



Simulation of quality and pollution of Dez river using QUAL2Kw model

Mohsen Lashani¹ , Saeid Shabanlou² , Mohsen Najarchi^{3✉} , Mohammad Reza Basiri⁴ ,
Hossein Mazaheri⁵

¹ Ph. D student of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: parseyan_saze@yahoo.com

² Associate Professor, Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. E-mail: saeid.shabanlou@gmail.com

³ Corresponding Author, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: mohsen.najarchi@iau.ac.ir

⁴ Assistant Professor, Department of Textile Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: mohammad.r.basiri51@gmail.com

⁵ Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: Hossein.mazaheri@iau.ac.ir

ABSTRACT

The Dez River, as the third largest river in the country, plays an essential role in the economic, social and environmental life of North Khuzestan. Also, it is very important because it supplies water to more than 125 thousand hectares from the Dez plain and the lands downstream of this plain to the place of Bituminous Dam and provides a significant part of the environmental needs of the Karun River. The purpose of this research is to investigate the trend of quality and pollution along the Dez River and evaluate the effects of urban, agricultural and industrial wastewater discharges on the trend of pollution and quality of the Dez River in 131 intervals based on the QUAL2Kw model. In the calibration and validation stages of the model, it was determined that wide parameters such as flow geometry, river hydraulic conditions, water flow rate, aeration coefficients, pollutant entry points, nitrification rate, oxygen demand, etc. in the river are involved in qualitative modeling results. The results showed that QUAL2Kw water quality model is highly accurate in simulating quality parameters and pollution in Dez River. The trend of changes in quality parameters and pollution in the Dez River showed that this river is better in terms of BOD pollution due to the discharge of urban and industrial sewage, in terms of EC pollution due to the discharge of agricultural land drains (mainly sugarcane plan) and in terms of N-NH₄ pollution It is in a critical condition due to urban and industrial sewage and drainage of agricultural lands. Therefore, it is suggested that all the wastewater of Dezful city, fish farming effluent, Haft Tepe complex and Pars paper factory should be treated and then discharged, but regarding agricultural drains, corrective measures such as improvement in the type of irrigation systems, fertilizers, the cultivation pattern of the area, etc., should be done at the source.

Keywords: QUAL2Kw, Qualitative simulation, Pollution trends, Dez River

Article Type: Research Article

Article history: Received: 03 February 2024 Revised: 17 April 2024 Accepted: 05 May 2024 ePublished: 21 June 2024

1.Introduction

The Dez River, as the third largest river in the country, plays an essential role in the economic, social and environmental life of North Khuzestan. Also, it is very important because it supplies water to more than 125 thousand hectares from the Dez plain and the lands downstream of this plain to the place of Bituminous Dam and provides a significant part of the environmental needs of the Karun River. The purpose of this research is to investigate the trend of quality and pollution along the Dez River and evaluate the effects of urban, agricultural and industrial wastewater discharges on the trend of pollution and quality of the Dez River in 131 intervals based on the QUAL2Kw model.

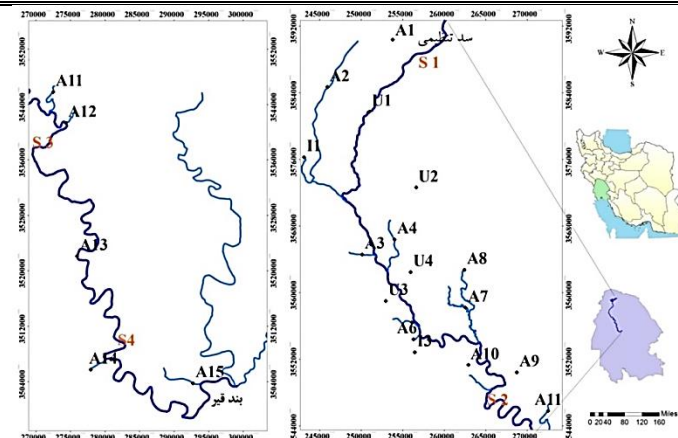


Figure 1. The location of the study area (a- the range of the regulatory dam to Abshirin station b- the range of Harmaleh station to Bamdeh station)

2. Methodology

The QUAL2Kw model simulates the river in one dimension (one dimension along the length of the river) along with non-uniform permanent flow and can consider the effect of loading both point and non-point. In this model, in order to determine the concentration of qualitative parameters, the finite difference method is used to numerically solve the displacement-diffusion equation (Chapra et al., 2006). In this research, the QUAL2Kw model was used to simulate the process of pollution and quality in Dez River. This model is able to solve the equations related to the river in both permanent and quasi-dynamic conditions. Also, simulate parameters such as dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, temperature, ammonia nitrogen, etc. in the river network. In this model, the qualitative simulation is done based on the river course spacing. Spacing is done according to the hydraulic conditions of the river and the place of discharge of pollutants. Therefore, the distance between the regulatory dam and Bandaghir was divided into 131 intervals with variable lengths. In the calibration and validation stages of the model, it was determined that wide parameters such as flow geometry, river hydraulic conditions, water flow rate, aeration coefficients, pollutant entry points, nitrification rate, oxygen demand, etc. in the river are involved in qualitative modeling results.

3. Results and discussion

The results showed that QUAL2Kw water quality model is highly accurate in simulating quality parameters and pollution in Dez River. The trend of changes in quality parameters and pollution in the Dez River showed that this river is better in terms of BOD pollution due to the discharge of urban and industrial sewage, in terms of EC pollution due to the discharge of agricultural land drains (mainly sugarcane plan) and in terms of N-NH₄ pollution it is in a critical condition due to urban and industrial sewage and drainage of agricultural land. Therefore, it is suggested that all sewage of Dezful city, sewage of fish farming, Haft Tepe complex and Pars paper factory be treated and then discharged, but regarding agricultural drains, corrective measures such as improvement in the type of irrigation systems, fertilizers, the cultivation pattern of the area, etc., should be done at the source.

4. Conclusions

The construction of a treatment plant as a solution for all polluting sources seems to be expensive and impossible. Therefore, it is suggested that all sewage of Dezful city, sewage of fish farming, Haft Tepe complex and Pars paper factory be treated and then discharged, but regarding agricultural drains, corrective measures such as improvement in the type of irrigation systems, fertilizers, the cultivation pattern of the area, etc., should be done at the source.

5. References

Chapra, S., Pelletier, G., & Tao, H. (2006). A Modeling framework for simulating river and stream water quality, Version 2.04: Documentation and user's manual. Civil and Environmental Engineering Dept, Tufts University, Medford, MA. <https://www.semanticscholar.org/paper/>

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Cite this article: Lashani, M., Shabanlou, S., Najarchi, M., Basiri, M.R., & Mazaheri, H. (2024). Simulation of quality and pollution of Dez river using QUAL2Kw model, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(2), 1-21. DOI: 10.22126/atwe.2024.10383.1115



شبیه سازی روند کیفیت و آلودگی رودخانه دز با استفاده از مدل QUAL2Kw

محسن لشنی^۱، سعید شعبانلو^۲، محسن نجارچی^۳، محمدرضا بصیری^۴، حسین مظاهری^۵

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. رایانامه: parseyan_saze@yahoo.com
^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: saeid.shabanlou@gmail.com
^۳ نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. رایانامه: mohsen.najarchi@iau.ac.ir
^۴ استادیار، گروه مهندسی نساجی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. رایانامه: mohammad.r.basiri51@gmail.com
^۵ دانشیار، گروه مهندسی شیمی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. رایانامه: hossein.mazaheri@iau.ac.ir

چکیده

رودخانه دز به عنوان سومین رودخانه پرآب کشور نقش اساسی در حیات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی شمال خوزستان دارد. همچنین به دلیل تأمین آب بیش از ۱۲۵ هزار هکتار از اراضی دشت دز و اراضی پایین دست این دشت تا محل بندقیقیر و تأمین بخش قابل توجهی از نیاز زیست محیطی رودخانه کارون بسیار حائز اهمیت است. هدف از این تحقیق بررسی روند کیفیت و آلودگی در طول رودخانه دز و ارزیابی اثرات تخلیه فاضلاب های شهری، کشاورزی و صنعتی بر روند آلودگی و کیفیت رودخانه دز، در ۱۳۱ بازه بر اساس مدل QUAL2Kw است. در مراحل واسنجی و صحت سنجی مدل مشخص شد، پارامترهای گسترده ای مانند خصوصیات هندسی جریان، شرایط هیدرولیکی رودخانه، میزان جریان آب، ضرایب هوادهی، نقاط ورودی آلاینده ها، نرخ نیتریفیکاسیون، اکسیژن خواهی و غیره در رودخانه در نتایج مدل سازی کیفی دخالت دارند. نتایج نشان داد مدل کیفیت آب QUAL2Kw در شبیه سازی پارامترهای کیفی و آلودگی در رودخانه دز از دقت بالایی برخوردار است. روند تغییرات پارامترهای کیفی و آلودگی در رودخانه دز نشان داد که این رودخانه از نظر آلاینده گی BOD به دلیل تخلیه فاضلاب های شهری و صنعتی، از نظر آلاینده گی EC به سبب تخلیه زهکش اراضی کشاورزی (عمدتاً طرح نیشکر) و از نظر آلاینده گی N-NH4 به علت فاضلاب های شهری، صنعتی و زه آب اراضی کشاورزی در شرایط بحرانی قرار دارد. لذا پیشنهاد می شود تمامی فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، مجتمع هفت تپه و کارخانه کاغذسازی پارس تصفیه و سپس تخلیه گردند اما در خصوص زهکش های کشاورزی اقدامات اصلاحی مانند اصلاح در نوع سیستم های آبیاری، کودهای مصرفی، الگوی کشت منطقه و غیره در مبدأ صورت گیرد.

واژه های کلیدی: QUAL2Kw، شبیه سازی کیفی، روند آلودگی، رودخانه دز

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۴ بهمن ۱۴۰۲ اصلاح: ۲۹ فروردین ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ تیر ۱۴۰۳

استناد: لشنی، م.، شعبانلو، س.، نجارچی، م.، بصیری، م.ر. و مظاهری، ح. (۱۴۰۳). شبیه سازی روند کیفیت و آلودگی رودخانه دز با استفاده از مدل QUAL2Kw.

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، (۲) ۴، ۲۱-۱، شناسه دیجیتال: 10.22126/atwe.2024.10383.1115



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

رودخانه‌ها مهم‌ترین منابع حیاتی تأمین آب دریاها، دریاچه‌ها و در اکثر موارد اصلی‌ترین شریان‌های انتقال و توزیع آب بخش‌های صنعت، کشاورزی و شهری به شمار می‌آیند. نتایج بررسی وضعیت کیفی رودخانه‌های داخل کشور نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانه‌ها پس از عبور از مناطق با کاربری شهری، روستایی، صنعتی و کشاورزی به واسطه‌ی ورود آلاینده‌ها کاهش می‌یابد و این کاهش کیفیت اغلب در فصول خشک که حداقل جریان برقرار است اتفاق می‌افتد.

رودخانه دز به‌عنوان سومین رودخانه پرآب کشور نقشی اساسی در حیات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شمال خوزستان دارد. تخلیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و طرح نیشکر در مسیر رودخانه حیات رودخانه را بخصوص در مقاطع بحرانی با مشکل مواجه نموده است. همچنین افزایش جمعیت، کاهش آبدی رودخانه‌ها و انتقال آب بین حوضه‌ای اثر مستقیم در تشدید وضعیت آلودگی رودخانه دارد. هدف از این تحقیق شبیه‌سازی وضعیت کیفیت و آلودگی قسمتی از رودخانه دز با استفاده از مدل QUAL2Kw و واسنجی و صحت‌سنجی آن بر اساس داده‌های کیفیت و آلودگی در محل ایستگاه‌های بر روی رودخانه دز است. تعیین نقاط یا بازه‌های بحرانی در طول رودخانه دز از نظر پارامترهای آلودگی و کیفیت از اهداف دیگر این تحقیق است. بر اساس مدل واسنجی شده در رودخانه دز، می‌توان در آینده با توجه به میزان توسعه و تغییرات اقلیمی و تغییر الگوی بهره‌برداری از رودخانه، وضعیت کیفی رودخانه دز را پیش‌بینی نموده و برای بهبود کیفیت آن برنامه‌ریزی نمود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در پی افزایش جمعیت و رقابت در مصرف، تعارض و تضاد در چگونگی بهره‌برداری از رودخانه‌ها رو به فزونی است. لذا برای بهره‌برداری بهینه از این منابع، درک خصوصیات و رفتار طبیعی رودخانه‌ها به‌منظور حفظ سلامت رودخانه‌ها و حیات جامعه بشری امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (گیلبرت و ماکسول^۱، ۲۰۱۷، هو و همکاران^۲، ۲۰۱۶، و لی و همکاران^۳، ۲۰۱۶)

مدیریت امروز حوضه‌های آبریز و رودخانه‌ها اقتضا می‌کند که تعادل منطقی و مناسبی بین مصارف منابع آب و توانایی و قابلیت پیش‌بینی بازتاب رودخانه نسبت به تغییرات و اشاره‌ای تحمیلی برقرار شود. نیل به این هدف جز بافهم و درک درستی از وظایف رودخانه و اثرات متغیرهای فیزیکی بر رفتار کلی رودخانه میسر نیست. مدل‌های شبیه‌ساز کیفیت آب ابزاری کارآمد و رایج در امر برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی رودخانه‌ها به شمار می‌آیند. از بین مدل‌های شبیه‌ساز موجود، مدل QUAL2Kw به‌طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورداستفاده قرار گرفته و قابلیت انجام تحلیل عدم قطعیت را داراست (چاپرا و همکاران^۴، ۲۰۰۶).

هاشمی و همکاران (۱۳۹۱) برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج، ۱۴ پارامتر کیفی آب را در ۴۲ ایستگاه با استفاده از مدل QUAL2K و روش تحلیل عاملی موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد روش تحلیل عاملی می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر رتبه‌بندی کیفیت آب در ایستگاه‌ها استفاده شود. نجفی و محمود پور (۱۳۹۱) مدل‌سازی کیفی رودخانه قره‌سو را بر اساس آلاینده‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای شهرها، کارخانه‌های صنعتی، اراضی کشاورزی با استفاده از مدل QUAL2K انجام دادند. نتایج نشان داد بحرانی‌ترین بازه، بازه بعد از شهر کرمانشاه است که بیشترین مقدار TN، TP و کمترین مقدار DO را داراست و اعمال سناریوی کاهش بار آلودگی‌های ورودی به رودخانه در اثر احداث تصفیه‌خانه سبب بهبود وضعیت کیفی رودخانه می‌شود.

بیگلری و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی شرایط کیفی رودخانه زرینه‌رود با استفاده از مدل QUAL2K به این نتیجه رسیدند که مدل مذکور قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی بیش‌تر پارامترهای کیفیت آب رودخانه را دارد و مقادیر TN، TP و DO در شرایط بحرانی از حدود مجاز برای حیات آبریان تجاوز نموده‌اند. همچنین از بین دو سناریوی افزایش جریان سرشاخه و کنترل منابع آلاینده جهت بهبود وضعیت کیفیت آب رودخانه، سناریوی دوم به‌عنوان سناریوی برتر معرفی گردید.

¹ Gilbert and Maxwel

² Hu et al

³ Li et al

⁴ Chapra et al

عاشق معلا و حمامی (۱۳۹۳) از مدل کیفیت آب QUAL2K برای شبیه سازی پارامترهای کیفی DO و BOD رودخانه قشلاق کردستان استفاده نمودند. در این پژوهش دو سناریوی تخلیه پساب طبق استانداردهای تخلیه (DO) و BOD به ترتیب ۲ و ۳۰ میلی-گرم بر لیتر (و تخلیه پساب بر اساس توان خود پالایی رودخانه و به شرط حفظ شرایط کیفی مناسب رودخانه اجرا گردید. سناریوی دوم با صرفه اقتصادی ده میلیارد ریالی به عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. نتایج نشان داد با استفاده بهینه از توان خود پالایی هر رودخانه می توان استناداری تعیین کرد که توجیه اقتصادی مناسبی هم برای تخلیه کنندگان داشته باشد.

رفیعی و همکاران^۱ (۲۰۱۳) در رودخانه گرگر، پارامترهای $N-NH_4$ ، $N-NO_3$ ، CBOD و DO را با به کارگیری مدل QUAL2K مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل مذکور با وجود کمبود اطلاعات، ارزیابی قابل قبولی از وضعیت رودخانه ارائه می دهد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد مدل نسبت به دبی رودخانه، دبی منابع نقطه ای، نرخ نیتریفیکاسیون و CBOD حساسیت بیش تری دارد. بررسی کیفیت آب گل آلود رودخانه بستونیا با استفاده از مدل QUAL2K نشان داد که کیفیت آب رودخانه کم تر تحت تأثیر بارش و نقطه ورودی فاضلاب قرار می گیرد (متو و همکاران^۲، ۲۰۱۱).

ژانگ و همکاران^۳ (۲۰۱۲) با هدف ارائه مبنایی جهت تصمیم گیری مدیریت آب زیست محیطی، با استفاده از مدل QUAL2K کیفیت رودخانه تایهو چین را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. ظرفیت بار آلودگی آب زیست محیطی پارامترهای BOD، NH_3-N ، TN و TP به ترتیب $۱۷/۵۱$ ، $۱/۵۲$ ، $۲/۷۴$ ، $۰/۳۷$ تن برای است. نتایج نشان داد که برای برآورد اهداف کیفیت آب، NH_3-N ، TN و TP که بارهای آلودگی رودخانه مورد مطالعه هستند بایستی به ترتیب به میزان $۵۰/۹۶\%$ ، $۴۴/۱۱\%$ و $۲۲/۹۲\%$ کاهش یابند.

استفاده از مدل ترکیبی HEC-5 و QUAL2K تحت عنوان مدل سازی با رویکرد ابتکاری برای شناسایی اثر جزر و مد بر شبیه سازی کیفیت آب رودخانه، نشان داد که ترکیب این دو مدل برای شبیه سازی کیفیت آب رودخانه های جزر و مدی نتیجه ی قابل قبولی برای شبیه سازی خصوصیات کیفی آب خصوصاً در رودخانه های آلوده خواهد داشت (فن و همکاران^۴، ۲۰۰۹).

محرابی و همکاران^۵ (۲۰۱۵)، با به کارگیری مدل QUAL2K، کیفیت آب رودخانه کین وارس شهر زنجان و پاسخ آن به راهبردهای مدیریت مواد مغذی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج شبیه سازی نشان داد رودخانه مذکور از مواد مغذی چون نیتروژن و فسفر اشباع شده که می تواند موجب کاهش اکسیژن محلول آب گردد.

سنر و همکاران^۶ (۲۰۱۷) کیفیت آب رودخانه بیوک مندرسی ترکیه (منتهی به دریای مدیترانه) بر اساس هفت متغیر آمونیاک، نیترات، نیتريت، مواد جامد معلق، فسفات، COD و BOD مورد بررسی قرار داد و با توجه به طبقه بندی استاندارد کیفیت آب ترکیه، طبقه بندی کرد. با توجه به نتایج به دست آمده توصیه شد که برای اطمینان از بهبود کیفیت آب رودخانه باید یک نظارت مؤثر بر منابع آلاینده حوضه، ایجاد گردد تا بتواند دولت ترکیه را با پروتکل حمایت از دریای مدیترانه در برابر آلودگی از منابع زمینی تطبیق دهد.

خسروی نیا و همکاران^۷ (۲۰۰۹) به بررسی کیفیت آب حوضه کارون در محدوده ملاثانی-فارسیات پرداختند. پارامترهای DO و BOD در ۱۵ بازه مختلف نمونه برداری و با مدل WASP شبیه سازی شدند. سپس عملیات واسنجی مدل به روش سعی و خطا انجام گردید. نتایج نشان داد که تطابق خوبی بین نتایج مدل و مقادیر اندازه گیری شده وجود دارد. لذا نتیجه گیری کردند که از مدل WASP برای پیش بینی غلظت پارامترهای مذکور در رودخانه کارون می توان استفاده کرد.

چوئرسوان و همکاران^۸ (۲۰۱۳) کیفیت رودخانه آب المتاخونگ پاکستان را با مدل QUAL2K شبیه سازی کردند. در این ۲۵ کیلومتر پساب صنایع نساجی، رستوران ها، هتل ها و پساب فاضلاب خانگی در رودخانه تخلیه می شود. مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی مدل QUAL2K، حاکی از کارایی خوب این مدل در شبیه سازی متغیرهای کیفی بود.

