پتانسل‌یابی موقعیت مناسب کشت محصولات کشاورزی با بهره‌گیری از یک سامانه GIS-AHP مبنا در دشت سیرجان

حمید باقری*[1]، فرخنده رفیعی[2]

۱- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

۲- عضو هیات علمی، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: h-bagheri@tvu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۵- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۳۰)

چکیده

ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی در مدیریت صنعت کشاورزی، از اهمیت خاصی برخوردار است. افت سطح آب زیرزمینی در دشت‌ها به علت بهره‌برداری بی‌رویه و خشکسالی، مشکلات زیست‌محیطی زیادی ایجاد می‌کند. یکی از مهم‌ترین این مشکلات، نامناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی و تاثیر نامطلوب در مصرف آن می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیرجان برای استفاده در مصارف کشاورزی می‌باشد. در این مطالعه، ابتدا آب زیرزمینی دشت سیرجان براساس ۹ پارامتر سولفات، بی‌کربنات، کلسیم، منیزیم، کلر، سدیم، خاصیت اسیدی آب، مقدار کل مواد محلول در آب و هدایت الکتریکی آب پهنه‌بندی شده، سپس برای همگن کردن هر کدام از لایه‌های تهیه شده، روش فازی به کار رفت. به منظور تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی، از روش میانگین عکس فاصله و برای وزن‌دهی به لایه‌ها و تهیهٔ نقشهٔ نهایی کیفیت آب، از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. نتایج نشان داد که خشکسالی-های اخیر، کاهش بارندگی و برداشت از منابع آب زیرزمینی باعث بالا رفتن مقدار EC از مقدار استاندارد با میانگین ۶۸۲۰/۵۷۵ میکروزیمنس و بالا رفتن مقدار TDS از مقدار استاندارد با میانگین ۳۸۹۱/۵۷ میلیگرم بر لیتر شده است. همچنین کیفیت آب حدود ۵۵٪ منطقهٔ مورد مطالعه برای کشاورزی مطلوب و با توجه به نمودارهای مقدار کل مواد محلول در آب و هدایت الکتریکی آب، غلظت آنها باعث نامناسب بودن کیفیت حدود ۴۵ درصد از مساحت زمین‌های دشت در قسمت‌های شرقی و مرکزی شده است. به طور کلی نتایج، ارتباط عناصر بررسی شده را تایید می‌کند به نحوی که برخی از این عناصر تاثیر مهمی بر روی کیفیت آب زیرزمینی داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: **زمین‌شناسی، کیفیت عناصر آب، تحلیل سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات مکانی، روش فازی**

مقدمه

کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی با توجه به افزایش شهرنشینی و عوارض جانبی آن رو به وخامت است. رشد شهرها، افزایش فعالیت‌های صنعتی و استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی باعث آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است که این

تغییرات روی سلامتی انسان و حیوانات و گیاهان مضر می‌باشد(Sahasrabuddhe *et al.*, 2003). پیشرفت روش‌های سنجش از دور از یک طرف و استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری در زمینه‌های مختلف کمیت و کیفیت آب از طرف دیگر، امکان دسترسی به حجم عظیمی از داده‌ها را در زمینه‌های مختلف مهندسی آب در مناطق مختلف جهان مهیا کرده است. در مسائل کنترل، ذخیره‌سازی و به هنگام نمودن منابع آب، بررسی و تجزیه و تحلیل این حجم از داده‌ها نیازمند استفاده از امکانات خاص نرم‌افزاری و سخت‌افزاری است که سیستم‌های اطلاعات مکانی به نحو مطلوبی آن را فراهم می‌سازند (Almasri & Kaluarachchi, 2007).

سیستم اطلاعات مکانی (GIS) یکی از بهترین ابزارها برای بررسی منابع آب، با در نظر گرفتن پارامتر مکان می‌باشد. از جمله مهمترین قابلیت های GIS استفاده از روش‌های زمین‌آمار با دقت بالا برای تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی است. از دیگر روش‌های تهیهٔ کیفیت آب، روش فازی است. در سال‌های اخیر، با استفاده از منطق فازی، مطالعات بسیاری دربارهٔ موضوعات کیفیت منابع آب سطح بررسی کیفی آب با اهداف کشاورزی انجام شده است (Mokarram, 2016). در تحقیقی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی دشت ورامین با تاکید بر مصارف آشامیدنی مورد مطالعه قرار گرفت و در این راستا از سه پارامتر TH ، TDSو ECبه عنوان عوامل محدود کننده جهت مصارف شرب استفاده شد. توزیع مکانی این سه پارامتر جهت تهیه تغییرات نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی در یک دوره پنج ساله با استفاده از روش‌های میان‌یابی به کمک ترکیب منطق بولن و فازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش عکس فاصله در میان‌یابی پارامتر TDS و EC نسبت به روش‌های زمین‌آماری برتری دارند(Malekian *et al.*, 2016).

در پژوهشی دیگر به مطالعه ارائه یک شاخص جامع کیفی برای آب‌های زیرزمینی بر پایه‌ی منطق فازی براساس خصوصیات مختلف کیفی آب پرداختند. در این مطالعه از ۲٤ پارامتر مختلف فیزیکوشیمیایی آب براساس تاثیرات آن بر روی کیفیت آب و همچنین مصرف کننده استفاده شده است. طراحی شاخص کیفی براساس سیستم استنتاج فازی و به روش ممدانی صورت گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، می‌توان گفت که شاخص کیفی آب پیشنهاد شده توسط این مطالعه می‌تواند به عنوان ابزار جامعی برای نشان دادن کیفیت واقعی آب به ویژه در زمانی که با اهداف مصارف انسانی همراه باشد، مورد استفاده قرار گیرد (Hasani *et al.*, 2012).

در مطالعه‌ای تغییرات ویژگی‌های هیدروشیمیایی آبهای سطحی شرق حوضه رودخانه نیجر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد کاربرد روش‌های آماری چند متغیره برای متغیرهای هیدروشیمیایی به صورت غالب تحت تأثیر عوامل طبیعی و درجه فعالیت‌های انسانی است (Ekwere *et al.*, 2011). به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه اوگان(جنوب غربی نیجریه)، داده‌های کیفیت آب برای ۸ نقطه طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ نمونه‌برداری گردید. با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره از قبیل تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه‌ای (CA)، ١٤ پارامتر

فیزیکی- شیمیایی از جمله دما، PH، TS، TDS و ... مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که دما، TS و NO3 مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت آب در این سال‌ها بوده است و می‌تواند برای کاهش تعداد نمونه‌برداری‌ها و جلوگیری از اتلاف زمان در تحلیل اطلاعات استفاده گردد(Oketola *et al*., 2013).

