نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۸ شماره ۴ صفحه‌های ۱۴۱ تا ۱۶ / سال ۱۳۹۷

ارزیابی کیفیت آب چشمه‌های استان آذربایجان‌غربی از نظر پتانسیل گرفتگی گسیلنده‌ها در سامانه-های آبیاری قطره‌ای

وحید رضاوردی‌نژاد[1*]، مینا رحیمی[2]، فرخ اسدزاده[3]

تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

۱-دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳-استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: v.verdinejad@urmia.ac.ir

چکیده

به‌دلیل بحران‌های زیست محیطی ناشی از خشکی دریاچه ارومیه، لزوم بکارگیری روش‌های آبیاری با بازده بالا در این حوضه حائز اهمیت است. آبیاری قطره‌ای یک راه‌حل مناسب جهت استفاده بهینه از منابع آب می‌باشد. اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نیازمند تحلیل کیفیت آب مورد استفاده جهت جلوگیری از گرفتگی گسیلنده‌ها می‌باشد. در این مطالعه، پارامترهای کیفی چشمه‌های بخشی از استان آذربایجان‌غربی شامل شوری (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذبی سدیم (SAR) و شاخص اشباع لانژیلر (LSI) تعیین و قابلیت کاربرد چشمه‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور آمار کیفی ۱۷۰۵ چشمه موجود در محدوده مطالعاتی، از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌غربی اخذ و تحلیل شد. نتایج نشان داد که مقدار شاخص LSI در ۸۷/۳ درصد چشمه‌ها مثبت و پتانسیل رسوب کربنات در آن‌ها وجود دارد. TDS در ۱۱/۰ درصد از چشمه‌ها دارای مقادیر بین ۱۰۰۰–۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده که خطرساز می‌باشد. مقدار TDS در ۳۳/۴ درصد دارای مقادیر ۵۰۰–۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و در ۵۵/۶ درصد نیز دارای مقادیر ۵۰۰–۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده و بی‌خطر می‌باشند. همچنین مقدار SAR در ۹۷/۷ درصد چشمه‌ها در کلاس مناسب قرار گرفت. برای انتخاب روش مناسب میان‌یابی، روش‌های مختلف با استفاده از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) و خطای نسبی (RE) ارزیابی و روش کریجینگ با کمترین مقدار خطا نسبت به سایر روش‌ها، برای درون‌یابی پارامترهای کیفی استفاده شد. استفاده از آب چشمه‌های استان آذربایجان‌غربی در آبیاری قطره‌ای توصیه می‌گردد اما خطر گرفتگی گسیلنده‌ها به‌ویژه در شمال استان بالا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، آذربایجان‌غربی، کیفیت آب، کریجینگ، گرفتگی قطره‌چکان

Evaluation of Springs Water Quality of West Azerbaijan Province in Terms of Emitters Clogging Potential in Drip Irrigation Systems

V Rezaverdinejad [*1], M Rahimi [2], F Asadzadeh [3]

Received: Accepted:
[1]- Assoc. prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Urmia University, Iran
[2]- M.Sc. Student of Irrigating and Drainage, Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Urmia University, Iran
[3]- Assist. prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Urmia University, Iran
[*] Corresponding Author, Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir

Abstract

Because of environmental crises duo to drying of Lake Urmia, the need for applying high efficiency irrigation systems is important in this watershed. Drip irrigation systems are suitable solutions for optimal use of water resources. Drip irrigation implementation requires analysis of water quality to avoid emitters clogging. In this study, qualitative parameters of springs in part of West-Azerbaijan province including the electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), sodium adsorption ratio (SAR) and Langelier saturation index (LSI), were determined and investigated for application in drip irrigation systems in the study area. So, quality information of 1705 springs in the study area were taken from West-Azerbaijan regional water company and analyzed. Results indicated that the LSI has positive values in 87.3% of springs, so there is the Carbonate sedimentation potential. In 11.0% of springs TDS has amounts between 1000-1500 mgL^{-1} that is hazardous. TDS values in 33.4% have amounts between 500-1000 mgL^{-1} and in 55.6 % have amounts between 0-500 mgL^{-1} which are not hazardous. SAR values in 97.7% of springs are in the suitable class. To select a suitable interpolation method to provide the zoning map, various interpolation methods were evaluated using normalized root mean square error (NRMSE) and relative error (RE) statistics and the kriging method with the least errors than other methods, was used to interpolation of quality parameters. Application of spring's water in West-Azerbaijan province for drip irrigation is recommended; however, the risk of emitter clogging especially in the northern parts of the province is high.

Keywords: Drip Irrigation, Emitter Clogging, Kriging, Water Quality, West Azerbaijan

مقدمه

به‌دلیل عدم‌دسترسی به آب‌های سطحی در بخش‌های زیادی از کشورمان، آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و شرب، از اهمیت بالایی برخوردار است (احمدی و صدق‌آمیز ۲۰۰۷). یکی از روش‌های آبیاری که در آن می‌توان با مصرف آب کم و کنترل دقیق، صرفه‌جوئی قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب و سایر هزینه‌ها کرد و به بازدهی مطلوبی رسید، آبیاری قطره‌ای می‌باشد. بزرگترین مشکل آبیاری قطره‌ای گرفتگی قطره‌چکان می‌باشد که با کیفیت آب آبیاری ارتباط مستقیم دارد. گرفتگی شیمیایی یکی از انواع گرفتگی قطره‌چکان‌ها بوده و توصیه گردیده که در شرایط نامناسب بودن کیفیت آب آبیاری و خطر گرفتگی برای قطره‌چکان‌ها، از روش‌های آبیاری قطره‌ای استفاده نشود. کیفیت آب زیرزمینی همانند آب سطحی، همواره

