

مطالعه تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان با استفاده از شاخص GQI

حسن خسروی^۱

اسماعیل حیدری علمدارلو^۲

سحر نسب پور^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۱/۱۱

چکیده

امروزه با گسترش فعالیت‌های انسانی، ارزیابی کیفی و کمی منابع آبی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جایگاه ویژه‌ای در مطالعات منابع آب پیدا نموده است. یکی از شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب، اندازه‌گیری مقدار غلظت یون‌های اصلی موجود در آب است. به‌منظور بررسی تغییرات مکانی، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) که تلفیقی از پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعه حاضر به‌منظور بررسی نحوه توزیع یون‌های اصلی شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و کل مواد محلول (TDS) و پهنه‌بندی کیفی دشت یزد اردکان، شاخص GQI با استفاده از نرم افزار ArcGIS برآورد شد. برای بررسی وضعیت تغییرات زمانی و مکانی شاخص GQI در دشت یزد- اردکان از آمار ۵۳ چاه پیژومتری وابسته به وزارت نیرو (شرکت آب منطقه‌ای استان یزد) استفاده و نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ تهیه شد. نتایج نشان داد که دشت یزد- اردکان در کلاس‌های متوسط و قابل قبول از نظر شاخص GQI قرار دارد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص GQI به ترتیب در غرب و شمال دشت مشاهده شد. شاخص خود همبستگی فضایی موران^۱، شاخص GQI و همه متغیرهای شیمیایی مورد بررسی به جز منیزیم دارای الگوی توزیع مکانی خوشه‌ای هستند و منیزیم دارای الگوی توزیع مکانی تصادفی است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از میان‌شش پارامتر مورد بررسی سه پارامتر مواد جامد محلول (TDS)، سدیم و کلر با داشتن بیشترین ضریب رتبه‌بندی به ترتیب دارای بیشترین تأثیر در مقدار شاخص GQI و در نتیجه کیفیت آب زیرزمینی هستند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که روند شاخص GQI در منطقه مورد مطالعه نزولی است و کاربری اراضی نقش بسیار زیادی در کاهش میزان شاخص GQI و در نتیجه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت یزد- اردکان دارد.

واژه‌های کلیدی: دشت یزد- اردکان، کیفیت آب‌های زیرزمینی، شاخص GQI، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

۱- عضو هیأت علمی گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران hakhosravi@ut.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران esmailheidary@gmail.com

۳- کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) saharinasabpour@ut.ac.ir

۱- مقدمه

آب با کمیت و کیفیت مناسب برای رفع نیازهای درحال رشد خانگی، صنعتی و کشاورزی مورد نیاز است (Azaza, Hamzaoui et al., 2011; Pazand et al., 2012). در مناطق خشک، بخش عمده‌ای از منابع تأمین کننده مصرف آب توسط آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود (Khosravi, 2016) که به طور عمده عوامل رشد جمعیت و تغییر آب و هوا باعث ایجاد استرس شدید به منابع آب در این مناطق شده است.

(Zehabian et al., 2010; Edmunds et al., 2003; Kulkarni et al., 2015) در سال‌های اخیر، منابع مهم آب زیرزمینی در سراسر جهان به دلیل افزایش جمعیت، کاربری‌های صنعتی و کشاورزی و تقاضا برای تأمین آب، هم از لحاظ کمی و هم کیفی به خطر افتاده‌اند. با این حال، با توجه به تغییرپذیری مکانی آلاینده‌های مختلف و طیف گسترده شاخص‌هایی که ممکن است اندازه‌گیری شوند (شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی)، توصیف کیفیت آب به طور کلی دشوار است. کیفیت آب زیرزمینی به اندازه کمیت آن برای قابل استفاده بودن آن در مصارف مختلف مهم و ضروری است. آگاهی از تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب و خاک هر منطقه نقش بسزائی دارد (دین پژوه و همکاران، ۱۳۹۴).

کیفیت آب زیرزمینی در یک منطقه تا حد زیادی توسط فرآیندهای طبیعی (مثل زمین‌شناسی)، فعالیت‌های انسانی (مثل تولید محصولات کشاورزی، رشد صنعتی، شهرنشینی) و ورودی اتمسفر (مثل بارش) کنترل می‌شود (Helena et al., 2000; Chan Ho, 2001) و تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی مقدمه‌ای بر تخریب منابع آب و سایر منابع چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیرمستقیم است (جهانشاهی و همکاران، ۱۳۹۳). لذا ضرورت مطالعه و بررسی کیفیت آن در این مناطق می‌تواند به مدیریت صحیح استفاده از منابع آبی کمک نماید (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۹). اما چگونگی بررسی و ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی، نیاز به برخی ترفندها دارد. (Chenini & Khemiri, 2009)