عابدی کوپایی و همکاران^۹ (۲۰۰۸) به بررسی امکان آلودگی آب زاینده رود اصفهان و آلودگی برخی از چاه های فلمن به سم دیازینون پرداختند. آب رودخانه زاینده رود در چند ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت و از نظر کیفی طبقه بندی گردید.

¹ Rafiee et al

² Mathew et al

³ Zhang et al

⁴ Fan et al

⁵ Mehrabi et al

⁶ Sener et al

⁷ Khosravi Nia et al

⁸ Chuersuan et al

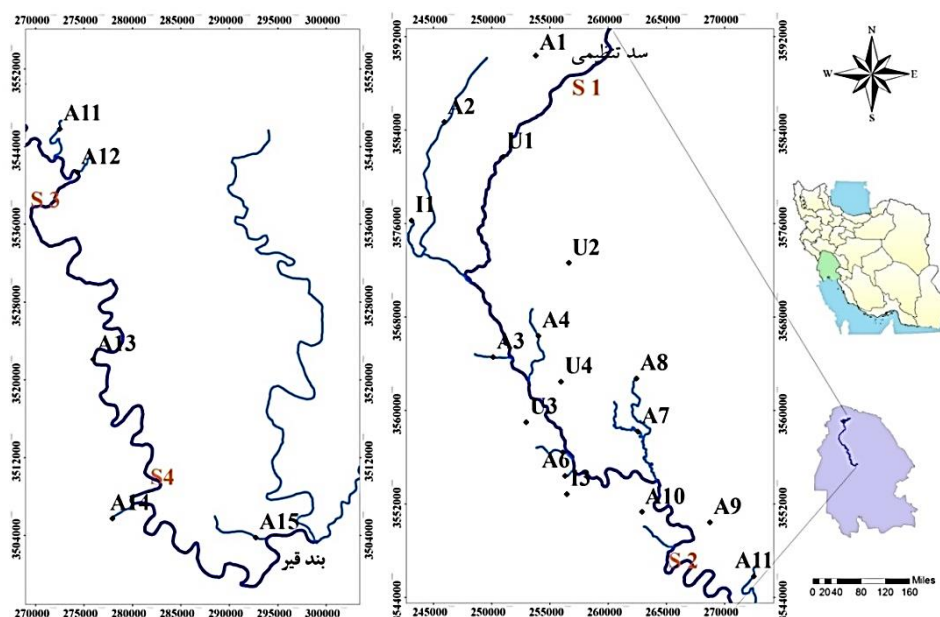
وارکار و همکاران^۱ (۲۰۲۱) یک شبکه پایش کیفیت آب برای شبیه سازی آلودگی های غیر نقطه ای طراحی کردند. این روش با در نظر گرفتن هر دو منبع آلودگی نقطه ای و بازه ای، در تعیین مکان های بهینه و تعداد مکان های پایش که در آن تغییرات فصلی در طول سال های آزمایشی مشهود است، بسیار مفید است.

فن و همکاران^۲ (۲۰۲۳) با ترکیب مدل های GEFC، QUAL2K و GIS یک رویکرد یکپارچه برای پهنه بندی شاخص کیفیت آب رودخانه پیشنهاد کردند تا بتواند نقاط بحرانی آلودگی در رودخانه را شناسایی کند و سطوح تصفیه مورد نیاز را پیدا کند.

از دیگر تحقیقات در زمینه موضوع این تحقیق می توان به تحقیقات محمد و همکاران (۲۰۲۳)، عزیز پور و همکاران (۲۰۲۱، ۲۰۲۲)، مزرعه و همکاران (۲۰۲۳، ۲۰۲۴)، رجبی و شعبانلو (۲۰۱۲)، گرامی مقدم و همکاران (۲۰۱۹)، غریب و همکاران (۲۰۲۰)، شعبانلو (۲۰۱۸)، عظیمی و همکاران (۲۰۱۶)، و علیزاده و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد.

روش پژوهش

رودخانه دز بعد از شاخه کارون یکی از بزرگ ترین و طویل ترین رودخانه های ایران و حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان به شمار می آید که از دوشاخه اصلی به نام سزار و بختیاری تشکیل شده است. رودخانه دز پس از عبور از تنگ پنج و تنگ هفت و تله زنگ و پشت سر گذاشتن دریاچه سد دز، وارد جلگه خوزستان می شود. سپس با گذر از شهر دزفول و طی مسافت پریچ و خمی به طول تقریبی ۱۹۴ کیلومتر (دزفول - بند قیر)، در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال شهرستان اهواز و در محلی به نام بند قیر با رودخانه شطیط و گرگر یکی شده و کارون بزرگ را تشکیل می دهند. طول رودخانه دز از سرچشمه تا محل تلاقی با کارون در حدود ۵۲۰ کیلومتر بوده و حوضه آبریز آن منطقه ای به وسعت ۲۲۵۰۰ کیلومتر مربع را شامل می گردد. رودخانه دز به عنوان یکی از بزرگ ترین و پرآب ترین رودخانه های ایران به دلیل توسعه اراضی کشاورزی و کارخانه های صنعتی و همچنین مجاورت با شهرها پذیرای پساب های مختلف ناشی از زهکش های کشاورزی و شهری و صنعتی بوده که باعث شده وضعیت کیفیت و آلودگی در برخی از بازه های رودخانه به شدت تحت تأثیر قرار گیرد. به دلیل اهمیت این رودخانه در تأمین بخش وسیعی از مصارف مختلف دشت دز و نقش آن در تأمین نیاز زیست محیطی منطقه برای این تحقیق انتخاب شده است. لذا منطقه مورد مطالعه قسمتی از رودخانه دز در بازه سد تنظیمی دزفول تا محل بند قیر انتخاب شده که در شکل (۱) نشان داده شده است. در این شکل، علامت های اختصاری S، A، U و I به ترتیب نشان دهنده محل ایستگاه های هیدرومتری و محل تخلیه پساب های کشاورزی، شهری و صنعتی است.



⁹ Abedi Koupai et al

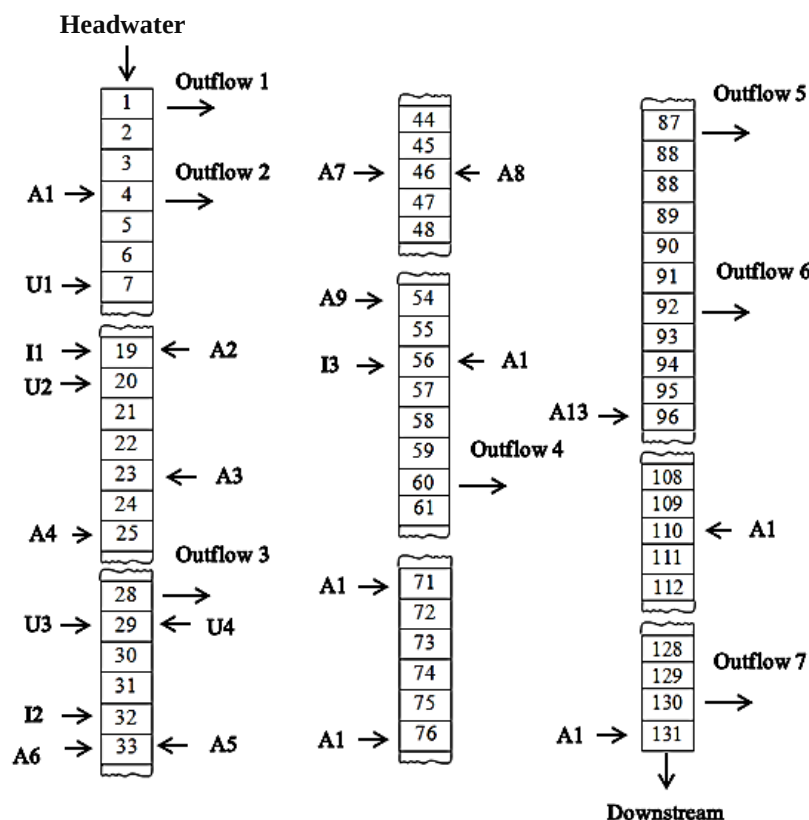
¹ Varekar et al

² Fan et al

شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی (الف- بازه سد تنظیمی تا ایستگاه آب شیرین ب- بازه ایستگاه حرمله تا ایستگاه بامدژ)

شبیه سازی کیفیت و آلودگی

مدل QUAL2Kw در سال ۲۰۰۶ توسط چاپرا^۱ و همکاران توسعه یافت که درواقع ویرایش مدرنی از مدل Qual2e است (چاپرا و همکاران، ۲۰۰۶). مدل مذکور آخرین مدل از سری مدل های QUAL است که مورد تأیید سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا^۲ (USEPA) بوده و به طور گسترده ای جهت شبیه سازی کیفیت آب رودخانه ها مورد استفاده قرار گرفته است (کائل و همکاران^۳، ۲۰۰۷). مدل QUAL2Kw رودخانه را به صورت یک بعدی (یک بعد در راستای طول رودخانه) همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه سازی می کند و می تواند اثر بارگذاری را هم به صورت نقطه ای و هم غیر نقطه ای در نظر بگیرد. در این مدل به منظور تعیین غلظت پارامترهای کیفی، از روش تفاضل محدود^۴ برای حل عددی معادله جابجایی- پخش^۵ استفاده می شود. در این تحقیق از مدل QUAL2Kw برای شبیه سازی روند آلودگی و کیفیت در رودخانه دز استفاده شد. این مدل قادر است معادلات مربوط به رودخانه را هم در شرایط دائمی و هم شبه دینامیکی حل کند. همچنین پارامترهایی چون اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، دما، نیتروژن آمونیاکی و ... را در شبکه رودخانه شبیه سازی نماید (چاپرا و همکاران، ۲۰۰۶). در این مدل شبیه سازی کیفی بر اساس بازه بندی مسیر رودخانه انجام می شود. بازه بندی، متناسب با شرایط هیدرولیکی رودخانه و محل تخلیه آلاینده ها صورت می گیرد؛ بنابراین حداقل سد تنظیمی تا محل بندگیر به ۱۳۱ بازه با طول های متغیر تقسیم شد. بازه های رودخانه، محل ورود منابع آلاینده نقطه ای و محل برداشت آب از رودخانه در شکل (۲) نشان داده شده است.



¹ Chapra

² United States Environmental Protection Agency

³ Kannel et al

⁴ Finite difference

⁵ Advection-Diffusion

شکل ۲. بازه بندی رودخانه دز و جانمایی منابع نقطه‌ای ورودی و خروجی

در هر بازه مشخصات هندسی از قبیل شیب طولی کانال، شیب دیواره‌ها، شیب طولی رودخانه، رقوم ارتفاعی کف، عرض کف و غیره در محیط نرم‌افزار Auto CAD 2018 محاسبه و وارد مدل شد. مدل QUAL2Kw با فرض دوزنقه‌ای بودن مسیر رودخانه و با استفاده از معادله مانینگ، عمق و سرعت جریان را محاسبه می‌کند (پلتیر و چاپرا^۱، ۲۰۰۸). بعد از بازه بندی، برخی اطلاعات دیگر مورد نیاز مدل نظیر ضریب مانینگ با توجه به جنس زمین منطقه، بازدیدهای میدانی و اطلاعات مربوط به مقاطع رودخانه‌ای در حدود ۰/۰۳۳ انتخاب شد. منابع برداشت نقطه‌ای از رودخانه دز نیز در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. منابع برداشت نقطه‌ای از رودخانه دز

ردیف	معرف نقطه برداشت	برداشت آب	فاصله تا انتهای رودخانه (km)
۱	Outflow 1	کانال سبیلی	۱۹۳/۵
۲	Outflow 2	آبگیر شرقی و غربی	۱۸۸
۳	Outflow 3	هفت تپه	۱۵۵
۴	Outflow 4	میاناب	۱۲۱
۵	Outflow 5	امام خمینی	۸۰
۶	Outflow 6	شعیبیه	۷۲
۷	Outflow 7	دهخدا	۸

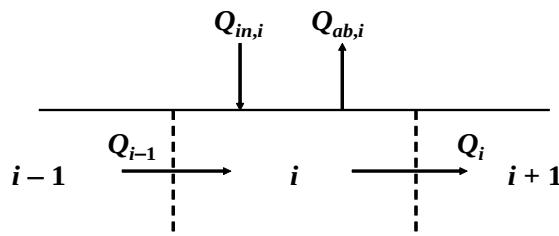
معادلات حاکم بر مدل سازی

رابطه بیلان جریان در مدل QUAL2Kw

در طول رودخانه، با فرض اختلاط کامل، برای هر المان موازنه جریان در حالت پایدار طبق رابطه زیر صورت می‌گیرد (چاپرا و همکاران، ۲۰۰۶):

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i} \quad (1)$$

که در آن Q_i میزان جریان خروجی از بازه i ، Q_{i-1} میزان جریان خروجی از بازه $i-1$ ، $Q_{in,i}$ جریان ورودی از تمامی منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به بازه i و $Q_{ab,i}$ جریان خروجی از تمامی منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای از بازه i است. شکل (۳) شماتیک بیلان جریان را نشان می‌دهد.

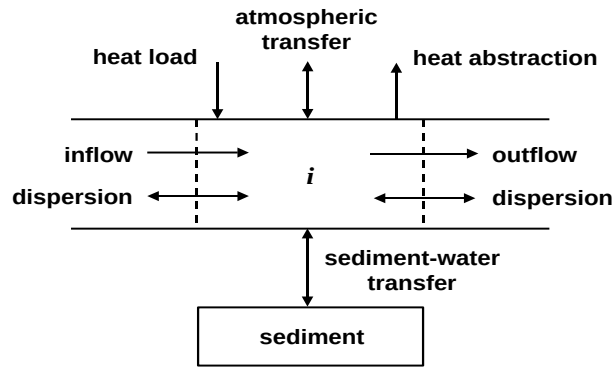


شکل ۳. بیلان جریان برای بازه i ام از رودخانه

¹ Pelletier r and Chapra

رابطه بیلان دما در مدل QUAL2Kw

یکی از پارامترهای مهم در شبیه سازی، میزان درجه حرارت در هر نقطه از رودخانه است. تغییرات درجه حرارت بر کیفیت آب رودخانه، میزان اکسیژن محلول، نرخ کاهش BOD و... تأثیرگذار است. عواملی که در تعیین میزان درجه حرارت مؤثرند عبارتند از: دمای اولیه آب رودخانه، دمای هوا، دمای سطح زمین و بستر رودخانه، دمای منابع ورودی نقطه ای یا غیر نقطه ای ورودی به رودخانه و غیره. عوامل مؤثر بر درجه حرارت و چگونگی موازنه ی آن برای بازه i ، در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴. بیلان دما برای بازه i ام از رودخانه

همچنین موازنه گرما در هر بازه از رابطه (۲) محاسبه می گردد (چاپرا و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} T_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i} (T_{i+1} - T_i) + \frac{W_{h,i}}{\rho_w C_{pw} V_i} \left(\frac{m^3}{10^6 cm^3} \right) + \frac{J_{h,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left(\frac{m}{100 cm} \right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left(\frac{m}{100 cm} \right) \quad (2)$$

در این رابطه:

Q : دبی (m^3/day), T : درجه حرارت آب ($^{\circ}C$), t : زمان (day), V_i : حجم آب (m^3), E' : ضریب پخشیدگی حجمی بین بازه i و $i+1$, $W_{h,i}$: مقدار خالص حرارت دریافت شده از منابع نقطه ای و غیر نقطه ای به بازه i ام (cal/day), p_w : چگالی آب (gr/cm^3), C_{pw} : گرمای ویژه آب ($cal/gr^{\circ}C$), $J_{h,i}$: شار حرارت بین بازه i ام و هوا ($cal/cm^2.day$), $J_{s,i}$: شار حرارت بین آب و رسوب ($cal/cm^2.day$), H_i : عمق متوسط آب در بازه i ام در رودخانه (m) است.

رابطه بیلان جرم در مدل QUAL2Kw

یکی از اصول پایه در فرمول بندی مدل های کیفی آب، اصل تعادل جرم است. درواقع معادله اصلی که مدل مذکور به حل آن می پردازد، معادله جابجایی- پخش یک بعدی است که برای تمامی متغیرها به غیر از جلبک کف، از رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hyp,i}}{V_i} (c_{2,i} - c_i) \quad (3)$$

W_i بار وارده آلاینده به شاخه (g/day), S_i منابع ورود و خروج آلاینده ($g/m^3/day$), C_i : غلظت جزء کیفی در آب رودخانه و $C_{2,i}$ غلظت جزء کیفی در منطقه رسوب های پرهیئیک است. سایر اجزاء در روابط قبل، تعریف شده اند لذا از تکرار آن ها خودداری می شود.

معرفی منابع آلاینده عمده رودخانه دز و پارامترهای شبیه‌سازی شده

رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع آب‌های سطحی قادرند مواد آلاینده‌ای که به‌صورت تصفیه‌شده یا نشده وارد آن‌ها می‌شوند را پایش کنند. فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی با ویژگی‌های کیفی متفاوت، ازجمله مهم‌ترین منابع آلاینده‌ای هستند که همواره کیفیت آب رودخانه را تهدید می‌کنند. اگر مقادیر غلظت و میزان تخلیه فاضلاب‌های ورودی به رودخانه‌ها از حد معین و استاندارد مجاور فراتر رود، آب سطحی قادر به تصفیه آن نخواهد بود و تهدیدهای جدی‌تری را برای اکوسیستم به بار خواهد آورد. در ذیل به معرفی انواع این منابع آلاینده پرداخته شده است:

الف) آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌های شهری

فاضلاب‌های شهری با توجه به ویژگی‌های فرهنگی، عادات غذایی، کیفیت آب مصرفی و همچنین شرایط آب و هوایی و فرآیند تصفیه حاوی مقادیر بالای BOD و COD، عناصر غذایی (N) و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا (باکتریایی و انگلی) آب می‌باشند. این فاضلاب‌ها شامل فاضلاب انسانی و مصارف خانگی و اماکن عمومی، حمام، بیمارستان‌ها، مؤسسات و ادارات و همچنین رواناب ناشی از شستشوی سطح معابر و خیابان‌ها بر اثر بارندگی می‌باشند که در بیشتر موارد مستقیماً و بدون تصفیه وارد آب رودخانه می‌شوند. منابع آلاینده شهری عمده در محدوده مطالعه شامل فاضلاب شهرهای دزفول، صفی‌آباد، حر و میانرود است که در حاشیه رودخانه دز واقع شده‌اند و فاضلاب خود را به شاخه دز تخلیه می‌کنند. دفع فاضلاب مابقی شهرک‌ها و روستاهای دشت از یا طریق سیستم چاه جذبی و سپتیک انجام می‌شود و یا به شاخه‌های فرعی رودخانه (مانند بالارود و کهنک) تخلیه می‌گردد.

ب) زه آب‌های کشاورزی

توسعه کشاورزی و لزوم تهیه مواد غذایی بر اثر افزایش جمعیت مستلزم آبیاری وسیع است. لذا پس از آبیاری مقادیر زیادی زه‌آب سطحی و یا زیرزمینی از مزرعه خارج می‌شود. زه آب‌های کشاورزی وابسته به کیفیت آب مصرفی، نوع و راندمان سامانه آبیاری، نوع سامانه زهکشی، میزان مصرف نهاده‌های کشاورزی، نوع و ویژگی‌های خاک و همچنین شرایط اقلیمی منطقه است. مشخصه اصلی زه آب‌های کشاورزی دارا بودن EC بالا، وجود عناصر مغذی (N و P) در غلظتی قابل توجه و همچنین وجود بقایای سموم و آفت‌کش‌ها و در درجه‌های کمتر، عوامل میکروبی است. اطلاعات مربوط به کیفیت و آلاینده‌های کشاورزی که در رودخانه دز تخلیه می‌شوند از آزمایشگاه امور آب سازمان آب و برق خوزستان اخذ شد. بر اساس این اطلاعات، زه آب اراضی کشاورزی دشت دز شرقی و غربی، پساب اراضی نیشکر هفت‌تپه، نیشکر میاناب، نیشکر امام خمینی، نیشکر شعبیه و بخشی از پساب نیشکر کارون که بخش وسیعی از اراضی منطقه را دربر دارند، توسط ۱۵ زهکش ب صورت نقطه-ای وارد رودخانه می‌شود.