با استفاده از روش فازی، تأثیر هدایت الکتریکی در آب و خاک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، در تعیین کیفیت آب در منطقهٔ مورد مطالعه، دقت روش ممدانی ٪۷۶ و سوگنو ٪۵۲ بود (Aliabadi & Soltanifard, 2014). با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و شاخص حساسیت آب (SWI) کیفیت آب‌های زیرزمینی در تونس مورد بررسی قرار گرفت (Saidi *et al*., 2014). همچنین با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات مکانی و به کارگیری پارامترهایی همچون هدایت الکتریکی، سدیم، نسبت جذب سدیم و کل مواد جامد محلول در آب، کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت شیراز تعیین گردید (Delbari *et al*., 2013).

در تحقیقی که در سال ۲۰۱۳ با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و نمودار ویلکوکس انجام شد، کیفیت آب مصرفی برای اهداف کشاورزی را مورد ارزیابی قرار گرفت (Karunanidhi *et al*., 2013). همچنین در سال ۲۰۱۵ برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی در جنوب اسپانیا از سیستم اطلاعات مکانی استفاده کردند (Peragón et al., 2015).

در پژوهشی دیگر کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت جغتای بررسی گردید که در آن از شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات مکانی 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(Joghatayi *et al*., 2015). در سال ۲۰۱۸ در پژوهشی به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در محدوده شبکه‌های آبیاری و زهکشی با اهداف شرب و کشاورزی در دشت عباس پرداخته شد(Hosseini, 2018). همچنین در سال ۲۰۱۹ تجزیه و تحلیل هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی در مناطق Remah و Al Khatim امارات متحده عربی مورد بررسی قرار گرفت (Khan *et al*., 2019).

برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در دشت سیرجان، افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب دشت، مطالعات بیشتری را طلب می‌کند تا با استفاده از ابزارهای دقیق بتوان کیفت آب دشت را مشخص و برنامه‌ریزی و تصمیمات بهتری را اتخاذ نمود. سیستم اطلاعات مکانی به دلیل اینکه به صورت مکانی قادر به بررسی مسئله و ارائه یک پاسخ بهینه است یکی از ابزارهای قدرتمند تحلیل کیفیت به حساب می‌آید؛ 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. با توجه به دقت بالای روش فازی در مطالعاتی که تاکنون انجام شده و اهمیت بررسی کیفیت آب، در این مطالعه از روش یادشده و روش مدل تحلیل سلسله مراتبی به منظور تعیین کیفیت آب در دشت سیرجان بهره گرفته شد. استفاده همزمان از روش فازی و مدل AHP و امکانات فناوری نوین سیستم اطلاعات مکانی از نوآوری این تحقیق به شمار می‌آید.

در این راستا هدف از ایـن تحقیق پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیرجان بـه لحاظ قابلیت کشاورزی و بررسی کیفیت آن می باشد. همچنین به منظور کاهش تعداد نمونه‌برداری‌ها و صرفه‌جـویی در هزینـــه و زمـان تحلیـــل اطلاعـات، ارزیـــابی ۹ متغیـــر کیفـــی (سولفات، بی‌کربنات، کلسیم، منیزیم، کلر، سدیم، خاصیت اسیدی آب، مقدار کل مواد محلول در آب و هدایت الکتریکی آب) آب‌های زیرزمینـی دشت سیرجان بـا استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، برای شناسایی و استخراج عوامل مهم و مؤثر در کیفیـت آب زیرزمینـی در منطقه مطالعاتی انجام گرفت.

روش تحقیق

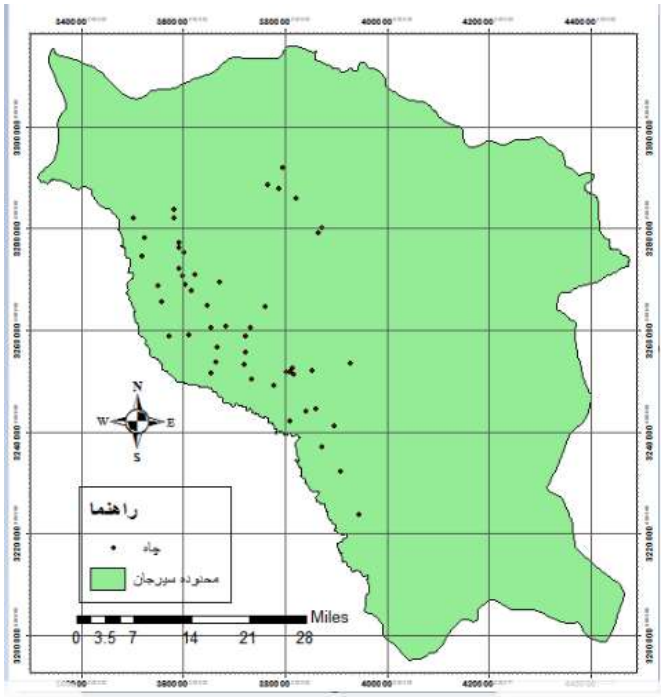
منطقه مورد مطالعه

منطقـه مـورد مطالعـه در ایـن تحقیـق، حـوزه آبخیـز شهرستان سیرجان با مساحت تقریبی ۱۸٤۸۱ کیلـومتر مربع و مختصـات جغرافیـایی ۵۵ درجـه و ۳۲ دقیقـه طول شرقی و ۲۹ درجـه و ۲۵ دقیقـه عـرض شـمالی واقع در غرب استان کرمان می‌باشد. دشت سیرجان با وسعت حدود ۸۰۲۷ کیلومتر مربع در جنـوب شـرقی ایران و در اسـتان کرمـان واقـع شـده اسـت. متوسـط ارتفـاع منطقـه از سـطح دریـا ۱۷۱۰ متـر و متوسـط بارندگی، درجه حرارت و تبخیر و تعرق سالانه حوزه بـه ترتیـب ۱٦۰ میلـی‌متـر، ۱٦ درجـه سـانتی‌گـراد و ۲٤٦۳,۵ میلی‌متر می‌باشد. در یک نتیجه‌گیری کلـی از نمودارهای میزان بارندگی و درجه حرارت شهرسـتان سیرجان مطابق نمودار آمبروترمیک سـیرجان در یـک دوره آمـاری (۱۳۸۸-۱۳٦۸) نشـان داد کـه در ایـن شهرستان از اردیبهشت تا آبان فصل خشک (بارندگی کم و درجه حرارت زیاد) وجود دارد و تنها ۵ مـاه از سال (آذر تا فروردین) با فصل خشک مواجـه نیسـت که بر این اساس آب و هوای شهرسـتان سـیرجان در نوع آب و هوای سرد و خشک قرار می‌گیرد. موقعیت محدوده مـورد مطالعـه در شـکل ۱ نشـان داده شـده است.

