Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰
Volume 17, No. 3, Fall 2021 (IR-WRR)
۱-۱۹

بررسی کیفیت آب رودخانه حبله‌رود با استفاده از شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ($IRWQI_{SC}$) و روش سطح پاسخ

پویا متحدین[۱*] و امیر عبدوس[۲]

چکیده

هدف پژوهش حاضر ارزیابی کیفیت رودخانهٔ حبله‌رود در استان سمنان بر اساس شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$) است. پارامترهای COD، BOD_5، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، کلیفرم گوارشی، آمونیوم، نیترات، فسفات، کدورت، سختی کل و pH، طی چهار فصل از زمستان سال ۱۳۹۸ تا پاییز سال ۱۳۹۹ در سه ایستگاه نمونه‌برداری شامل بالادست روستای بن‌کوه (A)، پایین‌دست روستای بن‌کوه (B) و ده‌سراب (C) مورد پایش قرار گرفتند. بیشترین مقدار $IRWQI_{SC}$، عدد ۵۵/۶ در ایستگاه بالادست روستا در فصل تابستان و کمترین مقدار آن، عدد ۴۰/۴ در ایستگاه پایین‌دست روستا در فصل زمستان به دست آمد. بنابراین، کیفیت آب رودخانه در ایستگاه بالادست روستای بن‌کوه در فصل تابستان نسبت به ایستگاه‌ها و فصول دیگر بهتر بوده است. به منظور بررسی مقدار تأثیر هر پارامتر بر روی شاخص کیفی آب رودخانه و نیز بررسی اثر متقابل پارامترها، با استفاده از نرم‌افزار Design Expert طراحی آزمایش در سه ایستگاه مورد مطالعه و در فصل تابستان انجام شد. ابتدا با روش پلاکت- برمن پارامترهایی که اثر بیشتری بر مقدار $IRWQI_{SC}$ داشتند غربال‌گری شدند و سپس برای تحلیل داده‌ها از روش سطح پاسخ RSM-BBD استفاده شد. پارامترهای EC، فسفات، نیترات، کدورت و pH با ٪۵۱/۶۱، ٪۲۳/۱۳، ٪۱۴/۴۴، ٪۳/۱۷ و ٪۲/۳۸ به ترتیب بیشترین سهم مشارکت را در پارامتر $IRWQI_{SC}$ داشتند. مقدار R^2 با استفاده از روش BBD برابر با ۰/۹۹۸۲ به دست آمد که نشان‌دهنده اعتبار مدل به کار رفته است.

کلمات کلیدی: شاخص $IRWQI_{SC}$، حبله‌رود، طراحی آزمایش، پلاکت- برمن، RSM.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۱۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۶/۲۷

۱- دکتری مهندسی شیمی، مرکز تحقیقات زیست‌محیطی، اداره کل حفاظت محیط زیست استان سمنان.
۲- دکتری حقوق محیط زیست، مدیر کل حفاظت محیط زیست استان سمنان.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

Evaluation of Hablehroud River Water Quality Using Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters ($IRWQI_{SC}$) and Response Surface Methodology

P. Mottahedin[1] and A. Abdoos [2]*

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the quality of the Hablehroud river in Semnan based on the Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters ($IRWQI_{SC}$). Eleven parameters of COD, BOD_5, dissolved oxygen, electrical conductivity, Fecal coliform, ammonium, nitrate, phosphate, turbidity, total hardness, and pH were monitored during four seasons from winter 2020 to autumn 2020 in three sampling stations; upstream of Bonkooh village (A), downstream of the village (B) and Deh Sarab (C). The highest value of $IRWQI_{SC}$ was 55.6 in Station A in summer and the lowest value was 40.4 in Station B in winter. The water quality of the river in Station A in summer was therefore better than the other stations and other seasons. To investigate the effect of each parameter on the water quality index and also to investigate the interaction of the above-mentioned parameters, the experiment was designed in the three studied stations in summer by using the Design Expert software. First, the parameters that had a greater effect on the $IRWQI_{SC}$ value were screened by the Plackett-Burman method and then the RSM-BBD method was used to analyze the data. The parameters of EC, phosphate, nitrate, turbidity, and pH had the largest contribution in the $IRWQI_{SC}$ with respective values of 51.61%, 23.13%, 14.44%, 3.17%, and 2.38%. The coefficient of determination (R^2) using the BBD method was 0.9982 which indicates that the model is valid.

Keywords: $IRWQI_{SC}$ Index, Hablehroud, Design of Experiments (DOE), Plackett-Burman, RSM.

Received: May 5, 2021
Accepted: September 18, 2021

1- Ph.D. in Chemical Engineering, Environmental Research Center, Semnan Provincial Office of the Department of Environment, Semnan, Iran. Email: p.motahedin_SM@doe.ir, mottahedinpouya@gmail.com
2- Ph.D. in Environmental Law, General Manager, Semnan Provincial Office of the Department of Environment, Department of Environment, Semnan, Iran.
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1400.17.3.23.8

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

آب منبع حیاتی برای هر پدیده زیستی و انسانی است. منابع آب در یک تقسیم‌بندی کلی به دو دسته آب‌های سطحی[۱] و آب‌های زیرزمینی تقسیم می‌شود. آب‌های سطحی به آب‌های موجود بر سطح زمین مانند آب موجود در یک رود، دریاچه، تالاب یا اقیانوس گفته می‌شود که در مقابل آب‌های زیرزمینی و آب‌های جوی قرار می‌گیرد (Komasi and Sharghi, 2017). رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای کشاورزی، شرب و مصارف صنعتی مطرح می‌باشند که با توجه به ورود انواع آلاینده‌ها، نگرانی‌های زیادی در مورد حفاظت کیفی آنها وجود دارد. آلودگی منابع آبی از عوامل مهم تهدیدکننده اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شود. این آلودگی‌ها اثرات زیانباری همچون تخریب محیط زیست و خسارات اقتصادی را به دنبال دارند. مواد و عوامل آلوده کننده مانند جاری شدن فاضلاب‌ها به آب‌های طبیعی و همچنین تأثیر دوره‌ای باران‌های اسیدی، تغییراتی در آب به وجود می‌آورند که آنها را آلودگی فیزیکی، شیمیایی، زیستی و فیزیولوژیک می‌نامند (Yazdan Parast, 2013). در آب آلوده شده، به طور عمومی ترکیب موجودات اکوسیستم کاهش می‌یابد، به این ترتیب تنوع زیستی کاهش پیدا می‌کند. آلودگی رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین مشکلات دنیای امروز به ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد (Mohseni Bandpey et al., 2014). آگاهی از کیفیت منابع آب، یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آنها می‌باشد. حفاظت و استفاده بهینه از آب، از اصول مهم توسعه پایدار در هر کشوری می‌باشد.

یکی از روش‌های بررسی کیفیت آب، آنالیز آزمایشگاهی می‌باشد؛ اما نمی‌توان با استفاده از داده‌های خام به نتیجه خوبی از لحاظ کیفیت آب دست پیدا کرد. روش‌های مختلفی برای سنجش کیفی آب‌های سطحی در دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است، که در میان آن‌ها شاخص کیفیت آب[۲] یکی از روش‌های پرکاربرد و ساده با به کارگیری داده‌های خام است. شاخص کیفیت آب عددی است که کیفیت آب را با توجه به مجموع پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده بیان می‌کند (Brown et al., 1972). نخستین بار در سال ۱۹۶۵ هورتن در کمیسیون بهداشت آب رودخانه اوهایو در ایالات متحده، روش جدیدی به شکل یک عدد شاخص برای رتبه‌بندی کیفیت آب ارائه کرد (Horton, 1965). با استفاده از شاخص‌های کیفی، حجم زیاد اطلاعات نمونه‌برداری شده از اندازه‌گیری‌های کیفی آب به صورت یک عدد منفرد و بدون بعد تبدیل می‌شود که این عدد در یک مقیاس درجه‌بندی شده، دارای مفهوم و تعریف کیفی تفسیر شده‌ای است. به این ترتیب می‌توان مشخص کرد که وضعیت کیفیت آب در کدام طبقه‌بندی انجام شده قرار داشته و وضعیت آن نسبت به مکان و زمان دیگر چگونه تغییر کرده است. ارزیابی کیفی منابع آب با استفاده از شاخص‌های کیفی به عنوان یک روش بسیار مناسب در مدیریت پهنه‌های آبی و داشتن یک برنامه منظم برای حفاظت کیفی منابع آب و جلوگیری از آلودگی آنها می‌باشد. به کمک شاخص‌های کیفی می‌توان مناطقی را که از نظر آلودگی بیشتر مورد تهدید هستند، مشخص و منابع آب را مدیریت کرد. از جمله مهم‌ترین شاخص‌های کیفی منابع آب می‌توان به NSFWQI[۳]، OWQI[۴]، CWQI[۵] و IRWQI$_{SC}$[۶] اشاره کرد. شاخص‌های کیفیت آب (WQI) روش مفیدی را برای پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب فراهم می‌کنند. شاخص NSFWQI در سال ۱۹۷۰ با حمایت سازمان بهداشت ملی آمریکا، ابتدا با معرفی حدود ۳۵ عامل آلودگی ارائه شد. سپس ۹ عامل اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن محلول، کلیفرم گوارشی، نیترات، pH، تغییرات درجه حرارت، کل مواد جامد، فسفات کل و کدورت، برای ایجاد شاخص اصلی انتخاب شدند. این شاخص را می‌توان با استفاده از رابطه‌ای بر اساس ضریب وزنی هر شاخص محاسبه کرد. شاخص کیفی OWQI در سال ۱۹۷۹ در ایالت اُرِگُن آمریکا برای ارزیابی شرایط و روند کیفی آب ارائه شد. در این شاخص هر یک از پارامترهای هشت‌گانه (دما، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، pH، نیتروژن، فسفر کل، کل جمدات محلول و کلیفرم گوارشی) فاقد ضریب وزنی بوده و دارای اثر یکسانی در مقدار نهایی شاخص می‌باشند. اثربخشی یکسان پارامترها، از اشکالات عمده این شاخص است. شاخص CWQI بر اساس شاخص کیفیت آب ارائه شده توسط دانشگاه بریتیش کلمبیا که در سال ۱۹۹۵ توسعه یافته، پایه‌گذاری شده است. پارامترهای ورودی برای محاسبه این شاخص، ۳۸ پارامتر هستند ولی محدودیتی برای پارامترها وجود ندارد و هرچه تعداد پارامترها بیشتر باشد، دقت ارزیابی بیشتر خواهد شد (Rahnama and Shahidi, 2019). شاخص IRWQI$_{SC}$ در سال ۲۰۱۱ بر اساس ۱۱ پارامتر اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، نیترات، آمونیوم، فسفات، کدورت، سختی کل، کلیفرم گوارشی و pH، و تعیین وزن برای هر پارامتر توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران ارائه شد (Hashemi et al., 2011). این شاخص، یک شاخص کیفی جدید و بادقت برای ارزیابی کیفیت آبهای سطحی ایران است.