ج) فاضلاب‌های صنعتی و پرورش ماهی

فاضلاب‌های صنعتی با دامنه تغییرات کیفی وسیع، نقش مهمی در آلاینده‌های منابع آب دارند. مصرف آب در اغلب صنایع زیاد است به‌طوری‌که کارخانه‌های مختلف نظیر مجتمع هفت‌تپه، کاغذسازی پارس و پرورش ماهی آن‌هم در نزدیکی منابع آب، از یک‌سو با بهره‌برداری از آب رودخانه و از سوی دیگر با برگشت آب آلوده به منبع آبی مقادیر زیادی BOD و COD را به رودخانه دز تخلیه می‌نمایند. ته‌نشینی مقادیر زیادی مواد جامد معلق در رودخانه و افزایش تیرگی و کدورت آب و همچنین افزایش املاح و مواد شیمیایی و سمی و روغنی و نفتی باعث تغییر در طعم، بو، رنگ آب می‌گردند. در جدول (۲) این آلاینده‌ها به تفکیک معرفی شده‌اند.

جدول ۲. منابع آلاینده نقطه‌ای ورودی به رودخانه دز (منبع: سازمان آب و برق خوزستان)

فرم آلاینده ورودی	معرف آلاینده	منبع آلاینده‌گی	فاصله تا انتهای رودخانه (km)
زهکش کشاورزی	A1	لور	۱۸۹
	A2	سبز آب	۱۷۰/۲۳
	A3	بنه حسن	۱۶۲/۳۶
	A4	ساغری	۱۶۰/۵۲
	A5	هفت‌تپه (۶)	۱۴۹/۴۳

۱۴۹	هفت تپه (۸)	A6	فاضلاب شهری
۱۳۸/۴۱	سلیمه	A7	
۱۳۸	عجرب	A8	
۱۳۰/۵	تاپ درین	A9	
۱۲۸/۵	عتیج	A10	
۱۰۹/۷۷	کهنک - لوره	A11	
۱۰۴/۹	کارون	A12	
۶۶/۲	میاناب	A13	
۳۹	خارور	A14	
۶	شعیبیه	A15	
۱۸۵/۱	دزفول	U1	
۱۶۸	صفی آباد	U2	
۱۵۴/۱	حر	U3	
۱۵۳/۲	میانرود	U4	
۱۷۰/۵	پرورش ماهی	I1	فاضلاب صنعتی
۱۵۰	مجموع کارخانه های هفت تپه	I2	
۱۲۷/۵	کاغذسازی پارس	I3	

پارامترهای شبیه سازی شده شامل دما، هدایت الکتریکی آب (EC)، PH، اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، نیتروژن نیتراتی ($N-NO_3$) و نیتروژن آمونیاکی ($N-NH_4$) است. میانگین مقدار پارامترهای مذکور برای تمامی منابع آلاینده تخلیه شده به رودخانه دز طی دوره ی آماری در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. میانگین پارامترهای شبیه سازی شده منابع نقطه ای ورودی به رودخانه دز در تیرماه طی دوره ی آماری (۹۳-۸۷) (منبع: سازمان آب و برق خوزستان)

منبع آلاینده	دبی	T	EC	pH	DO	Fast BOD	N- NO_3	N- NH_4
	m ³ /s	°C	umhos	-	mg/L	mgO ₂ /L	ugN/L	ugN/L
لور	۱/۳	۱۶	۶۹۷	۷/۸	۸/۵	۳/۸۶	۱۶۳۸	۴۰۰
سبز آب	۳	۲۴	۷۸۷	۷/۷	۸/۱	۴/۲	۲۷۴۵	۵۵۷
بنه حسن	۱/۳	۲۶	۷۷۸	۷/۸	۸/۷	۳/۲	۱۶۸۳	۲۳۹
ساغری	۵/۵	۲۳	۷۰۸	۷/۴	۷/۶	۳/۷	۲۵۹۶	۶۶۹
هفت تپه (۶)	۱/۳	۲۶	۱۲۸۱	۷/۶	۷/۶	۲/۸	۲۲۳۰	۱۲۴
هفت تپه (۸)	۱/۵	۲۵	۱۵۴۵	۷/۵	۶/۰۶	۱/۷	۱۹۲۰	۶۵۰
سلیمه	۴/۲	۲۴	۷۴۷	۷/۵	۶	۲/۷	۲۵۲۴	۶۶۰
عجرب	۱۰/۰۵	۲۴	۷۸۹	۷/۳	۶/۶	۲/۹	۴۶۹۰	۶۶۰
تاپ درین	۱/۲	۲۶	۸۸۸	۷/۵	۷/۴	۴	۳۸۸۴	۱۵۸
عتیج	۲/۲۵	۲۵	۱۲۴۲	۷/۷	۶/۸۶	۳	۱۹۲۰	۷۳۸

کهنک- لوره	۱۹/۳	۲۵	۲۶۰۸	۷/۷	۶/۷۱	۴/۴۵	۳۸۶۴	۸۲۳
کارون	۱۰	۲۶	۳۰۸۰	۷/۸	۷/۷	۳/۹	۱۷۶۵	۸۲۳
میاناب	۳/۵	۲۹	۳۳۱۰	۷/۵	۳/۱۴	۲/۸۶	۲۱۸۰	۵۵۷
خارور	۲/۵	۳۱	۴۹۵۲	۷/۹	۳/۴۹	۲/۰۳	۲۹۴۰	۸۵۷
شعبیه	۱۱	۲۷	۵۰۲۰	۷/۸	۸/۵۸	۴/۹۸	۲۶۵۰	۱۱۵۰
دزفول	۲/۴۴	۲۸	۱۷۵۰	۷/۴	۱	۱۱۳/۵	۱۷۵۰	۱۴۶۶۵
صفی آباد	۰/۰۴	۲۴	۱۷۵۰	۷/۴	۵	۲۰/۸	۳۱۶	۳۰۴۴
حر	۰/۰۴	۲۴	۱۷۵۰	۷/۴	۵	۲۳/۸	۳۶۲	۳۴۵۶
میانرود	۰/۰۵	۲۴	۱۷۵۰	۷/۴	۵	۲۳/۸	۳۶۲	۳۴۵۶
پرورش ماهی	۷/۲	۲۴	۱۷۰۰	۷	۰/۹۷	۲۲	۴۶۸۸	۳۵۰
کارخانه هفت تپه	۱/۸	۲۶	۱۸۰۰	۶/۹	۴	۱۱۴	۴۴۷	۱۲۴
کاغذ پارس	۰/۶۳	۲۸/۵	۱۴۵۰	۶/۸	۱	۲۵۰	۲۲۶۶	۱۳۰۰

کیفیت آب رودخانه‌ها

در جدول (۴) غلظت متغیرهای کیفی آب رودخانه در چهار گروه مختلف آورده شده است. در این دسته‌بندی، گروه یک (1A، 1B) نشانگر کیفیت مناسب آبی است که برای کلیه کاربردهای عمومی مناسب است و گروه چهار بدترین کیفیت آب را نشان می‌دهد که برای اغلب کاربردها نامناسب است. با توجه به شرایط اقلیمی و اقتصادی ایران، می‌توان کیفیت آب گروه ۲ را برای اغلب رودخانه‌ها توصیه نمود (کارآموز و کراچیان، ۱۳۹۳). در این تحقیق، استاندارد منتخب با توجه به استاندارد ملی ایران و گروه‌های 1A و 1B انتخاب شد.

جدول ۴. نمونه‌ای از توصیه‌های موجود برای کیفیت آب رودخانه‌ها (کرنکل و نواتنی)^۱

پارامتر	واحد سنجش	گروه‌های مختلف					استاندارد ملی	استاندارد منتخب
		1A	1B	2	3	4		
دما	°C	<=۲۰	۲۰-۲۲	۲۲-۲۵	۲۵-۳۰	> ۳۰	< ۲۱	1B
PH	-	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۸/۵	۵/۵-۹/۵	< ۵/۵ یا > ۹/۵	۷/۵	1B
EC	umhos	<=۴۰۰	۴۰۰-۷۵۰	۷۵۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰	> ۳۰۰۰	< ۵۰۰	استاندارد ملی
DO	mg/l	> ۷	۵-۷	۳-۵	-	< ۳	> ۷	1A
BOD ₅	mg/l	<=۳	۳-۵	۵-۱۰	۱۰-۲۵	> ۲۵	< ۱۰	2
NO ₃	mg/l	-	<=۴۴	-	۴۴-۱۰۰	> ۱۰۰	< ۴۴	استاندارد ملی
NH ₄	mg/l	<=۰/۱	۰/۱-۰/۵	۰/۵-۲	۲-۸	> ۸	< ۰/۵	1B

واسنجی مدل

در مرحله واسنجی پس از ورود اطلاعات هیدرولیکی، هواشناسی و کیفی، مدل برای چهار سال آماری، تیرماه (فصول کم‌آبی) سال ۸۷ تا ۹۰ اجرا شد و سپس مقادیر محاسباتی توسط مدل با مقادیر مشاهداتی مقایسه گردید. با توجه به وجود برخی اختلاف مقادیر لازم است تا مدل

¹ Krenkel and Novotny

واسنجی گردد. به عبارت دیگر هدف از واسنجی، حداقل کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی است و این کار ممکن است به وسیله اندازه‌گیری دقیق پارامترها و یا به وسیله روش‌های بهینه‌سازی انجام شود. معمولاً اختلافاتی میان شکل خروجی مدل و فیزیک سیستم واقعی مورد مطالعه وجود دارد که لازم است با تغییر و تخمین برخی پارامترها و ضرایب، دقت مقادیر حاصل از مدل را افزایش و برازش خوبی بین خروجی مدل و مشاهدات ثبت شده ایجاد نمود. ایده آل، آن است که مدل تا حد امکان واقعیت را منعکس کند. به طور معمول دو روش عمومی واسنجی که در اکثر مدل‌ها بکار می‌رود به شرح زیر است.

۱- واسنجی مدل به وسیله آزمون و خطا (روش دستی)

۲- واسنجی مدل به صورت خودکار (سیستمی)

در روش اول، کاربر تمام پارامترهایی را که می‌تواند بر اساس مشاهدات فیزیکی انجام دهد وارد کرده و تخمینی از پارامترهای ناشناخته را به عنوان برآورد اولیه انجام می‌دهد. سپس مدل اجرا می‌شود و خروجی آن با مقادیر مشاهده شده مقایسه می‌گردد. این کار تا بهترین تطبیق این دو خروجی ادامه می‌یابد. این روش در مدل QUAL2Kw توسط تنظیم پارامترهای مختلف در کاربرگ Rates انجام می‌گیرد. پس از تغییرات دستی پارامترها و ضرایب مدل به صورت سعی و خطا و اجرای مکرر مدل ادامه می‌یابد، نهایتاً پس از نزدیک شدن محاسبات به مشاهدات مقادیر نهایی پارامترهای واسنجی به عنوان بهترین مقادیر در مرحله واسنجی پذیرفته می‌شوند.

در روش دوم، مدل QUAL2Kw با استفاده از روابط آزمون Fitness، فاصله نتایج مشاهداتی و نتایج محاسباتی را حداقل می‌نماید که رابطه میانگین مربعات خطا (RMSE) جزء کاربردی‌ترین روابط برای این برازش است (پلیتیر و همکاران^۱، ۲۰۰۵). آنگاه از نتیجه این برازش در الگوریتم ژنتیک برای کالیبراسیون خودکار مدل استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک یکی از تکنیک‌های مقایسه‌ای برای فرآیندهای انتخاب به صورت تکاملی و تدریجی است (گلدبرگ^۲، ۱۹۸۹). در این تحقیق از روش واسنجی دستی استفاده شد، بدین صورت که برای داده‌های هر سال واسنجی ابتدا به صورت جداگانه انجام و در نهایت ضرایب واسنجی که برای تمامی چهار سال مذکور مشترک است، به دست آمد.

صحت‌سنجی مدل

در مرحله صحت‌سنجی با در اختیار داشتن یک یا چند سری دیگر از داده‌های اندازه‌گیری شده و با توجه به تخمین پارامترها و ضرایب به دست آمده در مرحله واسنجی و بدون تغییر آن‌ها مدل را بار دیگر با سری جدید اطلاعات اجرا می‌شود تا میزان نزدیکی و خطا میان محاسبات و مشاهدات اندازه‌گیری گردد. چنانچه واسنجی پارامترهای مدل به خوبی انجام شده باشد در مرحله صحت‌سنجی مدل پاسخگوی هرگونه تغییر در مقدار پارامترهای ورودی به مدل خواهد بود.

صحت‌سنجی مدل کیفی برای تیرماه سال‌های ۹۱ تا ۹۳ اجرا شد و برای ارزیابی هر یک از پارامترهای شبیه‌سازی شده، از ضرایب همبستگی (r)، مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) و پارامتر نش (NASH) استفاده گردید.

$$r = \frac{\sum (Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)}{\sqrt{\sum (Y_m - \bar{Y}_m)^2 \sum (Y_p - \bar{Y}_p)^2}} \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_m - Y_p)^2}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (5)$$

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_m - Y_p)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_m - \bar{Y}_p)^2} \quad (6)$$

که در آن Y_m مقدار مشاهداتی، $\bar{Y}_m$ میانگین مقادیر مشاهداتی، Y_p مقدار پیش‌بینی شده، $\bar{Y}_p$ میانگین مقادیر پیش‌بینی شده، $X_{\max}$ و $X_{\min}$ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار مشاهداتی است. در پارامترهای شبیه‌سازی شده هرچه میزان ضریب همبستگی و آماره نش به یک و مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج مدل از اطمینان بالاتری برخوردار خواهد بود.

¹ Pelletier et al

² Goldberg

تحليل حساسيت مدل

تحليل حساسيت مدل براي اينکه پارامترهاي کيفي که مدل QUAL2Kw به آنها حساسيت بيشتري دارد مشخص شود انجام شد. اين آناليز براي ۷ پارامتر و بر اساس ميزان حساسيت چند پارامترها به تغييرات اکسيژن محلول سنجيده شد براي اين کار با افزايش يا کاهش ۲۰ درصدی اکسيژن و ثابت نگه داشتن ديگر پارامترها ميزان حساسيت مدل بر اساس تغييرات پارامترهاي کيفي شبیه‌سازي شده سنجيده شد.

يافته‌ها

مدل QUAL2Kw براي پارامترهاي کيفي و آلودگي شامل دما، PH، هدايت الکتريکي (EC)، اکسيژن محلول (DO)، نياز اکسيژن خواهي بيولوژيکي (BOD)، نيتروژن نيتراتي (N-NO₃) و نيتروژن آمونياکي (N-NH₄) واسنجي و صحت‌سنجي شد. بدین‌صورت که ابتدا تمامی داده‌هاي هيدروليکي، هواشناسي و کيفي وارد مدل شد. سپس مدل براي تيرماه سال‌هاي ۸۷ تا ۹۰ واسنجي شد. ضرايب واسنجي در هر بار اجرائي مدل تغيير داده شدند تا آنجا که خروجي مدل با داده‌هاي مشاهداتي در ۵ ايستگاه پايش کيفي بسيار نزديک گرديد. در مرحله صحت سنجي، مدل با استفاده از سري دوم داده‌هاي مشاهداتي (تيرماه سال‌هاي ۹۱ تا ۹۳) و بدون تغيير دادن ضرايب واسنجي شده مجدداً اجرا گرديد. اين ضرايب که به‌صورت دستي تغيير داده می‌شد ضرايب نهايي در نظر گرفته شدند که در جدول (۵) نشان داده شده‌اند.

جدول ۵. ضرايب واسنجي مدل کيفي QUAL2Kw در رودخانه دز

پارامتر	مقدار	واحد	حد بالا	حد پايين
ISS Settling velocity	0.2	mg/day	0	2
Fast CBOD Oxidation rate	0.05	1/day	0	5
Organic N Settling velocity	0.025	mg/day	0	2
Organic N Hydrolysis	0.05	1/day	0	5
Ammonium Nitrification	1.25	1/day	0	10
Nitrate Denitrification	0.6	1/day	0	2
Sed denitrification transfer coeff	0.2	mg/day	0	1

جدول (۶)، نتايج حاصل از صحت‌سنجي، بر اساس آماره‌هاي ضريب همبستگي، مجذور ميانگين مربعات خطا نرمال شده و آماره نش را نشان می‌دهد. بر اساس پارامترهاي ذکر شده، هر چه مقدار آماره‌هاي r و Nash به یک و NRMSE به صفر نزديک‌تر باشد، مدل دقت بيشتري خواهد داشت.

جدول ۶. مقدار آماره‌هاي آزمون در مرحله صحت‌سنجي

پارامترها	دما	PH	EC	DO	Fast CBOD	N-NO ₃	N-NH ₄
r	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۳
NRMSE	۰/۰۹	۰/۳	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۲

NASH ۰/۹۴ ۰/۹۵ ۰/۹۳ ۰/۹۹ ۰/۹۵ ۰/۹۳ ۰/۹۳

بر اساس آنچه گفته شد و اعداد جدول فوق، می توان نتیجه گرفت که مدل کیفیت آب QUAL2Kw در شبیه سازی پارامترهای کیفی و آلودگی برای رودخانه دز، از دقت بالایی برخوردار است.

نتایج تحلیل حساسیت مدل QUAL2Kw

در جدول (۷) پارامترهای کیفی که مدل QUAL2Kw به آن ها حساسیت بیشتری دارد مشخص گردیده است. این آنالیز بر اساس میزان حساسیت چند پارامترها به تغییرات اکسیژن محلول سنجیده شد. این آنالیز برای هفت پارامتر انجام گردید که از این میان با افزایش یا کاهش ۲۰ درصدی اکسیژن و ثابت نگه داشتن دیگر پارامترها میزان حساسیت مدل سنجیده شد.

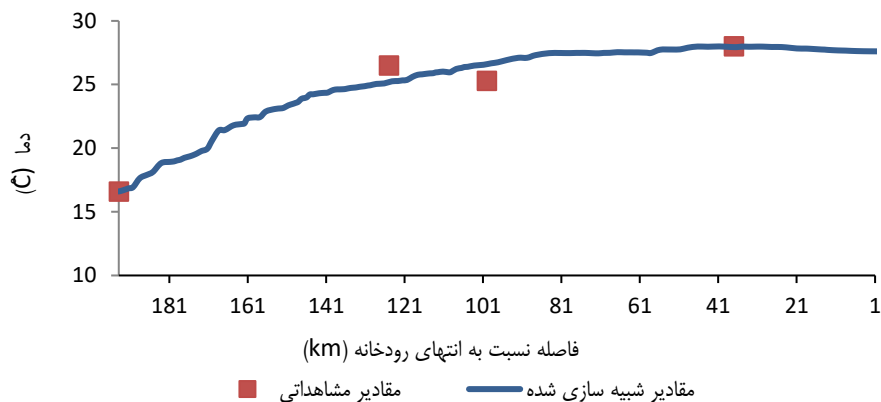
جدول ۷. تحلیل حساسیت مدل کیفی QUAL2Kw برای رودخانه دز

PARAMETER	Description	DO Change (%)	
		+20% Parameter	-20% Parameter
Q	River flow	2.89	-3.39
q	Point source flow	-2.1	2.63
k _{dc}	Fast CBOD oxidation rate	-0.54	1.75
k _{na}	Nitrification rate	-1.24	1.6
n	Manning coefficient	-0.45	0.91
CBOD	Point sources CBOD	-0.72	0.78
k _{dn}	Denitrification rate	0.67	-0.6

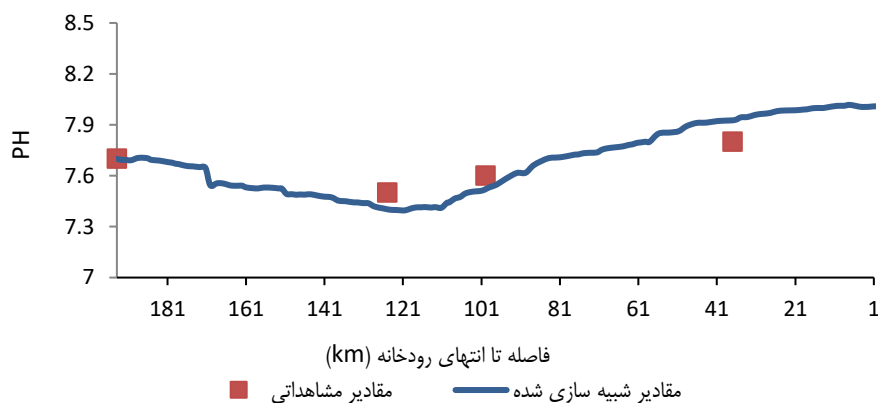
مشخص شد که مدل بیشترین حساسیت را به میزان جریان، نقاط ورود منابع آلودگی، نیاز اکسیژن بیولوژیکی و سرعت نیتریفیکاسیون داراست.