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

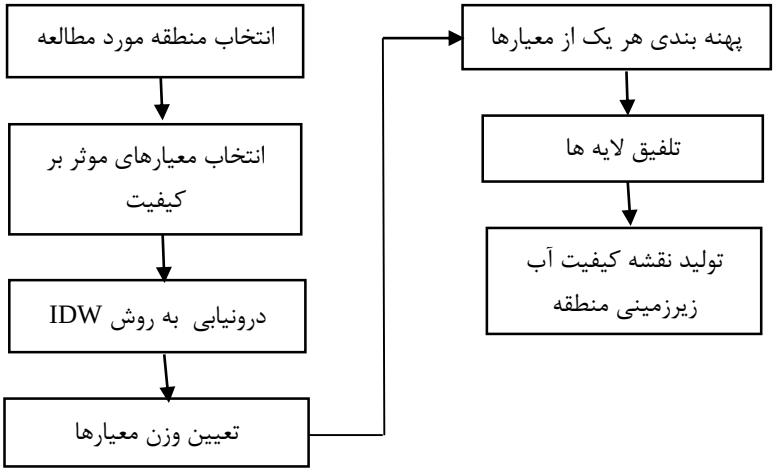
در این پژوهش، به منظور تعیین کیفیت آب زیرزمینی از آمار و اطلاعات ۵۷ چاه استفاده و مقدار سولفات، بی‌کربنات، کلسیم، منیزیم، کلر، پتاسیم، خاصیت اسیدی آب، مقدار کل مواد محلول در آب و هدایت الکتریکی آب برای هریک از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. پراکنش نقاط نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- پراکنش نقاط نمونه‌برداری

روش تحقیق

پس از تعیین محدوده مورد مطالعه و مشخص کردن معیارهای موثر بر کیفیت آب، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS درونیابی میانگین عکس فاصله IDW انجام و برای هر پارامتر یک نقشه پهنه‌بندی تهیه گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس برای هر کدام از عناصر، وزنی در نظر گرفته شده و در نهایت نقشه‌ها با هم تلفیق شده و یک نقشه نهایی تهیه گردید. شمایی کلی از بیان روش کار به صورت شکل ۳ در قالب یک طرح ساده بیان شده است.



شکل ۳. طرح کلی روش انجام کار

فرایند تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی روشی قوی و ساده است که 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 (Jalao & Shunk, 2014). به طور کلی AHP شامل سه گام کلی است: ایجاد ساختار سلسله مراتبی، مقایسه دو به دوی المان‌های ساختار سلسله مراتبی و ارزش-دهی معیارها. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه به عناصر جزئی به شکل ساده‌تری درمی‌آورد 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 (۱) 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، مستقیما با خود آن معیار مورد مقایسه قرار می‌گیرد. اساس این تصمیم‌گیری همان مقیاس ۹ کمیتی است که در مقایسه گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از معیارها و زیرمعیارها، بحث اینکه کدام گزینه ارجح است مطرح می‌باشد(Yunus *et al.*, 2013).

روش درون‌یابی معکوس فاصله (IDW)

روش درون‌یابی IDW بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. به بیانی دیگر پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیک‌ترین نقاط برداشت شده دارد، لذا برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آن‌هایی که در فاصله دورتر قرار دارند، داشته باشند. در این مدل از فاصله به عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط

اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود، زیرا نقش متغیر پیوسته در تأثیرگذاری با فاصله از مکان نقطه مجهول کاهش می‌یابد. بنابراین هر چه فاصله داده معلوم از نقطه مجهول بیشتر شود، لازم است وزن‌ها براساس فاصله کاهش یابد.

درون‌یابی در این شیوه به این ترتیب برآورد می‌شود که محدوده مورد نظر تبدیل به ماتریسی با سلول‌های هم‌اندازه می‌شود. مختصات مکانی این ماتریس مشخص و دارای واحد اندازه‌گیری می‌باشد. برای مثال دارای سلول‌های ۵۰×۵۰ متری است. در این شبکه مقدار متغیر در بعضی سلول‌ها معلوم است یا به عبارتی اندازه‌گیری شده است و در سایر سلول‌ها این میزان نامعلوم است. سلول‌هایی که ارزش آن نامعلوم است با استفاده از سلول‌های اطراف در یک شعاع مشخص براساس رابطه(۱) برآورد می‌گردد.

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i * Z(S_i) \qquad (1)$$

که در آن $Z(S_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت $\mathbf{i}$ و $\lambda_\mathbf{i}$ وزن مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت $\mathbf{i}$ است. S موقعیت پیش‌بینی و N تعداد نقاط اندازه‌گیری شده یا معلوم و $\lambda_\mathbf{i}$ تابعی از فاصله بین آنها می‌باشد، یا به عبارتی هرچه فاصله کمتر است، تأثیر نقطه مجهول بیشتر می‌باشد، لذا معکوس فواصل بین آنها به عنوان وزن در مدل به کار می‌رود.

با توجه به اینکه هر یک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب واحد متفاوتی دارد، به منظور همگن کردن داده ها از روش فازی استفاده شد. مفهوم تابع عضویت فازی از اهمیت ویژه‌ای در تئوری مجموعه‌های فازی برخوردار می‌باشد، چرا که تمام اطلاعات مربوط به یک مجموعه فازی به وسیله تابع عضویت آن توصیف و در تمام کاربردها و مسائل تئوری مجموعه‌های فازی از آن استفاده می‌گردد. تابع عضویت مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند و در واقع به تابعی که میزان درجه عضویت عضوهای مختلف را به یک مجموعه نشان دهد، تابع عضویت می‌گویند. برای نشان دادن تابع عضویت فازی از حرف μ استفاده می‌شود. تابعی که درجه عضویت عضو $\mathbf{x}$ به مجموعه فازی $\tilde{A}$ را نشان می‌دهد با $\mu\,\tilde{A}(x)$ نشان داده می‌شود.

