

بررسی روند زمانی و مکانی تغییر پارامترهای کیفی آب دشت کاشان با استفاده از روش‌های زمین آمار

سیدهادی صادقی*، علی آلبوعلی و رضا قضاوی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۳)

چکیده

امروزه با افزایش جمعیت و نیاز آبی در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت، شرب و بهداشت فشار زیادی به منابع آب زیرزمینی وارد شده است. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب در حال حاضر خطر بزرگی در راه توسعه، به خصوص در اراضی خشک و فراخشک می‌باشد. هدف از این مطالعه، بررسی روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت کاشان طی یک دوره ۱۲ ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۲) با بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آمار و طبقه‌بندی دیاگرام شولر و ویل کوکس می‌باشد. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار Export Choice هر یک از پارامترهای مؤثر بر اساس تأثیرشان بر تغییرات کیفیت آب و زندهی شدند. سپس، از میانگین وزنی پارامترها برای پهنه‌بندی کیفیت آب شرب و کشاورزی استفاده شد. نتایج نشان داد که از بین روش‌های زمین‌آمار استفاده شد، روش کریجینگ دایره‌ای عملکرد قابل قبول‌تری بر اساس ضریب همبستگی دارد. در بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب به روش دیاگرام شولر و ویل کوکس نتایج حاکی از روند کاهشی کیفیت آب شرب و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه است. به طوری که سالانه ۱/۷۵ کیلومتر مربع از آب شرب با کیفیت خوب طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۲ کاسته شده و با آب با کیفیت متوسط یا نامناسب جایگزین شده، همچنین این کاهش در بخش کشاورزی چشمگیرتر بوده به گونه‌ای که بین سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۱ سالانه ۱۱/۰۶ کیلومتر از آب‌های با کیفیت مناسب کم شده و در پایان سال ۸۸ میزان این آب در منطقه به صفر رسیده است.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، کیفیت آب، روش‌های زمین‌آمار، روند تغییرات زمانی و مکانی، دشت کاشان

۱. گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

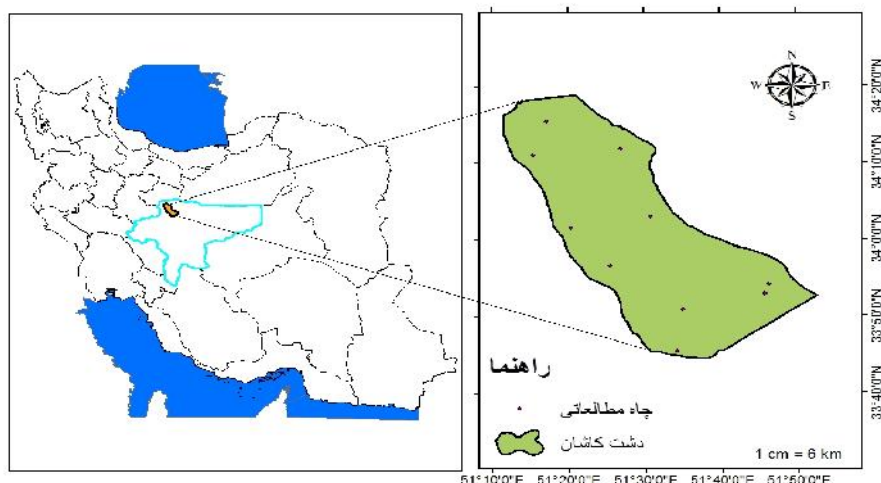
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Hadi.Watershed@gmail.com

مقدمه

به‌طور کلی کیفیت آب یک امر نسبی و معرف ویژگی‌های آن است و از طریق ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی تعریف می‌شود. کیفیت آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های مکانی و زمانی عمل کرده و نمی‌توان خواص آن را در طول زمان و مکان ثابت فرض کرد (۱۱). بخشی از کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به بارش است ولی مهم‌ترین نقش را نوع تشکیلات زمین، طول مسیر طی شده و مدت زمان این جابه‌جایی ایفا می‌کند. کیفیت آب‌ها با توجه به طول مسیر طی شده و فراوانی مواد انحلالی در مسیر می‌تواند تفاوت زیادی در نقاط مختلف پیدا کند. این پدیده باعث می‌شود که در بسیاری از مناطق خشک و بیابانی، علاوه بر کم‌آبی، کیفیت نامناسب آب‌های موجود نیز مشکل ساز باشد (۵). بنابراین اندازه‌گیری و بررسی روند تغییرات کیفیت آب چه از لحاظ کشاورزی و یا شرب بسیار حائز اهمیت است. روش‌های متعددی جهت تعیین کیفیت آب ارائه شده است روش شولر معمول‌ترین روش تعیین کیفیت آب شرب می‌باشد، که طبقه‌بندی آن از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، با اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌ها است. در این روش پارامترهای از قبیل مجموع املاح باقی‌مانده خشک (TDS) و سختی کل آب (TH) نقش اصلی را در تعیین کیفیت آب شرب دارند. روش ویل‌کوکس نیز روشی بسیار متداول در طبقه‌بندی آب‌ها از نظر کشاورزی است. در این طبقه‌بندی دو عامل هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) در نظر گرفته می‌شود و هر یک از آنها به چهار قسمت تقسیم شده که در مجموع باعث پدید آمدن ۱۶ گروه کیفیت آب می‌گردد (۵). اولین قدم در تعیین کیفیت آب با استفاده از این روش‌ها، انتخاب یک مدل مناسب جهت درون‌یابی و پهنه‌بندی داده‌ها است. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) کاربرد فراوانی در پایش و طبقه‌بندی کیفی آب حوضه‌ها داشته و توانایی تحلیل و بررسی اطلاعات در حجم زیاد را فراهم می‌نماید. در این سیستم، با تعیین مراکز مهم جمعیتی، صنعتی و کشاورزی و تخمین بار آلودگی و ترکیب آن با سایر اطلاعات، می‌توان طرح‌های مدیریتی مفیدتری

