



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## بررسی تاثیر اقلیم بر کیفیت شیمیایی آبخوان دشت ورامین با استفاده از نرم افزار GIS

لیلا کرمی<sup>۱</sup>، محمود علی محمدی<sup>۲،۳\*</sup>، لیندا یادگاریان<sup>۱</sup>

- ۱- گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
- ۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۳- مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

### اطلاعات مقاله:

### چکیده

**زمینه و هدف:** آب‌های زیرزمینی اصلی‌ترین منابع تامین آب شرب در جهان هستند. تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر منجر به بحران کم‌آبی در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران شده است. در چنین شرایطی، تامین آب آشامیدنی سالم اهمیت ویژه‌ای دارد و آگاهی از تاثیرات اقلیمی بر کیفیت شیمیایی این منابع می‌تواند نقش عمده‌ای در بهره‌برداری مناسب از آنها داشته باشد. **روش بررسی:** با استفاده از مدل‌های زمین‌آماري GIS تاثیر عوامل اقلیمی دمای کمینه و بیشینه، میانگین بارش، تبخیر، تعرق و شاخص پوشش گیاهی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ورامین شامل: pH، هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول، آنیون‌ها و کاتیون‌ها و سختی کل بررسی و نقشه‌های پهنه‌بندی آنها تولید شد. همبستگی این فاکتورها با استفاده از ابزار تحلیل همبستگی فضایی در سطح اطمینان ۰/۹۵ ( $p = ۰/۰۵$ ) در محیط GIS بررسی شد.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۰۲  
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۴/۲۷  
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۱  
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۶/۲۶

**یافته‌ها:** نتایج نشان دادند که این پارامترها (به جز pH) در سطح دشت از تغییرپذیری بسیار بالایی برخوردارند و توزیع فضایی داده‌ها در این منطقه حول میانگین، نرمال نیست و به‌صورت معنی‌داری فراوانی پیکسل‌های با مقادیر کمتر از میانگین فضایی منطقه، بالاتر است. توزیع فضایی فاکتورها نشان دادند که مقدار آنها (به جز pH) در نواحی مرکزی دشت کم بوده و در نواحی غربی و شمال غربی به اوج خود می‌رسند. توزیع فضایی pH در تمامی نواحی دشت تقریباً یکنواخت بود. **نتیجه‌گیری:** نتایج آنالیز همبستگی نشان داد که کیفیت منابع آبی متاثر از عوامل اقلیمی بوده و دمای بیشینه، بالاترین اثر اقلیمی را دارد.

**واژگان کلیدی:** آب‌های زیرزمینی، کیفیت شیمیایی، فاکتورهای اقلیمی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

[m\\_alimohammadi@tums.ac.ir](mailto:m_alimohammadi@tums.ac.ir)

## مقدمه

کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی مهمترین مسئله در استفاده از این منابع تامین آب شیرین در جهان است (۱). امروزه موضوع تغییر اقلیم و پیامدهای آن از بحران‌های اساسی مدیریت منابع آبی است (۲). منابع آب زیرزمینی از طریق تعامل مستقیم با منابع آب سطحی و تعامل غیرمستقیم از طریق روند تغذیه، با پدیده تغییر اقلیم در ارتباطاند (۳). در برخی مناطق، تغییرات اقلیمی و برداشت بیش از حد آب در سال‌های اخیر موجب شده تا سطح آب‌های زیرزمینی به مقدار زیادی افت نموده و جریان زیرسطحی آب شیرین کم شده و در نتیجه آب شور به خشکی نفوذ نماید (۴). بنابراین با توجه اتکاء بشر به آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یک منبع پایدار، بررسی کیفیت این منابع و تاثیرپذیری آن از شرایط اقلیمی به‌خصوص در مناطق گرم و خشک کشور حائز اهمیت ویژه‌ای است (۵).

شرایط اقلیمی به‌عنوان میانگین بلندمدت هواشناسی یک منطقه، که در واقع برهم‌کنش و تعاملی پیچیده بین همه عوامل جغرافیایی و اکولوژیکی محیط است، نقش مهمی در تعیین کمیت و کیفیت منابع آب به‌طور عام و منابع آب زیرزمینی به‌طور خاص دارد. آگاهی از چگونگی تاثیرپذیری کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی یک منطقه از شرایط اقلیمی آن می‌تواند معیاری نسبی از وضعیت آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف، بوجود آورده و امکان برنامه‌ریزی برای کنترل و مدیریت برداشت آب‌های زیرزمینی را ایجاد کند (۶-۸).

در همین رابطه Montazeri و همکاران (۹) در مطالعه خود تاثیر اقلیم و به‌خصوص گرم شدن کره زمین بر منابع آب کشور را مورد بررسی قرار دادند. آنها در مطالعه خود، تغییر اقلیم را پدیده‌ای متأثر از عواملی چون فعالیت‌های خورشیدی، آتشفشان‌ها، اتمسفر و درصد گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین توصیف کردند که اثرات ناشی از تغییرات آنها منجر به دگرگونی در وضعیت آب و هوایی، تغییر توزیع مکانی و زمانی بارش، جریان‌های سطحی، تبخیر، تغذیه سفره آب‌های زیرزمینی و کیفیت آب این منابع می‌شود. آنها گرم شدن کره زمین را مهمترین عامل اثرگذار بر تغییرات اقلیم دانستند و