به طورکلی، تابع عضویت در مدل فازی طبق رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$A = \{x, \{\mu A(x)\} \text{ for each } x \varepsilon X.....\} \qquad (2)$$

مقادیر این تابع عضویت، براساس میزان اهمیت آن در کیفیت آب، بین صفر تا ۱ است. از آنجا که، با افزایش هر یک از عناصر در آب، کیفیت آن کاهش می‌یابد؛ در این مطالعه از تابع عضویت خطی ذوزنقه‌ای یک طرفه طبق رابطه (۳) استفاده گردید.

$$\mu\,\tilde{A}(x) = f(x) = \begin{cases} 1 & x \le I \\ J - x/J - I & I \le x \le J \\ 0 & x \ge J \end{cases} \qquad (3)$$

I و J حدود بحرانی هر یک از پارامترها را نشان می‌دهد و $\mathbf{x}$ مقادیر واقعی هر یک از پارامترها است.

پارامترهای موثر در تعیین کیفیت آب و وزندهی پارامترها

با توجه به طبقه‌بندی کیفیت آب آبیاری توسط دانشگاه کالیفرنیا (Ayers & Westcot, 1985) پارامترهای شوری آب، شاخص نفوذپذیری، غلظت مواد سمی و دیگر اثرات فرعی جزء عوامل تاثیرگذار بر کیفیت آب هستند. 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 (٤) محاسبه می‌شود (Yunus *et al*., 2013).

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \quad (4)$$

در این رابطه Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^{+} به ترتیب نشان‌دهنده غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم بر حسب میلی اکی والان در لیتر هستند. در این مرحله پارامترهای موثر بر کیفیت آب زیرزمینی برای کشاورزی با توجه به نظر کارشناسان مورد مقایسه قرار گرفته و برای هر کدام با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس وزنی تعیین شده است. این نرم‌افزار دارای یک بخش گرافیکی است که می تواند قضاوتی از معیارها و هدفی که در نهایت به دست می‌آید، ارائه دهد. این نرم‌افزار به واسطه آنالیز حساسیتی که انجام می‌دهد باعث افزایش دقت و اعتبار در نتایج می‌شود.

نرم‌افزار مذکور برای اجرای فرایند سلسله مراتبی و تحلیل مسائل چند معیاره ایجاد شده است.AHP به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که از مقایسه دو به دوی پارامترها استفاده کرده تا به درجه‌بندی الویت‌های مربوط به گزینه-های مختلف برسد. با تحقیقاتی که برای مقایسه‌ی معیارها انجام شد دامنه ای از اعداد شامل مقادیر عددی ۱ تا ۹ پیشنهاد شد. هر کدام از این اعداد نشان‌دهنده درجه‌ی اهمیت هستند به طوری که مقدار ۱ نشان‌دهنده اهمیت برابر و مقدار ۹ نشان دهنده اهمیت بسیار زیاد یک شاخص به دیگری است (جدول ۱).

جدول ۱- نحوه قضاوت شفاهی برای مقایسه زوجی در روش AHP

درجه اهمیت	تعریف	توضیح
۱	اهیمت برابر	در تحقق هدف دو معیار اهمیت مساوی دارند
۳	اهمیت اندکی بیشتر	برای تحقق هدف اهمیت **i** کمی بیشتر از **j** است.
۵	اهمیت بیشتر	اهمیت **i** بیشتر از **j** است.
۷	اهمیت خیلی بیشتر	اهمیت **i** خیلی بیشتر از **j** است.
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر **i** نسبت به **j** به طور قطعی به اثبات رسیده است.
۸و٦و٤و۲	اهمیت متوسط	هنگامی که حالت میانه ای وجود دارد.

وزن هر کدام از پارامترهای موثر در جدول۲ نشان داده شده است.

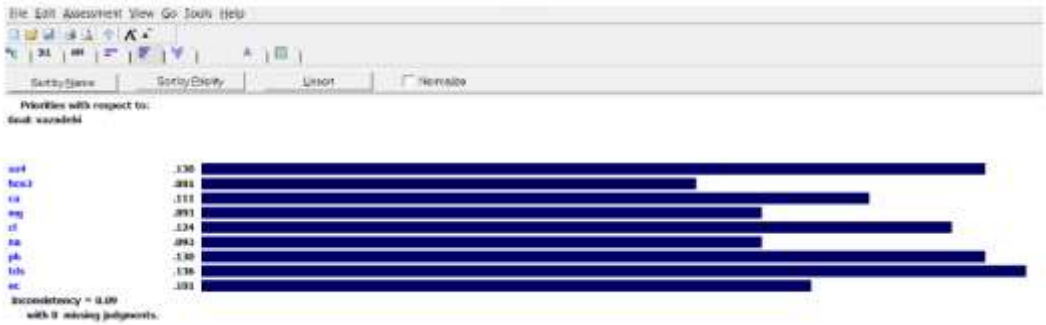
جدول۲- وزن هر کدام از معیار های موثر در کیفیت آب

معیار	وزن
سولفات	۰/۱۳۰
بی کربنات	۰/۰۸۱
کلسیم	۰/۱۱۱
منیزیم	۰/۰۹۳
کلر	۰/۱۲٤
سدیم	۰/۰۹۳
PH	۰/۱۳۰
TDS	۰/۱۳٦
EC	۰/۱۰۱

در شکل ٤ مقایسه زوجی بین پارامترها که به صورت یک ماتریس مربعی خود را به نمایش می-گذارد و در شکل ۵ وزن پارامترهای محاسبه شده با استفاده از نرم‌افزار EXPERT CHOICE نشان داده شده است.

.

شکل ٤- ماتریس مقایسه زوجی بین پارامترها



شکل ۵- وزن پارامترها در نرم افزار EXPERT CHOICE

تولید نقشه پهنه‌بندی پارامترها

از دیدگاه کشاورزی، پهنه‌بندی اقلیمی یعنی مشخص کردن مناطقی که به لحاظ کشت و تولید محصول تشابه اقلیمی داشته و در بررسی روش‌های دفع آفات، علف‌های هرز، استفاده از ماشین‌های کشاورزی، تحقیقات و سایر عملیات کشاورزی تا حدودی در یک طبقه قرار دارند. در طبقه‌بندی اقلیمی، تعیین معیارهای لازم جهت طبقه‌بندی و تعیین مرز بین دو ناحیه آب و هوایی را باید مد نظر قرار داد (Aliabadi & Soltanifard, 2014).

ریکلاسیفای یا طبقه‌بندی مجدد، فرآیند گرفتن ارزش مجدد سلول‌ها و جایگزین کردن آن با مقادیر جدید می‌باشد که برای ساده‌سازی یا تغییر در استخراج از یک داده رستری استفاده می‌شود. طبقه-بندی مجدد یک دسته از اعداد را به یک عدد تبدیل می‌کند و برای شناسایی مناطق مختلف از لحاظ ویژگی‌های اقلیمی به کار می‌رود (Rahaman *et al.*, 2019).