Razaz et al. (2006) به بررسی کیفی آب رودخانه‌ها با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب مطالعه موردی: بازه ایدنک – بهبهان رودخانه مارون پرداختند. در این تحقیق سه شاخص کیفیت آب مؤسسه ملی

www.SID.ir

Archive of SID

بهداشت، اُرِگُن و کانادا معرفی و معادلات حاکم بر آنها ارائه شدند و به دنبال آن جهت ارزیابی این سه روش پیشنهادی، کیفیت آب رودخانه مارون بین ایستگاه‌های ایدنک و بهبهان و میزان شاخص کیفیت آب در این ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. Amirnejad (2008) با بررسی روش‌های تعیین کیفیت آب در رودخانه‌ها، روش تجزیه و تحلیل سیستمی و روش تعیین شاخص‌های کیفی آب را به عنوان مهم‌ترین و دقیق‌ترین روش‌ها معرفی کردند. در روش تجزیه و تحلیل سیستمی، با انتخاب چند فاکتور کیفی آب در بازه‌های مکانی و زمانی مختلف و بررسی روند تغییرات آنها و همچنین مقایسه با استانداردهای موجود وضعیت کیفی رودخانه مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ اما در روش تعیین شاخص‌های کیفی آب با اندازه‌گیری چند شاخص اصلی و پس از درجه‌بندی و وزن‌دهی هر یک از این شاخص‌ها، کیفیت آب رودخانه در چند گروه از رده‌های بسیار خوب تا بسیار بد درجه‌بندی می‌شود. Jafari Salim et al. (2009) کیفیت آب رودخانه قشلاق در استان کردستان را با استفاده از شاخص‌های کیفی NSF برای مصارف عمومی آب رودخانه و شاخص بریتیش کلمبیا برای مصارف شرب مورد بررسی قرار دادند. Razmkhah et al. (2010) تغییرات مکانی و زمانی آب رودخانه جاجرود را در یک دوره سه ساله ارزیابی کردند. بررسی کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب‌های سطحی در رودخانه میناب توسط نوحه‌گر انجام شد (Nohegar, 2011). Faryadi et al. (2012) پارامترهای کیفیت آب رودخانه تجن را با استفاده از تکنیک‌های آماری مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق، اولویت‌بندی پارامترهای کیفیت آب، ارتباط بین آنها و موضوع معدنی بودن یا غیر معدنی بودن آنها در طول سه سال در سه ایستگاه رودخانه تجن مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای مؤثر برای کنترل کیفیت آب رودخانه مشخص شد. Madadi Nia et al. (2014) کیفیت آب رودخانه کارون را با استفاده از شاخص کیفیت آب NSF (سازمان بهداشت ملی آمریکا) بررسی کردند. Sadeghi et al. (2015) نیز با هدف ارزیابی کیفیت آب رودخانه زرین‌گل با استفاده از شاخص‌های کیفی آب، ۹ ایستگاه نمونه‌برداری را در دو فصل تابستان و پاییز مورد بررسی قرار دادند. Ghasemieh and Jeyhuni Naini (2016) به بررسی آلودگی آب و تأثیر آن بر محیط زیست پرداختند. آنها ضمن بیان کیفیت آب و شاخص کیفیت آب، منابع آلودگی آب را مورد مطالعه قرار دادند. Khadempour and Shahidi (2017) با استفاده از شاخص کیفی آب کانادا (CWQI) به بررسی کیفیت آب در دو ایستگاه خونیک علیا و فرخی واقع در حوضه رودخانه قاین استان خراسان جنوبی طی سال‌های آبی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ پرداختند. Moravej et al. (2017) ارزیابی کیفیت رودخانهٔ کارون بر اساس شاخص کیفیت آب را مورد بررسی قرار دادند. Asadi et al. (2018) ارزیابی ریسک عمومی آبخوان‌های حوضه گرمسار، فیروزکوه، هومند- آبسرد، ایوانکی و مبارکیه را با استفاده از مدل GRAM مورد بررسی قرار دادند. Khalifeh and Khoshnazar (2018) به منظور بررسی کیفی رودخانه زرینه‌رود از شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$) استفاده کردند. ارزیابی میزان تغییرات اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود در اثر تغییر پارامترهای مؤثر بر آن توسط Mohammadi Ghaleni and Ebrahimi (2019) انجام شد. Biglari et al. (2019) سه دوره نمونه‌برداری پارامترهای کیفیت آب، پایش منابع آلاینده رودخانه و پایش وضعیت پوشش گیاهی بستر از نقاط مختلف رودخانه زرینه‌رود در فصول مختلف سال ۱۳۹۵ را برای دستیابی به استانداردهای کیفیت آب برای حیات آبزیان مورد ارزیابی قرار دادند. Nazari et al. (2020) کیفیت آب رودخانه‌های استان خوزستان جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های IRWQIsc و NSFWQI را پایش کردند. Aghaee et al. (2020) به بررسی کیفیت آب رودخانه چهل‌چای با استفاده از شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$) پرداختند. به این منظور، ۷ ایستگاه مختلف در یک دوره ۶ ماهه مورد پایش قرار گرفتند و شاخص کیفی $IRWQI_{SC}$ با استانداردهای موجود برای شرب و کشاورزی مقایسه شد.

با توجه به تحقیقات انجام شده و اهمیت آگاهی از کیفیت آب به منظور جلوگیری از آلوده شدن آن و نیز رفع آلودگی‌های موجود، در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات کیفی آب در طول مسیر رودخانه حبله‌رود در استان سمنان (کاربرد کشاورزی)، تعداد ۳ ایستگاه از طول رودخانه حبله‌رود در استان سمنان طی مدت ۴ فصل مختلف انتخاب شدند. ایستگاه‌های نمونه‌برداری به ترتیب بالادست روستای بن‌کوه (A)، پایین‌دست روستای بن‌کوه (B) و دهسراب (C) نام دارند که از فصل زمستان ۹۸ تا پاییز ۹۹ مورد پایش و آنالیز قرار گرفتند. مطالعات کیفی و کمی انجام شده در این تحقیق، بر اساس شاخص $IRWQI_{SC}$ انجام شد. بر اساس شاخص مذکور، نقشه‌های کیفیت آب رودخانه حبله‌رود در محدوده مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه شد. نمونه‌برداری‌ها حداقل دو مرتبه در هر فصل انجام شده و مقادیر پارامترها، میانگین اعداد هر فصل می‌باشند. در نهایت به منظور بررسی اثر متقابل پارامترهای مذکور و همچنین بررسی میزان تأثیر هر پارامتر بر روی شاخص کیفی آب رودخانه، از روش طراحی آزمایش[۷] استفاده شد. طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Design Expert در سه ایستگاه مورد مطالعه و در فصل تابستان انجام شد. ابتدا از روش پلاکت- برمن[۸] به منظور غربال‌گری پارامترهایی که بیشترین اثر را بر روی شاخص کیفیت آب رودخانه دارند استفاده شد و در نهایت روش

www.SID.ir

Archive of SID

سطح پاسخ (RSM[۹]) و روش BBD[۱۰] برای بررسی اثر پارامترهای مهم بر شاخص کیفی آب مورد استفاده قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش بررسی (منطقه مورد مطالعه)

یکی از رودخانه‌های مهم استان سمنان رودخانه حبله‌رود است. بیشترین طول این رودخانه در استان تهران واقع شده است و حدود ۱۵ کیلومتر آن در استان سمنان قرار دارد. حبله‌رود پرآب‌ترین رودخانه جنوب البرز در استان سمنان و از رودخانه‌های دائمی استان به طول ۲۴۰ کیلومتر می‌باشد که از دامنه کوه‌های سایو و شاه محمد قلعه و هما در ۳۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان فیروزکوه در استان تهران سرچشمه می‌گیرد و به نام رودخانه گورسفید به سوی دامنه شمالی کوه ماراب جاری می‌شود. بنابراین حوضه آبریز اصلی آن در خارج از استان سمنان واقع شده است. این رود منبع اصلی آب کشاورزی شهرستان گرمسار بـــوده و تأثیر مهمی در اقتصاد و آبادانی منطقه دارد. حبله‌رود پس از آبیاری گرمسار، به دشت کویر منتهی می‌شود Habibi and Ghodarzi (2019). حبله‌رود آب شیرینی دارد اما در پایان سفر خود به دلیل عبور از مناطق مختلف با خاک‌های متنوع، آب رودخانه شور می‌شود. در طول مسیر مذکور (در استان سمنان)، ۳ ایستگاه نمونه‌برداری شامل بالادست روستای بن‌کوه (A)، پایین‌دست روستای بن‌کوه (B) و دهسراب (C) تعیین شده و به صورت دوره‌ای نمونه‌های آب رودخانه مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته‌اند. شکل ۱ موقعیت رودخانه حبله‌رود و موقعیت نقاط نمونه‌برداری رودخانه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، از لحاظ طول و عرض جغرافیایی به ترتیب نقاط A، B و C دهسراب واقع شده‌اند. فاصله طولی بین ایستگاه‌های A و B حدود ۳ کیلومتر و بین ایستگاه‌های B و C حدود ۲ کیلومتر است.

۲-۲- معرفی دوره نمونه‌برداری و ایستگاه‌ها

در این تحقیق در ۳ ایستگاه مطالعاتی واقع بر رودخانه حبله‌رود در چهار نوبت نمونه‌برداری شامل زمستان ۱۳۹۸، بهار ۱۳۹۹، تابستان ۱۳۹۹ و پاییز ۱۳۹۹، پارامترهای مورد نیاز اندازه‌گیری و گزارش شده‌اند. جدول ۱ نام و مختصات جغرافیایی هر یک از ۳ ایستگاه سنجش را نشان می‌دهد.

