

Temporal analysis and assessment of surface water quality in the Hamoun-Hirmand basin, the impact of salinity on soil degradation and intensification of dust storm events: Evaluation of sustainable water use in irrigation and agriculture

Sakineh Lotfinasabasl^{1*}, Fatemeh Dargahian², Zahra Saeedifar³ and Azadeh Gohardoust⁴

1* - Corresponding Author, Assistant Prof., Desert Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: s.lotfinasab@areeo.ac.ir

2- Associate Prof., Desert Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

3- Researcher, Desert Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

4- Researcher, Desert Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 16.09.2024

Revised: 26.12.2024

Accepted: 13.01.2025

Abstract

Background and Objectives: In recent years, the quality of surface waters has deteriorated due to pollution from various sources such as agricultural runoff, industrial effluents, and municipal wastewater. These factors can alter water quality and affect the livelihoods of communities and the environment. Assessing the quality of surface waters for agricultural and irrigation purposes is essential to ensure the safety of crops, ecosystems, and human health. The use of unsuitable water for agriculture can lead to soil salinization, ecosystem degradation, desertification, and the occurrence of dust storm events. Therefore, stakeholder participation and policy interventions are essential to enforce regulations and best practices for the protection of surface water quality.

Methodology: The Hamoun-Hirmand watershed, covering an area of 63,589.6 square kilometers, is located in the southeast of Iran. This closed watershed is highly important in terms of water resources and faces challenges such as water scarcity, pollution, and threats from climate change. Efforts are underway to improve water management, protect this unique ecosystem, and ensure food security. This study monitored the quality of surface waters in this watershed with a focus on sustainable agricultural practices, aiming to protect the ecosystem, prevent desertification, and reduce dust storm events caused by human activities. For this purpose, the chemical quality of surface water in the Hamoun-Hirmand watershed was investigated at 10 hydrometric stations with quantitative (flow rate) and qualitative (physicochemical parameters) data during the years 1976 to 2016. Parameters such as flow rate, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), acidity (pH), cations (calcium, magnesium, sodium, and potassium), anions (chloride, sulfate, and carbonate), sodium percentage, sodium adsorption ratio (SAR), and total hardness were examined. Finally, the Piper diagram was used to study the hydrochemical facies, and the Wilcox diagram was applied to assess water quality for irrigation and agricultural purposes. Using 26 years of data from two meteorological stations in Zabol and Zahak, this research examined dust storm events, identified the generating winds, and analyzed the relationship between dust storms and water salinity. The

WRPlot View.8.0.2 software was employed to draw the dust rose diagrams.

Results: The study of Hamoun surface waters showed that salinity (EC and TDS) varied among stations. The dominant ions were sodium, magnesium, chloride, and sulfate. Ion concentrations increased over time due to geological, hydrological, and climatic factors of the region. Salinity was within acceptable limits in most stations except for Pol-e Shileh and Lar-Payin, but it showed an increasing trend. The droughts of 1998–2008 and 2010–2011 were associated with increased salinity. EC and TDS had a direct correlation with each other and an inverse relationship with water flow. The highest salinity values were observed in hot months with the lowest flow rates. In the upstream part of the watershed, water quality was mainly “slightly saline to saline” and suitable for irrigation and agriculture, while in the downstream part, water quality was “very saline” and mostly fell into the C4-S4 and C4-S3 classes, unsuitable for agriculture and leading to increased salt concentrations, especially sulfate and chloride anions and sodium cations. The quality of Hirmand River water declined in the Chah-Nimeh wells, probably due to irrigation, agricultural and aquaculture activities, high evaporation, and the entry of suspended sediments into the wells. The study of dust in Zahak and Zabol showed that the significant increase of dust events in specific years was associated with factors such as geographical location, climate changes, land use, and water salinity. Although water salinity played a more significant role in Zahak, other factors contributed in Zabol. Overall, the occurrence of dust storms was the result of the complex interaction of multiple environmental factors, with water salinity being one of them.

Conclusion: The Hamoun-Hirmand watershed faces water quality challenges due to both natural and human factors such as climate change, irrigation and agricultural activities, wastewater, and urbanization. These factors affect salinity, ion concentrations, and the overall health and quality of water, ultimately impacting soil and ecosystems. Continuous monitoring of water quality parameters and the adoption of water management strategies are essential to address challenges leading to ecosystem and land degradation and to ensure sustainable use of this vital resource. Conservation, efficient irrigation, and wastewater treatment can improve water quality. Therefore, further research is required to identify sources of pollution and develop comprehensive water management programs, considering the relationship between land use practices, water quality, and ecosystem health.

Keywords: Surface water quality, Hamoun-Hirmand Basin, hydrochemical facies, dust storm event, dust rose.

ارزیابی و تحلیل زمانی کیفیت آب‌های سطحی در حوزه آبخیز هامون هیرمند، تأثیر شوری آب بر تخریب خاک و تشدید گردوغبار: بررسی کاربری پایدار آب در آبیاری و کشاورزی

سکینه لطفی نسب اصل^{۱*}، فاطمه درگاهیان^۲، زهرا سعیدفر^۳ و آزاده گوهر دوست^۴

۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: s.lotfinasab@areeo.ac.ir

۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- محقق، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- محقق، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر، کیفیت آب‌های سطحی به دلیل آلودگی ناشی از منابع مختلف مانند رواناب‌های کشاورزی، پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های شهرنشینی روبه وخامت گذاشته است. این عوامل می‌توانند کیفیت آب را تغییر داده و معیشت جوامع و محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار دهند. ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی برای اهداف کشاورزی و آبیاری، تضمین ایمنی محصولات، اکوسیستم‌ها و سلامت انسان بسیار مهم است. استفاده از آب نامناسب برای کشاورزی می‌تواند منجر به شوری خاک، تخریب اکوسیستم و بیابان‌زایی و وقوع رخدادهای گردوغباری شود. بنابراین، مشارکت ذی‌نفعان و مداخلات سیاستی برای اجرای مقررات و بهترین شیوه‌ها برای حفاظت از کیفیت آب‌های سطحی ضروریست.

مواد و روش‌ها: حوزه آبخیز هامون هیرمند با مساحت ۳۳۵۸۹/۶ کیلومترمربع، در جنوب شرق کشور واقع شده است. این حوزه بسته از نظر منابع آبی از اهمیت بالایی برخوردار است و با چالش‌هایی مانند کمبود آب، آلودگی و تهدیدات ناشی از تغییرات آب‌وهوایی روبه‌رو است. برای بهبود مدیریت آب، محافظت از این اکوسیستم منحصربه‌فرد و تضمین امنیت غذایی، تلاش‌هایی در حال انجام است. این مطالعه بر پایش کیفیت آب‌های سطحی در این حوزه آبخیز با تمرکز بر شیوه‌های پایدار کشاورزی، با هدف حفاظت از اکوسیستم، جلوگیری از بیابان‌زایی و وقوع رخدادهای گردوغبار تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی متمرکز شده است. برای این منظور، این مطالعه به بررسی کیفیت شیمیایی آب سطحی حوزه آبخیز هامون هیرمند در ۱۰ ایستگاه آب‌سنجی دارای آمار و اطلاعات کمی (دبی) و کیفی (پارامترهای فیزیکوشیمیایی) طی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۶ می‌پردازد. برای ارزیابی کمیت و کیفیت آب پارامترهایی مانند دبی، مقادیر هدایت الکتریکی، مجموع (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم)، آنیون‌ها (کلر، سولفات و کربنات)، درصد سدیم، نسبت جذب سدیم و سختی کل آب بررسی شد. در نهایت برای بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی آب از نمودار پایپر و برای بررسی کیفیت آن برای مصارف آبیاری و کشاورزی از نمودار Wilcox استفاده شد. در این پژوهش، با بهره‌گیری از داده‌های ۲۶ ساله دو ایستگاه هواشناسی زابل و زهک، وقایع گردوغبار، شناسایی بادهای مولد آنها و ارتباط بین گردوغبار و شوری آب بررسی شده و برای ترسیم گل‌غبار رخدادهای گردوغبار از نرم‌افزار WRPlot View.8.0.2 استفاده شده است.

نتایج و یافته‌ها: مطالعه بر روی آب‌های سطحی هامون نشان داد، شوری (EC و TDS) در ایستگاه‌ها متفاوت است. یون‌های غالب سدیم، منیزیم، کلرید و سولفات هستند. غلظت یون‌ها در طول زمان افزایش یافته که به عوامل زمین‌شناسی، هیدرولوژی و اقلیم منطقه نسبت داده می‌شود. شوری در بیشتر ایستگاه‌ها به‌جز دو ایستگاه پل‌شیله و لار پایین و در حد مجاز است، اما روند افزایشی دارد. خشک‌سالی‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۸ و ۲۰۱۱-۲۰۱۰ با افزایش شوری همراه بودند. EC و TDS با یکدیگر رابطه مستقیم و با دبی آب رابطه معکوس دارند. بیشترین مقادیر شوری در ماه‌های گرم و کمترین دبی در همان زمان‌ها مشاهده شد. در بالادست

حوزه کیفیت آب عمدتاً «کمی شور تا شور» بوده و برای فعالیتهای آبیاری و کشاورزی مناسب است، درحالی که در پایین دست حوزه آبخیز آب دارای کیفیت «بسیار شور» بوده و بیشتر در رده C4-S3 و C4-S4 قرار داشته که برای آبیاری و کشاورزی نامناسب بوده و بر غلظت املاح آن به ویژه آنیون سولفات و کلر و کاتیون سدیم افزوده می شود. کیفیت آب رودخانه هیرمند در محل چاه نیمه ها کاهش می یابد که احتمالاً ناشی از فعالیتهای آبیاری، کشاورزی و آبیاری پروری، تبخیر بالا و ورود ذرات معلق به آب چاه نیمه ها است. مطالعه گردوغبار در مناطق زهک و زابل نشان داده است، افزایش قابل توجه وقایع گردوغبار در سالهای خاصی به عوامل مختلفی از جمله موقعیت جغرافیایی، تغییرات اقلیمی، کاربری زمین و شوری آب مرتبط است. هرچند شوری آب در منطقه زهک نقش مهمتری دارد، اما در منطقه زابل عوامل دیگری نیز دخیل هستند. به طور کلی، وقوع گردوغبار نتیجه تعامل پیچیده عوامل مختلف محیطی است و شوری آب یکی از این عوامل است. درک این یافته ها به تدوین راهبردهای تخصیص، حفاظت و تصفیه آب و اقداماتی برای کاهش اثرهای خشک سالی کمک می کند.

نتیجه گیری: حوزه آبخیز هامون هیرمند با چالش های کیفیت آب ناشی از عوامل طبیعی و انسانی مانند تغییرات آب و هوایی، فعالیتهای آبیاری و کشاورزی، فاضلاب و شهرنشینی روبه رو است. این عوامل بر شوری، غلظت یون ها و سلامت و کیفیت کلی آب و در نهایت، خاک و اکوسیستم تأثیر می گذارد. پایش مستمر پارامترهای کیفی آب و اتخاذ راهبردهای مدیریت آب برای مقابله با چالش ها منجر به تخریب اکوسیستم و سرزمین و تضمین استفاده پایدار از این منبع حیاتی ضروریست. صرفه جویی، آبیاری کارآمد و تصفیه فاضلاب می تواند کیفیت آب را بهبود ببخشد. بنابراین، تحقیقات بیشتر برای یافتن منابع آلودگی و برنامه های جامع مدیریت آب با در نظر گرفتن ارتباط بین شیوه های استفاده از زمین، کیفیت آب و سلامت اکوسیستم مورد نیاز است.

واژه های کلیدی: کیفیت آب سطحی، حوزه آبخیز هامون هیرمند، رخساره و تیپ هیدروشیمیایی، رخداد گردوغبار، گل غبار

مقدمه

آب در عبور از لایه های زمین و مسیر رودخانه ها مواد مختلفی مانند گچ، نمک و آهک را منتقل می کند و کیفیت آن با توجه به طول مسیر و مواد انحلالی تغییر می کند. این پدیده در کشور ما اهمیت زیادی دارد، زیرا مشکل بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک تنها کم آبی نیست، بلکه کیفیت نامناسب آب ها نیز مطرح است. شناخت و تعیین وضعیت کیفیت شیمیایی آب برای مصارف مختلف اهمیت بالایی دارد.

در سال های اخیر به دلیل افزایش جمعیت و نیازها، آلودگی و کاهش کیفیت منابع آبی ناشی از توسعه صنعت و کشاورزی و افزایش مصارف شرب و بهداشت، توجه به کیفیت منابع آب های سطحی و زیرزمینی افزایش یافته است. بررسی کیفیت منابع آب اطلاعات اساسی را برای حفظ سلامت آب و مدیریت صحیح آن فراهم می کند. کیفیت آب طبق تعریف [Fetter \(۱۹۹۹\)](#) حاصل شرایط طبیعی، شیمیایی و فیزیکی آب، همچنین تغییراتی است که

ممکن است در اثر فعالیتهای انسانی در آن ایجاد شود و طبق تعریف [May \(۲۰۰۵\)](#) نتیجه کلی فرایندها و واکنش هایی است که از زمان تشکیل و تراکم آب در جو، تا زمان ظاهر شدن در سطح زمین، بر روی آن عمل کرده است.

آب های سطحی نقش حیاتی در کشاورزی، صنعت و تأمین آب آشامیدنی برای جوامع بشری در سراسر جهان دارند. ارزیابی کیفیت این آب ها برای مصارف مختلف بسیار مهم است تا مدیریت پایدار منابع آب و حفظ سلامت انسانی تضمین شود ([Smith et al., 2018](#); [Johnson et al., 2020](#)).

