۴ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه ۵۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه و در ارتفاع ۱۴۰۰ متر تا ۳۴۴۳ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد واقع شده است. محدوده مطالعاتی رفسنجان به شکل مستطیل مانند در امتداد جنوب شرق به شمال غرب کشیده شده است. متوسط میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه ۱۰۷/۶ میلی‌متر در سال و متوسط تبخیر سالیانه بیش از ۳۰۰۰ میلی‌متر از سطح آزاد تشتک تبخیر می‌باشد.

به طور معمول از منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان دو بار در سال (تابستان و زمستان) نمونه برداری انجام شده و مورد تجزیه و تحلیل شیمیایی قرار می‌گیرد. در تحقیق حاضر، از داده‌های ۶۸ حلقه چاه و قنات که توسط سازمان آب منطقه‌ای کرمان در زمستان ۱۳۹۴ نمونه برداری شده است، استفاده شد. همچنین در شکل ۱ موقعیت چاه‌های نمونه برداری شده در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

۲- ۲- روش تحقیق

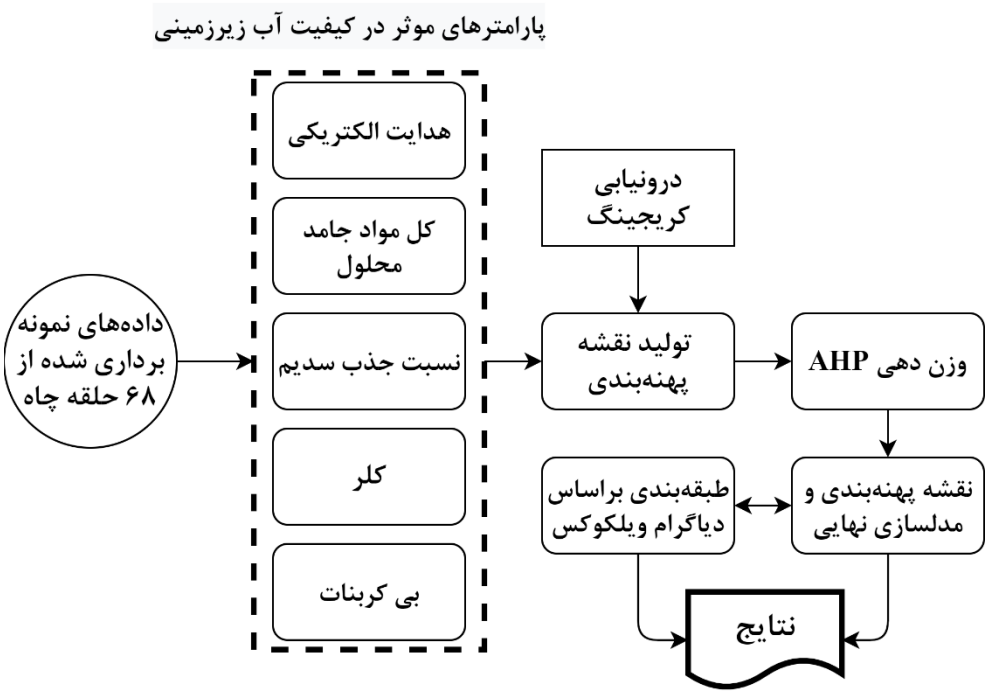
فرایند انجام تحقیق حاضر در فلوچارت شکل ۲ نشان داده است.

۲- ۲- ۱- پارامترهای موثر در تعیین کیفیت آب

با توجه به طبقه‌بندی کیفیت آب آبیاری توسط دانشگاه کالیفرنیا [۱۷] (جدول ۱)، پارامترهای شوری آب، شاخص نفوذپذیری، غلظت مواد سمی و دیگر اثرات فرعی جزو عوامل تاثیرگذار بر کیفیت آب هستند. همان‌طور که قبلا اشاره شد، شوری آب شامل هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول است. شاخص نفوذپذیری با توجه به نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی آب تقسیم‌بندی می‌شود که شاخص نسبت جذب سدیم (SAR) از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. همچنین کلر باعث ایجاد مسمومیت گیاهی و بی‌کربنات جزء اثرات فرعی کیفیت آب محسوب می‌شود [۱۸].

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \qquad (۱)$$

در این رابطه Na^{+}، Ca^{2+} و Mg^{2+} به ترتیب نشان دهنده غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر هستند.



شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام تحقیق

Fig. 2. Flowchart of research steps

۲- ۲- ۲- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی روشی است منعطف، قوی و ساده برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد باشد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. این روش در سال ۱۹۸۰ توسط Thomas L.Saaty پیشنهاد گردید و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است [۱۹]. این فرآیند شامل یک سلسله مراتب چهار سطحی از جمله: هدف، معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها است. تبدیل موضوع یا مسئله مورد بررسی به یک ساختار سلسله مراتبی، مهم‌ترین قسمت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود. زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل سخت و پیچیده، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی آن‌ها را به شکلی ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل می‌کند.

به عبارت دیگر، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه به عناصر جزئی به شکل ساده‌تری در می‌آورد که به صورت سلسله مراتبی به هم مرتبط هستند. به منظور تعیین ضریب اهمیت (وزن)، هر کدام از معیارها و زیرمعیارها به صورت دودویی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در جدول ۲، اهمیت هر یک از ۹ کمیت با توجه به هدف مورد بررسی، میزان برتری معیار i نسبت به معیار j تعیین می‌شود. بعد از تعیین ضرایب اهمیت هر کدام از معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت هر کدام از گزینه‌ها تعیین می‌شود. در مرحله بعد، ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها مورد بررسی قرار گرفته و اگر معیاری زیرمعیار نداشته باشد، مستقیماً با خود آن معیار مورد مقایسه قرار می‌گیرد. اساس این تصمیم‌گیری همان مقیاس ۹ کمیتی Saaty است، با این تفاوت که در مقایسه گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از معیارها و زیرمعیارها، بحث اینکه کدام گزینه مهم‌تر است؟ مطرح نیست، بلکه کدام گزینه ارجح است؟ و چقدر؟ مطرح است [۲۰].

۲- ۲- ۳- تولید نقشه پهنه‌بندی پارامترها

در تحقیق حاضر، پارامترهای کیفی مورد استفاده جهت پهنه‌بندی و تعیین کیفیت آب عبارت است از: هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیم، کلر و بی‌کربنات. به این منظور برای هر یک از پارامترها در نرم افزار ArcGIS درون‌یابی به روش کریجینگ انجام شد که یکی از بهترین روش‌های آماری می‌باشد. در نهایت پس از عملیات Reclassify در نرم افزار، نقشه‌های پهنه‌بندی هر کدام از معیارها استخراج شد.