در حال تغییر است؛ اما این تغییر نسبت به آب‌های سطحی کندتر است (حسن‌لی ۲۰۰۱). شناخت کیفیت آب‌های زیرزمینی، به عنوان یکی از مهم‌ترین و آسیب‌پذیرترین منابع تأمین آب در دهه‌های اخیر، یک امر کاملاً بدیهی است (شکوهی و همکاران ۱۳۹۰). نادری و همکاران (۱۳۸۷) عوامل گرفتگی قطره‌چکان در مناطق شاهرود و دامغان را بررسی کرده و با محاسبه شاخص اشباع لانژیلر (LSI) به این نتیجه رسیدند که در تمامی طرح‌ها، خطر رسوب کربنات کلسیم و سولفات کلسیم وجود دارد. پناهی و همکاران (۱۳۸۹) داده‌های کیفی آب آبخوان کرمانشاه را براساس استانداردهای موجود برای مصارف کشاورزی نظیر دیاگرام ویلکاکس و شاخص LSI بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تمام مقادیر شاخص LSI مثبت بوده و آب زیرزمینی در کل محدوده مطالعاتی، تمایل به تشکیل رسوب کربناتی دارد. همچنین بر اساس دیاگرام ویلکاکس، منابع آب زیرزمینی این محدوده در پنج گروه C_2S_2، C_2S_3، C_3S_3، C_2S_4 و C_3S_4 قرار گرفتند. قلعه‌نی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دو آبخوان ساوه و اراک، به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب زیرزمینی در فصول تر نسبت به فصول خشک و در چاه‌های با عمق کم، نامطلوب‌تر است. براساس روش ویلکاکس، ۱۶ درصد از کل مساحت محدوده ساوه در کلاس C_4S_2، ۴۶ درصد در کلاس C_4S_1، ۵۶ درصد در کلاس C_3S_1 و دو درصد در کلاس C_2S_1 قرار گرفتند. ماچیانی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان در چهار منطقه لاهیجان، آستانه، تالش و فومنات پرداختند و از شاخص LSI به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی این منطقه استفاده کردند. مطابق این شاخص، آب‌های زیرزمینی منطقه روند خاصی نداشته و بعضی از سال‌ها رسوب‌گذار و برخی از سال‌ها تمایل به رسوب نداشته‌اند. سربازی و اسماعیلی (۱۳۹۳) کیفیت آب زیرزمینی دشت نیشابور برای مصارف کشاورزی را در طی سال‌های ۸۸-۸۱ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد عناصر سدیم، کلر و سولفات بیش‌ترین مقدار را در بین کاتیون و آنیون‌ها دارند که به‌تدریج باعث کاهش کیفیت آب‌ها شده و درصد مربوط به کلاس C_4S_4 که بدترین کیفیت را دارد، نیز افزایش می‌یابد. گسترش زمین‌های کشاورزی و تغییرات کیفی آب زیرزمینی نیازمند جایگزینی آمار مکانی به جای متغیرهای تصادفی است که موجب توسعه سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین‌آمار در این ارتباط شده است. این شیوه در تخمین داده‌های مجهول در مواردی که نمونه‌برداری به سختی صورت گیرد یا اطلاعات موجود، کافی و دقیق نباشند، از طریق ابزار درون‌یابی به کار می‌رود (باردوسی ۲۰۱۱، ماریو و همکاران ۲۰۱۰). دلبری و همکاران (۱۳۹۲) تغییرات مکانی و پهنه‌بندی فراسنج‌های کیفی آب زیرزمینی شامل شوری (EC) و نسبت سدیم جذبی (SAR) را با استفاده از روش‌های میان‌یابی کریجینگ معمولی و لوگ‌کریجینگ بررسی و تحلیل کردند. تجزیه و تحلیل زمین‌آماری نشان داد که داده‌های EC و SAR دارای همبستگی مکانی قوی بوده و ساختار مکانی آن‌ها از نیم‌تغییرنمای کروی تبعیت می‌کند. احسانی و همکاران (۱۳۹۲) در ۲۰ نقطه مختلف، منابع آب زیرزمینی دشت ساری را نمونه‌برداری کردند و پس از محاسبه شاخص‌های LSI و رایزنر مشخص شد که براساس مقادیر LSI، تمامی نمونه‌های آب دارای خاصیت رسوب‌گذاری می‌باشند. همچنین با ترسیم نقشه پراکندگی LSI مشخص شد که میزان رسوب‌گذاری در محدوده مرکزی مطالعات بیش‌ترین مقدار را دارد. برمکی و همکاران (۱۳۹۳) کیفیت آب زیرزمینی آبخوان لنجانات با استفاده از پارامترهای کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و مواد جامد محلول بررسی کردند. بانژاد و محب‌خواه (۱۳۹۱) ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت رزن برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی را با سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه پارامترهای EC، PH، Na، TDS، Cl و SAR بکار گرفته شد و نتایج نشان داد که ۴۳/۷ درصد از منطقه دارای غلظت نامناسب یون سدیم می‌باشد. استواری و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی زمین‌آماری مؤلفه‌های مؤثر در طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای شامل EC، TDS، TSS، PH، LSI و کدورت دشت لردگان استان چهارمحال بختیاری پرداختند و از

روش‌های وزن‌دهی‌معکوس فاصله و کریجینگ برای تخمین مؤلفه‌های مؤثر و پهنه‌بندی مؤلفه‌ها استفاده کردند. برای تمامی مؤلفه‌ها، براساس معیارهای ارزیابی، کریجینگ روش مناسب‌تری نسبت به روش وزن‌دهی عکس فاصله می‌باشد. عادلی (۱۳۹۱) بهینه‌ترین روش درون‌یابی برای ارزیابی کیفی منابع آب شهرستان گرگان را براساس ۱۴۵ داده از مکان‌های مختلف بررسی و در سامانه اطلاعات جغرافیایی تحلیل کرد. در این مطالعه روش‌های مختلف درون‌یابی از جمله روش وزن‌دهی عکس فاصله و کریجینگ با توابع مختلفی از جمله نمایی، کروی و معمولی برای هر متغییر به‌طور جداگانه ارزیابی گردید. نتیجه بدست آمده موید نزدیکی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی بود. لاله‌زاری و انصاری‌سامانی (۱۳۹۳) فاکتورهای ارزیابی شامل SAR، TDS، TH و LSI را در شمال خوزستان ارزیابی کرده و قابلیت کاربرد آب زیرزمینی منطقه دزفول–اندیمشک را در سامانه آبیاری قطره‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد شاخص LSI در حدود ۹۰ درصد چاه‌ها دارای مقادیر مثبت بود. همچنین مقادیر TDS در بخش جنوبی محدوده مطالعاتی بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. با توجه به بحران‌های زیست محیطی ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه، یکی از سیاست‌های دولت در راستای احیای دریاچه، گسترش سامانه‌های آبیاری تحت فشار و به ویژه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای می‌باشد. یکی از مهم‌ترین منابع آب زیرزمینی در استان آذربایجان‌غربی چشمه‌ها می‌باشند. به‌دلیل اینکه اغلب چشمه‌ها در ارتفاعات و بالادست اراضی زراعی و باغی قرار گرفته‌اند و تأمین انرژی مورد نیاز سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بوسیله اختلاف ارتفاع می‌باشد، سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در این شرایط به‌طور ویژه مورد توجه مدیریت آب و خاک جهاد کشاورزی قرار گرفته است. با توجه به اهمیت کیفی آب چشمه‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، در این مطالعه به بررسی و تحلیل کیفی آب چشمه‌ها برای استفاده در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در استان آذربایجان‌غربی پرداخته شده است. با در نظر گرفتن این شرایط، اهداف این مطالعه شامل: بررسی تغییرات مکانی پارامترها و شاخص‌های کیفی مؤثر در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، مقایسه روش‌های میان‌یابی مختلف و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی این مؤلفه‌ها به منظور انتخاب و طراحی صحیح آبیاری قطره‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه، بخشی از استان آذربایجان‌غربی با مساحت تقریبی ۲۰۸۵۹۸۲ هکتار می‌باشد. این محدوده از شرق به دریاچه ارومیه و از شهرستان اشنویه تا ماکو محدود می‌گردد. تعداد ۱۷۰۵ چشمه در محدوده مورد مطالعه قرار دارد که تحلیل کیفی آب این چشمه‌ها در سال ۱۳۹۲ صورت گرفته و آمار و اطلاعات مربوطه از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌غربی اخذ گردیده است. موقعیت محدوده مورد مطالعه و چشمه‌های موجود در منطقه در شکل ۱ ارائه شده است. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، اسیدته و کل جامدات محلول می‌باشد. در این مطالعه، تحلیل‌ها و ارزیابی کیفی به‌تفکیک هر شهرستان نیز انجام گرفته است. پارامترهای کیفی که به منظور بررسی و تحلیل کیفی آب چشمه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، به شرح زیر می‌باشد:

شوری (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR): این پارامترها از مهم‌ترین عوامل در تعیین خصوصیات کیفی آب برای مصارف کشاورزی می‌باشند:

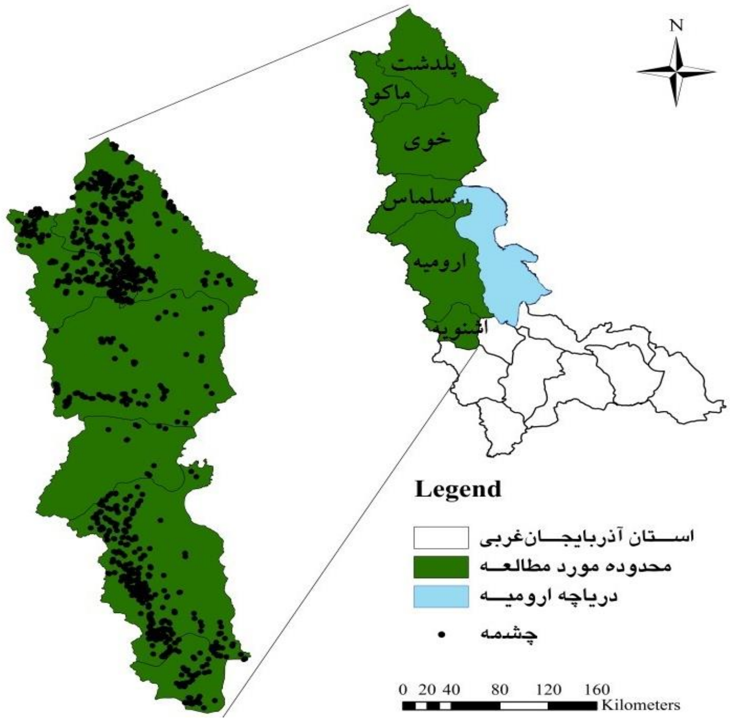
$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \qquad [۱]$$

که در آن Na^{+}، Ca^{2+}، Mg^{2+} به‌ترتیب غلظت یون‌های منیزیم، کلسیم و سدیم ($meq\ L^{-1}$) می‌باشد.

شاخص اشباع لانژیلر (LSI): برای محاسبه آن ابتدا اسیدته آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (PH_c) محاسبه و سپس LSI محاسبه می‌گردد (فائو۲۹، ۱۹۹۴):

$$PH_c = A + B + C \qquad [۲]$$

که در آن، A: لگاریتم منفی مجموع غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، B: لگاریتم منفی مجموع غلظت کلسیم و منیزیم و C: لگاریتم منفی مجموع غلظت کربنات و بی‌کربنات برحسب اکی‌والان بر لیتر می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت چشمه‌های موجود در محدوده مطالعاتی.

به این ترتیب مطابق واکنش (اسیدته) واقعی آب (PH)، مقدار LSI از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (فائو۲۹، ۱۹۹۴):

$$LSI = PH - PH_c \quad [۳]$$

مقدار نمک‌های محلول در آب (TDS)، از عوامل گرفتگی قطره‌چکان‌ها محسوب می‌شود. مقادیر کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مناسب، بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متوسط و بالاتر از آن خطرساز است (فائو۲۹، ۱۹۹۴). هر کدام از مقادیر EC و SAR آب با توجه به استاندارد شوری خاک‌آمریکا در چهار کلاس طبقه‌بندی می‌گردد که با افزایش شماره کلاس، شرایط خاک در محیط ریشه به لحاظ نفوذپذیری و قابلیت جذب آب به وسیله گیاه، نامناسب‌تر می‌شود (ویل کاکس ۱۹۹۵). دامنه تغییرات پارامتر EC به‌ترتیب زیر می‌باشد: کلاس C_1 با دامنه ۲۵۰-۰، کلاس C_2 با دامنه ۷۵۰-۲۵۰، کلاس C_3 با دامنه ۲۲۵۰-۷۵۰ و کلاس C_4 بیشتر از ۲۲۵۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر. دامنه تغییرات پارامتر SAR به‌ترتیب در کلاس‌های S_1: ۱۰-۰ ، S_2: ۲۰-۱۰، S_3: ۲۸-۲۰ و بالاتر از ۲۸ در کلاس S_4 قرار می‌گیرد (ویل کاکس ۱۹۹۵). مهم‌ترین شاخص در ارزیابی خطر گرفتگی قطره‌چکان‌ها شاخص LSI می‌باشد. مقادیر منفی این شاخص نشانگر عدم رسوب و مقادیر مثبت نشانگر رسوب کربنات کلسیم می‌باشد. اگر مقدار این شاخص بالاتر از یک باشد باید عملیات اصلاحی مانند اسیدشویی سخت‌ترصورت بگیرد. در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی مؤثر بر عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، روش‌های زمین‌آمار بکار گرفته شد. از روش‌های زمین‌آمار به صورت گسترده در مطالعات کیفی آب استفاد می‌شود. در این روش با تحلیل پیوستگی مکانی و تغییرات زمانی، تحلیل کیفی آب انجام می‌شود. برای این منظور، مقایسه بین روش‌های میان‌یابی کریجینگ، وزن‌دهی‌معکوس فاصله، چندجمله‌ای عام، چند جمله‌ای موضعی و توابع پایه شعاعی با استفاده از معیارهای آماری انجام و روش مناسب انتخاب گردید.

روش کریجینگ

کریجینگ یک روش متکی بر میانگین متحرک وزنی است و بهترین تخمین‌گر ناریب می‌باشد که

علاوه بر مقادیر برآورد شده، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می‌نماید. در دهه گذشته کریجینگ به عنوان یک تکنیک قدرتمند درون‌یابی معرفی و در رشته‌های مختلف علوم زمین مانند هیدرولوژی، علوم خاک و معدن بکار رفته است. علی‌رغم تمام مزایای این روش، نرم کردن تغییرات در هنگام تخمین سبب می‌شود که واریانس نمونه‌های تخمین زده شده نسبت به نقاط واقعی تغییرات کمتری داشته باشد. بدین معنی که مقدار تغییرات در پیش‌بینی مدل، کمتر از واقعیت می‌باشند (ژو و همکاران ۲۰۰۶). در مجموع موفقیت این روش در درون‌یابی متغیرها، کاملا وابسته به دقت در انتخاب مدل داده‌ها با تجربی سمی‌واریوگرام دارد. اگر در انتخاب مدل دقت کافی نشود نتیجه درون‌یابی مناسب نخواهد بود. در برخی مواقع به‌دلایلی از جمله همساز نبودن ساختار مکانی، ساختار عمومی، دقت کم داده‌ها و عدم‌تجانس مکانی داده‌ها، نتایج این روش از دقت کافی برخوردار نیست. سمی‌واریوگرام تجربی از رابطه ۴ محاسبه می‌شود (استواری و همکاران ۱۳۹۰):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \left[z(x_i) - z(x_i + h) \right]^2 \qquad [۴]$$

که در آن، N تعداد جفت مشاهدات، $z(x_i)$ مقدار مشاهدات در نقطه x_i و $z(x_i+h)$ مقدار مشاهدات در نقطه (x_i+h) می‌باشد.

روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)

برای برازش یک سطح نرم وافزایش شباهت بین نقاط، از روش درون‌یابی قطعی استفاده می‌شود که این درون‌یابی با نقاط همسایه کار می‌کند و اطلاعات آماری در این روش مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در این روش داده‌ها از طریق رابطه انحراف معیار یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده، وزن‌دهی می‌شوند. هنگامی که گره شبکه برآورد می‌شود، وزن تخصیص یافته به نقاط برابر یک می‌گردد. زمانی که یک نقطه بر گره شبکه منطبق شود، فاصله این نقطه تا گره برابر صفر است؛ لذا در این حالت وزن تخصیص یافته به نقطه یاد شده، برابر یک و وزن سایر نقاط اطراف گره برابر صفر می‌شود. در این روش روابط مورداستفاده بصورت زیر می‌باشند:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{z_j}{h_{ij}}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{h_j^{\beta}}} \qquad [۵]$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \sigma^2} \qquad [۶]$$

که در آن، z_j مقدار واقعی پارامتر z در همسایگی گره، Z مقدار تخمین زده شده پارامترz، β توان وزن داده شده، h_{ij} اختلاف فاصله مؤثر بین گره (j) و نقطه همسایگی گره (i)، d_{ij} فاصله بین گره j و نقطه همسایگی (i) و σ ضریب هموار کننده می‌باشد. هدف اصلی از محاسبه واریوگرام این است که بتوان تغییرپذیری متغییر را نسبت به فاصله مکانی یا زمانی شناخت. برای این کار لازم است مجموع مربع تفاضلات زوج نقاط که با فاصله معلوم h از هم قرار دارند (واریانس)، در مقابل h (فاصله) رسم گردد (سانچس۲۰۰۱). در واقع واریوگرام، واریانس وابسته به مکان است. هر واریوگرام دارای چند مشخصه مهم به شرح زیر می‌باشد (ایساکس و سیرواتاوا ۱۹۸۴):

دامنه تأثیر

فاصله‌ای که در آن، واریوگرام به حد ثابتی رسیده و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، دامنه یا شعاع تأثیر گویند. این دامنه، محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن، برای برآورد مقدار متغیر مجهول استفاده کرد. دامنه تأثیر بزرگتر، دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده‌تر دارد (شعبانی ۲۰۰۹ و ایساکس و سیرواتاوا ۱۹۸۴).

آستانه تأثیر

به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد، آستانه گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر واریانس کل داده‌هایی است که در نیم‌تغییرنما به کار رفته است. در روش کریجینگ، واریوگرام‌هایی که دارای آستانه مشخص هستند، اهمیت بیشتری دارند (استواری و همکاران ۱۳۹۰).

اثر قطعه‌ای

مقدار واریوگرام در مبدا مختصات ($h=0$) را اثر قطعه‌ای (C_0) گویند. در حالت آرمانی، مقدار C_0 باید صفر باشد، اما در بیشتر مواقع بزرگتر از صفر است. در این حالت، بخش تصادفی و یا ناساختار متغیر، ظاهر می‌شود (شعبانی۲۰۰۹). نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر (C_0/C_0+C) شاخص قدرت ساختار مکانی در متغیرها می‌باشد. چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، نشانگر همبستگی مکانی قوی است. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد، نشانگر همبستگی مکانی متوسط و چنانچه این نسبت بزرگتر از ۰/۷۵ باشد، نشانگر همبستگی مکانی ضعیف خواهد بود. همبستگی مکانی قوی به این معنی است که در دامنه تأثیر، می‌توان متغیر مورد نظر را تخمین زد (کامباردلا و همکاران ۱۹۹۴). در این مطالعه به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها که از شرایط استفاده از واریوگرام است، از آزمون کلمگرف اسمیرنف استفاده شد. جهت مقایسه و ارزیابی روش‌های میان‌یابی و نیز واریوگرام‌ها، از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و خطای نسبی (RE) استفاده گردید. مقادیر NRMSE و RE بین داده‌های اندازه‌گیری و برآورد شده برای انتخاب بهترین روش میان‌یابی مطابق روابط زیر محاسبه گردید:

$$\mathrm{NRMES} = \frac{1}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2} \times 100 \qquad [۷]$$

$$\mathrm{RE} = \frac{|S_i - O_i|}{O_i} \times 100 \qquad [۸]$$

که در آن، S_i مقادیر برآورد شده هر مؤلفه کیفی آب، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده هر مؤلفه کیفی آب و n تعداد نمونه‌ها می‌باشد. مقدار NRMSE کمتر از ۱۰٪ نشان دهنده وضعیت ایده‌آل مدل‌سازی و درونیابی می‌باشد.NRMSE در بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به‌ترتیب نشانگر وضعیت مناسب و متوسط روش درون‌یابی و بیشتر از ۳۰٪ نشان دهنده عدم اطمینان از درون‌یابی می‌باشد.

نتایج و بحث

خلاصه پارامترهای آماری برخی از خصوصیات اندازه‌گیری شده، مربوط به کیفیت آب چشمه‌های استان آذربایجان‌غربی در جدول ۱ نشان ارائه شده است. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط شوری به‌ترتیب ۲۱۵/۴۵، ۵۱۴۰/۷ و ۹۵۹/۲ میکروزیمنس بر سانتیمتر بوده که نشان می‌دهد که آب چشمه‌های بررسی شده در کلاس‌های C_2، C_3 و C_4 قرار خواهد گرفت که در دامنه کیفیت خوب تا بد برای آبیاری می‌باشد (ویلکوکس، ۱۹۵۵). مطابق نتایج بدست آمده، حدود ۲۹/۳۲ درصد آب چشمه‌ها در کلاس شوری C_2، حدود ۶۵/۷۸ درصد در کلاس C_3 و نهایتاً ۴/۹ درصد در کلاس C_4 قرار گرفت. بنابراین کلاس شوری حدود ۷۰/۶۸ درصد چشمه‌ها C_3 و C_4 بوده و از نظر آبیاری مناسب ارزیابی نمی‌شود. اثر متقابل شوری و قلیائیت در ارزیابی کیفیت آب آبیاری در شکل ۲ ارائه شده است. مطابق دیاگرام ویل‌کاکس، چشمه‌های مطالعاتی استان آذربایجان غربی در ده کلاس توزیع شده‌اند که طبقه‌بندی کلاس‌ها و درصد اختصاص یافته به هر کلاس در جدول ۲ ارائه گردیده است. مطابق این جدول، بیشترین تعداد چشمه‌ها به‌ترتیب در کلاس‌های C_2S_1 و سپس C_3S_1 قرار دارند. با این حال چشمه‌هایی نیز در کلاس C_4S_4 و C_4S_3 قرار دارند که به علت سدیم قابل توجه، لازم است که اثر سمیت آن (به ویژه برای درختان هسته‌دار) مورد توجه قرار بگیرد.

با افزایش PH آب و ایجاد محیط قلیائی، بی‌کربنات‌های کلسیم و منیزیم به کربنات‌های کلسیم و منیزیم تبدیل شده و در لوله‌های آبده و قطره‌چکان‌ها رسوب می‌کنند. مقدار pH آب در اکثر چشمه‌ها در دامنه ۷ تا ۸ بوده و به‌طور کلی خطر متوسط دارد (ناکایاما و بوکس ۱۹۹۱).