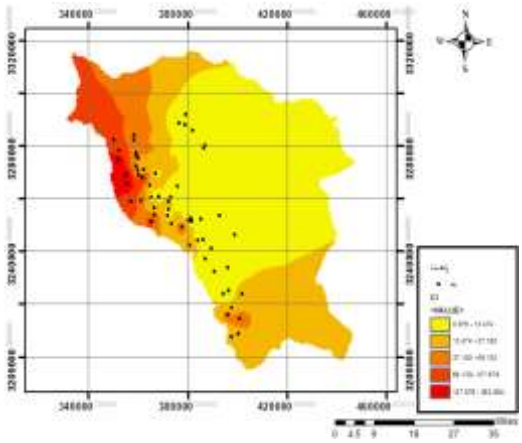
در این پژوهش، پارامترهای کیفی مورد استفاده جهت پهنه‌بندی و تعیین کیفیت آب عبارت است از: سولفات، بی‌کربنات، کلسیم، منیزیم، کلر، پتاسیم، خاصیت اسیدی آب، مقدار کل مواد محلول در آب و هدایت الکتریکی آب که در جدول۳ ویژگی‌های کمی هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده نشان داده شده است. به این منظور برای هر یک از پارامترها در نرم‌افزار ArcGIS درونیابی به روش IDW انجام شد که یکی از بهترین روش‌های آماری می‌باشد. در نهایت پس از عملیات Reclassify در نرم‌افزار، نقشه‌های پهنه‌بندی هر کدام از معیارها استخراج گردید.

جدول ۳- ویژگی‌های کمی هر یک از کمیت‌ها

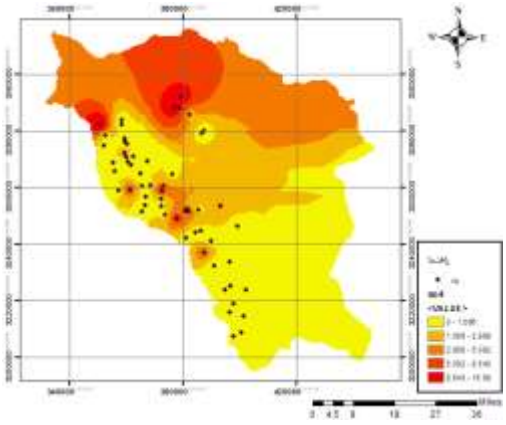
پارامتر(میلی‌گرم در لیتر)	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
کلسیم	۰/۱	۸۲/۵	۵/۰۸
سولفات	۰/۰۱	۱۵۰	۸
بی کربنات	۰/۱۵	۷۰۵	۲۰
منیزیم	۰/۰۰٤	۱۵۵	٦
کلر	۰/۰۸	۸۱۵	۲۵

پتاسیم	۰/۱۲	٦٨٥	۱۵
خاصیت اسیدی آب	۰/۰۸	٦٤٢٨	۲۳٤
مقدار کل مواد محلول در آب	۰/۱۵	٥٣٧٠٥	١٦٠٠
هدایت الکتریکی آب	۰/۰۹	١٠٦٠٠	٥٨٠

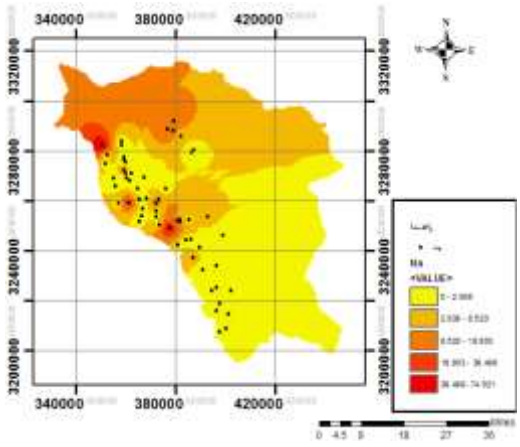
نقشهٔ پهنه‌بندی هر یک از عناصر مؤثر در کیفیت آب در شکل های ٦ تا ١٤ نشان داده شده است. با توجه به شکل‌ها مشخص می‌شود که آلودگی آب بیشتر در بخش‌هایی از شمال و شرق و جنوب شرق منطقه وجود دارد و بخش‌های غربی منطقه فاقد آلودگی است. حداکثر مقدار سولفات و کلسیم، به ترتیب ١٤٩ و ٨٢ میلیگرم بر لیتر و کمتر از استانداردهای جهانی است. بنابراین، این دو عامل در آلودگی آب تأثیری ندارند. اما میزان حداکثر هدایت الکتریکی TDS، سدیم، منیزیم، پتاسیم و کلر ١٠٢٤٦ و ٥٢٦٧٠ و ٥٤٠ و ١٥٤ و ٥٤٢١ و ٦٠٤ به ترتیب میلیگرم بر لیتر و از حد استاندارد بیشتر است که منجر به کاهش کیفیت آب برای کشاورزی شده است.