جدول ۱. طبقه بندی کیفیت آب برای آبیاری (دانشگاه کالیفرنیا)

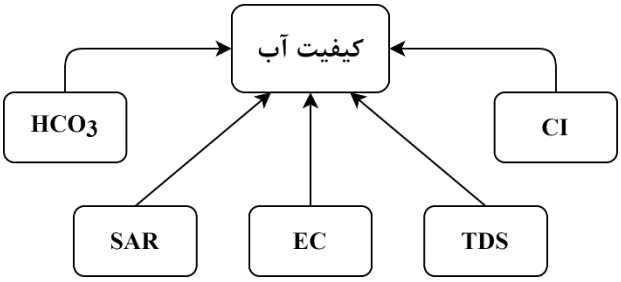
Table 1. Water Quality classification for irrigation (University of California)

طبقه بندی مشکلات	واحد	درجه مشکلات استفاده		
		بدون مشکل	کم تا متوسط	شدید
شوری:				
هدایت الکتریک آب ECw[1]	ds/m	<0.7	0.7-2	>2
باقی‌مانده خشک TDS	mg/l	<450	2000-450	>2000
نفوذپذیری: بر مبنای ECw و TDS آب آبیاری				
SAR= صفر تا ۳ و ECw برابر با:	ds/m	>0.7	0.7-0.2	>0.2
SAR= 3 تا 6 و ECw برابر با:	ds/m	>1.2	1.2-0.3	<0.3
SAR= 6 تا 12 و ECw برابر با:	ds/m	>1.9	1.9-0.5	<0.5
SAR= 12 تا 20 و ECw برابر با:	ds/m	>2.9	1.3-2.9	<1.3
SAR= 20 تا 40 و ECw برابر با:	ds/m	>5.0	5-2.9	<2.9
مسمومیت‌های گیاهی:				
سدیم (NA)				
آبیاری سطحی SAR	me/l	<3	9-3	>9
آبیاری بارانی SAR	me/l	<3	>3	-
کلر (Cl)				
آبیاری سطحی	me/l	<4	4-10	>10
آبیاری بارانی	me/l	<3	>3	-
بر (B)	me/l	<0.7	0.7-3	>3.0
مواد فرعی:				
ازت	me/l	<5	5-30	>30
بی کربنات	me/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5

جدول ۲. مقیاس اهمیت روش تحلیل سلسله مراتبی

Table 2. Importance scale of hierarchical analysis method

امتیاز	
۱	اهمیت مساوی
۳	اهمیت اندکی بیشتر
۵	اهمیت بیشتر
۷	اهمیت خیلی بیشتر
۹	اهمیت مطلق
۲،۴،۶،۸	حالت‌های میانه



شکل ۳. نمایش هدف و معیارهای ارزیابی

Fig. 3. Demonstration of purpose and evaluation criteria

۲- ۲- ۴- درون‌یابی کریجینگ

در حالت کلی درون‌یابی به فرایندی اطلاق می‌شود که طی آن مقادیر مجهول یک کمیت با مختصات مجهول با استفاده از مقادیر معلوم همان کمیت‌ها در مختصات معلوم تعیین می‌شود. روش کریجینگ، یکی از پرکاربردترین روش‌های درون‌یابی است که بر مبنای میانگین متحرک وزن‌دار می‌باشد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های روش کریجینگ این است که به ازاء هر تخمین، خطای مرتبط با آن را نیز برآورد می‌کند. این در حالی است که در روش‌های کلاسیک مانند رگرسیون و معکوس وزنی فاصله، خطای تخمین قابل محاسبه نیست [۲۱].

۲- ۲- ۵- وزن‌دهی پارامترها

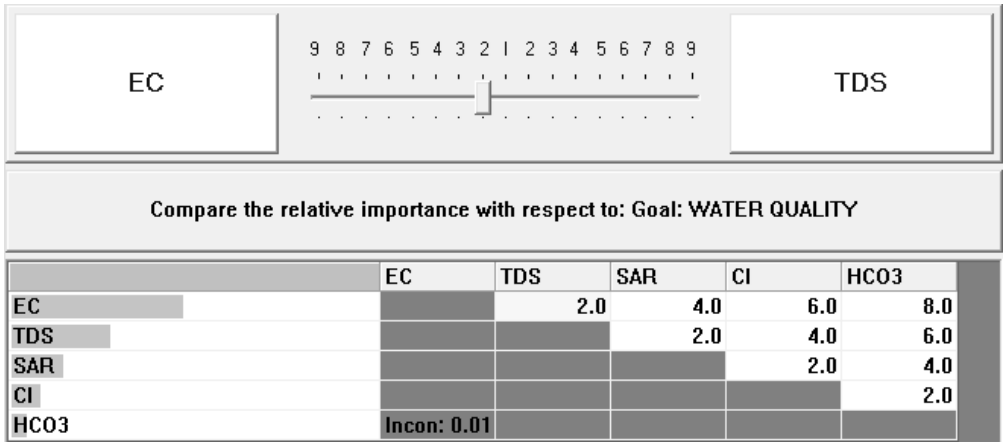
با توجه به اینکه هدف، ارزیابی مجموعه‌ای از گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف می‌باشد، باید از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شود. یکی از پرکاربردترین این روش‌ها، روش تحلیل سلسله مراتبی است. به منظور محاسبه وزن هر کدام از معیارها از نرم افزار Expert Choice استفاده شد. این نرم‌افزار برای تحلیل مسائل چند معیاره با استفاده از روش فرآیند سلسله مراتبی طراحی شده است. Expert Choice نرم افزاری است آسان و سریع برای کالیبره کردن فرآیند تصمیم‌گیری که برای کمک به درک بیشتر محققین ساخته شده است. این نرم افزار دارای یک بخش گرافیکی است که قادر است قضاوتی از معیارها و هدف نهایی که سرانجام به‌دست می‌آید، ارائه دهد. این نرم افزار به واسطه آنالیز حساسیتی که انجام می‌دهد باعث افزایش دقت و اعتبار در نتایج می‌شود [۲۰].

در این مرحله، به منظور تعیین کیفیت آب از چندین معیار کیفی مانند EC, TDS, SAR, Cl, HCO_3 استفاده شد. در شکل ۳، هدف و معیارهای مورد استفاده به منظور تعیین کیفیت آب به صورت گرافیکی نشان داده شده است. برای شروع کار در نرم افزار ابتدا لازم بود تا مقایسه دودویی بین معیارها صورت گیرد که در شکل ۴ ماتریس حاصل از مقایسه زوجی بین پارامترها نشان داده شده است. با توجه به اقلیم، وضعیت زمین‌شناسی، کیفیت خاک و محصولات کشاورزی در هر منطقه، تاثیر پارامترهای کیفی در تعیین کیفیت نهایی آب آن منطقه متفاوت خواهد بود. به همین دلیل با نظرسنجی علمی از چندین متخصص و کارشناس آب در شهرستان رفسنجان اهمیت هر یک از پارامترها نسبت به دیگری به صورت تجربی به‌دست آمد. به عنوان مثال همان‌طور که ملاحظه می‌شود، رابطه دودویی بین هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول که عدد ۲ ذکر شده است به این معنا است که هدایت الکتریکی دو واحد بیشتر از کل مواد جامد محلول ارجحیت دارد.