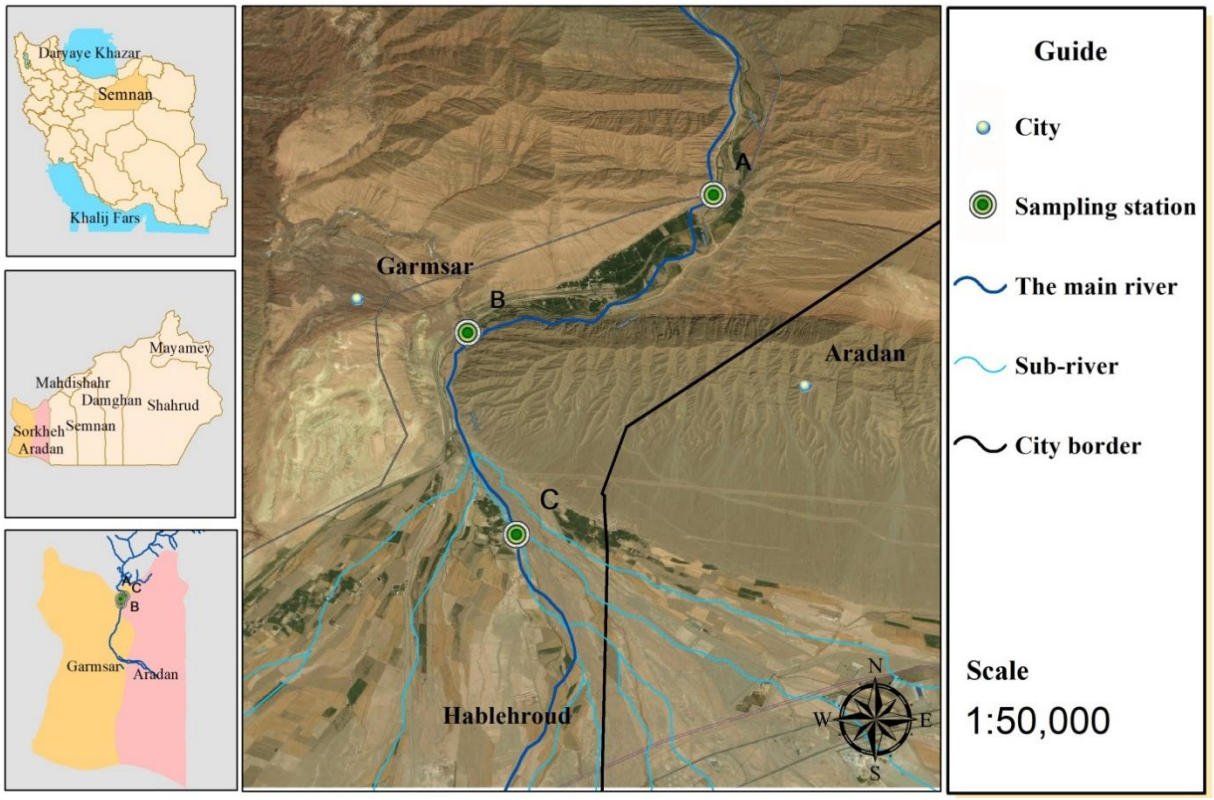


Fig. 1- Locations of the Hablehroud river and the sampling stations

شکل ۱- موقعیت رودخانه حبله‌رود و موقعیت نقاط نمونه‌برداری رودخانه

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1- Geographical coordinates of the sampling stations located on the Hablehroud river
جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری واقع بر رودخانه حبله‌رود

Station Name	Geographical coordinates
A (upstream of Bonkooh village**)**	X=630995 Y=3908891
B (downstream of Bonkooh village**)**	X=628811 Y=3907365
C (Deh Sarab**)**	X=629479 Y=3905479

۳-۲- پارامترها و روش‌های اندازه‌گیری

در مقاله حاضر تعداد ۱۱ پارامتر در فصل تابستان و ۱۰ پارامتر در هر یک از سه فصل دیگر اندازه‌گیری شدند. پارامترهای pH و EC[۱۱]، به ترتیب با دستگاه‌های pH متر رومیزی مدل inolab pH 7110 و هدایت‌سنج رومیزی مدل inolab Cond 7110 کمپانی WTW آلمان اندازه‌گیری شدند. COD[۱۲] با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR 5000 برند HATCH آمریکا سنجش شد. فسفات، نیترات و آمونیوم با استفاده از دستگاه فتومتر مدل 7100 کمپانی Wagtech مورد پایش قرار گرفتند. سختی کل[۱۳] با روش تیترسنجی توسط EDTA[۱۴] محاسبه شد. سختی کل شاخصی از وجود یون‌های کلسیم و منیزیم در آب است. انکوباتور مدل OxiTop IS6 شرکت WTW برای سنجش پارامتر BOD_5[۱۵] مورد استفاده قرار گرفت. کدورت[۱۶] با دستگاه کدورت‌سنج شرکت Wagtech اندازه‌گیری شد. اکسیژن محلول در آب یا DO[۱۷] شاخصی است که برای تعیین کیفیت آب استفاده می‌شود. این پارامتر با دستگاه DO متر کمپانی Wagtech مورد سنجش قرار گرفت. همه ۱۰ پارامتر ذکر شده در آزمایشگاه مرکز تحقیقات زیست محیطی اداره کل محیط زیست استان سمنان اندازه‌گیری شدند. پارامتر کلیفرم گوارشی یا FC[۱۸] در فصل تابستان و در هر سه ایستگاه نمونه‌برداری توسط یکی از آزمایشگاه‌های معتمد محیط زیست اندازه‌گیری شد.

۳- شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQIsc)

شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQIsc) توسط سازمان حفاظت محیط زیست جمهوری اسلامی ایران مورد پذیرش قرار گرفته است (Hashemi et al., 2011). در این شاخص ۱۱ پارامتر مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند که این پارامترها به همراه واحد اندازه‌گیری و وزن هر یک در جدول ۲ ارائه شده است.

سپس این مقادیر براساس واحدهای مختص به هرکدام و با استفاده از منحنی ویژه هر پارامتر به مقادیر صفر تا صد تبدیل می‌شوند و زیرشاخص هر پارامتر به دست می‌آید. در نهایت این شاخص با معادله ۱ قابل محاسبه است:

$$IRWQI_{SC} = \left(\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \qquad (۱)$$

که در آن $\gamma = \sum_{i=1}^{n} W_i$، W_i وزن پارامتر iام، n تعداد پارامترها که ممکن است از ۱۱ پارامتر کمتر باشد و I_i مقدار شاخص برای پارامتر iام است.

در نهایت برای توصیف کیفیت آب با توجه به مقدار شاخص از جدول ۳ استفاده می‌شود (Hashemi et al., 2011). در صورتی که تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده کمتر از ۱۱ پارامتر مندرج در جدول ۲ باشد، رابطه بالا قابل استفاده است و نیاز به هیچگونه تصحیحی نمی‌باشد (Hashemi et al., 2011).

۴- طراحی آزمایش

طراحی آزمایش، مجموعه اقدامات مدل‌سازی و بهینه‌سازی متغیرها از طریق روش‌های آماری است که با هدف کاهش تعداد آزمایش‌ها و کاهش هزینه می‌باشد. روش‌های بهینه‌سازی قدیمی اغلب از شیوه یک پارامتر در یک زمان استفاده می‌کردند. در این روش تنها یک پارامتر در یک زمان متغیر و بقیه پارامترها ثابت هستند که زمان‌بر و پر هزینه است. به‌علاوه اثرات دوتایی بین متغیرها درنظر گرفته نمی‌شود و نتایج ممکن است دچار انحراف شوند. روش سطح پاسخ (RSM) می‌تواند بـه ایـن محدودیت‌ها غلبه کند و اثرات دوتایی ممکن بین پارامترها را به حساب بیاورد (Antony, 2003; Hinkelmann and Kempthorne, 2004). مدل مورد استفاده در RSM عموماً رابطه درجه دوم می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

Table 2- The parameters and their weight in the IRWQIsc index

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده و وزن آنها در شاخص IRWQIsc

Number	Parameter	Unit	Weight
1	FC	MPN/100 ml	0.14
2	BOD_5	mg/L	0.117
3	NO_3^-	mg/L	0.108
4	DO	% Saturation	0.097
5	EC	µs/cm	0.096
6	COD	mg/L	0.093
7	NH_4^+	mg/L	0.09
8	PO_4^{3-}	mg/L	0.087
9	Turbidity	NTU	0.062
10	Total Hardness	mg $CaCO_3$/L	0.059
11	pH	-	0.051

Table 3- Water quality classification based on Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters (IRWQISC)

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفی آب بر اساس شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران

The color that indicates the water quality	Water Quality	IRWQIsc
	Very bad	<15
	bad	15-29.9
	Relatively bad	30-44.9
	moderate	45-55
	Relatively good	55.1-70
	good	70.1-85
	Very good	>85

در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می‌نماید. مدل چند متغیره به صورت زیر می‌باشد:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j \qquad (۲)$$

در در معادله ۲، Y پاسخ پیش‌بینی شده، β_0 ضریب ثابت، β_1، β_2 و β_3 اثرات خطی، β_{11}، β_{22} و β_{33} اثرات مربعات و β_{12}، β_{13} و β_{23} اثرات متقابل می‌باشند. ارائه گرافیکی رابطه مدل و تعیین شرایط عملیاتی بهینه به وسیله نمودار رویه پاسخ و کانتور انجام می‌شود (Lingyun et al., 2007; Zaixiang et al., 2009). در حالت کد شده مقادیر حداکثر و حداقل و نقطه وسط هر متغیر به ترتیب به کدهای 1+، 1- و 0 تبدیل می‌شوند. در این تحقیق، به منظور بررسی اثر همزمان پارامترهای اندازه‌گیری شده در فصل تابستان و در ۳ ایستگاه سنجش بر روی شاخص کیفی (IRWQISC) آب رودخانه حبله‌رود، از روش طراحی آزمایش با نرم‌افزار Design Expert استفاده شد. روش سطح پاسخ به وسیله طرح باکس-بنکن (BBD) برای طراحی آزمایش انتخاب شد (Mottahedin et al., 2016; Mottahedin et al., 2017). به دلیل تعداد زیاد پارامترهای مورد بررسی (۱۱ پارامتر)، ابتدا با روش پلاکت- برمن مقدار اثر هر پارامتر بر روی شاخص کیفی غربال‌گری شد. روش پلاکت- برمن یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها برای غربال‌گری متغیرهای تأثیرگذار در یک سیستم است. با این روش می‌توان تعداد پارامترها را بر اساس میزان تأثیر آنها کاهش داد (Heidari, 2014). زمانی که اثرات اصلی مورد نظر باشند، پلاکت- برمن روش غربالگری بسیار کارآمدی است. اما این روش برهم‌کنش‌های بین فاکتورها را درنظر نمی‌گیرد. این روش به صورت ویژه زمانی مفید است که تعداد زیادی فاکتور (متغیر) بالقوه وجود دارد و تصمیم‌گیری و انتخاب آنها برای طراحی آزمایش مشکل است. در این روش با کمترین تعداد آزمایش اطلاعات اولیه و مفیدی از سیستم به دست می‌آید که برای مراحل بعدی طراحی بسیار کارایی دارند. اساس این روش مشابه روش سطح پاسخ می‌باشد با این تفاوت که هر متغیر تنها در دو سطح کد شده (1+ و 1-) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

با استفاده از این روش می‌توان با اطمینان تعداد متغیرهای تأثیرگذار را انتخاب نموده و مورد بررسی تکمیلی توسط روش سطح پاسخ قرار داد (Khajenoori et al., 2015). متغیرها و سطوح کد شده ۱+ و ۱- برای روش پلاکت برمن در جدول ۴ مشخص شده است.