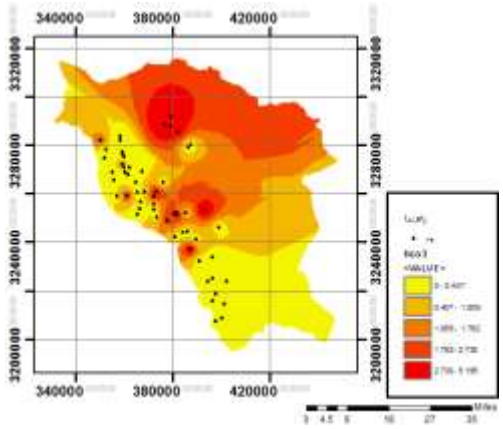


شکل٦- پهنه‌بندی عنصر CI به روش IDW

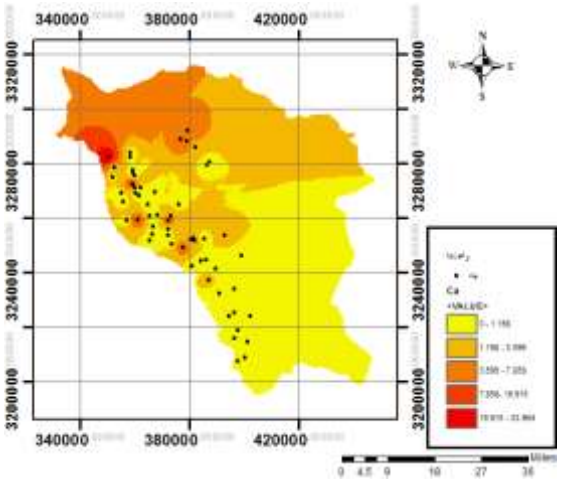


شکل۷- پهنه‌بندی عنصر SO4 به روش IDW

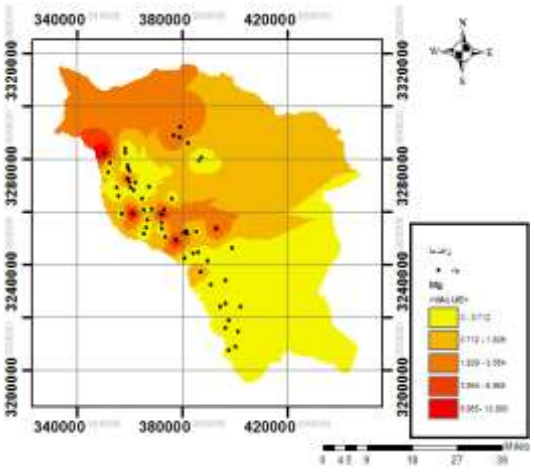




شکل۸- پهنه‌بندی عنصر Na به روش IDW



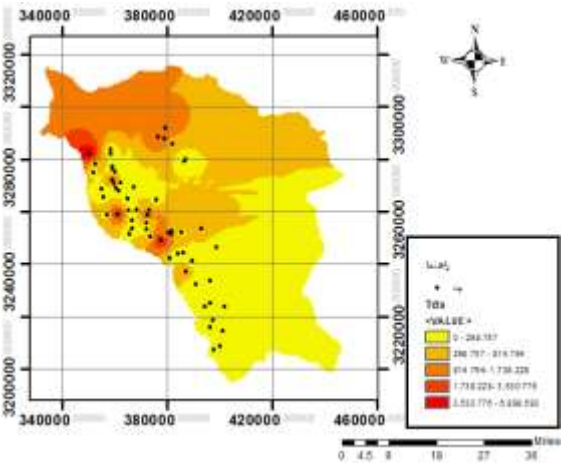
شکل۹- پهنه‌بندی عنصر HCO3 به روش IDW



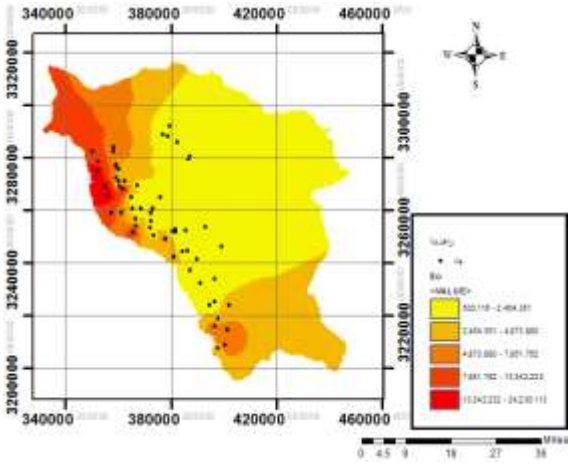
شکل۱۰- پهنه‌بندی عنصر Ca به روش IDW

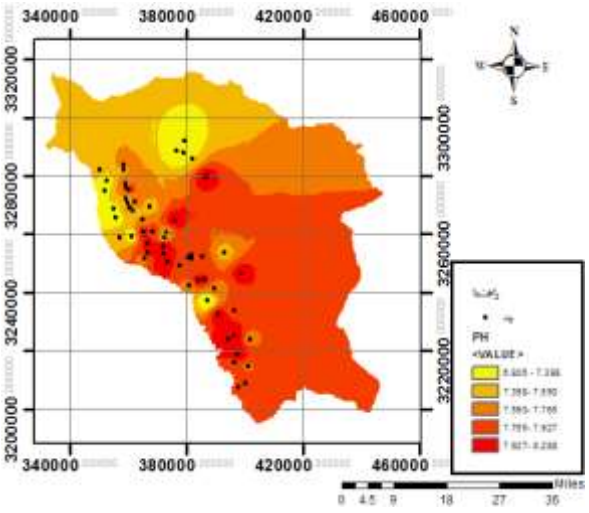
شکل۱۱- پهنه‌بندی عنصر Mg به روش IDW

شکل۱۲- پهنه‌بندی Tds به روش IDW



شکل۱۳- پهنه‌بندی Ec به روش IDW



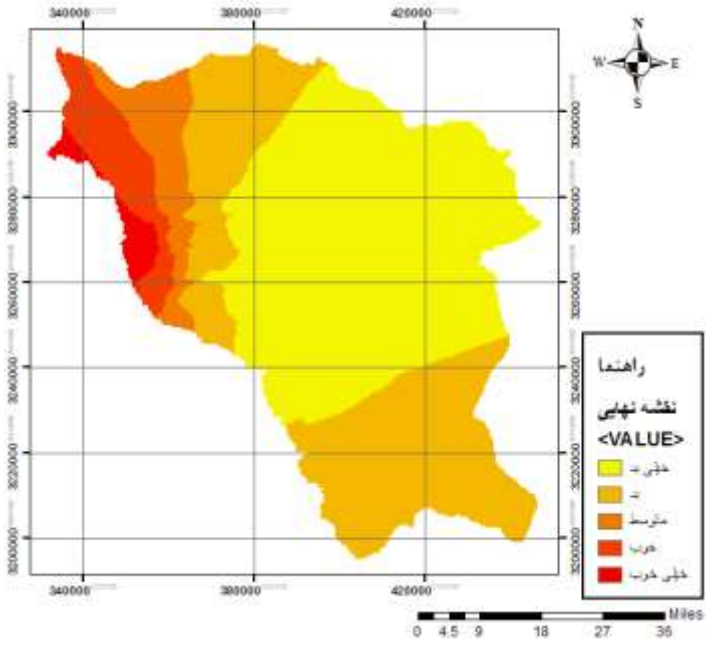


شکل۱٤- پهنه‌بندی Ph به روش IDW

نتایج و تحلیل

پس از بررسی و مقایسه معیارهای کلی با یکدیگر براساس نظرات کارشناسی برای آنها وزنی با توجه به میزان اهمیت آنها در فرایند کشاورزی در نظر گرفته شد. در مرحله بعد نقشه پراکنش هر عنصر در آب منطقه تهیه شد. پس از تهیه نقشه برای هر کدام از پارامترها به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی آب دشت به منظور استفاده در کشاورزی، این نقشه‌ها با هم تلفیق گردیده و نقشه نهایی حاصل از روش AHP تولید 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 زیرزمینی تولید می‌شود.