را ارائه نمود. علاوه بر این، به کمک این ابزار امکان دست‌یابی به روابط دقیق‌تر برای ارتباط میان پارامترهای کیفی منابع آب و پارامترهای مؤثر در حوضه وجود دارد (۸) تاکنون پژوهش‌های متعددی در ارتباط با روش‌های میان‌یابی و پهنه‌بندی توسط محققان مختلف انجام شده است. چانگ (۹) روند تغییرات کیفی برخی از رودخانه‌های جنوب کره را مورد مطالعه قرار داد و به کمک GIS توانست این روند زمانی را بررسی و تحلیل کرده و روابط بین کاربری اراضی منطقه و پارامترهای کیفی آب رودخانه را پیشنهاد دهد. در مطالعه‌ای در حوضه آبریز فیروزآباد، برای بخش‌های کشاورزی و شرب به‌صورت مجزا کیفیت آب با استفاده از GIS بررسی شد که نتیجه آن ارائه راه‌کارهای مدیریتی مناسب‌تر در زمینه مدیریت کیفیت آب این حوضه بود (۸)، دهقان و همکاران (۱۰) تأثیر منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه کشف رود را بررسی کردند. ایشان نتیجه گرفتند که کیفیت آب در ایستگاه‌های اولنگ اسدی، پل خاتون و شور قلعه برای کشاورزی مناسب نیست. علیزاده و همکاران (۷) اثر تغییر اقلیم را بر منابع و مصارف آب در حوضه رودخانه کشف رود بررسی کردند. ایشان علاوه بر پیش‌بینی بارش و دما نتیجه گرفتند در این منطقه پدیده گرمایش جهانی وجود داشته و افزایش دما در بیشتر ماه‌های گرم سال مشهود خواهد بود.

ترابی (۱) در بررسی روند شور شدن آب‌های زیرزمینی شمال دشت کاشان نشان داده که متوسط سطح ایستابی در طی سال‌های ۱۳۴۴ الی ۱۳۷۶، حدود ۱۶ متر افت داشته و علاوه بر آن هدایت الکتریکی متوسط منطقه در همین مدت از حدود ۴۳۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به ۶۹۳۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بالغ گردیده است، در ادامه وی برداشت بیش از حد مجاز را علت عمده این موضوع دانسته است. در تحقیقی، مقدم و همکاران (۴) به بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. در این تحقیق سری‌های زمانی تشکیل شده برای ۳ پارامتر TDS، pH و EC ارزیابی گردید و تأثیر عوامل مختلف به‌ویژه نوسانات آب و هوایی مدنظر قرار گرفت.



شکل ۱. موقعیت دشت کاشان در ایران و استان اصفهان

برنامه‌ریزی پروژه‌های مرتبط عمرانی از مواردی است که ضرورت انجام این پژوهش را توجیه می‌کند. هدف این مقاله، بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب دشت کاشان با استفاده از روش‌های زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی است که به کمک آن بتوان ابزار مدیریتی مناسبی برای کنترل پارامترهای کیفی از نظر شرب و کشاورزی ارائه کرد.

مواد و روش‌ها

دشت کاشان با مساحت ۱۷۴۰ کیلومتر مربع، در شمال استان اصفهان و جنوب غرب تهران در مختصات جغرافیایی ۵۱°۱۱' تا ۵۱°۵۱' طول شرقی و ۳۳°۵۰' تا ۳۴°۲۰' عرض شمالی قرار دارد که از شمال به دریاچه نمک، از شرق به حوضه کویر مرکزی و از جنوب به حوضه زاینده‌رود و از غرب به دلیجان محلات محدود می‌شود، متوسط بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه ۱۳۰ میلی‌متر و میزان متوسط تبخیر آن ۲۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد. موقعیت دشت کاشان در شکل (۱) نشان داده شده است.