پس از ارزیابی هر یک از معیارها نسبت به هم، وزن هر یک از معیارها تعیین شد که نتایج حاصل از نرم افزار در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق با شکل ۱۰، وزن هر یک از پارامترهای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیم، کلر و بی‌کربنات به ترتیب ۰/۴۷۱، ۰/۲۶۸، ۰/۱۴۳، ۰/۰۷۵ و ۰/۰۴۴ می‌باشد که نشان دهنده اهمیت و تاثیر هر یک از آن‌ها در تعیین نقشه نهایی کیفیت آب می‌باشد.

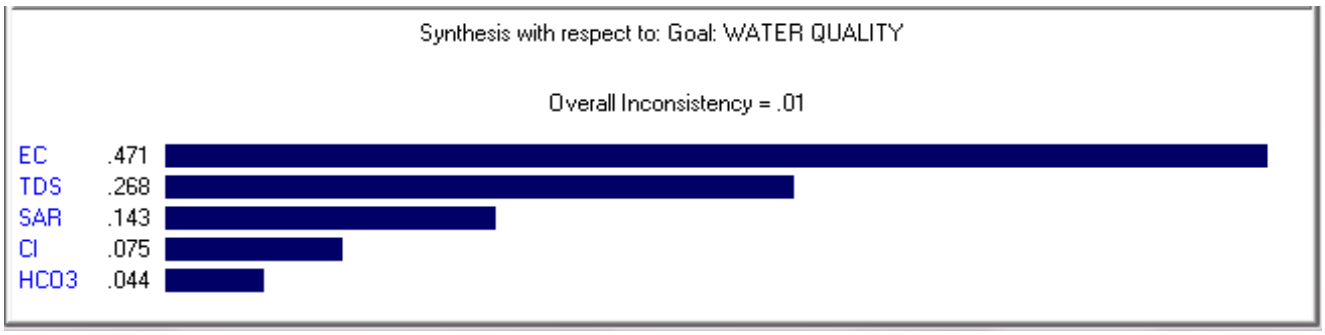
۲- ۲- ۶- تلفیق نقشه‌های پهنه‌بندی و تعیین کیفیت نهایی

لایه‌های پهنه‌بندی شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS با در نظر گرفتن وزن به‌دست آمده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با یکدیگر تلفیق شده و نقشه نهایی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تعیین شد. به این منظور از ابزار Raster Calculator در محیط GIS استفاده شد. به این صورت که وزن محاسبه شده متناسب با هر معیار در آن ضرب شده و در نهایت با تلفیق تمامی این لایه‌ها با یکدیگر نقشه نهایی کیفیت آب‌های زیر زمینی تولید می‌شود.



شکل ۴. امتیازدهی پارامترها بر اساس نظرات خبرگان

Fig. 4. Scoring parameters based on expert opinions



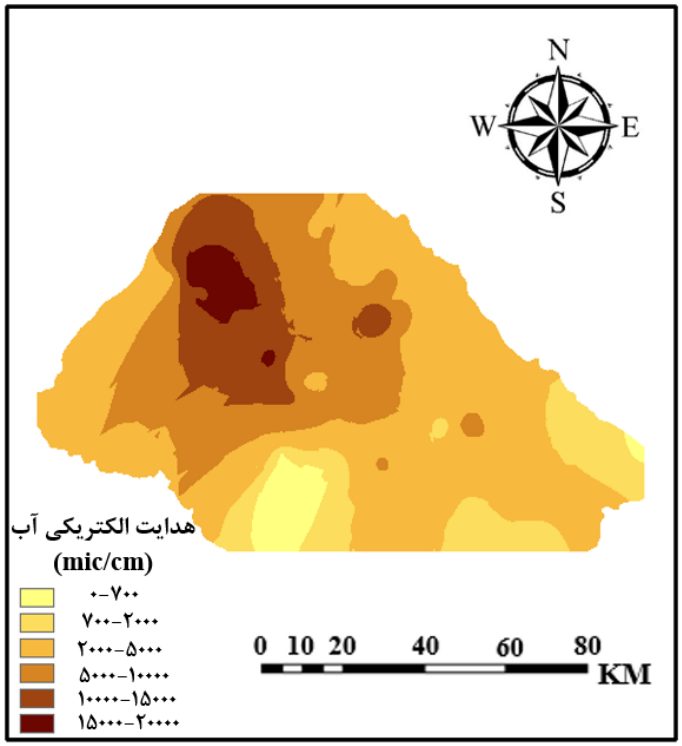
شکل ۵. وزن نهایی محاسبه شده توسط نرم افزار Expert choice

Fig. 5. Final weight calculated by Expert choice software

۲- ۲- ۷- طبقه‌بندی بر اساس دیاگرام ویلکوکس

دیاگرام ویلکوکس[1] یک روش بسیار متداول در طبقه‌بندی کیفیت آب می‌باشد. این طبقه‌بندی در سال ۱۹۴۸ توسط ویلکوکس ارائه شد و در نهایت در سال ۱۹۵۱ توسط نورن تکمیل شد. در این طبقه‌بندی دو عامل هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در نظر گرفته می‌شود، که هر یک از آن‌ها به چهار قسمت تقسیم شده و در مجموع باعث پدید آمدن شانزده گروه کیفیت آب می‌گردد. به عبارت دیگر، در نمودار ویلکوکس که متشکل از دو محور افقی و عمودی می‌باشد، محور افقی به شوری آب (بر حسب میکرو موس بر سانتی‌متر، و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد. موقعیت مربوط به هر آب در منطقه‌ای قرار می‌گیرد که با حروف C از نظر شوری و S از نظر سدیم مشخص می‌گردد. مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب نشان دهنده کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد می‌باشد. به عنوان مثال، اگر کیفیت آبی در منطقه C_1S_2 قرار گیرد به این معنی است که شوری آن زیاد و سدیم آن متوسط است و یا اگر در محدوده C_1S_2 واقع شود، دارای شوری کم و سدیم متوسط می‌باشد. بر اساس نمودار ویلکوکس: آب‌هایی با کیفیت خیلی خوب که در آن‌ها EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و در کلاس C_1S_1 قرار دارند، آب‌هایی با کیفیت خوب که مربوط به یکی از کلاس‌های C_2S_1، C_2S_2، C_1S_2 می‌باشند، آب‌هایی با کیفیت متوسط که مربوط به یکی از کلاس‌های C_3S_3، C_1S_3، C_2S_3، C_3S_1، C_3S_2، C_2S_4، C_1S_4، C_3S_4، C_4S_4، C_4S_1، C_4S_2، C_4S_3 قرار دارند. لازم به ذکر است که هر چقدر اندیس این کلاس‌ها بزرگ‌تر می‌شود، دارای کیفیت نامناسب‌تری می‌شوند [۱۸].