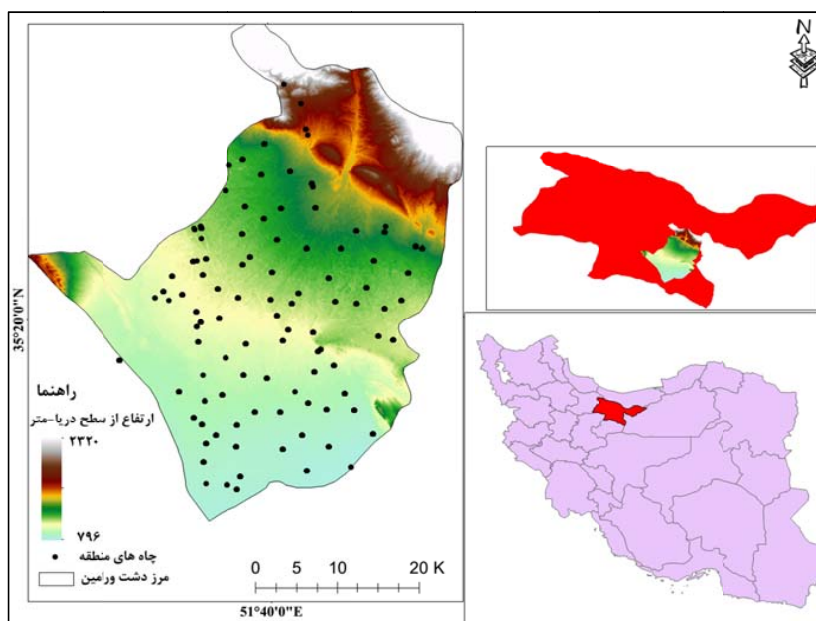
با بررسی سناریوهای مختلف نتیجه گرفتند این پدیده در نهایت منجر به کاهش کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی و زیرزمینی خواهد شد. Keshavarzi و همکاران (۱۰) در مطالعه خود اثرات پدیده تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت منبع آب زیرزمینی دشت قروه را مورد مطالعه قرار دادند. آنها با در نظر گرفتن این نکته که ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد و در وضعیتی نامطلوب‌تر نسبت به متوسط دنیاست، بر اهمیت بررسی تاثیر پدیده تغییرات اقلیمی نظیر وقوع خشکسالی‌های متناوب و طولانی و نوسانات زیاد آب و هوایی و تاثیر آن بر منابع آبی کشور تاکید کردند. آنها در مطالعه خود به بررسی وضعیت زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی منطقه پرداخته و سپس تغییرات کیفی و کمی آب‌های زیرزمینی در اثر پدیده تغییر اقلیم را مورد ارزیابی قرار دادند. Abbasnia و همکاران در سال ۲۰۱۸، در مطالعه‌ای به ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی مناطق جنوب غربی ایران (محدوده‌ای از دره‌های روستای چابهار در استان سیستان و بلوچستان) پرداختند. هدف از این مطالعه، ارزیابی و تجزیه و تحلیل کیفیت آب آشامیدنی روستاهای چابهار استان سیستان و بلوچستان با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) و بررسی پایایی آب (water stability) منطقه مورد مطالعه بود. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر لانژلیه (LSI)، ریزنر (RSI)، پوکوریوس (PSI)، لارسون-اسکولد (S-L) و تهاجم (AI) به ترتیب  $(0/5 \pm 0/34)$ ،  $(0/6 \pm 6/76)$ ،  $(0/99 \pm 6/50)$ ،  $(1/59 \pm 2/71)$ ،  $(0/34 \pm 12/63)$  بودند. محاسبه WQI برای نمونه‌های آب زیرزمینی نشان می‌دهد که ۲۵ درصد از نمونه‌ها می‌توانند به‌عنوان آب عالی مورد توجه قرار گیرند، ۵۰ درصد از نمونه‌ها به‌عنوان آب مناسب طبقه بندی شده و ۲۵ درصد از نمونه‌ها در دسته آب ضعیف هستند (۱۱).

همچنین Khalili و همکاران (۱۲) در مطالعه خود به ارزیابی اثر تغییر اقلیم در تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان‌های ارومیه و کهریز پرداختند. آنها دریافتند خشکسالی و برداشت بیش از حد مجاز از چاه‌های منطقه باعث کاهش سطح آب زیرزمینی منطقه و کیفیت آن شده است. آنها در

و Shabankareh Fard و همکاران (۱۸) در شهر چابهار به بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و باکتریایی آب این مناطق پرداخته و نتایج حاصل را با شاخص‌های استاندارد مورد مقایسه قرار دادند. همچنین Kolahkaj و همکار (۱۹) در دشت رامهرمز به ارزیابی اثرات خشکسالی بر کیفیت شیمیایی آب استحصال شده از چاه‌های این دشت‌ها پرداختند. Zehtabiyan (۲۰) در شهر گرمسار با استفاده از روش‌های میان‌یابی زمین‌آمار با مقایسه این روش و دیگر عوامل ارزیابی به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آمار از دقت بالایی برخوردارند.

هدف از انجام این مطالعه بررسی تاثیر عوامل اقلیمی بر کیفیت شیمیایی آبخوان دشت ورامین به‌منظور شناخت وضعیت منطقه و برنامه‌ریزی مناسب و متناسب با آن جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آبی موجود در این منطقه است. در این مطالعه از تعداد ۸۰ حلقه چاه با اطلاعات مکانی مشخص نمونه‌برداری و با توجه به شاخص کیفیت آب زمینی (Ground water quality index) پایش انجام شد و پهنه‌بندی‌های مدنظر با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS صورت پذیرفتند.

مطالعه خود یکی از عوامل اقلیمی مؤثر بر کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه را کاهش آب دریاچه ارومیه و خشک شدن برخی از نواحی آن دانسته‌اند. در بررسی‌ها مشخص شد سطح آب‌های زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ کاهش یافته و میزان شوری و هدایت الکتریکی آن افزایش یافته است. Najafzadeh و همکاران (۱۳) در مطالعه خود به بررسی تاثیر عوامل اقلیمی و زمین‌شناسی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهولات پرداختند. آنها در پژوهش خود داده‌های مربوط به سطح آب، هدایت الکتریکی و غلظت کل نمک‌های محلول را در سه دوره آماری مربوط به سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ در محیط نرم‌افزار Arc GIS با روش زمین‌آمار مورد ارزیابی قرار دادند. برای تعیین عوامل مؤثر بر تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی به بررسی عواملی چون کاهش میزان بارش و خشکسالی، شرایط زمین‌شناسی، رسوب‌شناسی و پیشروی آب‌های شور از کویرهای مجاور پرداختند. همچنین در زمینه پایش کیفیت شیمیایی منابع آبی Dindarloo و همکاران (۱۴) در شهر بندرعباس، Biglari و همکاران (۱۵) در شهر زاهدان، Khastou (۱۶) در شهر اسلامشهر و Mohapatra و همکاران (۱۷) در هند



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و توزیع فضایی چاه‌های مورد مطالعه در سطح منطقه

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دشت ورامین در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی تهران واقع شده و دارای طول جغرافیایی ۴۰° ۵۱' و عرض جغرافیایی ۳۰° ۳۵' است و در ارتفاع تقریبی ۱۰۰۰ m از سطح دریا واقع شده است. مساحت دشت آبرفتی آن حدود ۱۳۹۷۰۰ ha است. کل وسعت این دشت حدود ۱۳۸۰۰۰ ha است که بیش از ۶۰۰۰۰ ha از آن جزء اراضی کشاورزی محسوب می‌شود (شکل ۱).