نتایج حاصل از شبیه سازی کمی-کیفی

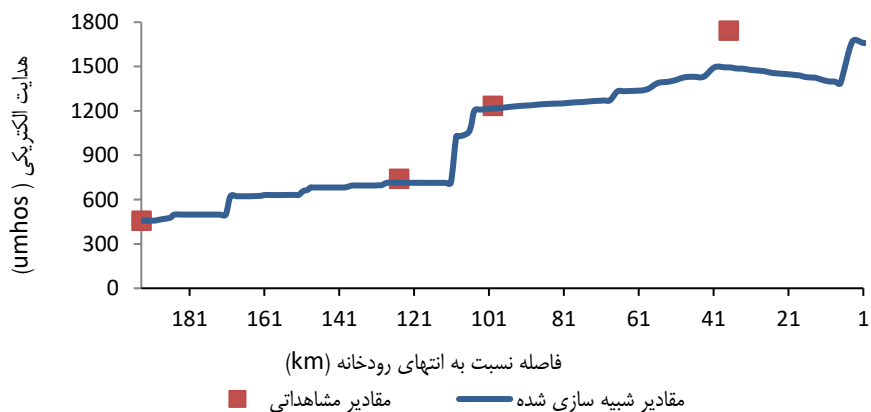
با استفاده از ضرایب واسنجی شده می توان برای مدل سازی کیفی رودخانه دز از هر سری داده های تخمینی مربوط به منابع آلاینده ورودی به رودخانه در هر زمانی استفاده نموده و تغییرات کیفیت و آلودگی رودخانه را در هر نقطه از آن برای آینده پیش بینی کرد. نتایج حاصل از اجرای مدل QUAL2Kw، برای پارامترهای کیفی در طول رودخانه دز، در شکل های (۵) تا (۷) نشان داده شده است. از سرشاخه به سمت انتهای رودخانه، به ترتیب از مقادیر ثبت شده در ایستگاه های دزفول، آب شیرین، حرمله و بام دژ به عنوان مقادیر مشاهداتی استفاده گردید همان طور که از نمودارها مشخص است، بین مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل QUAL2Kw و مقادیر مشاهداتی در ایستگاه های پایش کیفی، اختلاف ناچیزی وجود دارد. به دلیل تخلیه منابع آلاینده نقطه ای با دماهای متفاوت، میزان دمای آب انتهای رودخانه نسبت به سرشاخه افزایش یافته است. مقدار PH نیز بین بازه ۸/۸-۷ تغییر می کند که با توجه به استاندارد کیفیت آب رودخانه ها قابل قبول است. پارامتر هدایت الکتریکی در طول مسیر رودخانه بخصوص در دونقطه تخلیه شاخه کهنک به رودخانه دز و تخلیه زه آب اراضی طرح نیشکر امام خمینی و شعبیه توسط زهکش شعبیه در نزدیکی بند قیر سیر صعودی دارد.



شکل ۵. شبیه‌سازی دما در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)



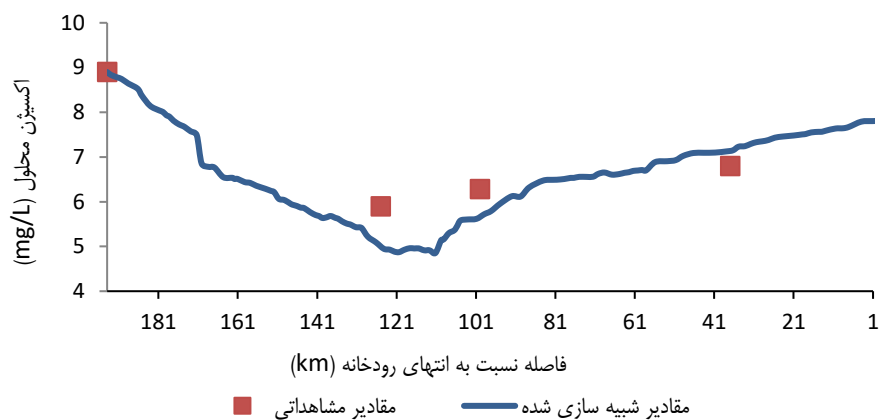
شکل ۶. شبیه‌سازی پارامتر PH در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)



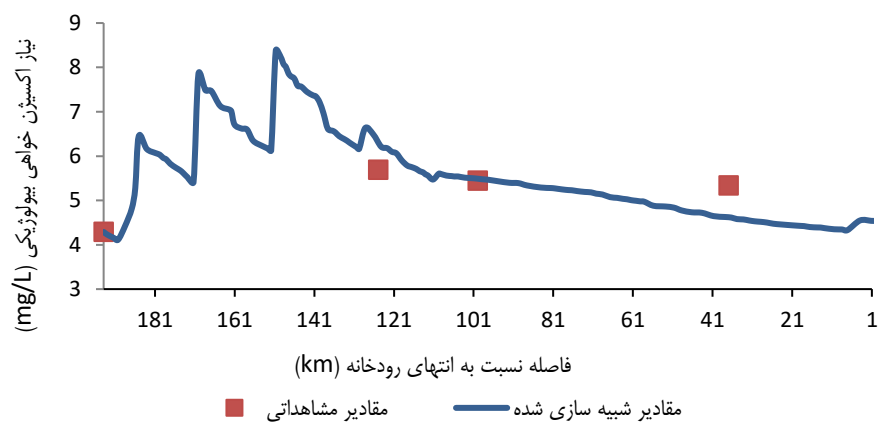
شکل ۷. شبیه‌سازی پارامتر EC در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)

همچنین نتایج حاصل از اجرای مدل QUAL2Kw، برای پارامترهای آلودگی در طول رودخانه دز، در شکل‌های (۸) تا (۱۱) نشان داده شده است. در نیمه ابتدایی رودخانه، به دلیل تخلیه متوالی فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، مجتمع هفت‌تپه و کارخانه کاغذسازی پارس (به ترتیب در کیلومترهای ۱۸۵، ۱۷۰، ۱۵۰ و ۱۲۷) با BOD بالا و از سوی دیگر کاهش قابل‌ملاحظه دبی به دلیل برداشت آب توسط دو آبگیر بزرگ شرقی و غربی، رودخانه از نظر میزان BOD در شرایط بحرانی قرار دارد که همین امر موجب کاهش اکسیژن محلول نیز گردیده است. باوجوداینکه تخلیه زهکش‌های کشاورزی چون میاناب، خارور، شعیبیه و گسترش اراضی طرح نیشکر امام خمینی و شعیبیه در مجاورت رودخانه باعث افزایش میزان نیتروژن نیتراتی در طول رودخانه شده است اما مغایرتی با استانداردهای مربوطه ندارد. مقدار نیتروژن آمونیاکی در برخی از

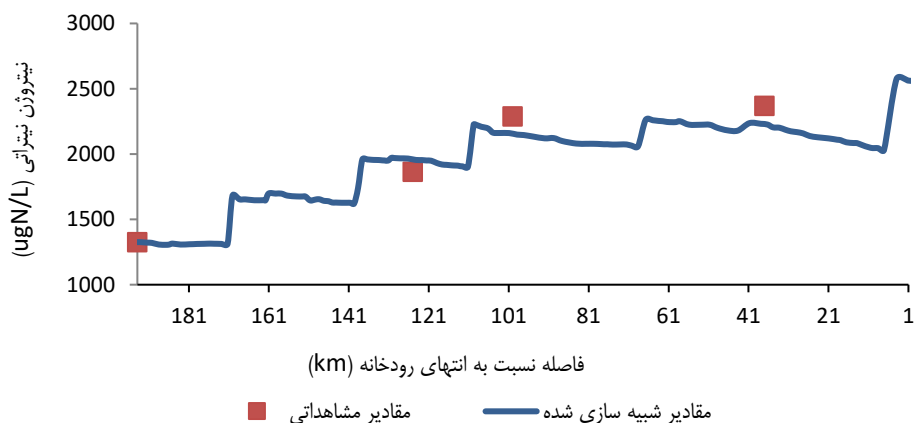
بازه‌های رودخانه بخصوص پایین‌دست نقاط تخلیه فاضلاب‌های شهری، تخلیه رودخانه کهنگ و زهکش‌های کشاورزی نیمه انتهایی رودخانه، از حدود استاندارد مجاز رودخانه‌ها فراتر رود.



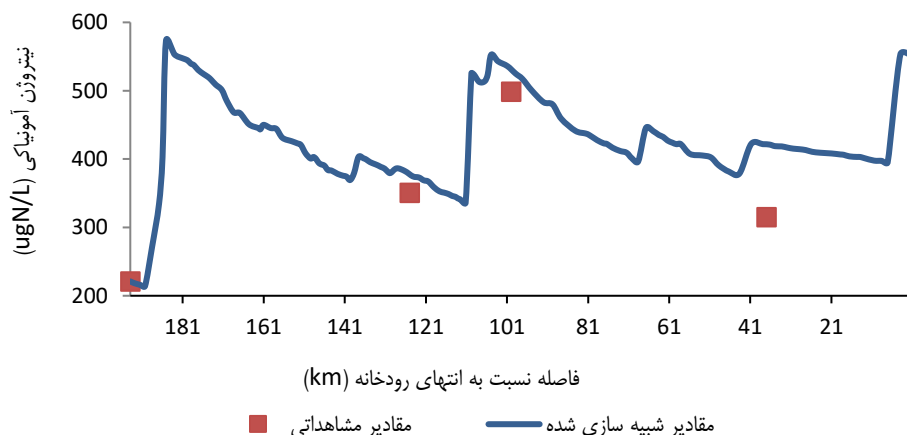
شکل ۸. شبیه‌سازی پارامتر DO در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)



شکل ۹. شبیه‌سازی پارامتر BOD در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)



شکل ۱۰. شبیه‌سازی پارامتر N-NO3 در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)



شکل ۱۱. شبیه‌سازی پارامتر $N-NH_4$ در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)

بحث

پژوهش حاضر با اهداف بررسی روند کیفیت و آلودگی رودخانه دز به سبب تخلیه آلاینده‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، تعیین بازه‌های بحرانی از نظر شدت آلاینده‌گی در طول مسیر رودخانه با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام شد. در مراحل واسنجی و صحت سنجی مدل مشخص شد، پارامترهای گسترده‌ای مانند خصوصیات هندسی جریان، شرایط هیدرولیکی رودخانه، میزان جریان آب، ضرایب هوادهی، نقاط ورودی آلاینده‌ها، نرخ نیتریفیکاسیون، اکسیژن خواهی و ... در رودخانه در نتایج مدل‌سازی کیفی دخالت دارند. رفیعی و همکاران (۲۰۱۳) با مدل نمودن کیفی آب رودخانه گرگر به برخی از این پارامترها اشاره کرده و به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج نشان داد در طول رودخانه دز، بازه حمیدآباد (ورودی شاخه بالارود) تا ایستگاه حرمله به علت تراکم بالای ورود انواع زهکش‌ها و آلاینده‌های صنعتی و کشاورزی بالاترین مقادیر پارامترهای آلودگی و کیفی را داراست و تا ایستگاه بامدژ به علت افزوده شدن چند منبع آلودگی دیگر مقادیر برخی از پارامترها به تدریج نیز افزایش می‌یابد. به دلیل انحراف حجم گسترده‌ای از آب رودخانه توسط کانال‌های غربی و شرقی بند انحرافی دزفول (با حداکثر ظرفیت ۱۵۷ و ۹۲ مترمکعب بر ثانیه) و توزیع آن روی دشت‌های غربی و شرقی، سپس تراکم ورود بیش از ۱۰ منبع آلاینده کشاورزی و صنعتی در حدود طول ۶۰ کیلومتر از رودخانه و دیگر نقاط آلاینده در ادامه رودخانه، موجب کاهش کیفیت آب در حدود ۱۶۰ کیلومتر بازه انتهایی دز می‌گردد. با توجه به اینکه این رودخانه به عنوان یک منبع آب پاک و پالایش کننده آب رودخانه کارون پس از الحاق به آن به شمار می‌رود لذا کنترل کیفی آن از این جنبه نیز بسیار مهم است.

نتیجه‌گیری

احداث تصفیه‌خانه به عنوان یک راهکار برای تمامی منابع آلاینده امری پرهزینه و غیرممکن به نظر می‌رسد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود تمامی فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، مجتمع هفت‌تپه و کارخانه کاغذسازی پارس تصفیه و سپس تخلیه گردند اما در خصوص زهکش-های کشاورزی اقدامات اصلاحی مانند اصلاح در نوع سیستم‌های آبیاری، کودهای مصرفی، الگوی کشت منطقه و غیره در مبدأ صورت گیرد. روند تغییرات پارامترهای کیفی و آلودگی در رودخانه دز نشان داد که این رودخانه از نظر آلاینده‌گی BOD به دلیل تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، از نظر آلاینده‌گی EC به سبب تخلیه زهکش اراضی کشاورزی (عمدتاً طرح نیشکر) و از نظر آلاینده‌گی $N-NH_4$ به علت فاضلاب‌های شهری، صنعتی و زه آب اراضی کشاورزی در شرایط بحرانی قرار دارد. بر اساس آمارهای آزمون محاسبه شده در مرحله صحت‌سنجی، می‌توان نتیجه گرفت که مدل کیفیت آب QUAL2Kw در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی و آلودگی در رودخانه دز از دقت بالایی برخوردار است. لذا پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از مدل کیفی واسنجی شده QUAL2Kw رودخانه دز جهت پیش‌بینی میزان آلودگی آن با توجه به میزان توسعه شهری و صنعتی در آینده و ارائه راهکارهای مدیریتی بهره‌مند گردید.

منابع

- بیگلری، محمدرضا، سیما، سمیه، و سعادت پور، مطهره. (۱۳۹۵). شبیه سازی کیفیت آب رودخانه در شرایط بحرانی و اثربخشی اقدامات مدیریتی: مطالعه موردی زرینه رود. کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، دانشگاه تهران، ایران.
<https://civilica.com/doc/600286/>
- عابدی کوپایی، جهانگیر، نصری، زهره، طالبی، خلیل، مأمون پوش، علیرضا، و موسوی، سید فرهاد. (۱۳۹۰). مطالعه کیفیت شیمیایی و آلودگی آب زاینده رود در بالادست به دیازینون و توان خودپالایی آن. علوم آب و خاک، ۱۵ (۵۶)، ۲۰-۲۰.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.56.1.1>
- خسروی نیا، احسان، گلماهی، سیدحسن، و ضیاءتباراحمدی، میرخالق. (۱۳۸۸). مدیریت کیفی سیستم های رودخانه ای به وسیله مدل ریاضی WASP7 مطالعه موردی رودخانه کارون. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آب خیزداری ایران، گرگان، ایران.
<https://civilica.com/doc/3869/>
- عاشق معلا، مریم، محمدی فاضل، اصغر، و حمادی، مجید. (۱۳۹۳). نقش توان خودپالایی رودخانه ها در تعیین مجاز پارامترهای کیفی پساب ها. نشریه علوم و مهندسی محیط زیست، ۱ (۴)، ۳۷-۴۹.
<https://www.magiran.com/paper/1408039>
- میرباقری، سید احمد، محمودی، شاهرخ، و خضری، سید مصطفی. (۱۳۹۰). مدل سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه چالوس با استفاده از نرم افزار QUAL2K. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۴۰ (۳)، ۴۰-۴۹.
<https://www.magiran.com/paper/950002>
- نجفی، حسین، و محمود پور، طاهر. (۱۳۹۱). مدل سازی کیفی رودخانه قره سو با استفاده از مدل QUAL2K. همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
<https://civilica.com/doc/148298/>
- هاشمی، سید حسین، رنج کش، یوسف، رضانی، سعیده، و قاسمی زیارانی، الهام. (۱۳۹۱). تحلیل مقایسه ای کیفیت آب رودخانه کرج با تکنیک آماری تحلیل عاملی و مدل QUAL2K. همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
<https://civilica.com/doc/148297/>

References

- Abedi-Koupai, J., Nasri, Z., Talebi, Kh., Mamanpoush, A., & Mousavi, S.F. (2011). Investigation of Zayandehrud Water Pollution by Diazinon and its Assimilative Capacity. *Jwss*, 15(56), 1-20.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.56.1.1> [In Persian]
- Alizadeh, A., Rajabi, A., Shabanlou, S., Yaghoubi, B., & Yosefvand, F. (2021). Modeling long-term rainfall-runoff time series through wavelet-weighted regularization extreme learning machine. *Earth Sci Inform* 14, 1047–1063. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12145-021-00603-8>
- Amiri, S., Rajabi, A., Shabanlou, S., Yosefvand, F., & Izadbakhsh, M.A. (2023). Prediction of groundwater level variations using deep learning methods and GMS numerical model. *Earth Science Informatic*. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01052-1>
- Ashiq-Moala, M., Mohammadi Fazel, A., & Hamami, M. (2013). The role of self-purification power of rivers in the permissible determination of quality parameters of effluents. *Journal of Environmental Sciences and Engineering*, (4)1, 49-37. <https://www.magiran.com/paper/1408039> [In Persian]
- Azimi, H., Shabanlou, S., Ebtehaj, I., & Bonakdari, H. (2016). Discharge Coefficient of Rectangular Side Weirs on Circular Channels. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 17(7-8), 391-399. <http://dx.doi.org/10.1515/ijnsns-2016-0033>
- Azizpour, A., Izadbakhsh, M.A., Shabanlou, S., Yosefvand, F., & Rajabi, A. (2021). Estimation of water level fluctuations in groundwater through a hybrid learning machine. *Groundwater for Sustainable Development*, 15, 100687. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100687>
- Azizpour, A., Izadbakhsh, M.A., Shabanlou, S., Yosefvand, F., & Rajabi, A. (2022). Simulation of time-series groundwater parameters using a hybrid metaheuristic neuro-fuzzy model. *Environment Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17879-4>

- Bigleri, M.R., Sima, S., & Saadatpour, M. (2015). Simulation of river water quality in critical conditions and the effectiveness of meditative measures: a case study of Zarineh Rood. Iran Water and Wastewater Science and Engineering Congress, University of Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/600286/> [In Persian]
- Chapra, S., Pelletier, G., & Tao, H. (2006). A Modeling framework for simulating river and stream water quality, Version 2.04: Documentation and user's manual. Civil and Environmental Engineering Dept, Tufts University, Medford, MA. <https://www.semanticscholar.org/paper/>
- Chuersuwan, N., Nimrat, S., & Chuersuwan, S. (2013). Water Quality Management in Lamtakhong River. Journal of Pakistan Water Resources Management, 10, 22-41. <http://dx.doi.org/10.19026/rjaset.6.3456>
- Fan, C., Ko, C.H., & Wang, W.S. (2009). An innovative modeling approach using qual2k and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. Journal of Environmental Management, 90(5), 1824-1832. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.011>
- Gharib, R., Heydari, M., Kardar, S., & Shabanlou, S. (2020). Simulation of discharge coefficient of side weirs placed on convergent canals using modern self-adaptive extreme learning machine. Appl Water Sci 10, 50. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1136-0>
- Gilbert, J. M., & Maxwel, R. M. (2017). Examining regional groundwater-surface water dynamics using an integrated hydrologic model of the San Joaquin River basin. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 923-947. <https://doi.org/10.5194/hess-21-923-2017>
- Hashemi, S.H., Rangeekesh, Y., Ramezani, S., & Ghasemi Ziyarani, E. (2012). Comparative analysis of Karaj river water quality with statistical technique of factor analysis and QUAL2K model. National Conference on Water Flow and Pollution, University of Tehran, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/148297/> [In Persian]
- Hu, L., Xu, Z., & Huang, W. (2016). Development of a river-groundwater interaction model and its application to a catchment in Northwestern China. Journal of Hydrology, 543, 483-500. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.028>
- Khosravi Nia, H., Golmaei, H., Mir Khaleq, Z., & Ahmadi, T. (2009). Quality Management of River Systems by Wasp7 Mathematical Model Case Study of Karun River, Iranian Watershed Management Association 5th National Conference on Watershed Management Science and Engineering. Gorgan, Iran. <https://civilica.com/l/3869/> [In Persian]
- Li, Z., Quan, J., Li, X-Y., Wu, X-C., Wu, H-W., Li, Y-T., & Li, G-Y. (2016). Establishing a model of conjunctive regulation of surface water and groundwater in the arid regions. Agricultural Water Management, 174: 30- 38. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.030>
- Mathew, M., Yao, Y., Cao, Y., Shodan, K.h., Ghosh, I., Bucci, V., Leatao, Ch., Njoka, D., Wei, I., & Hellweger, L. (2011). Anatomy of an urban waterbody: A case study of bostons mudyy river. Enviromental Pollution, 159(8-9), 1996-2002. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.018>
- Mazraeh, A., Bagherifar, M., Shabanlou, S., & Ekhlasmad, R. (2023). A Hybrid Machine Learning Model for Modeling Nitrate Concentration in Water Sources. Water, Air, & Soil Pollution, 234(11), 1-22. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-023-06745-3>
- Mazraeh, A., Bagherifar, M., Shabanlou, S., & Ekhlasmad, R. (2024). A novel committee-based framework for modeling groundwater level fluctuations: A combination of mathematical and machine learning models using the weighted multi-model ensemble mean algorithm. Groundwater for Sustainable Development, 24, 101062. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101062>
- Moghadam, R.G., Izadbakhsh, M.A., Yosefvand, F., & Shabanlou, S. (2019). Optimization of ANFIS network using firefly algorithm for simulating discharge coefficient of side orifices. Appl Water Sci, 9, 84. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0950-8>
- Mirbagheri, S.A., Mahmoudi, S., & Khazri, S.M. (2019). Modeling of Nitrogen and Phosphorus Changes along Chalus River Using QUAL2K Software. Journal of Civil and Environmental Engineering, 40(3), 49-60. <https://www.magiran.com/paper/950002> [In Persian]