جهت انجام این مطالعه پارامترهای شیمیایی کیفیت آب دشت کاشان بین سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۱ شامل Ca^{2+} ، Mg^{2+}

نتایج نشان داد که افزایش فعالیت‌های انسانی، نوسانات آب و هوایی، دمای آب و آلودگی‌های انتقال یافته از خارج محدوده مطالعاتی به ترتیب عوامل موثر بر کیفیت آب دشت مشهد می‌باشند. شنگ‌یه و همکاران (۱۲)، ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت پینگ تانگ در تایوان را با استفاده از روش کریجینگ انجام دادند. در این رابطه، شاخص‌های EC، TDS، کلر، سدیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، آهن و منگنز در ۳۰ حلقه چاه اندازه‌گیری شد. رضایی و همکاران (۲) تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی استان گیلان را با استفاده از زمین آمار بررسی کردند. در این رابطه، از داده‌های کیفی ۱۳۵ حلقه چاه استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان ضریب تعیین برای پارامترهای EC، SAR و Na در روش کریجینگ حدود ۲۵ درصد بیشتر بود.

مقامی و همکاران (۳) در مطالعه‌ای به ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از GIS پرداختند. در این تحقیق از نمودار شولر جهت تعیین کیفیت آب شرب استفاده شد و با به‌کارگیری روش‌های مختلف درون‌یابی در نهایت روش کریجینگ با نیم واریوگرام‌های نمایی و دایره‌ای برای میان‌یابی و پهنه‌بندی کیفیت آب شهرستان آباده انتخاب شد. اهمیت آب در مناطق خشک و فراهشک و نیز

جدول ۱. معیارهای طبقه‌بندی از نظر کشاورزی (دپارتمان کشاورزی آمریکا، ۱۹۴۸)

SAR	EC	
۱۰ >	۲۵۰ >	عالی
۱۰-۱۸	۲۵۰-۷۵۰	خوب
۱۸-۲۶	۷۵۰-۲۲۵۰	متوسط
۲۶ <	۲۲۵۰ <	نامناسب

جدول ۲. معیارهای طبقه‌بندی از نظر شرب (سازمان بهداشت جهانی، ۱۹۷۰)

TH	TDS	Cl	Na	SO ₄	
(میلی‌گرم بر لیتر)	(میلی‌گرم بر لیتر)	(میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	(میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	(میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	
۲۵۰ >	۵۰۰ >	۴/۹۲ >	۵ >	۳/۰۲ >	خوب
۲۵۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۴/۹۲-۹/۸۵	۵-۱۰	۳/۰۲-۵/۸۳	قابل قبول
۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۹/۸۵-۱۹/۷۱	۱۰-۲۰	۵/۸۳-۱۲/۰۸	نامناسب
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۹/۷۱-۳۹/۴۳	۲۰-۴۰	۱۲/۰۸-۲۳/۹۵	بد
۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۳۹/۴۳-۷۸/۸۷	۴۰-۸۰	۲۳/۹۵-۴۶/۶۶	تقریباً قابل شرب
۴۰۰۰ <	۸۰۰۰ <	۷۸/۸۷ <	۸۰ <	۴۶/۶۶ <	غیر قابل شرب

شد و نهایتاً از میانگین وزنی آنها برای پهنه‌بندی استفاده شد، گفتنی است که پارامترهای فوق دارای واحد استاندارد یکسانی بودند. برای گزینش بهترین روش درون‌یابی از ارزیابی متقابل استفاده گردید و روشی که بالاترین ضریب همبستگی را داشت برای درون‌یابی انتخاب شد. برای طبقه‌بندی کیفیت آب برای کشاورزی و شرب معیارهای طبقه‌بندی ویل‌کوکس (جدول ۱) و شولر (جدول ۲) مورد استفاده قرار گرفت. پس از استخراج نقشه‌های پهنه‌بندی برای تمام پارامترها، دشت از نظر کیفیت آب به ترتیب در بخش‌های شرب و کشاورزی طبقه‌بندی گردید. جهت بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب دشت مورد مطالعه و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی از روش‌های درون‌یابی مکانی و نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد در زیر به معرفی روش‌های میان‌یابی پرداخته شده است.

روش‌های درون‌یابی مکانی روش کریجینگ

امروزه به‌طور وسیعی از روش‌های درون‌یابی مکانی برای

از اداره آب منطقه‌ای کاشان دریافت شده بود استفاده گردید. داده‌های موجود با دوره میانگین سالانه، از ۱۲ چاه مشاهده موجود برداشت شده‌اند، نرمال بودن آمار چاه‌های شاهد با آزمون کلموگراف - اسمیرنوف بررسی شد. که تعداد ۲ چاه بر مبنای روش کلموگراف اسمیرنوف پس از عمل لگاریتم‌گیری و نداشتن شرط نرمال بودن حذف شدند. پس از آن به دلیل اهمیت موضوع، تمام پارامترهای مؤثر در کیفیت آب شرب و کشاورزی بر مبنای تأثیرشان در تغییر کیفیت آب در نرم‌افزار Export Choice وزندهی شدند، به گونه‌ای که در بررسی کیفیت آب شرب بر مبنای دیگرام شولر، به ترتیب اهمیت پارامترها TDS و TH بیشترین تأثیر و سایر پارامترها Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ ، Cl^- ، SO_4^{2-} و HCO_3^- از تأثیر کمتر و برابر برخوردار شدند. در بررسی کیفیت آب کشاورزی نیز بر مبنای دیگرام ویل‌کوکس هر دو پارامتر EC و SAR به یک میزان وزندهی شد، سپس ضرایب حاصله در مقادیر هریک از پارامترها ضرب

سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. این روش حالتی از شبکه عصبی مصنوعی است. از دیگر خصوصیات این روش این است که مقادیر بیشتر از حداکثر مقادیر مشاهده‌ای و یا کمتر از حداقل مقادیر مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد. در این مطالعه از روش‌های توابع شعاعی با تابع کاملاً منظم و چند ربعی معکوس استفاده شده است.

نتایج

برای ارزیابی روش‌های درونیابی (وزندهی عکس فاصله، کریجینگ، توابع شعاعی) دقیق‌ترین روش درونیابی با توجه به ضریب همبستگی انتخاب شد (جدول ۳). این نتایج حاکی از برتری روش کریجینگ بر دو روش درونیابی دیگر است به طوری که فاکتورهای اصلی و تأثیرگذار همچون EC، TH، TDS و SAR بر مبنای روش کریجینگ دایره‌ای با دقت ضریب همبستگی بالاتری برآورد شده‌اند، از طرف دیگر کمترین دقت از بین روش‌های درونیابی مربوط به روش وزندهی عکس فاصله با توان یک است.

روند زمانی پارامترهای کیفی آب

از بین پارامترهای کیفی مورد مطالعه، EC، TDS و pH که به ترتیب مهم‌ترین پارامترها در بخش شرب، کشاورزی و صنعت هستند جهت بررسی روند تغییرات زمانی کیفیت طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۱ بررسی شد. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود. براساس نتایج حاصله، در سال ۱۳۸۱ میزان غلظت مواد جامد محلول در آب (TDS) براساس جدول (۲) در کلاس نامناسب قرار دارد این در حالی است که میزان بارش هم در این سال بالاترین میزان بارش در طول دوره آماری بوده یعنی نزدیک به ۲۵۰ میلی‌متر در سال است. در بین سال‌های مورد مطالعه تنها سال‌های آماری ۸۱، ۸۶ و ۸۷ دارای TDS با کلاس نامناسب‌اند که مهم‌ترین دلایل آن را می‌توان به افزایش بارش و کاهش متوالی دما مربوط دانست و بقیه سال‌های آماری در کلاس بد قرار دارند.

پیش‌بینی و تعیین تغییرات مکانی کیفیت منابع آب استفاده می‌شود. کریجینگ عبارت است از یک روش برآورد زمین آماری که بر پایه میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد. به طوری که می‌توان گفت بهترین برآوردکننده خطی نا اریب می‌باشد. این برآوردکننده به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad [1]$$

که در آن $Z^*(x)$: عیار برآوردی، λ_i : وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام و $Z(x_i)$: مقدار متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند زیرا ترکیب خطی از n داده است که شرط استفاده از این برآورده‌کننده این است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا اینکه به نحوی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل نمود. در این مطالعه از روش خطی استفاده شده است.

روش وزندهی عکس فاصله (IDW)

روش IDW برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی براساس فاصله بین آنها تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این وزن‌ها توسط توان وزندهی کنترل می‌شود. به طوری که توان‌های بزرگ تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. البته این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آنها را در نظر می‌گیرد. یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_i = \frac{D_i - a}{\sum_{i=1}^n D_i - a} \quad [2]$$

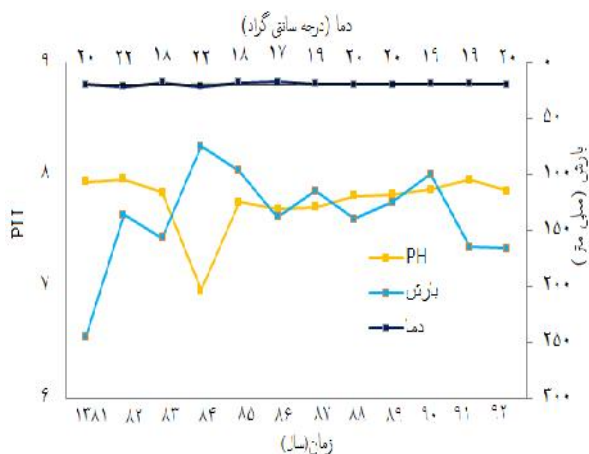
که در آن λ_i : وزن ایستگاه i ام، D_i : فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول و a توان وزندهی می‌باشد.