Table 4- Parameters and their levels in the Plackett-Burman design

جدول ۴- متغیرها و سطوح آنها در برای طرح پلاکت- برمن

Parameter	Level	
	-1	+1
FC	210	240
BOD_5	6	7
Nitrate	2.206	2.368
DO	7.62	7.92
EC	1597	3830
COD	27	31
Ammonium	0	0
Phosphate	0.24	0.64
Turbidity	19.52	54.9
Total Hardness	350.30	530.46
pH	8.01	8.2

۵- نتایج و بحث

۵-۱- تغییرات پارامترها در طول مسیر رودخانه طی چهار فصل نمونه‌برداری بر اساس نتایج آنالیز آزمایشگاهی

شکل ۲- الف تغییرات EC را در طول مسیر رودخانه حبله‌رود طی چهار فصل نمونه‌برداری نشان می‌دهد. دامنه تغییرات EC از µs/cm ۱۴۹۰ تا µs/cm ۳۸۳۰ متغیر بود. با توجه به شکل ۲- الف، تغییرات این پارامتر در طی چهار فصل در ایستگاه A نسبت به دو ایستگاه سنجش دیگر کمتر است. همچنین این شکل نشان می‌دهد که مقدار EC در ایستگاه B بیشتر از دو ایستگاه دیگر است. مقدار استاندارد پارامتر EC برای آب با کاربری کشاورزی، µs/cm ۳۰۰۰ است (Iran Water Quality Standard, 2016). شکل‌های ۲- ب و ۲- ج تغییرات COD و BOD_5 را نشان می‌دهند. مقدار COD از mg/L ۲۷ تا mg/L ۱۰۴ و مقدار BOD_5 از mg/L ۵ تا mg/L ۱۰ متغیر بود. تغییرات COD در ایستگاه A نسبت به دو ایستگاه دیگر کمتر است. مقدار متغیر BOD_5 طبق استاندارد اروپایی حداکثر ۶ میلی‌گرم در لیتر به منظور سلامت اکوسیستم‌های آبی و ماهی‌ها در رودخانه‌ها تعیین شده است (Iran Water Quality Standard, 2016) که در سه مورد پارامتر BOD_5 بالاتر از استاندارد مذکور بود. برخی از دلایل افزایش BOD_5 ورود مواد آلی نظیر گیاهان و جانوران آبزی و نیز ورود فاضلاب و کودهای شیمیایی به رودخانه می‌باشد.

شکل‌های ۲- د، ۲- ه و ۲- و به ترتیب تغییرات نیترات، فسفات و آمونیوم را نشان می‌دهند. سطح نیترات بین mg/L ۰/۹۸۸ و mg/L ۸/۰۱، سطح فسفات بین صفر و mg/L ۰/۶۴ و سطح آمونیوم بین صفر و mg/L ۲/۳۷ متغیر بود. طبق استاندارد اروپایی، حد مجاز آمونیوم برای اکوسیستم‌های آبی مناسب برای ماهیان، mg/L ۱ می‌باشد (Iran Water Quality Standard, 2016) که در سه مورد آمونیوم بالاتر از استاندارد فوق گزارش شد.

شکل ۲- ز تغییرات DO را نشان می‌دهد. DO در نمونه‌برداری‌های انجام شده از mg/L ۷/۲۲ تا mg/L ۸/۲۳ متغیر بود. مقدار پارامتر DO طبق استاندارد اروپایی در صد درصد مواقع حداقل ۵ میلی‌گرم در لیتر به منظور سلامت اکوسیستم‌های آبی و ماهی‌ها در رودخانه‌ها تعیین شده است (Iran Water Quality Standard, 2016) که با این استاندارد، DO در حد مجاز بود. میزان کاهش اکسیژن را می‌توان به علت تخلیه زهاب ناشی از شسته شدن زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه دانست. شکل ۲- ح بیانگر تغییرات پارامتر سختی کل در طول مسیر رودخانه و در چهار فصل مختلف است. حداقل و حداکثر این پارامتر به ترتیب mg/L ۳۳۰/۲۹ و mg/L ۶۱۰/۵۳ به دست آمد.

دامنه تغییر پارامتر کدورت در شکل ۲- ط نشان داده شده است. کدورت بین ۱۹/۵۲ و ۴۵۸ متغیر است. تغییرات pH در شکل ۲- ی نشان داده شده است. این پارامتر از ۷/۷۳ تا ۸/۳۴۳ متغیر است. محدوده استاندارد pH برای آب با کاربری کشاورزی، ۸/۴-۶/۵ و برای اکوسیستم‌های آبی مناسب برای ماهیان ۹-۶ می‌باشد که در همه نمونه‌برداری‌ها، پارامتر pH در حد مجاز استاندارد بود (Iran Water Quality Standard, 2016).

مقادیر محاسبه شده شاخص $IRWQI_{SC}$ در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و در چهار فصل زمستان ۹۸ تا پاییز ۹۹، همچنین کیفیت آب رودخانه حبله‌رود در بازه زمانی مذکور در جدول ۵ نشان داده شده است. نقشه‌های کیفیت آب رودخانه با استفاده از نرم‌افزار GIS در فصول مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده است.

تغییرات شاخص کیفی آب ($IRWQI_{SC}$) رودخانه حبله‌رود در بازه زمانی چهار فصل از زمستان سال ۱۳۹۸ تا پاییز سال ۱۳۹۹ در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود، در تمام فصول شاخص کیفی آب بالادست روستای بن‌کوه نسبت به پایین‌دست روستا و نیز ده‌سراب بیشتر است.

www.SID.ir

Archive of SID

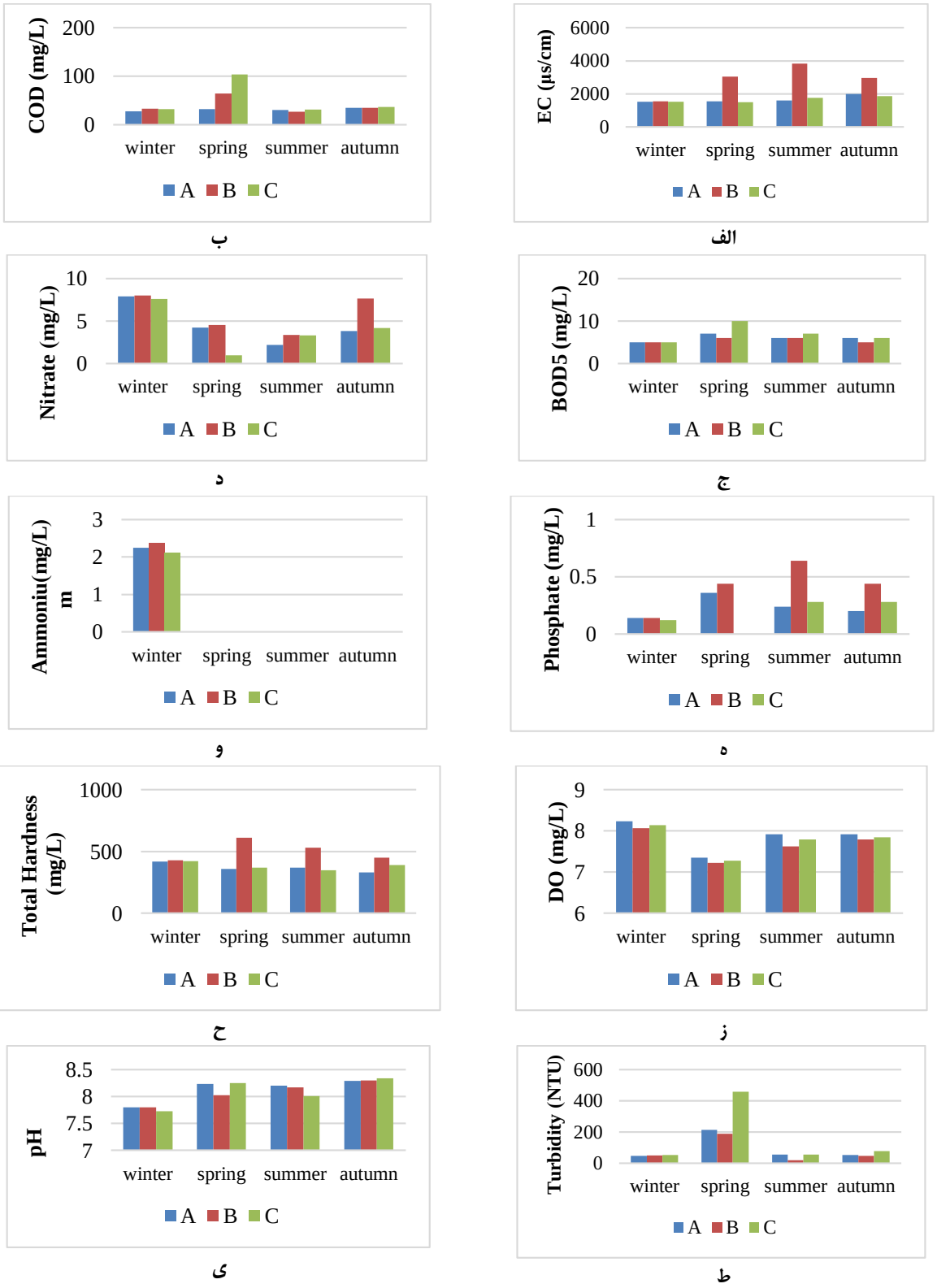


Fig. 2- Changes in EC, COD, BOD_5, nitrate, phosphate, ammonium, DO, total hardness, turbidity, and pH along the Hablehroud River during the four sampling seasons

شکل ۲- تغییرات EC، COD، BOD، نیترات، فسفات، آمونیوم، DO، سختی کل، کدورت و pH در طول مسیر رودخانه حبله‌رود طی چهار فصل نمونه‌برداری

www.SID.ir

Archive of SID

Table 5- $IRWQI_{SC}$ index values and water quality of the Hablehroud river in all stations and in all seasons
جدول ۵- مقادیر شاخص $IRWQI_{SC}$ و کیفیت آب رودخانه حبله‌رود در همه ایستگاه‌های سنجش و همه فصول

Water Quality	$IRWQI_{SC}$	Station	Season
Relatively bad	41.3	A	Winter 98
Relatively bad	40.4	B	
Relatively bad	40.9	C	
moderate	45.6	A	Spring 99
Relatively bad	38.3	B	
Relatively bad	41.8	C	
Relatively good	55.6	A	Summer 99
moderate	48.2	B	
moderate	51.8	C	
moderate	49.7	A	Autumn 99
Relatively bad	41.3	B	
moderate	47.3	C	

این موضوع نشان‌دهنده این مطلب است که آب بالادست روستا از کیفیت بهتری برخوردار است. فرسایش خاک، شستشو و حل شدن املاح معدنی زمین‌های بالادست در اثر باران و سیلاب، استخرهای پرورش ماهی بالادست، عدم رعایت حریم رودخانه با ایجاد باغ‌های غیر مجاز و تغییر کاربری اراضی عواملی هستند که بر آلودگی آب بالادست روستا، پایین‌دست روستای بن‌کوه و ده‌سراب اثر می‌گذارند. اما زه‌آب باغ‌ها، اراضی کشاورزی و دامداری‌های روستای بن‌کوه، سموم استفاده شده در اراضی حوضه آبریز رودخانه حبله‌رود، فضولات حیوانی و فاضلاب انسانی و خانگی روستای بن‌کوه، آلودگی ناشی از عملیات عمرانی (احداث راه اصلی بین شهری) نیز علاوه بر عوامل فوق بر آلودگی آب پایین‌دست روستای بن‌کوه و ده‌سراب اثر می‌گذارند. بنابراین آب پایین‌دست روستای بن‌کوه از کیفیت و شاخص کیفی پایین‌تری برخوردار است. اما پس از پایین‌دست روستا تا قبل از منطقه ده‌سراب، کانال‌های هدایت آب با شیب کم جهت مصارف کشاورزی اراضی مناطق دوردست قرار داده شده است که این شیب کم باعث ته‌نشینی و رسوب املاح در کف و دیواره‌های کانال می‌شود. این موضوع سبب می‌شود که آب منطقه ده‌سراب کیفیت بهتری نسبت به پایین‌دست روستا داشته باشد.