- Mohammed, K.S., Shabanlou, S., Rajabi, A., Yosefvand, F., & Izadbakhsh, M.A. (2023). Prediction of groundwater level fluctuations using artificial intelligence-based models and GMS. *Applied Water Science*, 13, 54. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01861-7>
- Mummidivarapu, S. K., Rehana, S., & Satyaji Rao, Y. R. (2023). Mapping and assessment of river water quality under varying hydro-climatic and pollution scenarios by integrating QUAL2K, GEFC, and GIS. *Environmental Research*, 239 (1), 117250. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117250>
- Najafi, H., & Mahmoudpour, T. (2012). Qualitative modeling of Qarasu river using QUAL2K model. National Conference on Water Flow and Pollution, University of Tehran, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/148298/> [In Persian]
- Rafiee, M., Akhond Ali, A.M., Moazed, H., Jaafarzadeh, N., & Zahraie, B. (2013). A Case Study of Water Quality Modeling of the Gargar River, Iran. *Journal Of Hydraulic Structures*, 1(2), 10-22. <https://doi.org/10.22055/jhs.2014.10533>
- Rajabi, A., & Shabanlou, S. (2012). Climate index changes in future by using SDSM in Kermanshah, Iran. *Journal of Environmental Research and Development*, 7(1), 37-44. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20123377231>
- Pelletier, G., & Chapra, S. (2008). QUAL2Kw theory and documentation A modeling framework for simulating river and stream water quality. Environmental Assessment Program Olympia. Washington, 98504-7710. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.002>
- Sener, S., Sener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index method and GIS in Aksu River (Turkey). *Journal of Water Management*, 584, 131-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>
- Shabanlou, S. (2018). Improvement of extreme learning machine using self-adaptive evolutionary algorithm for estimating discharge capacity of sharp-crested weirs located on the end of circular channels. *Flow Measurement and Instrumentation*, 59, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.11.003>
- Varekar, V., Yadav, V., & Karmakar, S. (2021). Rationalization of water quality monitoring locations under spatiotemporal heterogeneity of diffuse pollution using seasonal export coefficient. *Journal of Environmental Management*, 277, 111342. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111342>
- Zhang, R., Qian, X., Yuan, X., Ye, R., Xia, B., & Wang, Y. (2012). Simulation of Water Environmental Capacity and Pollution Load Reduction Using QUAL2K for Water Environmental Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(12), 4504-4521. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph9124504>



Monitoring water level changes in Hashilan wetland using remote sensing

Sahel Shirmohamadi¹ , Maryam Hafezparast Mavaddat^{2✉} , Ali Bafkar³

¹ M.Sc. student of Irrigation and Drainage Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: sahel.shirmohammadi1996@gmail.com

² Corresponding author, Assistant Professor in the Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: m.hafezparast@razi.ac.ir

³ Retired Assistant Professor in the Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: alibafkar@yahoo.com

ABSTRACT

There are two approaches to environmental changes; the first approach is based on ignoring these changes and continuing the current situation, which will only result in further environmental destruction. The second approach involves identifying these changes from the past to the present and formulating an environmental management plan to control these changes and plan for improving the environmental situation. Monitoring and examining the water levels of wetlands using remote sensing to protect this natural heritage has received significant attention in recent years by many countries, and this is considered the first step in identifying the problem and attempting to solve it, making it of particular importance. The Heshilan wetland area in ENVI 5.6 software was delineated, and the errors in Landsat satellite images were corrected radiometrically and atmospherically. The 30-meter pixel size image was converted to a 15-meter pixel size to enhance the spatial resolution of the study area, then we normalized the surface reflectance values and used the Target Detection Wizard in ENVI 5.6 software to determine the area of the wetland in Heshilan in February of each year during the years (2000-2022), and the Shape File output was called in ArcMap 10.8.2 to calculate the area of the Heshilan wetland in square kilometers on the date of satellite image acquisition. The results of interpreting satellite images in the years under study show that in 2005 and 2018, the wetland had the highest and lowest surface area, respectively, in the past two decades, with an area of 3.83 and 0.34 square kilometers in those years, respectively. The results indicate that over the past 22 years, the wetland has faced a decrease in water level by 0.79 square kilometers for that specific month. The research results indicate that analyzing satellite images using remote sensing techniques can effectively demonstrate changes in wetland area over time intervals. The results of interpreting satellite images over the years under study show a decrease in the extent of the Heshilan wetland, especially in the western and southwestern regions of the wetland. This decrease can be attributed to natural phenomena such as drying up of some springs due to droughts and periods of low water, as well as adverse effects of human activities such as increased human access to the wetland through access roads in this area, land encroachment by villagers converting them into agricultural lands, presence of deep wells in surrounding lands, and exploitation of wetland water through irrigation channels without proper consideration of water inflow. In these circumstances, the wetland ecosystem has completely changed, and other aquatic birds no longer live in this area. Considering the unfavorable trends in Heshilan wetland, continuing the current trend could endanger the existence and integrity of the Heshilan wetland irreversibly. Ecosystem management of the wetland through formulating a management plan to preserve and restore the structure and functions of this ecosystem with long-term stability can be a solution.

Keywords: Environmental changes, Wetlands, Remote sensing, GIS

Article Type:

Article history: Received: 22 January 2024 Revised: 13 April 2024 Accepted: 05 May 2024 ePublished: 21 June 2024

1. Introduction

There are two approaches in dealing with environmental changes. The first approach is based on ignoring these changes and continuing the current situation, which will result in further environmental destruction. The second approach is based on identifying these changes from the past to the present and formulating an environmental management plan to control these changes and plan for improving the environmental situation. Wetlands are one of the most important natural habitats in the world and have many values and benefits, especially in energy circulation in the environment. In the last 20 years, the area of many wetlands has decreased due to the increase in industrial and agricultural development and the lack of water in arid and semi-arid regions (Cui et al., 2009). One of the effective tools in the field of wetland area changes is the use of remote sensing technology and satellite data. The use of satellite images, due to their wide spatial coverage, high resolution, low cost, temporal archive, free access to satellite images, and the availability of practical software and spectral indices, has become very important in estimating the area of aquatic zones. Monitoring and assessing the water level of wetlands using remote sensing to protect this natural heritage has become a focus for many countries in recent years, and this is of particular importance as the first step in identifying problems and attempting to solve them. Heshilan wetland plays a significant role in nourishing and increasing the stability of underground waters, preventing floods, and promoting agriculture in the region, as well as providing a unique habitat for native and migratory birds to easily pass winter. The aim of this research is to monitor changes in the water level of Heshilan wetland over a 22-year period using remote sensing and geographic information systems.

2. Methodology

Landsat satellite images were downloaded from the United States Geological Survey website. After downloading the Landsat satellite images, the Heshilan wetland area was delineated, and the images were radiometrically and atmospherically corrected. To enhance the spatial resolution of the study area, the 30-meter pixel size image was converted to a 15-meter pixel size image for better spatial resolution (the 15-

meter resolution provides more accurate information than approximate surface area estimates of wetlands), then we normalized the surface reflectance values. The Target Detection Wizard tool in ENVI 5.6 software was used to determine the aquatic zone area of the wetland in Murch of each year during (2000-2022), and the output file was imported into ArcMap 10.8.2 to calculate the aquatic zone area of Heshilan wetland in square kilometers on the date of image acquisition.

3. Results and discussion

The results of interpreting satellite images over the years under study indicate that in 2018, the wetland had its lowest surface area in two decades, with an area of 0.34 square kilometers in that year. Additionally, the highest area of the aquatic zone of the wetland occurred in 2005, with an area of 3.83 square kilometers. The results show that over the past 22 years, the wetland has faced a decrease in water level by 0.79 square kilometers for the specific month.

4. Conclusions

The research results indicate that analyzing satellite images using remote sensing techniques can effectively show changes in wetland areas over time intervals. The results of interpreting satellite images over the years under study show a reduction in the extent of Heshilan wetland, especially in the western and southwestern regions, which can be attributed to natural phenomena such as drying up some springs due to droughts and periods of low water levels, as well as undesirable effects of human activities such as increased human access to wetlands through access roads in this area, land grabbing by villagers converting them into agricultural lands, deep wells around the wetlands, and utilizing wetland water through agricultural canals without considering proper water inflow. In these conditions, the wetland ecosystem has completely changed, and other aquatic birds no longer live in this area, with many migratory birds moving to tropical regions, depending on their habitats along the migration route. Given the unfavorable trends in Heshilan wetland developments, continuing the current conditions could jeopardize the existence and integrity of Heshilan wetland irreversibly. Ecosystem management of wetlands by developing a management plan to preserve and revitalize the structure and functions of this ecosystem with long-term stability can be a solution.

5. References

Cui, B., Tang, N., Zhao, X., & Junhong, B. (2009). A management-oriented valuation method to determine ecological water requirement for wetlands in the Yellow River Delta of China. *Journal for Nature Conservation*, 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2009.01.003>

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Cite this article: Shirmohamadi, S., Hafezparast Mavaddat, M., & Bafkar, A. (2024). Monitoring water level changes in Hashilan wetland using remote sensing, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(2), 22-42. DOI: 10.22126/atwe.2024.10391.1116





بررسی تغییرات سطح آب تالاب هشیلان با استفاده از سنجش از دور

ساحل شیرمحمدی^۱، مریم حافظ پرست مودت^۲، علی بافکار^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: sahel.shirmohammadi1996@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: m.hafezparast@razi.ac.ir

^۳ استادیار بازنشسته گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: alibafkar@yahoo.com

چکیده

پایش و بررسی سطح آب تالابها با استفاده از سنجش از دور به منظور محافظت از این میراث طبیعی در سالهای اخیر موردتوجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است و این امر به عنوان اولین قدم برای پی بردن به وجود مشکل و سعی برای حل آن، از اهمیت خاصی برخوردار است. محدوده تالاب هشیلان در نرم افزار ENVI 5.6، برش زده شد و خطای تصاویر ماهواره ای لندست از لحاظ رادیومتریکی و اتمسفری برطرف شد. تصویر پیکسل سایز ۳۰ متری به پیکسل سایز ۱۵ متری تبدیل شد تا توان تفکیک مکانی منطقه مورد مطالعه ارتقا پیدا کند، سپس به نرمال کردن مقادیر بازتاب سطحی پرداخته شد و برای تعیین مساحت پهنه آبی تالاب در ماه اسفند هر سال طی سالهای (۲۰۲۲-۲۰۰۰) از دستور Target Detection Wizard در نرم افزار ENVI 5.6 استفاده شد و شیب فایل خروجی در Arc Map 10.8.2 فراخوانی و مساحت پهنه آبی تالاب هشیلان برحسب کیلومتر مربع در تاریخ اخذ تصاویر ماهواره محاسبه شد. نتایج حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره ای در سالهای مورد بررسی نشان دهنده این نکته است که در سالهای ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ تالاب به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان سطح خود در دو دهه گذشته بوده که مساحت پهنه آبی آن در این سالها به ترتیب ۳۸۳ و ۰۳۴ کیلومتر مربع است و نتایج نشان داد که در طی ۲۲ ساله گذشته برای ماه مذکور تالاب به میزان ۰۷۹ کیلومتر مربع با کاهش سطح آب مواجه شده است. نتایج حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره ای طی سالهای مورد بررسی نشان دهنده کاهش وسعت تالاب هشیلان به ویژه در ناحیه غرب و جنوب غرب تالاب است که می توان دلیل آن را وقوع پدیده های طبیعی مانند خشک شدن تعدادی از چشمه های جوشان بر اثر خشک سالی و دوره های کم آبی و همچنین اثرات نامطلوب فعالیت های انسانی مانند افزایش دسترسی انسان به تالاب از طریق راه های دسترسی در این ناحیه و همچنین تصرف اراضی تالابی توسط روستاییان و تبدیل کردن آنها به اراضی کشاورزی و وجود چاه های عمیق در زمین های اطراف و بهره برداری از آب تالاب از طریق کانال کشاورزی، بدون توجه لازم به میزان ورود آب دانست. در این شرایط اکوسیستم تالاب کاملاً تغییر یافته است و پرندگان آبی دیگر در این منطقه زندگی نمی کنند. باتوجه به سیر تحولات ناخوشایند تالاب هشیلان، ادامه روند شرایط کنونی می تواند موجودیت و یکپارچگی تالاب هشیلان را با خطر جبران ناپذیری مواجه کند. مدیریت اکوسیستمی تالاب با تدوین یک برنامه مدیریتی به منظور حفظ و احیای ساختار و عملکردهای این اکوسیستم با پایداری طولانی مدت، می تواند راهگشا باشد.

واژه های کلیدی: تغییرات زیست محیطی، هشیلان، مساحت تالاب، سنجش از دور، GIS

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۰ بهمن ۱۴۰۲ اصلاح: ۲۵ فروردین ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ تیر ۱۴۰۳

استناد: شیرمحمدی، س.، حافظ پرست مودت، م.، و بافکار، ع. (۱۴۰۳). بررسی تغییرات سطح آب تالاب هشیلان با استفاده از سنجش از دور، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، (۳)، ۴۲-۲۲، شناسه دیجیتال: 10.22126/atwe.2024.10391.1116



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

از آنجایی که تالاب‌ها از حیاتی‌ترین زیستگاه‌های انواع جانوران و از نظر تنوع زیست‌محیطی در مقایسه با سایر اکوسیستم‌ها از غنای بالایی برخوردارند و از جهت بقا تأمین غذای بسیاری از جانوران اعم از پرندگان، ماهی‌ها و آبزیان بهترین زیستگاه محسوب شده و در تأمین بخشی از سفره‌های آب زیرزمینی نقش بسزایی دارند و خاستگاه نهایی بسیاری از آبراهه‌ها، رودخانه و سیلاب‌ها بوده و با تنظیم جریان آب مانع گسترش سیلاب و نفوذ آب‌های شور می‌شوند، لذا حفظ و صیانت از چنین اکوسیستمی که بالاترین مولدهای بیولوژیکی محسوب می‌شوند در جهت استفاده و بهره‌وری عالمانه بسیار حائز اهمیت است. در دهه‌های اخیر با گرمایش جهانی زمین و افزایش آثار رو به رشد فعالیت‌های انسانی و تغییرات رودخانه‌ها، آب شدن یخچال‌ها و دیگر تغییرات مکانی و زمانی، کاهش سطح تالاب‌ها و دیگر منابع آب سطحی بیشتر نمایان شده است. بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی پهنه‌های آبی بر مدیریت صحیح و حفاظت این اکوسیستم‌های ارزشمند، تأثیر زیادی دارد و حفاظت از این منابع ارزشمند مستلزم پایش و نظارت بر این تغییرات گذشته، حال و آینده است (جواد و همکاران، ۱۳۹۹). تمام اکوسیستم‌ها برای حفظ فرآیندهای بوم‌شناختی و جوامع گیاهی و جانوری مرتبط به آب نیاز دارند. تالاب‌ها زیست‌بوم‌هایی هستند که در آن‌ها فاکتور اصلی تأثیرگذار بر محیط و جوامع گیاهی و جانوری، آب است (اسماعیلی افق، ۱۳۹۰). تالاب‌ها به‌عنوان دلتای رودخانه‌ها، از ارزشمندترین و حساس‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشند. تصفیه آب، اکوتوریسم، تعدیل اقلیم و تولید مواد غذایی، فراهم کردن موقعیت‌های اقتصادی و توریستی، تأمین آب شرب و معاش مردم بومی و ... از مهم‌ترین خدمات تالاب‌ها محسوب می‌شود (طرح حفاظت از تالاب‌های ایران و مهندسين مشاور آساراب، ۱۳۹۷). در ۲۰ سال اخیر، مساحت بسیاری از تالاب‌ها به دلیل افزایش توسعه صنعتی و کشاورزی و کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاهش یافته است (کوبی و همکاران^۱، ۲۰۰۹). تغییرات میزان آب تالاب در اثر عوامل گوناگون می‌تواند بر حیات وحش و پوشش گیاهی منطقه تأثیرگذار باشد. هرچند تالاب‌ها در روند تکاملی خود، امروزه به بستری خشک و عاری از آب مبدل می‌شوند، اما فعالیت‌های انسانی این روند را بیش‌ازپیش سرعت بخشیده و به سمت نابودی و مرگ زودرس تالاب سوق می‌دهد (بیات و همکاران، ۱۳۹۳). بسیاری از برنامه‌های توسعه منابع آب که برای افزایش دستیابی به آب اجرا شده‌اند به‌اندازه کافی به پیامدها و ایجاد اختلال در خدماتی که به‌وسیله تالاب‌ها ارائه می‌شود توجه نداشته و در تعداد زیادی از تالاب‌ها، افزایش استحصال آب در بالادست به بهای از دست رفتن و یا حداقل کاهش وسعت و خدمات تالاب‌ها در مناطق پایین‌دست حوضه آبریز به انجام رسیده است (گارگ^۲، ۲۰۱۵). سدسازی و تنظیم یا انحراف جریان آب بدون رعایت ملزومات زیست‌محیطی، وقوع سیلاب و خشک‌سالی، تغییر اقلیم و گرمایش جهانی نیز از عوامل تأثیرگذار در تخریب اکوسیستم‌های طبیعی است (شکوئی و هانگ^۳، ۲۰۱۱). اطلاعاتی درباره تغییرات زمانی و مکانی مساحت سطح دریاچه می‌تواند یکی از ضروریات برنامه‌ریزی، مدیریت و ارزیابی برنامه‌های منابع آبی در سطوح محلی و منطقه‌ای باشد (باستاوی و همکاران^۴، ۲۰۰۸). از آنجاکه تغییرات در پهنه‌های آبی در سطوح مختلف زمانی و مکانی صورت می‌گیرد، بنابراین استفاده از تکنولوژی سنجش اذدور، ابزاری ضروری و باارزش جهت پایش تغییرات است (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). یکی از فنون نو و کارآمد در زمینه پایش تغییرات سنجش اذدور است. از طریق این فن می‌توان با استفاده از مجموعه تصاویر چند زمانه و پردازش آن‌ها با یکی از روش‌های مناسب موجود و با سرعت و دقت بالا نسبت به آشکارسازی تغییرات موردنظر در منطقه اقدام کرد. سنجش اذدور همچنین یکی از بهترین ابزارها در بهبود کیفیت شناخت و اطلاع از وضع موجود دریاچه‌ها به‌منظور اتخاذ سیاست‌های مدیریتی صحیح در آن‌هاست. با استفاده و به‌کارگیری داده‌های سنجش از دور می‌توان به شیوه‌ای علمی و کارآمد به مدیریت تالاب‌ها پرداخت (گراس و همکاران^۵، ۲۰۰۶).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

