Journal of Water & Wastewater
Science & Engineering (jwwse)
Vol. 3, No. 4., PP. 18-32, Winter 2019
DOI: 10.22112/jwwse.2019.138494.1098

نشریه علمی- ترویجی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال سوم، شماره ۴، صفحات ۱۸-۳۲، زمستان ۱۳۹۷

Water Quality Zonation Based on Chemical Analysis on Surface Water Supplies for Drinking, Agriculture and Industry in the Southeastern of Sistan and Baluchestan Province

Keyvan Soltani[1] and Mohammad Hossein Jahangir[2*]
1- PhD Candidate in Civil Engineering, Water Engineering and Hydraulic Structures, Razi University, Kermanshah, Iran,
2- Assistant Professor, Department of Renewable Energies and Environmental Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran
*Corresponding author, Email: mh.jahangir@ut.ac.ir

Received: 03/07/2018
Revised: 12/01/2019
Accepted: 19/01/2019

Abstract

In this study, the quality of surface water supplies in the southwestern region of Sistan and Baluchestan Province were evaluated for the purposes of drinking, industry and agriculture based on the results of chemical Firstly, the results of the analysis of surface.analysis waters from four selected stations were studied, then it prepared in GIS environment. In order to determine the quality of water for drinking, Ca, Mg, Na, TDS, TH, Cl, SO4 and HCO3 parameters are used and it was determined that the water of all stations was considered as inappropriate indicating hardness of the water in the area. Wilcox method is also utilized to determine the water quality in agricultural use. In the graph of this index, the horizontal axis index is water salinity in micro masses per centimeter and the vertical axis in relation to sodium absorption (SAR). Studies have also shown that the water of all stations is one of the classes C2-S1, C3-S1, C3-S2. During the statistical years it is considered to be agriculture. Also, in determining the quality of water for industrial use, the Langeous Saturation Index (LSI), which is in fact the difference between the actual pH of water and the saturated water content of calcium carbonate, was used and it was found that in all stations only three years of water for industrial use It is in a state of equilibrium and in the rest of years it is a precipitating and corrosive state. Therefore, the conditions in this area for the construction of water related to industries are also inadequate. To monitor, control and manage the system, the qualitative results of the analysis is entered into the GIS environment and the surface water database of the southwestern region of Sistan and Baluchestan province was formed and in the first step, zoning of important water quality issues to support the correct decision of the face accepted.

Keywords: Agriculture, Drinking, Industry, Sistan and Baluchestan, Surface water, Water quality, Water resources management.

پهنه بندی کیفی منابع آب شهری، صنعتی و کشاورزی در منطقه جنوب شرقی استان سیستان و بلوچستان

کیوان سلطانی [۱] و محمد حسین جهانگیر [۲*]
۱- دانشجوی دکترای مهندسی عمران- مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، ایران
* نویسنده مسئول، ایمیل: mh.jahangir@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۴
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹

چکیده

در این پژوهش کیفیت آب‌های سطحی منطقه جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان از نظر شرب، صنعت و کشاورزی بر اساس نتایج تحلیل‌های شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا نتایج تحلیل آب‌های سطحی متعلق به ۴ ایستگاه بررسی و در محیط SIG بانک اطلاعاتی آن آماده‌سازی شد. در تعیین کیفیت آب برای مصارف شرب از پارامترهای Ca، Mg، Na، TDS، TH، Cl، SO_4 و HCO_3 استفاده و مشخص شد که آب تمامی ایستگاه‌ها از نظر مقدار کلسیم در منطقه نامناسب و کاملاً نامطلوب قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده سختی بالای آب در منطقه است. برای مشخص شدن کیفیت آب در مصارف کشاورزی از روش ویلکوکس استفاده شد. در نمودار این شاخص محور افقی به شوری آب بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص یافته است. بررسی‌ها نشان داد که آب تمامی ایستگاه‌ها جزو یکی از کلاس‌های C_2-S_1، C_3-S_1، C_3-S_2 در طی سال‌های آماری قرار گرفته و از نظر کشاورزی مناسب است. همچنین در تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی از شاخص اشباع لانژلیه (LSI) که در واقع تفاوت مابین pH واقعی آب و pH اشباع شده توسط کربنات کلسیم است استفاده شد. با بررسی‌های انجام شده مشخص شد در کل ایستگاه‌ها تنها آب سه سال برای مصارف صنعتی در وضعیت متعادل قرار دارد و در بقیه سال‌ها حالت رسوب‌گذار و خورنده حاکم است. پس شرایط در این منطقه از نظر احداث صنایع مرتبط با آب نیز نامناسب است. برای پایش، کنترل و مدیریت سیستم، نتایج کیفی تحلیل‌ها در محیط GIS وارد شده و بانک اطلاعات آب‌های سطحی منطقه جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان تشکیل شد. سپس پهنه بندی موارد مهم در کیفیت آب برای پشتیبانی از تصمیم‌های صحیح صورت پذیرفت.

کلیدواژه‌ها: آب‌های سطحی، استان سیستان و بلوچستان، کیفیت آب، مدیریت منابع آب، مصارف شرب وکشاورزی و صنعتی

۱- مقدمه

هر ساله ۸۴۲۰۰۰ انسان به‌علت در دسترس نبودن آب سالم و مصرف آب‌های آلوده جان خود را از دست می‌دهند(Clasen et al., 2014; Kayser et al., 2015). از سال ۱۹۷۰ تأثیر کاربری اراضی بر کیفیت آب به یک چالش و نگرانی بزرگ تبدیل شده است (White, 1976; Rimer et al., 1978; Zhao et al., 2015). پس از آن محققان از سال ۱۹۹۰ شروع به تجزیه و تحلیل ارتباط کاربری اراضی با کیفیت آب‌ها نمودند (Johnson et al., 1997; Zhao et al., 2015). اخیرا با توسعه چشم‌انداز محیط‌زیست و تکنیک GIS مطالعات و بررسی‌های کیفیت آب شکل نوینی پیدا کرده و تاثیر کاربری اراضی و شرایط هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی بر کیفیت آب مورد توجه اساسی قرار گرفته است(Allan, 2004; Booth et al., 2004; Hathaway and Hunt, 2011; Ribolzi et al., 2011; Marinoni et al., 2013; Tu, 2013). به‌طور کلی این باور پذیرفته شده است که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محیط های آبی می‌تواند منعکس کننده واقعی وضعیت سلامت یک اکوسیستم باشد (Zheng et al., 2014). مدیریت کیفیت آب برای اخذ استراتژی‌های مدیریتی منابع آب در حوزه آبخیز ضروری است (Ashton et al., 1995). آب‌های زیرزمینی به‌دلیل ارتباط هیدرولوژی با دیگر منابع آبی همواره در معرض آلودگی با روند تخریبی هستند (Appleton, 2002). دسترسی به آب آشامیدنی سالم همواره مورد نیاز حیات پایدار بشر بوده است. کیفیت آب از مهمترین عوامل مشخص‌کننده کاربری آن به‌منظور کاربرد، در مصارف مختلف است (Kayser et al., 2015). دسترسی به آب ناسالم و آلوده باعث بیماری‌ها و مشکلات عدیده‌ای می‌شود که آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی و ... را به‌دنبال خواهد داشت. در این راستا آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی نحوه استفاده از آب در زمینه‌های کشاورزی، صنعت، شرب و ... است (Abtahi et al., 2015; Lobato et al., 2015; Zhang et al., 2018). روزبه‌روز کیفیت آب به‌دلیل فعالیت‌های انسان و ورود آلاینده‌های مختلف به آب تغییر نموده است که این امر بر زندگی بشر تاثیر داشته و کاربری آن را در بخش‌های گوناگون کشاورزی، صنعت و ... تغییر می‌دهد. عوامل مختلفی نظیر زمان، محیط و عوامل بیولوژیکی، فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی در سیستم‌های طبیعی و ... بر فاکتورهای تأثیر انسان بر کیفیت آب دخیل هستند. یکی از عوامل بسیار مهم در این زمینه چرخه هیدرولوژیکی است که به‌طور مستقیم بر شبکه زهکشی آب و با آلودگی رسوبات، آب و... بر روی گیاهان و جانوران محلی تأثیر گذاشته و مشکلات عدیده‌ای را به‌وجود می آورد. برای آگاهی از کیفیت آب و کاربری مناسب آن در هر زمینه به تحقیقات و پایش مناسب منابع آبی موجود نیاز است که داشتن اطلاعات جامع، صحیح و قابل‌اطمینان با دوره‌های زمانی مناسب می‌تواند عامل مهمی در تصمیم‌گیری و سیاست‌گزاری‌های صحیح باشد(Mohebbi et al., 2013; Li et al., 2014; Nazeer et al., 2014; Majcher et al., 2018). در این راستا مدل‌ها و روش‌های زیادی برای تعیین کیفیت آب برای مصارف گوناگون از جمله مصارف کشاورزی، شرب و صنعت بوجود آمده است که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های ویلکوکس[1]، شولر[2]، پایپر[3] و ... اشاره نمود. در این زمینه پژوهش‌هایی نیز انجام گرفته است (Zhai, 2014; SCI, 2012; Seeboonruang, 2012; Mohebbi, (Nazeer, 2014; Li, 2014; 2013;). زارعی و آخوندعلی (۱۳۸۵) روند کیفی و رخساره‌های هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی سعدابوالعباس (خوزستان) را در سال ۱۳۸۴ با نمودار ویلکوکس و پایپر بررسی نمودند. دیندارلو و همکاران (۱۳۸۵) در ارزیابی کیفیت شیمیایی آب شرب بندرعباس به‌این نتیجه رسیدند که میزان سولفات، کلرور، سدیم، سختی کل در منابع زیرزمینی از حداکثر مجاز و میزان نیتریت، TDS و کلسیم از حد مطلوب فراتر هستند. در مطالعه پورمقدس (۱۳۸۲) مشخص شد که به‌طور کلی آب‌های زیرزمینی شهرستان لنجان اصفهان جزء آب های بسیار سخت محسوب می‌شوند. شیروانی و و همکاران (۱۳۹۴) آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را از نظر کشاورزی و صنعت با استفاده از شاخص‌های ویلکوکس و لانژیه مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج نشان داد کلسیم، پتاسیم و سدیم، کاتیون‌های غالب این آبخوان بودند. محتشمی و ناصری (۱۳۹۴) کیفیت آب در دشت درمیان اسد آبادی از سه جنبه کشاورزی، شرب و صنعت تحلیل نمودند که با ارزیابی نمودارهای ویلکاکس و شولر ترسیم شده دراین نقاط، آب از نظر کشاورزی و شرب طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که اکثر نمونه‌ها نامناسب برای کشاورزی و شرب هستند. همچنین با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، خورندگی و رسوب‌دهی مورد پایش قرارگرفت و مشخص شد که آب خاصیت خورنده و رسوب‌دهی داشته و برای مصارف صنعتی نامناسب است. کاوه‌کار و همکاران (۱۳۹۵) کیفیت آب را از نظر کشاورزی،