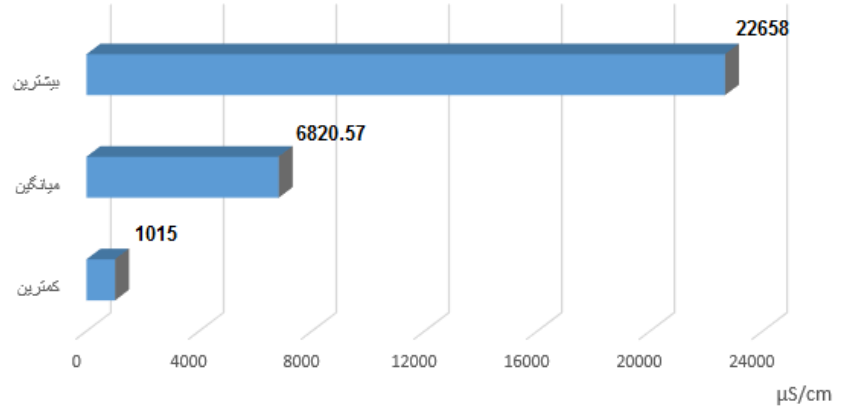
در این نقشه نشان داده شد که چه میزان از مساحت دشت برای کشاورزی مناسب و چه مقدار از آن نامناسب است که در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



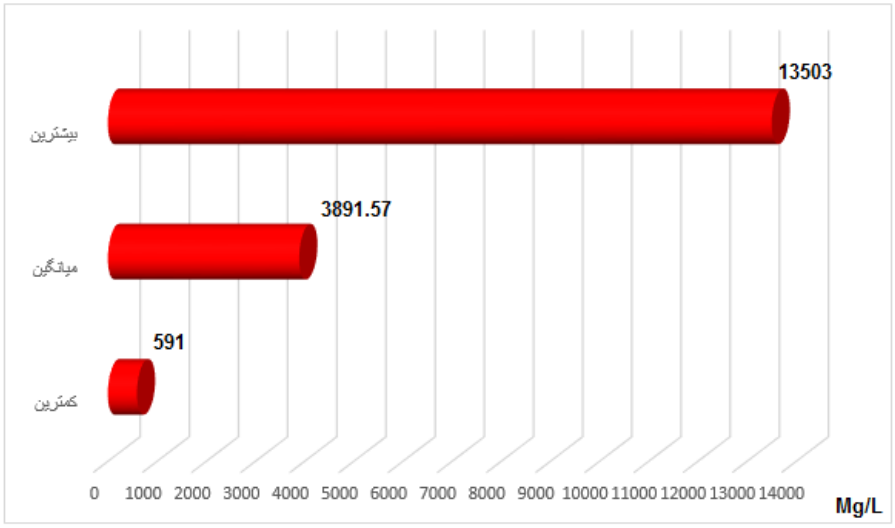
شکل ۱۵- نقشهٔ نهایی کیفیت آب با استفاده از روش AHP

با توجه به شکل مشخص می‌شود بخش‌هایی از شمال و شمال غرب منطقهٔ مورد مطالعه، کیفیت خوبی دارند اما در بقیهٔ مناطق، به ویژه شرق منطقهٔ مورد مطالعه، کیفیت آب پایین است.

عنصر سولفات از منابع مختلفی وارد منابع تامین آب می‌گردد. از جمله این منابع می‌توان به انحلال سنگ گچ یا ژیپس و پساب کارخانه‌های صنعتی و دود معلق تولیدی توسط کارخانه‌ها و آب باران نام برد. خشکسالی‌های اخیر، کاهش بارندگی و برداشت از منابع آب زیرزمینی به بالا رفتن EC و TDS از مقادیر استاندارد منجر شده است، به گونه‌ای که هدایت الکتریکی با میانگین ۶۸۲۰/۵۷۵ میکروزیمنس بر سانتیمتر دارای محدوده بین ۱۰۱۵ تا ۲۲۶۵۸ میکروزیمنس بر سانتیمتر (شکل۱۶) و میانگین غلظت کل جامدات محلول۳۸۹۱/۵۷ میلیگرم بر لیتر و محدوده آن بین ۵۹۱ تا ۱۳۵۰۳ میلیگرم بر لیتر بدست آمد (شکل۱۷).



شکل۱۶ - محدوده مقدار EC در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان



شکل۱۷ - محدوده غلظت TDS در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان

میانگین هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه ۶۸۲۰/۵۷۵ میکروزیمنس بر سانتیمتر است که بیشتر از مقدار سازمان جهانی بهداشت در آب آبیاری (۲۲۵۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر (Bichi *et al.*, 2013) می‌باشد.

کل جامدات محلول دشت سیرجان با میانگین ۳۸۹۱/۵۷ میلی‌گرم بر لیتر است که بیشتر از حداکثر مجاز کل جامدات محلول در آب سازمان جهانی بهداشت و استاندارد سازمان کشاورزی جهت مصارف آبیاری (۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) (Mara *et al.*, 1989) می‌باشد.

نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی از نقاط نمونه‌برداری شده، هریک از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب از روش IDW در محیط GIS استفاده شد. براساس تحلیل‌های انجام شده، این دشت از نظر آب‌های زیرزمینی به علت نزدیکی به معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان و مجتمع تولیدی مس سرچشمه بسیار حساس است، بنابراین در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی باید دقت بسیار مبذول گردد. از طرفی این دشت به علت خاک غنی برای کشاورزی، دشت بسیار ارزشمندی است. آب-های دشت برای کشاورزی تقریبا آب‌های مناسبی هستند. به استثنای قسمت‌های شرقی دشت که به علت همجواری با معدن سنگ آهن گل گهر برای کشاورزی آب‌های مناسبی نیستند. خشکسالی‌های اخیر، کاهش بارندگی و برداشت منابع آب زیرزمینی به بالا رفتن هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول منابع آب زیرزمینی از مقادیر استانداردهای جهانی منجر شده است. در این تحقیق به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در دشت سیرجان با روش AHP پرداخته شد.

نتایج نشان داد که خشکسالی‌های اخیر، کاهش بارندگی و برداشت از منابع آب زیرزمینی باعث بالا رفتن مقدار **EC** از مقدار استاندارد با میانگین ۶۸۲۰/۵۷۵ میکروزیمنس و بالا رفتن مقدار TDS از مقدار استاندارد با میانگین ۳۸۹۱/۵۷ میلیگرم بر لیتر شده است. با توجه به نمودارهای مقدار کل مواد محلول در آب و هدایت الکتریکی آب، غلظت آنها باعث نامناسب بودن کیفیت حدود ۴۵ درصد از مساحت زمین‌های دشت در قسمت‌های شرقی و مرکزی شده است.