فعالیتهای کشاورزی برای تولید مواد غذایی ضروری است، اما پیامدهای زیست محیطی مهمی نیز دارد. [Carvalho \(۲۰۱۷\)](#) تأکید کرد که کشاورزی مقادیر زیادی مواد مغذی و آفت کش ها را به آب های سطحی وارد می کند. این مواد می توانند موجب اوتروفتیکاسیون شوند که برای اکوسیستم های آبی زیان آور است. فعالیتهای

استفاده از سیستم‌های هیدروپونیک که از تخریب خاک جلوگیری می‌کند، تأثیرات منفی شوری را به حداقل می‌رساند (Clemson News, 2023). آبیاری با آب‌های سطحی علاوه بر شوری خاک می‌تواند موجب شوری آب‌های زیرزمینی شود که در نهایت می‌تواند بیابان‌زایی را در مناطق خشک تشدید کند و موجب وقایع گردوغباری گردد (Han et al., 2011). یک بررسی انجام‌شده در منطقه توسعه کشاورزی Karamay در شمال‌غربی چین، پیامدهای بالقوه انتقال آب سطحی برای آبیاری را بر شوری خاک و آب‌های زیرزمینی برجسته کرده است (Han et al., 2011). بیابان‌زایی به دلیل استفاده از آب شور و نقش آن در تخریب خاک و ازدست‌رفتن پوشش گیاهی تشدید می‌شود. همان‌طور که ساختار خاک تخریب می‌شود، بیشتر در معرض فرسایش توسط باد قرار می‌گیرد و منجر به افزایش انتشار گردوغبار می‌شود. محصولات با تحمل شوری بیشتر می‌توانند در شرایط شور، بهره‌وری را حفظ کنند و خطر ترک زمین و بیابان‌زایی کاهش می‌یابد (VCE Publications, 2023). در سال‌های اخیر، وسعت زمین‌های زراعی شور، سدیمی و شور-سدیمی افزایش یافته است که منجر به تسریع تخریب سرزمین و بیابان‌زایی و کاهش بهره‌وری کشاورزی شده است که اینها موجبات نگرانی‌ها را در مورد پیامدهای بلندمدت زیست‌محیطی و امنیت غذایی ایجاد کرده است (Burrell et al., 2020). علاوه بر چالش‌های ناشی از آب‌های سطحی شور و نامناسب، نقش آب‌های زیرزمینی در تضمین آینده آب تاب‌آور را نمی‌توان نادیده گرفت (Scanlon et al., 2023). آب‌های زیرزمینی نقش مهمی در منابع آب جهانی ایفا می‌کند و می‌تواند در کاهش اثرهای کمبود آب و کیفیت پایین آب‌های سطحی نقش داشته باشد (Scanlon et al., 2023). درک تعامل بین آب‌های سطحی و زیرزمینی برای مدیریت پایدار آب در مناطق کشاورزی مستعد بیابان‌زایی بسیار مهم است. ادبیات موجود، بینش‌های ارزشمندی را در مورد تأثیرات آب‌های سطحی شور و نامناسب بر مناطق

غیراصولی کشاورزی موجب فرسایش و تخریب خاک می‌شوند که در نتیجه آن خاک تخریب شده در نهایت کیفیت آب را کاهش می‌دهد. پساب‌های صنعتی ممکن است شامل مواد سمی باشند که می‌توانند کیفیت آب را تضعیف کرده و فرایندهای اکولوژیکی را مختل کنند (Edokpayi et al., 2017; Niinimäki et al., 2020). علاوه بر این، زیرساخت‌های ناکافی برای پالایش فاضلاب در مناطق شهری سطح آلودگی را افزایش می‌دهد و کیفیت آب سطحی برای مصارف کشاورزی و سایر مصارف را به خطر می‌اندازد (Daneshmehr & Hedayat, 2021). بنابراین، مشارکت ذی‌نفعان و مداخلات سیاستی برای اجرای مقررات و بهترین شیوه‌ها برای حفاظت از کیفیت آب‌های سطحی ضروریست (Little et al., 2016; Kimura & Kinchy, 2016). از سویی، کیفیت آب نقش حیاتی در حمایت از شیوه‌های کشاورزی و حفظ سلامت اکوسیستم‌ها دارد. استفاده از آب سطحی برای مقاصد کشاورزی یکی از جنبه‌های حیاتی در روش‌های کشاورزی است. با این حال، درک خطرات و تأثیرات احتمالی مرتبط با استفاده از آب سطحی نامناسب بسیار مهم است. ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی، به‌ویژه برای اهداف و بهره‌وری کشاورزی و آبیاری، برای اطمینان از ایمنی محصولات، اکوسیستم‌ها و سلامت انسان بسیار مهم است و استفاده از آب نامناسب برای کشاورزی، می‌تواند پیامدهای مخربی بر اکوسیستم، خاک و آب داشته باشد. یکی از چالش‌های مرتبط با استفاده از آب‌های سطحی برای اهداف کشاورزی، تأثیری است که می‌تواند بر شوری خاک داشته باشد (Han et al., 2011). آبیاری با آب شور بر سلامت خاک تأثیر می‌گذارد و موجب افزایش شوری و سدیمی شدن خاک می‌شود که ساختار، نفوذپذیری و حاصلخیزی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به کاهش عملکرد محصول و ترک زمین‌های کشاورزی می‌گردد. استفاده از آب شور نیازمند روش‌های مدیریتی خاصی مانند کشاورزی محیطی کنترل‌شده (CEA) برای کشت محصولات مقاوم به نمک است. این روش با

سیمینه‌رود اثر دارند و آب این رودخانه برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب است.

براساس مطالعه [Kazemi Asl](#) در سال ۲۰۱۳ درباره کیفیت شیمیایی آب سطحی دزفول در شمال خوزستان، مشخص شد که کیفیت آب این رودخانه برای کشاورزی از متوسط تا نامناسب است و در زمین‌های با بافت درشت دانه و زهکشی خوب قابل استفاده است. مطالعه‌ای توسط [Talabi](#) و همکاران (۲۰۱۳) در نیجریه به منظور ارزیابی خصوصیات هیدروشیمیایی آب سطحی پارک Ekiti - State برای استفاده آبیاری و مصارف خانگی انجام شد. ارزیابی‌ها براساس شاخص‌های SAR، RSC و PI نشان داد، آب از نظر کشاورزی در محدوده عالی تا خیلی خوب و با خطر سدیمی‌شدن کم قرار داشته و فرسایش شیمیایی ناشی از بارندگی اصلی‌ترین فاکتور کنترل‌کننده شیمی آب است. [Shammi](#) و همکاران (۲۰۱۶) خطر شوری و سدیمی‌شدن آب‌های کشاورزی بنگلادش را بررسی کردند. آنان پارامترهای هدایت الکتریکی، سختی کل، کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و آنیون‌های کلر، سولفات و فسفات را مطالعه کردند و نشان دادند، غلظت یون‌ها کاهشی است و درصد سدیم محلول (SSP) بیشتر از ۸۰ درصد است، بنابراین خطر شوری و سدیمی‌شدن آب کشاورزی وجود دارد.

به‌طورکلی، ادبیات نشان می‌دهد، تأثیر استفاده از آب‌های سطحی شور و نامناسب برای اهداف کشاورزی بر پدیده‌های تخریب محیط‌زیست و سلامت انسان موضوعی حیاتی است که نیاز به توجه فوری دارد. یافته‌ها بر نیاز به اقدامات جامع برای رسیدگی به افزایش شوری آب‌های سطحی، همچنین نیاز به شیوه‌های کشاورزی پایدار که خطر تخریب سرزمین و بیابان‌زایی را کاهش می‌دهد، تأکید می‌کند.

حوزه آبخیز هامون‌هیرمند در جنوب‌شرقی ایران با شبکه‌ای از تالاب‌ها، نقش مهمی در حمایت از تنوع زیستی و جوامع محلی دارد. کمبود آب و تهدیدات ناشی از تغییرات آب‌وهوایی، آلودگی و مصرف ناپایدار آب،

کشاورزی و پیامدهای بالقوه بیابان‌زایی ارائه کرده است. بااین‌حال، چندین شکاف دانش وجود دارد که تحقیقات بیشتر را ایجاب می‌کند. مطالعات آینده باید بر توسعه فناوری‌های نوآورانه تصفیه آب برای رسیدگی به چالش‌های مرتبط با آب‌های سطحی نامناسب برای استفاده کشاورزی متمرکز شود ([Baptista et al., 2015](#)).

علاوه‌براین، نیاز به بررسی بیشتر و استفاده توأمان از آب‌های سطحی و زیرزمینی برای کاهش شوری خاک و کاهش بیابان‌زایی در مناطق خشک وجود دارد ([Li et al., 2018](#)). همچنین، تلاش‌های تحقیقاتی باید به سمت درک تأثیرات طولانی‌مدت تغییرات آب‌وهوایی و فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب‌های سطحی و پیامدهای آن برای پایداری کشاورزی در مناطق خشک هدایت شود ([Burrell et al., 2020](#)).

مطالعات متعددی در جهان در زمینه بررسی کیفیت منابع آب و روند تغییرات آنها انجام شده است. [Dashti Marouli](#) و همکاران (۲۰۱۳) کیفیت آب رودخانه نرماب را بررسی و آب این رودخانه را برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب ارزیابی کردند. [Maroofi](#) و Bayat (۲۰۰۹) در بررسی نتایج تجزیه شیمیایی کیفیت شیمیایی آب رودخانه کرج با توجه به استاندارد ملی کیفیت آب شرب نشان دادند، میانگین غلظت پارامترهای شیمیایی موجود از حد استاندارد پایین‌تر می‌باشد. هیدروژئوشیمیایی حوضه آبریز دامنه سهند با استفاده از ترسیم دیاگرام پاپیر توسط [Nasri](#) و همکاران (۲۰۱۰) ارزیابی شد. آنان رخساره و تیپ آب زیرزمینی را کلسیم/سدیم بی‌کربناته معرفی کرده و کیفیت آب را از نظر شرب و کشاورزی، مناسب ارزیابی کردند. [Moghaddam Rezaei](#) و همکارانش (۲۰۱۷) به بررسی اثر فاکتورهای هیدروژئومورفولوژی بر روی کیفیت آب سیمینه‌رود و روند تغییرات آن بین سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۲ و در بازه‌های مختلف زمانی در شمال‌غربی کشور پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد، فاکتورهای هیدروژئومورفولوژی بر روی وجود داشتن، یا نداشتن منابع آلاینده و تغییرات فصلی کیفیت

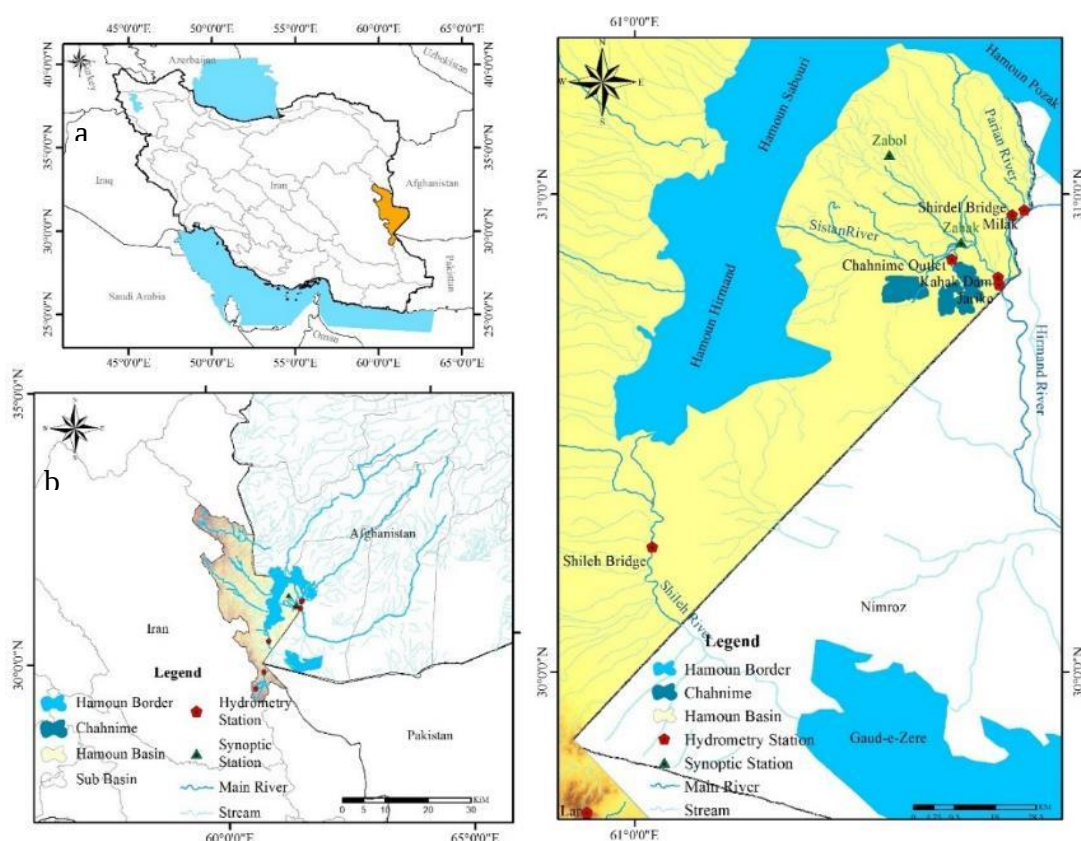
تقسیم می‌شود و ۵۴/۶ درصد مساحت آن ارتفاعات و ۴۵/۴ درصد آن دشت‌ها هستند. رودخانه هیرمند، با منبع تغذیه از برف‌های هندوکش افغانستان، مهمترین منبع آب آن است که از طریق شاخه‌های سیستان و پریان مشترک به تالاب‌های منطقه و کشاورزی دشت سیستان آب‌رسانی می‌کند. چندین سد و کانال بر روی این رودخانه برای آبیاری و ذخیره آب در شرایط کم‌آبی ساخته شده‌اند (Center for Development and Foresight Studies of the Plan and Budget Organization, 2018).

متوسط بارش سالانه این حوزه ۶۹/۳ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۲۰/۴ درجه سانتی‌گراد است. به علت قرارگیری در معرض بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و دوری از منابع رطوبت و سیستم‌های باران‌آور، این حوزه جزو حوضه‌های آبریز بیابانی ایران محسوب می‌شود که دارای آب‌وهوای خشک تا نیمه‌خشک و بیابانی است (Preparation of Hydrological Balances of the Hirmand Dam Basin, 2012). این حوزه به دلیل ویژگی‌های هیدرولوژیکی و توپوگرافی خاص، نقش مهمی در تنوع زیستی و حمایت از جوامع محلی دارد و مدیریت پایدار منابع آبی آن برای کشاورزی و محیط‌زیست ضروریست.

چالش‌های این منطقه هستند. تلاش‌ها برای بهبود مدیریت آب، احیای اکوسیستم‌ها و توسعه پایدار در جریان است. حفاظت از این حوزه، علاوه بر حفظ گیاهان و جانوران، آینده بهتری را برای جوامع وابسته تضمین می‌کند. کشاورزی به عنوان مصرف‌کننده اصلی آب‌های سطحی، اهمیت بالایی دارد و ارزیابی کیفیت این منابع برای استفاده پایدار ضروریست. پایش و تحلیل کیفیت آب‌های سطحی به سیاست‌گذاران، محققان و کشاورزان در اتخاذ تصمیمات آگاهانه درباره آبیاری، مدیریت زمین و تصفیه آب کمک می‌کند. این رویکرد فعال، علاوه بر حفاظت از محیط‌زیست، تولید مواد غذایی برای نسل‌های آینده را تضمین می‌کند. بنابراین، هدف این مطالعه بررسی وضعیت کیفی آب‌های سطحی حوزه هامون‌هیرمند در ایستگاه‌های آب‌سنجی با تأکید بر مصارف آبیاری و کشاورزی و نقش آنها در وقوع رخداد‌های گردوغبار است.

مواد و روش‌ها منطقه پژوهش

حوزه آبخیز هامون‌هیرمند با مساحت ۳۳۵۸۹/۶ کیلومترمربع یکی از حوزه‌های آبخیز مهم و بسته در جنوب‌شرق ایران است. این حوزه به ۱۰ محدوده مطالعاتی



شکل ۱- (a) موقعیت حوزه آبخیز هامون-هیرمند در بین سایر حوزه‌های آبخیز ایران و (b) پراکنش و موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه

Figure 1. (a) Location of the Hamoun-Hirmand watershed among other watersheds in Iran, (b) Distribution and location of the hydrometric stations under study.

روش تحقیق

تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات کیفی آب

به منظور بررسی کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی، نمونه‌برداری فصلی یا ماهانه از منابع آب در محدوده‌های مختلف حوضه آبریز هامون-هیرمند توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی انجام شده است. نارسایی‌های موجود در نتایج کیفیت شیمیایی بیشتر مربوط به نحوه و فاصله زمانی نمونه‌برداری است. در حوضه آبریز هیرمند تعداد ۱۰ محدوده مطالعاتی شامل دورح، حسین‌آباد، سربیشه، هامون-هیرمند، بندان، نهبدان، هرمک، زاهدان و زابل وجود دارد. در محدوده‌های دورح، سربیشه، علی‌آباد، بندان، نهبدان و هرمک ایستگاه

هیدرومتری وجود ندارد. در محدوده هامون-هیرمند، ایستگاه هیدرومتری پل شیشه بر رودخانه شیشه در پهنه دشت و در محدوده زاهدان، ایستگاه هیدرومتری لار پایین بر رودخانه لار در پهنه ارتفاعات دارای اطلاعات کیفی هستند. در محدوده زابل، چهار ایستگاه هیدرومتری شامل جریکه، پایاب سد کهک، پل شیردل و پایاب کانال شماره یک-میلک در پهنه دشت اطلاعات کیفی دارند.