شرب و صنعت در حوزه آبخیز سلامت آباد مورد ارزیابی قرار دادند. دیاگرام ویلکوکس ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه نشان داد که آب محدوده در کلاس C_3S_1 و C_2S_1 و C_4S_1 قرار داشته و لذا کیفیت آب از نظر کشاورزی در محدوده کمی شور تا خیلی شور قرار دارد. بررسی نمودار شولر در گزارش حاکی از آن است که نمونه آب تحلیل شده در محدوده خوب تا متوسط برای شرب قرار می‌گیرد. همچنین کیفیت آب از نظر سختی، سخت تا کاملا سخت بوده و بررسی نمونه آب تحلیل شده برای مصارف صنعتی، رسوب‌گذار است. ساقی و همکاران (۱۳۹۲) پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت آب کشاورزی براساس شاخص ویلکاکس را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به پراکنش نقاط در منحنی ویلکاکس می‌توان قضاوت کرد که وضعیت کیفی آب برای کشاورزی در کلاس خوب و متوسط قرار دارد، اما افزایش تدریجی آلاینده ها و کاهش کیفیت آب رودخانه درمنطقه پایین‌دست و میانی، قابل‌توجه است.

۲- مواد و روش‌ها

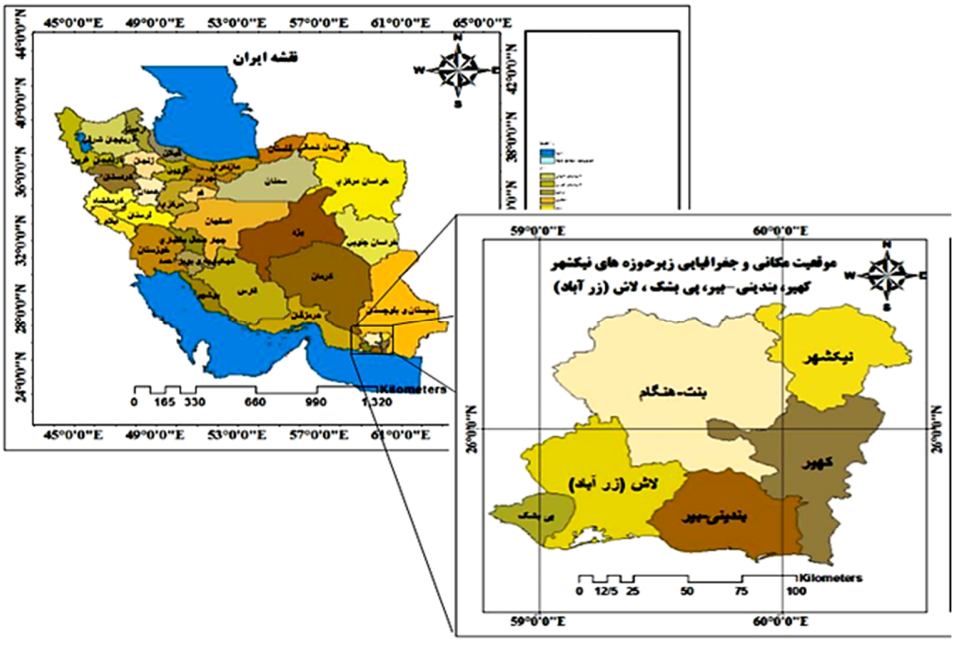
در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های کیفی، کیفیت آب منطقه جنوب شرقی استان سیستان و بلوچستان در طی سال‌های آماری موجود مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در ادامه به معرفی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده و روش انجام پژوهش ارائه شده است.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

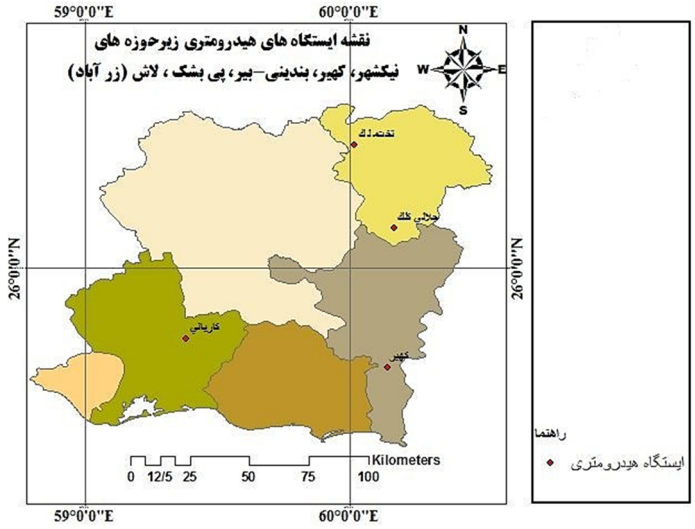
منطقه مورد مطالعه شامل زیرحوزه‌های پی‌بشک، لاش (زر آباد)، بنت-هنگام، بندینی-بیر، کهیر و نیک‌شهر است که در جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان قرار دارند. استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران با حدود ۱۸۰/۷۲۶ کیلومتر مربع وسعتی کمابیش اندازه کشور سوریه دارد و بیش از ۱۱ درصد وسعت ایران را دربر می‌گیرد. سیستان شامل زابل و شهرهای اطراف آن و بلوچستان دربرگیرنده بقیه شهرها از زاهدان تا چابهار است. در این منطقه با توجه به پایین بودن بارش و عدم وجود منابع برفی کوهستانی، اکثر جریانات رودخانه‌ای، موقتی و فصلی بوده و مهم‌ترین رودخانه این استان، هیرمند است. در شکل ۱ موقعیت مکانی و جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

به منظور بررسی کیفیت آب موجود در منطقه از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری موجود استفاده شد. در این منطقه ۴ ایستگاه هیدرومتری موجود است که برخی دارای آمار محدود و تا ۲ سال هستند. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است.