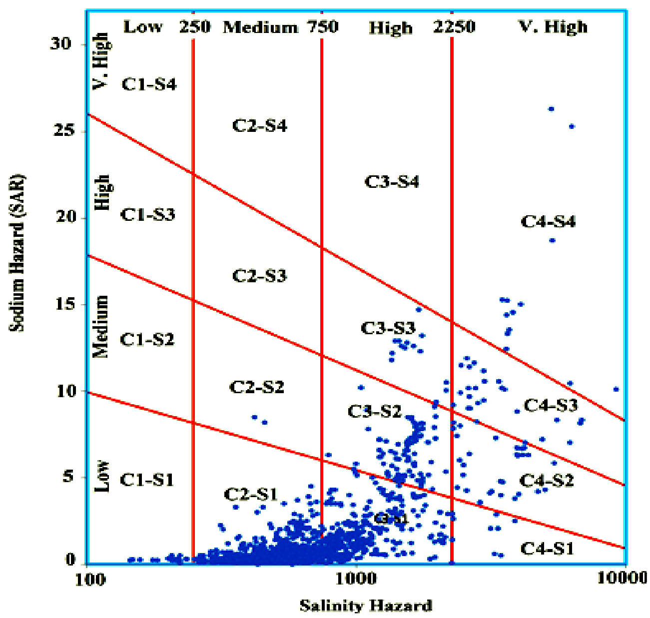
در شکل ۳، شاخص اسیدیته آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pH_c) در مقابل pH ارائه شده است. مطابق این شکل، در ۱۲/۷ درصد چشمه‌های استان، شاخص LSI منفی بوده و عدم رسوب کربنات وجود دارد. در حدود ۸۷/۳ درصد چشمه‌ها، مقادیر این شاخص مثبت بوده و خطر رسوب کربنات کلسیم و در نتیجه گرفتگی قطره‌چکان‌ها وجود دارد.

جدول ۱– میانگین و دامنه مقادیر EC، TDS، LSI، SAR و pH آب چشمه‌های شمال استان آذربایجان‌غربی.

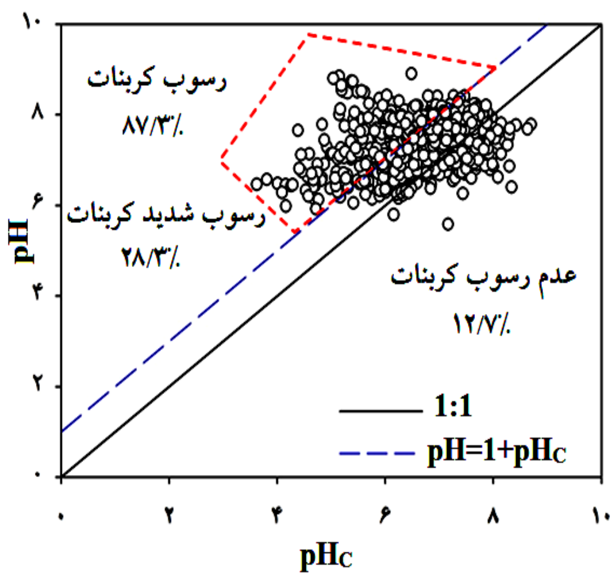
پارامتر	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
EC	$\mu S\ cm^{-1}$	۲۱۵/۴۵	۵۱۴۰/۷	۹۵۹/۲	۹۶۰/۰۳
TDS	$mg\ L^{-1}$	۱۳۸/۷۲	۳۰۳۰/۹	۵۹۲/۲	۵۳۵/۷۴
LSI	-	-۱/۰۸	۲/۷۶۹	۰/۷۲۵	۰/۶۸
SAR	$meq\ L^{-1}$	۰/۰۷۵	۶۰/۶۶	۳/۷۲	۹/۴۱
pH	-	۵/۵۸	۸/۹	۷/۴۶	۰/۴۴

جدول ۲– طبقه‌بندی چشمه‌های استان آذربایجان‌غربی بر اساس دیاگرام ویل‌کاکس و درصد اختصاص یافته به هر کلاس.

کلاس	C_1S_1	C_2S_1	C_3S_1	C_4S_1	C_2S_2	C_3S_2	C_4S_2	C_3S_3	C_4S_3	C_4S_4
درصد هر کلاس	۱/۲	۶۳/۳	۲۴/۳	۰/۵	۰/۱	۵/۵	۲/۰	۰/۸	۱/۵	۰/۸



شکل ۲– دیاگرام ویلکوکس برای چشمه‌های مطالعاتی استان آذربایجان‌غربی.



شکل۳– کلاس‌بندی نمونه‌های آب برای تعیین پتانسیل رسوب کربنات.

اما در ۲۸/۳ درصد آنها، شاخص اشباع لانژلیر بزرگتر از یک بوده و این خطر شدیدتر می‌باشد. لذا توصیه می‌شود در این مناطق سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بکار گرفته نشود و یا در صورت بکارگیری، از قطره‌چکان‌ها با حساسیت کم به گرفتگی (مانند بابلر یا حباب‌ساز) استفاده شود و عملیات اصلاحی نظیر تزریق اسیدهای مانند اسید فسفریک و اسیدنیتریک نیز به‌طور مدام بکار گرفته شود.

تحلیل واریوگرام‌ها

برای ارزیابی واریوگرام‌ها، مدل‌های کروی، گوسی، نمایی و دایره‌ای درنظر گرفته شد. مقایسه نتایج نشان داد که در تمامی مؤلفه‌ها مدل کروی دارای بالاترین دقت می‌باشد بنابراین تمامی واریوگرام‌ها با این مدل توصیف شدند. مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) و استواری و همکاران نیز (۱۳۹۰) نشان دادند که مدل‌های کروی و گوسی می‌توانند همبستگی مکانی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی را به خوبی توصیف

نمایند. نتایج برازش بهترین مدل متغییرنما که در این مطالعه کروی حاصل گردید، برای شاخص‌های کیفی در جدول۳ ارائه شده است. با توجه به مقادیر C_0/C_0+C مؤلفه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که بین پارامترهای TDS و SAR همبستگی مکانی قوی و بین پارامترهای LSI و EC همبستگی مکانی متوسط وجود دارد. واریوگرام‌های مربوط به مؤلفه‌های مختلف اندازه‌گیری شده براساس مدل کروی در شکل ۴ ارائه شده است.

جهت میان‌یابی پنج روش شامل وزن‌دهی معکوس فاصله، چندجمله‌ای عام، چندجمله‌ای موضعی، توابع پایه شعاعی و کریجینگ در نظر گرفته شد. در جدول ۴ مقادیر شاخص‌های NRMSE و RE برای هر یک از مؤلفه‌های EC، SAR، LSI و TDS ارائه گردیده است. برای تمامی مؤلفه‌ها کمترین و بیشترین مقادیر NRMSE و RE به‌ترتیب مربوط به روش‌های کریجینگ، وزن‌دهی عکس فاصله، چندجمله‌ای موضعی، توابع پایه شعاعی و چندجمله‌ای عام می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج این جدول، روش کریجینگ ساده، روش مناسب و دقیق برای تخمین و پهنه‌بندی مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. شعبانی(۲۰۰۹)، مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸)، فتوآنی و همکاران (۲۰۰۸) و استواری و همکاران (۱۳۹۰) روش میان‌یابی کریجینگ را روش مناسب‌تری برای تخمین مؤلفه‌ها و پهنه‌بندی آنها معرفی کردند.

جدول۳- نتایج تجزیه و تحلیل زمین‌آماری مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده کیفیت آب.