در بازه زمانی فوق، مقدار این شاخص در فصل تابستان بالاتر است. دلیل پایین‌تر بودن شاخص کیفی آب در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان را می‌توان بارندگی و پرآبی و سیلابی بودن رودخانه و افزایش کدورت و نیز شستشوی زمین‌های بالادست بیان کرد. البته همان‌گونه که ذکر شد این نتیجه مربوط به دوره زمانی انجام این تحقیق می‌باشد و نتیجه‌گیری کلی نیازمند بررسی چند ساله و مطالعات گسترده‌تر می‌باشد.

۵-۲- نتایج طراحی آزمایش

با روش پلاکت- برمن درصد مشارکت[۱۹] یا سهم ۱۰ پارامتر در مقدار شاخص کیفیت آب رودخانه ($IRWQI_{SC}$) در فصل تابستان به دست آمد به عبارت دیگر با این روش، پارامترها غربال‌گری شدند. مقدار آمونیوم در فصل تابستان و در هر سه ایستگاه بسیار ناچیز بود و به همین دلیل این پارامتر لحاظ نشد. جدول ۶ درصد مشارکت پارامترها در شاخص کیفی آب رودخانه حبله‌رود در فصل تابستان را نشان می‌دهد.

پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر روی شاخص کیفی آب رودخانه حبله‌رود دارند، بیشترین سهم مشارکت را دارند. با توجه به جدول ۶، پارامترهای EC، فسفات، نیترات، کدورت و pH به ترتیب بیشترین سهم مشارکت را در مقدار شاخص کیفی آب دارند. این ۵ پارامتر در طراحی آزمایش RSM با روش BBD به کار گرفته شدند. بدین ترتیب از پارامترهایی که سهم مشارکت کمتری در شاخص کیفی آب رودخانه داشتند صرف‌نظر شد.

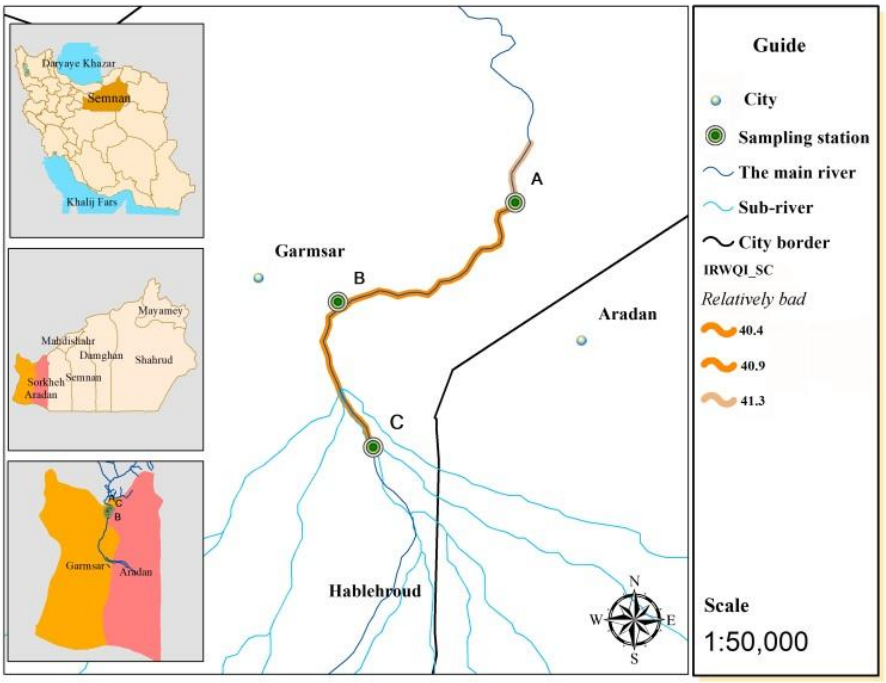
آنالیز واریانس (ANOVA) برای شاخص کیفی آب رودخانه حبله‌رود، در جدول ۷ نشان داده شده است. مقادیر $p\text{-value}<0.05$ نشان‌دهنده اهمیت پارامتر در مدل است.

جدول ۸ نتایج نرم‌افزار را برای طراحی آزمایش BBD نشان می‌دهد. اعتبار و اهمیت مدل با استفاده از پارامتر R-Squared سنجیده می‌شود. مقدار R-Squared نزدیک به عدد ۱ نشان‌دهنده درستی و اعتبار مدل به کار رفته می‌باشد. بر طبق جدول ۸ مقدار R-Squared برابر با ۰/۹۹۸۲ و مقدار adjusted R-Squared برابر با ۰/۹۹۶۵

www.SID.ir

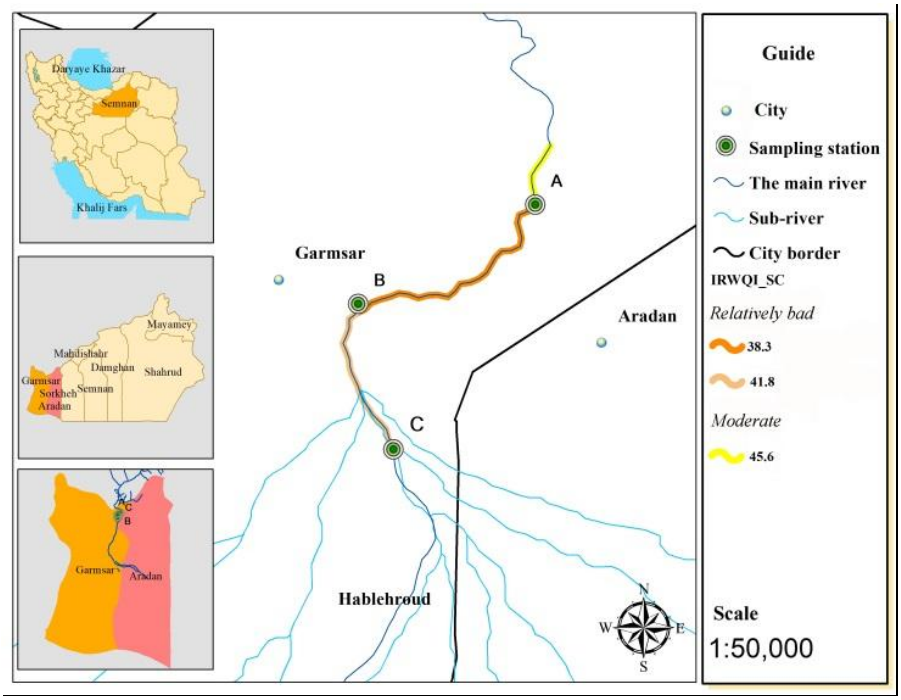
Archive of SID

می‌باشد که بسیار به عدد ۱ نزدیک هستند. مقدار پارامتر Adequate precision نسبت سیگنال به نویز را نشان می‌دهد که مقادیر بزرگتر از عدد ۴ مطلوب می‌باشند. مقدار این پارامتر بر طبق جدول ۸، ۱۰۵/۶۲۰ می‌باشد. مقدار C.V.[۲۰] نباید بزرگتر از ۱۰٪ باشد که این پارامتر در جدول ۸ برابر با ۰/۵۶٪ می‌باشد.



الف- زمستان ۹۸

A– Winter 2020

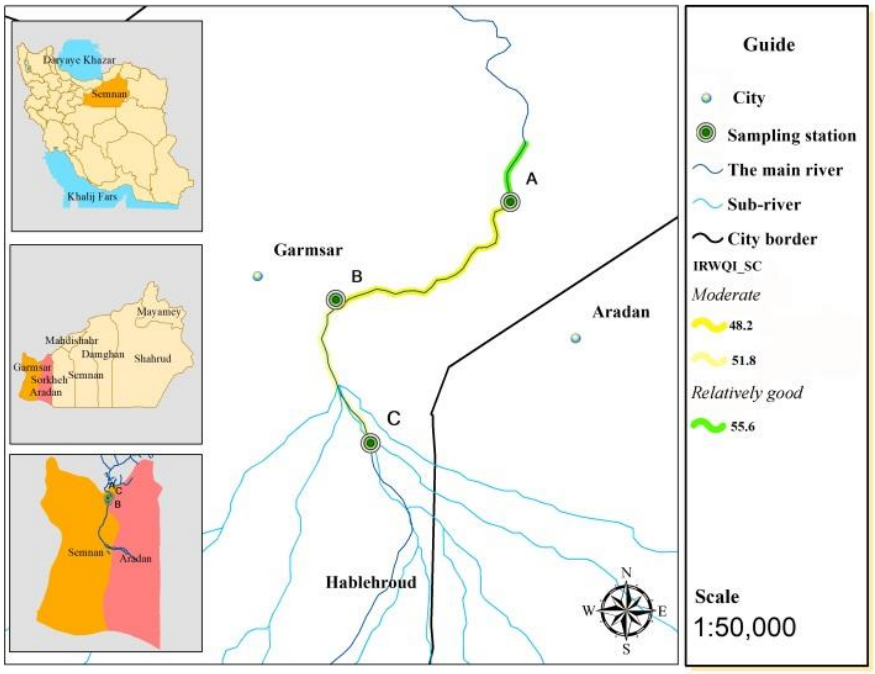


ب- بهار ۹۹

B– Spring 2020

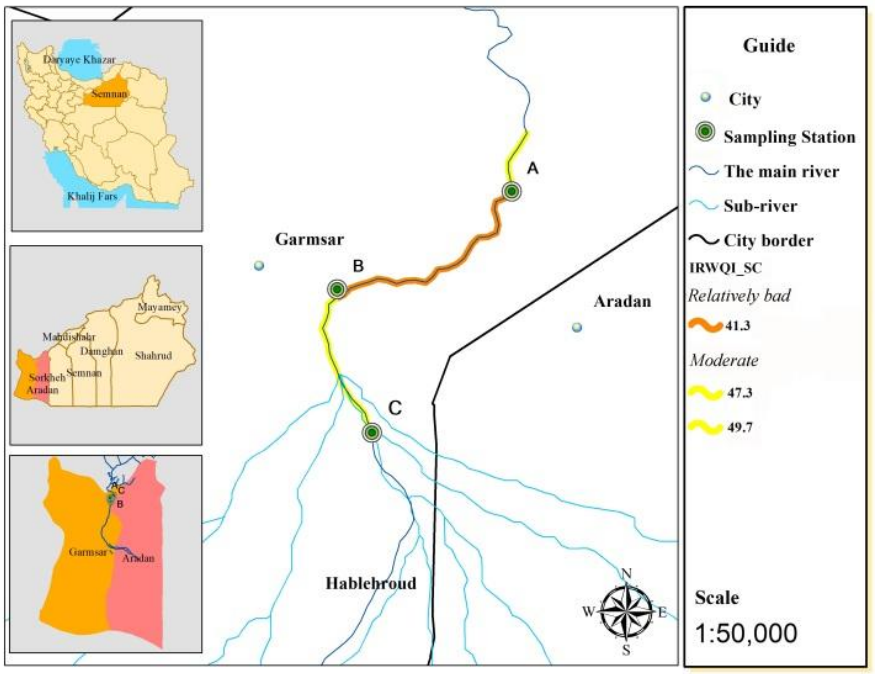
www.SID.ir

Archive of SID



ج- تابستان ۹۹

C- Summer 2020



د- پاییز ۹۹

D– Autumn 2020

Fig. 3- Water quality maps of the Hablehroud river in the four seasons

شکل ۳- نقشه‌های کیفیت آب رودخانه حبله‌رود در ۴ فصل مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