دشت ورامین دارای اقلیم خشک بوده و از ویژگی‌های آن بارندگی کم، گرمای زیاد و دوره خشک طولانی است. نواحی شمالی این منطقه با میانگین دمای سالانه ۱۱ °C کمترین دمای منطقه و نواحی جنوبی منطقه با میانگین سالانه ۱۸ °C بیشترین دما را دارند. توزیع فضایی بارش در این منطقه بیانگر آن است که از شمال به جنوب و از غرب به شرق از میزان بارش منطقه کاسته می‌شود. تغییرات بارش ایستگاه ورامین نشان می‌دهد مقدار بارش میانگین سالانه در این منطقه ۱۷۳ mm است (۲۱).

## نمونه برداری

در این مطالعه به منظور بررسی اثرات اقلیمی بر کیفیت شیمیایی آب‌های استحصال شده از چاه‌های دشت ورامین، با انجام هماهنگی‌های لازم، مختصات (Universal UTM) و اطلاعات مربوط به کیفیت شیمیایی آب چاه‌های منطقه از شرکت آب و فاضلاب شهرستان ورامین و دانشگاه علوم پزشکی تهران در طول دوره زمانی ۱۳۸۲ الی ۱۳۹۵ جمع‌آوری گردید. همچنین مشخصات ایستگاه‌های فعال هواشناسی و باران سنجی شهرستان ورامین و اطلاعات مربوط به میزان بارش و دمای میانگین مربوط به منطقه در طول دوره مذکور از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد.

### انجام آزمایش‌ها

کلیه آنالیزهای کیفی منابع آب در آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشگاه علوم پزشکی تهران و براساس دستورالعمل استاندارد متد صورت پذیرفته است. هدایت الکتریکی و pH با استفاده از دستگاه کالیبره شده اندازه‌گیری شدند. خلاصه آزمون‌های انجام شده در جدول ۱ آمده است (۲۲، ۲۳).

جدول ۱- خلاصه روش آزمون پارامترهای مورد بررسی

پارامتر مورد اندازه‌گیری	خلاصه روش آزمون
کل جامدات محلول	نمونه فیلتر شده در داخل بوته از قبل آماده شده ریخته و در حمام بخار قرار داده می‌شود تا خشک شود. سپس داخل فور قرار داده شده و پس از خشک شدن وزن آن محاسبه شد.
سختی کل	با روش حجم‌سنجی با محلول استاندارد EDTA در حضور معرف اربوکروم بلک تی و تامپون آمونیاک ۱۰
کلر	با روش آرژانتومتري در حضور معرف کرومات پتاسیم و تیتراسیون با نیترات نقره
مقدار آنیون‌ها	روش اسپکتروفتومتر
نیترات	روش اسپکتروفتومتر
مقدار کاتیون‌ها	با روش حجم‌سنجی با محلول استاندارد EDTA در حضور معرف مورکساید و سود
کلسیم	نشر شعله‌ای توسط دستگاه فلیم فتومتر
منیزیم	نشر شعله‌ای توسط دستگاه فلیم فتومتر
سدیم	با استفاده از اختلاف سختی کل و سختی کلسیم
پتاسیم	

در این معادله، وزن‌ها از حل همزمان مجموعه‌ای از معادلات و با حداقل کردن واریانس عبارت ذیل به دست می‌آیند (معادله ۳) (۲۴، ۲۵).

$$\text{var}\{\sum w_i z(x_i y_i) - z(x_0 y_0)\} \quad (3)$$

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

اطلاعات کیفی و شیمیایی هر چاه به صورت مکانی در نقاط مربوط به آنها قرار داده شده و در سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه گردید.

### یافته‌ها

#### اطلاعات مربوط به چاه‌ها

همان‌طور که گفته شد در این مطالعه اطلاعات مربوط به ۸۰ حلقه چاه موجود در دشت ورامین مورد ارزیابی قرار گرفتند. خلاصه آماری نتایج آزمون‌های انجام شده در جدول ۲ ارائه گردیده است.

#### نرمال‌سازی داده‌ها

در ارائه نقشه برآوردی توزیع فضایی مربوط به ۶ ویژگی مورد مطالعه برای بررسی نرمال یا شبه نرمال بودن داده‌ها از نمودار Q-Q PLOT استفاده شد. داده‌های مربوط به توزیع فضایی تمامی پارامترها (به جز pH) نرمال نبودند که برای نرمال‌سازی آنها از تابع لگاریتم طبیعی استفاده شد.

### روش آنالیز آماری و زمین‌آماري

در این مطالعه از مدل زمین‌آماري کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging) با نیم تغییرنمای گاوسین با پیکسل سائز ۲۱۳ متر استفاده شد. کریجینگ روشی است که در آن به منظور برآورد یک نقطه ناشناخته، به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده وزنی نسبت داده می‌شود. کریجینگ یک برآوردگر خطی به شکل زیر است (معادله ۱):

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

در این معادله،  $Z^*$  مقدار متغیر مکانی برآورد شده،  $Z(x_i)$  مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه  $X_i$  و  $\lambda_i$  وزن آماری است که به نمونه  $X_i$  نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه  $i$  ام در برآورد است. بسته به کیفیت همبستگی و نحوه تغییرات مکانی پدیده‌ها و همچنین ارتباط بین متغیر مورد بررسی و سایر متغیرهای توضیحی، روش میان‌یابی کریجینگ به انواع مختلفی تقسیم می‌شود. در روش کریجینگ معمولی، با فرض غلبه مؤلفه همبستگی مکانی و به کارگیری مستقیم نیمه‌پراش نگار (Semi diffractogram)، مقدار  $Z$  در نقطه‌ای مانند  $Z_0$  از معادله ۲ به دست می‌آید:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^s w_x Z_x \quad (2)$$