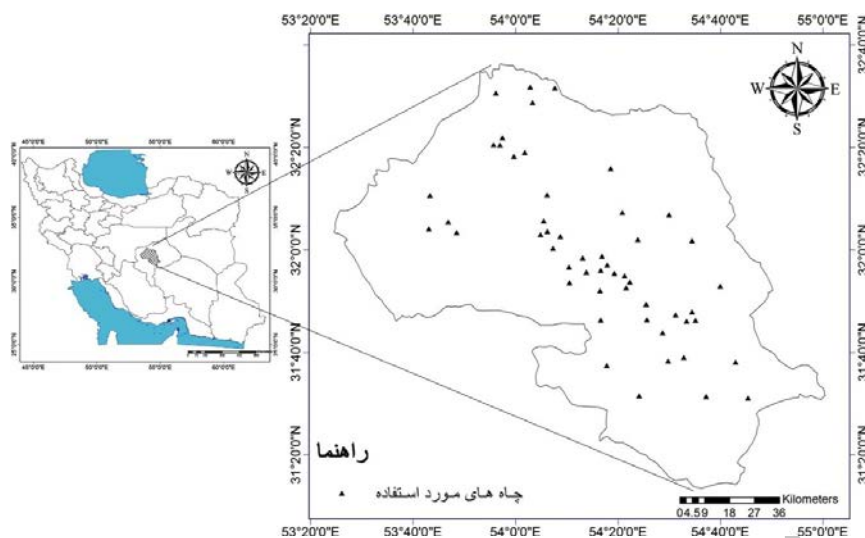
یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های

ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو کند، استفاده از شاخص‌های کیفی آب است. به گونه‌ای که در مدیریت کیفی آب نیز می‌توان از آن به عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده کرد (Liou et al., 2003; Simoes et al., 2008, Babakhani et al., 2016).

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی به کمک شاخص کیفی GQI که بر پایه GIS استوار است توسط Babiker و همکاران (۲۰۰۷) ارائه شده است. در همین راستا مطالعات بسیاری در مناطق مختلف با استفاده از این شاخص انجام پذیرفته است. جودوی و زارع (۱۳۸۸) کیفیت آب زیرزمینی را از نظر شرب در آبخوان دشت فیض آباد در جنوب غرب مشهد از طریق برآورد شاخص GQI بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که روش GQI با روش‌های دیگر ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی همخوانی دارد و می‌توان از آن به عنوان یک شاخص مورد اطمینان برای بررسی تغییرات مکانی و حتی زمانی کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد.

Haris و همکاران (۲۰۱۱) ارزیابی تأثیر تغییر الگوی کاربری زمین بر کیفیت آب زیرزمینی سیستم آبخوان سازند سخت در حوضه ماهشوارام، نزدیک حیدرآباد هند، را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با روش شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) بررسی کردند. همچنین Machiwal و Jha (۲۰۱۵) برای شناسایی منابع آلوده کننده آب در منطقه Udaipur هندوستان از شاخص GQI استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که فلوراید، سدیم، EC و TDS به طور قابل ملاحظه‌ای رو به افزایش است. El-Fadel و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی که در آبخوان کارستی ساحلی طرابلس لبنان واقع در امتداد ساحل مدیترانه شرقی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که شاخص GQI می‌تواند به برنامه‌ریزی مؤثر برای مدیریت کیفیت آب در جهت بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی به خصوص در فصل تابستان که تغذیه محدود است کمک کند.

سلیمانی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی تغییرات کیفی منابع آب باختر کوه‌سرخ با استفاده از شاخص کیفی GQI



نگاره ۱: موقعیت دشت یزد- اردکان و چاه‌های انتخابی

گستره این دشت رسوبی از دامنه‌های شیرکوه (در جنوب) آغاز می‌شود و با شیبی ملایم و در بستری دره مانند تا کویر سیاه کوه (در شمال) بیش از ۱۲۰ کیلومتر ادامه می‌یابد. بدین ترتیب جهت جریان آب در این دشت، از جنوب خاوری به شمال باختری است. سطح ایستابی در پاره‌ای از نواحی جنوبی دشت به بیش از ۱۰۰ متر و در نواحی شمالی به کمتر از ۱۰ متر می‌رسد. این دشت در سال‌های اخیر با افت چشمگیر سطح آب زیرزمینی مواجه شده است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۴).

۲-۲- روش تحقیق

با توجه به شرایط مختلف شیمیایی، فیزیکی و زیست‌شناختی حاکم بر آب‌های زیرزمینی، متغیرهای زیادی در کیفیت آب زیرزمینی مؤثر هستند که معمولاً همه آنها را نمی‌توان تجزیه و بررسی کرد (Luka & Jonas, 2009).

در این تحقیق برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی از داده‌های کیفی آب زیرزمینی شرکت آب منطقه‌ای استان یزد استفاده شد.

داده‌های مزبور، شامل تعداد ۵۳ نمونه آب چاه در ماه‌های مهر و شهریور سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ در منطقه مورد مطالعه بود (نگاره ۱). در این پژوهش شش پارامتر شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و کل مواد

به این نتیجه رسیدند که مقدار این شاخص از پیرامون به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است که می‌تواند متأثر از عوامل زمین‌شناسی همچون ترکیب سنگی و جهت جریان و همچنین سامانه گرمایی فعال در منطقه باشد. دشتی برمکی و همکاران (۱۳۹۳) در ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در آبخوان لجنانات به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب زیرزمینی در منطقه بررسی شده متوسط و نسبتاً زیاد است.