مشخصه‌های آماری ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در زیرحوزه‌های نی‌کشهر، کهیر، بندینی-بیر، پی‌بشک و لاش (زر آباد)

منطقه از جمله نام رودخانه، کد ایستگاه و نوع ایستگاه در جدول ۱ آمده است.

قبل از پرداختن به بحث کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه لازم است اطلاعات موجود از نظر آماری مورد بررسی قرار گیرد. برای این‌کار نمودار مربوط به پارامترهای آماری برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه رسم شد. نمودار مربوط به هریک از ایستگاه‌ها در ادامه ارائه شده است (شکل‌های ۳ تا ۶)

همان‌گونه که از نمودارها پیدا است بیشترین تغییرات در ایستگاه جلایی کلک اتفاق افتاده که این موضوع را می‌توان به‌دلیل کمبود آمار در منطقه دانست. پس از آن، ایستگاه کاریانی دارای بیشترین ضریب تغییرات و نوسانات پارامترهای آماری در بین سایر ایستگاه‌ها است. در ادامه کیفیت آب در مصارف مختلف بررسی می‌شود.

۲-۲- بررسی کیفیت آب ایستگاه‌ها برای مصارف شرب

به‌منظور بررسی قابلیت شرب آب رودخانه از نمودار نیمه لگاریتمی شولر استفاده شد. آب آشامیدنی باید فاقد رنگ، بو و طعم بوده و به‌لحاظ عناصر و مواد شیمیایی موجود در آن در محدوده مجاز که توسط سازمانهای بهداشتی تعیین شده است باشد. آب آشامیدنی باید دارای کیفیت مناسب از جنبه‌های مختلف باشد که می‌توان آن‌ها را در مجموع ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، سموم، باکتریولوژیکی و رادیولوژیکی مورد بررسی قرار داد. براساس نمودار شولر که برای طبقه‌بندی آب از لحاظ شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد یا، برحسب میزان غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اندازه‌گیری شده در نمونه آب این دیاگرام، آب را در یکی از بازه‌های خوب، قابل‌قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطبوع و غیرقابل شرب طبقه‌بندی می‌کند. ازنظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی نیز می‌توان آب‌های مختلف برای شرب انسان را با اندازه‌گیری آنیون‌ها، کاتیون‌ها، TH و TDS با استفاده از دیاگرام شولر طبقه‌بندی کرد. TDS به‌مقدار کل املاح محلول در آب اطلاق می‌شود که معمولاً برحسب میلی‌گرم بر لیتر بیان می‌شود. مقدار TDS و TH از مهم‌ترین پارامترها برای تعیین کیفیت آب شرب هستند. در واقع در نمودار شولر برای هریک از مقادیر کاتیون‌ها (K،Na

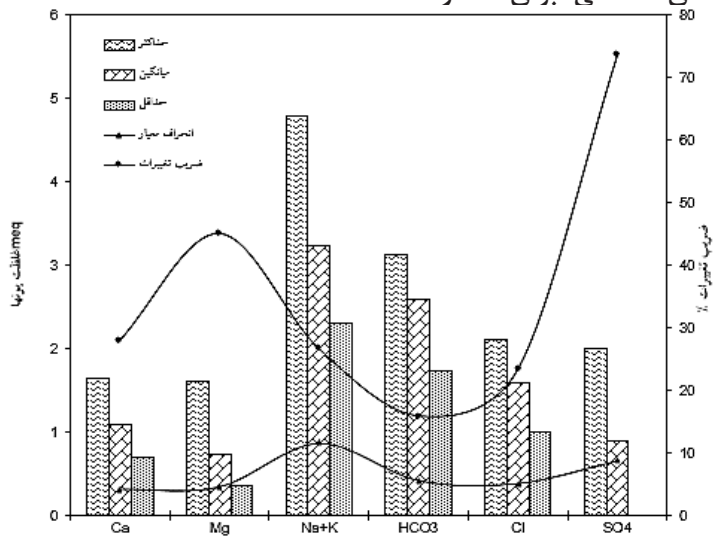
جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه

نام ایستگاه	نام رودخانه	کد ایستگاه	نوع ایستگاه
کاریانی	راپچ	۲۹۰۰۱	آب‌سنجی درجه یک
کهیر	کهیر	۲۹۰۰۵	آب‌سنجی درجه سه
جلایی کلک	نیک‌شهر	۲۹۰۵۱	آب‌سنجی درجه سه
تخت ملک	تنگ سرحه	۲۹۰۲۷	آب‌سنجی درجه سه

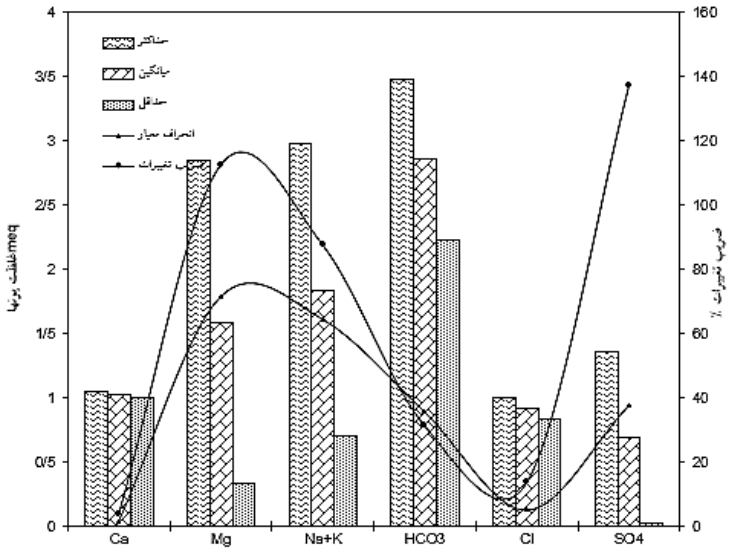
، Mg و Ca) و آنیون‌ها (Cl، SO_4 و HCO_3) و نیز درجه سختی آب (TH) محور جداگانه‌ای در نظر گرفته‌شده که با تعیین آن‌ها در آزمایشگاه و اتصال نقاط متناظرشان روی این محورها می‌توان مطابق شکل‌های ۳ تا ۶ زیر به‌درجه تناسب آب برای شرب پی‌برد. (Booth et al., 2004; Marinoni et al., 2013; Kayser et al., 2015) لازم به‌ذکر است اطلاعات به‌کار رفته در این پژوهش از سازمان مدیریت منابع آب ایران تهیه شده است.

۲-۳- بررسی کیفیت آب‌های سطحی برای مصارف کشاورزی

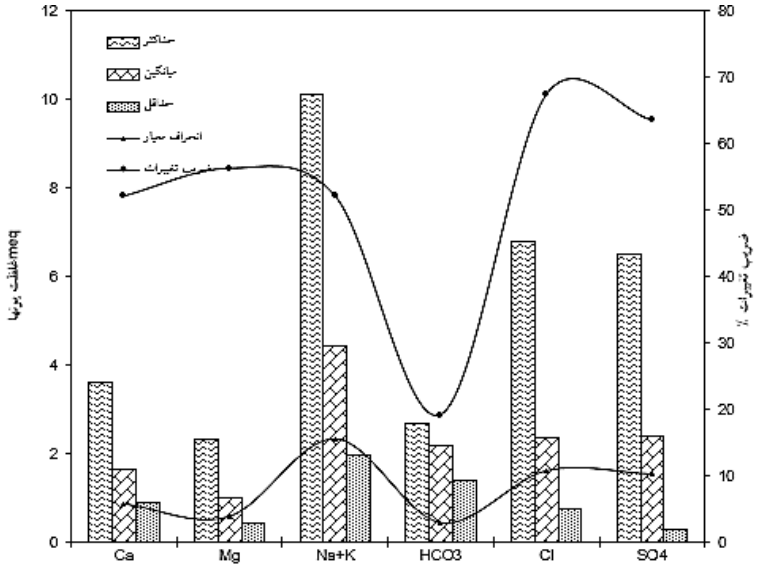
برای بررسی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه از نظر کشاورزی از تحلیل ویلکوکس استفاده شد. مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، شوری (هدایت الکتریکی) و مقدار سدیم موجود در آن است. زیرا این‌دو نه‌تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک را نیز مشخص می‌سازند. در نمودار ویلکوکس محور افقی به شوری آب برحسب میکروموس بر