از ۲۷ ایستگاه آب‌سنجی موجود در حوزه، در ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری کیفیت آب سطحی انجام می‌شود. از بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ۷ ایستگاه انتخاب شده و آمار و اطلاعات آنها تا تاریخ تدوین این مقاله تجزیه و تحلیل شده است. این ایستگاه‌ها شامل جریکه،

خروجی سد چاه نیمه، پایاب سد کهک، پل شیردل و پایاب کانال شماره یک- میلک در پهنه دشت محدوده زابل، پل شيله در پهنه دشت محدوده هامون هیرمند و لار پایین در پهنه ارتفاعات محدوده زاهدان هستند. ایستگاه‌های چنگ خرگوشی و گوربند به دلیل نقص آماری و نبود داده‌های کیفی حذف شده‌اند.

اندازه‌گیری کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی در این حوزه، از سال ۱۹۷۸ آغاز شده است که قدیمی‌ترین و طولانی‌ترین آمار کیفی در حوضه آبریز هامون هیرمند مربوط به ایستگاه پایاب سد کهک بر روی رودخانه سیستان می‌باشد، همچنین، بیشترین تعداد نمونه نیز از این ایستگاه برداشت شده که در آن ۱۸۳ نمونه قابل قبول وجود دارد. تناوب نمونه‌برداری کیفی در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه به طور متوسط ۳ تا ۸ نمونه در سال است که

نوع آزمایش‌های انجام شده در این مطالعه شامل هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (PH)، جامدات کل محلول (TDS)، آنیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) و کاتیون‌ها (کربنات، بی‌کربنات، کلراید، سولفات) است. پارامترهای مورد محاسبه را درصد سدیم، نسبت جذب سدیم، سختی کل و کیفیت آب از نظر مصارف کشاورزی تشکیل می‌دهد. تعداد نمونه‌های آزمایش شده آب سطحی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در کل حوزه بیش از ۵۵۲ نمونه است که طولانی‌ترین آمار کیفی به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های پایاب سد کهک از سال ۲۰۱۶-۱۹۷۸ و کوتاه‌ترین آن مربوط به ایستگاه لار پایین از سال ۲۰۱۳-۱۹۹۰ می‌باشد. جدول ۱ تعداد نمونه و سال‌های دارای آمار ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- موقعیت، نوع و تعداد نمونه‌های برداشت شده و سال‌های دارای آمار ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه

Table 1. Location, type, and number of samples, and the years with available statistical records for the hydrometric stations under study

Station	Number of samples	Period	River	Latitude	Longitude	Establishment year
Milak	67	1996-2016	Canal No.1	31	61.8	1983
Kahak Dam	183	1978-2016	Sistan	30.826389	61.760556	1941
Bridge Shirdel	50	1999-2016	Shirdel Canal	30.956667	61.790278	1970
Shile Bridge	50	1983-1998	Shile	30.261667	61.035833	1995
Jarlike	45	2002-2016	Inlet canal	30.811389	61.762778	1981
Chahnime Outlet	123	1989-2018	Out Let canal	30.864167	61.663889	1982
Lar	34	1990-2013	Lar	29.705833	60.903333	1993
Total	552					

کنترل کیفی داده‌های آب

در بررسی کیفیت آب رودخانه‌های واقع در محدوده حوزه آبخیز هامون هیرمند برای کنترل آمار و اطلاعات دریافتی کیفیت شیمیایی آب در ایستگاه‌های آب‌سنجی، ابتدا مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها با استفاده از آمار خام محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند، در مرحله بعد آب‌دهی‌های همزمان اندازه‌گیری شده با آب‌دهی‌های روزانه و قرائت ساعتی

طغیان‌ها در صورت لزوم کنترل شد. مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها در هر تاریخ نمونه‌برداری با یکدیگر مقایسه شدند و نمونه‌هایی که اختلاف آنها کمتر از حد مجاز ۵ درصد بوده است (رابطه ۱)، استفاده شد (Hounslow, 1995). با بهره‌گیری از روابط تجربی بین هدایت الکتریکی و مجموع مواد محلول، مقادیر مجموع مواد محلول و هدایت الکتریکی کنترل و موارد مشکوک اصلاح شد (رابطه ۲ و ۳). مقادیر نسبت جذب سدیم،

نیاز اصلاحات لازم انجام شد (Hounsflow, 1995) و خلاصه نتایج به ترتیب در جدول ۳ ارائه گردید.

$$Error\% = \frac{\sum TC - \sum TA}{\sum TC + \sum TA} * 100$$

$$\frac{TDS}{EC} = 0.55 - 0.76$$

$$\frac{EC}{TC} = 90 - 110$$

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{Ca + Mg}}$$

$$Na\% = (Na + K / Na + K + Ca + Mg) * 100$$

$$TH(mg/l) = Mg(mg/l) \times 4 \cdot 11 + Ca(mg/l) * 2.479$$

درصد سدیم و سختی کل با استفاده از آمار خام محاسبه (رابطه ۵، ۴ و ۶) و با مقادیر ثبت شده مقایسه و در صورت

(۱)

(۲)

(۳)

(۴)

(۵)

(۶)

شد (Lotfinasabasl et al., 2022). سپس وضعیت رویدادهای گردوغباری، روزهای توأم با گردوغبار و تغییرات آنها به شکل فصلی و سالانه بررسی و پس از آن جهت و سرعت بادهای مولد گردوغبار با ترسیم گل غبار سالانه و فصلی به کمک نرم افزار WRPlot View.8.0.2 در هریک از ایستگاههای زابل و زهک ترسیم شد. سپس با بررسی همبستگی بین رخدادها و روزهای گردوغباری در دو ایستگاه زهک و زابل با شوری آب در ایستگاههای آب سنجی مورد مطالعه از طریق آزمون همبستگی پیرسون در سطح معناداری ۵ درصد به بررسی نقش کاهش کیفیت آب در وقوع رخداد گردوغبار پرداخته شد.

ذکر این نکته لازم است، یک روز گردوغباری به روزی با حداقل یک رخداد، یا حداکثر ۸ رخداد گردوغباری تحت کدهای ثبت شده اطلاق می گردد.

نتایج

تجزیه و تحلیل آمار کیفیت شیمیایی آبهای سطحی به تفکیک ایستگاههای حوزه آبخیز هامون هیرمند در جدول ۲ خلاصه پارامترهای آماری کیفیت شیمیایی آب در ایستگاههای آب سنجی مورد مطالعه به تفکیک ارائه شده است.

محاسبه پارامترهای آماری و ترسیم نمودارهای کیفی آب پس از کنترل آمار و انتخاب آمار نهایی، پارامترهای آماری کیفیت شیمیایی آب در ایستگاههای آب سنجی براساس نتایج آنالیز در کل دوره موجود در هر ایستگاه محاسبه شد. در نهایت، نمودار ویلکوکس (Wilcox, 1955) برای بررسی کیفیت آب برای آبیاری و کشاورزی و نمودار پایپر (Piper, 1944) برای تعیین توالی غالبیت یون ها در آب و تیپ و رخساره آن ترسیم شدند.

بررسی وقایع گردوغباری و شناسایی بادهای مولد و توأم با گردوغبار

در این تحقیق برای بررسی وقایع (رخداد) گردوغباری و شناسایی بادهای مولد و توأم با گردوغبار، همچنین بادهای فرساینده، به عنوان عامل مهم بروز و تشدید پدیده گردوغبار، از آمار دو ایستگاه زابل و زهک استفاده شد. در ابتدا داده های ساعتی ثبت شده در ایستگاههای همدید (سینوپتیک) از قبیل زمان و تاریخ دیده بانی، جهت و سرعت باد، حداقل میدان دید و کد پدیده های گردوغبار شامل کدهای ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۹۸ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. دوره مشترک آماری ایستگاههای منتخب و بازه زمانی مشترک ۳۱ ساله (۱۹۹۲-۲۰۱۸) برای تجزیه و تحلیل داده ها انتخاب

ایستگاه هیدرومتری پایاب سد کهک

در ایستگاه هیدرومتری پایاب سد کهک واقع در رودخانه سیستان مقدار آب‌دهی در بین نمونه‌های برداشت‌شده با میانگین $40/9$ از $0/22$ تا $718/3$ مترمکعب در ثانیه در نوسان است. مقادیر یون‌های محلول در آب به‌ترتیب در مورد کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم از $0/3$ تا $3/2$ ، $0/3$ تا $0/6$ و $0/25/8$ و 0 تا $0/25$ میلی‌اکی‌والان در لیتر و در مورد آنیون‌های بی‌کربنات، کربنات، کلرور و سولفات به‌ترتیب از $0/2$ تا $6/3$ ، 0 تا $1/1$ ، $0/2$ تا $13/2$ و 0 تا $13/7$ میلی‌اکی‌والان در لیتر متغیر می‌باشد. میزان شوری آب در این رودخانه با میانگین $892/7$ از 210 تا 2840 میکروزیمنس بر سانتی‌متر نوسان دارد. در بیشترین میزان آب‌دهی ($718/3$ مترمکعب بر ثانیه) برحسب هدایت الکتریکی برابر 845 و در حالت کمترین مقدار آب‌دهی ($0/22$ مترمکعب بر ثانیه) برابر 1416 میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد.

ایستگاه هیدرومتری جریکه (ورودی چاه‌نیمه)

در این ایستگاه واقع در رودخانه کانال ورودی سد چاه‌نیمه مقدار آب‌دهی در بین نمونه‌های برداشت‌شده با میانگین $60/7$ از $0/14$ تا $313/7$ مترمکعب در ثانیه در نوسان است. مقادیر یون‌های محلول در آب به‌ترتیب در مورد کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم از $0/4$ تا $1/5$ ، 1 تا $3/4$ و $1/95$ تا $13/9$ میلی‌اکی‌والان در لیتر و در مورد آنیون‌های بی‌کربنات، کربنات، کلرور و سولفات به‌ترتیب از $0/5$ تا $5/2$ ، 0 تا $1/7$ ، $0/5$ تا $7/6$ و 1 تا $6/8$ میلی‌اکی‌والان در لیتر متغیر می‌باشد. میزان شوری آب در این رودخانه با میانگین $943/6$ از 409 تا 2004 میکروزیمنس بر سانتی‌متر نوسان دارد. در بیشترین میزان آب‌دهی ($313/7$ مترمکعب بر ثانیه) برحسب هدایت الکتریکی برابر 495 و در حالت کمترین مقدار آب‌دهی ($0/14$ مترمکعب بر ثانیه) برابر 1154 میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد.

ایستگاه هیدرومتری پایاب سد کانال ۱-میلک

در ایستگاه هیدرومتری پایاب کانال ۱-میلک واقع در سد کانال ۱ مقدار آب‌دهی در بین نمونه‌های برداشت‌شده با میانگین $8/25$ از $0/37$ تا $16/2$ مترمکعب در ثانیه در نوسان است. مقادیر یون‌های محلول در آب به‌ترتیب در مورد کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم از $0/3$ تا $4/1$ ، $0/25$ تا $3/3$ ، $0/67$ تا $13/4$ و $0/2$ تا $0/2$ میلی‌اکی‌والان در لیتر و در مورد آنیون‌های بی‌کربنات، کربنات، کلرور و سولفات به‌ترتیب از $0/8$ تا $4/6$ ، 0 تا $0/7$ ، $0/5$ تا $6/9$ و 0 تا $6/6$ میلی‌اکی‌والان در لیتر متغیر می‌باشد. میزان شوری آب در این رودخانه با میانگین 849 از 310 تا 2010 میکروزیمنس بر سانتی‌متر نوسان دارد. در بیشترین میزان آب‌دهی ($16/2$ مترمکعب بر ثانیه) برحسب هدایت الکتریکی برابر 660 و در حالت کمترین مقدار آب‌دهی ($0/37$ مترمکعب بر ثانیه) برابر 1719 میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد.

ایستگاه هیدرومتری پایاب پل شیردل

در ایستگاه هیدرومتری پل شیردل واقع در کانال شیردل، مقدار آب‌دهی در بین نمونه‌های برداشت‌شده با میانگین $8/7$ از $0/24$ تا $33/12$ مترمکعب در ثانیه در نوسان است. مقادیر یون‌های محلول در آب به‌ترتیب در مورد کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم از $0/4$ تا $2/1$ ، 1 تا $3/3$ ، $1/2$ تا $10/7$ و $0/4$ تا $0/1$ میلی‌اکی‌والان در لیتر و در مورد آنیون‌های بی‌کربنات، کربنات، کلرور و سولفات به‌ترتیب از $2/2$ تا 5 ، 0 تا $0/6$ ، $0/2$ تا $5/3$ و 1 تا 6 میلی‌اکی‌والان در لیتر متغیر می‌باشد. میزان شوری آب در این رودخانه با میانگین $880/6$ از 408 تا 1710 میکروزیمنس بر سانتی‌متر نوسان دارد. در بیشترین میزان آب‌دهی ($33/12$ مترمکعب بر ثانیه) برحسب هدایت الکتریکی برابر 497 و در حالت کمترین مقدار آب‌دهی ($0/24$ مترمکعب بر ثانیه) برابر 1710 میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد.

ایستگاه هیدرومتری سد خروجی چاه نیمه

در ایستگاه هیدرومتری سد خروجی چاه نیمه واقع در رودخانه کانال خروجی سد چاه نیمه در بین نمونه های برداشت شده میزان شوری با میانگین $1017/7$ از 496 تا 2710 میکروزیمنس بر سانتی متر در نوسان است. مقادیر یون های محلول در آب به ترتیب در مورد کاتیون های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم از $0/4$ تا $3/5$ ، $0/4$ تا $5/2$ و $0/55$ تا $20/4$ میلی اکسی والان در لیتر و در مورد آنیون های بی کربنات، کربنات، کلرور و سولفات به ترتیب از $0/4$ تا $0/3$ ، $0/9$ تا $6/7$ ، $0/0$ تا $1/3$ و $0/6$ تا $12/2$ میلی اکسی والان در لیتر متغیر می باشد.

ایستگاه هیدرومتری پل شیله

مقدار آب دهی در بین نمونه های برداشت شده با میانگین 438 از $0/4$ تا $1978/5$ مترمکعب در ثانیه در نوسان است. مقادیر یون های محلول در آب به ترتیب در مورد کاتیون های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم از $0/8$ تا $4/3$ ، $1/1$ تا $11/7$ ، $4/65$ تا $104/3$ و $0/03$ تا $1/79$ میلی اکسی والان در لیتر و در مورد آنیون های بی کربنات، کربنات، کلرور و سولفات به ترتیب از 2 تا $55/0$ ، $1/5$ تا $2/6$ و $70/2$ و $0/48$ تا $46/19$ میلی اکسی والان در لیتر متغیر می باشد. میزان شوری آب در این رودخانه با میانگین $2935/4$ از 885 تا 11315 میکروزیمنس بر سانتی متر نوسان دارد. در بیشترین میزان آب دهی ($33/12$ مترمکعب بر ثانیه) برحسب هدایت الکتریکی برابر 497 و در حالت کمترین مقدار آب دهی ($0/24$ مترمکعب بر ثانیه) برابر 1710 میکروزیمنس بر سانتی متر می باشد.