در تحقیق حاضر سعی شد ضمن بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در دشت یزد- اردکان، تأثیر تغییر کاربری اراضی بر تغییر کیفیت آب زیرزمینی مورد مطالعه قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت یزد- اردکان یکی از وسیع‌ترین دشت‌های استان یزد می‌باشد که در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی قرار دارد و از جهت غرب و جنوب غرب به کوه‌های شیرکوه و از سمت شرق به کوه‌های خراتق منتهی می‌شود. مساحت حوضه دشت یزد- اردکان ۱۱۷۷۵ کیلومتر مربع است.

$$r = 0.5 \times C^2 + 4.5 \times C + 5 \quad (2)$$

به منظور ایجاد یک نقشه که نماینده همه ۶ متغیر شیمیایی است و کیفیت آب زیرزمینی را از نظر کمی در مقایسه با استاندارد WHO نشان دهد با استفاده از رابطه شاخص GQI (رابطه ۳) لایه‌های مربوط به متغیرها تلفیق شدند.

$$GQI = 100 - \left[\frac{r_1 w_1 + r_2 w_2 + \dots + r_n w_n}{n} \right] \quad (3)$$

در این فرمول r رتبه هر پیکسل از نقشه‌های رتبه‌بندی شده و w وزن نسبی هر یک از این متغیرها است که برابر با مقدار میانگین غلظت متغیر پیکسل‌ها در نقشه رتبه‌بندی شده آن متغیر (r) و n تعداد پارامترهای مورد مطالعه ($n=6$) است. برای محاسبه GQI در واقع از متغیرهای مختلف میانگین وزنی گرفته می‌شود که متغیرهای با مقدار بیشتر (تفاوت بیشتر با استاندارد) وزن نسبی بیشتر و در نتیجه تأثیرگذاری بیشتری دارند (Hiyama, 2010).

رابطه شاخص کیفیت آب زیرزمینی نشان‌دهنده ترکیب خطی میانگین فاکتورها است. وزن مختص هر پارامتر بیان‌کننده اهمیت نسبی آن پارامتر در آب زیرزمینی و مقدار رتبه‌بندی میانگین نقشه رتبه‌بندی آن است. پارامترهایی که تأثیر بیشتری بر کیفیت آب‌های زیرزمینی (میزان میانگین بالا) دارند، در ارزیابی کلی کیفیت آب زیرزمینی مهم‌تر هستند. در نهایت با تقسیم حاصل ضرب رتبه هر پارامتر در وزن میانگین آن بر تعداد کل پارامترها، شاخص کیفیت آب زیرزمینی با محدوده مقدار شاخص بین صفر تا ۱۰۰ به دست آمد. ۱۰۰ در قسمت اول این معادله، باعث می‌شود که مقادیر نزدیک به صفر ۱۰۰ نشان‌دهنده کیفیت مطلوب و مقادیر نزدیک به صفر کیفیت نامطلوب را نشان دهند (دشتی برمکی و همکاران، ۱۳۹۳). بعد از محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) برای هر سه دوره نقشه‌های این شاخص بر اساس جدول (۱) طبقه‌بندی شد.

جامد محلول (TDS) که در جدول استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) به آنها اشاره شده است (WHO, 2008) برای محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) مورد استفاده قرار گرفت.

برای محاسبه شاخص GQI و تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی برای هر سه سال، به صورت جداگانه ابتدا برای هر یک از متغیرهای شیمیایی نقشه رستری غلظت متغیر مربوط در محیط ArcGIS با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ ساده بر مبنای نتایج تحقیق تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) تهیه شد. سپس برای اینکه داده‌های متفاوت دارای یک مقیاس و معیار مشترک شوند با استفاده از رابطه (۱) غلظت‌های هر پیکسل (C_i) در نقشه‌های رستری تهیه شده و با مقدار استاندارد WHO (جدول ۲) در نرم افزار ArcGIS ارتباط داده شد.

$$C = \frac{C_i - C_{WHO}}{C_i + C_{WHO}} \quad (1)$$

نتیجه این یکسان‌سازی مقیاس‌ها، تولید ۶ نقشه جدید است که ارزش پیکسل‌های آنها بین ۱- و ۱ تغییر می‌کند. هر چه ارزش‌های هر پیکسل در نقشه‌های حاصل از یکسان‌سازی مقیاس‌ها برای هر متغیر، به ۱- نزدیک‌تر باشند نشانه آلودگی کمتر و هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشند نشانه آلودگی بیشتر آن متغیر در منطقه است.

در مرحله بعد نقشه‌های حاصل از یکسان‌سازی مقیاس‌ها برای هر متغیر به یک نقشه رتبه‌بندی با محدوده بین ۱ تا ۱۰ تبدیل شد.