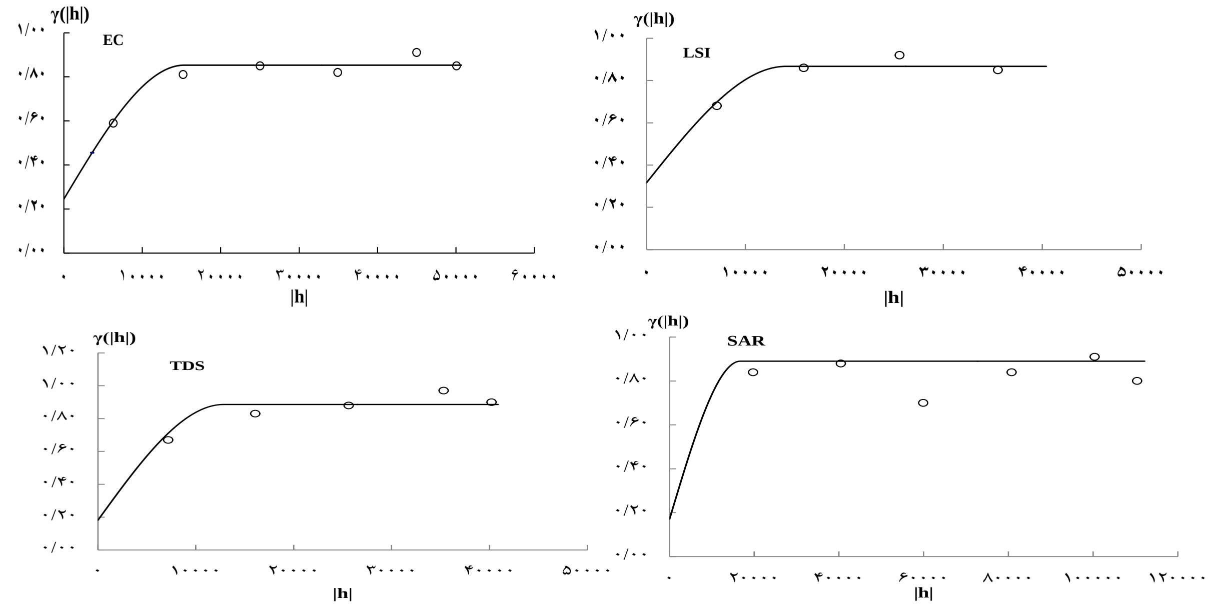
مؤلفه	مدل	دامنه تأثیر	آستانه تأثیر	اثر قطعه‌ای	$\frac{C_0}{C_0+C}$	NRMSE (%)	RE (%)
LSI	کروی	۱۴۰۹۰	۰/۵۵	۰/۳۱	۰/۵۶	۲/۸۷	۱۶/۷۵
TDS	کروی	۱۲۸۴۰	۰/۷۰	۰/۱۸	۰/۲۵	۱۵/۱۵	۱۶/۴۹
SAR	کروی	۱۶۷۳۸	۰/۷۲	۰/۱۷	۰/۲۳	۱۶/۸۹	۱۴/۸۶
EC	کروی	۱۵۳۴۶	۰/۶۱	۰/۲۴	۰/۴۰	۱۸/۶۶	۱۵/۸۹

* TDS بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، SAR برحسب میلی‌اکی والان بر لیتر و EC برحسب میکروزیمنس بر سانتیمتر.

جدول۴- مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی براساس مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد.

شاخص ارزیابی	NRMSE (%)				RE (%)			
روش میان‌یابی	EC	SAR	LSI	TDS	EC	SAR	LSI	TDS
وزن‌دهی عکس فاصله	۲۸/۰۹	۲۲/۴۶	۱۶/۷۷	۲۶/۴۷	۱۸/۰۷	۳۲/۱۰	۱۷/۲۴	۱۳/۱۷
چند جمله‌ای عام	۷۵/۸۳	۷۶/۴۴	۸۱/۹۹	۴۳/۲۵	۶۱/۹۶	۴۸/۱۵	۷۰/۵۸	۱۲/۸۰
چند جمله‌ای موضعی	۵۹/۳۱	۲۹/۱۵	۵۴/۱۹	۳۱/۳۶	۳۸/۲۸	۴۹/۲۰	۷۴/۶۱	۱۲/۰۲
توابع پایه شعاعی	۶۲/۸۱	۳۶/۱۴	۵۸/۱۳	۶۸/۰۲	۲۶/۰۹	۵۰/۰۳	۲۲/۰۷	۱۰/۰۲
کریجینگ	۲۱/۴۶	۷/۶۴	۸/۶۱	۱۳/۹۷	۱۶/۵۱	۸/۱۹	۱۷/۶۵	۸/۳۸

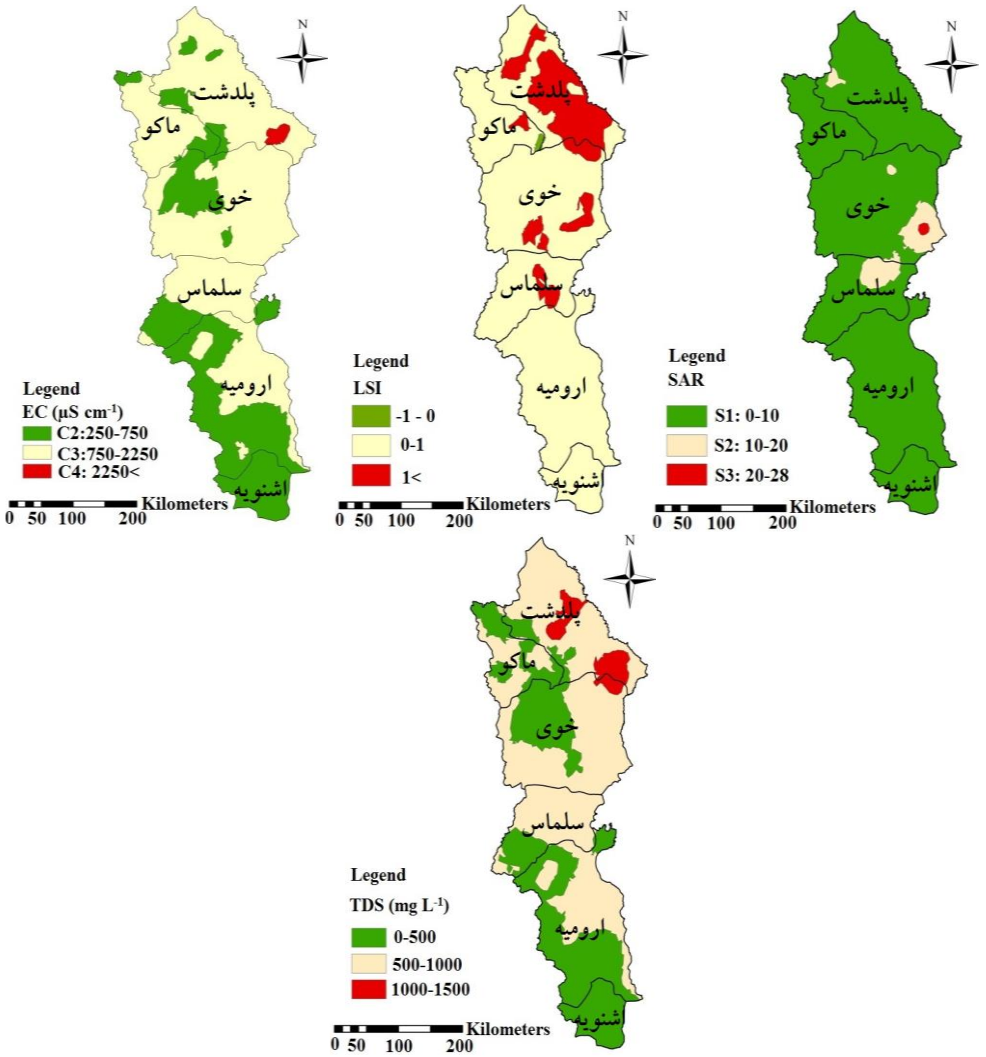
شکل ۵ نقشه پهنه‌بندی پارامترهای EC، TDS، SAR و LSI را در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. در این شکل، با مشخص نمودن مرز شهرستان‌های موجود در شمال استان (شامل شهرستان‌های پلدشت، ماکو، خوی، سلماس، ارومیه و اشنویه)، به مطالعه و بررسی دقیق‌تر هر شهرستان نیز پرداخته شده است. تشریح پارامترهای کیفی به‌تفکیک هر شهرستان در جدول ۵ ارائه گردیده است. بر این اساس، عمده محدوده‌ی مطالعاتی از نظر زیان شوری در کلاس‌های C_2 و C_3 (خطر متوسط و زیاد) می‌باشند که نشان می‌دهد این منابع آب، آسیب ناشی از شوری را برای محصولات و خاک‌های زراعی در پی خواهد داشت و موجب ایجاد محیط نامناسب برای رشد گیاه می‌شود. ۵/۷۶ درصد از کل مساحت محدوده مربوط به کلاس C_4 (خطر شوری بسیار زیاد) می‌باشد که جنوب شهرستان پلدشت را در بر می‌گیرد.