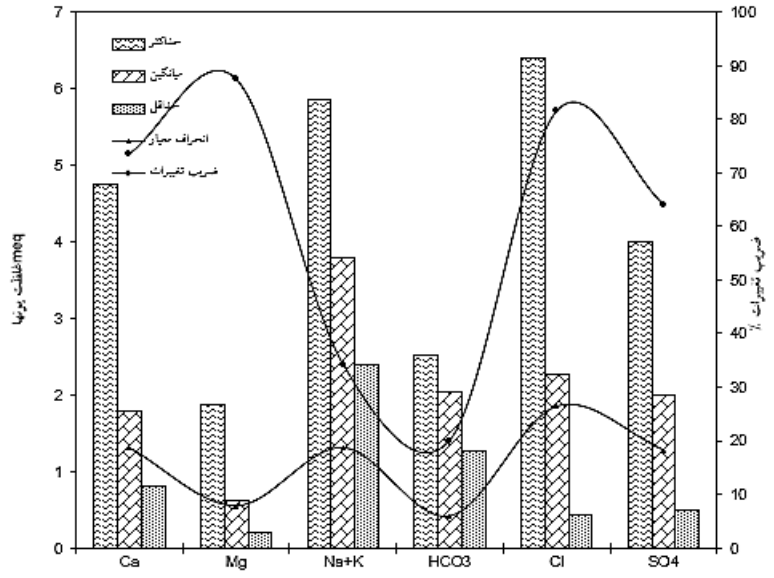
شکل ۳- نمودار شولر برای ایستگاه تخت ملک



شکل ۴- نمودار شولر برای ایستگاه جلایی کلک



شکل ۵- نمودار شولر برای ایستگاه کاریانی



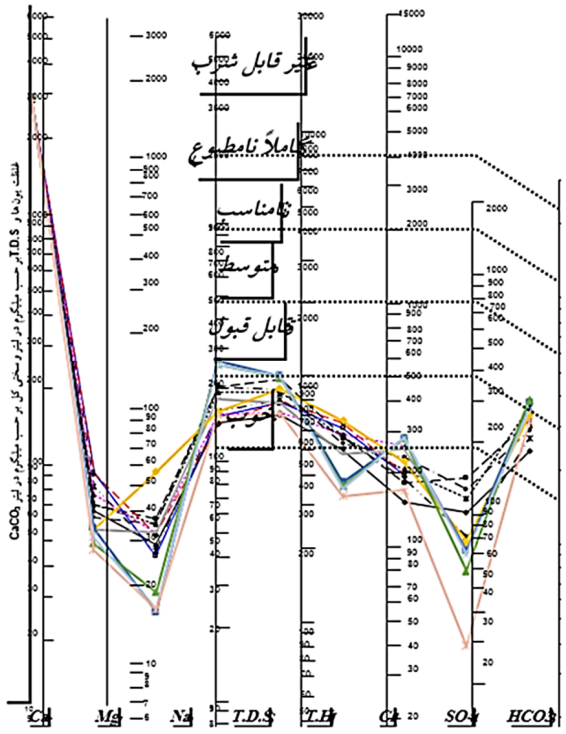
شکل ۶- نمودار شولر برای ایستگاه کهیر

سانتی‌متر(EC × ۱۰۶) و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد که نسبت جذب سدیم SAR از رابطه (۱) به‌دست می‌آید. در این رابطه سدیم، کلسیم و منیزیم برحسب میلی‌اکی والانت بر لیتر بیان می‌شود (White, 1976; Li et al., 2014; Abtahi et al., 2015).

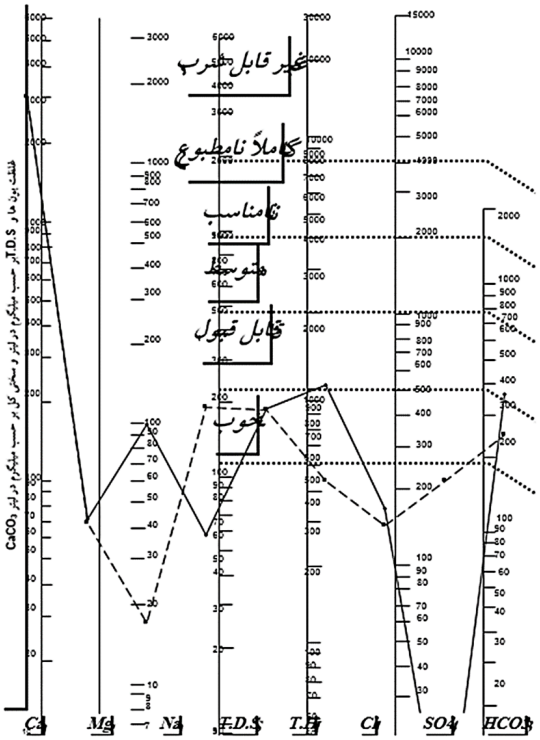
روش طبقه‌بندی ویلکوکس و استفاده از نمودار آن

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{0.5\,(Ca^{++} + Mg^{++})}} \qquad (۱)$$

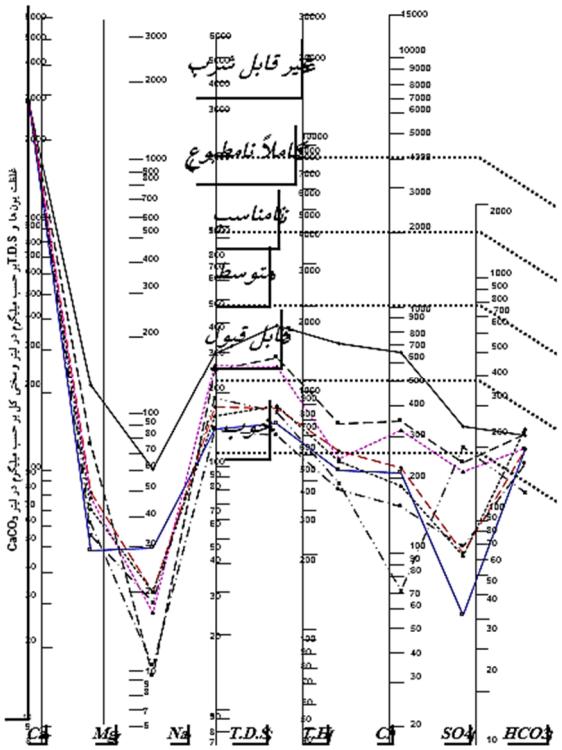
کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در علم هیدرولوژی است. در این نمودار مختصات مربوط به هر آب در منطقه‌ای قرار می‌گیرد که با حروف C از نظر شوری و S از نظر سدیم مشخص می‌شود. مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب



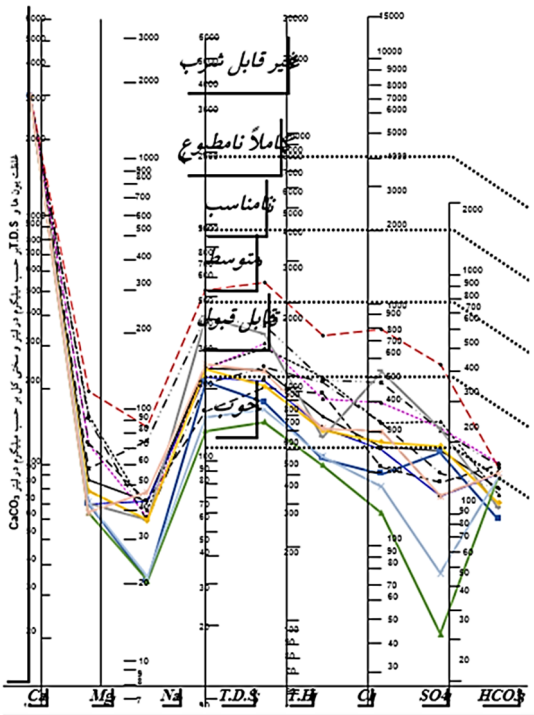
شکل ۳- نمودار شولر برای ایستگاه تخت ملک



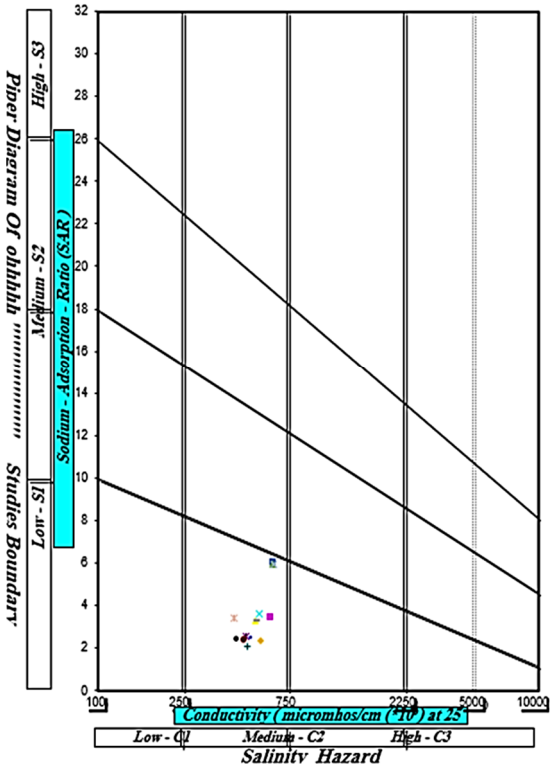
شکل ۴- نمودار شولر برای ایستگاه جلایی کلک