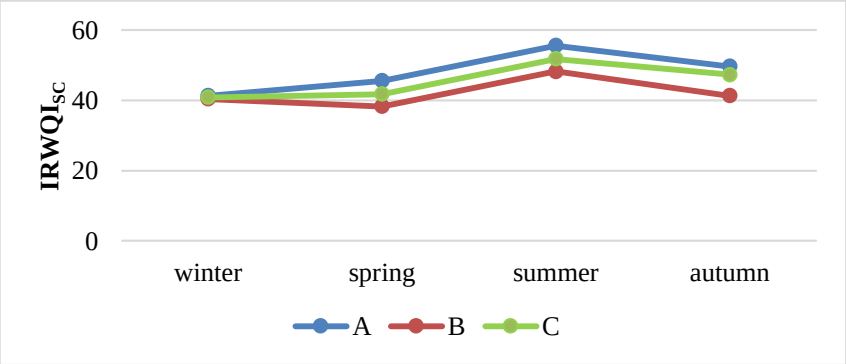


Fig. 4- Changes of IRWQI$_{SC}$ index along the Hablehroud river during the four sampling seasons

شکل ۴- تغییرات شاخص IRWQI$_{SC}$ در طول مسیر رودخانه حبله‌رود طی چهار فصل نمونه‌برداری

Table 6- Percentage of parameters contribution in water quality index by the Plackett-Burman design

جدول ۶- درصد مشارکت پارامترها در شاخص کیفی آب رودخانه با روش پلاکت- برمن

Parameter	% Contribution
EC	51.61
Phosphate	23.13
Nitrate	14.44
Turbidity	3.17
pH	2.38
FC	1.55
Total Hardness	1.02
BOD_5	0.79
COD	0.69
DO	0.43

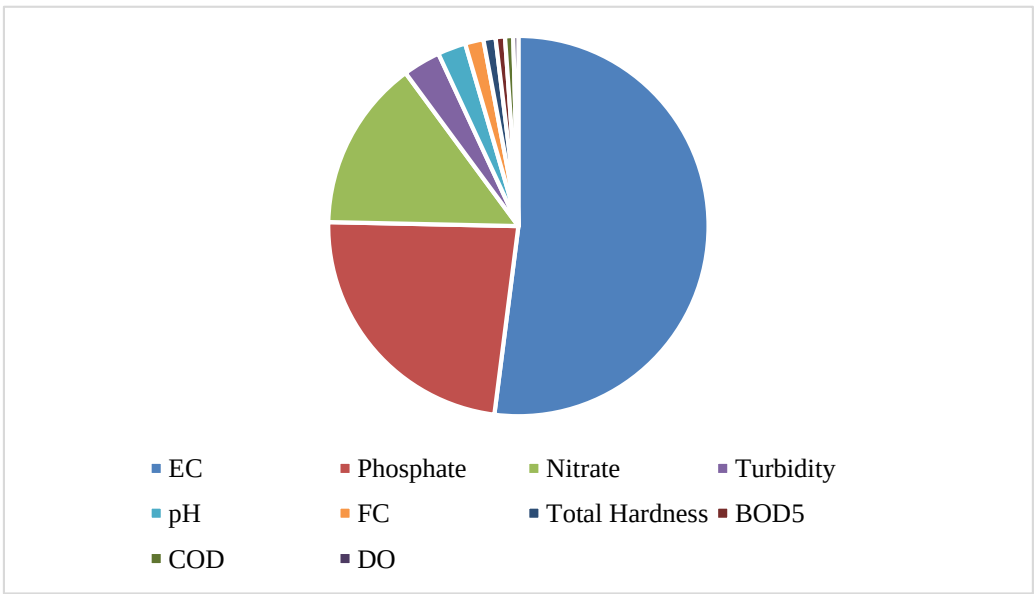


Fig. 5- Diagram of the percentage of parameters contribution in water quality index by the Plackett-Burman design

شکل ۵- نمودار سهم مشارکت پارامترها در شاخص کیفی آب رودخانه با روش پلاکت- برمن

www.SID.ir

Archive of SID

Table 7- Analysis of variance (ANOVA) for water quality index of the Hablehroud river
جدول ۷- آنالیز واریانس (ANOVA) برای شاخص کیفی آب رودخانه حبله‌رود

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	688.55	20	34.43	568.85	< 0.0001	significant
A- EC	200.22	1	200.22	3308.32	< 0.0001	
B- Phosphate	82.36	1	82.36	1360.78	< 0.0001	
C- Nitrate	117.72	1	117.72	1945.16	< 0.0001	
D- Turbidity	35.7	1	35.7	589.89	< 0.0001	
E- pH	2.56	1	2.56	42.3	< 0.0001	
AB	0.16	1	0.16	2.64	0.1196	
AC	2.00E-01	1	2.00E-01	3.35	0.0823	
AD	0.063	1	0.063	1.03	0.3217	
AE	1.00E-02	1	1.00E-02	0.17	0.6887	
BC	6.30E-02	1	6.30E-02	1.03	0.3217	
BD	2.30E-02	1	2.30E-02	0.37	0.5489	
BE	2.50E-03	1	2.50E-03	0.041	0.841	
CD	1.00E-02	1	1.00E-02	0.17	0.6887	
CE	0	1	0	0	1	
DE	2.50E-03	1	2.50E-03	0.041	0.841	
A^2	27.33	1	27.33	451.61	< 0.0001	
B^2	10.74	1	10.74	177.5	< 0.0001	
C^2	19.03	1	19.03	314.5	< 0.0001	
D^2	7.16	1	7.16	118.35	< 0.0001	
E^2	0.27	1	0.27	4.48	0.0471	
Residual	1.21	20	0.061			

Table 8- Software results for BBD design
جدول ۸- نتایج نرم‌افزار برای طراحی آزمایش BBD

Std. Dev.	0.25	**R-Squared**	0.9982
Mean	43.69	**Adj R-Squared**	0.9965
C.V.%	0.56	**Adeq Precision**	105.620

معادله نهایی نرم‌افزار بر اساس پارامترهای مهم (p-value<0.05) به صورت زیر می‌باشد:

$$IRWQI_{SC} = +43.90 - 3.54 \times EC - 2.27 \times PO_4^- - 2.71 \times NO_3^- - 1.49 \times Turbidity - 0.4 \times pH - 2.97 \times EC^2 - 1.86 \times PO_4^{-2} + 2.48 \times NO_3^{-2} + 1.52 \times Turbidity^2 + 0.30 \times pH^2 \quad (۳)$$

۵-۲-۱- تأثیر پارامترهای مستقل بر مقدار شاخص کیفیت آب ($IRWQI_{SC}$)

تأثیر هم‌زمان پارامترهای EC و pH بر مقدار $IRWQI_{SC}$ در شکل ۶ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش EC، مقدار $IRWQI_{SC}$ کاهش می‌یابد. همچنین، این شکل نشان می‌دهد که تغییرات pH بسیار کم بوده و این تغییرات، تأثیر کمی در مقدار $IRWQI_{SC}$ دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

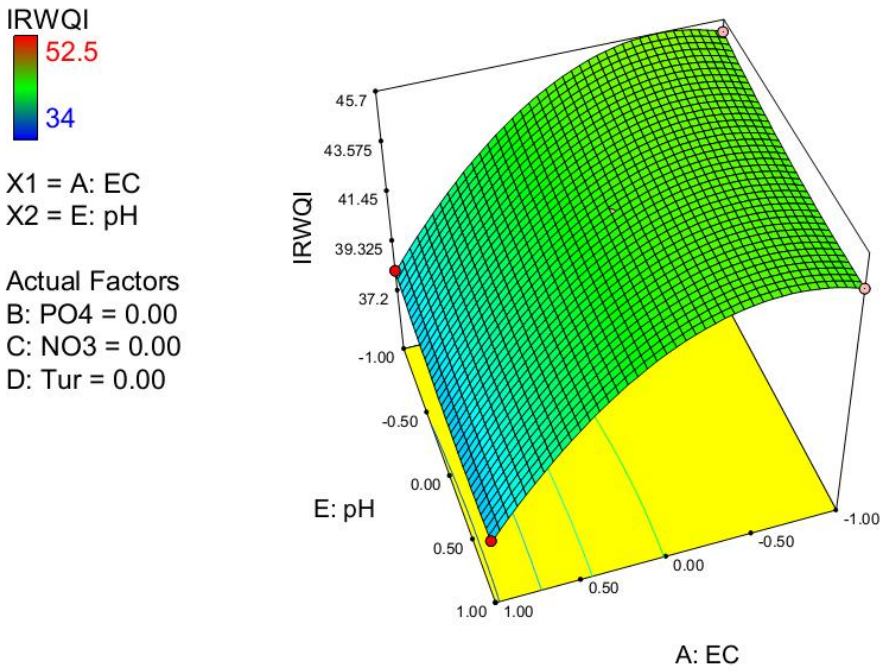


Fig. 6- Effects of EC and pH on IRWQI$_{SC}$

شکل ۶- تأثیر پارامترهای EC و pH بر مقدار IRWQI$_{SC}$

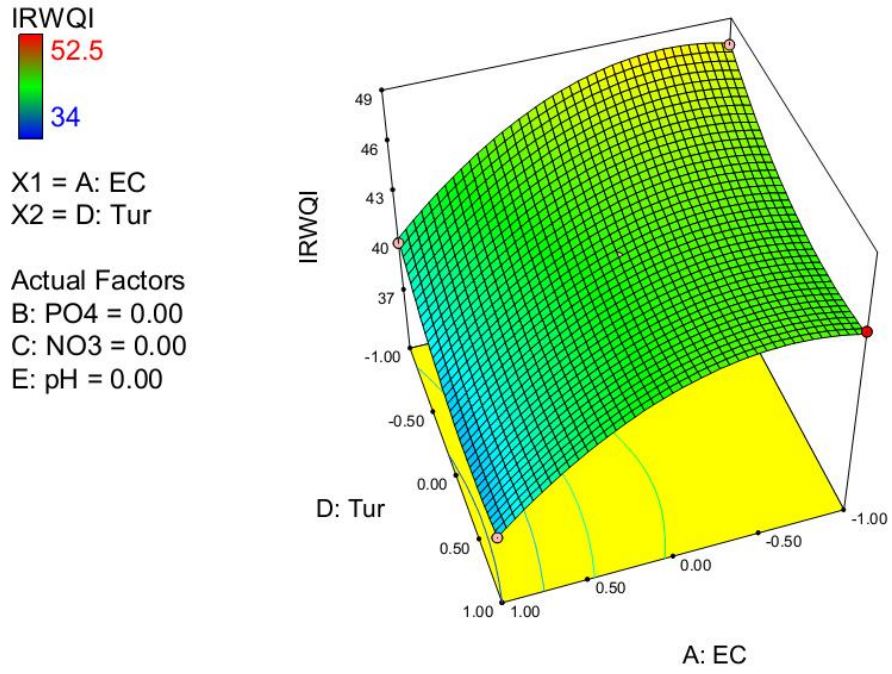


Fig. 7- Effects of Turbidity and EC on IRWQI$_{SC}$

شکل ۷- تأثیر پارامترهای کدورت و EC بر مقدار IRWQI$_{SC}$

شکل ۷ اثر پارامترهای کدورت و EC بر روی شاخص IRWQI$_{SC}$ نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش کدورت و EC مقدار شاخص کیفی آب رودخانه کاهش می‌یابد. تغییرات IRWQI$_{SC}$ بر حسب تغییرات فسفات و EC در شکل ۸ نشان داده شده است. با افزایش EC و افزایش فسفات، مقدار شاخص IRWQI$_{SC}$ کاهش می‌یابد. کاهش IRWQI$_{SC}$ بر حسب افزایش فسفات با شیب کمتری