ایستگاه هیدرومتری لار پایین

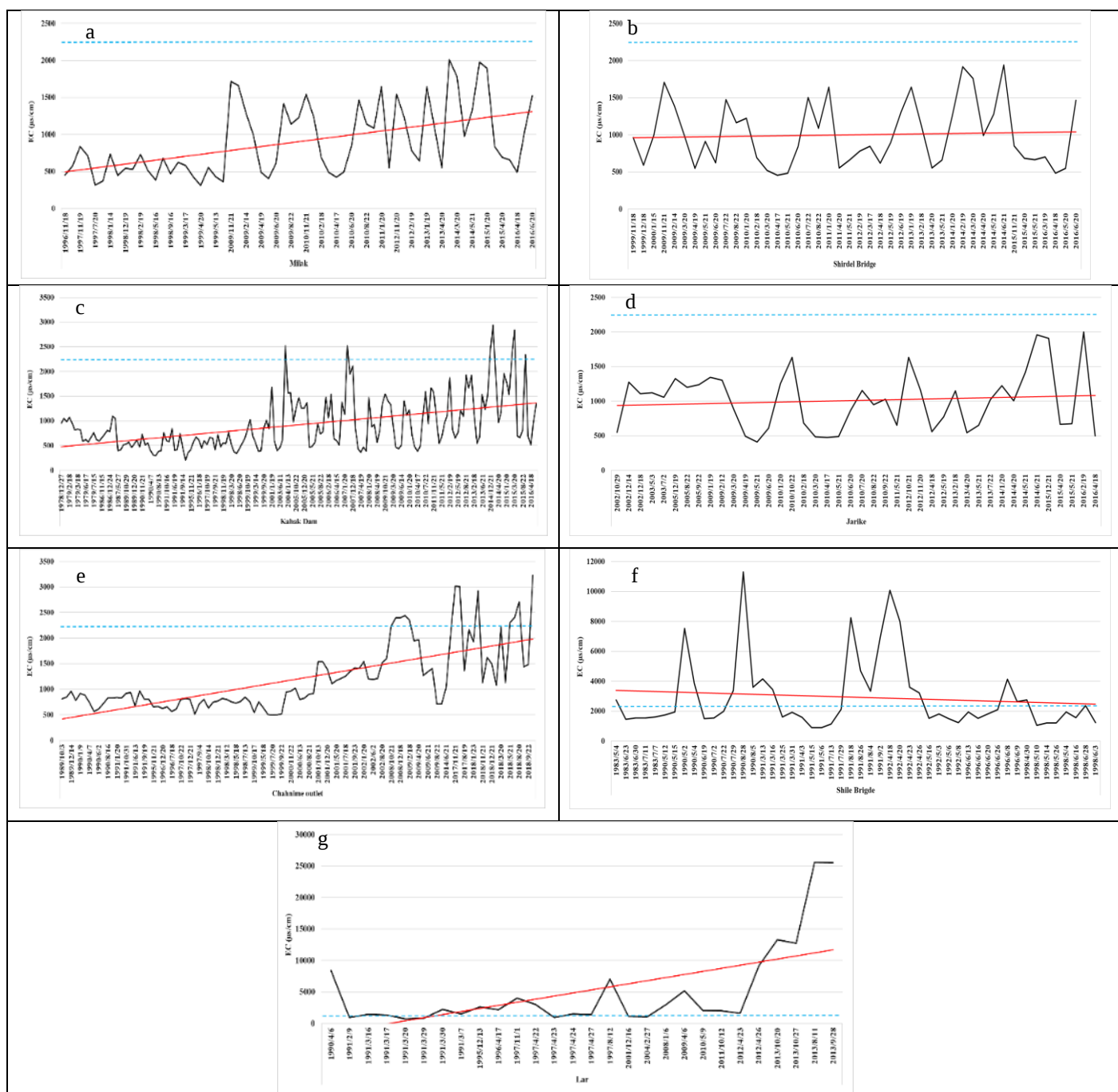
در ایستگاه هیدرومتری لار پایین واقع بر روی رودخانه لار مقدار آب دهی در بین نمونه های برداشت شده با میانگین $7/22$ از $0/1$ تا $138/2$ مترمکعب در ثانیه در نوسان است. مقادیر یون های محلول در آب به ترتیب در مورد کاتیون های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم از 1 تا 6 ، $0/3$ تا $9/8$ ، $3/15$ تا $106/5$ و $0/05$ تا $1/3$ میلی اکسی والان در لیتر و در مورد آنیون های بی کربنات، کربنات، کلرور و سولفات به ترتیب از $1/5$ تا $12/8$ ، 0 تا $1/6$ ، $1/5$ تا $76/8$ و $0/5$ تا $38/2$ میلی اکسی والان در لیتر متغیر می باشد. میزان شوری آب در این رودخانه با میانگین $4195/1$ از 720 تا 13310 میکروزیمنس بر سانتی متر نوسان دارد. در بیشترین میزان آب دهی ($138/2$ مترمکعب بر ثانیه) برحسب هدایت الکتریکی برابر 1620 و در حالت کمترین مقدار آب دهی ($0/1$ مترمکعب بر ثانیه) برابر 12800 میکروزیمنس بر سانتی متر می باشد.

کموگراف آب زیرزمینی (بررسی شوری در طول زمان) با توجه به شکل های $a-2$ تا $g-2$ مشخص شد، در همه ایستگاه های آب سنجی در محدوده های حوزه آبخیز هامون هیرمند به جز دو ایستگاه پل شیله و لار پایین میزان شوری در تمامی سال ها پایین تر از حداکثر مقدار ارائه شده توسط Wilcox (1955) (2250 میکروزیمنس بر سانتی متر) بوده است، اما در برخی از سال ها در ایستگاه خروجی سد چاه نیمه و پایاب سد کهک میزان آن، از این حد فراتر رفته است که به ترتیب در سال های $2008-2009$ و $2019-2017$ و سال های 2003 ، 2007 و $2016-2014$ مشاهده شده است.

جدول ۲- پارامترهای آماری کیفیت شیمیایی آب در ایستگاه‌های آب‌سنجی حوزه آبخیز هامون‌هیرمند به تفکیک ایستگاه آب‌سنجی

Table 2. Statistical parameters of water quality at the hydrometric stations in the Hamoun-Hirmand watershed

Station	Value	EC	T.D.S	PH	SAR	Na%	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO3 ⁻	CO3 ²⁻	Cl ⁻	SO4 ²⁻	Debi m3/s
		µs/cm	mg/l				meq/l								
Milak	Max	2010	1306	9.10	9.25	76.40	4.10	3.30	13.40	0.20	4.60	0.70	6.90	6.60	20.53
	Mean	849	531	8.07	3.87	59.26	1.15	1.63	4.72	0.08	3.39	0.15	2.15	2.30	8.05
	Min	310	171	7.3	0.654	21.43	0.3	0.25	0.67	0.02	0.8	0	0.5	0	0.37
Shirdel Bridge	Max	1710	1111	9.00	8.03	76.52	2.10	3.30	10.70	0.10	5.00	0.60	5.30	6.00	124.00
	Mean	881	563	7.96	4.18	62.66	0.96	1.80	5.02	0.09	3.57	0.09	2.24	2.09	12.28
	Min	408	265	7.4	0.809	22.12	0.4	1	1.2	0.04	2.2	0	0.2	0.1	0.24
Kahak Dam	Max	2840	1846	9.10	12.05	82.14	3.20	5.00	19.80	0.25	6.30	1.10	13.20	13.70	718.30
	Mean	893	545	8.10	3.90	57.76	1.17	1.93	4.96	0.09	3.09	0.19	2.54	2.52	40.91
	Min	210	116	7.3	0.042	2.38	0.3	0.3	0.06	0	0.2	0	0.2	0	0.00
Jarikheh	Max	2004	1302	9.40	9.26	80.23	1.50	3.40	13.90	0.20	5.20	1.70	7.60	6.80	313.70
	Mean	944	599	8.04	4.64	65.09	0.93	1.84	5.60	0.10	3.41	0.18	2.64	2.32	60.68
	Min	409	265	7.2	1.894	46	0.4	1	1.95	0.05	0.5	0	0.5	0.1	0.14
Chahnimeh Outlet	Max	2710	1761	9.15	13.75	82.70	3.50	5.20	20.40	0.30	6.70	1.30	12.20	7.20	0.00
	Mean	1018	618	8.23	5.40	68.17	0.99	1.86	6.42	0.10	3.38	0.29	3.37	2.66	0.00
	Min	496	272	7.3	0.371	12	0.4	0.4	0.55	0.04	0.9	0	0.6	0.2	0.00
Shile Bridge	Max	11315	8485	8.80	42.19	91.56	4.30	11.70	104.30	1.79	5.50	1.50	70.20	46.19	1978.50
	Mean	2935	1947	8.20	13.14	77.44	1.47	3.61	22.90	0.44	3.64	0.30	16.16	8.38	502.77
	Min	885	485	7.55	3.93	62.56	0.8	1.1	4.65	0.03	2	0	2.6	0.48	0.40
Lar	Max	13310	8651	8.75	39.96	91.13	6.00	9.80	106.50	1.30	12.80	1.60	76.80	38.20	138.20
	Mean	4195	2691	7.73	16.15	77.93	2.99	2.90	31.98	0.50	4.62	0.12	22.92	11.06	7.21
	Min	720	395	6.7	2.57	37.65	1	0.3	3.15	0.05	1.5	0	1.5	0.5	0.00



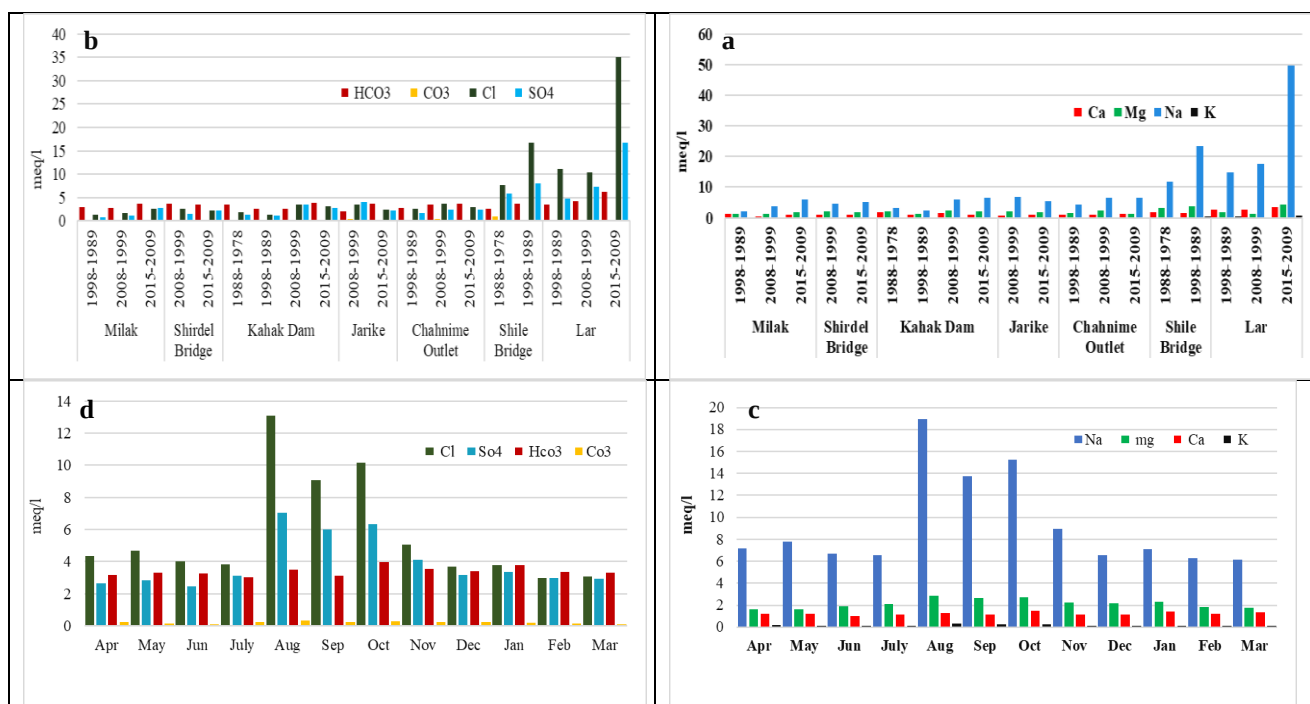
شکل ۲- کموگراف معرف شوری آب در ایستگاههای آبسنجی حوزه آبخیز هامون-هیرمند طی سالهای دارای آمار

Figure 2. Salinity profile of surface waters at hydrometric stations in the Hamoun-Hirmand watershed during the study years

بین کاتیون‌ها، یون سدیم و منیزیم (شکل ۳-ا) و در بین آنیون‌ها، یون کلر و سولفات (شکل ۳-ب) بیشترین غلظت را داشته و یون‌های غالب در نمونه‌های آب می‌باشند و

بررسی میزان یون‌ها، سختی و تیپ و رخساره در آب‌های سطحی حوزه آبخیز
نتایج شکل ۳ نشان داد، در همه ایستگاه‌های حوزه در

مقادیر آنها در ماه‌های آخر تابستان و اوایل پاییز از غلظت بیشتری برخوردار است (شکل‌های ۳- c و d).



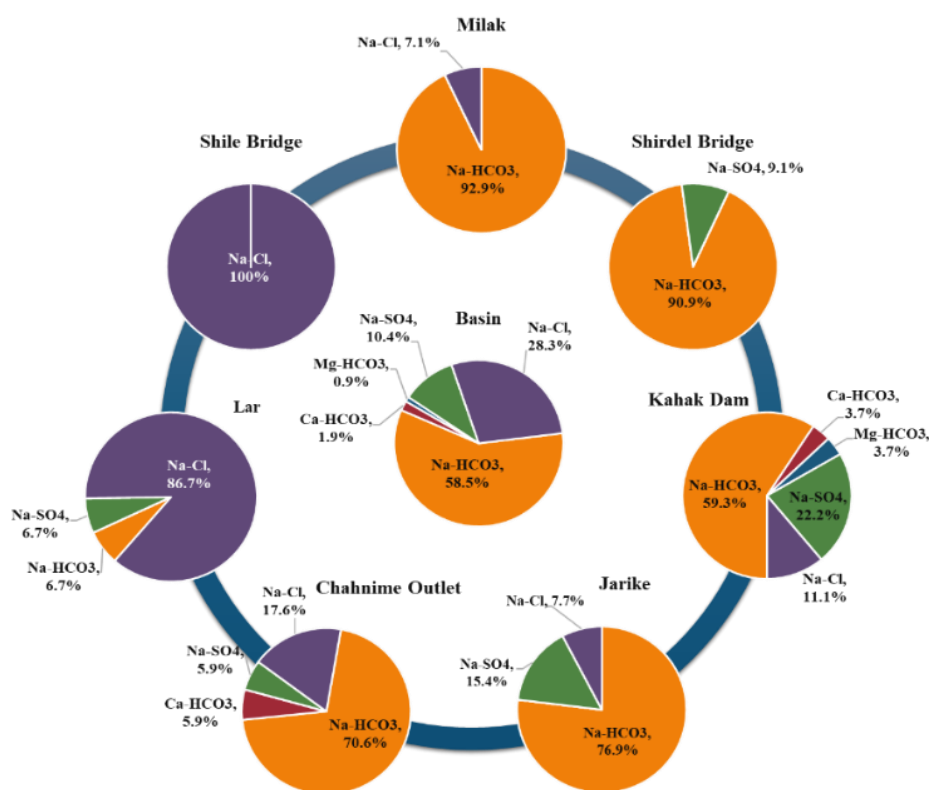
شکل ۳- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب‌های سطحی حوزه آبخیز هامون‌هیرمند به تفکیک ایستگاه (a,b) و ماه‌های سال (c,d)

Figure 3. Concentrations of cations and anions in the surface waters of the Hamoun-Hirmand watershed, categorized by hydrometric station (a, b) and by month (c, d).

جنوب دشت (پل شيله و لار پایین) تیپ و رخساره غالب کلروره سدیک می‌باشد.