روش توابع شعاعی (RBF)

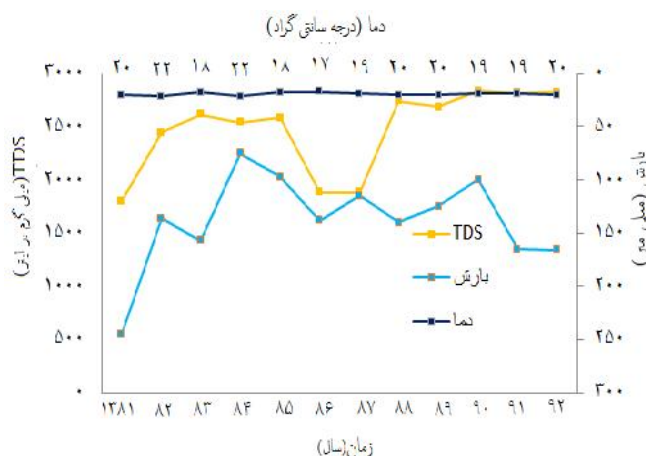
روش RBF از جمله روش‌های درونیابی می‌باشد که در آن

جدول ۳. ضریب همبستگی روش‌های کریجینگ، معکوس فاصله و توابع شعاعی برای پارامترهای کیفی آب

وزندهی عکس فاصله	کریجینگ	توابع شعاعی		توابع شعاعی	کریجینگ	وزندهی عکس فاصله
توان ۱	توان ۲	دایره‌ای	کروی	کاملاً منظم	چندربعی معکوس	
R	R	R	R	R	R	
۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۵۸	SO _۴
۰/۲۰	۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۴۴	Ca
۰/۲۴	۰/۳۶	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۵۱	Na
۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۶۴	Mg
۰/۳۲	۰/۴۳	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۵۷	EC
۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۴۰	۰/۴۲	Cl
۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۴۹	TH
۰/۳۱	۰/۴۲	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۵۱	۰/۵۰	TDS
۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۶۱	۰/۶۳	SAR
۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۴۷	۰/۴۳	HCO ₃



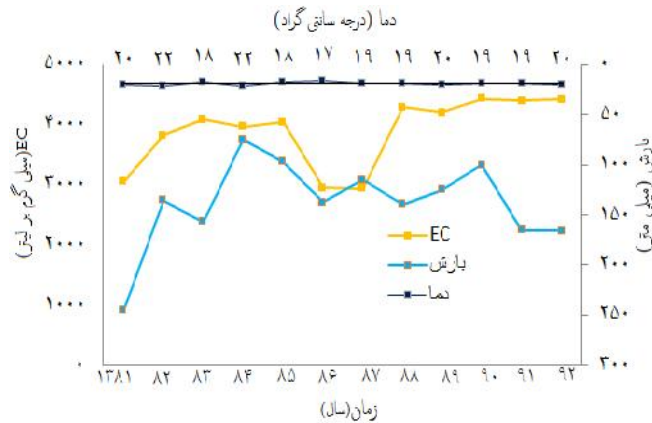
شکل ۳. روند تغییرات زمانی PH در آب دشت کاشان



شکل ۴. روند تغییرات زمانی مواد جامد محلول در آب دشت کاشان

می‌دهد که در تغییرات آن همسانی زیادی با روند تغییرات TDS وجود دارد. که دلیل این موضوع رابطه خطی و تجربی بین مواد محلول در آب و هدایت الکتریکی می‌باشد که در رابطه ۳ بیان شده است (۶). بدین معنی که در سال‌هایی که بارش بیشتر در منطقه وجود داشته و میزان درجه حرارت کمتر بوده تغییرات EC کاهش نشان می‌دهد تنها در سال ۸۳ این تعبیر صحیح نیست که با وجود افزایش بارش و کاهش دما تغییری زیادی در میزان هدایت الکتریکی دیده نمی‌شود که

شکل (۳) روند تغییرات زمانی pH آب را نشان می‌دهد. تغییرات مشاهده شده طی این ۱۲ سال نشان می‌دهد که این پارامتر در سال ۱۳۸۴ کاهش یافته و به مرز آب با pH خنثی رسیده. دلیل اصلی این کاهش مربوط به کاهش بیش از ۷۰ میلی‌متری بارش در این سال نسبت به سال قبل و افزایش ۴ درجه سانتی‌گرادی دما است، با این تفسیر می‌توان ادعا کرد در سال‌های خشک در این منطقه میزان pH کاهش می‌یابد. روند زمانی تغییرات EC رسم شده در شکل (۴) نشان



شکل ۴. روند تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در آب دشت کاشان



شکل ۵. روند تغییرات زمانی کیفیت آب شرب دشت کاشان بر مبنای طبقه‌بندی شور طی دوره ۱۲ ساله آماری به تفکیک دوره‌های ۴ ساله

است. نتایج نشان می‌دهند که با گذشت زمان وضعیت کیفی آب‌های منطقه روند نزولی داشته است. به طوری که در ۴ سال اول (بین سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۴) منابع آب زیرزمینی با کیفیت خوب، قابل قبول و نامناسب به ترتیب مساحتی معادل ۶۳۶/۲، ۷۸۷، ۳۱۶/۸ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده است در حالی که در چهار ساله سوم (بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۲) مساحت مناطق دارای کیفیت خوب با حدود ۲۱ کیلومتر کاهش به ۶۱۵/۲ کیلومتر مربع و مساحت مناطق دارای کیفیت قابل قبول نیز با ۸۷/۲ کیلومتر کاهش، که این کاهش با جایگزینی آب با کیفیت نامناسب بوده به ۶۹۹/۸ کیلومتر مربع رسیده است. به عبارتی سالانه ۱/۷۵ و ۷/۲۶ کیلومتر مربع به ترتیب از سطح مناطق دارای کیفیت خوب و قابل قبول کاسته شده است.