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت به افزایش EC رخ می‌دهد. اثر هم‌زمان پارامترهای نیترات و فسفات بر شاخص کیفی آب در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش نیترات و فسفات، مقدار $IRWQI_{SC}$ کاهش می‌یابد. شکل ۱۰ نیز نشان می‌دهد که با افزایش نیترات و EC، شاخص کاهش می‌یابد. اثر پارامترهای pH و فسفات بر شاخص کیفی آب رودخانه در شکل ۱۱ قابل مشاهده است. با توجه به این شکل می‌توان دریافت که اثر pH نسبت به فسفات بسیار ناچیز است.

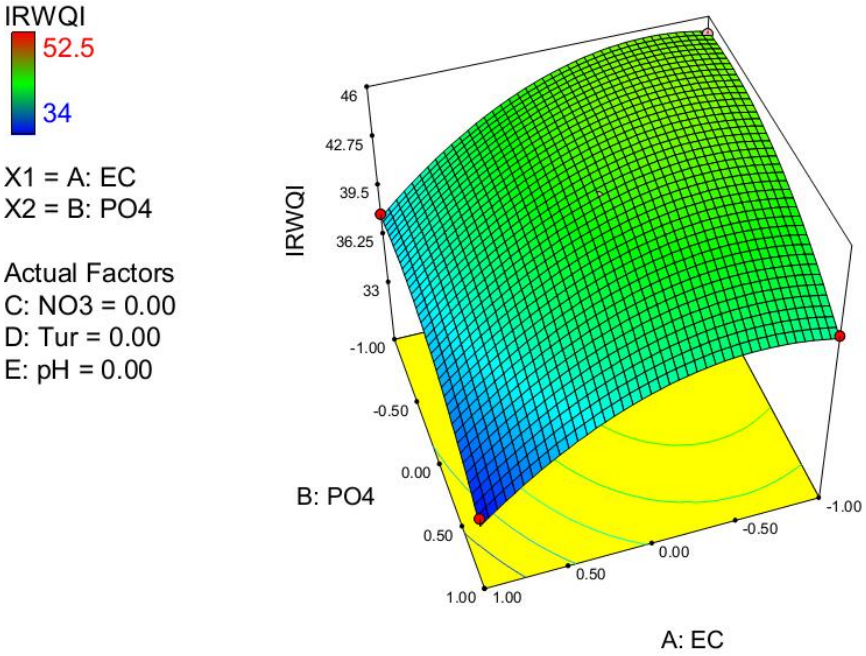


Fig. 8- Effects of phosphate and EC on $IRWQI_{SC}$

شکل ۸- تأثیر پارامترهای فسفات و EC بر مقدار $IRWQI_{SC}$

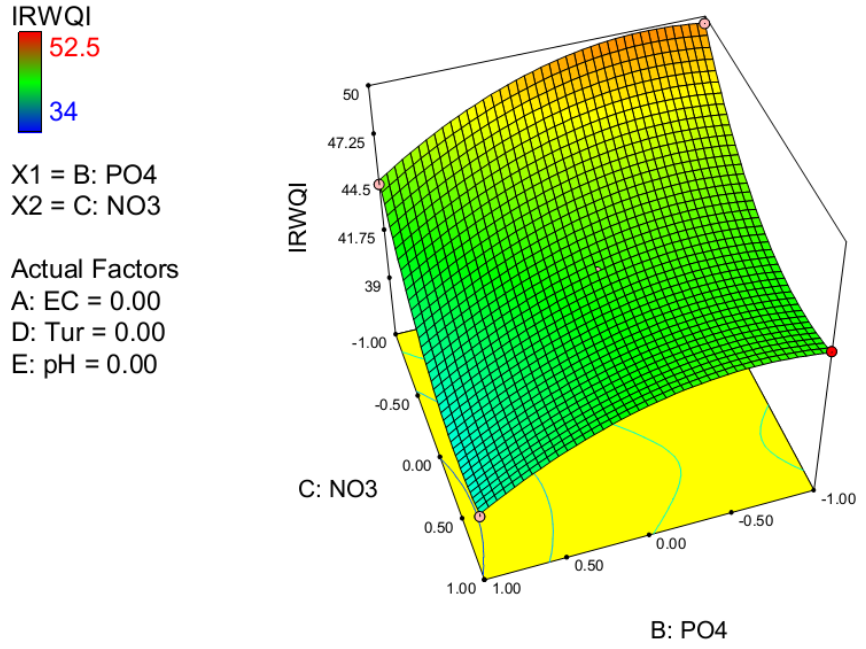


Fig. 9- Effects of nitrate and phosphate on $IRWQI_{SC}$

شکل ۹- تأثیر پارامترهای نیترات و فسفات بر مقدار $IRWQI_{SC}$

www.SID.ir

Archive of SID

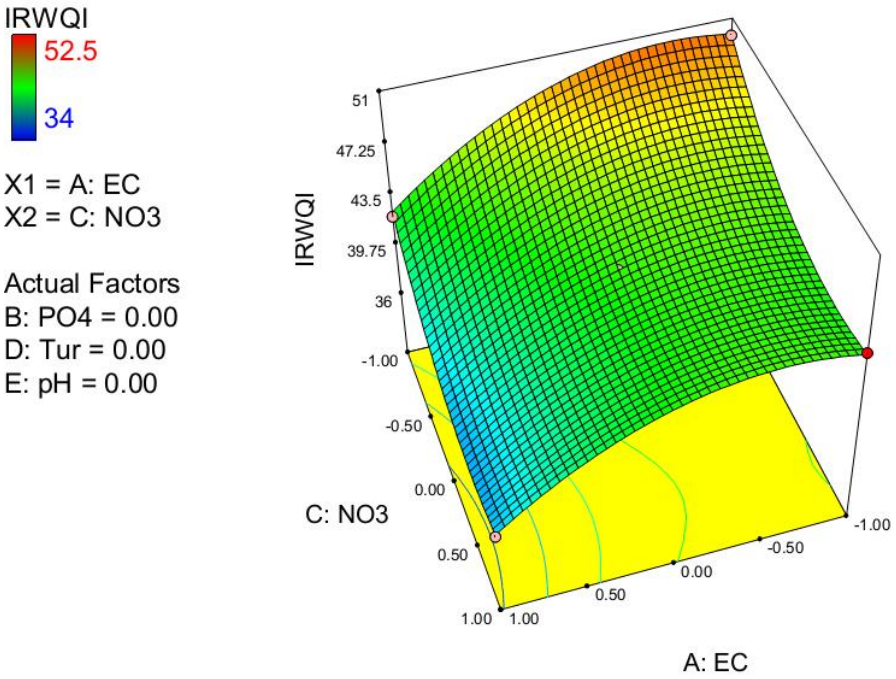


Fig. 10- Effects of nitrate and EC on $IRWQI_{SC}$

شکل ۱۰- تأثیر پارامترهای نیترات و EC بر مقدار $IRWQI_{SC}$

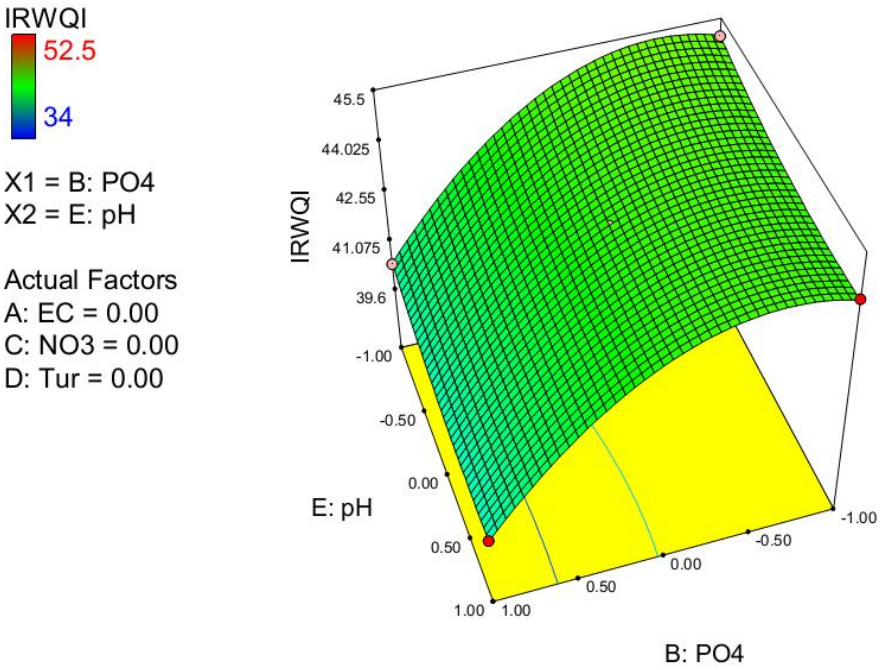


Fig. 11- Effects of pH and phosphate on $IRWQI_{SC}$

شکل ۱۱- تأثیر پارامترهای pH و فسفات بر مقدار $IRWQI_{SC}$

www.SID.ir

Archive of SID

۶- نتیجه‌گیری

تغییرات شاخص کیفی آب ($IRWQI_{SC}$) رودخانه حبله‌رود در حوزه استان سمنان در بازه زمانی زمستان سال ۱۳۹۸ تا پاییز سال ۱۳۹۹ (چهار فصل) و در سه ایستگاه نمونه‌برداری مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در تمام فصول، شاخص کیفی آب بالادست روستای بن‌کوه (A) نسبت به پایین‌دست روستا (B) و نیز ده‌سراب (C) بیشتر بود. بیشترین و کمترین مقدار $IRWQI_{SC}$ به ترتیب برابر ۵۵/۶ مربوط به ایستگاه A در فصل تابستان و ۴۰/۴ مربوط به ایستگاه B در فصل زمستان به دست آمد.