1 Wilcox



شکل ۶. نقشه پهنه بندی هدایت الکتریکی آب

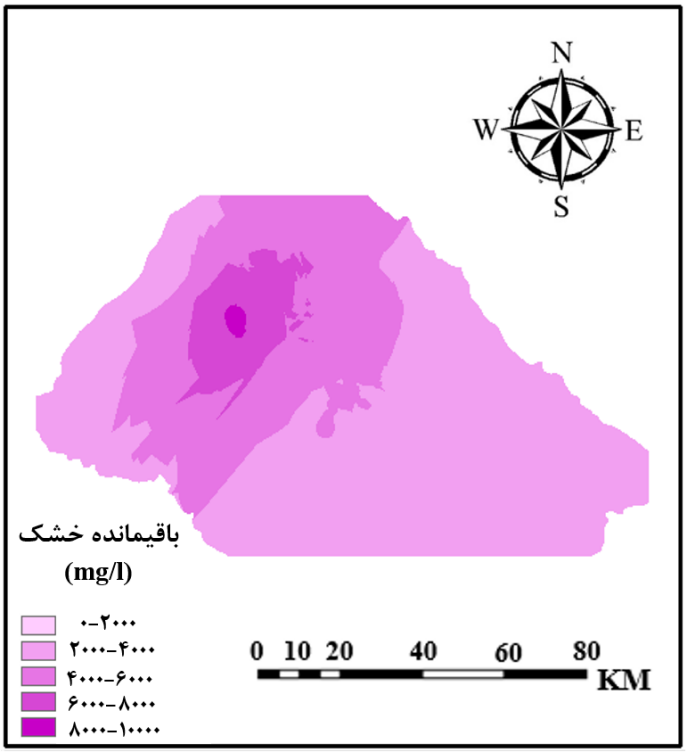
Fig. 6. Electrical conductive water zoning map

۳- نتایج و بحث

در ابتدا پارامتر یا معیار هدایت الکتریکی مورد پهنه‌بندی قرار گرفت. در بین چاه‌ها و قنات‌ها، حداقل هدایت الکتریکی برابر ۴۶۰ میکروموس بر سانتی‌متر (µmhos/cm) مربوط به قنات خنامان و حداکثر هدایت الکتریکی برابر ۱۹۹۷۰ میکروموس بر سانتی‌متر مربوط به چاه محمد آباد خواجه انار می‌باشد. در حالی که بر اساس جدول طبقه‌بندی کیفیت آب دانشگاه کالیفرنیا، مقادیر صفر تا ۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر به عنوان آب‌های بدون مشکل، مقادیر ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر به عنوان آب‌های با درجه مشکل متوسط و مقادیر بیش از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر به عنوان آب با درجه مشکلات شدید تقسیم‌بندی شده است. بنابراین میزان شوری در قسمت شمال غربی دشت رفسنجان شدید بوده و با امتداد در راستای جنوب شرقی از میزان شوری کاسته می‌شود. در شکل ۶ نتایج حاصل از این پهنه‌بندی نشان داده شده است. برداشت بیش از حد آب زیرزمینی در افزایش هدایت الکتریکی منطقه تاثیر به سزایی دارد، بنابراین می‌توان عنوان کرد که افزایش تعداد چاه‌های مجاز و غیرمجاز در قسمت شمال غرب دشت و برداشت بی‌رویه از آن‌ها منجر به افزایش مقدار هدایت الکتریکی در این قسمت از دشت شده است. این افزایش منجر به بالا رفتن فشار اسمزی[1] خاک می‌شود که می‌تواند بر قدرت مکش گیاه تاثیر گذاشته و آن را کاهش دهد.

دومین پارامتر مورد بررسی، معیار کل مواد جامد محلول است. حداقل کل مواد جامد محلول برابر ۲۹۹ میلی‌گرم بر لیتر مربوط به قنات خنامان و حداکثر مقدار این پارامتر برابر ۱۲۹۸۱ میلی‌گرم بر لیتر و مربوط به چاه محمد آباد خواجه انار می‌باشد. این درحالی است که بر اساس جدول طبقه‌بندی کیفیت آب دانشگاه کالیفرنیا، مقادیر بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به عنوان آب با درجه مشکلات شدید تقسیم‌بندی شده است. شکل ۷ روند تغییرات کل مواد جامد محلول را نشان می‌دهد. بالا بودن بیش از حد این پارامتر در قسمت‌های مختلف دشت نشان دهنده میزان املاح نسبتا زیاد موجود در آب می‌باشد که می‌تواند ناشی از افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و کاهش سطح ایستابی باشد.

1 Osmotic Pressure



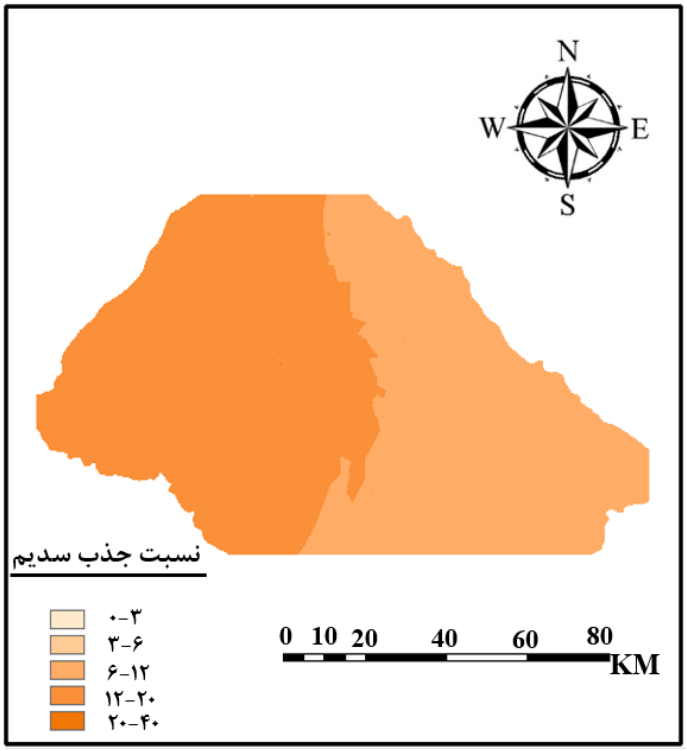
شکل ۷. نقشه پهنه بندی باقیمانده خشک

Fig. 7. Total Dissolved Solids zoning map

سومین معیار از پارامترهای مورد استفاده، شاخص نسبت جذب سدیم است. این شاخص بدون بعد، حدودا منطقه را به دو قسمت شرقی و غربی تقسیم کرده است که در شکل ۸ نتایج حاصل از این پهنه‌بندی نشان داده شده است. مقادیر پهنه‌بندی شده در قسمت شرقی بین ۶ تا ۱۲ و در قسمت غربی بین ۱۲ تا ۲۰ است. همچنین برخی از نقاط دشت به صورت نقطه‌ای شامل سایر مقادیر نیز می‌باشند. شاخص نسبت جذب سدیم یک شاخص مفید برای ارزیابی خطر میزان سدیم در آب برای محصولات کشاورزی است.