در این نقشه‌ها رتبه ۱ نشانگر کیفیت خوب آب زیرزمینی و رتبه ۱۰ بیانگر کیفیت بد آب زیرزمینی است. در واقع در این تبدیل واحد باید مقدار ۱- در نقشه تولید شده در مرحله پیش به ۱ در نقشه رتبه‌بندی شده و همچنین مقادیر صفر به ۵ و ۱ به ۱۰ در نقشه رتبه‌بندی شده تغییر کند. بدین منظور از رابطه (۲) که یک تابع چند جمله‌ای است، برای تبدیل واحد هر پیکسل نقشه (C) به مقدار جدید (r) استفاده شد (Babiker et al., 2007):

جدول (۱): تقسیم‌بندی کیفیت آب بر پایه GQI

(Babiker et al., 2007)

میزان GQI	کلاس کیفیت آب	تعداد زیر کلاس	توضیحات
۹۰-۱۰۰	مناسب	۲	در این پژوهش برای درک بهتر روند تغییرات GQI هر کدام از کلاس-ها به زیر کلاس‌هایی تقسیم شدند، به این صورت که هر ۵ واحد از دامنه عددی هر کلاس یک زیر کلاس را تشکیل داد. برای مثال کلاس مناسب دارای زیر کلاس یک (۹۰ تا ۹۵) و زیر کلاس دو (۹۵-۱۰۰) است. پس هر چه عدد زیر کلاس بزرگتر باشد GQI آن بیشتر است.
۷۰-۹۰	قابل قبول	۴	
۵۰-۷۰	متوسط	۴	
۲۵-۵۰	نامناسب	۵	
۰-۲۵	کاملاً نامطبوع	۵	

بیانگر ناپیوستگی و تصادفی بودن است (برتو و همکاران، ۱۳۹۲). ابزار تحلیل خودهمبستگی فضایی سراسری، به بررسی خودهمبستگی فضایی براساس مکان دو مقدار ویژگی موردنظر عوارض جغرافیایی می‌پردازد. این ابزار نشان می‌دهد که الگوی پراکنش عوارض فوق، با در نظر گرفتن مقادیر ویژگی مورد بررسی از الگوی خوشه‌ای، یا تصادفی و یا پراکنده برخوردار است.

این تحلیل الگوی توزیع عوارض در فضا را با ملاحظه همزمان موقعیت مکانی و ویژگی، مورد ارزیابی قرار می‌دهد. نتایج حاصل از این تحلیل نشان می‌دهد که عوارض به کدام صورت تصادفی، پراکنده و یا خوشه‌ای در فضا توزیع شده‌اند (نظری پور و همکاران ۱۳۹۴). برای محاسبه شاخص خودهمبستگی فضایی موران ۱ ابتدا میانگین سه دوره شش پارامتر استفاده شده و میانگین سه دوره شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) محاسبه و سپس با استفاده از موقعیت ۵۳ چاه مطالعاتی شاخص خود همبستگی فضایی موران ۱ در نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد.

۳- نتایج

جدول (۲) میانگین مقدار و نقشه رتبه‌بندی (r) هر شش پارامتر مورد بررسی و میانگین شاخص GQI را برای هر سال نشان می‌دهد. همچنین در این جدول استانداردهای WHO آورده شده است.

غلظت یون‌ها بر حسب ppm، کل مواد جامد محلول بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر است.

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که میانگین پارامترهای کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر و کل مواد جامد محلول (TDS) در طول سه دوره حالت افزایشی داشته‌اند که باعث افزایش میانگین نقشه رتبه‌بندی (r) آنها و تأثیر منفی بر شاخص GQI می‌شود. سولفات تنها پارامتری است که در این سه دوره کاهش یافته و این کاهش اثر مثبتی بر روند تغییرات شاخص GQI گذاشته است. در کل روند تغییرات میانگین

سپس به بررسی روند زمانی و مکانی تغییرات شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) و علل وقوع آن با توجه به نقشه کاربری اراضی پرداخته شد.

لازم به ذکر است نقشه کاربری اراضی در این تحقیق از نقشه پایه کاربری اراضی که توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع تهیه شده بود به دست آمد. به طوری که تمام کاربری‌های نقشه پایه به پنج دسته مناطق شهری و صنعتی، مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی فاقد پوشش و شوره‌زار تقسیم شد تا بهتر بتوان تأثیر کاربری اراضی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی را بررسی کرد.

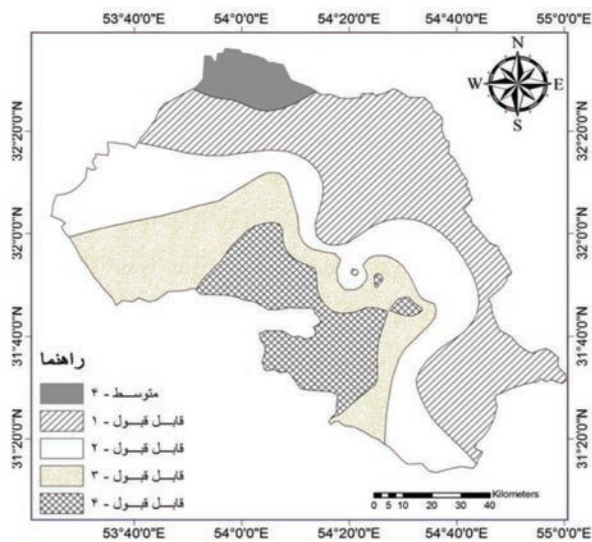
در مرحله بعد به منظور تشخیص نوع الگوی حاکم بر پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده و شاخص کیفیت آب زیرزمینی از روش خودهمبستگی فضایی موران ۱^۱ استفاده شد (موران، ۱۹۴۸).