نقشه‌های کیفیت آب رودخانه حبله‌رود در محدوده مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GIS، تأیید کننده این موضوع است. فرسایش خاک، شستشو و حل شدن املاح معدنی زمین‌های بالادست در اثر باران و سیلاب، استخرهای پرورش ماهی بالادست، عدم رعایت حریم رودخانه با ایجاد باغ‌های غیر مجاز و تغییر کاربری اراضی عواملی هستند که بر آلودگی آب رودخانه حبله‌رود اثر می‌گذارند. در دو ایستگاه B و C علاوه بر عوامل مذکور، زه آب باغ‌ها، اراضی کشاورزی و دامداری‌های روستای بن‌کوه، سموم استفاده شده در اراضی حوضه آبریز رودخانه حبله‌رود، فضولات حیوانی و فاضلاب انسانی و خانگی روستای بن‌کوه، آلودگی ناشی از عملیات عمرانی (احداث راه اصلی بین شهری) نیز بر کیفیت آب رودخانه اثر می‌گذارند. ایستگاه C شاخص کیفیت آب بهتری را نسبت به ایستگاه B نشان داد که این مسأله را می‌توان به وجود کانال‌های هدایت آب با شیب کم قبل از ایستگاه C مرتبط دانست. بر اساس مقادیر $IRWQI_{SC}$ می‌توان نتیجه گرفت که شاخص کیفیت آب در فصل تابستان در هر سه ایستگاه در بین چهار فصل مورد بررسی بهترین وضعیت را داشته است. دلیل کیفیت پایین‌تر آب رودخانه در فصول بهار، پاییز و زمستان را می‌توان بارندگی و پرآبی و سیلابی بودن رودخانه و افزایش کدورت و نیز شستشوی زمین‌های بالادست که عمدتاً نمکی هستند بیان کرد.

با استفاده از نرم‌افزار Design Expert، طراحی آزمایش با روش پلاکت–برمن برای غربال‌گری پارامترهای اثر گذار بر مقدار $IRWQI_{SC}$ برای داده‌های فصل تابستان انجام شد. بر این اساس، پارامترهای EC، فسفات، نیترات، کدورت و pH به ترتیب با ٪۵۱/۶۱، ٪۲۳/۱۳، ۱۴/۴۴، ۳/۱۷ و ۲/۳۸، بیشترین سهم مشارکت را در مقدار شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران داشتند. سپس طراحی RSM با روش BBD برای تحلیل و گزارش اثر متقابل پارامترها بر مقدار $IRWQI_{SC}$ به کار برده شد. مقدار R^2 برابر با ۰/۹۹۸۲ نشان دهنده صحت و اعتبار مدل به کار رفته است. معادله نهایی مقدار $IRWQI_{SC}$ بر حسب پارامترهای مهم نیز با استفاده از نرم‌افزار ارائه شد. نتایج این پژوهش مربوط به بازه زمانی انجام این تحقیق بوده و نتیجه‌گیری کلی نیازمند بررسی چند ساله و مطالعات گسترده‌تر است.

۷- تقدیر و تشکر

این پژوهش در مرکز تحقیقات زیست محیطی اداره کل محیط زیست استان سمنان انجام شده است. بدینوسیله از زحمات و حمایت‌های جناب آقای مهندس دارپرنیان معاون محترم محیط زیست انسانی، جناب آقای مهندس فرهنگ رئیس محترم آزمایشگاه و نیز جناب آقای مهندس شکری رئیس محترم اداره نظارت و پایش این اداره کل برای ارتقای کیفی این مقاله تشکر و قدردانی می‌شود. از همکاری سرکار خانم مهندس خورسندی نیز بابت تهیه و تنظیم نقشه‌های رودخانه حبله‌رود با استفاده از نرم‌افزار GIS تشکر و سپاس به عمل می‌آید.

همچنین، از رهنمودهای جناب آقای مهندس زینعلیان در تدوین مقاله تقدیر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1-Surface Water
2-Water Quality Index (WQI)
3-National Sanitation Foundation Water Quality Index
4-Oregon Water Quality Index
5-Canada Water Quality Index
6-Iran Surface Water Resources Quality Index for Conventional Pollutants
7-Design of Experiment
8-Plackett-Burman
9-Response Surface Methodology (RSM)
10-Box-Behnken Design
11-Electrical Conductivity
12-Chemical Oxygen Demand
13-Total Hardness
14-Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid
15-Biological Oxygen Demand
16-Turbidity
17-Dissolved Oxygen
18-Fecal Coliform
19-% Contribution
20-Coefficient of Variation

www.SID.ir

Archive of SID

۸- مراجع

Aghaee M, Heshmatpoor A, G. Mahmoodlu M, Seyedian S M (2020) Investigation of water quality of Chehelchay River using IRWQIsc Index. Journal of Environmental Science and Technology 22(5):153-166 (In Persian)

Amirnejad R (2008) Methods for determining water quality in Rivers. The Second National Conference on Water and Wastewater with Operational Approach, Tehran, University of Energy and Hydro Technology, National Water and Wastewater Engineering Company (In Persian)

Antony J (2003) Design of experiments for engineers and scientists. Elsevier Science & Technology Books

Asadi A, Sadodin A, Karami Gh and Bardi Sheikh V (2018) Risk assessment of Hablehroud river basin Groundwater. 13th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran and 3rd National Conference on Natural Resources and Environment Protection, Mohaghegh Ardabili University (In Persian)

Biglari M R, Sima S, and Saadatpour M (2019) Modeling and management of the river waterquality for aquatic habitat health using a source control approach (Case Study: Zarrineh-rud River). Iran-Water Resources Research 14(5):54-70 (In Persian)

Brown RM, McLelland NI, Deininger RA, O'Connor MF (1972) Indicators of environmental quality: A water quality index-crashing the psychological barrier. New York: Plenum; 1972

Faryadi S, Shahedi K, and Nabatpoor M (2012) Investigationof water quality parameters in Tadjan River using multivariate statistical techniques. Journal of Watershed Management Research 3(6):75-92 (In Persian)

Ghasemieh H and Jeyhuni Naini H (2016) Water pollution and its impact on the environment. The Fifth National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, Tehran, Mehr Arvand Education Institute, Environmentalists Extension Group- Iranian Nature Conservation Association (In Persian)

Habibi A and Ghodarzi M (2019), Application of semi distributed SWAT model for simulation of runoff in Hablehrud Basin. Iran-Watershed Management Science & Engineering 12(43):40-49 (In Persian)

Hashemi S H, Farzampour T, Ramezani T and Khoshroo Gh (2011) Guide to calculate Iran Surface Water Resources Quality Index (IRWQISC). Department of Environment, Islamic Republic of Iran (In Persian)

Heidari A (2014) Introduction of Plackett-Burman method for optimization of formulation. The First National Conference of Snack Food, Mashhad (In Persian)

Hinkelmann K and Kempthorne O (2004) Design and analysis of experiments. Volume 1, Introduction to Experimental Design, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

Horton RK (1965) An index number system for rating water quality. Water Pollution Control Federation Journal 37(3):300–306

Iran Water Quality Standard (2016) Department of Environment, Islamic Republic of Iran, Deputy Minister of Human Environment, Water and Soil Office 2016

Jafari Salim B, Nabi Bidhendi Gh, Salemi A, Taheryioun M and Ardestani M (2009) Water quality assessment of Gheshlagh River using water quality indices. Environmental Sciences 6(4):19-28 (In Persian)

Khajenoori M, Haghighi Asl A, Eikani M H (2015) Optimization of subcritical water extraction of Pimpinella anisum Seeds. Journal of Essential Oil Bearing Plants 18(6):1310-1320

Khadempour F and Shahidi A (2017) Qualitative assessment of surface water using the CWQI method and with the Aquachem software (Case study: Ghain River in South Khorasan). Journal of Research in Environmental Health 3(3):179-186 (In Persian)

Khalifeh S and Khoshnazar A (2018) Evaluation of water quality in Zarrineh-rood River using the standard quality in-dex of Iran's surface water resources. Journal of Water & Wastewater Science & Engineering (Jwwse) 3(1):22-34 (In Persian)

Komasi M, Sharghi S (2017) Surface water quality assessment and prioritize the factors pollute this water using Topsis fuzzy hierarchical analysis. Journal of Environmental Health Engineering 4(2):174-183 (In Persian)

Lingyun W, Jianhua W, Xiaodong Zh, Da T, Yalin Y, Chenggang C, Tianhua F, and Fan Zh (2007) Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. Journal of Food Engineering 79(3):1087-1093

Madadi Nia M, Munawwari S M, Karbasi A, Nabavi S M B and Rajabzadeh A (2014) Water quality study of Karun river in Ahvaz area using water quality index. Journal of Environmental Science and Technology 16(1):49-60 (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Mohammadi Ghaleni M and Ebrahimi K (2019) Sensitivity analysis of Qual2kw model in the modeling of water quality parameters of Sefidrud. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 5(13):1233-1245 (In Persian)

Mohseni Bandpey A, Majlesi M, Kazempour A (2014) Evaluation of Golgol river water quality in Ilam Province based on the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI). Journal of the Health in the Field 1(4):45-54 (In Persian)

Moravej M, Karimi Rad A, and Ebrahimi K (2017) Assessing the quality status of Karun River based on water quality index and use of GIS. Echo Hydrology 4(1):225-235 (In Persian)

Mottahedin P, Haghighi Asl A, Khajenoori M (2016) Extraction of curcumin and essential oil from curcuma longa L. by subcritical water via response surface methodology. Journal of Food Processing and Preservation 41(4):1-9

Mottahedin P, Haghighi Asl A, Lotfollahi M N (2017) Experimental and modeling investigation on the solubility of β-carotene in pure and ethanol-modified subcritical water. Journal of Molecular Liquids 237:257-265

Nazari E, Egdernezhad A, Jalilzadeh Yengejeh R (2020) Monitoring of Khuzistan water resources quality for use in domestic, industrial, and agricultural purposes using IRWQIsc and NSFWQI indices. Journal of Research in Environmental Health 6(2):117-133 (In Persian)

Nohegar A (2011) Investigation of physical and chemical quality of surface water in Minab river. Researches in Earth Sciences 2(7):1-16 (In Persian)

Rahnama S, Shahidi A (2019) The quality assessment of southern branches of Haleil Rood River by Canadian Water Quality Index (CWQI) and Aquachem software. Journal of Research in Environmental Health 5(3):181-193 (In Persian)

Razaz M, Roshanfekri A, and Ghorbani F (2006) River water quality assessment using water quality indicators Case study: Interval of Idenak-Behbahan Maroon river. 7th International Seminar on River Engineering, Ahvaz, Khuzestan Water and Electricity Organization, Shahid Chamran University of Ahvaz (In Persian)

Razmkhah H, Abrishamchi A, and Torkian A (2010) Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran). Journal of Environmental Management 91(4):852-860

Sadeghi M, Bay A, Bay N, Soflaie N, Mehdinejad M H and Mallah M (2015) The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. Journal of Health in the Field 3(3):27-33 (In Persian)

Yazdan Parast N (2013) Water pollution and its impact on the environment. In: The First National Conference on Environmental Pollution and its Control Methods, Sanandaj (In Persian)

Zaixiang L, Hongxin W, Wang D, and Zhang Y (2009) Preparation of inulin and phenols-rich dietary fibre powder from burdock root. Carbohydrate Polymers 78:666–671

www.SID.ir