جدول ۲- اطلاعات به دست آمده از نتایج آنالیز آب‌های استحصال شده از ۸۰ حلقه چاه موجود در دشت ورامین

متغیر	مقادیر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
کل جامدات محلول	۲۱۶	۹۱۶۳	۱۲۸۷/۵	۱۶۱۶/۲	۱۲۵/۵	٪ ۱۲۵/۵
سختی کل	۱۷۱	۳۹۵۰	۶۵۹/۷	۷۴۲	۱۱۲/۴	٪ ۱۱۲/۴
کاتیون‌ها	۴/۱	۱۳۰/۸۶	۲۲/۳۳	۲۷	۱۲۱	٪ ۱۲۱
آنیون‌ها	۴/۳۱	۱۲۱/۲۱	۲۲/۴۸	۲۶/۶۸	۱۱۸/۶۸	٪ ۱۱۸/۶۸
EC	۴۲۳	۱۲۴۰۰	۲۲۳۷/۴	۲۶۶۷	۱۱۹/۲	٪ ۱۱۹/۲
pH	۷/۰۳	۸/۹	۷/۷۸	۰/۳۷	۴/۸	٪ ۴/۸

### توزیع فضایی پارامترها

شکل های (۲- الف) تا (۲- و) توزیع فضایی پارامترهای اصلی مورد مطالعه در دشت ورامین را نشان می دهند. همان طور که مشاهده می گردد، در توزیع فضایی مربوط به مشخصه های غلظت کاتیون ها، غلظت آنیون ها، کل جامدات محلول، سختی کل و هدایت الکتریکی نواحی غربی و شمال غربی دشت دارای بالاترین مقادیر هستند. مقدار بیشینه توزیع فضایی برای این پارامترها به ترتیب عبارتند از: ۲۸ تا ۱۱۸ mg/L برای غلظت کاتیون ها و ۲۹ تا ۱۳۵ mg/L برای غلظت آنیون ها، ۱۸۲۰ تا ۹۱۶۳ mg/L برای کل جامدات محلول، ۲۵۵۴ تا ۸۸۲ تا ۳۹۵۰ mg/L (CaCO<sub>3</sub>) برای سختی کل و ۱۳۳۶۰ برای هدایت الکتریکی. همچنین برای pH می توان گفت که توزیع فضایی این پارامتر در سطح ناحیه تقریباً یکنواخت بوده و در بخش کوچکی از شمال غرب دشت به بالاترین میزان خود که حدود ۸ تا ۶/۸ است، می رسد.

جدول ۳ مقادیر کمینه فضایی، بیشینه فضایی، میانگین فضایی غلظت، انحراف معیار فضایی، ضریب تغییرات فضایی و چولگی فضایی برای این پارامترها را نشان می دهد.

مقایسه میانگین فضایی و انحراف معیار فضایی بیانگر تغییرپذیری بسیار شدید برای تمامی این عوامل در این ناحیه است. همچنین از تقسیم شاخص انحراف معیار بر میانگین فضایی، ضریب تغییرات فضایی توزیع برای این پارامترها

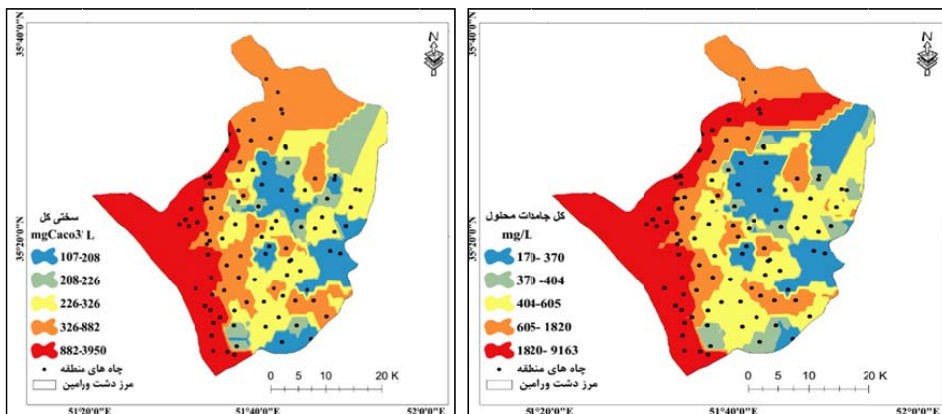
به دست آمدند. این اعداد گویای آن هستند که توزیع فضایی این پارامترها در آب های زیرزمینی منطقه مورد بررسی به شدت متغیر است. اما برای پارامتر pH، تغییرپذیری پایینی برای این پارامتر وجود دارد.

چولگی فضایی توزیع به دست آمده برای کاتیون ها، آنیون ها، کل جامدات محلول، سختی کل و هدایت الکتریکی نشان می دهد که توزیع فضایی داده ها در منطقه مورد بررسی حول میانگین، نرمال نیست و به صورت معنی داری فراوانی پیکسل های با مقادیر کمتر از میانگین فضایی منطقه، بالاتر است. به دست آمدن مقدار چولگی فضایی توزیع برابر با ۰/۵ برای pH نشان می دهد توزیع فضایی این متغیر حول میانگین، نرمال و متقارن است.

مطالعات مربوط به روند فضایی عمومی پارامترها در آب زیرزمینی دشت ورامین در دو جهت جنوب به شمال و غرب به شرق انجام شد. نتایج نشان دادند که با حرکت از غرب به سمت شرق مقدار این پارامترها به جز pH در آب های زیرزمینی منطقه روند کاهشی چشمگیری دارند. بنابراین این عوامل در آب های زیرزمینی منطقه از یک روند معنی دار کاهشی غربی شرقی برخوردارند. همچنین روند فضایی پارامتر pH در آب های زیرزمینی منطقه نشان داد که در راستای محور غرب به شرق، یک روند افزایشی نسبتاً ملموسی در pH، آب های زیرزمینی منطقه وجود دارد.