نتیجه مثبت در شاخص موران بیانگر آن است که ویژگی‌های مشابه به همدیگر گرایش دارند و ارزش منفی نشان‌دهنده ناهمگنی خصوصیات و بالاخره ارزش صفر

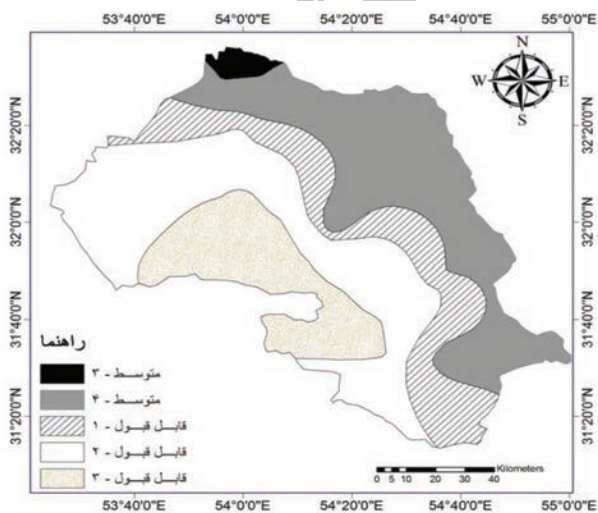
1 -Moran's I

جدول (۲): اطلاعات آماری پارامترهای کیفی آب زیرزمینی و مقایسه با مقادیر آستانه استاندارد

سال	عنوان	TDS ppm	کلسیم ppm	منیزیم ppm	سدیم ppm	کلر ppm	سولفات ppm	GQI
۱۳۸۲	میانگین مقدار	۳۸۲۰/۸۵	۱۱/۱۳	۹/۷۵	۳۸/۱۸	۳۹/۲	۱۶/۳۸	۷۷/۶۹
	میانگین نقشه رتبه‌بندی (r)	۷/۰۳	۱/۲۵	۱/۲۲	۲/۲۴	۱/۹۷	۱/۴۳	-
۱۳۸۵	میانگین مقدار	۴۲۲۵/۹۹	۲۳/۴	۲۴/۹۸	۴۰/۱	۴۲/۶۵	۱۴/۳۲	۷۴/۳۷
	میانگین نقشه رتبه‌بندی (r)	۷/۶۲	۱/۵۲	۱/۵۵	۲/۲۵	۲/۰۶	۱/۳۹	-
۱۳۹۰	میانگین مقدار	۴۴۱۲/۳۶	۲۹/۱۲	۳۰/۲۰	۴۱/۰۹	۴۵/۲	۱۳/۴۲	۷۲/۲۶
	میانگین نقشه رتبه‌بندی (r)	۷/۷۵	۱/۶۳	۱/۶۵	۲/۲۶	۲/۱۶	۱/۳۸	-
	استاندارد (WHO)	۱۰۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۲۵۰	-

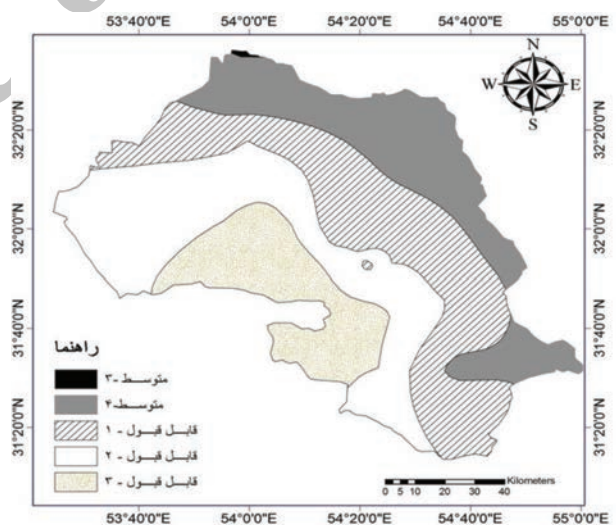


نگاره ۳: نقشه کلاس‌بندی شاخص GQI دشت یزد- اردکان سال ۱۳۸۵



نگاره ۴: نقشه کلاس‌بندی شاخص GQI دشت یزد- اردکان سال ۱۳۹۰

شاخص GQI منفی بوده که نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت یزد- اردکان است. نقشه‌های شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) بعد از محاسبه با استفاده از جدول (۱) طبقه‌بندی شد. در نگاره‌های (۲) تا (۴) نتایج حاصل از طبقه‌بندی سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ آورده شده است.