محققان پژوهش‌های متفاوتی در خصوص بررسی تغییرات سطح تالاب‌ها از طریق سنجش اذدور در داخل و خارج کشور کارکرده‌اند که به مواردی از آن‌ها پرداخته می‌شود. میزان بارش بر تغییر سطح آب دریاچه مهارلو واقع در استان شیراز با استفاده از داده‌های چند زمانه سنجنده

¹ Cui et al

² Garg

³ Shokoohi & Hong

⁴ Bastawesy et al

⁵ Gross et al

TM ماهواره لندست در تاریخ‌های ۲۰ مارس ۱۹۹۹ و ۱۸ مارس ۲۰۰۹ بررسی شد. یافته‌های آن‌ها نشان داد، مساحت دریاچه در سال ۲۰۰۹ با کاهش ۱۰۷ کیلومتر مربعی در زمان مشابه نسبت به سال ۱۹۹۹ همراه بوده است که عمدتاً به دلیل کاهش ۲۰۰ میلی‌متری میزان بارش در سال آبی نسبت به دوره مشابه است (مظفری و نارنگی فرد، ۱۳۹۲). امیری و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از سه شاخص $NDWI^1$ ، $MNDWI^2$ و $AWEI^3$ میزان سطح تالاب‌های هورالعظیم و شادگان واقع در استان خوزستان در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۷۸ مورد بررسی قرار دادند. بررسی روند تغییرات سطح تالاب‌ها با استفاده از آزمون من-کندال نشان داد که میزان تغییر مساحت تالاب‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار نیست. این موضوع بیانگر تأثیر دخالت انسان در تنظیم میزان جریان ورودی به این تالاب‌ها توسط سدهای بالادست به‌خصوص در زمان خشک‌سالی و سیلاب است. به طوریکه بیشترین تغییرات مربوط به ماه فروردین و کمترین آن در ماه شهریور اتفاق افتاده است. همچنین بررسی همبستگی تغییرات دمایی تالاب‌ها با تغییر مساحت‌ها نشان داد که به‌طور متوسط به ازای تغییر هر ۱۰۰۰ هکتار از مساحت تالاب‌های هورالعظیم و شادگان میزان ± 0.4 درجه سلسیوس تغییر می‌کند. بررسی و مقایسه تغییرات تالاب بین‌المللی شادگان طی دو دهه توسط رحیمی بلوچی و همکاران (۱۳۹۱) انجام شد. نتایج این تحقیق، کاهش ۶ درصدی مساحت تالاب شادگان در طی این سال‌ها و کاهش مساحت بخش‌های آبی و خاکی (اراضی بایر و گل‌ولای) تالاب به میزان ۱۷۹۶.۶۱ کیلومتر مربع و افزایش مساحت پوشش گیاهی تالاب به میزان ۷.۱۷۹۶ نشان می‌دهد. نتیجه محاسبه شاخص $WRATIC^4$ نشان‌دهنده تأثیر زیاد اجزاء حوزه آبریز تالاب شادگان در ایجاد آلودگی آب تالاب است. جوادی و همکاران (۱۳۹۹) بهترین شاخص ماهواره‌ای برای استخراج مساحت تالاب زیربار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 5,7,8 را محاسبه کردند. مساحت تالاب با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ محاسبه و این روش به‌عنوان روش مبنا در تعیین بهترین شاخص در نظر گرفته شده است شاخص‌های $AWEI$ و SWI^5 و $MNDWI$ و $NDWI$ و $NDVI^6$ و WRI^7 به‌عنوان متداول‌ترین شاخص‌ها در تعیین پهنه‌های آبی مقایسه شده‌اند که مقادیر هر یک از شاخص‌ها در تصاویر گرفته شده محاسبه شده و مقادیر آستانه شاخص‌ها در هر تصویر تعیین و در نهایت با استفاده از روش مبنا صحت سنجی شده است. در این میان، شاخص‌های $MNDWI$ و $AWEI$ و SWI در مقایسه با روش مبنا با مقادیر همبستگی به ترتیب معادل ۰.۷۶، ۰.۷۴ و ۰.۷۴ به ترتیب برای هر شاخص معادل ۱۰۸.۸۰، ۱۱۱.۳۰ و ۸۰.۸۰ هکتار و همچنین مقادیر خطای MAE معادل ۸۴.۶۳، ۲۸.۲۸ و ۹۴.۳۰ هکتار، بهترین شاخص‌ها در تعیین مساحت تالاب هستند استفاده از شاخص‌های تعیین شده با توجه به سهولت و سرعت انجام محاسبات امکان ایجاد سری زمانی تغییرات مساحت تالاب به‌منظور مدیریت بهینه این پهنه آبی را فراهم می‌آورد. برای طبقه‌بندی پوشش اراضی و آشکارسازی تغییرات منطقه مورد مطالعه در مینه سوتا آمریکا با مقایسه شاخص $NDVI$ و RVI^8 از شاخص $NDVI$ برای تهیه نقشه پوشش گیاهی استفاده کردند. داده‌های ماهواره‌ای از جمله لندست با دوره تکرار تصاویر ۱۸ روزه منبع ارزشمندی از تصاویر را برای پایش منابع آبی فراهم می‌کند. با کمک این داده‌ها، به‌راحتی می‌توان این اکوسیستم‌های ارزشمند را در دوره‌های زمانی مختلف رصد کرد و اطلاعات لازم برای مدیریت و نگهداری آن‌ها به دست آورد (یوان و همکاران، ۲۰۰۵). بررسی‌های ویترو و همکاران^۹ (۲۰۰۱) نشان داد مساحت پهنه آبی بسیاری از تالاب‌ها در سراسر جهان به دلایلی مانند افزایش جمعیت و استفاده آب در بالادست، انحراف آب، سدسازی، بیابان‌زایی، تغییرات آب‌وهوایی و سیاست‌های نادرست به‌شدت کاهش یافته است. بیش از ۸۱ درصد مساحت تالاب‌ها از طریق تبدیل به زمین‌های کشاورزی طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۱ از بین رفته است. با توجه به پژوهشی که توسط نجفی و همکاران (۱۳۹۲) برای بررسی روند افت آب

¹ Normalized Difference Water Index

² Modified Normalized Difference Water Index

³ Automated Water Extraction Index

⁴ Wastewater discharge Recreational Land Use Impacts Agricultural Land Use Impacts Size of watershed Transportation Avenues Industrial Land Use Impacts Amount of Vegetative Ground Cover

⁵ Standardized Water-Level Index

⁶ Normalized Difference Vegetation Index

⁷ Water Ratio Index

⁸ Ration Vegetation Index

⁹ Yuan et al

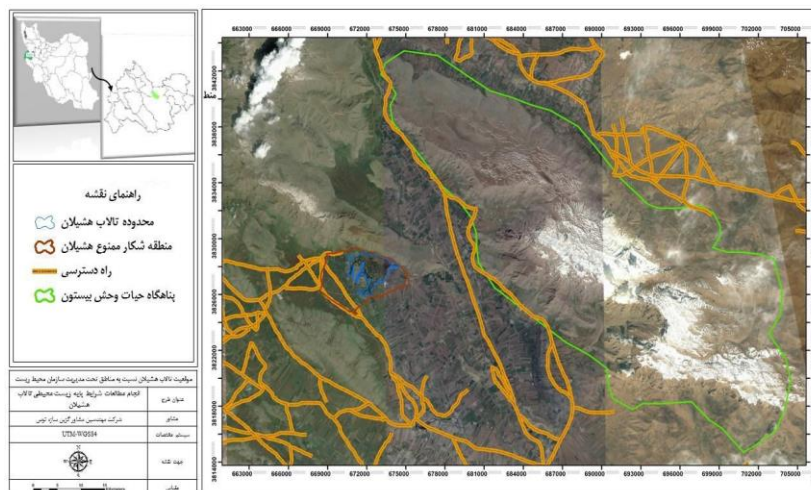
¹⁰ Winter et al

در تالاب هشیلان و نگرانی از خشک شدن این تالاب انجام شد، با بررسی ۱۲ چاه پیزومتري در اطراف این تالاب و همچنین دبی سالانه سراب سبز علی در دوره ده ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۰)، افت چشمگیری (۳ تا ۱۲ متر) در پیزومترهایی که در جهت جریان آب زیرزمینی در محل پایین دست واقع شده بود، مشاهده شد. علاوه بر این، خطوط هم افت ترسیم شده در اطراف تالاب نشان از افت ۲ تا ۸ متری در محدوده اطراف تالاب در یک بازه زمانی ده ساله دارد. این افت بر آبدی تالاب تأثیر گذاشته به نحوی که آبدی از بیش از ۴۰۰ لیتر بر ثانیه در سال ۱۳۸۱ به کمتر از ۱۵ لیتر بر ثانیه در سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ کاهش یافته است. باتوجه به پژوهشی که توسط نوروزی میرزایی و کرم علی (۱۳۹۴) بر روی تالاب کارستی هشیلان انجام شد، نتایج حاکی از آن است که خشک سالی های متعدد دهه ۱۹۹۸-۲۰۰۸ در این منطقه تأثیر قابل ملاحظه ای بر سطح و وسعت تالاب داشت. با استفاده از تصاویر سنجنده TM در فاصله سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸، ثبت شده است که مساحت تالاب به مقدار ۱۰۲ کیلومترمربع کاهش یافته است، همچنین باتوجه به نتایج به دست آمده از پژوهش، مشخص شده است که وسعت تالاب در سال ۲۰۰۹ نسبت به سال های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۷ دارای روند کاهشی به میزان ۲۸۵ و ۲۷۵ کیلومترمربع بوده است. در پژوهش ویسی و همکاران (۱۳۹۴) در ارزیابی خشک سالی بر تالاب هشیلان، نتایج حاصل نشان داد که مساحت تالاب در سال ۲۰۰۹ نسبت به سال ۲۰۰۷ حدود ۱۰۷ کیلومترمربع کاهش یافته و حدود ۴۷٪ از سطح تالاب خشک شده است. باتوجه به مطالعات قبلی و اهمیت تصاویر ماهواره ای در تحلیل زیست محیطی تالاب ها، این مقاله سعی دارد با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست روند تغییرات پهنه آبی تالاب هشیلان را در ماه اسفند در طول سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار دهد تا بتوان با آشکارسازی روند تغییرات به طور هرچه بهتر تالاب مذکور را مدیریت کرد و با در اختیار داشتن اطلاعات جدید از تغییرات آن ها به یافتن علل تغییر و اتخاذ برنامه ها و سیاست های لازم پرداخت. علت انتخاب ماه اسفند به عنوان ماهی که بیشترین و یا حداکثر حجم آبی تالاب در سال در آن ماه قرار دارد این است که در این ماه بیشترین میانگین بلندمدت بارش و کمترین میانگین بلندمدت تبخیر و بالاترین تخلیه متوسط ماهیانه چشمه سبز علی در طی دور آماری سی ساله (۱۳۷۰-۱۴۰۰) را داریم. تغییرات پهنه آبی تأثیرات بسیار زیادی بر اکوسیستم اطراف تالاب هشیلان را دارد. این تالاب به دلیل اینکه دارای منبع آب شیرین در یک اکوسیستم است، بنابراین حیات موجودات اطراف خود را تحت تأثیر قرار می دهد و از این رو پایش مداوم آن در طی دو دهه اخیر، می تواند اطلاعات ارزشمندی را جهت تصمیم گیری و مدیریت منطقه فراهم کند. این اطلاعات به خوبی در مدیریت منابع آب و برنامه ریزی حفاظت از آن استفاده می شود. علاوه بر این می تواند در زمینه مدیریت مسائل اقتصادی و اجتماعی و همچنین حفاظت از اکوسیستم طبیعی نیز به کار رود. از این رو باتوجه به اینکه شناسایی روند تغییرات تالاب ها در درازمدت و کوتاه مدت نیاز به تجزیه و تحلیل سری های زمانی با استفاده از فنون سنجش از دور دارد؛ بنابراین ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره ای محدوده مطالعاتی و پردازش آن ها در نرم افزار ENVI 5.6 و ARC GIS 10.8.2 روند تغییرات تالاب و پدیده های مختلف مرتبط با آن در طی یک دوره زمانی ۲۲ ساله بررسی گردید.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

زیست بوم نادر و منحصر به فرد هشیلان، تالابی است به مساحت تقریبی ۴۵۰ هکتار در شمال غربی دشت کرمانشاه و شمال دشت الهیار خانی، در منتهی الیه منطقه میان دربند که بین شیب جنوبی ارتفاعات خورین و شمال کوه ویس قرار گرفته است. موقعیت ریاضی این محدوده در حداثی طول جغرافیای "۴۰' ۵۱' ۴۶° و "۵۰' ۵۴' ۴۶° شرقی و عرض جغرافیایی "۱۰' ۳۴' ۳۴° تا "۳۳' ۳۵' ۳۴° شمالی با ارتفاع ۱۳۱۰ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد. شکل (۱) موقعیت تالاب هشیلان نسبت به مناطق تحت مدیریت سازمان محیط زیست نشان می دهد.



شکل ۱. موقعیت تالاب هشیلان نسبت به مناطق تحت مدیریت سازمان محیط زیست (شرکت مهندسی مشاور گزین سازه توس،

۱۳۹۴)

این زیستگاه از اکوسیستمها و بیوم های واجد ارزش استان و منطقه غرب کشور است که از سال ۱۳۷۳ توسط اداره کل حفاظت محیط زیست، به عنوان منطقه "شکار و تیراندازی ممنوع" برای افزایش ضریب امنیتی پرنده گان مهاجر، اعلام شده و هم اکنون تحت حفاظت اداره کل محیط زیست استان قرار دارد. منابع اصلی تأمین آب این تالاب شامل سراب سبز علی، سراب شله و چشمه من می است که در دامنه جنوبی ارتفاع خورین با میانگین آبدهی ۳۵۰ لیتر در ثانیه (مجموع سرابها و چشمهها) قرار دارند. علاوه بر این سرابها و چشمهها؛ روان آبها و آبهای سطحی حوزه بالادست و دامنه های رو به جنوب ارتفاعات خورین از دیگر منابع اصلی تأمین کننده آب این تالاب محسوب می شوند. به علت تنوع اقلیمی خاص منطقه غرب، سیستم های طبقه بندی آمبرژه و دومارتن اندکی باهم تفاوت دارند بر اساس سیستم طبقه بندی دو مارتن اقلیم کرمانشاه نیمه خشک و اقلیم روانسر نیمه مرطوب است. در حالی که سیستم آمبرژه اقلیم کرمانشاه را نیمه خشک سرد و اقلیم روانسر را نیمه مرطوب سرد می داند، میانگین بارندگی سالانه آن ۴۵۱ میلی متر است که انحراف معیار آن ۱۳۷.۲ و ضریب تغییرات آن ۳۰.۴ درصد است دامنه تغییرات بارندگی در طول دوره آماری ۵۴۴ میلی متر است که بیشترین بارندگی در سال ۱۳۴۸ شمسی برابر با ۷۸۶ میلی متر و کمترین آن در سال ۱۳۴۳ برابر ۲۴۲ میلی متر بوده است.

داده های مورد نیاز

تصاویر ماهواره ای لندست

تصویرهای استفاده شده در این پژوهش، تصاویر سنجنده های TM، ETM⁺ و OLI سری ماهواره های لندست است که از تصویر ماهواره لندست ۷ و ۸ با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر (باند پنکورماتیک دارد) و تصویر ماهواره لندست ۵ (لندست ۵ باند پنکورماتیک ندارد)

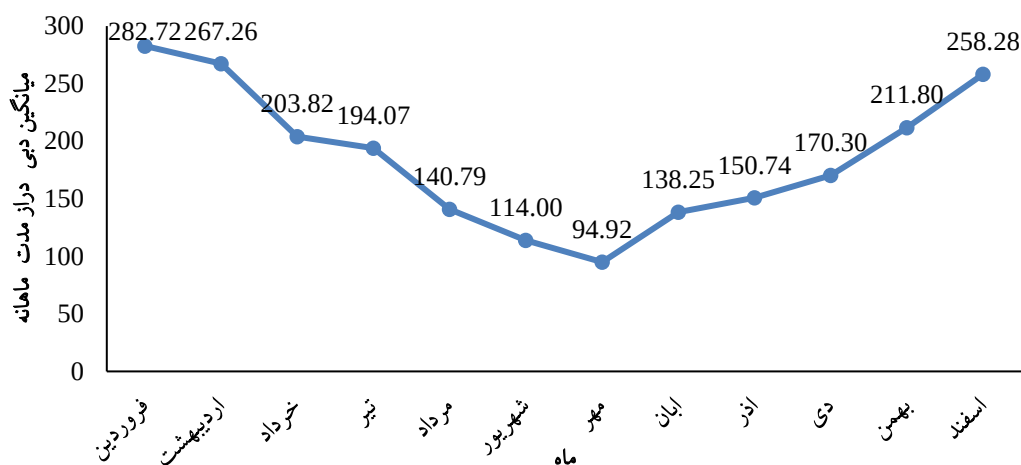
با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲) استفاده شد. در تصاویر مورد استفاده از مجموعه ۲ سطح ۱ سایت زمین شناسی ایالت متحده استفاده شد که این داده ها به صورت 'DN' بوده و نیاز به تصحیحات رادیومتریکی، اتمسفری دارد که برای رفع خطای نوار شدگی و انجام تصحیحات لازم نیز از نرم افزار ENVI5.6² استفاده شد. باتوجه به اینکه از تصاویر ماهواره ای برای استخراج اطلاعات آب و پوشش گیاهی از منطقه استفاده می شود بدین منظور زمانی را انتخاب می کنیم که بیشترین و یا حداکثر حجم آبی تالاب در سال در آن ماه قرار داشته باشد و همچنین نباید به گونه ای باشد که آب تالاب در اثر تبخیر و تعرق از دست رفته باشد؛ بنابراین بر اساس اطلاعات بارش و تبخیر سایت اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه و اطلاعات اداره آب منطقه ای استان کرمانشاه به ترتیب به محاسبه ی میانگین درازمدت ماهیانه بارش، تبخیر و دبی سراب سبز علی برای سی سال آماری (۱۳۷۰-۱۴۰۰) پرداختیم. سپس بر اساس اینکه چه ماهی دارای بیشترین میانگین بلندمدت بارش و کمترین میانگین بلندمدت تبخیر و بالاترین میانگین بلندمدت دبی است ماه موردنظر را انتخاب کردیم. بر اساس جدول (۱) و شکل (۲) ماه اسفند به عنوان ماهی که بیشترین و یا حداکثر حجم آبی تالاب در سال در آن ماه قرار دارد انتخاب شد که در ماه موردنظر بیشترین میانگین بلندمدت بارش به میزان ۵۹۸۲ میلی متر و کمترین میانگین بلندمدت تبخیر به میزان ۱۰۹۳ میلی مترو بیشترین میانگین بلندمدت دبی به میزان ۲۵۸۰۲۸ لیتر بر ثانیه است (این ماه بر اساس ماه میلادی در ماه مارس قرار می گیرد).

جدول ۱. میانگین درازمدت بارش و تبخیر سی ساله ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

ماه	میانگین بلندمدت بارش	میانگین بلندمدت تبخیر
فروردین	۶۶.۲۷	۱۰۲۸۳
اردیبهشت	۴۲.۶۸	۱۸۰.۳۰
خرداد	۲.۸۹	۲۸۸.۳۱
تیر	۰.۵۰	۳۶۳.۹۰
مرداد	۰.۳۸	۳۶۷.۱۷
شهریور	۱.۵۰	۳۰۳.۱۵
مهر	۱۲.۹۹	۱۹۵.۰۹
آبان	۶۵.۲۸	۸۶.۸۰
آذر	۵۵.۳۹	۳۱.۷۸
دی	۴۷.۳۰	۰
بهمن	۵۹.۲۸	۰
اسفند	۵۹.۸۲	۱۰۹۳

¹ Digital Number

² Environment for Visualizing Images



شکل ۲. میانگین دبی بلندمدت ماهانه سراب سبز علی

استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای

برای استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای باید مراحل زیر را انجام داد:

الف) پیش‌پردازش داده‌های ماهواره‌ای

تصحیحات رادیومتریک

تصاویر سنجش از دور همیشه حاوی خطاهایی در مقادیر ثبت شده پیکسل‌ها هستند که به عنوان خطاهای رادیومتریک شناخته می‌شوند. تصحیحات رادیومتریک برای کاهش یا حذف دو نوع خطا استفاده می‌شود: خطاهای اتمسفری و خطاهای دستگاهی. خطاهای اتمسفری به آن دسته از خطاهایی گفته می‌شود که به دلیل تأثیر اتمسفر روی انرژی الکترومغناطیس رخ می‌دهد. خطاهای دستگاهی خطاهایی هستند که در طراحی یا عملکرد سنجنده رخ می‌دهد. این نوع خطاها متفاوت بوده و از سنجنده به سنجنده دیگر متفاوت بر اساس نوع سیستم به کار برده شده متفاوت هست (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۶). تصویر اولیه‌ای که سنجنده به ما می‌دهد درجه خاکستری (DN value) است و معنای فیزیکی ندارد؛ بنابراین با انجام تصحیح رادیومتریک درجه خاکستری (DN value) را به رادیانس تبدیل می‌کنیم.