میانگین ۴ ساله وضعیت کیفی آب منطقه در قالب طبقه‌بندی ویلکوکس و براساس روش میانبایی کریجینگ دایره‌ای به‌عنوان

شاید یکی از دلایل آن ناملموس بودن تغییرات بارش در این سال که برابر با میانگین سالانه ۲۰ میلی‌متر است و شرایط خشک اقلیمی حاکم بر منطقه باشد.

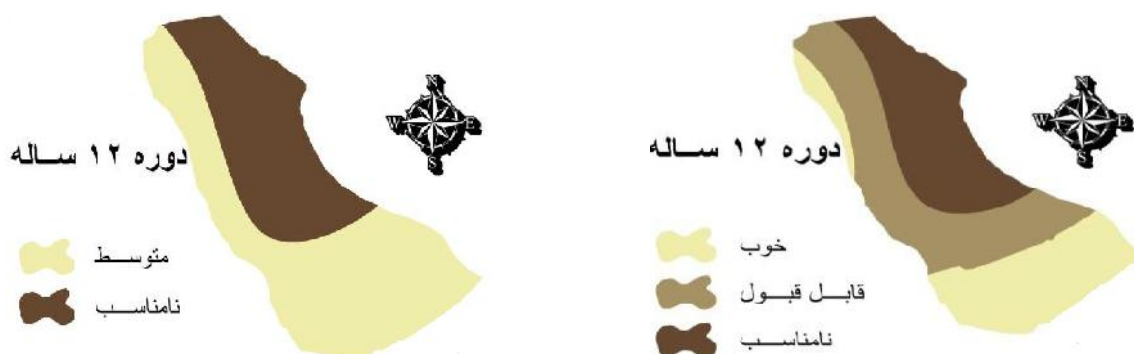
$$TDS = .64EC \quad [3]$$

بررسی تأثیر نوسانات آب و هوایی بر روند تغییرات زمانی کیفیت آب

روند تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب را می‌توان در قالب طبقه‌بندی‌های معمول بررسی کرد، تا از این طریق بتوان به کمک نقشه‌های به‌دست آمده تصمیم‌های قابل قبولی برای بهبود وضعیت اتخاذ کرد. میانگین ۴ ساله وضعیت کیفی آب منطقه در قالب طبقه‌بندی شور و براساس روش میانبایی کریجینگ دایره‌ای به‌عنوان بهترین روش پهنه‌بندی برای منطقه مورد مطالعه برای مصارف آب شرب در شکل (۵) نشان داده شده



شکل ۶. روند تغییرات زمانی کیفیت آب کشاورزی دشت کاشان بر مبنای طبقه‌بندی ویلکوکس طی دوره ۱۲ ساله آماری به تفکیک دوره‌های ۴ ساله



شکل ۸. تغییرات مکانی کیفیت آب دشت کاشان بر مبنای طبقه‌بندی ویلکوکس

شکل ۷. تغییرات مکانی کیفیت آب دشت کاشان بر مبنای طبقه‌بندی شولر

بهترین روش پهنه‌بندی برای منطقه مورد مطالعه برای مصارف آب کشاورزی در شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که با گذشت زمان وضعیت کیفی آب برای مصارف کشاورزی به مانند آب شرب روند نزولی داشته است. به طوری که در ۴ سال اول (بین سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۱) منابع آب زیرزمینی با کیفیت خوب، متوسط و نامناسب به ترتیب مساحتی معادل ۱۴۹، ۶۵۹/۵ و ۹۳۱/۵ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده است در حالی که در چهار ساله سوم (بین سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۹) مساحت مناطق دارای کیفیت خوب به منظور استفاده در بخش کشاورزی به صفر رسیده این در حالی است که آب با کیفیت متوسط با ۶ درصد افزایش به ۷۴۸ کیلومتر مربع و همچنین ۹۹۲ کیلومتر باقی‌مانده از منطقه را آب با کیفیت نامناسب تشکیل داده که حاکی از این واقعیت است که آب‌های با کیفیت متوسط و نامناسب جایگزینی آب با

کیفیت خوب برای کشاورزی گردیده است. قابل ذکر است که در ۴ سال دوم، منطقه آب کیفیت خوب خود را به کل از دست داده بنابراین آب با کیفیت خوب ۱۱/۰۶ کیلومتر کاهش در سال بین سال‌های ۸۸-۸۱ داشته است.