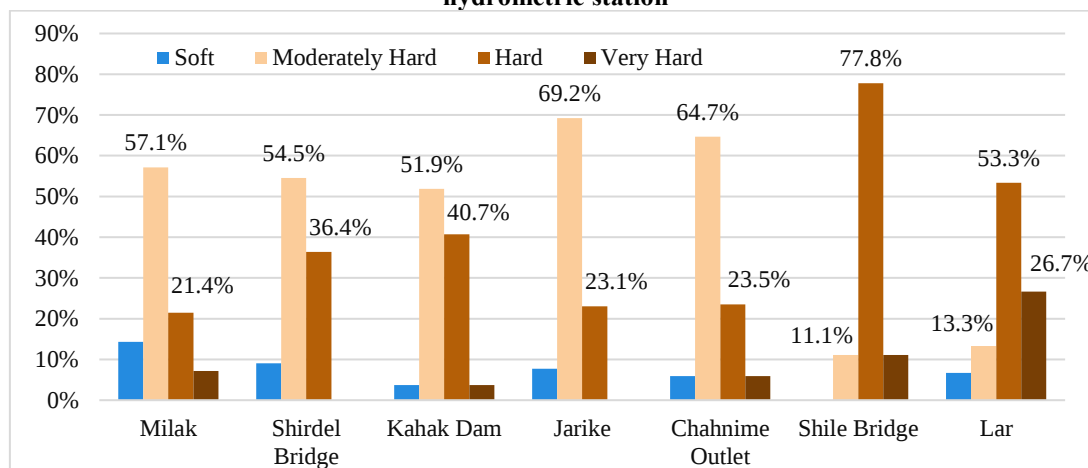
از نظر سختی رودخانه‌ها در محل همه ایستگاه‌ها به جز پل شيله و لار پایین به ترتیب دارای آب نسبتاً سخت و سخت بوده و در ایستگاه شيله عمدتاً کیفیت سخت داشته و در ایستگاه لار پایین علاوه بر کیفیت سخت، ویژگی کاملاً سخت نیز یافته است (شکل ۵).

نتایج بررسی تیپ و رخساره به دست آمده از نمودارهای پایپر در ایستگاه‌های مورد مطالعه (شکل ۴) نشان داد، تیپ و رخساره غالب در سطح محدوده، در ابتدای دشت و میانه آن بی کربناته سدیک بوده (پایاب سد میلک، پل شیردل، پایاب سد کهک و جریکه و خروجی سد چاه نیمه)، درحالی که ظهور درصد قابل توجهی از تیپ و رخساره سولفات سدیک در میانه دشت (جریکه و رودی سد چاه نیمه و پایاب سد کهک) نیز مشاهده می‌شود. از سویی در



شکل ۴- تیپ و رخساره آب‌های سطحی در حوزه آبخیز هامون-هیرمند به تفکیک ایستگاه

Figure 4. Hydrochemical facies of surface waters in the Hamoun-Hirmand watershed, categorized by hydrometric station



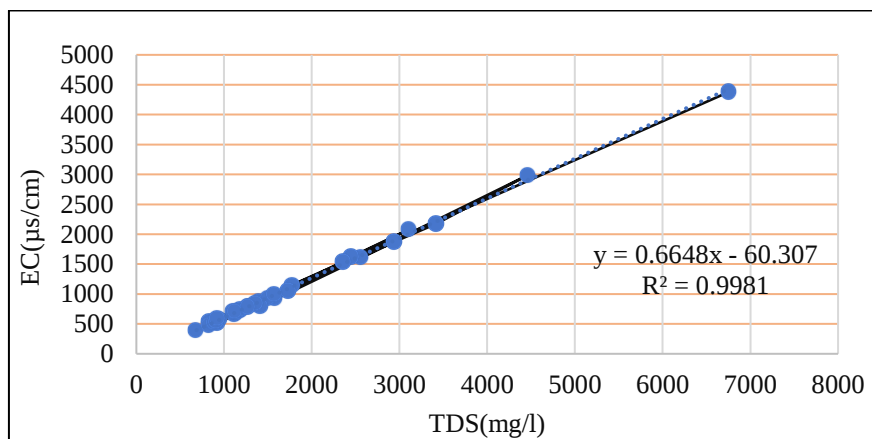
شکل ۵- درصد سختی آب‌های سطحی در حوزه آبخیز هامون-هیرمند به تفکیک ایستگاه طی سال‌های مورد مطالعه

Figure 5. Percentage of water hardness in the surface waters of the Hamoun-Hirmand watershed, categorized by hydrometric station during the study years

نتیجه مطالعه همزمان هدایت الکتریکی (EC) و مواد جامد محلول (TDS) که بیانگر میزان شوری هستند،

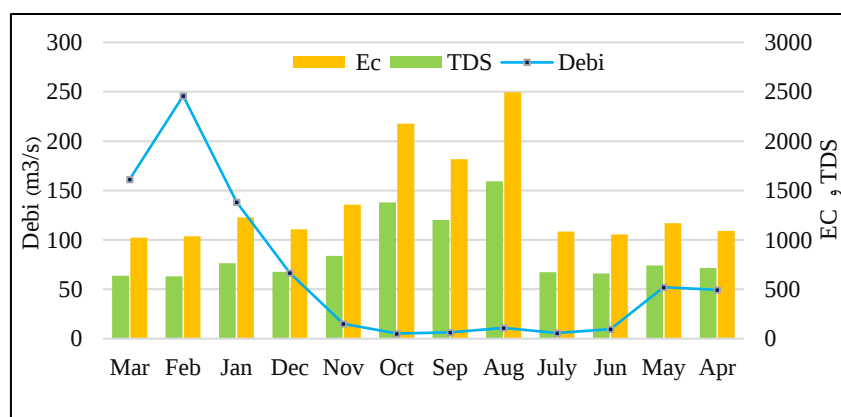
بررسی رابطه بین هدایت الکتریکی، جامدات کل محلول و میزان آب‌دهی در آب‌های سطحی حوزه آبخیز

نشان‌دهنده وجود رابطه مستقیم بین مقادیر هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول با هم (شکل ۶) و رابطه معکوس با دبی (میزان آب‌دهی) در ماه‌ها و فصول سال می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۶- رابطه بین هدایت الکتریکی (EC) و کل جامدات محلول (TDS) در آب‌های سطحی حوزه آبخیز هامون-هیرمند

Figure 6. Relationship between electrical conductivity (EC) and total dissolved solids (TDS) in the surface waters of the Hamoun-Hirmand watershed



شکل ۷- رابطه بین هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و دبی در آب‌های سطحی حوزه آبخیز هامون-هیرمند

Figure 7. Relationship between electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), and flow rate in the surface waters of the Hamoun-Hirmand watershed

مقادیر این دو عامل تعیین‌کننده کیفیت آب برای مصارف آبیاری و کشاورزی، به ۴ طبقه دسته‌بندی می‌شوند (جدول ۳). براساس نتایج حاصل از بررسی عناصر و مطابق با جدول ۳، کیفیت آب آبیاری در سطح حوزه آبخیز و در همه ایستگاه‌های آب‌سنجی بررسی شد و درصد طبقه‌های کیفی آب برای مصارف کشاورزی محاسبه (جدول ۴) و نقشه شماتیک آن به تفکیک ایستگاه‌های آب‌سنجی در سطح حوزه آبخیز تهیه شد (شکل ۸).

طبقه‌بندی آب سطحی از نظر مصارف آبیاری و کشاورزی مهمترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر آبیاری و کشاورزی، شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد، زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌کنند. شوری با معیار هدایت الکتریکی (EC) و سدیم با معیار نسبت جذبی سدیم (SAR) سنجیده می‌شود.

جدول ۳- کلاس‌های طبقه‌بندی کیفی EC، SAR و Wilcox برای مصارف آبیاری و کشاورزی

Table 3. Classification of EC, SAR, and Wilcox water quality indices for irrigation and agricultural purposes

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			SAR			Water Quality for Irrigation	Class of Water
Quality	Class	Range	Quality	Class	Range	No saline - Suitable for irrigation	C1S2
Excellent	C1	<250	Excellent	S1	<10	Low saline - Suitable	C1S2, C1S2, C1S2
Good	C2	250-750	Good	S2	10-18	Saline- may be used with caution and requires management Practice	C1S2, C1S2, C1S2, C1S2, C1S2, C1S2
Permissible	C3	750-2250	Doubtful	S3	18-26	Very Saline	C1S2, C1S2, C1S2, C1S2, C1S2, C1S2, C1S2
Doubtful	C4	>2250	Unsuitable	S4	>26		

جدول ۴- درصد طبقه‌های کیفی آب برای مصارف کشاورزی در ایستگاه‌ها و حوزه آبخیز مطابق با طبقه‌بندی Wilcox

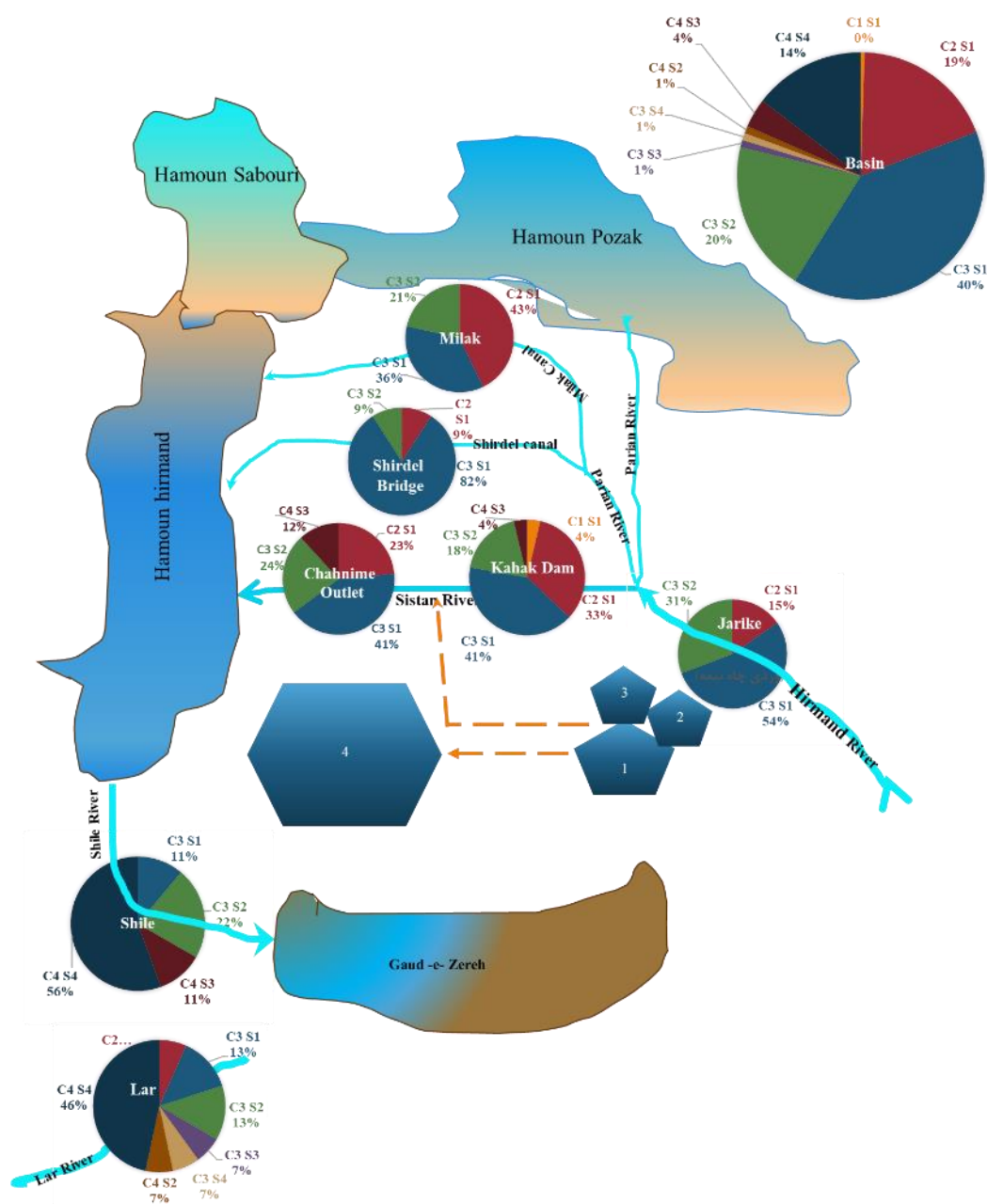
Table 4. Percentage of water quality classes for agricultural purposes at hydrometric stations and in the Hamoun-Hirmand watershed (according to the Wilcox classification)

Class		C1S1	C2S1	C3S1>C3S2> C3S3	C4S4>C4S3> C4S2=C3S4
Station	Quality	No saline	Low saline	Saline	Very Saline
Milak		—	42.9	57.1	—
Shirdel Bridge		—	9	90.9	—
Kahak Dam		3.7	33.3	59.3	3.7
Jarlike		—	15.4	84.6	—
Chahnime Outlet		—	23.5	64.7	11.8
Shile Bridge		—	—	33.3	66.7
Lar		—	6.7	26.7	66.7
Basin		0.53	18.69	59.52	21.26

آنالیز داده‌ها حکایت از آن دارد که منطقه زهک در اوایل دهه ۲۰۰۰ و اواسط دهه ۲۰۰۸ میلادی، پیک‌های قابل توجهی را در تعداد رویدادهای گردوغبار و روزهای همراه با آن تجربه کرده است. درحالی‌که منطقه زابل، در اوایل دهه ۲۰۰۰ میلادی، بیشترین تعداد رویدادهای گردوغبار و روزهای گردوغباری را به ثبت رسانده است. مقایسه داده‌های دو ایستگاه نشان می‌دهد که به‌طورکلی، منطقه زابل نسبت به منطقه زهک، تعداد رویداد و روزهای گردوغباری بیشتری را تجربه کرده است.

تحلیل رخداد گردوغبار: بررسی فراوانی رخداد گردوغبار، روزهای توأم با گردوغبار و ارتباط با شوری آب

بررسی فراوانی رخداد و روزهای توأم با گردوغبار نتایج بررسی سالانه فراوانی رخداد و روزهای توأم با گردوغبار در دو ایستگاه زابل و زهک (شکل ۹) نشان می‌دهد، هر دو منطقه در طول دوره زمانی مورد بررسی، نوسانهای قابل توجهی را در تعداد رخداد و روزهای توأم با گردوغبار تجربه کرده‌اند. بااین‌حال، به‌طورکلی، منطقه زابل روند افزایشی را در وقوع این پدیده و روزهای درگیر با آن، به‌ویژه در سال‌های اخیر نشان می‌دهد

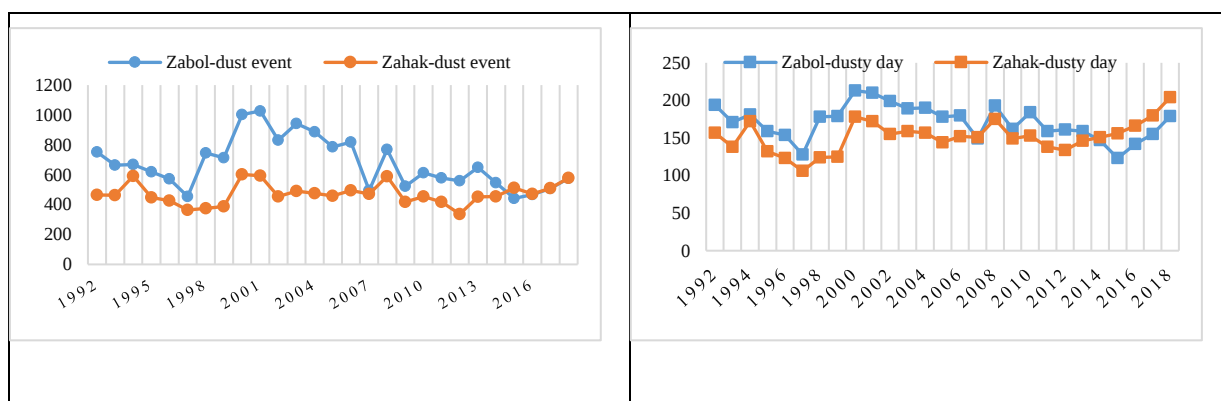


شکل ۸- نقشه شماتیک کیفیت آب آبیاری در سطح حوزه آبخیز

Figure 8. Schematic map of irrigation water quality in the Hamoun-Hirmand watershed

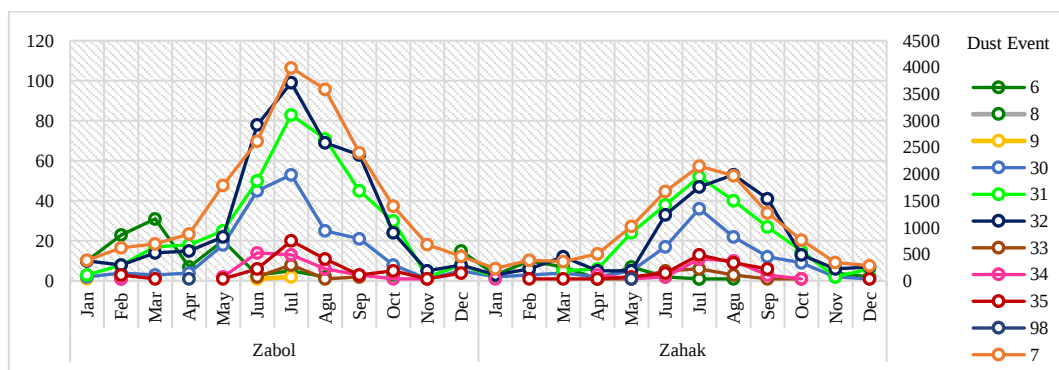
می‌شوند که احتمالاً به دلیل الگوهای غالب باد و شرایط خشک‌تر است (شکل ۱۰).