شکل۴ – واریوگرام‌های مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده کیفیت آب در آبخوان‌های دشت‌های شمال استان آذربایجان‌غربی.

مهم‌ترین شاخص در ارزیابی خطر گرفتگی قطره‌چکان‌ها شاخص LSI می‌باشد که در شکل ۵ توزیع مکانی این شاخص ارائه شده است. تنها ۸/۶۶ درصد از محدوده مطالعاتی که مربوط به جنوب شهرستان ماکو می‌باشد پتانسیل رسوب‌گذاری ندارد. ۵۸/۸۲ درصد از مساحت محدوده دارای پتانسیل رسوب‌گذاری کم می‌باشد اما در ۳۲/۵۲ درصد از محدوده مطالعاتی پتانسیل رسوب‌گذاری بالاتر از یک و شدید می‌باشد که بخش‌های بسیاری از شهرستان پلدشت، بخش کوچکی از شهرستان ماکو و بخش‌های مرکزی شهرستان‌های خوی و سلماس را در بر می‌گیرد. در این شرایط نیاز به عملیات اصلاحی دقیق‌تر نظیر اسیدشویی منظم به منظور پیشگیری و مقابله با گرفتگی قطره‌چکان‌ها و بکار گرفتن تمهیداتی از جمله انتخاب گسیلنده‌های صحیح و متناسب با کیفیت آب ضروری است. پارامتر SAR در شهرستان‌های ماکو، ارومیه و اشنویه در محدوده مجاز توصیه شده (S_1 :۰-۱۰) می‌باشد که خطر سمیت برای میوه‌های هسته‌دار را ندارد. در شهرستان پلدشت، ۰/۵۱ درصد در کلاس S_2 و ۹۹/۴۹ درصد در کلاس S_1 قرار دارد. ۲/۳۹ درصد از مساحت شهرستان خوی مربوط به کلاس S_3، ۹/۴۸ درصد به کلاس S_2 و ۸۸/۱۲ درصد به کلاس S_1 می‌باشد.

در شهرستان سلماس نیز ۲۵/۵۰ درصد مربوط به کلاس S_2 و ۷۴/۵۰ درصد به کلاس S_1 می‌باشد. در ۱۴/۷۸ درصد از مساحت شهرستان پلدشت، TDS دارای مقادیر بالاتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده و خطر ساز می‌باشد. در ۴۶/۶۶ درصد از نمونه‌ها در بازه ۱۰۰۰-۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با خطرات متوسط و در ۲۰/۵۵ درصد از نمونه‌ها در بازه ۵۰۰-۰ میلی‌گرم بر لیتر و بدون خطر می‌باشد. در شهرستان ماکو، ۷۶/۳۷ درصد از مساحت محدوده مطالعاتی دارای خطر متوسط و ۲۳/۶۳ درصد بدون خطر می‌باشد. در شهرستان خوی ۵۰/۸۴ درصد از مساحت دارای خطرات متوسط بوده و هیچ نمونه‌ای در بازه خطرساز قرار ندارد. در شهرستان‌های سلماس و ارومیه، به‌ترتیب ۵۵/۵۰ درصد و ۲۴/۸۵ درصد دارای خطرات متوسط بوده و هیچ نمونه‌ای دارای خطرات بالا نمی‌باشد. در تمامی محدوده شهرستان اشنویه نیز TDS در محدوده مجاز توصیه شده می‌باشد.



شکل ۵ –نقشه پهنه‌بندی مؤلفه‌های EC، TDS، SAR و LSI محدوده مطالعاتی.

جدول ۵– تحلیل پارامترهای کیفی چشمه‌های استان آذربایجان‌غربی به‌تفکیک هر شهرستان.

شهرستان	TDS (mgL^{-1})		SAR ($(meq\ L^{-1})^{0.5}$)		LSI (-)		EC ($\mu S\ cm^{-1}$)	
	کلاس	درصد	کلاس	درصد	کلاس	درصد	کلاس	درصد
پلدشت	۰–۵۰۰	۲۸/۵۶	S_1	۹۹/۴۹	۰–۱	۲۹/۸۲	C_2	۲۹/۳۲
	۵۰۰–۱۰۰۰	۴۶/۶۶	S_2	۰/۵۱	>۱	۷۰/۱۷	C_3	۶۵/۷۸
	>۱۰۰۰	۲۴/۷۸					C_4	۴/۹
ماکو	۰–۵۰۰	۲۳/۶۳	S_1	۱۰۰	<۰	۸/۶۶	C_2	۱۲/۵۰
	۵۰۰–۱۰۰۰	۷۶/۳۷			۰–۱	۸۱/۴۴	C_3	۸۷/۵۰
	>۱۰۰۰	۰/۰۰			>۱	۹/۸۹		
خوی	۰–۵۰۰	۴۶/۹۶	S_1	۸۸/۱۲	۰–۱	۷۰/۸۷	C_2	۳۵/۵۰
	۵۰۰–۱۰۰۰	۵۳/۰۴	S_2	۹/۴۸	>۱	۲۹/۱۳	C_3	۶۴/۵۰
	>۱۰۰۰	۰/۰۰	S_3	۲/۳۹				
سلماس	۰–۵۰۰	۴۴/۵۰	S_1	۷۴/۵۰	۰–۱	۳۷/۴۷	C_2	۴۰/۰۰
	۵۰۰–۱۰۰۰	۵۵/۵۰	S_2	۲۵/۵۰	>۱	۶۲/۵۳	C_3	۶۰/۰۰
ارومیه	۰–۵۰۰	۷۵/۱۵	S_1	۱۰۰	۰–۱	۱۰۰	C_2	۵۷/۰۰
	۵۰۰–۱۰۰۰	۲۴/۸۵					C_3	۴۳/۰۰
اشنویه	۰–۵۰۰	۱۰۰	S_1	۱۰۰	۰–۱	۱۰۰	C_2	۱۰۰