تصحیح اتمسفری

خطای اتمسفری در نتیجه جذب و پراکنش ذرات اتمسفر رخ می‌دهد. خطاهای اتمسفری باعث محوشدن جزئیات تصویر می‌شود و در نتیجه قدرت تفکیک مکانی سنجنده را نیز کاهش می‌دهد. بیشترین اثر اتمسفری مربوط به پراکنش است که وابستگی زیادی به طول موج دارد، بنابراین اثر اتمسفر در باندهای مختلف یک سنجنده باهم یکسان نیست. هرچه طول موج بیشتر شود اثر پراکنش اتمسفری نیز کمتر خواهد بود (ریچاردز^۱، ۲۰۰۵). تصحیح اتمسفر اغلب در کارهای معمولی زمانی که مقدار خطای اتمسفری آن قدر زیاد نیست که مانعی برای استخراج اطلاعات محسوب شود، اغلب اعمال نمی‌شود؛ اما برای کار دقیق، به خصوص در مواردی که مقدار واقعی انرژی ساطع شده از یک جسم مورد نیاز است، باید تصحیح اتمسفری روی تصویر اعمال شود. تصحیح اتمسفر در مواردی ضروری است که شدت سیگنال ساطع شده توسط جسم کمتر از اثر اتمسفری باشد. این مسئله در مطالعات اقیانوس‌شناسی بیشتر دیده می‌شود. آب انرژی الکترومغناطیسی را مخصوصاً در طول موج‌های بلند جذب می‌کند و بنابراین میزان انرژی ساطع شده از سطح آب کم است و معمولاً اثرات جوی در مناطق آبی مشهود است. در هنگام کشف تغییرات مقایسه دو تصویر در دو زمان مختلف، نیز بهتر است اثر اتمسفر از روی مقادیر

¹ Richards

پیکسل‌ها برداشته شود تا بتوان مقایسه بهتری از تصاویر مورد استفاده به منظور کشف تغییرات داشت (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۶). خروجی حاصل از تصحیح اتمسفری (QUAC)^۱، تصویر بازتاب سطحی است؛ یعنی خروجی آن نشان‌دهنده بازتاب‌هایی است که اثر اتمسفر از روی آن حذف شده و بازتاب‌های ثبت شده توسط سنسور معادل بازتاب‌هایی است که از سطح زمین منتشر شده است. بدین خاطر تصحیحات اتمسفری انجام می‌شود که اثر پخش و جذب امواج الکترومغناطیس در محدوده امواج مرئی و مادون قرمز، از بین برده شود.

بالا بردن قدرت تفکیک مکانی و نرمال کردن مقادیر

تصویر به دست آمده از تصحیح اتمسفری را با تصویر پانکروماتیک (قدرت تفکیک مکانی این تصاویر از متوسط تا بسیار زیاد است) مربوطه تلفیق می‌کنیم تا بتوانیم یک تصویر با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متری داشته باشیم. باند پانکروماتیک دارای توان تفکیک مکانی ۱۵ متری است و سایر باندهای لندست دارای توان تفکیک مکانی ۳۰ متری هستند به همین خاطر مبنای افزایش اطلاعات مکانی ما هستند. مزیت تصویری که دارای توان تفکیک مکانی ۱۵ متری است این است که مساحت دقیق تری را نسبت به تصویری که ۳۰ متری است برآورد می‌کنیم. مقادیر بازتاب سطحی باید از لحاظ فیزیکی در بازه ۰ تا ۱ قرار داشته باشد؛ بنابراین باید فرمولی بنویسیم که ضمن نگهداشتن نسبت بازتاب باندها نسبت به هم دیگر، رنج مقدار را به بازه ۰ تا ۱ منتقل می‌کند. مزیت دیگر نرمال کردن مقادیر بازتاب سطحی این است که محاسبه شاخص‌های طیفی را برای ما آسان تر می‌کند.

ب) پردازش تصاویر ماهواره‌ای (استخراج اطلاعات)

شاخص اصلاحی آب تفاضلی نرمال شده (MNDWI)^۲

در این مطالعه برای تفکیک مرز آب و خشکی از شاخص MNDWI استفاده شد. این شاخص از ترکیب باندهای سبز (Green) و مادون قرمز میانی (Mid- infrared) ایجاد شده است. باند سبز ($0.52-0.6 \mu m$) حساس به تفاوت کدورت آب و رسوب و توده آلودگی است؛ چراکه اوج بازتاب سبز از سطح برگ را پوشش می‌دهد که می‌تواند برای تشخیص طبقات گسترده‌ای از پوشش گیاهی مفید باشد. باند مادون قرمز میانی ($1.1-1.6 \mu m$) مغایرت قوی بین ویژگی‌های زمین و آب باتوجه به درجه بالایی از جذب توسط آب و بازتاب قوی توسط زمین را در این محدوده نشان می‌دهد؛ بنابراین، الگوریتم MNDWI که ترکیبی از باندهای سبز (Green) و مادون قرمز میانی (Mid- infrared) است، برای تبعیض بین زمین و آب ایده آل است و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (گوش و همکاران^۳، ۲۰۱۵).

$$MNDWI = (GREEN - MIR) / (GREEN + MIR) \quad (1)$$

خروجی تصویر نرمال شده را به عنوان ورودی دستور spectral index در نظر می‌گیریم و با استفاده از این دستور در نرم افزار ENVI 5.6 به محاسبه شاخص MNDWI می‌پردازیم. MNDWI برای پهنه‌های آبی دارای مقادیر مثبت است.

جدا کردن آب از سایر پوشش‌ها:

با استفاده از دستور Target Detection Wizard در نرم افزار ENVI 5.6 به جدا کردن آب از سایر پوشش‌ها می‌پردازیم و شیپ فایل خروجی دستور Target Detection Wizard را در محیط ARC GIS 10.8.2 فراخوانی کرده و مساحت پهنه آبی را بر اساس کیلومتر مربع محاسبه می‌کنیم و در نهایت نقشه مربوطه را استخراج می‌کنیم. نرم افزار ENVI 5.6 یک سیستم تحلیل تصاویر هست که قابلیت تحلیل تصاویر را می‌تواند برای ما فراهم کند. در سنجش از دور تغییرات نسبی مساحت پهنه آبی را نشان می‌دهد، اما مقادیر مطلق را نمی‌تواند برآورد کند، لذا در سنجش از دور یک برآورد نسبی از پدیده‌ها وجود دارد (یوسفی روشن، ۱۴۰۱).

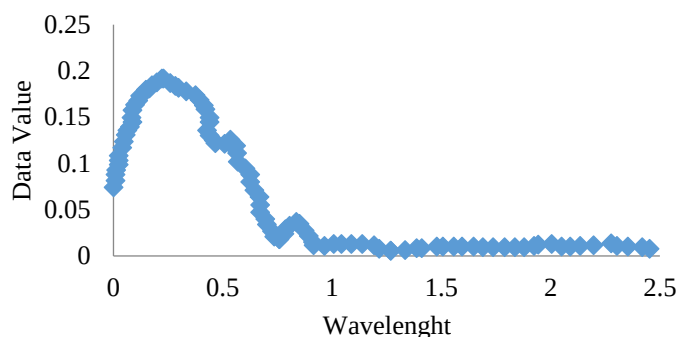
¹ Quick Atmospheric Correction

² Modified Normalized Difference Water Index

³ Ghosh et al

ج) پس پردازش (اعتبارسنجی به روش تحلیل طیفی)

مقدار انرژی که به سنجنده می‌رسد تا حد زیادی به نحوه تعامل انرژی با جسم بستگی دارد. اگر برای هر جسم، مقدار انرژی منعکس شده از کل انرژی رسیده به جسم در طول موج‌های مختلف اندازه‌گیری شود و به صورت نمودار رسم شود، منحنی حاصل را منحنی رفتار طیفی یا امضای طیفی (Spectral Signature) می‌نامند. منحنی رفتار طیفی یک بردار دوبعدی است که شامل محور افقی (طول موج) و محور عمودی (شدت بازتاب) است. این انرژی‌ها را می‌توان در آزمایشگاه یا در یک محیط واقعی اندازه‌گیری کرد. پس از ترسیم منحنی رفتار طیفی اطلاعات بسیار زیادی راجع به شیء و چگونگی ظاهر شدن آن در تصویر می‌توان به دست آورد (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۶). به عنوان مثال اگر به منحنی رفتار طیفی پوشش آبی در شکل (۳) توجه کنید درمی‌یابید که آب به صورت کلی جذب کننده امواج است و نسبت بازتاب در آن در مقایسه با سایر پوشش‌های سطح زمین بسیار اندک است. بیشترین بازتاب آب در باند آبی طیف است و هرچه از باند آبی به سمت بخش مادون قرمز طول موج کوتاه حرکت می‌کنیم نسبت بازتاب به شدت کاهش پیدا می‌کند تا آنکه در بازه مادون قرمز میانی میزان بازتاب آب به صفر می‌رسد. آب بیشتر از آنکه پدیده‌های مختلف را بازتاب کند جذب می‌نماید.



شکل ۳. منحنی رفتار طیفی آب در طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس

می‌توانیم از طریق رفتارهای طیفی که در داخل تصویر به دست آمده نسبت به اعتبارسنجی خروجی مان اقدام کنیم به این صورت که یک محدوده‌ای که دارای پوشش آبی است را با استفاده از نرم افزار *envi* و دستور *spectral profil*، انتخاب می‌کنیم و رفتار طیفی به دست آمده از آن را ارزیابی می‌کنیم اگر رفتار طیفی به دست آمده کاملاً از رفتار طیفی شاخص پوشش آبی پیروی کند می‌توانیم نتیجه بگیریم که پهنه‌های آبی استخراج شده از تصاویر به خوبی از سایر پوشش‌ها جدا شده‌اند و نتایج پردازش تصاویر به ما اطلاعات صحیحی ارائه را می‌دهند.

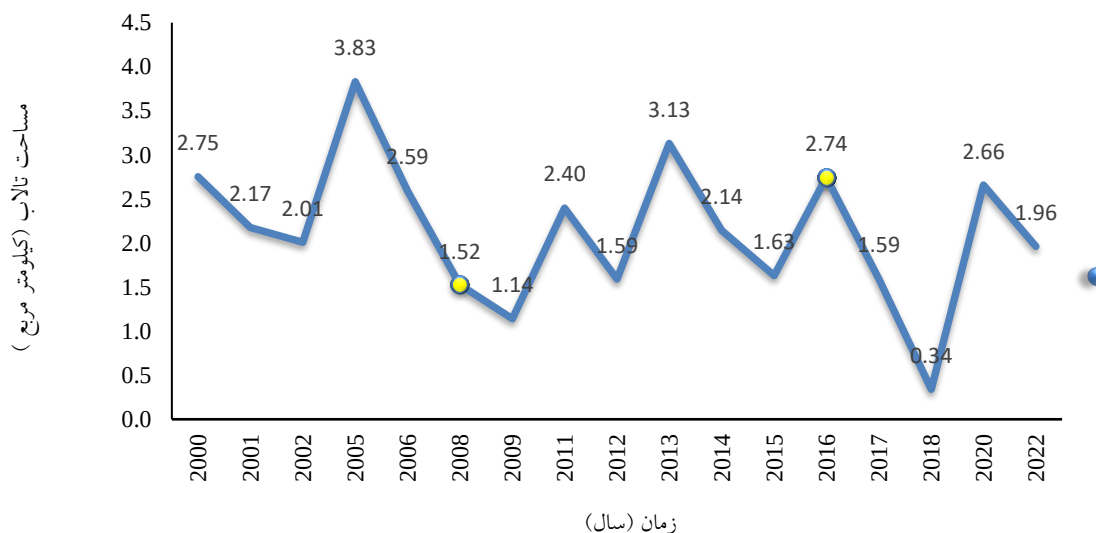
یافته‌ها

محاسبه مساحت پهنه آبی تالاب هشیلان

در پژوهش حاضر تغییرات مساحت پهنه آبی تالاب هشیلان طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس اطلاعات میانگین بلندمدت ماهانه بارش و تبخیر ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه طی ۳۰ سال اخیر ماه اسفند به عنوان ماهی که بیشترین میزان بارش و کمترین میزان تبخیر را داریم انتخاب شد و با توجه به اینکه بخش اصلی تأمین آب تالاب هشیلان از طریق سراب سبز علی تأمین می‌شود و بر اساس شکل (۲) نیز بالاترین میانگین دبی بلندمدت ماهانه سراب سبز علی به ترتیب در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و اسفند رخ داده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سراب سبز علی به عنوان منبع اصلی تأمین کننده آب تالاب به دلیل اینکه در ماه اسفند دارای بیشترین میانگین دبی بلندمدت ماهانه بوده و در ماه مورد نظر نیز دارای بیشترین میانگین بلندمدت ماهانه بارش و کمترین میانگین بلندمدت تبخیر می‌باشد؛ بنابراین تالاب در این ماه دارای بیشترین میزان سطح آب نیز است؛ بنابراین برای محاسبه مساحت پهنه آبی تالاب در سال‌های مدنظر از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7,8 با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و Landsat 5 با قدرت تفکیک مکانی ۳۰

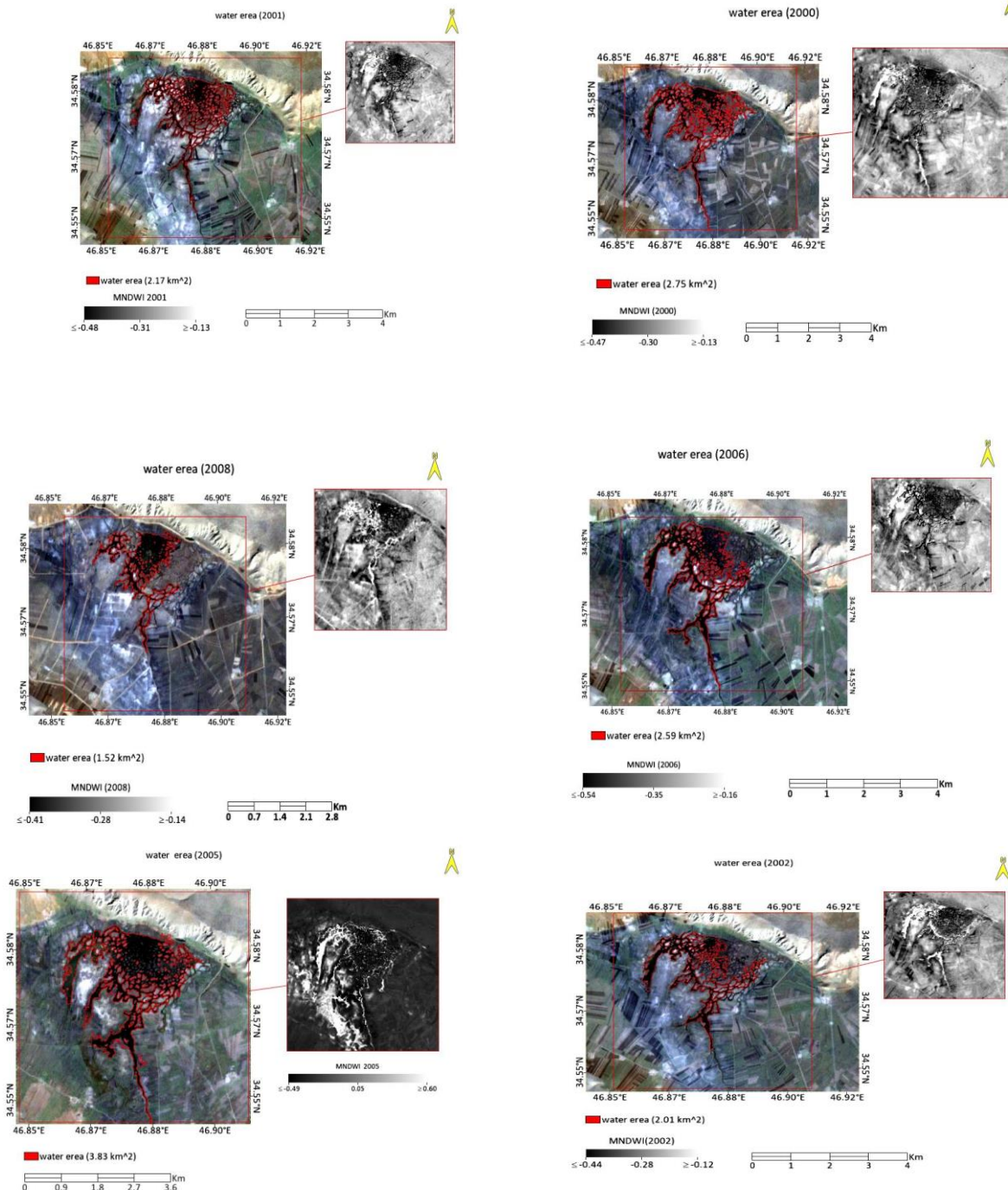
متر استفاده شد و پیش‌پردازش‌های لازم روی تصاویر اعمال شد. در گام بعدی، با استفاده از دستور Target Detection Wizard مساحت پهنه آبی تالاب به صورت کیفی برای هر یک از تصاویر گرفته شده در دوره زمانی ۲۲ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲) به دست می‌آوریم و با استفاده از نرم‌افزار ARC MAP 10.8.2 به محاسبه مساحت پهنه آبی تالاب بر اساس کیلومترمربع پرداختیم و در نهایت، نقشه‌های تغییرات مساحت پهنه آبی تالاب طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ به دست آمد.

بر اساس شکل (۳) روند تغییرات مساحت پهنه آبی تالاب در دوره مورد مطالعه نشان‌دهنده آن است که مساحت پهنه آبی تالاب هشیلان در سال ۲۰۰۰ برابر با ۲.۷۵ کیلومترمربع و در سال ۲۰۰۸ برابر با ۱.۵۲ کیلومترمربع است و در دوره ۸ ساله اول مساحت تالاب هشیلان ۱.۲۳ کیلومترمربع کاهش یافته است و نیز مساحت تالاب در سال ۲۰۰۹ برابر با ۱.۱۴ کیلومترمربع و در سال ۲۰۱۶ برابر با ۲.۷۴ کیلومترمربع است که در دوره ۸ ساله دوم مساحت تالاب ۱.۶۰ کیلومترمربع افزایش یافته است. همچنین در سال ۲۰۱۷ مساحت تالاب برابر با ۱.۵۹ کیلومترمربع و در سال ۲۰۲۲ برابر با ۱.۹۶ کیلومترمربع است که در چند سال اخیر مساحت تالاب ۰.۳۷ کیلومترمربع افزایش یافته است. بر اساس شکل (۳) طی ۲۲ سال گذشته مساحت تالاب ۰.۷۹ کیلومترمربع کاهش یافته است و مساحت تالاب بین ۳.۸۳ کیلومترمربع تا ۰.۳۴ کیلومترمربع نوسان می‌نماید و همچنین کمترین مساحت در سال ۲۰۱۸ به میزان ۰.۳۴ کیلومترمربع و بیشترین افزایش مساحت در سال ۲۰۰۵ به میزان ۳.۸۳ کیلومترمربع بوده است.