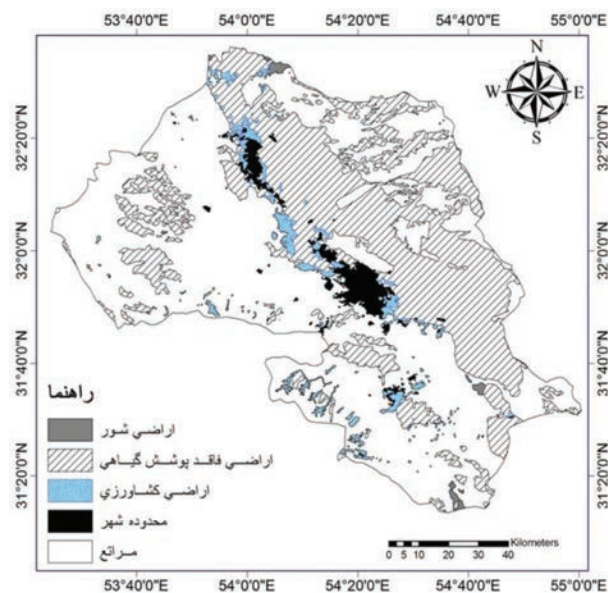


نگاره ۲: نقشه کلاس‌بندی شاخص GQI دشت یزد- اردکان سال ۱۳۸۲

نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (نگاره‌های ۲، ۳ و ۴) نشان می‌دهد که شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در قسمت غرب دارای بیشترین مقدار و در شمال دشت دارای کمترین مقدار است. با توجه به نقشه‌های بدست آمده از غرب دشت به طرف شرق میزان شاخص GQI کاسته می‌شود.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
مطالعه تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی ... / ۴۱

با توجه به نقشه کاربری اراضی (نگاره ۵) می‌توان نتیجه گرفت که کلاس متوسط (زیرکلاس ۴) به سمت مناطق شهری و مرکز (شهر یزد) و جنوب (شهر مهریز) و اراضی کشاورزی در حال گسترش است.



نگاره ۵: نقشه کاربری اراضی دشت یزد- اردکان

نتایج شاخص خودهمبستگی فضایی موران ۱ برای میانگین شش پارامتر استفاده شده و میانگین شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در جدول (۳) آمده است. با توجه به جدول (۳) توزیع مکانی پارامترهای سدیم، کلر، سولفات، کل مواد جامد محلول (TDS) و شاخص GQI به صورت خوشه‌ای و توزیع مکانی پارامتر منیزیم به صورت تصادفی است.

جدول (۳): خود همبستگی مکانی پارامترهای تعیین کننده کیفیت آب زیرزمینی

عنوان	TDS ppm	کلسیم ppm	منیزیم ppm	سدیم ppm	کلر ppm	سولفات ppm	GQI
Moran's I Index	۰/۰۹	۰/۱	۰/۱۵	۰	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۶
Z score	۲/۸۸	۳/۰۴	۴/۳۱	۰/۵۱	۲/۰۶	۳/۵۸	۶/۳۶
نوع توزیع	خوشه‌ای	خوشه‌ای	خوشه‌ای	تصادفی	خوشه‌ای	خوشه‌ای	خوشه‌ای

مقایسه نقشه‌های شاخص GQI در سه سال نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۲ فقط بخشی از شمال دشت در کلاس متوسط (شاخص GQI کمتر از ۷۰) و مابقی آن در کلاس‌های چهارگانه قابل قبول قرار می‌گیرد، اما در سال ۱۳۸۵ دیگر اثری از کلاس قابل قبول چهار (شاخص GQI بین ۸۵ تا ۹۰) نیست و در عوض در شمال دشت کلاس متوسط سه (شاخص GQI بین ۶۰ تا ۶۵) ظاهر شده است؛ به عبارت دیگر کیفیت آب‌های زیرزمینی کاهش یافته است. همچنین کلاس متوسط چهار (شاخص GQI بین ۶۵ تا ۷۰) به سمت شرق و جنوب گسترش یافته است.

با بررسی نقشه‌های شاخص GQI سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۵ و با توجه به نقشه کاربری اراضی (نگاره ۵) می‌توان نتیجه گرفت که دقیقاً در شهر یزد (ناحیه سیاه رنگ وسط نقشه کاربری اراضی)، لکه‌ای از کلاس قابل قبول یک (شاخص GQI بین ۷۰ تا ۷۵) در کلاس قابل قبول دو (شاخص GQI بین ۷۵ تا ۸۰) ایجاد شده که نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه نسبت به اطراف آن است.

این لکه در سال ۱۳۸۵ نسبت به سال ۱۳۸۲ بزرگتر شده است. به عبارت دیگر در شهر یزد کیفیت آب‌های زیرزمینی به شدت رو به کاهش است.

نقشه شاخص GQI سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که بر وسعت کلاس متوسط سه افزوده شده است. اما نکته جالب گسترش دو ناحیه در مرکز و جنوب کلاس متوسط چهار به سمت غرب و داخل کلاس‌های سه گانه قابل قبول است.