در کل نزدیک به ۵۵ درصد از مساحت دشت با توجه به تحلیل‌های انجام شده از نظر آب زیرزمینی برای کشاورزی مناسب است، ولی حدود ۴۵ درصد از مساحت دشت به علت آلوده بودن توسط پساب-های صنعتی معادن سنگ آهن برای کشاورزی ضعیف است. نتیجه حاصل از آنالیزها به این صورت بود که آناموليهایی در قسمت‌هایی از منطقه دیده می‌شود که ناشی از عواملی مانند:کمبود بارندگی، شوری خاک و تاثیر آلاینده‌های حاصل از کارخانجات موجود در منطقه می‌باشد.

پیشنهاد می‌شود در مراحل بعدی تحقیق، جهت یافتن بهترین مکان برای حفر چاه که بر روی کیفیت آب زیرزمینی هم تاثیر داشته باشد از روش-های فراابتکاری مانند الگوریتم مورچه‌ها و ازدحام ذرات استفاده و همچنین از شاخص کیفت آب (WQI) برای بررسی کیفیت آب زیر زمینی بهره گرفته شود.

REFRENCES

Aliabadi, K., and Soltanifard, H. 2014. The Impact of Water and Soil Electrical Conductivity and Calcium Carbonate On Wheat Crop Using a Combination of Fuzzy Inference System and GIS. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3,118-124.

Almasri, M. N., and Kaluarachchi, J. J. 2007. Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology*, 343(3-4),211-229.

Ayers, R. S., and Westcot, D. W. 1985. Water quality for agriculture. *Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 29. 174-180.

Bichi, M. H., Bello, U. F., and No, P. 2013. Heavy metal pollution in surface and ground waters used for irrigation along river Tatsawarki in the Kano, Nigeria. *IOSR Journal of Engineering*, 3(8),1-9.

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

Ekwere, A., Edet, A., Ukpong, A., and Obim, V. 2011. Assessment of seasonal variations of hydrochemical signatures of surface water quality using multivariate statistical methods. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 13(8), 51-64.

Hasni, Qasim, Mahvi, Naseri, Arab Ali Beyk, Yunsian, and Hamed. 2012. Designing the quality index of underground water using fuzzy logic. *Journal of Health and Health*, 3(1), 18-31

Hosseini, A. 2018. groundwater quality, electrical conductivity, hydrochemical facies, DASHTEABAS. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(40),51-58.

Jalao, E. R., Wu, T., and Shunk, D. 2014. A stochastic AHP decision making methodology forimprecisepreferences. *InformationSciences*, 270,192-203.

Joghatayi, H., Dabiri, R., Moslempour, M. E., Otari, M., and Sharifiyan Attar, R. 2015. Groundwater quality assessment using the Groundwater Quality Index and GIS in Joghatayplain,NEIran. *Human&Environment*, 13(4),17-25.

Karunanidhi, D., Vennila, G., Suresh, M., and Subramanian, S. K. 2013. 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), 7320-7333.

Khan, Q., Kalbus, E., Alshamsi, D. M., Mohamed, M. M., and Liaqat, M. U. 2019. Hydrochemical analysis of groundwater in remah and Al khatim regions, United Arab Emirates. *Hydrology*, 6(3), 60-65.

Malekian, Rozandi, Khaileghi Sigaroudi, Farrokhzadeh, and Behnoosh. 2016. Examining temporal and spatial changes of underground water quality using the combined approach of Boolean logic, fuzzy logic and geostatistics (case study: Varamin plain). *Agricultural Applied Research*, 29(1), 126-135

Mara, D. D., Cairncross, S., and World Health Organization. 1989. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: measures for public health protection. *WorldHealthOrganization*.

Mokarram, M. 2016. Modeling of multiple regression and multiple linear regressions for prediction of groundwater quality (case study: north of Shiraz). *Modeling earth systems and environment*, 2(1),1-7.

Oketola, A. A., Adekolurejo, S. M., and Osibanjo, O. 2013. Water quality assessment of River Ogun using multivariate statistical techniques. *Journal of Environmental Protection*, 4, 466-479,

Peragón, J. M., Delgado, A., and Pérez-Latorre, F. J. 2015. A GIS-based quality assessment model for olive tree irrigation water in southern Spain. *Agricultural water management*, 148, 232-240.

Rahaman, M. M., Thakur, B., Kalra, A., and Ahmad, S. 2019. Modeling of GRACE-derived groundwater information in the Colorado River Basin. *Hydrology*, 6(1), 19.

Sahasrabuddhe, K., Mahabaleshwarkar, M., Joshi, J., Kanade, R., Goturkar, S., Oswal, P., and Patwardhan, A. 2003. Changing status of urban water bodies and associated health concerns in Pune, India. *International Conference on Environment and Health Chennai*.

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

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

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 3/No.3/Fall 2023/P: 98-115

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Identification of Suitable Agricultural Cultivation Locations Using a GIS-AHP System Based in The Sirjan Plain

Hamid Bagheri[1*], Farkhondeh Rafiee[2]

[1] Faculty Member, Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University, Tehran, Iran

[2] Faculty Member, Department of Architecture and Urban Planning, Technical and Vocational University, Tehran, Iran

Corresponding Author's Email: h-bagheri@tvu.ac.ir

(Received: November. 6, 2023– Accepted: December. 21, 2023)

ABSTRACT

The assessment of groundwater quality in agricultural industry management is of particular importance. The decline in groundwater levels in plains due to overexploitation and drought creates many environmental problems. One of the most important of these problems is the unsuitability of groundwater quality and its undesirable effects on consumption. The aim of this research is to evaluate the quality of groundwater in Sirjan plain for agricultural use. In this study, the groundwater of Sirjan plain was classified based on 9 parameters: sulfate, bicarbonate, calcium, magnesium, chloride, sodium, water acidity, total dissolved solids, and electrical conductivity. Then, a fuzzy method was used to homogenize each of the prepared layers. In order to prepare zoning maps, the method of average distance image was used for weighting the layers and preparing the final water quality map, the hierarchical process analysis method was used. The results showed that recent droughts, reduced rainfall, and extraction from groundwater sources have led to an increase in EC values from the standard value with an average of 575.6820 micro Siemens and an increase in TDS values from the standard value with an average of 57.3891 milligrams per liter. Also, the water quality of approximately 55% of the study area is suitable for agriculture, and based on the total dissolved solids and electrical conductivity water quality diagrams, their concentration has made about 45% of the plain areas in the eastern and central parts unsuitable. In general, the results confirm the relationship between the examined elements in such a way that some of these elements have had a significant impact on groundwater quality.

Keyword: Geology, Quality of water elements, Hierarchical analysis, GIS, Fuzzy method