بررسی الگوهای فصلی فراوانی رخداد گردوغبار نشان می‌دهند، وقایع گردوغبار در ماه‌های خاصی از سال، به‌ویژه ماه‌های بهار و تابستان بیشتر مشاهده



شکل ۹- فراوانی سالیانه رخداد گردوغبار (a) و روزهای همراه با گردوغبار (b) طی سالهای ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ به تفکیک ایستگاه همدیدی (سینوپتیک)

Figure 9. Annual frequency of dust events (a) and dusty days (b) from 1992 to 2018, by synoptic station

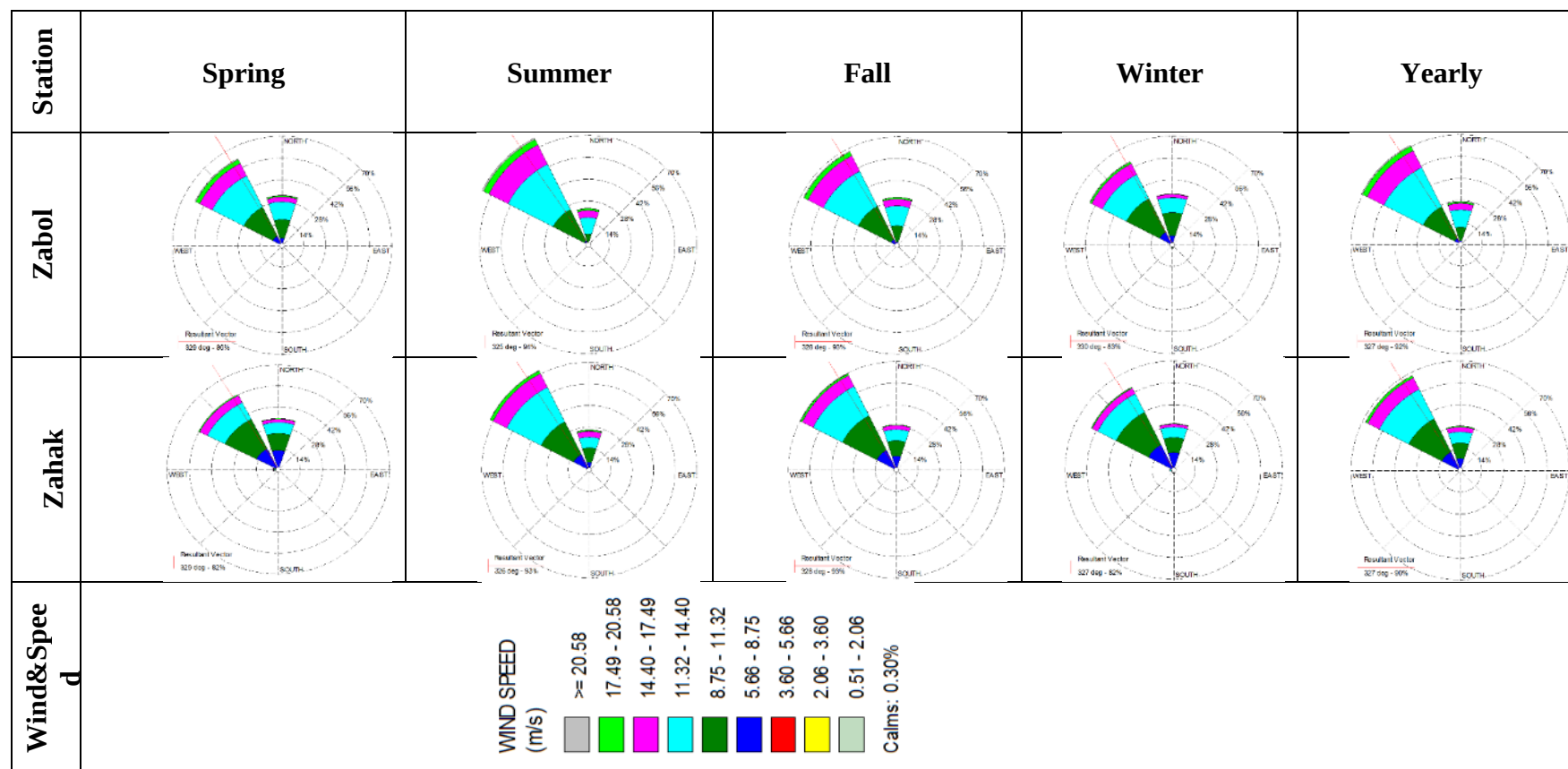


شکل ۱۰- فراوانی ماهانه رخداد گردوغبار طی سالهای ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ به تفکیک ایستگاه همدیدی و نوع پدیده‌های گردوغباری

Figure 10. Monthly frequency of dust events from 1992 to 2018, by synoptic station and dust event type

شرایط محیطی و اقلیمی محلی مانند دما، رطوبت، تبخیر، سرعت باد، جهت باد و وضعیت فیزیکی خاک قرار دارد. با این حال، رابطه قوی و مثبت بین وقوع طوفان‌های گردوغبار (مجموع کد پدیده ۳۵-۳۰) در این دو منطقه ($R=0/83$) نشان‌دهنده تأثیر عوامل فرامحلی بر این پدیده است. گل‌غبارهای فصلی و سالانه که نشان‌دهنده سمت و سرعت بادهای مولد وقایع گردوغباری هستند (شکل ۱۱) نشان می‌دهند که بادهای غالب شمال غربی و شمالی، به‌ویژه در اواخر بهار و تشدید آنها در فصل تابستان (شکل ۱۱)، نقش مهمی در وقوع طوفان‌های گردوغبار در این دو منطقه دارند. به عبارت دیگر، طوفان‌های گردوغبار و همراهی آنها با شن و ماسه، به‌ویژه در منطقه زابل، تحت تأثیر بادهای غالب بسترهای خشک هامون‌های هیرمند به‌عنوان منبع اصلی ذرات گردوغبار و شن و ماسه قرار دارند (Arab et al., 2015).

بررسی همبستگی فراوانی رخداد گردوغبار
بررسی همبستگی فراوانی مجموع رخدادهای به‌وقوع‌پیوسته گردوغبار در دو ایستگاه زابل و زهک ($R=0/41$)، همچنین مجموع روزهای توأم با گردوغبار در این دو ایستگاه ($R=0/43$) نشان داد، رابطه ضعیف تا نسبتاً متوسطی بین این دو ایستگاه از نظر وقایع گردوغباری و روزهای توأم با گردوغبار وجود دارد. اما بررسی وقایع گردوغباری به تفکیک کد پدیده‌های گردوغباری نتایج بهتری را نشان داد. ضرایب همبستگی مثبت بین فراوانی رخدادهای گردوغبار با کدهای ۰۶ و ۰۷ در ایستگاه‌های هواشناسی زابل و زهک (به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۳۲) نشان‌دهنده رابطه بسیار ضعیف تا ضعیف بین این پدیده‌ها در این دو ایستگاه است. این بدان معناست که وقوع گردوغبار محلی (کد ۰۷) و خارج از ایستگاه (کد ۰۶) در هریک از مناطق زابل و زهک تحت تأثیر



شکل ۱۱- گل‌غبارهای سالانه و فصلی در ایستگاه‌های همدید زابل و زهک (۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸)

Figure 11. Annual and seasonal dust rose diagrams at the synoptic stations of Zabol and Zahak (1992–2018)

(EC) به عنوان نماینده شوری آب از طریق محاسبه ضریب همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($\alpha=0/05$) در جدول ۵ نشان داده شده است.

بررسی ارتباط فراوانی رخداد گردوغبار و روزهای توأم با گردوغبار با شوری آب (EC)

نتایج بررسی و تجزیه و تحلیل همبستگی بین فراوانی رخداد و روزهای توأم با گردوغبار با هدایت الکتریکی

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین فراوانی رخداد گردوغبار و روزهای توأم با گردوغبار با شوری آب (EC)

Table 5. Correlation coefficients between the frequency of dust events and dusty days with water salinity (EC)

Zahak		Zabol		Average EC ($\mu\text{s/cm}$)	Salinity (EC) of Hydrometric Staion
Dusty day	Dust event	Dusty day	Dust event		
0.44	0.15	-0.27	-0.48	849	Milak
0.15	0.11	0.51	0.48	881	Shirdel Bridge
0.44	0.30	0.01	0.18	944	Jarike
0.52	0.42	-0.10	0.07	893	Kahak Dam
0.82	0.67	0.36	0.21	1018	Chahname outlet
0.94	0.96	0.58	0.28	2935	Shile Brigde
-0.05	-0.22	-0.32	-0.30	4195	Lar

ممکن است با رویدادهای گردوغبار کمتر همراه باشد که می توان آن را به عواملی مانند افزایش رطوبت خاک یا کاهش فرسایش بادی در این منطقه نسبت داد.

به طور کلی رابطه بین شوری آب و رویدادهای گردوغبار پیچیده است و بین مناطق مختلف متفاوت است. درحالی که شوری آب و در پی آن شوری خاک می تواند در وقوع وقایع گردوغبار نقش داشته باشد، عوامل دیگری مانند الگوهای باد، تغییرات کاربری زمین و تغییرات آب و هوایی منطقه ای نیز احتمالاً بر فراوانی و شدت رویداد گردوغبار تأثیر می گذارد.

بحث

افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش نیازها از یکسو و آلودگی و نزول کیفیت منابع آب های سطحی و زیرزمینی ناشی از توسعه صنعت و کشاورزی و افزایش مصارف شرب و بهداشت از سوی دیگر موجب شده است تا در سال های اخیر به موضوع کیفیت منابع آب های سطحی و زیرزمینی توجه بیشتری شود.

این تجزیه و تحلیل وجود یک رابطه را بین هدایت الکتریکی (EC) و رویدادهای گردوغبار در منطقه زهک و زابل نشان می دهد. ایستگاه های آب سنجی نزدیک به ایستگاه همدیدی زهک (جریکه، سد کهک، خروجی چاه نیمه و پل شیله) به طور کلی همبستگی مثبتی را بین رویدادهای گردوغبار و مقادیر EC نشان می دهند، به شکلی که شوری بالاتر به رویدادهای گردوغباری بیشتر و افزایش فعالیت گردوغبار کمک می کند.

ایستگاه های آب سنجی نزدیک تر به ایستگاه همدیدی زابل (میلک و پل شیردل) رابطه متفاوت تری را بین مقادیر EC و رویدادها و روزهای گردوغباری نشان می دهند. ایستگاه آب سنجی پل شیردل با رویدادها و روزهای گردوغباری در ایستگاه همدیدی زابل همبستگی مثبت و خوبی را نشان می دهد، درحالی که ایستگاه آب سنجی میلک با رویدادها و روزهای گردوغباری در ایستگاه همدیدی زابل همبستگی متوسط منفی و با ایستگاه زهک رابطه مثبت نسبتاً ضعیف تا متوسط دارد. این همبستگی منفی با ایستگاه آب سنجی میلک نشان می دهد، سطوح شوری بالاتر

حداکثر ۶ میلی‌اکی‌والان در لیتر در ایستگاه لار پایین، منیزیم بین حداقل ۰/۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر در ایستگاه پایاب سد کانال ۱- میلک تا حداکثر ۱۱/۷ میلی‌اکی‌والان در لیتر ایستگاه پل شيله، سدیم بین حداقل ۰/۱ میلی‌اکی‌والان در لیتر در ایستگاه پایاب سد کهک تا حداکثر ۱۰۶/۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر در ایستگاه لار پایین و پتاسیم بین حداقل صفر تا ۱/۸ میلی‌اکی‌والان در لیتر در ایستگاه پل شيله متغیر است. به‌طور کلی، غلبه کاتیون‌ها به ترتیب سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم و غلبه آنیون‌ها به ترتیب کلرور، سولفات، بی‌کربنات و کربنات است.

این داده‌ها نشان‌دهنده تغییرات قابل‌توجه در پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف هستند. ایستگاه‌هایی مانند پل شيله و لار پایین دارای مقادیر بالای EC و TDS بوده و نشان‌دهنده وجود مقادیر بالای نمک‌ها و مواد معدنی محلول هستند.

سطح pH یک شاخص مهم برای کیفیت آب است. دامنه تغییرات pH در حوزه آبخیز بین ۷/۶ (ایستگاه لار پایین) و ۹/۴ (ایستگاه جریکه) بوده و در اغلب ایستگاه‌ها در محدوده قلیایی (بالتر از ۷) قرار دارند. این نتایج نشان‌دهنده تفاوت قابل‌توجهی در سطوح اسیدی یا قلیایی آب در این دو مکان است. تغییر در مقادیر pH را می‌توان به عوامل مختلفی از جمله وجود آلاینده‌ها، مواد معدنی و سازندهای طبیعی زمین‌شناسی نسبت داد. آب‌های شور با تغییرات pH می‌توانند ساختار خاک را تخریب کرده، تنوع زیستی را کاهش دهند و شرایط مناسب را برای فرسایش خاکی و ایجاد کانون‌های گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک فراهم کنند (Turan, 2021; Hartmann & Six, 2023).

مقادیر SAR و Na% در ایستگاه‌های مختلف به‌طور گسترده‌ای متغیر است. ایستگاه‌هایی مانند پل شيله و لار پایین مقادیر بسیار بالایی از SAR و Na% را نشان می‌دهند که ممکن است ضمن شوری خاک برای کشاورزی مشکلاتی را ایجاد کنند (Derikvandi et al., 2021). غلظت یون‌های مختلف در ایستگاه‌های مختلف به‌شدت

حوزه آبخیز هامون‌هیرمند در جنوب‌شرقی ایران به‌دلیل محیط خشک، همواره با چالش کمبود آب مواجه است و در معرض تهدیدات تغییرات آب‌وهوایی، آلودگی و شیوه‌های مصرف ناپایدار قرار دارد. کشاورزی که یکی از مصرف‌کنندگان اصلی آب‌های سطحی منطقه است، نیازمند ارزیابی کیفیت آب برای آبیاری به‌منظور اطمینان از استفاده پایدار و کارآمد می‌باشد. استفاده از آب‌های نامناسب و شور برای کشاورزی می‌تواند منجر به تخریب سرزمین و خاک، افزایش شوری خاک، کاهش کیفیت خاک، تخریب پوشش گیاهی و در نهایت فرسایش خاکی شود. این فرسایش، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اراضی کشاورزی را به کانون‌های تولید گردوغبار تبدیل می‌کند. این پژوهش بر بررسی کیفیت آب‌های سطحی حوزه هامون‌هیرمند با تأکید بر استفاده پایدار کشاورزی برای جلوگیری از شورش‌دگی و تخریب خاک متمرکز است.