۴- بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد، که داده‌های کیفیت آب (کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و مواد جامد محلول) را به شکلی قابل فهم بیان می‌دارد. با توجه به نتایج به دست آمده از میان شش پارامتر مورد بررسی برای محاسبه شاخص GQI در این تحقیق به ترتیب سه پارامتر مواد جامد محلول (TDS)، سدیم و کلر با داشتن بیشترین ضریب رتبه‌بندی دارای بیشترین تأثیر در مقدار شاخص GQI و در نتیجه کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان هستند.

دشتی برمکی و همکاران (۱۳۹۳) به این نتیجه رسیدند که در دشت لنجانان این سه پارامتر بیشترین تأثیر را در کیفیت آب زیرزمینی دارند.

نتایج بررسی تغییرات مکانی شاخص GQI نشان می‌دهد که منابع آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان در قسمت غرب دارای بهترین کیفیت و در شمال دشت دارای کمترین کیفیت است. خروجی آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان در شمال قرار گرفته و کیفیت پایین این منطقه نیز به دلیل جمع شدن تمام آلاینده‌ها در این منطقه است. اما ناحیه غرب دشت یزد- اردکان دارای بهترین کیفیت است، احتمالاً به این دلیل که محل ورودی آب‌های حوضه تفت- نصرآباد به دشت یزد اردکان بوده است.

لازم به ذکر است که کیفیت آب زیرزمینی حوضه تفت- نصرآباد به علت بارش مناسب و شرایط محیطی مناسب از کیفیت بالایی برخوردار است.

نتایج بررسی روند زمانی تغییرات شاخص GQI نشان داد که متوسط شاخص GQI با گذشت زمان در حال کاهش است که این نتیجه با نتایج تحقیقات Haris و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که با گذشت زمان کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت یزد- اردکان از سمت شمال به سمت شرق و جنوب شرق کاسته شده و سپس این کاهش

به سمت غرب در حرکت است.

نقش کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی در کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی کاملاً واضح است. وجود لکه در حال رشد آب زیرزمینی با کیفیت پایین نسبت به آب‌های زیرزمینی اطراف در زیر شهر یزد در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۵ و گسترش دو ناحیه در مرکز و جنوب غربی می‌تواند تأییدی بر این ادعا باشد.

توزیع مکانی پارامترهای سدیم، کلر، سولفات، کل مواد جامد محلول (TDS) و شاخص GQI به صورت خوشه‌ای و توزیع مکانی پارامتر منیزیم به صورت تصادفی است که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیق دشتی برمکی و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد. به عبارت دیگر در مورد پارامترهای سدیم، کلر، سولفات، کل مواد جامد محلول (TDS) و شاخص GQI مقادیر مشابه کنار هم قرار می‌گیرند ولی در مورد منیزیم توزیع مکانی آن الگوی خاصی ندارد و به صورت تصادفی است.

منابع و مأخذ

- ۱- برتاو، حاجی نژاد، عسگری، گلی؛ عیسی، علی، علی، علی؛ (۱۳۹۲)؛ بررسی الگوهای سرقت مسکونی با به کارگیری رویکرد تحلیل اکتشافی داده‌های فضایی، مطالعه موردی: شهر زاهدان، پژوهش‌های راهبردی امنیت و نظم اجتماعی، سال دوم، شماره پیاپی ۶، شماره دوم، صص ۱-۲۳.
- ۲- جودوی، زارع؛ عطاءاله، محمد، (۱۳۸۸)؛ معرفی شاخص GQI به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی جهت اهداف آب شرب، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی، تهران.
- ۳- جهانشاهی، روحی مقدم، دهواری؛ افشین، عین الله، عبدالمجید؛ (۱۳۹۳)؛ ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین آمار (مطالعه موردی: آبخوان دشت شهربابک)، نشریه دانش آب و خاک، سال ۲۴، شماره ۲، صص ۱۸۳-۱۹۷.

Environmental Monitoring and Assessment. 174(1-4). pp 283-298.

11- Babakhani, M., Zehtabian, G.r., Keshtkar, A. R. and Khosravi, H., (2016). Trend of Groundwater Quality Changes, Using Geo Statistics (Case Study: Ravar Plain). Pollution, 2(2). pp 115-129.

12- Babiker, S., Mohamed, M. A. A. and Hiyama, T., (2007). Assessing groundwater Quality using GIS. Water Resources Management. 21(4). pp 699-715.

13- Chenini, I. and Khemiri, S., (2009). Evaluation of ground water quality using multiple linear regression and structural equation modeling. International Journal of Environmental Science & Technology. 6 (3).pp 509-519.

14- Edmunds, W M., Shand, P., Hart, P. and Ward, R.S., (2003). The natural (baseline) quality of groundwater: a UK pilot study. Science of the Total Environment. 310 (1-3). pp 25-35.