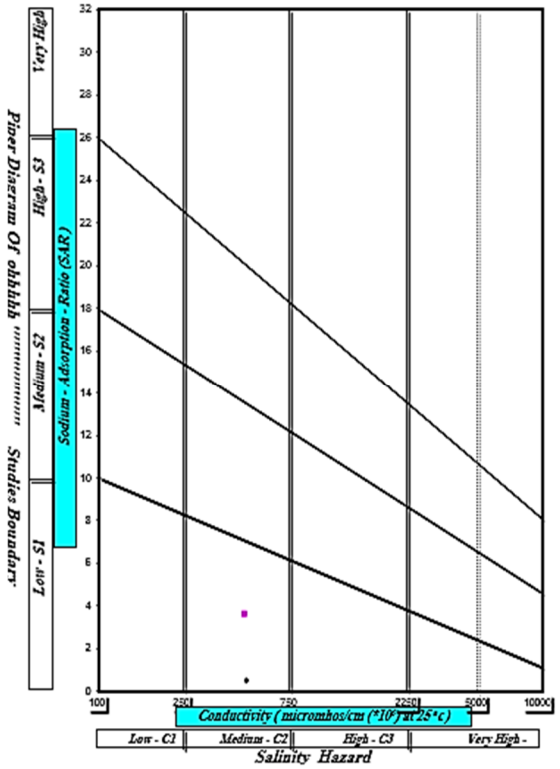
شکل ۵- نمودار شولر برای ایستگاه کاریانی



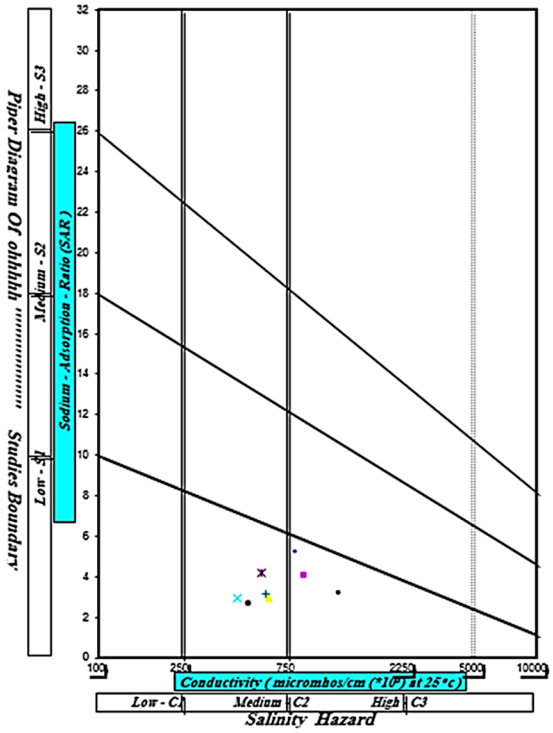
شکل ۶- نمودار شولر برای ایستگاه کهیر



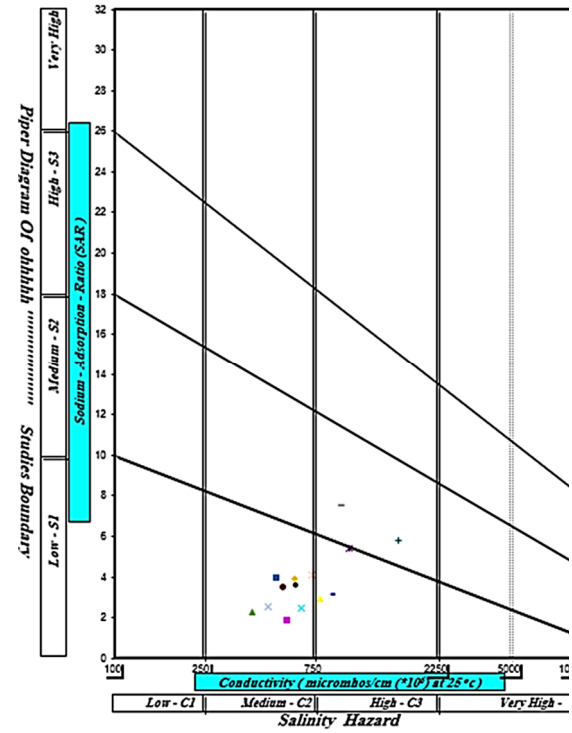
شکل ۷- نمودار ویلکوکس برای ایستگاه تخت ملک



شکل ۸- نمودار ویلکوکس برای ایستگاه جلایی کیک



شکل ۹- نمودار ویلکوکس برای ایستگاه کاریانی



شکل ۱۰- نمودار ویلکوکس برای ایستگاه کهیر

نشان دهنده کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. برطبق این طبقه‌بندی آب‌های خیلی خوب همگی دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر هستند. نمودار ویلکوکس تهیه شده برای تمامی ایستگاه‌ها در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ طبقه‌بندی شده است.

نتایج حاصل از طبقه‌بندی ویلکوکس در جدول‌های ۲ تا ۷ طبقه‌بندی شده است. با توجه به کلاس به‌دست آمده تمامی سال‌ها در دسته کمی شور- مناسب برای کشاورزی قرار می‌گیرند. بر این اساس و بر طبق نمودار رسم شده برای بررسی کیفیت آب از نظر کشاورزی مشاهده می شود که طی سال‌های آماری در منطقه، کلاس آب برای ایستگاه تخت ملک و جلایی کلک C_2-S_1، ایستگاه کاریانی C_2-S_1 و C_3-S_1، ایستگاه کهیر C_2-S_1، C_3-S_1 و C_3-S_2 بوده و دارای شوری زیاد و یا خیلی زیاد و سدیم کم تا متوسط است (شکل ۶).

جدول ۲- درصد هریک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصارف کشاورزی در ایستگاه تخت ملک

C_2			
S_4	S_3	S_2	S_1
۰	۰	۰	۱۰۰

۲-۴- بررسی کیفیت آب ایستگاه‌ها برای مصارف صنعتی

آب ماده حیاتی صنایع مانند کاغذسازی، نساجی، داروسازی و ... است که در ترکیب تولید و یا در آماده‌سازی مواد و یا در سرد کردن دستگاه‌ها به‌کار می‌رود. آبی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌تواند حالت خورنده و یا رسوب‌گذار داشته باشدکه هر دو اثرات نامطلوبی را در دستگاه‌ها و تأسیسات صنعتی و همچنین کیفیت تولید خواهند داشت. از جمله پارامترهای مهمی که آب را برای مصارف صنعتی تحت تأثیر قرار می‌دهد غلظت کلسیم و قلیائیت است که در اینجا شاخص قلیائیت برحسب CaO بیان می‌شود. از آنجا که مهم‌ترین پارامتر تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی بررسی مسئله خورندگی و رسوب‌گذار بودن در شبکه های آب‌رسانی و تأسیسات صنعتی است. لازم است آب های تحت‌پوشش درصورت کاربرد صنعتی ازنظر خورندگی و رسوب‌گذاری مورد ارزیابی دقیق قرار گیرند. اکثر آب‌ها یا دارای خورندگی هستند، که موجب از بین رفتن مواد فلزی می‌شوند و یا رسوب‌گذارند که موجب گرفتگی لوله‌های مشبک و... درجداره چاه‌های منطقه می‌شوند. برای بررسی کیفیت آب برای مصارف صنعتی از شاخص اشباع لانژلیه (LSI) استفاده شده است. برای محاسبه این شاخص تحلیل پارامترهای قلیائیت، سختی کلسیمی، کل

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفی ویلکوکس برای مصرف کشاورزی در ایستگاه جلایی کلک

ردیف	سال	SAR	EC	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
۱	۱۳۸۹	۰/۴۷	۴۶۲	C_2-S_1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۲	۱۳۹۰	۳/۶	۴۵۸/۵	C_2-S_1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی

جدول ٤- درصد هریک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصارف کشاورزی در ایستگاه کاریانی

C_3				$C2$			
S_4	S_3	S_2	S_1	S_4	S_3	S_2	S_1
۰	۰	۰	۳۷/۵	۰	۰	۰	۶۲/۵

مواد جامد، درجه حرارت و pH آب ضروری است. کیفیت آب، تغییر درجه حرارت و یا تبخیر می تواند شاخص را تحت تاثیر قرار دهد. شاخص لانژیه در واقع تفاوت مابین pH واقعی آب و pH اشباع شده توسط کربنات کلسیم بوده و به‌عنوان شاخصی برای بیان مقدار خورندگی و یا رسوب‌گذاری آب به‌کار می‌رود (Allan, 2004; Abtahi et al., 2015; Zhao et al., 2015).