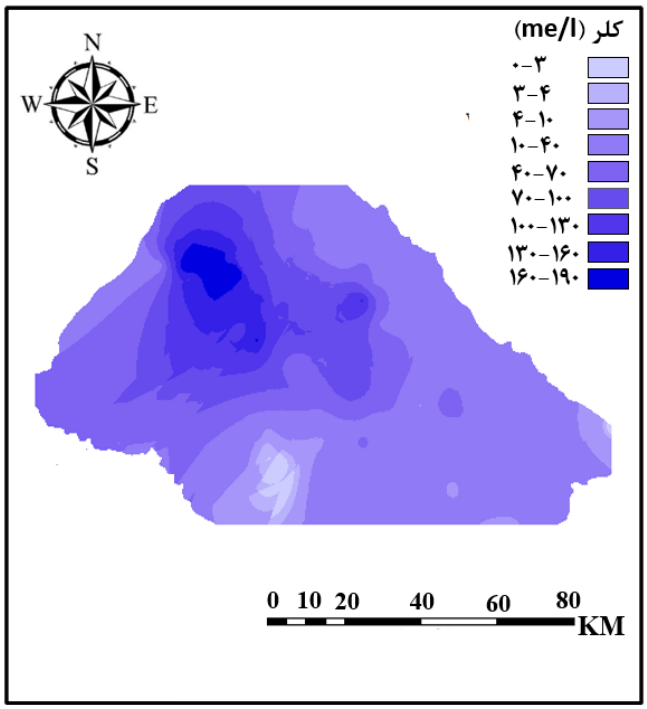
هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی بسیار مهم هستند. هدایت الکتریکی نشان دهنده مقدار کل یون‌های محلول در آب است، در حالی که نسبت جذبی سدیم واحد برتری نسبی سدیم در مقایسه با مقدار کلسیم و منیزیم محلول در آب است. با توجه به رابطه ۱، نسبت جذبی سدیم با افزایش میزان سدیم نسبت به کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد. مقدار زیاد یون‌های سدیم در آب باعث ایجاد مشکل در نفوذپذیری خاک و در نتیجه جذب کمتر آب توسط ریشه می‌شود. افزایش سدیم ممکن است باعث ایجاد مشکلات دیگری مانند اشباع موقت خاک سطحی، pH بالا و افزایش علف‌های هرز، فرسایش خاک، کمبود اکسیژن و کاهش مواد مغذی در خاک شود.

کلر، پارامتر دیگری است که موجب مسمومیت گیاهی می‌شود. در شکل ۹ روند تغییرات میزان کلر در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است که در آن حداقل میزان کلر برابر با ۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq/L)، مربوط به قنات خنامان و حداکثر میزان آن ۲۰۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر، مربوط به چاه محمد آباد خواجه انار می‌باشد. بر اساس جدول طبقه‌بندی کیفیت آب دانشگاه کالیفرنیا مقادیر بیش از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به عنوان آب با درجه مشکلات شدید تقسیم‌بندی شده است. از دلایل اصلی بالا بودن این پارامتر در دشت می‌توان به فعالیت‌های زیاد کشاورزی، برگشت آب کشاورزی به آب زیرزمینی، افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و کاهش سطح ایستایی اشاره کرد.



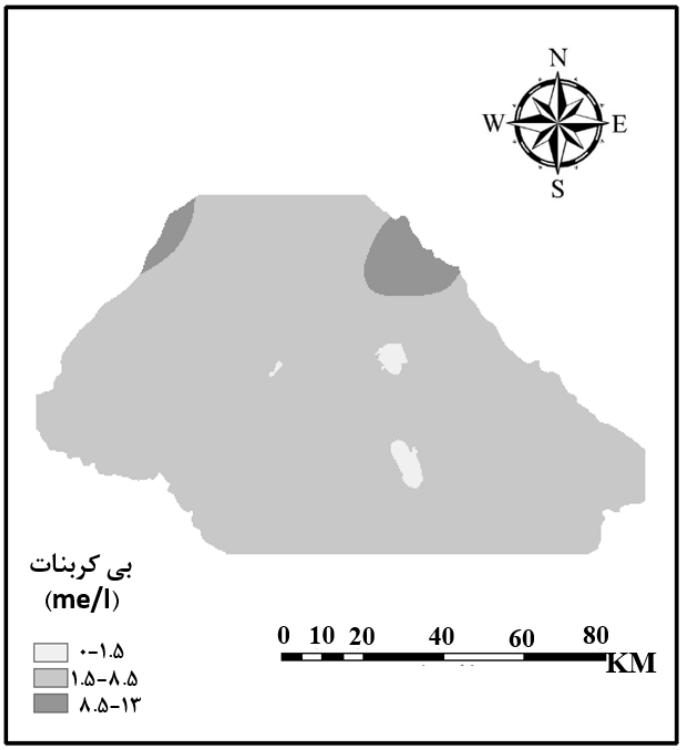
شکل ۸. نقشه پهنه بندی نسبت جذب سدیم

Fig. 8. Sodium adsorption ratio zoning map



شکل ۹. نقشه پهنه بندی کلر

Fig. 9. Chlorine zoning map



شکل ۱۰. نقشه پهنه بندی بی کربنات

Fig.10. Bicarbonate zoning map

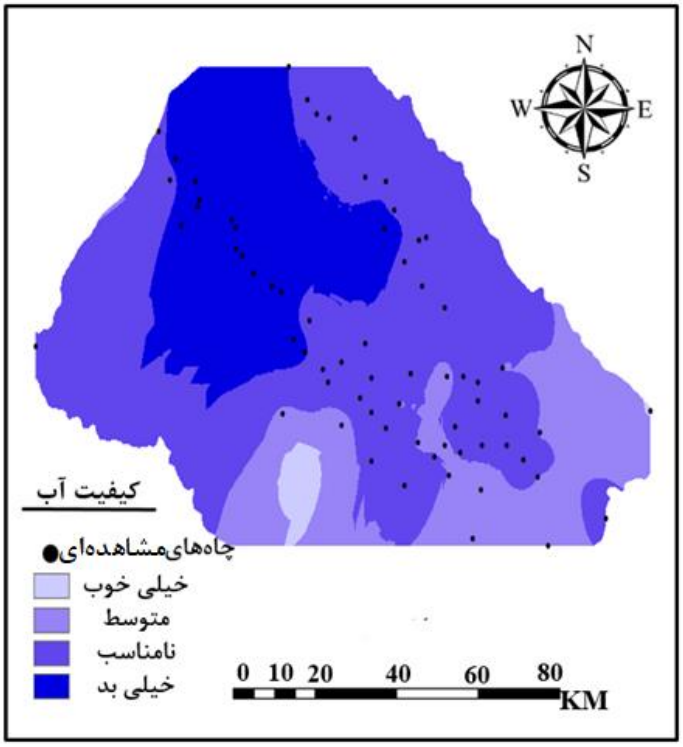
آخرین پارامتر از معیارهای تصمیم‌گیری به منظور پهنه‌بندی کیفی آب، بی‌کربنات[1] است که نتایج حاصل از پهنه‌بندی آن در شکل ۱۰ نشان داده شده است. حداقل میزان بی‌کربنات برابر با ۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر، مربوط به چاه‌های ابولفضل آباد، کورگه معین، لطف آباد ابوالحسنی، نازی آباد و حداکثر میزان بی‌کربنات برابر با ۱۳/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر، مربوط به چاه سعادت آباد انار می‌باشد. بر اساس جدول ۱ مقادیر بین صفر تا ۱/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به عنوان آب‌های بدون مشکل، مقادیر بین ۱/۵ تا ۸/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به عنوان آب‌های با درجه مشکل متوسط و مقادیر بیش از ۸/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به عنوان آب با درجه مشکلات شدید تقسیم‌بندی شده است. بالا بودن میزان بی‌کربنات در نقاطی از دشت می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی ریشه گیاهان، ترکیب اکسیژن با مواد آلی موجود در خاک و واکنش‌های شیمیایی مختلف باشد.