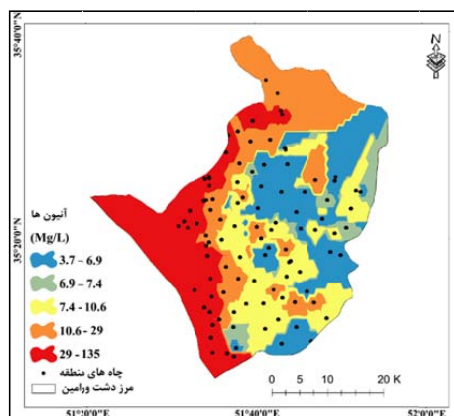
جدول ۳- مقادیر کمینه فضایی، بیشینه فضایی، میانگین فضایی غلظت، انحراف معیار فضایی، ضریب تغییرات فضایی و چولگی فضایی مربوط به پارامترهای مورد مطالعه

چولگی	ضریب تغییرات	انحراف معیار فضایی توزیع	میانگین فضایی غلظت	بیشینه	کمینه	مقادیر متغیر
۲/۰۲	۰/۸۹	۲۱۸۵	۲۴۳۹	۷۲۷۸	۲۳۵	کل جامدات محلول (mg/L)
۱/۸	۰/۸۵	۸۷۰	۱۰۲۹	۳۲۷۴	۱۳۰	سختی کل (mg/L (CaCO <sub>3</sub> ))
۱/۹	۰/۷۸	۳۰	۳۷/۳	۱۱۸	۵	کاتیون ها (mg/L)
۲/۰۲	۰/۸۷	۳۴	۳۹/۵	۱۱۹	۴/۵	آنیون ها (mg/L)
۲/۰۲	۰/۸۸	۳۲۹۳	۳۷۳۲	۱۱۶۱۲	۴۳۵	EC (μs/cm)
۰/۵	۰/۰۲	۰/۲	۷/۸	۸/۴	۷/۳	pH

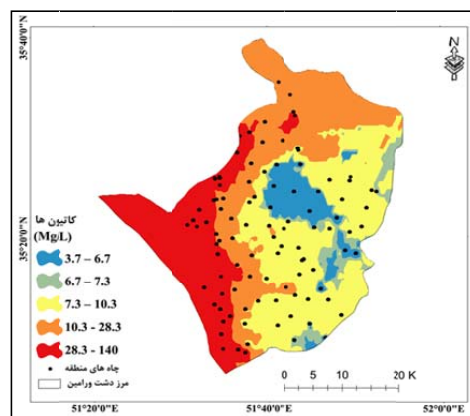


(ب)

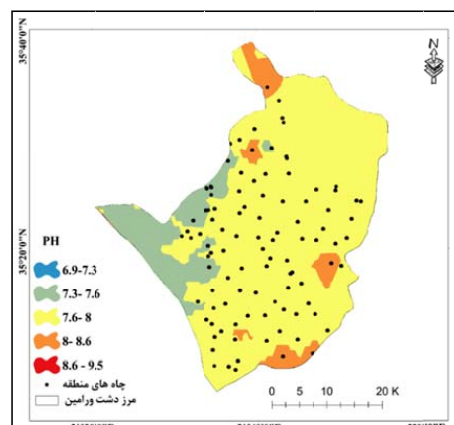
(الف)



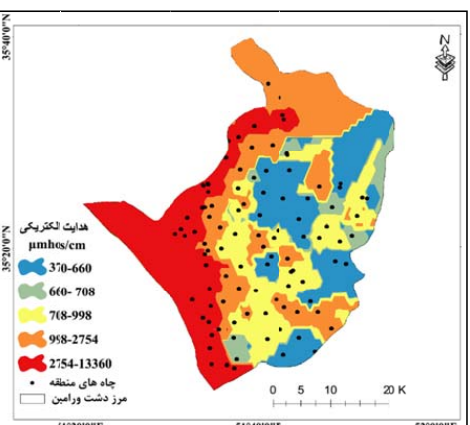
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۲- الف) توزیع فضایی پارامتر کل جامدات محلول (TDS)، ب) توزیع فضایی پارامتر سختی کل، ج) توزیع فضایی کاتیون‌ها، د) توزیع فضایی آنیون‌ها، ه) توزیع فضایی پارامتر هدایت الکتریکی (EC)، و) توزیع فضایی پارامتر pH در آب زیرزمینی دشت ورامین. نقشه برآوردی مدل زمین آماری کریجینگ معمولی با نیم تغییرنمای گاوسین با پیکسل سایز ۲۱۳ (متر)

محدودیت خاصی مشاهده نشد.

براساس استاندارد، میزان حداکثر سختی کل (به عنوان شاخص دوم) مجاز و مطلوب در آب‌های آشامیدنی به ترتیب برابر ۵۰۰ و  $200 \text{ mg/L}(\text{CaCO}_3)$  است. بنابراین استفاده از آب‌های بخشی از منطقه که در غرب و شمال غرب دشت واقع شده و مساحت آن حدود ۳۹ درصد از کل منطقه است که دارای میزان سختی کل بالاتر از  $500 \text{ mg/L}(\text{CaCO}_3)$  هستند، دارای محدودیت است.

ارزیابی شاخص کل مواد جامد محلول در آب نشان داد حداکثر میزان مجاز شاخص TDS، برای آب‌های آشامیدنی حدود  $1500 \text{ mg/L}$  است. براساس ارزیابی‌های انجام شده، نواحی غربی و شمال غربی دشت، قابلیت استفاده برای مصارف شرب و نوشیدن را ندارند. زیرا مقادیر مواد جامد محلول در این بخش از دشت بالاتر از حداکثر مقدار مجاز است.