تفسیر نتایج شاخص LSI به‌صورت زیر است:

$LSI > 0$، پتانسیل تشکیل پوسته وجود ندارد و آب $CaCO_3$ را در خود حل می کند (خورندگی)

$LSI = 0$، حالت تعادل و عدم تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی

$LSI < 0$، تمایل به تشکیل پوسته رسوب $CaCO_3$

تجزیه و تحلیل انجام شده برای ۴ ایستگاه نمونه‌برداری شده

جدول ۵- طبقه‌بندی کیفی ویلکوکس برای مصرف کشاورزی در ایستگاه کاریانی

سال	SAR	EC	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
۱۳۶۰	۳/۱۵	۱۲۶۵	C_3-S_1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۱۳۶۱	۴/۱۱	۸۷۵	C_3-S_1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۱۳۶۶	۲/۹۹	۵۹۸	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۱۳۶۷	۲/۹۴	۴۲۸/۷۵	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۱۳۶۹	۴/۱۵	۵۶۲/۱۱۱	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۱۳۸۱	۲/۶۸	۴۹۰	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۱۳۸۲	۳/۱	۵۷۸	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۱۳۹۰	۵/۲۹	۷۸۷	C_3-S_1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی

جدول ۶- درصد هریک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصارف کشاورزی برای ایستگاه کهیر

C_3				C_2			
S_4	S_3	S_2	S_1	S_4	S_3	S_2	S_1
۰	۰	۱۴/۲۹	۲۱/۴۳	۰	۰	۰	۶۴/۲۹

جدول ۷- کیفیت آب از نظر کشاورزی برای ایستگاه کهیر در سال‌های آماری در دسترس

ردیف	سال	SAR	EC	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
۱	۱۳۵۰	۳/۵۹	۶۰۵/۵	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۲	۱۳۵۱	۱/۸۸	۵۵۲	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۳	۱۳۵۳	۲/۹۴	۷۷۱/۲۵	C_3-S_1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۴	۱۳۵۴	۲/۴۷	۶۳۴/۵	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۵	۱۳۵۵	۵/۴۴	۱۰۲۶	C_3-S_1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۶	۱۳۵۶	۳/۵	۵۳۲	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۷	۱۳۶۰	۵/۸۱	۱۶۶۵	C_3-S_2	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۸	۱۳۶۱	۳/۲۱	۸۶۵/۸۳	C_3-S_1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۹	۱۳۶۲	۷/۶	۹۴۵	C_3-S_2	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۱۰	۱۳۶۳	۳/۸۹	۵۹۷/۵	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۱۱	۱۳۶۴	۳/۹۴	۴۹۴	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۱۲	۱۳۶۵	۲/۲۶	۳۹۰	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۱۳	۱۳۶۶	۲/۵۳	۴۵۶	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
۱۴	۱۳۹۰	۴/۱	۷۱۰	C_2-S_1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی

جدول ۸- تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی در ایستگاه تخت ملک در طی سال‌های آماری

سال	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۱۳۴۸	۵۲/۹	۲۱/۳۳۳	۱۱/۲۸	۸/۲	۸/۳۵	-۰/۱۵	رسوب‌گذار
۱۳۴۹	۸۰/۵	۲۳	۱۱/۲۹	۸	۸/۳۵	-۰/۳۵	رسوب‌گذار
۱۳۵۰	۷۵/۴۴	۲۲/۸	۱۱/۲۸	۸	۸/۰۹	-۰/۰۹	رسوب‌گذار
۱۳۵۱	۸۱/۲۸	۲۰	۱۱/۲۸	۸/۱	۸/۲	-۰/۱	رسوب‌گذار
۱۳۵۳	۶۱/۸۶۵	۲۷/۸	۱۱/۲۸	۸	۸/۲۵	-۰/۲۵	رسوب‌گذار
۱۳۵۴	۵۹/۳۳۳۳	۳۲/۶۶۷	۱۱/۲۸	۸	۸/۲۳۳	-۰/۲۳۳۳	رسوب‌گذار
۱۳۵۵	۵۸/۶۱	۳۲	۱۱/۲۸	۸	۸/۲	-۰/۲	رسوب‌گذار
۱۳۷۷	۶۰/۰۲۱۷	۲۵/۶۶۷	۱۱/۲۸	۸/۱	۸/۳۲۸	-۰/۲۲۸۳	رسوب‌گذار
۱۳۷۸	۷۱/۸۱۲۵	۱۷/۵	۱۱/۲۸	۸/۲	۸/۵۱۳	-۰/۳۱۲۵	رسوب‌گذار
۱۳۸۵	۶۲/۲۶۳۳	۱۷/۳۳۳	۱۱/۲۸	۸/۲	۷/۷۵۷	۰/۴۴۳۳۳	رسوب‌گذار
۱۳۸۶	۱۱۰/۹۱۴	۱۷/۷۲۳	۱۱/۲۹	۸	۸/۰۹۱	-۰/۰۹۰۸	رسوب‌گذار
۱۳۸۷	۱۰۸/۴۷۸	۱۵	۱۱/۲۹	۸/۱	۷/۹۶۶	۰/۱۳۴۱۷	خورنده
۱۳۸۸	۱۰۶/۱۰۲	۱۶	۱۱/۲۹	۸/۱	۸/۰۳۳	۰/۰۶۷	خورنده
۱۳۹۰	۶۶/۹۱۵	۱۴	۱۱/۲۸	۸/۳	۸/۱	۰/۲	خورنده

جدول ۹- تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی در ایستگاه جلایی کلک در طی سال‌های آماری

سال	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۱۳۸۹	۱۶/۷۴	۲۱	۱۱/۲۸	۸/۷	۷/۵۶	۱/۱۴	خورنده
۱۳۹۰	۶۹/۱۴۵	۲۰	۱۱/۲۸	۸/۱	۷/۷۱۸	۰/۳۸۲۵	خورنده

جدول ۱۰- تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی در ایستگاه کاریانی

سال	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۱۳۶۰	۱۳۶/۷	۹۵	۱۱/۳	۷/۲	۸/۴	-۱/۲	رسوب‌گذار
۱۳۶۱	۱۱۰/۷۲	۵۰	۱۱/۳	۷/۶	۷/۶	۰	متعادل
۱۳۶۶	۷۰/۵۷۶	۲۵/۲	۱۱/۲۸	۸	۷/۹۴	۰/۰۶	خورنده
۱۳۶۷	۵۹/۷۱۷۵	۲۱/۵	۱۱/۲۷	۸/۲	۸/۰۲۸	۰/۱۷۲۵	خورنده
۱۳۶۹	۸۴/۳۳۱۱	۱۸/۸۸۹	۱۱/۲۸	۸/۱	۸/۴۳۱	-۰/۳۳۱۱	رسوب‌گذار
۱۳۸۱	۵۵/۲	۱۶	۱۱/۲۸	۸/۳	۸/۵۸	-۰/۲۸	رسوب‌گذار
۱۳۸۲	۷۳/۲۵	۳۰	۱۱/۲۸	۷/۹	۸/۵۸	-۰/۶۸	رسوب‌گذار
۱۳۹۲	۱۲۰/۰۵	۲۸/۵	۱۱/۲۹	۷/۸	۷/۷	۰/۱	خورنده