نتیجه‌گیری کلی

تعیین صحیح شاخص‌های مورد نیاز در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای از جمله شاخص LSI منجر به انتخاب و طراحی صحیح و در نهایت عملکرد مناسب این سامانه‌ها خواهد شد. در پژوهش حاضر از روش کریجینگ برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب چشمه‌های استان آذربایجان‌غربی استفاده شد، زیرا مقایسه روش‌های میان‌یابی نشان داد که این روش خطای کمتری نسبت به سایر روش‌ها در این زمینه دارد. نقشه‌های پهنه نشان داد که ۷۰/۷ درصد از چشمه‌های منطقه مورد مطالعه دارای هدایت الکتریکی بالاتر از ۷۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر قرار می‌باشد، بنابراین کنترل بیلان نمک در محیط ریشه، امری ضروری است. پتانسیل رسوب کربنات در۸۷/۳ درصد از محدوده مورد مطالعه وجود دارد. مقدار شاخص LSI در ۲۸/۳ درصد چشمه‌ها بزرگتر از یک بوده و خطر رسوب کربنات بسیار شدید می‌باشد که عمدتاً در شهرستان‌های پلدشت و سپس در شهرستان‌های خوی و سلماس واقع شده‌اند. براساس شاخص اشباع لانژلیر، آبخوان‌های دشت، پتانسیل متوسط تا بالای رسوب‌گذاری ترکیبات کربناتی را دارد. TDS در ۱۱/۰ درصد از محدوده مطالعاتی دارای مقادیر بین ۱۵۰۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده و خطرساز می‌باشد و در سایر نقاط دارای خطرات متوسط و کم می‌باشد. SAR، تنها در بخش‌های بسیار کوچکی از مرکز منطقه (شهرستان‌های خوی و سلماس) عامل محدودکننده به شمار می‌آید و در سایر مناطق در کلاس S_1 قرار دارد. مقدار pH در تمامی منطقه، در محدوده ۷ تا ۸ می‌باشد که خطر متوسط دارد. با توجه به وضعیت زیست محیطی دریاچه ارومیه، کمبود منابع آب و لزوم صرفه‌جویی در مصرف آب، و نیز با توجه به موقعیت قرارگیری چشمه‌ها در ارتفاعات و امکان استفاده از شیب طبیعی زمین برای تأمین فشار و پایین آوردن هزینه‌ها، استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با در نظر گرفتن تمهیداتی از جمله تزریق اسیدهایی نظیر اسید فسفریک و اسید نیتریک که هم دارای ارزش غذایی هستند و هم باعث پایین آوردن pH آب در نتیجه محلول ماندن کربنات‌ها می‌شوند و نیز باعث بهتر عمل کردن کلر در مواقعی که نیاز به کنترل جلبک‌ها می‌باشد، استفاده از آب چشمه‌ها در آبیاری قطره‌ای توصیه می‌گردد.

منابع مورد استفاده

استواری ی، بیگی هرچگانی ح و داودیان ع، ۱۳۹۰. ارزیابی، بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی برخی از شاخص‌های کیفی آب برای کاربرد در طراحی آبیاری قطره‌ای در دشت لردگان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۵، شماره ۲، صفحه‌های ۲۴۲ تا ۲۵۴.

احسانی س، صالحپور م، احسانی اردکانی ح و عباسی م پ، ۱۳۹۲. بررسی پتانسیل شوری، رسوبگذاری و خورندگی آب زیرزمینی شهر ساری با نگرش کاربری صنعتی، شهری و کشاورزی. فصل‌نامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۴، صفحه‌های ۱۹ تا ۳۰.

بانژاد ح و محب‌خواه ح، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت رزن-قهاوند برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی با استفاده از GIS. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، دوره ۱۲، شماره ۳۸، صفحات ۹۹ تا ۱۱۰.

برمکی م، رضایی م و صابری‌نصر ا، ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در آبخوان لنجانات با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد۲، شماره ۲، صفحه‌های ۲۱۲۱ تا ۲۱۳۸.

پناهی م، ناصری ع، بهنیا ع، هوشمند ع و ویسی ش، ۱۳۸۹. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی مناطق مرکزی کرمانشاه برای مصارف کشاورزی. نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. اردیبهشت، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.

دلبری م، افراسیاب پ و سالاری م، ۱۳۹۲. پهنه‌بندی فراسنج‌های کیفی (شوری و سدیمی) آب با استفاده از روش‌های زمین‌آماری (مطالعه موردی: دشت کرمان). مجله مهندسی منابع آب، سال ۶، صفحه‌های ۱۱ تا ۲۴.

سربازی آ و اسماعیلی ک، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی در کشاورزی و صنعت (مطالعه موردی دشت نیشابور). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۸، صفحه‌های ۷۱ تا ۸۳.

شکوهی ر، حسین‌زاده ا، روشنایی ق، علیپور م و حسین‌زاده س، ۱۳۹۰. بررسی کیفیت آب دریاچه سد آیدغموش با استفاده از شاخص کیفیت آب (NSFWQI) و بیلان مواد مغذی. مجله سلامت و محیط. فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ۴، شماره ۴، صفحه‌های ۴۳۹ تا ۴۵۰.

قلعه‌نی م، ابراهیمی ک و عراقی‌نژاد ش، ۱۳۹۰. ارزیابی کمی و کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی آبخوان‌های ساوه و اراک). مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۲، صفحه‌های ۹۳ تا ۱۰۸.

عادلی م، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفی منابع آب شهرستان گرگان با استفاده از GIS و زمین‌آمار. فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه گلستان، سال ۲، شماره ۵، صفحه‌های ۵۷ تا ۷۴.

لاله‌زاری ر و انصاری سامانی ف، ۱۳۹۳. تعیین نواحب آسیب‌پذیر برای اجرای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای بر اساس کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از ArcGIS. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۲ب. صفحه‌های ۲۸۶ تا ۲۹۴.

ماچیانی س، خالدیان م، رضایی م و تاجداری خ، ۱۳۹۳. ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان گیلان برای مصارف کشاورزی و صنعت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۸، شماره ۲، صفحه‌های ۲۴۶ تا ۲۵۶.

نادری ن، ذوالفقاران ا و فرومدی م، ۱۳۸۷. ارزیابی سیستم آبیاری قطره‌ای در حال کار با آب‌های لب‌شور از نظر گرفتگی قطره‌چکان‌ها. صفحه‌های ۲۸۶ تا ۲۹۵. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۰-۸ بهمن، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

Ahmadi SH and sedghamiz A, 2007. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. Environmental Monitoring and Assessment 129: 277-294.

Bardossy A, 2011. Interpolation of groundwater quality parameters with some values below the detection limit. Hydrology and Earth System Science 15: 2763-2775.

Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, Parkin TB, Karlen D L, Turco R F and Koropaka A E, 1994. Field–scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal 58: 1501-1511.

FAO, 1994. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage, No: 29. Rome, Italy.

Fetouani S, Sbaa M, Vanclooster M and Bendra B, 2008. Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (Nnorth-east Morocco). Journal of Agricultural Water Management 95: 133-142.

Hassanlee A, 2001. Dripper clogging in tricle irrigation (Case study) and its control strategy. Journal of Agricultural Science 10(3): 59-49.

Issaks E and Sirvatava R, 1984. Applied Geostatistics. Oxford University press, New York.

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): 9-17.

Morio M, Finkel M and Martac E, 2010. Flow guided interpolation –A GIS-based method to represent contaminant concentration distributions in groundwater. Environmental Modeling and Software 25: 1769-1780.

Nakayama FS and Bucks DA, 1991. Water quality drip/trickle irrigation. Journal of irrigation Science 12: 187-192.

Sanches F, 2001. Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques 46(2): 227-242.

Shaabani M, 2009. Determination of the most suitable geostatistical method for mapping of groundwater pH and TDS (a case study: Arsanjan plain). Journal of Water Engineering 1: 47-59.

Wilcox LV, 1995.Classification and use of irrigation water, Us Department of Agriculture, Circ 696, Washington, DC.

Xu C, Gong L, Jiang T, Chen D and Singh VP, 2006. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. Journal of Hydrology 327: 81–93.