نتایج به صورت ماتریس‌های همبستگی ارائه شدند که به جز فاکتور pH، در مورد سایر فاکتورها مشاهده گردید که پارامترهای کیفی آب زیرزمینی ارتباط مستقیم معنی‌داری با فاکتورهای حرارتی اقلیم (دمای میانگین، دمای بیشینه و دمای کمینه) در سطح اطمینان ۰/۹۵ دارند و بنابراین عوامل حرارتی محیط تاثیر معنی‌دار مستقیمی بر فاکتورهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ورامین (به جز شاخص pH) دارند. بارش و تبخیر و تعرق نیز به صورت معنی‌داری بر همه فاکتورهای کیفیت آب نمونه‌برداری شده از چاه‌های منطقه تاثیرگذار بودند. در مقایسه با دیگر مطالعات، در یک مطالعه موردی تغییرات آب و هوایی و تاثیر آن بر منابع آبی زیرزمینی در حوضه آبریز سوس-ماسا مراکش مورد مطالعه قرار گرفته است. بر پایه نتایج پژوهش‌های Bouchaou و همکاران (۲۶) میانگین بارش در سه دهه اخیر در این منطقه کاهش یافته که علت آن تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین است. منابع آبی سطحی و زیرسطحی در این منطقه کاهش یافته و نتایج آنالیز شیمیایی نشان می‌دهد کیفیت آب این منابع کاهش یافته و شوری آن افزایش یافته است. در مطالعه‌ای دیگر DeNicola و همکاران (۲۷) در مقاله‌ای مروری ارتباط

اما در مطالعات مربوط به راستای محور جنوب به شمال دشت ورامین روند فضایی خاصی برای تمامی پارامترها مشاهده نمی‌گردد. فقط مشاهده می‌شود که آب‌های زیرزمینی حواشی شمالی و جنوبی دشت، دارای مقادیر بالاتری نسبت به نواحی مرکزی هستند.

### آنالیز همبستگی فضایی

برای آشکارسازی ارتباط بین شرایط اقلیمی و هر کدام از فاکتورهای ۶ گانه کیفیت آب زیرزمینی دشت ورامین، از آنالیز همبستگی فضایی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۹۵ ( $p = 0/05$ ) استفاده شد. تحلیل همبستگی فضایی براساس ساختار پیکسلی ۲۱۳ متری متغیرهای کیفیت آب و متغیرهای اقلیمی انجام شد و نتایج به صورت ماتریس‌های همبستگی به دست آمدند. جدول ۴ نتایج حاصل را نشان می‌دهند. طبق این جدول، ۶ فاکتور مورد بررسی همگی با پارامترهای میانگین دما، بیشینه دما، کمینه دما، مجموع بارش و تبخیر و تعرق دارای ارتباط معنی‌دار هستند جز در مورد ارتباط فاکتور pH با عامل کمینه دمایی که ارتباط معنی‌داری بین آنها یافت نشد. همچنین نتایج آنالیز نشان دادند که ارتباط بین تمامی فاکتورها و شاخص NDVI، ارتباط معنی‌داری نیست.

مثبت بودن ضرایب همبستگی نشان‌دهنده ارتباط مستقیم آن فاکتور و عامل مورد بررسی است و ضریب منفی نشان‌دهنده ارتباط معکوس بین آنها است.

### بحث

به منظور ارزیابی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ورامین از استانداردهای ارائه شده توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (تجدید نظر پنجم) استفاده شد. این ارزیابی براساس سه شاخص کیفی آب یعنی pH، میزان کل جامدات محلول در آب و سختی کل صورت گرفت.

براساس استاندارد، میزان مطلوب pH برای آب آشامیدنی بین ۸/۵ - ۵/۶ و حداکثر مجاز این شاخص بین ۹ - ۶/۵ است. از آنجا که تمامی آب‌های زیرزمینی منطقه دشت ورامین در محدوده pH مجاز قرار داشتند، لذا از لحاظ این شاخص



جدول ۴- ماتریس همبستگی فضایی بین ۶ ویژگی مورد بررسی در آب‌های زیرزمینی دشت ورامین و فاکتورهای اقلیمی منطقه در سطح اطمینان ۰/۹۵ (p = ۰/۰۵) (همبستگی براساس ساختار پیکسلی ۲۱۳ متر در GIS محاسبه شده است)

شاخص NDVI	تبخیر و تعرق	مجموع بارش	کمینه دما	بیشینه دما	میانگین دما	پارامتر	
						نوع آنالیز	ضریب همبستگی فضایی آماره p
-۰/۱۵۱	۰/۵۳	۰/۴۲	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۳۷	ضریب همبستگی فضایی آماره	آنالیز همبستگی فضایی کاتیون‌ها و فاکتورهای اقلیمی
۰/۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	p	نتیجه آنالیز در سطح اطمینان ۰/۹۵
معنی دار نیست	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است		
-۰/۱۱۳	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۳۱	ضریب همبستگی فضایی آماره	آنالیز همبستگی فضایی آنیون‌ها و فاکتورهای اقلیمی
۰/۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	p	نتیجه آنالیز در سطح اطمینان ۰/۹۵
معنی دار نیست	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است		
-۰/۱۱۲	۰/۵۲	۰/۵۹	۰/۳۱	۰/۵۷	۰/۴۸۱	ضریب همبستگی فضایی آماره	آنالیز همبستگی فضایی کل مواد جامد محلول (TDS) و فاکتورهای اقلیمی
۰/۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	p	نتیجه آنالیز در سطح اطمینان ۰/۹۵
معنی دار نیست	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است		
-۰/۱۱۲	-۰/۲۷	-۰/۵۱	-۰/۲۳	-۰/۲۹	-۰/۲۵	ضریب همبستگی فضایی آماره	آنالیز همبستگی فضایی pH و فاکتورهای اقلیمی
۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۴	p	نتیجه آنالیز در سطح اطمینان ۰/۹۵
معنی دار نیست	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار نیست	معنی دار است	معنی دار است		
-۰/۱۰	۰/۴۶	۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۴۳	ضریب همبستگی فضایی آماره	آنالیز همبستگی فضایی هدایت الکتریکی و فاکتورهای اقلیمی
۰/۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	p	نتیجه آنالیز در سطح اطمینان ۰/۹۵
معنی دار نیست	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است		
-۰/۱۱۷	۰/۴۸	۰/۵۷	۰/۳۴	۰/۵۲	۰/۴۴	ضریب همبستگی فضایی آماره	آنالیز همبستگی فضایی سختی کل و فاکتورهای اقلیمی
۰/۰۸	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۴	p	نتیجه آنالیز در سطح اطمینان ۰/۹۵
معنی دار نیست	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است	معنی دار است		