15- El-Fadel, M., Tomaszkiwicz, M., Adra, Y., Sadek, S. and Abou Najm, M., (2014). GIS-Based Assessment for the Development of a Groundwater Quality Index towards Sustainable Aquifer Management, Water Resources Management. 28(11). pp 71-87

16- Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J. M. and Fernandez, L., (2000). Temporal evolution of ground water composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. Water Research. 34(3). pp 807-816.

17- Hiyama, T., (2010). Evaluation of groundwater vulnerability (and susta inability), 20th UNESCO. IHP training course DOI 10. 1007/S 11269-006-9059-6.

17- Jeong, C.H., (2001). Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. Journal of Hydrology. 253. pp 194-210.

19- Khan, H. H., Khan, A., Ahmed, S. and Perrin, J., (2011). GIS-based impact assessment of land-use changes on groundwater quality: study from a rapidly urbanizing region of South India. Environmental Earth Sciences. 63(6). pp 1289-1302.

۴- خسروی، حیدری علمدارلو، زهتابیان، بذرافشان؛ حسن، اسماعیل، غلامرضا، جواد؛ (۱۳۹۴)؛ بررسی روند زمانی و مکانی شاخص منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت یزد- اردکان)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۲۲، ۴ (۱۳۹۴): صص ۷۱۱-۷۲۰.

۵- دشتی برمکی، رضایی، صابری نصر؛ مجید، محسن، امیر؛ (۱۳۹۳)؛ ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در آبخوان لنجانان با استفاده سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه زمین شناسی مهندسی، سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳، صص ۲۱-۳۸.

۶- دین پژوه، فاخری فرد، حسن پور اقدام، بهشتی وایفان؛ یعقوب، احمد، محمدعلی، وحیده؛ (۱۳۹۴)؛ تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت شبستر- صوفیان، مجله علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۳۸، شماره ۱، صص ۵۵-۶۹.

۷- زهتابیان، جانفزا، محمدعسکری، نعمت الهی؛ غلامرضا، عنایت الله، حسین، محمد جواد؛ (۱۳۸۹)؛ مدلسازی توزیع برخی از خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی در حوضه آبخیز گرمسار)، فصلنامه مرتع و بیابان، جلد ۱۷، شماره ۱، صص ۶۱-۷۳.

۸- سلیمانی، محمودی قرایی، قاسم زاده، سیاره؛ سمیه، محمدحسین، فرشته، علیرضا؛ (۱۳۹۲)؛ بررسی تغییرات کیفی منابع آب باختر کوه سرخ با استفاده از شاخص کیفی GQI در محیط GIS، مجله علوم زمین، پاییز ۹۲، سال بیست و سوم، شماره ۸۹، صص ۱۷۵-۱۸۲.

۹- نظری پور، دوستکامیان، علیزاده؛ حمید، مهدی، سارا؛ (۱۳۹۴)؛ بررسی الگوهای توزیع فضایی دما، بارش و رطوبت با استفاده از تحلیل اکتشافی زمین آمار (بررسی موردی: نواحی مرکزی ایران)، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۱، شماره ۱، صص ۹۹-۱۱۷.

10- Azaza Hamzaoui, F., Ketata, M., Bouhlila, R., Gueddari, M. and Riberio, L., (2011). Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss-Koutine aquifer, southeastern Tunisia.

Sustainability in Arid Regions. Water and Sustainability in Arid Regions. pp 75-86.

20- Khosravi, H., Nakhaee N.S, and Mesbahzadeh, T., (2016). Investigation of Spatial Structure of Groundwater Quality Using Geostatistical Approach in Mehran Plain, Iran. *Pollution 2*, no. 1 (2016). pp 57-65.

21- Kulkarni, H., Shah, M. and Shankar, V., (2015). Shaping the contours of groundwater governance in India. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 4, Part A. pp 172-192.

22- Liou, S. M., Lo, S. L. and Hu, C. Y., (2003). Application of two stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan. *Water Research*. 37(6). pp 1406-1416.

23- Luka, F. and Jonas, L., (2009). *Groundwater: Modeling, Management and Contamination*. Nova Science Publishers, Inc.

24- Machiwal, D. and Jha, M.K., (2015). Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, Part A. pp 80-110.

25- Pazand, K., Hezarkhani, A., Ghanbari, Y. and Aghavali, N., (2012). Geochemical and quality assessment of groundwater of Marand Basin, East Azerbaijan Province, Northwestern Iran. *Environmental Earth Sciences*. 67(4). pp 1131-1143.

26- Simoes, F., Moreira, A. B., Bisinoti, M. C., Gimenez, S., and Santos, M., (2008). Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*. 38(5). pp 476-480.

27- Taghizadeh Mehrjerdi, R., Zareian, M., Mahmodi, Sh. and Heidari, A., (2008). Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan plain). *World Applied Science Journal*. 4(1). pp 9-17.

28- WHO (World Health Organization), (2008). *Guidelines for drinking water quality, chemical fact sheets, First Addendum to Third Edition*. pp 296-405.

29- Zehtabian, G.R., Khosravi, H. and Ghodsi, M., (2009). High demand in a land of water scarcity: Iran, *Water and*