بررسی روند تغییرات مکانی کیفیت آب

روند مکانی تغییرات کیفی آب دشت کاشان بر اساس دیگرام‌های شولر و ویلکوکس برای دوره زمانی ۱۲ ساله به ترتیب در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود برای دوره ۱۲ ساله مورد مطالعه، مساحت مناطق دارای کیفیت خوب، قابل قبول و نامناسب برای آب آشامیدنی به ترتیب ۵۷۴/۲ و ۶۱۳، ۵۵۲/۸ کیلومتر مربع بوده است و قسمت‌های شرقی، شمالی و شمال شرقی دشت دارای کیفیت نامناسب‌تری نسبت به سایر

تغییرات مکانی کیفیت آب کاشان، از سمت شرقی دشت به سمت مناطق مرکزی دشت و شهر کاشان که در بخش شمال غربی منطقه مطالعاتی قرار گرفته به دلیل افزایش فعالیت‌های صنعتی و به دنبال آن پساب‌های خانگی که طی چند سال اخیر در اثر افزایش جمعیت در این مناطق رخ داده رو به وخامت است، طبق آخرین اطلاعات منتشر شده از اداره مرکز آمار، جمعیت کاشان در سال ۱۳۷۵ برابر با ۳۳۵۷۸۵ نفر بوده که براساس آخرین سرشماری صورت گرفته در سال ۱۳۹۰ جمعیت آن نزدیک به ۵۰۰۰۰۰ نفر برآورد گردیده که این افزایش بیشتر در مناطق شهری بوده است. از طرفی بالا بودن میزان تبخیر نسبت به بارش در چند سال اخیر (کاهش ۸ میلی متری میانگین بارش نسبت به میانگین بلندمدت منطقه) و به دنبال آن افزایش شوری دشت به دلیل پساب کارخانه‌ها، اثرات کودهای کشاورزی و همچنین ضعف زهکشی و کمبود منابع آب به خصوص در بخش‌های شرق، شمال شرق و مرکز دشت بر این وضعیت افزوده است. همچنین، کویر مرنجاب در بخش شمالی و شمال شرقی دشت که قسمتی از شهرستان آران و بیدگل را در بر می‌گیرد با طبیعتی خشک و داشتن خاک‌های که اغلب شور هستند عاملی دیگر بر پایین بودن کیفیت آب در نتایج این ناحیه از منطقه است. در بخش جنوبی دشت نیز مناطقی چون ابوزید آباد و نطنز با وجود فعالیت‌های معدنی در این مناطق، از آب نسبتاً با کیفیتی برای شرب برخوردارند اما براساس استانداردهای آب کشاورزی شرایط متوسطی دارند، اما کاهش کیفیت آب از بخش مرکز دشت به سمت جنوب و از سمت شرق به سمت مناطق غربی دشت در حال پیشروی است. که در صورت ادامه این روند تا چند سال آینده کاهش بیش از پیش کیفیت آب در دو بخش کشاورزی و شرب در این مناطق روی خواهد داد. لذا پیشنهاد می‌شود بهبود وضعیت زهکشی دشت به منظور دفع پساب‌های صنعتی و خانگی به خصوص در بخش شمال غربی دشت که روند آلودگی با سرعت بیشتری به دلیل تجمع کارخانجات و مناطق مسکونی (شهر کاشان) در پیش است

بخش‌های دشت است. همچنین کاهش کیفیت آب از بخش‌های مرکزی به سمت جنوب و غرب مشاهده می‌شود.

همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود وضعیت کیفیت آب کشاورزی بر مبنای روش ویلکوکس بهتر از آب شرب نیست. به طوری که براساس روش ویلکوکس کیفیت آب تنها در دو گروه کیفیت متوسط و نامناسب طبقه‌بندی شد و ۴۱/۳ درصد از مساحت منطقه دارای کیفیت آب نامناسب برای کشاورزی است که بخش‌های مرکزی به سمت شمال و مرکزی به سمت شرق بیشترین نواحی با کیفیت آب نامناسب‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

نتیجه اصلی این مطالعه تعیین روند مکانی و زمانی تغییرات کیفیت آب شرب و کشاورزی دشت کاشان می‌باشد تا براساس نتایج حاصله از این روند اقدامات و تصمیمات صحیح در این خصوص اتخاذ گردد. بررسی روند زمانی پارامترهای TDS و EC با توجه به رابطه خطی و تجربی این دو پارامتر نشان داد که میزان این دو پارامتر در سال‌های ۸۸ تا ۹۲ در سطح کیفی بد قرار دارد که بخشی از آن مربوط به کاهش بارندگی در طی این سال‌ها و ثابت ماندن دما که تبخیر هرچه بیشتر را منجر شده که رقیق شدن یون‌های موجود در آب را به همراه خواهد داشت. همچنین مقدار مواد جامد محلول در آب شهرستان کاشان بین ۱۷۰۰ تا ۳۰۰۰ و میزان هدایت الکتریکی آن ۳۰۰۰ تا ۴۵۰۰ می‌باشد که هر دو پارامترها حاکی از نامتناسب بودن کیفیت آب از لحاظ شرب و کشاورزی است. بررسی روند زمانی pH نیز نشان داد که میزان آن بین سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۳ کاهش یافته که این تغییر را می‌توان به نوسانات آب و هوایی ربط داد به طوری که میزان این پارامتر در سال‌های خشک کاهش یافته و همزمان با این فرآیند میزان اکسیژن محلول در آب کاهش می‌یابد، قابل ذکر است میزان pH شهرستان کاشان بین ۷ تا ۸ می‌باشد که براساس استاندارد کشورهای مختلف و سازمان بهداشت جهانی و یونسکو در سطح مطلوب قرار دارد. در بررسی روند