منابع زیرزمینی خواهد شد. از سوی دیگر با کاهش منابع آب سطحی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی افزایش یافته و همین امر باعث کاهش بیشتر سطح آب این منابع و افزایش شوری و کاهش کیفیت آب استحصال شده از آنها خواهد شد. Moghimi و همکاران (۲۸) در مطالعه‌ای تاثیر عوامل هیدروژئوشیمیایی بر شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت قزوین را مورد مطالعه قرار دادند. در این بررسی از اطلاعات

تغییرات اقلیمی و کم‌یاب شدن منابع آبی را در کشور عربستان سعودی مورد مطالعه قرار دادند. براساس نتایج این مطالعه پیش بینی می‌شود که تغییرات آب و هوایی، دمای متوسط جهانی را  $5/8 - 1/4$  تا سال ۲۱۰۰ افزایش دهد که همین امر دسترسی و کیفیت آب را به شدت تحت تاثیر قرار خواهد داد. در این مطالعه نیز تاکید شده که افزایش دمای متوسط جهانی باعث کاهش نزولات آسمانی و در نتیجه کاهش تغذیه

در امر مدیریت منابع آبی و تامین آب شرب سالم و منطبق با استانداردها برای شهروندان از آنها بهره گرفت. همچنین با استفاده از داده‌های اقلیمی می‌توان تاثیرات این عامل بر منابع آبی زیرزمینی چه به لحاظ کیفی و چه به لحاظ کمی مطالعه کرده تا بتوان برای آینده برنامه‌ریزی‌های لازم را انجام داد. امروزه رشد روزافزون جمعیت و به تبع آن نیاز بیشتر به منابع آبی، گرم‌تر شدن کره زمین و تغییرات اقلیمی و همچنین ارتقاء استانداردهای کیفی، محدودیت‌هایی هستند که مدیران را وادار به استفاده از شیوه‌های نوین در مدیریت منابع آبی می‌کنند. نتایج این مطالعه نشان داد که روش‌های زمین‌آمار می‌تواند گامی مهم در این راستا باشد.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل (بخشی از) پایان‌نامه با عنوان "بررسی تاثیر اقلیم بر کیفیت شیمیایی آبخوان دشت ورامین با استفاده از نرم افزار GIS" در مقطع (کارشناسی ارشد) در سال ۱۳۹۶ و کد ۱۵۷۵۰۵۱۵۹۵۱۰۰۳ است که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال اجرا شده است.

پارامترهای شیمیایی ۴۲ چاه در حال بهره‌برداری برای مدت ده سال استفاده شده است. مقایسه پارامترها با استانداردهای مؤسسه استاندارد صنعتی ایران و وزارت نیرو نشان از افت کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قزوین دارد. مهمترین دلایل افت کیفیت در کنار تاثیر سازندهای زمین‌شناسی می‌توان به تغییر شرایط اقلیمی و خشکسالی، برداشت‌های بی‌رویه و افت آب زیرزمینی و کاهش حجم مخزن اشاره نمود.

همچنین اهمیت بارش سالانه و میانگین دمای تابستان، به‌عنوان مهمترین فاکتورهای اقلیمی کنترل‌کننده مؤثر بر تغییرات کیفیت آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از ماتریس‌های همبستگی فضایی پیرسون در محیط GIS، نشان داد که در بین فاکتورهای اقلیمی محیط (دمای کمینه، دمای بیشینه و دمای میانگین)، دمای بیشینه بیشترین اثر را بر پارامترهای کیفی آب استحصال شده از منابع زیرزمینی دارد.

### نتیجه‌گیری

پایش کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی و مطالعه عوامل مؤثر بر آن به‌منظور تامین منبعی پایدار در جهت استفاده و بهره‌برداری مناسب از این موهبت الهی از اهمیتی ویژه برای مدیریت مناسب آن برخوردار است. با توجه به نتایج این مطالعه به‌طور کلی می‌توان گفت که با استفاده از روش‌های زمین‌آمار می‌توان توزیع فضایی پارامترهای اصلی مؤثر بر کیفیت شیمیایی منابع آبی زیرزمینی یک منطقه را به‌خوبی رسم کرد تا بتوان

### References

1. Shaabani M. Determination of the most suitable geo-statistical method for mapping of groundwater pH and TDS (a case study: Arsanjan Plain). *Journal of Water Engineering*. 2009;1:47-58 (in Persian).
2. Collins MG, Steiner FR, Rushman MJ. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environmental Management*. 2001;28(5):611-21.
3. Yaakup A, Ludin ANM, Sulaiman S, Bajuri H. GIS in urban planning and management. *Malaysian Experience International Symposium & Exhibition on Geoinformation Penang*; 2005; Malaysia.
4. Abdolahi M, Qheshlaghi A, Abasnejad A. Environmental hydrogeochemistry of groundwater resources of the Ravar plain, Northern Kerman province, Iran. *Journal of Environmental Studies* 2015;41(1):81-95 (in Persian).
5. Maidment DR, *Handbook of Hydrology*. New York: Mc Grew-Hill; 1992.
6. Nwankwoala HO, Udom GJ. Hydrochemical facies and ionic ratios of groundwater in Port Harcourt, Southern Nigeria. *Research Journal of Chemical Sciences*. 2011;1(3):87-101.
7. Heydari M, Nabizadeh Nodehi R, Alimohammadi M, Yaghmaeian K. Survey of geochemical characteristic of bottled waters in Iran using coordinates and ionic ratios. *Iranian Journal of Health & Environment*.