جدول ۱۱- کیفیت آب از نظر صنعت برای ایستگاه کهیر

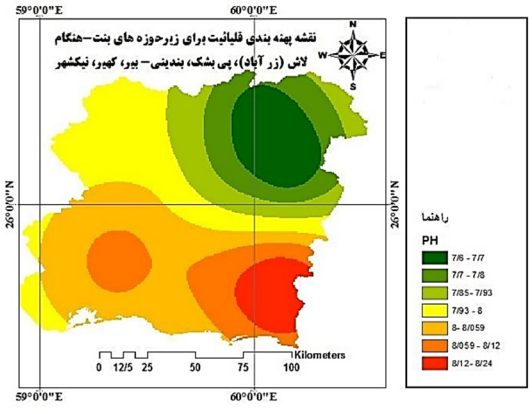
سال	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۱۳۵۰	۸۹/۹۱۵	۲۶	۱۱/۲۹	۷/۹	۸/۲۲۵	-۰/۳۲۵	رسوب‌گذار
۱۳۵۱	۵۴/۸۵	۴۰	۱۱/۲۸	۷/۹	۷/۹	۰	متعادل
۱۳۵۳	۹۲/۸	۵۴/۲۵	۱۱/۲۹	۷/۶	۸/۰۲۵	-۰/۴۲۵	رسوب‌گذار
۱۳۵۴	۷۸/۶۲۵	۵۲	۱۱/۲۹	۷/۷	۸/۱۲۵	-۰/۴۲۵	رسوب‌گذار
۱۳۵۵	۱۷۱/۴۵	۳۰	۱۱/۳	۷/۶	۸/۵	-۰/۹	رسوب‌گذار
۱۳۵۶	۸۱/۲۸	۲۰	۱۱/۲۸	۸/۱	۸/۱	۰	متعادل
۱۳۶۰	۲۳۳/۹	۷۲	۱۱/۳۱	۷/۱	۸/۵	-۱/۴	رسوب‌گذار
۱۳۶۱	۹۳/۲۱۰۳	۳۹/۳۳۳	۱۱/۲۹	۷/۷	۷/۹۷۵	-۰/۲۷۵	رسوب‌گذار
۱۳۶۲	۱۷۹/۰۹	۲۰	۱۱/۳	۷/۷	۸/۴۵	-۰/۷۵	رسوب‌گذار
۱۳۶۳	۹۵/۰۶۵	۲۳	۱۱/۲۸	۷/۹	۷/۸۷۵	۰/۰۲۵	خورنده
۱۳۶۴	۸۴/۰۹	۲۰	۱۱/۲۸	۸/۱	۷/۹۲	۰/۱۸	خورنده
۱۳۶۵	۴۶/۹۳	۱۸	۱۱/۲۷	۸/۳	۸/۰۸	۰/۲۲	خورنده
۱۳۶۶	۵۵/۲۵۴	۲۰/۴	۱۱/۲۸	۸/۲	۸/۰۲	۰/۱۸	خورنده
۱۳۹۰	۹۶/۲۵	۱۸	۱۱/۲۹	۸/۱	۸/۲۵	-۰/۱۵	رسوب‌گذار

در جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان کیفیت پایین آب این منطقه را برای مصرف در صنعت نشان میدهد که باعث مشکلات بسیاری در دستگاه‌های صنعتی و تولیدات خواهند شد (جدول‌های ۸ تا ۱۱).

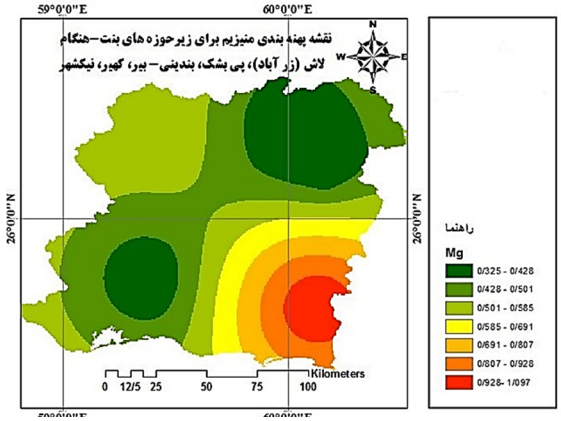
همانگونه که دیده می‌شود آب تمامی ایستگاه‌ها در طی سال‌های مطالعه شده، جز تعداد محدودی دارای وضعیت رسوب‌گذار و خورنده هستند و ازنظر صنعت وضعیت مناسبی برای استفاده ندارند. درصورت نیاز به استفاده، لازم است تمهیدات لازم برای کاهش خسارت به ادوات صنعتی اتخاذ شود.

۵-۲- نقشه پهنه‌بندی برخی پارامترهای مهم آب

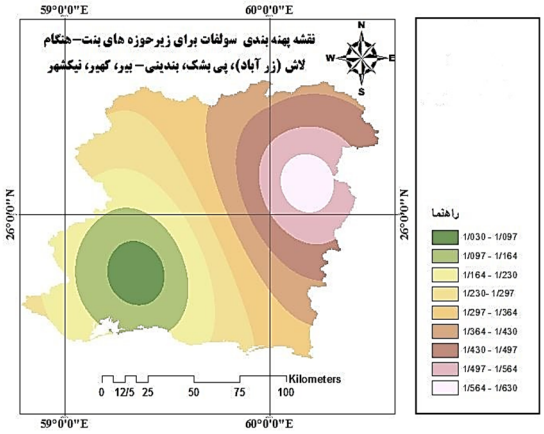
برای بهتر مشخص شدن تغییرات یون‌ها در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GIS این پارامترها به‌روش



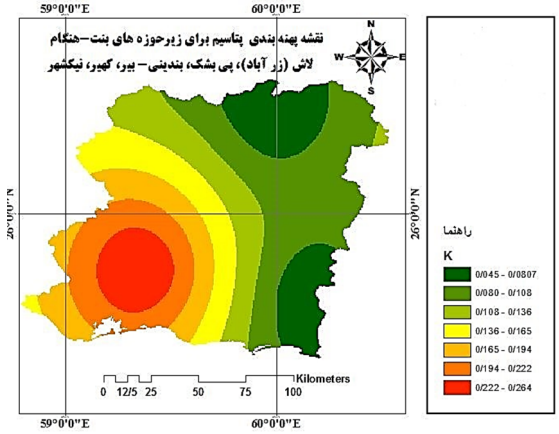
شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی قلیائیت



شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی مقدار منیزیم



شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی مقدار سولفات



شکل ۱۴- نقشه پهنه‌بندی مقدار پتاسیم

کریجینگ پهنه‌بندی شد که نقشه‌های نهایی آن در شکل‌های ۱۵ تا ۱۸ نشان داده شده است. به‌دلیل قرارگرفتن برخی یون‌ها در یک کلاس، نقشه پهنه‌بندی آن‌ها در این مقاله آورده نشده و فقط نقشه یون‌هایی که در بخش‌های مختلف متفاوت هستند ارائه شده است. با توجه به نقشه‌های تهیه شده می‌توان برنامه‌ریزی لازم برای پیشبرد اهداف مدیریتی را در منطقه انجام داد. در کل با توجه به نقشه‌های تهیه شده قسمت شمال شرقی منطقه از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار است.

۳- نتیجه‌گیری

بررسی کیفیت آب مصرفی در بخش‌های مختلف شرب، کشاورزی و صنعتی یکی از پارامترهای اساسی در توسعه پایدار و بالابردن سطح سلامت محصولات و جامعه است. در این پژوهش سعی شد تا با بررسی کیفیت آب‌های سطحی در منطقه جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان بتوان گامی مؤثر در جهت پیشبرد اهداف توسعه پایدار و مدیریت صحیح این منابع برداشت. نتایج این تحقیق نشان داد که آب‌های سطحی این منطقه از نظر شرب به‌غیر از مقدار بالای کلسیم، بقیه عناصر در محدوده خوب تا قابل‌قبول قرار گرفته‌اند و تنها مقدار کلسیم در تمامی ایستگاه‌ها در وضعیت نامطلوب قرار دارد. در هرحال برای استفاده از آب این منطقه به‌منظور مصرف شرب، علاوه‌بر از بین‌بردن اثرات بالای کلسیم لازم است تصفیه اولیه آب نیز انجام پذیرد. این مقدار کلسیم بر سختی آب در این منطقه موثر خواهد بود و باعث بالارفتن مقدار سختی و تبعات پس از آن نظیر سنگ کلیه درصورت استفاده از آن آب می‌شود. با بررسی کیفیت آب ایستگاه‌ها برای مصارف کشاورزی مشخص شد که در دو ایستگاه جلایی کلک و تخت ملک ۱۰۰٪ داده‌ها در کلاس C_2-S_1 قرار می‌گیرند که کمی شور و مناسب برای کشاورزی هستند. در ایستگاه کاریانی ۶۲/۵٪ در کلاس C_2-S_1 و بقیه در کلاس C_3-S_1 قرار می‌گیرند. برای ایستگاه کهیر نیز سه کلاس C_2-S_1، C_3-S_1 ، C_3-S_2 در طی سال‌های آماری وجود دارد که به‌ترتیب دارای ۶۴/۲۹، ۲۴/۴۳ و ۱۴/۲۹ درصد هستند. همچنین با بررسی‌های انجام شده مشخص شد در کل ایستگاه‌ها تنها سه سال آب برای مصارف صنعتی در وضعیت متعادل قرار دارد و در بقیه سال‌ها حالت رسوب‌گذار و خورنده حاکم است. پس شرایط در این منطقه از نظر احداث صنایع مرتبط با آب نیز نامناسب است. نتایج این پژوهش با تحقیقات انجام شده در گذشته سازگاری دارد، به‌طوری که در پژوهش‌های شیروانی و همکاران (۱۳۹۴) و ساقی و همکاران (۱۳۹۲) مقدار کلسیم در منطقه بالا برآورد شده است. همچنین در تمامی پژوهش‌های قبلی، آب در منطقه برای مصارف صنعتی خورنده و رسوبگذار بوده که با این پژوهش سازگاری دارد. هم‌چنین نتایج به‌دست آمده با کارهای کاوه‌کار و همکاران (۱۳۹۵) هم‌خوانی دارد. در نهایت با توجه به اهمیت تأمین آب مصرفی برای شرب، کشاورزی و صنعت، لزوم توجه به کیفیت آن بارزتر می‌شود و امید است با اهتمام دولت و مردم برنامه‌ریزی درست و کاربردی در این منطقه حساس اکولوژیکی صورت پذیرد.