انجام گیرد. همچنین توسعه کارخانجات جدید در بخش خود جای داده تا ورود پساب‌های آن شرایط آب را در این شمال شرقی دشت صورت بگیرد که کویر مرنجاب را در منطقه به‌خصوص در نواحی شهری وخیم‌تر نماید.

منابع مورد استفاده

۱. ترابی، ع. ۱۳۷۸. بررسی روند شور شدن آب‌های زیرزمینی شمال دشت کاشان. مجله بیابان، مجله بیابان، جلد چهارم، شماره ۲.
۲. رضایی، م. ن. دوانگر، خ. تاجداری و ب. ابولپور. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار. نشریه آب و خاک. ۲۴(۵): ۹۴۱-۹۳۲.
۳. مقامی، ی. قضاوی، ر. ولی، ع. و س. شرفی. ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به‌منظور پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از GIS، مطالعه موردی شهرستان آباءه. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی ۲۲: ۱۸۲-۱۷۱.
۴. مقدم، ع. ر. قلعه‌بان تکمه‌دانش، م. و ک. اسماعیلی. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۰(۳): ۲۲۵-۲۱۱.
۵. مهدوی، م. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی، چاپ دوم، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
6. Alizadeh, A. 1999. Applied Hydrology. Imam Reza University Press, 807 p.
7. Alizadeh, A., N. Sayari, M. Hesami Kermani, M. Banayan Aval and A. Farid Hosseini. 2002. Investigation of potential effect of atmospheric variations on water resources (Case Study: Kashafroud Basin). Water and Soil J. 24: 815-835.
8. Askari Marnani, S., M. Chitsazan and Y. Mirzayi. 2001. Investigation of water quality in firoozabad sub-chachment in view of domestic and agricultural usage using GIS. the 8th International congress on river engineering, shahid chamran university, P. 1-8, Iran.
9. Chang, H. 2008. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. Water Resour. 42: 3285-3304.
10. Dehghan, P., M. Ghafouri and S. Alami. 2000. Investigation of Pollutants effects in Kashafroud river water quality., 3rd Conference of Water Resources Management of Iran, Tabriz University, P. 1-11, Iran.
11. Mozafarizadeh J. 2006. Investigating the effect of geology formations on the groundwater quality 1st conference Environment Geology tehran, Iran.
12. Sheng Yeh, M. S., Y. P. Lin and L. C. Chang. 2006. Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial kriging and genetic algorithms. Environmental Geology, 50: 101-121.

Investigation of Temporal and Spatial Trends of Water Quality Parameters Change Using Geostatistic Methods in Kashan Plain

S. H. Sadeghi^{*}, A. Allbuali and R. Ghazavi¹

(Received: Nov. 01-2014 ; Accepted : Feb. 02-2016)

Abstract

Nowadays, the increasing population and water demand in various sectors of agriculture, industry, drinking and sanitation has brought about tremendous pressure on groundwater resources. Changes in groundwater quality and salinity of the water resources are currently major threats to development, especially in the dry and too dry lands. The aim of this study is evaluation of the trend of changes in groundwater quality, both temporally and spatially, in Kashan plain over a period of 12 years (2002-2013) using geostatistical methods and classification methods namely Shouler and Wilcox. Thereby, Export Choice has been used and each parameter has been weighted according to its effect on water quality changes. Then, the weighted average of water quality parameters was used for zoning the drinking and agriculture water. The results showed that among the geostatistical methods, circular Kriging based on the correlation coefficient has more acceptable performance. Moreover, the results of spatial and temporal changes in water quality based on Shouler and Wilcox indicate a decrease of drink and agriculture water quality in the study area. Besides, 1.75 km² of high quality drinkable water was annually decreased between 2002 and 2013 and replaced with moderate or poor quality water. Also, the same but more remarkable decline happened in agriculture water so that 11.06 km² of high quality agriculture water annually diminished from 2002 to 2009 and plunged zero by 2009.

Keywords: Geostatistical methods, Kashan Plain, Spatial and temporal trends, Water quality, Zoning.

1. Dept. of Range & Watershed Manage. Natural Resour. and Earth Sci. College, Univ. of Kashan, Kashan, Iran.

* Corresponding Author, Email: Hadi.Watershed@gmail.com