- 2017;10(1):63-74 (in Persian).
8. Aazami J, Sari AE, Abdoli A, Sohrabi H, Van den Brink PJ. Assessment of ecological quality of the Tajan River in Iran using a multimetric macroinvertebrate index and species traits. *Environmental Management*. 2015;56(1):260-69.
  9. Montazeri M, Fahmi H. climate changes effects on Iran water resources, Third Regional Conference and First National Conference on Climate Change; 2003; Isfahan (in Persian).
  10. Keshavarzi M, Dazvareh G, Bashiri J. Investigating the effects of climate change on quantity and quality of groundwater source in Qorveh plain. 6th National Conference on Environmental Engineering; 2011; University of Tehran, Tehran (in Persian).
  11. Abbasnia A, Alimohammadi M, Mahvi AH, Nabizadeh R, Yousefi M, Mohammadi AA, et al. Assessment of groundwater quality and evaluation of scaling and corrosiveness potential of drinking water samples in villages of Chabahr city, Sistan and Baluchistan province in Iran. *Data in Brief*. 2018;16:182-92.
  12. Khalili K, Rasouli Majd N, Jabari A. Evaluation of the impact of climate change on quantitative and qualitative changes in groundwater resources (Case study: Urmia and Kahriz Aquifer). *National Conference on Climate Change and Engineering for Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources*; 2013; Tehran (in Persian).
  13. Najafzadeh H, Zehtabian Gh, Khosravi H, Golkarian A. Impact of climatic and geological factors on the quantity and quality of groundwater resources in Mahvolat Plain. *Iranian Journal of ECO Hydrology*, 2015; 8 (2):325-36 (in Persian).
  14. Dindarloo K, Madani A, Fakhri Y. Effective dose of Radon 222 received by tap water in different age groups in Bandar Abbas city. *Journal of Preventive Medicine*. 2015;2:24-32 (in Persian).
  15. Biglari H, Bazrafshan E, Dehshibi AR. Investigation of dispersion of aluminum concentration in groundwater resources and distribution network of drinking water in Sistan and Baluchestan province using GIS geographic information system. 14th National Conference on Environmental Health; 2011; Yazd (in Persian).
  16. Khastou HM. Qualitative Modeling of Groundwater Resources in Tehran Province Case Study of Islamshahr County [dissertation]. Tehran: Islamic Azad University, Islamshahr Branch; 2007 (in Persian).
  17. Mohapatra P, Vijay R, Pujari P, Sundaray S, Mohanty B. Determination of processes affecting groundwater quality in the coastal aquifer beneath Puri city, India: a multivariate statistical approach. *Water Science and Technology*. 2011;64(4):809-17.
  18. Shabankareh Fard E, Hayati R, Dobaradaran S. Evaluation of physical, chemical and microbial quality of distribution network drinkingwater in Bushehr, Iran. *Iranian South Medical Journal*. 2015;17(6):1223-35 (in Persian).
  19. Kolahkaj M, Amanipour H. The Impact of drought on groundwater quality (Case study: Ramhormoz Plain). *Third Conference and Exhibition of the Environment and Future Crises (Focusing on Water and Water Pollution, Urban and Industrial Pollution)*; 2015; Tehran (in Persian).
  20. Zehtabian G. Spatial analysis of groundwater quality characteristics of Garmsaar watershed. Tehran: Natural Resources, University of Tehran; 2009 (in Persian).
  21. Houdaji M, Jallaliyan A. Distribution of iron, zinc and lead in soil and crops in the Mobarakeh steel plant region. *Journal of Environmental Studies*. 2004;30(36):15-26 (in Persian).
  22. ISIRI. Determination of metal ions in water and wastewater, ISIRI-2354. 5th ed. Tehran: Institute of Standards & Industrial Research of Iran; 2007 (in Persian).
  23. Tabatabaeefar SM, Zehtabian G, Rahimi M, Khosravi H, Nikoo S. The impact assessment of temporal variation of climatological and groundwater condition on desertation intensity in Garmsar Plain. *Desert Management*. 2013;2:39-48 (in Persian).
  24. Sanchez-Martos F, Jimenez-Espinosa R, Pulido-Bosch A. Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. *Hydrological Sciences Journal*. 2001;46(2):227-42.
  25. Fetouani S, Sbaa M, Vanclooster M, Bendra B. Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (North-east Morocco). *Agricultural Water Management*. 2008;95:133-42.
  26. Bouchaou L, Tagma T, Boutaleb S, Hssaisoune M, El Morjani ZEA. Climate change and its impacts on groundwater resources in Morocco: the case of the Souss-Massa basin. In: Treidel H, Martin-Bordes JL, Gurdak JJ, editors. *Climate change effects on groundwater resources: a global synthesis of findings and recommendations*. New York: Taylor & Francis; 2011.
  27. DeNicola E, Aburizaiza OS, Siddique A, Khwaja H, Carpenter D. Climate change and water scarcity: the case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*. 2015;81(3):342-53.
  28. Moghimi H, Study of the effect of hydrogeochemical factors on Qazvin plain water quality indices, 3rd International Conference on Science and Engineering; 2015; Istanbul, Turkey.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Investigating the climate impact on chemical quality of Varamin plain aquifer using the GIS software

L Karami<sup>1</sup>, M Alimohammadi<sup>2,3,\*</sup>, L Yadegarian<sup>1</sup>

1- Department of Environmental Engineering, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran

2- Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Center for Water Quality Research (CWQR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 22 April 2018

**Revised:** 18 July 2018

**Accepted:** 23 July 2018

**Published:** 17 September 2018

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Climate change in recent years has led to a crisis of drought in many countries around the world, including Iran. In such a situation, the supply of safe drinking water is very important and knowing the climate impacts on the chemical quality of these resources can play a significant role in their proper exploitation.

**Materials and Methods:** Using GIS geomorphology models, the effect of climatic factors including minimum and maximum temperatures, mean precipitation, evaporation, transpiration and vegetation index on the quality of groundwater resources of Varamin Plain include pH, electrical conductivity, total dissolved solid, anions and cations concentrations and total hardness were studied and their maps were produced. Correlation between these factors was investigated using spatial correlation analysis tool at a confidence level of 0.95 ( $p = 0.05$ ).

**Results:** The results showed that these parameters (except pH) along the plain are highly variable and the spatial distribution of data in this region is not normal around the mean, and the frequency of pixels with values less than the spatial mean of the region is higher. Spatial distribution of the factors showed that their amounts (except pH) are low in the central area of the plain and reach its peak in the western and northwest regions. The spatial distribution of pH was almost uniform in all the plain.

**Conclusion:** Correlation analysis showed that the quality of water resources is influenced by climatic factors and the maximum temperature has the highest impact.

**Keywords:** Underground water resources, Chemical quality, Climatic factors

### \*Corresponding Author:

m\_alimohammadi@tums.ac.ir