۳- ۱- نتایج نقشه نهایی تعیین کیفیت آب

لایه‌های پهنه‌بندی شده در نرم‌افزار ArcGIS با در نظر گرفتن وزن به‌دست آمده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با یکدیگر تلفیق شد و نقشه نهایی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطابق شکل ۱۱ به‌دست آمد.

با توجه به نقشه نهایی مکان‌یابی کیفیت آب، حدود ۱/۶٪ از مساحت منطقه منطقه مورد مطالعه را آب‌هایی با کیفیت خیلی خوب، ۲۰٪ با کیفیت متوسط، ۵۲/۷٪ با کیفیت نامناسب و ۲۵/۷٪ را با کیفیت خیلی بد تشکیل می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کیفت نامناسب آب در جهت شمال غربی به جنوب شرقی دشت و در امتداد چاه‌های حفر شده ادامه پیدا کرده است. با جانمایی چاه‌ها بر روی نقشه نهایی کفیت آب می‌توان درصد چاه‌ها را نیز در هر منطقه به‌دست آورد. طبق نتایج، ۱/۶٪ چاه‌ها در منطقه خیلی خوب، ۱۷/۶ ٪ چاه‌ها در منطقه متوسط، ۵۸/۸٪ چاه‌ها در منطقه نامناسب و ۲۲٪ چاه‌ها در منطقه خیلی بد واقع شده‌اند. تقریبا در تمامی نقشه‌های پهنه‌بندی، قسمت شرقی دشت کیفیت مطلوب‌تری نسبت به قسمت غربی دارد و این امر در نقشه نهایی نیز قابل مشاهده است. از دلایل کاهش کیفیت آب در قسمت غربی منطقه مورد مطالعه می‌توان به فعالیت‌های زیاد کشاورزی، برگشت آب کشاورزی به آب زیرزمینی، چاه‌های غیرمجاز بهره‌برداری شده، برداشت بی‌رویه آب توسط کشاورزان و کاهش سطح ایستابی در این ناحیه اشاره کرد.

1 bicarbonate



شکل ۱۱. نقشه نهایی کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

Fig. 11. Final map of groundwater quality in the study area

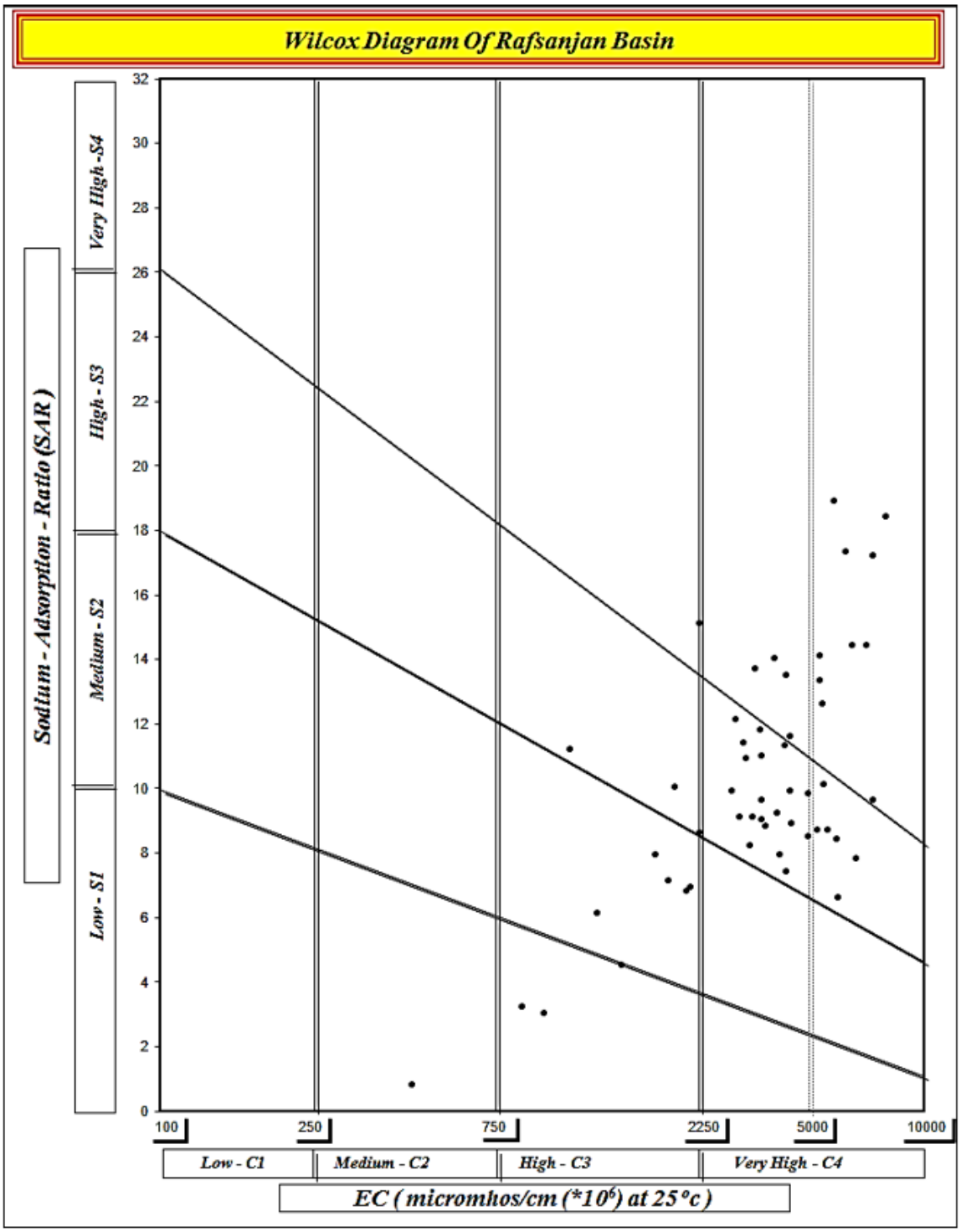
۳- ۲- نتایج استفاده از دیاگرام ویلکوکس

علاوه بر نقشه ارائه شده و اطلاعات مکانی- کیفی، بر اساس دیاگرام ویلکوکس که یک روش آمار مبنا می‌باشد نیز می‌توان اطلاعات کمی مطلوبی را به دست آورد. در نمودار ویلکوکس محور افقی به هدایت الکتریکی برحسب میکروموس بر سانتی‌متر و محور عمودی به نسبت جذب سدیم اختصاص دارد. داده‌های مربوط به چاه‌های مورد مطالعه در نمودار ویلکوکس جانمایی شده و نتیجه آن در شکل ۱۲ قابل رویت است.

بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های برداشت شده، دیاگرام ویلکوکس جهت بررسی آماری کیفیت آب آبیاری ترسیم شد. طبق دیاگرام حدود ۱/۵٪ این چاه‌ها در طبقه C_2S_1، ۴/۴ ٪ در طبقه C_3S_1، ۷/۴ ٪در طبقه C_3S_2، ۴/۴ ٪ در طبقه C_3S_3، ۳۸/۲ ٪ در طبقه C_4S_3، ۲۰/۵ ٪ در طبقه C_4S_4 جای می‌گیرند و مابقی به دلیل EC بالا در این نمودار قرار نمی‌گیرند. یعنی به طور کلی ۱/۵٪ آب چاه‌های منطقه با کیفیت خوب، ۱۶/۲٪ با کیفیت متوسط، ۶۰/۲٪ با کیفیت نامناسب و ۲۲/۱٪ از چاه‌ها به دلیل کیفیت بسیار بد آب اصلا در دیاگرام جای نمی‌گیرند.

نتایج نشان می‌دهد که اکثر چاه‌ها، شوری و سدیم نسبتا بالایی دارند. Nagaraju و همکاران در سال ۲۰۱۴ عنوان کرده‌اند که شوری از راه‌های مختلف بر رشد گیاه تاثیر می‌گذارد. بنابراین، مقدار زیاد نمک در آب یکی از مشکلات اصلی آب‌های کشاورزی است [۲۲]. افزایش شوری مانع از رسیدن مواد مغذی به ریشه گیاه و فرسایش خاک می‌شود. از راه‌حل‌های مقابله با این مشکل می‌توان به کاشت محصولات مقاوم به شوری اشاره کرد. هر چند که درخت پسته از محصولاتی است که مقاوم به شوری است اما افزایش هدایت الکتریکی آب می‌تواند کشت و آبیاری درختان مقاوم به شوری را با مشکل مواجه کند. با افزایش هدایت الکتریکی مقدار فشار اسمزی خاک افزایش یافته و در نتیجه قدرت مکش گیاه کاهش می‌یابد.

در نهایت نتایج حاصل از روش پهنه‌بندی به وسیله GIS و AHP با توجه به طبقه‌بندی کیفیت آب آبیاری دانشگاه کالیفرنیا تعیین و مقادیر محاسبه شده با دیاگرام ویلکوکس مقایسه گردید. نتایج این مقایسه در جدول ۳ نشان داده شده است. با مقایسه نتایج حاصله از دو روش می‌توان مشاهده کرد نتایج به هم نزدیک هستند و اختلاف چندانی ندارند. تفاوت جزئی



شکل ۱۲. دیاگرام ویلکوکس

Fig. 12. Wilcox diagram

درصدها می‌تواند ناشی از اختلاف پارامترهای تاثیرگذار در دو روش، انتخاب روش درون‌یابی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی، وضعیت نسبی چاه‌ها بر روی نقشه پهنه‌بندی و یا نمودار ویلکوکس باشد. با این حال، اعداد به هم نزدیک هستند و می‌توان از اعتبار نتایج اطمینان حاصل کرد. بنابراین به کارگیری روشی که اطلاعات را به صورت مکانی تجزیه و تحلیل می‌نماید بسیار کارآمد است.

جدول ۳. مقایسه نتایج حاصل از نقشه پهنه بندی و نمودار ویلکوکس

Table 3. Comparison the results of the zoning map and Wilcox diagram

درجه بندی کیفیت	نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب (درصد)	نتایج نمودار ویلکوکس (درصد)
خوب	۱/۶	**۱/۵**
متوسط	۱۷/۶	**۱۶/۲**
نامناسب	۵۸/۸	**۶۰/۲**
خیلی بد	۲۲	**۲۲/۱**

۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، به منظور ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان از دو روش مکان‌یابی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به همراه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و همچنین روش تحلیل آماری بر مبنای دیاگرام ویلکوکس استفاده شد. به طور کلی از اطلاعات آنالیز شیمیایی ۶۸ حلقه چاه موجود در منطقه مورد مطالعه برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی استفاده شد. سپس پارامترهایی همچون هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیم، کلر و بی‌کربنات برای تعیین کیفیت آب انتخاب شدند تا پس از وزن‌دهی به روش تحلیل سلسله مراتبی و استفاده از ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی بتوان کیفیت آب منطقه را برای مصارف کشاورزی مکانیابی کرد. به منظور اعتبارسنجی نتایج به‌دست آمده از نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب از دیاگرام ویلکوکس استفاده شد تا صحت و درستی آن‌ها مورد بررسی قرار بگیرد. بر اساس نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب، ۱/۶٪ آب‌های منطقه دارای کیفیت خوب، ۱۷/۶٪ دارای کیفیت متوسط، ۵۸/۸٪ دارای کیفیت نامناسب و ۲۲٪ دارای کیفیت بسیار بدی است. نمودار ویلکوکس نیز آمار تقریبا نزدیکی به نتایج نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب دارد. بر اساس این نمودار ۱/۵٪ آب‌های منطقه کیفیت خیلی خوب، ۱۶/۲٪ کیفیت مناسب، ۶۰/۲٪ کیفیت نامناسب و ۲۲/۱٪ کیفیت بسیار بدی دارند. نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت خوبی با نتایج تحقیق غفوری فرد و امیری که در سال ۲۰۱۳ انجام شده است دارد. در واقع مقایسه روش‌های فوق نشان داد که نقشه‌های پهنه‌بندی تولید شده از سیستم اطلاعات جغرافیایی با نتایج حاصل از دیاگرام ویلکوکس مطابقت دارد. علاوه بر این، امکان تعیین موقعیت مکانی پهنه‌های مختلف کیفیت آب وجود داشته و می‌توان با اطمینان بیشتری تصمیم‌گیری کرد. در واقع یکی از اهداف GIS ایجاد قدرت تصمیم‌گیری برای مدیران می‌باشد که با دیدگاه مکانی به مسائل و مشکلات مختلف می‌توانند آ را مورد بررسی دقیق قرار دهند. در تحقیق حاضر، با بهره‌گیری از سیستم GIS، موقعیت مکانی آب‌های زیرزمینی برحسب کیفیت و درصد مشخص شد. با این تحلیل‌ها می‌توان به سهولت برای مناطق مختلف سیاست‌گذاری‌های مناسبی در نظر گرفت که از تاثیرات اولیه آن افزایش کیفیت محصولات کشاورزی خواهد بود. همچنین می‌توان منابع تاثیرگذار بر پایین آوردن کیفیت آب‌های زیرزمینی را شناسایی کرد و در بهبود کیفیت آب‌های آن حوضه تصمیم‌گیری نمود.