نتایج بررسی کیفیت آب‌های سطحی و تجزیه و تحلیل آمار کیفی در بازه‌های مختلف در این حوزه نشان داد، در بین ایستگاه‌های انتخابی، تغییرات میزان هدایت الکتریکی اندازه‌گیری‌شده بین ۱۳۳۱۰ میکروموس بر سانتی‌متر در ایستگاه لار پایین تا حداقل ۲۱۰ میکروموس بر سانتی‌متر در ایستگاه پایاب سد کهک می‌باشد. دامنه تغییرات pH آب رودخانه‌ها در محدوده مطالعاتی از ۷/۶ در ایستگاه لار پایین تا ۹/۴ در ایستگاه جریکه متغیر بوده است.

در میان آنیون‌ها، غلظت یون بی‌کربنات از حداقل ۲ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه پایاب سد کهک تا حداکثر ۱۲ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه لار پایین، غلظت یون کربنات از صفر در ایستگاه پایاب سد کهک تا ۱/۶ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه لار پایین، غلظت یون کلرید از ۲ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه پایاب سد کهک تا ۸/۷۶ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه لار پایین و غلظت یون سولفات از صفر در ایستگاه پایاب سد کهک تا ۲/۴۶ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه پل شيله در نوسان بوده است.

دامنه تغییرات کاتیون‌های کلسیم بین حداقل ۰/۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر در ایستگاه پایاب سد کهک تا

رخ داده است.

این یافته‌ها نشان می‌دهند، سیستم هیدرولوژیکی حوزه هامون هیرمند به نوسانهای آب‌وهوایی حساس است و تأخیر در سطوح شوری به خشک‌سالی اهمیت پایش پایدار کیفیت آب‌های سطحی را تأکید می‌کند. برای کاهش اثرهای خشک‌سالی بر شوری آب، توسعه راهبردهایی مانند اجرای سیستم‌های آبیاری کارآمد، ترویج شیوه‌های صرفه‌جویی در آب و تقویت زیرساخت‌های ذخیره آب ضروریست. این اقدامات می‌توانند به اطمینان از پایداری بلندمدت این منبع آب حیاتی کمک کنند.

از سویی، روند افزایشی شوری آب در حوزه هامون هیرمند، علاوه بر تأثیر بر کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی، پیامدهای جدی محیط‌زیستی دارد.

مطالعات متعددی بر تأثیر خشک‌سالی بر کیفیت آب متمرکز شده‌اند. Pekel و همکاران (۲۰۱۶) یک نقشه‌برداری با وضوح بالا از آب‌های سطحی جهانی و تغییرات بلندمدت آن انجام دادند و شواهدی از تغییرات کمی و کیفی آب‌های سطحی در طول زمان یافتند. در این بررسی، آنان دریافتند که شوری یکی از اثرهای کلیدی پس از خشک‌سالی‌های طولانی‌مدت در این آب‌ها است. یون‌های سدیم و منیزیم در بین کاتیون‌ها و یون‌های کلر و سولفات در بین آنیون‌ها بیشترین غلظت را در آب‌های سطحی دارند و معمولاً در ماه‌های آخر تابستان و اوایل پاییز به اوج غلظت می‌رسند. یون‌های کلرید بیشتر از انحلال رسوبات نمک و هوازدهی سنگ‌های غنی از کلرید حاصل می‌شوند، درحالی‌که یون‌های سولفات از اکسیداسیون مواد آلی و هوازدهی سنگ‌های غنی از سولفات به دست می‌آیند. این آنیون‌ها در حفظ تعادل pH آب‌های سطحی و تنظیم غلظت یون‌های دیگر نقش حیاتی دارند. نتایج تحقیقات [Goljan](#) و همکاران (۲۰۰۸)، [Kumar](#) و همکاران (۲۰۱۵)، [Watts](#) و همکاران (۲۰۱۵)، [Boateng](#) و همکاران (۲۰۱۶) و [Kaur](#) و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیانگر این موضوع است که غلظت یون‌ها در آب‌های سطحی و زیرزمینی در فصول گرم و کم‌بارش و با افزایش دما و

متغیر است. ایستگاه پل شيله دارای غلظت‌های بسیار بالایی از یون‌های مختلف است که می‌تواند نشان‌دهنده ورود آلودگی‌های نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای به آب باشد.

مقادیر دبی آب نیز در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است. برخی نقاط مانند پل شيله و لار پایین دارای دبی‌های بسیار بالایی هستند که ممکن است به دلیل ورود آب از منابع مختلف (سرریز هامون هیرمند) یا تخلیه‌های صنعتی باشد. تأثیر این دبی‌های بالاتر و شوری بالای آب می‌تواند به فرسایش خاکی، تخریب اراضی و تبدیل آنها به کانون‌های تولید گردوغبار کمک کند.

یافته‌های مطالعه بیانگر تغییرپذیری سطوح EC و TDS در آب‌های سطحی است و تفاوت قابل‌توجه بین بالاترین و کمترین مقادیر ثبت‌شده نشان‌دهنده ماهیت ناهمگون کیفیت آب در حوزه است که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیرات بالقوه بر شاخص کلی کیفیت آب در منطقه باشد که مطالعات [Musolf](#) و همکاران (۲۰۱۷) و [Kükrer](#) و [Mutlu](#) (۲۰۱۹) تأییدی بر این مطلب است.

روند تغییرات شوری (کموگراف) نشان داد، در همه ایستگاه‌های حوزه آبخیز به‌جز پل شيله، این روند افزایشی بوده و طی سال‌های مورد مطالعه بر میزان شوری آب افزوده شده که این افزایش مشاهده‌شده در ایستگاه‌های جریکه (ورودی سد چاه‌نیمه) و پل شیردل از شیب ملایم‌تری برخوردار است. روند کاهشی مشاهده‌شده با شیب ملایم در ایستگاه پل شيله ناشی از کاهش میزان شوری از آوریل سال ۱۹۹۲ به بعد می‌باشد که کل روند را تحت تأثیر خودش قرار داده است. با توجه به کموگراف معرف این محدوده‌ها، مشخص می‌شود که حوزه در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۱۹۹۷-۱۹۹۰ دارای بیشترین میزان شوری آب و در سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۸ دارای کمترین میزان شوری بوده است. با توجه به این موضوع که در سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۸ و ۲۰۱۰-۲۰۱۰، خشک‌سالی‌ها در این حوزه ابعاد گسترده‌تر و شدیدتری داشته‌اند ([Darroudi et al., 2022](#))، می‌توان استنباط کرد که شوری آب با وقفه زمانی و بعد از یک دوره خشک در منابع آبی

مشخص می‌شود. رخساره‌های هیدروشیمیایی آب توسط ترکیبی از عوامل زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی و توپوگرافی کنترل می‌شوند که بر حلالیت و غلظت یون‌ها در آب تأثیر می‌گذارند. به‌طور کلی، وجود تیپ بی‌کربناته در ابتدای دشت و تیپ سولفات‌ها در مرکز حوزه به دلیل حضور سولفات‌ها در مراکز دشت‌ها و بی‌کربنات‌ها در نواحی کوهستانی است. سولفات‌ها در آب محلول‌تر از بی‌کربنات‌ها هستند و باعث می‌شوند آب تیپ سولفات‌ها پیدا کند. نتایج مطالعات [Guoliang](#) و همکاران (۲۰۱۶) در منطقه نیمه‌خشک شمال‌غربی چین که وجود آب غنی از سولفات را در مناطق خاص برجسته می‌کند، با این نتایج مطابقت دارد. از نظر سختی، آب در بالادست حوزه نسبتاً سخت بوده و با حرکت به سمت پایین‌دست، به سختی آن افزوده می‌شود.

بررسی رابطه بین هدایت الکتریکی، جامدات کل محلول و میزان آب‌دهی در آب‌های سطحی حوزه آبخیز نشان داد، EC و TDS که بیانگر شوری هستند، رابطه مستقیم با یکدیگر و رابطه معکوس با دبی آب دارند. بیشترین مقدار EC و TDS در ماه‌ها و فصول گرم سال و کمترین میزان دبی در همین زمان‌ها مشاهده شد.

نتایج این مطالعه همچنین تغییرات فصلی قابل‌توجهی را در میزان EC، TDS و دبی آب نشان داد. بیشترین مقادیر EC و TDS در گرم‌ترین ماه‌های سال و کمترین میزان دبی آب در همان دوره مشاهده شد. این روند را می‌توان به افزایش میزان تبخیر و کاهش بارندگی در ماه‌های تابستان نسبت داد که منجر به افزایش غلظت مواد جامد محلول در آب می‌شود. در مقابل، ماه‌های سردتر سال با میزان بارندگی بالاتر و کاهش تبخیر مشخص می‌شوند که در نتیجه مقادیر EC و TDS پایین‌تر و میزان دبی آب بیشتر می‌شود.

از نظر تناسب آب برای آبیاری و کشاورزی در سطح حوزه آبخیز و در همه ایستگاه‌های آب‌سنجی به جز پل شیشه و لار پایین (شکل ۶)، مطابق با رده‌بندی Wilcox طی دوره مورد مطالعه دارای کیفیت کمی شور تا شور بوده (۷۸/۲)

کاهش بارندگی به‌ویژه در فصول گرم سال افزایش می‌یابد و از کیفیت آب کاسته می‌شود. بررسی غلظت یون‌ها نشان می‌دهد، مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها به سمت سال‌های پایانی دوره‌های مورد بررسی (۱۹۸۹-۱۹۹۸، ۱۹۹۹-۲۰۰۸ و ۲۰۰۹-۲۰۱۵) افزایش یافته است که نتایج [Lotfinasabas](#) و همکاران (۲۰۲۲) نیز تأییدی بر این مطلب می‌باشد. این تغییر به رخساره‌های هیدروشیمیایی متمایز آب در مناطق مختلف حوزه نسبت داده می‌شود. به‌طور خاص، شیمی آب را می‌توان به سه نوع اصلی دسته‌بندی کرد: آب بی‌کربنات-سدیم در بالادست یا ابتدای دشت، آب سولفات-سدیک و بی‌کربنات-سدیک در میانه دشت و آب کلرید-سدیک در دشت پایین‌دست، آب بی‌کربنات سدیم غالب در بالادست که نتیجه تعامل بین آب و سازندهای زمین‌شناسی در نواحی مرتفع اطراف است. حلالیت بالای بی‌کربنات‌ها در این مناطق به افزایش غلظت آنها در آب کمک می‌کند. در مقابل، انواع آب سولفات سدیم و بی‌کربنات سدیم رایج در دشت میانی تحت تأثیر حلالیت بالاتر سولفات‌ها در این مناطق قرار دارند. وجود سولفات‌ها در آب نشان‌دهنده زمین‌شناسی منطقه است که دارای مواد معدنی غنی از سولفات می‌باشد.

در پایین‌دست دشت، نوع غالب آب کلروره سدیک است که نشان‌دهنده ویژگی‌های ژئوشیمیایی متمایز این منطقه است. غلظت بالای کلرید در آب به علت برهم‌کنش آب با سنگ‌های اطراف سرشار از مواد معدنی کلریددار است. وجود کلرید در آب نیز حکایت از درجه بیشتر تبخیر و غلظت کلر در این منطقه دارد. تغییر در رخساره‌های هیدروشیمی آب بیشتر توسط تفاوت‌های زمین‌شناسی و هیدرولوژی منطقه کنترل می‌شود. حلالیت یون‌های مختلف مانند بی‌کربنات‌ها، سولفات‌ها و کلریدها نقش مهمی در ترکیب شیمیایی آب دارد. علاوه‌براین، توپوگرافی منطقه شامل کوه‌ها و دشت‌ها نیز بر جریان و شیمی آب تأثیر می‌گذارد. تجزیه و تحلیل غلظت‌های یونی یک سیستم هیدروشیمیایی پیچیده و پویا را نشان می‌دهد که با تغییرات متمایز در غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در مناطق مختلف

زهک و زابل در سال‌های خاصی شاهد افزایش قابل توجه وقایع گردوغبار بوده‌اند. زهک در حدود سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ و زابل در حدود سال ۲۰۰۱، اوج این رویدادها را تجربه کرده‌اند.

به‌طور کلی، منطقه زابل در مقایسه با زهک، تعداد وقایع گردوغبار بیشتری را تجربه کرده است. این تفاوت به عوامل مختلفی مانند موقعیت جغرافیایی، نزدیکی به منابع گردوغبار (بستر خشک هامون‌های هیرمند) و الگوهای غالب باد مرتبط می‌باشد. تغییرات اقلیمی از جمله افزایش دما و کاهش بارندگی، تغییرات کاربری اراضی مانند جنگل‌زدایی، چرای بیش‌ازحد دام و تغییرات در الگوهای باد عواملی هستند که می‌توانند بر وقوع و شدت پدیده گردوغبار تأثیرگذار باشند (Arab et al., 2015). مطالعه روابط شوری آب با رخداد گردوغبار نشان داد، سطوح بالاتر شوری در منطقه زهک ممکن است با کاهش رطوبت خاک و افزایش حساسیت خاک به فرسایش، به رویدادهای گردوغبار کمک کند. اما در منطقه زابل، عوامل دیگری ممکن است غالب باشند. روابط متفاوت بین رویدادهای گردوغبار و شوری در منطقه زهک و زابل اهمیت در نظر گرفتن شرایط محیطی منطقه را برجسته می‌کند و نشان می‌دهد که رویدادهای گردوغبار تحت تأثیر ترکیبی از عوامل از جمله شوری، الگوهای باد، کاربری زمین و تغییرات آب‌وهوایی است.

به‌طور کلی، تحلیل پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، کیفیت آب در حوزه آبخیز هامون‌هیرمند تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی است. ایستگاه‌های پل شیله و لار پایین به دلیل داشتن مقادیر بالای پارامترهای مختلف، نیازمند توجه ویژه برای مدیریت و کاهش آلودگی‌ها هستند. داده‌های به‌دست‌آمده برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه در مناطقی که به دلیل عوامل متعدد با چالش‌های کیفیت آب مواجه هستند، بسیار مفید بوده و نشان‌دهنده اهمیت مدیریت منابع آبی در این منطقه است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، بهبود کیفیت آب و کاهش شوری نیازمند

درصد) و برای کشاورزی مناسب می‌باشند و در ایستگاه‌های پل شیله و لار پایین عمدتاً در رده C4-S4 و C4-S3 (۶۶/۷ درصد) طبقه‌بندی شده و به‌عبارتی خیلی شور و نامناسب برای آبیاری و کشاورزی هستند و بر غلظت املاح به‌ویژه آنیون سولفات و کلر و کاتیون سدیم افزوده می‌شود. نکته قابل توجه که از نتایج استنباط می‌شود آن است که از کیفیت آب روخانه هیرمند با ورود به چاه‌نیمه‌ها که بیشتر برای ذخیره آب شرب مردم منطقه سیستان و شهر زاهدان و تا حدی کشاورزی استفاده می‌شود، کاسته شده است، به‌طوری‌که طی سال‌های مورد مطالعه بر کیفیت کمی شور ۸/۱ درصد افزوده شده و ۱۱/۸ درصد کیفیت آب به سمت خیلی شور و غیرقابل استفاده برای کشاورزی سوق پیدا کرده است. این موضوع ممکن است به دلیل آلودگی‌های طبیعی، آلودگی‌های انسانی و عوامل اقلیمی باشد که یافته‌های تحقیق [Islam](#) و همکاران (۲۰۲۲) تأییدی بر این موضوع است. چاه‌نیمه‌ها در منطقه‌ای خشک و نیمه‌بیابانی واقع شده‌اند که در معرض طوفان‌های شن و گردوغبار قرار دارند، این موضوع موجب می‌شود تا آب چاه‌نیمه‌ها به‌طور طبیعی آلوده به ذرات معلق و رسوبات شود و بر میزان شوری آن افزوده گردد، از سویی فعالیت‌های کشاورزی و آبی‌پروری در منطقه می‌تواند منجر به ورود آلاینده‌هایی مانند کودها، سموم و فاضلاب به آب چاه‌نیمه‌ها شود. به‌علاوه به دلیل گرمای زیاد هوا در منطقه سیستان، میزان تبخیر آب از سطح چاه‌نیمه‌ها بالا است، در نتیجه این موضوع موجب افزایش غلظت املاح در آب و شور شدن آن می‌شود. [Lashkarbolooki](#) و همکاران (۲۰۱۴) و [Van Vliet](#) و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی نقش طوفان‌های گردوغبار و اثرهای خاص رسوب گردوغبار بر شوری آب‌های سطحی و سازوکارهای اساسی که این تغییرات را هدایت می‌کند، پرداختند. آنان دریافتند که رسوب ذرات گردوغبار ناشی از این طوفان‌ها می‌تواند نمک‌ها و مواد معدنی مختلف را وارد آب‌های سطحی کند و سطح شوری آب را افزایش دهد.