۴- پی‌نوشت‌ها

1- Wilcox
2- Schueller
3- Piper

۵- مراجع

پورمقدس، ح.، (۱۳۸۲)، «بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه لنجانات اصفهان»، *فصل‌نامه دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی*، ۱(۱)، ۱۵-۲۶.

ساقی، م.ح، صمدی، م.ت، رحمانی، ع.، و محسنی بندپی، ا.، (۱۳۹۲)، «پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت آب کشاورزی براساس شاخص WILCOX استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی»، *شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران*، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز.

شیروانی، ت.، شیروانی ساورویی، ا.، بوچانی، م.ح.، و عارف، ف.، (۱۳۹۴)، «ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت صحرای باغ برای مصارف کشاورزی و صنعت»، *اکوهیدرولوژی*، ۲(۴)، ۳۴۵-۳۵۶.

کاوه‌کار، ش.، جوادی، س.، یوسفی، ر.، و عبادی‌فر، م.، (۱۳۹۵)، «ارزیابی کیفی آب‌های سطحی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سلامت آباد)»، *ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران*، دانشگاه کردستان، سنندج.

محتشمی، ع.، و ناصری، م.، (۱۳۹۴)، «طبقه‌بندی کیفی آب جهت مصارف شرب کشاورزی صنعت (مطالعه موردی دشت درمیان - اسد آباد خراسان جنوبی»، *اولین همایش ملی کیفیت منابع آب و توسعه پایدار*، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مرکزی، دانشگاه اراک، اراک.

Abtahi, M., Golchinpour, N., Yaghmaeian, K., Rafiee, M., Jahangiri-rad, M., Keyani, A., and Saeedi, R., (2015), "A modified drinking water quality index (DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran", *Ecological Indicators*, 53(1 Jun.), 283-291.

Allan, J.D. (2004), "Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems", *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(15 Dec.), 257-284.

Appleton, A.F., (2002), "How New York City used an ecosystem services strategy carried out through an urban-rural partnership to preserve the pristine quality of its drinking water and save billions of dollars and what lessons it teaches about using ecosystem services", *Katoomba Conferen*ce, Tokyo, November.

Ashton, P.J., Van Zyl, F.C., and Heath, R.G., (1995), "Water quality management in the Crocodile river catchment, Eastern Transvaal, South Africa", *Water Science and Technology*, 32(5-6), 201-208.

Booth, D.B., Karr, J.R., Schauman, S., Konrad, C.P., Morley, S.A., Larson, M.G., and Burges, S.J., (2004), "Reviving urban streams: Land use, hydrology, biology, and human behavior", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 40(5), 1351-1364.

Clasen, T., Pruss-Ustun, A., Mathers, C.D., Cumming, O., Cairncross, S., and Colford Jr, J. M., (2014), "Estimating the impact of unsafe water, sanitation and hygiene on the global burden of disease: evolving and alternative methods", *Tropical Medicine and International Health*, 19(8), 884-893.

Hathaway, J.M. and Hunt, W.F., (2011), "Evaluation of first flush for indicator bacteria and total suspended solids in urban stormwater runoff", *Water, Air and Soil Pollution*, 217(1-4), 135-147.

Johnson, L., Richards, C., Host, G., and Arthur, J., (1997), "Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems", *Freshwater Biology*, 37(1), 193-208.

Kayser, G. L. et al. (2015) "Drinking water quality governance: A comparative case study of Brazil, Ecuador, and Malawi", *Environmental Science and Policy*, 48(1 Apr.), 186-195.

Li, P., Wu, J., Qian, H., Lyu, X., and Liu, H., (2014), "Origin and assessment of groundwater pollution and associated health risk: A case study in an industrial park, northwest China", *Environmental Geochemistry and Health*, 36(4), 693-712.

Lobato, T.C., Hauser-Davis, R.A., Oliveira, T.F., Silveira, A.M., Silva, H.A.N., Tavares, M.R.M., and Saraiva, A.C.F., (2015) "Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region", *Journal of Hydrology*, 522(1 Mar.), 674-683.

Majcher, E.H., Woytowitz, E.L., Reisinger, A.J., and Groffman, P.M., (2018), "Factors affecting long-term trends in surface-water quality in the Gwynns Falls watershed, Baltimore City and County, Maryland, 1998–2016 (No. 2018-1038)", US Geological Survey.

Marinoni, O., Higgins, A., Coad, P., and Garcia, J.N., (2013), "Directing urban development to the right places: Assessing the impact of urban development on water quality in an estuarine environment", *Landscape and Urban Planning*, 113(1 May), 62-77.

Mohebbi, M.R., Saeedi, R., Montazeri, A., Vaghefi,

K.A., Labbafi, S., Oktaie, S. and Mohagheghian, A., (2013), "Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI)", *Ecological Indicators*, 30(1 Jul.), 28-34.

Nazeer, S., Hashmi, M.Z., and Malik, R.N., (2014), "Heavy metals distribution, risk assessment and water quality characterization by water quality index of the River Soan, Pakistan", *Ecological Indicators*, 43(1 Aug.), 262-270.

Ribolzi, O., Cuny, J., Sengsoulichanh, P., Mousquès, C., Soulileuth, B., Pierret, A. and Sengtaheuanghoung, O., (2011), "Land use and water quality along a Mekong Tributary in Northern Lao PDR", *Environmental Management*, 47(2), 291-302.

Rimer, A.E., Nissen, J.A., and Reynolds, D.E., (1978), "Characterization and impact of stormwater runoff from various land cover types", *Journal of Water Pollution Control Federation*, (1 Feb.), 252-264.

Seeboonruang, U., (2012), "A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes", *Journal of Environmental Management*, 101(30 Jun.), 134-142.

Tu, J., (2013), "Spatial variations in the relationships between land use and water quality across an urbanization gradient in the watersheds of northern Georgia, USA", *Environmental Management*, 51(1), 1-17.

White, C.S., (1976), "Factors influencing natural water quality and changes resulting from land-use practices", *Water, Air and Soil Pollution*, 6(1), 53-69.

Xie, Y., (2016), *Disinfection byproducts in drinking water: Formation, analysis, and control*, CRC press.

Zhai, X., Xia, J., and Zhang, Y., (2014), "Water quality variation in the highly disturbed Huai River Basin, China from 1994 to 2005 by multi-statistical analyses", *Science of the Total Environment*, 496(15 Oct.), 594-606.

Zhao, J., Lin, L., Yang, K., Liu, Q., and Qian, G., (2015), "Influences of land use on water quality in a reticular river network area: A case study in Shanghai, China", *Landscape and Urban Planning*, 137(1 May), 20-29.

Zheng, B., Lei, K., Liu, R., Song, S., and An, L., (2014), "Integrated biomarkers in wild crucian carp for early warning of water quality in Hun River, North China", *Journal of Environmental Sciences*, 26(4), 909-916.

Zhang, Q., Harman, C.J., and Kirchner, J.W., (2018), "Evaluation of statistical methods for quantifying fractal scaling in water-quality time series with irregular sampling", *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2), 1175-1192.