پیشنهادات

همان‌طور که مشاهده شد کیفیت آب نامناسب را تقریبا بخش عمده‌ای از دشت تحت پوشش قرار داده است. بنابراین در بخش کشاورزی می‌توان به خوبی تصمیماتی را اتخاذ کرد تا از پیشروی بیشتر کیفت آب نامناسب جلوگیری شود. چندین نمونه از راهکارهای فنی و مدیریتی جهت کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی به شرح زیر است:

فرهنگ‌سازی کمبود آب در بین روستاییان و کشاورزان و صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی، قیمت‌گذاری آب کشاورزی، پیگیری و انسداد چاه‌های غیرمجاز، نصب کنتورهای هوشمند آب و برق بر روی چاه‌ها، بهره‌برداری از چاه‌های کشاورزی در ساعات مشخصی از روز، بررسی سطح زیر کشت و متناسب بودن آن با آب ورودی، استفاده از روش‌های آبیاری مناسب و مطابق با نوع کشت، راه اندازی خطوط انتقال آب در سطح مزارع و باغات و کشت ارقام مقاوم به خشکی.

منابع

[1] H. Pour Moghadas, A study of ground water quality in Lenjan township of Isfahan province, Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research, 1(4) (2003) 31-40. /In Persian

[2] S. Saidi, S. Bouri, H.B. Dhia, B. Anselme, A GIS-based susceptibility indexing method for irrigation and drinking water management planning: Application to Chebba–Mellouleche Aquifer, Tunisia, Agricultural Water Management, 96(12) (2009) 1683-1690.

[3] M. Delbari, M.B. Motlagh, M. Kiani, M. Amiri, Investigating spatio-temporal variability of groundwater quality parameters using geostatistics and GIS, International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 4(12) (2013) 3623-3632.

[4] D. Karunanidhi, G. Vennila, M. Suresh, S. Subramanian, Evaluation of the groundwater quality feasibility zones for irrigational purposes through GIS in Omalur Taluk, Salem District, South India, Environmental Science and Pollution Research, 20(10) (2013) 7320-7333.

[5] J.M. Peragón, A. Delgado, F.J. Pérez-Latorre, A GIS-based quality assessment model for olive tree irrigation water in southern Spain, Agricultural Water Management, 148 (2015) 232-240.

[6] S.-M. Mortazavi, K. Soleimani, S.A. Hosseini, K. Soleimani, F. Ghaffari- Movafag, The effects of unregulated groundwater abstraction on water quality, a case study in Rafsanjan plain in GIS environment, in: First International Conference on Water Crisis, Zabol, 2009. /In Persian

[7] R. Taghizadeh-Mehrjardi, M. Zareian-Jahromi, S. Mahmoodi, A. Heidari, F. Sarmadian, Investigation of Interpolation Methods to Determine Spatial Distribution of Groundwater Quality in Rafsanjan, Iranian Jornal of Watershed Management Science&Engineering, 2(5) (2009) 63-70. /In Persian

[8] Z. Abbas, M.B. Rahnama, B. Etebari, A. Rezaei, Groundwater quality assessment for chlorine changes using MT3DMS mathematical model (Case study: Rafsanjan plain), in: 10th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, 2010. /In Persian

[9] Z. Abbas, M.B. Rahnama, Investigation of the trend of salinity (EC) changes in groundwater by MT3DMS numerical model Case study of Rafsanjan plain, in: 9th Iran Hydraulic Conference, , Tehran, Iran Hydraulic Association, Tarbiat Modares University, 2011. /In Persian

[10] M. Malakootian, J. Momeni, Quality Survey of Drinking Water in Bardsir, Iran 2009-2010, Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences, 11(4) (2012) 403-410. / In Persian

[11] Z. Abbas, M.B. Rahnama, Modeling and Predicting TDS in Groundwater by Mathematical Model Case Study: Rafsanjan Plain - Kerman, in: 4th Iranian Water Resources Management Conference, Kerman, 2012. /In Persian

[12] S. Ghafouri Fard, M. Amiri, Investigation of spatial-temporal changes in groundwater quality in Rafsanjan plain for agricultural purposes, in: National Conference on Water and Wastewater Engineering, Kerman, 2013. / In Persian

[13] H. Joghatayi, R. Dabiri, M.E. Moslempour, M. Otari, R. Sharifiyan Attar, Groundwater quality assessment using the Groundwater Quality Index and GIS in Joghatay plain, NE Iran, Human & Environment, 13(4) (2015) 17-25.

[14] A. Hosseini, p. poormohammad, E. yarmohamadi, groundwater quality, electrical conductivity, hydrochemical facies, DASHTEABAS, Iranian Jornal of Watershed Management Science&Engineering, 12(40) (2018) 51-58.

[15] Q. Khan, E. Kalbus, D.M. Alshamsi, M.M. Mohamed, M.U. Liaqat, Hydrochemical Analysis of Groundwater in Remah and Al Khatim Regions, United Arab Emirates, Hydrology, 6(3) (2019) 60.

[16] M.M. Rahaman, B. Thakur, A. Kalra, S. Ahmad, Modeling of GRACE-Derived Groundwater Information in the Colorado River Basin, Hydrology, 6(1) (2019) 19.

[17] L. Doneen, Water quality for Agriculture, Department

of Irrigation, University of California, Davis, (1964) 48.

[18] M. Mahdavi, Applied hydrology, Third ed., University of Tehran, Tehran, 2002. /In Persian

[19] E.R. Jalao, T. Wu, D. Shunk, A stochastic AHP decision making methodology for imprecise preferences, Information Sciences, 270 (2014) 192-203.

[20] R.M. Yunus, Z. Samadi, N.M. Yusop, D. Omar, Expert choice for ranking heritage streets, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 101 (2013) 465-475.

[21] A.A. Hasani Pak, Geostatistics, University of Tehran, Tehran, 2007. /In Persian

[22] A. Nagaraju, K.S. Kumar, A. Thejaswi, Assessment of groundwater quality for irrigation: a case study from Bandalamottu lead mining area, Guntur District, Andhra Pradesh, South India, Applied Water Science, 4(4) (2014) 385-396.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. Salehi, A. Esmaeily, H. Farhadi , Determination of Groundwater Quality Using a GIS-AHP Based System and Compared with Wilcox Diagram (Case Study: Rafsanjan Plain), Amirkabir J. Civil Eng., 54(1) (2022) 283-298.

DOI: 10.22060/ceej.2021.18764.6954