نتایج مطالعه رخداد گردوغبار نشان داد، هر دو منطقه

و شناسایی بهترین روش‌های مدیریتی، به‌همراه توسعه و اجرای برنامه‌های کاهش آلودگی از منابع مختلف، می‌تواند به بهبود وضعیت کیفی آب‌های سطحی کمک کرده و درنهایت به حفاظت از محیط‌زیست و افزایش پایداری منابع آبی منجر شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از دست‌اندرکاران مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور (شماره پروژه: ۰۱-۰۹-۰۹-۰۲۸-۹۹۰۵۴۲-۹۹۰۲۵) و سازمان حفاظت محیط‌زیست به‌دلیل حمایت‌های مالی و پشتیبانی ارائه‌شده و از وزارت نیرو بابت ارائه داده‌های ارزشمند آب زیرزمینی برای کمک به تحقیقات قدردانی می‌کنند.

اقدامات جامع مدیریتی و نظارت مستمر بر منابع آبی است تا بتوان اثرهای منفی عوامل اقلیمی و انسانی را برای حفاظت از محیط‌زیست کاهش داد. درحالی‌که شوری می‌تواند یک عامل کمک‌کننده به وقوع رویدادهای گردوغبار در برخی مناطق باشد، اما تنها عامل تعیین‌کننده نیست. بنابراین، درک جامع پدیده گردوغبار مستلزم درنظرگرفتن طیف وسیع‌تری از عوامل محیطی و تعاملات آنهاست (Rostami & Hosseini, 2018). بنابراین، برای بهبود کیفیت آب در حوزه آبخیز هامون‌هیرمند، پیشنهاد می‌شود برنامه‌های منظم پایش کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف ایجاد شده و از فناوری‌های پیشرفته برای اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی و فیزیکی استفاده شود. همچنین، تدوین و اجرای سیاست‌ها و راهبردهای مؤثر برای مدیریت بهینه منابع آب، شامل استفاده از تکنیک‌های کشاورزی پایدار و بهره‌وری بالا از منابع آب موجود ضروریست. برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای جوامع محلی، کشاورزان و صنایع درباره اهمیت حفاظت از منابع آبی و استفاده صحیح از آفت‌کش‌ها و کودها نیز مهم است. انجام تحقیقات بیشتر و جامع‌تر درباره تأثیرات شوری و آلودگی‌های شیمیایی بر کیفیت آب و محیط‌زیست

References

- Arab, A., Mirshkar, H. and Akbari Nodeh, M., 2015. Statistical analysis of dust storms in Zabol and providing solutions to reduce dust particles. International Congress on Earth Sciences. SID. <https://sid.ir/paper/838211/fa>
- Baptista, A. T. A., Coldebella, P. F., Cardines, P., Gomes, R. G., Vieira, M. F., Bergamasco, R. and Vieira, A., 2015. Coagulation-flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. Chemical Engineering Journal, 276: 166-173. <http://doi.org/10.1016/J.CEJ.2015.04.045>
- Boateng, T., Opoku, F., Acquah, S. and Akoto, O., 2016. Groundwater quality assessment using statistical approach and water quality index in Ejisu-Juaben Municipality, Ghana. Environmental Earth Sciences, 75: 1-14. <http://doi.org/10.1007/s12665-015-5105-0>
- Burrell, A.L., Evans, J.P. and De Kauwe, M.G., 2020. Anthropogenic climate change has driven over 5 million km² of drylands towards desertification. Nature communications, 11(1): 1-11. <http://doi.org/10.1038/s41467-020-17710-7>
- Carvalho, F.P., 2017. Pesticides, environment, and food safety. Food and energy security, 6(2): 48-60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Center for Development and Foresight Studies (CDFS) of the Plan and Budget Organization, 2018. Assessment of the Impacts of Neighboring Countries' Water Management Programs on the Shared Transboundary Basins of Iran. Plan and Budget Organization, Research Report, Tehran, Iran (In Persian).
- Clemson News., 2023. Clemson awarded USDA grant to study saline-water irrigation to grow salt-tolerant crops. Available at <https://news.clemson.edu/clemson-awarded-usda-grant-to-study-saline-water-irrigation-to-grow-salt-tolerant-crops>
- Daneshmehr, H. and Hedayat, O., 2021. Urban subaltern areas and residents' narrative of providing services water and wastewater company (institutional ethnography of urban subaltern of Sanandaj city).

- Journal of Water and Wastewater, 31(7): 102-119. <http://doi.org/10.22093/wwj.2020.217387.2981> (In Persian with English summary).
- Darroudi, H., Khosroshahi, M. and Shahabi, M., 2022. Investigating variations in climatic factors and drought trends in Sistan and Baluchestan Province. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(32): 15-30. <http://doi.org/10.22052/deej.2021.10.32.11>
 - Dashti Marouli, M., Qara Mahmudloo, M. and Pourghasemi, F., 2013. Determining the water quality of the river Normbab using graphical methods. The 9th seminar on irrigation and evaporation reduction. Kerman. Iran, 5 February (In Persian with English summary).
 - Derikvandi, M., Zeinivand, H., Tahmasebipour, N. and Haghizadeh, A., 2021. Application of Principle of Maximum Entropy in Determining the Optimum Number of Surface Water Quality Monitoring Stations. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(3): 783-794. <http://doi.org/10.22059/ijswr.2021.315996.668848>
 - Edokpayi, J.N., Odiyo, J.O. and Durowoju, O.S., 2017. Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: a case study of South Africa. *Water quality*, 10(66561): 10-5772. <http://doi.org/10.5772/66561>.
 - Fetter, C.W., 1999. *Contaminant Hydrogeology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ., 506p.
 - Goljan, F., Karbasi, A.R., Hajizadeh Zaker, N. and Nabi Bidhendi, G.R., 2008. Determining the qualitative class of water in the rivers of Nur County (Lavijrud, Sabzeh Roud, and Goland Roud). *Journal of Water Science Research*, 1(1): 48-35 (In Persian with English summary).
 - Guoliang, C. A. O., Chunmiao, Z. H. E. N. G. and Simmons, C. T., 2016. Groundwater recharge and mixing in arid and semiarid regions: Heihe River Basin, Northwest China. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 90(3): 971-987.
 - Han, D., Song, X., Currell, M., Cao, G., Zhang, Y. and Kang, Y., 2011. A survey of groundwater levels and hydrogeochemistry in irrigated fields in the Karamay Agricultural Development Area, northwest China: Implications for soil and groundwater salinity resulting from surface water transfer for irrigation. *Journal of Hydrology*, 405: 217-234. <http://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2011.03.052>
 - Hartmann, M. and Six, J., 2023. Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(1): 4-18.
 - Hounslow, A. W., 1995. *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC Press (Lewis Publishers), 416p.
 - Islam, T., Repon, M., Islam, T., Sarwar, Z. and Rahman, M.M., 2022. Impact of textile dyes on health and ecosystem: a review of structure, causes, and potential solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, 30: 9207-9242. <http://doi.org/10.1007/s11356-022-24398-3>
 - Johnson, A. C., Ball, H., Cross, R., Horton, A. A., Jürgens, M. D., Read, D. S., Vollertsen, J. and Svendsen, C., 2020. Identification and quantification of microplastics in potable water and their sources within water treatment works in England and Wales. *Environmental Science and Technology*, 54(19): 12326-12334.
 - Kaur, T., Bhardwaj, R. and Arora, S., 2017. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab. *India. Applied Water Science*, 7: 3301-3316. <http://doi.org/10.1007/s13201-016-0476-2>
 - Kazemi Asl, J., 2013. The investigation of chemical quality of surface water in the North of Dezful in Khuzestan Province. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 2: 638. <https://european-science.com/eojnss/article/view/91>
 - Kimura, A.H. and Kinchy, A., 2016. Citizen Science: Probing the Virtues and Contexts of Participatory Research. *Engaging Science, Technology, and Society*, 2: 331-361. <http://doi.org/10.17351/ESTS2016.99>
 - Kükre, S. and Mutlu, E., 2019. Assessment of surface water quality using water quality index and multivariate statistical analyses in Saraydüzü Dam Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191: 1-16. <http://doi.org/10.1007/s10661-019-7197-6>
 - Kumar, S.K., Logeshkumaran, A., Magesh, N., Godson, P.S. and Chandrasekar, N., 2015. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science*, 5: 335-343. <http://doi.org/10.1007/s13201-014-0196-4>
 - Lashkarbolooki, M., Ayatollahi, S. and Riazi, M., 2014. Effect of Salinity, Resin, and Asphaltene on the Surface Properties of Acidic Crude Oil/Smart Water/Rock System. *Energy & Fuels*, 28: 6820-6829. <http://doi.org/10.1021/EF5015692>.
 - Li, P., Li, X., Meng, X., Li, M. and Zhang, Y., 2016. Appraising Groundwater Quality and Health Risks from Contamination in a Semiarid Region of Northwest China. *Exposure and Health*, 8: 361-379. <http://doi.org/10.1007/s12403-016-0205-y>
 - Li, P., Qian, H. and Wu, J., 2018. Conjunctive use of groundwater and surface water to reduce soil salinization in the Yinchuan Plain, North-West China. *International Journal of Water Resources Development*, 34(3): 337-353. <http://doi.org/10.1080/07900627.2018.1443059>

- Little, K.E., Hayashi, M. and Liang, S., 2016. Community-based groundwater monitoring network using a citizen-science approach. *Groundwater*, 54(3): 317-324. <http://doi.org/10.1111/gwat.12336>
- Lotfinasabasl, S., Gohardoust, A., Dargahian, F. and Khosroshahi, M., 2022. Analysis of dusty and erosive winds in Kerman province in order to provide a calendar for forecasting and managing dust control. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 19(2): 179-211. <http://doi.org/10.22092/ijfrpr.2021.352899.1458>
- Maroofi, S. and Bayat, R., 2009. Chemistry Quality Review of Karaj River. Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran. Gorgan, Iran, 22, May. <https://sid.ir/paper/817236/fa>. (In Persian).
- May, T., 2005. Gilles Deleuze: An introduction. New York: Cambridge University Press Univ. Press, <http://doi.org/10.1017/CBO9781139165419>
- Musolff, A., Fleckenstein, J., Rao, P.S. and Jawitz, J., 2017. Emergent archetype patterns of coupled hydrologic and biogeochemical responses in catchments. *Geophysical Research Letters*, 44: 4143-4151. <http://doi.org/10.1002/2017GL072630>
- Nasri, N., Mohammadzadeh, H. and Ibrahimpour, S., 2010. Hydrogeochemical and geochemical study of the Abrisham Dam watershed, Sahand Dam, First Applied Research Conference on Iranian Water Resources. Kermanshah. <https://civilica.com/doc/113085> (In Persian).
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T. and Gwilt, A., 2020. The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1: 189-200. <http://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N. and Belward, A.S., 2016. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633): 418-422.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25: 914-928. <http://dx.doi.org/10.1029/TR025i006p00914>.
- Preparation of Hydrological Balances of the Hirmand Dam Basin. 2012. Water Resources and Uses Report. Volume Eleventh. Iran Water Resources Management Company (In Persian).
- Rezaei Moghaddam, M., Nicjoo, M., Hejazi, M., Khezri, S. and Kazemi, A., 2017. The Effect of Hydro-geomorphological Factors on Quality Changes in Severe Rood in Different Stations in the Years 2001-2013. *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(2): 395-405. <http://doi.org/10.22059/ije.2017.61476>.
- Rostami, D. and Hosseini, S.A., 2018. Analysis and Tracking Dust Phenomenon in South and Southeast of Iran by using HYSPLIT Model and the Principles of Remote Sensing. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(3): 103-119. <http://doi.org/10.22059/jsaeh.2018.2759.668848>
- Scanlon, B.R., Faunt, C.C., Longuevergne, L., Reedy, R.C., Alley, W.M., McGuire, V.L. and McMahon, P.B., 2012. Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley. *Proceedings of the national academy of sciences*, 109(24): 9320-9325. <https://doi.org/10.1073/pnas.1200311109>
- Shammi, M., Karmakar, B., Rahman, M.M., Islam, M.S., Rahman, R. and Uddin, M.K., 2016. Assessment of salinity hazard of irrigation water quality in monsoon season of Batiaghata Upazila, Khulna District, Bangladesh and adaptation strategies, 183-197. <http://doi.org/10.7508/pj.2016.02.007>
- Smith, A.J., Duffy, B.T., Onion, A., Heitzman, D.L., Lojpersberger, J.L., Mosher, E.A. and Novak, M.A., 2018. Long-term trends in biological indicators and water quality in rivers and streams of New York State (1972–2012). *River research and applications*, 34(5): 442-450. <https://doi.org/10.1002/rra.3272>
- Talabi, A.O., Afolagboye, O.L., Tijani, M.N., Aladejana, J.A. and Ogundana, A.K., 2013. Hydrogeochemical assessment of surface water in the central part of Ekiti-State, Southwestern Nigeria. *American Journal of Water Resources*, 1(4): 56-65. <http://doi.org/10.12691/ajwr-1-4-1>.
- Turan, V., 2021. Calcite in combination with olive pulp biochar reduces Ni mobility in soil and its distribution in chili plant. *International Journal of Phytoremediation*, 24: 166-176. <http://doi.org/10.1080/15226514.2021.1929826>
- Van Vliet, M.T., Jones, E.R., Flörke, M., Franssen, W.H., Hanasaki, N., Wada, Y. and Yearsley, J.R., 2021. Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. *Environmental Research Letters*, 16(2): 024020. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/abbfc3>
- VCE Publications., 2023. Managing Irrigation with Saline Water. Available at <https://www.pubs.ext.vt.edu/irrigation-salinity/>
- Watts, G., Battarbee, R.W., Bloomfield, J.P., Crossman, J., Daccache, A., Durance, I., Elliott, J.A., Garner, G., Hannaford, J., Hannah, D.M. and Hess, T., 2015. Climate change and water in the UK—past changes and future prospects. *Progress in Physical Geography*, 39(1): 6-28. <http://doi.org/10.1177/0309133314542957>
- Wilcox, L., 1955. Classification and use of irrigation waters. U.S. Department of Agriculture. Circular No. 969.