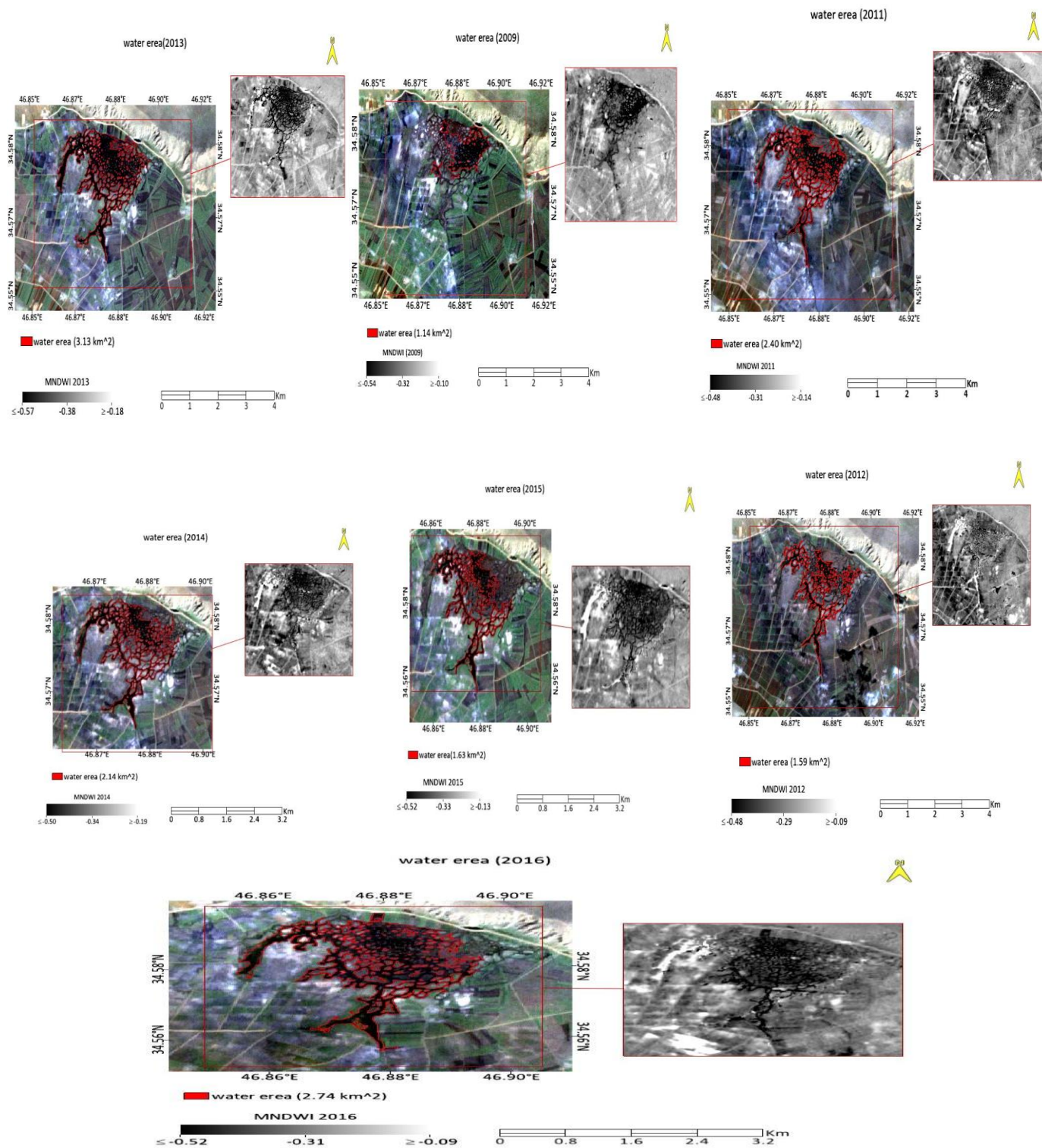


شکل ۳. نمودار تغییر مساحت تالاب طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ (ماه اسفند)

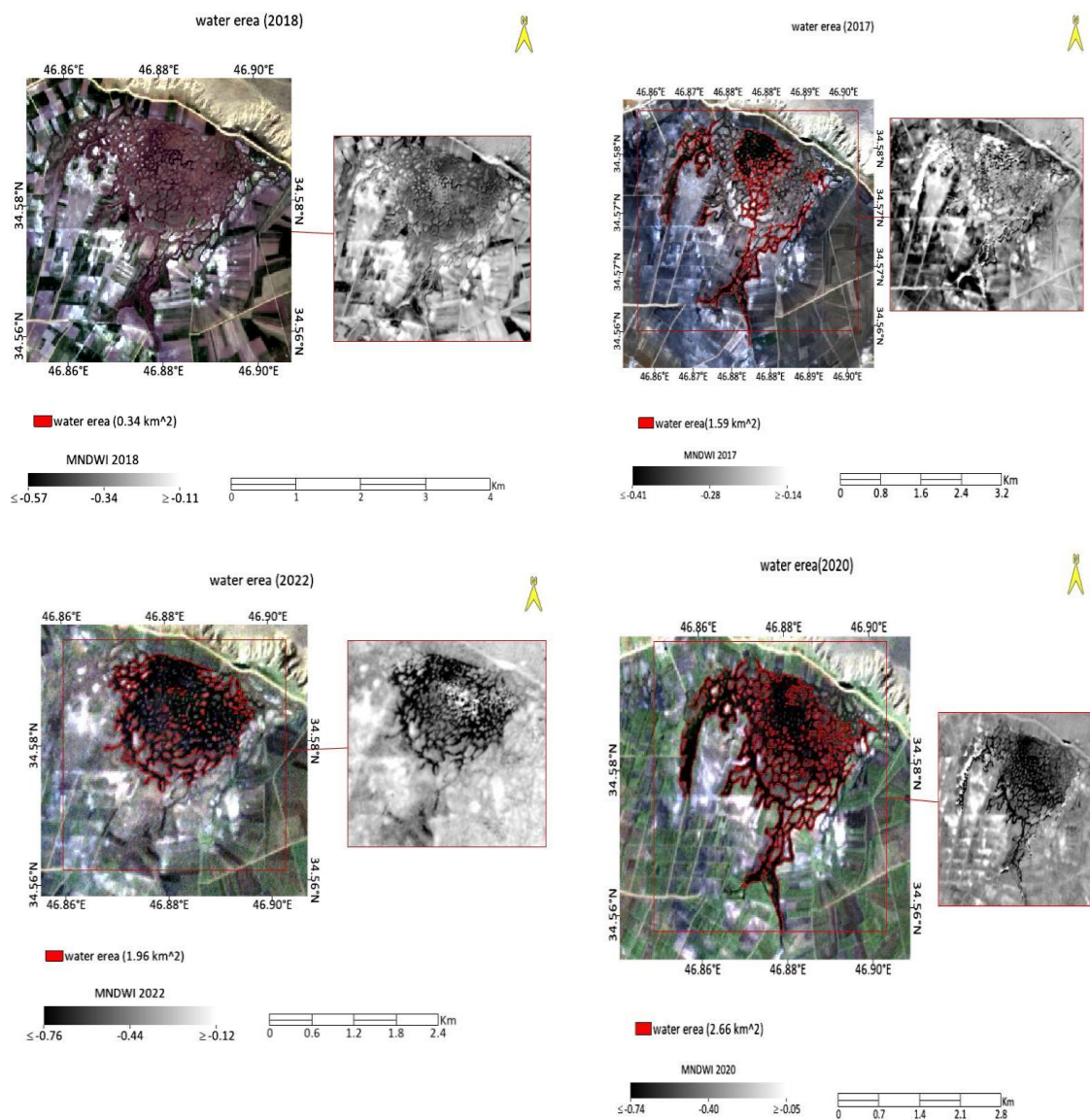
شکل‌های (۴ تا ۶) نقشه تغییرات مساحت آب تالاب هشیلان با استفاده از دستور Target Detection Wizard در نرم‌افزار ENVI5.6، در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد.



شکل ۴: تغییر مساحت پهنه آبی تالاب برای دوره هشت ساله اول



شکل ۵. تغییر مساحت پهنه آبی تالاب برای دوره هشت ساله دوم



شکل ۶. تغییر مساحت پهنه آبی تالاب برای چندین ساله آخر

جدول ۲. تغییرات سطح آب تالاب هشیلان طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲

سال	مساحت پهنه آبی تالاب (کیلومتر مربع)	تغییرات مساحت سطح تالاب نسبت به سال قبل (کیلومتر مربع)	تغییرات مساحت سطح تالاب نسبت به سال ۲۰۰۰
۲۰۰۰	۲.۷۵		
۲۰۰۱	۲.۱۷	-۰.۵۸	-۰.۵۸
۲۰۰۲	۲.۰۱	-۰.۱۶	-۰.۷۴
۲۰۰۵	۳.۸۳	۱.۸۲	۱.۰۸
۲۰۰۶	۲.۵۹	-۱.۲۴	-۰.۱۶
۲۰۰۸	۱.۵۲	-۱.۰۷	-۱.۲۳
۲۰۰۹	۱.۱۴	-۰.۳۸	-۱.۶۱
۲۰۱۱	۲.۴۰	۱.۲۶	-۰.۳۵
۲۰۱۲	۱.۵۹	-۰.۸۱	-۱.۱۶
۲۰۱۳	۳.۱۳	۱.۵۴	۰.۳۸
۲۰۱۴	۲.۱۴	-۰.۹۹	-۰.۶۱
۲۰۱۵	۱.۶۳	-۰.۵۱	-۱.۱۲
۲۰۱۶	۲.۷۴	۱.۱۱	-۰.۰۱
۲۰۱۷	۱.۵۹	-۱.۱۵	-۱.۱۶
۲۰۱۸	۰.۳۴	-۱.۲۵	-۲.۴۱
۲۰۲۰	۲.۶۶	۲.۳۲	-۰.۰۹
۲۰۲۲	۱.۹۶	-۰.۷	-۰.۷۹

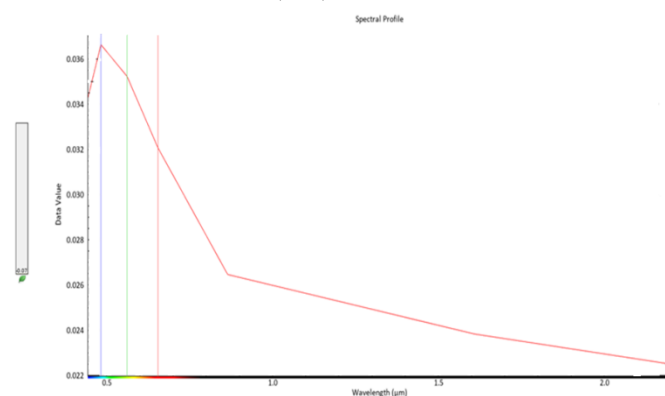
علامت منفی نشان‌دهنده کاهش مساحت تالاب و علامت مثبت نشان‌دهنده افزایش آن است.

بر اساس جدول (۲) بیشترین میزان کاهش سطح آب تالاب مربوط به سال ۲۰۱۸ است که در این سال میزان کاهش مساحت سطح تالاب نسبت به سال قبل برابر با ۱.۲۵- کیلومتر مربع است و در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ شاهد بیشترین مقدار افزایش مساحت سطح آب تالاب نسبت به سال‌های قبل هستیم که مقدار آن به ترتیب ۱.۸۲ و ۲.۳۲ کیلومتر مربع است. بیشترین میزان کاهش سطح تالاب نسبت

به سال ۲۰۰۰ در سال ۲۰۱۸ اتفاق افتاده است که میزان این تغییر برابر با ۲۰۴۱- کیلومترمربع است و بیشترین میزان افزایش مساحت تالاب در سال ۲۰۰۵ اتفاق افتاده است که در این سال میزان تغییرات برابر با ۱۰۸ کیلومترمربع است.

اعتبارسنجی به روش تحلیل منحنی رفتار طیفی

باتوجه به شکل (۷) مشاهده می‌کنیم که رفتار طیفی به‌دست‌آمده کاملاً از رفتار طیفی شاخص پوشش آبی پیروی می‌کند و کاملاً افزایش و کاهش روند بازتابی در محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی را به‌خوبی می‌توانیم در محدوده مرئی و مادون قرمز ملاحظه کنیم. باتوجه به شکل (۷) و مقایسه آن با منحنی رفتار طیفی آب، مشاهده شد که پهنه‌های آبی استخراج‌شده از تصاویر به‌خوبی از سایر پوشش‌ها جدا شده‌اند و نتایج پردازش تصاویر به ما اطلاعات صحیحی ارائه می‌دهند. همچنین، از توجه به مقدار شاخص NDVI برای پوشش آبی که منفی شده است، می‌توان نتیجه گرفت که ناحیه آبی به‌خوبی استخراج شده است. ستونی که در سمت چپ نمودار قرار گرفته است مقدار شاخص NDVI را به میزان ۰.۰۷-، به ما نشان می‌دهد. با استفاده از نمودار طیفی نسبت جذب و بازتاب آب، می‌توان به‌وضوح تفاوت‌ها و الگوهای مختلف در طیف بازتاب آب را مشاهده کرد.



شکل ۷. منحنی رفتار طیفی برای پوشش آبی در نرم‌افزار ENVI

بحث

در تحقیق حاضر تغییرات مساحت و سطح تالاب هشیلان طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ برای ماه اسفند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در طی ۲۲ ساله گذشته برای ماه مذکور تالاب به میزان ۰.۷۹ کیلومترمربع با کاهش سطح آب و خشکی مواجه شده است به‌طوری‌که برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ مساحت پهنه آبی تالاب به میزان ۱.۲۳ کیلومترمربع کاهش یافته است و همچنین طی دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶ برخلاف دوره قبل تالاب مذکور با پیشروی آب و افزایش مساحت مواجه بوده است به‌طوری‌که ۱.۶۰ کیلومترمربع به مساحت تالاب افزوده شده است و در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ مساحت پهنه آبی تالاب به میزان ۰.۳۷ کیلومترمربع افزایش یافته است. براین اساس مشاهده می‌شود که بیشتر مناطق غرب و جنوب غرب تالاب تحت تأثیر این پدیده قرار گرفته است. تالاب هشیلان در سال‌های اخیر به دلیل خشک‌شدن تعدادی از چشمه‌های جوشان بر اثر خشک‌سالی، وجود چاه‌های عمیق در زمین‌های اطراف و بهره‌برداری از آب تالاب از طریق کانال کشاورزی، بدون توجه لازم به میزان ورود آب و صید و شکار بی‌رویه پرندگان، برداشت علوفه، احداث جاده آسفالتی که بعضاً از وسط تالاب می‌گذرد تنش‌های شدید هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی بر پیکره آن‌ها وارد گردیده است.

نتیجه‌گیری

یکی از ابزارهای مؤثر در زمینه تغییرات مساحت تالاب، استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش وسیع مکانی، قدرت تفکیک بالا، هزینه کم، آرشو زمانی، دسترسی رایگان به تصاویر ماهواره‌ای و وجود

نرم افزارهای کاربردی و شاخص های طیفی کاربردی، اهمیت فراوانی در مطالعات برآورد مساحت پهنه های آبی پیدا کرد. در این پژوهش سعی شد که از طریق سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره ای، مساحت سطحی تالاب هشیلان محاسبه گردد. تصاویر ماهواره لندست از وبسایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا <https://earthexplorer.usgs.gov> دانلود گردید. بعد از دانلود تصاویر ماهواره ای لندست در نرم افزار ENVI5.6 محدوده تالاب هشیلان، برش زده شد، خطای تصاویر ماهواره ای از لحاظ رادیومتریکی و اتمسفری برطرف شد. جهت ارتقای توان تفکیک مکانی منطقه مورد مطالعه تصویر پیکسل سایز ۳۰ متری را به پیکسل سایز ۱۵ متری تبدیل شد تا توان تفکیک منطقه مورد مطالعه ارتقا پیدا کند (توان تفکیک ۱۵ متری اطلاعات دقیق تری نسبت به برآورد مساحت سطحی تقریبی تالاب را در اختیار ما قرار می دهد)، سپس به نرمال کردن مقادیر بازتاب سطحی پرداختیم. برای تعیین مساحت پهنه آبی تالاب در ماه اسفند هر سال طی سال های (۲۰۲۲-۲۰۰۰) از دستور Target Detection Wizard در نرم افزار ENVI5.6 استفاده شد و شیب فایل خروجی در Arc Map10.8.2 فراخوانی و مساحت پهنه آبی تالاب هشیلان برحسب کیلومتر مربع در تاریخ اخذ تصاویر ماهواره محاسبه شد. نتایج حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره ای در سال های مورد بررسی نشان دهنده این نکته است که در سال ۲۰۱۸ تالاب دارای کمترین میزان سطح خود در دو دهه گذشته بوده که مساحت آن در این سال برابر ۰.۳۴ کیلومتر مربع است و همچنین بیشترین میزان مساحت پهنه آبی تالاب در سال ۲۰۰۵ اتفاق افتاده است که در این سال مساحت پهنه آبی مرتبط با آن ۳.۸۳ کیلومتر مربع است. پس از بررسی و مقایسه نتایج این پژوهش با سایر مطالعات انجام شده در این حوزه، نتیجه گرفتیم که در پژوهشی که توسط نجفی و همکاران (۱۳۹۲) برای بررسی روند افت آب در تالاب هشیلان و نگرانی از خشک شده این تالاب انجام شد، باتوجه به خطوط هم افت ترسیم شده در اطراف تالاب که نشان از افت ۲ تا ۸ متری در محدوده اطراف تالاب در یک بازه زمانی ده ساله دارد با نتایج به دست آمده از پژوهش که نشان دهنده کاهش مساحت تالاب در سال های مذکور به میزان ۰.۳۵ کیلومتر مربع است، همخوانی دارد. همچنین وسعت تالاب هشیلان در سال ۲۰۰۹ نسبت به سال ۲۰۰۰، دارای روند کاهشی به میزان ۱.۶۱ کیلومتر مربع و در سال ۲۰۰۸ نسبت به سال ۲۰۰۰، کاهش وسعتی به میزان ۱.۲۳ کیلومتر مربع رخ داده است که با پژوهش انجام شده توسط نوروزی میرزایی و کرم علی (۱۳۹۴) که حاکی از کاهش وسعت تالاب در فاصله سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ به میزان ۱.۲ کیلومتر مربع است مطابقت دارد. کاهش وسعت تالاب به میزان ۱.۴۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۹ نسبت به سال ۲۰۰۶، انطباق خوبی با نتایج پژوهش ویسی و همکاران (۱۳۹۴) در ارزیابی خشک سالی بر تالاب هشیلان دارد. در این پژوهش، نتایج حاصل نشان می دهد که مساحت تالاب در سال ۲۰۰۹ نسبت به سال ۲۰۰۷ حدود ۱.۷ کیلومتر مربع کاهش یافته و حدود ۴۷٪ از سطح تالاب خشک شده است. نتایج تحقیق نشان دهنده این است که تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای به کمک فنون سنجش از دور می تواند به طور مؤثری روند تغییرات مساحت تالاب را در بازه های زمانی به خوبی نشان دهد. نتایج حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره ای طی سال های مورد بررسی نشان دهنده کاهش وسعت تالاب هشیلان به ویژه در ناحیه غرب و جنوب غرب تالاب است که می توان دلیل آن را هم وقوع پدیده های طبیعی مانند وقوع خشک سالی و دوره های کم آبی و همچنین اثرات نامطلوب فعالیت های انسانی مانند افزایش دسترسی انسان به تالاب از طریق راه های دسترسی در این ناحیه و همچنین تصرف اراضی تالابی توسط روستاییان و تبدیل کردن آن ها به اراضی کشاورزی دانست. متخصصان محیط زیست بر این باورند که تالاب هشیلان در سه سال ۱۳۸۷، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ دچار خشکی کامل شده است که دلیل آن را می توان به خشک شدن تعدادی از چشمه های جوشان بر اثر خشک سالی، وجود چاه های عمیق در زمین های اطراف و بهره برداری از آب تالاب از طریق کانال کشاورزی، بدون توجه لازم به میزان ورود آب، ربط داد. در این شرایط اکوسیستم تالاب کاملاً تغییر یافته است و پرندگان آبرزی دیگر در این منطقه زندگی نمی کنند و بسیاری از پرندگان مهاجر به مناطق گرمسیری مهاجرت کرده و مسیر مهاجرت آن ها بستگی به زیستگاه های طول مسیر دارد. باتوجه به سیر تحولات ناخوشایند تالاب هشیلان، ادامه روند شرایط کنونی می تواند موجودیت و یکپارچگی تالاب هشیلان را با خطر جبران ناپذیری مواجه کند. مدیریت اکوسیستمی تالاب با تدوین یک برنامه مدیریتی به منظور حفظ و احیای ساختار و عملکردهای این اکوسیستم با پایداری طولانی مدت، می تواند راهگشا باشد. باتوجه به اینکه تالاب ها با فعل و انفعالات و فرایندهای بالادست و پایین دست خود در ارتباط هستند، تالاب هشیلان باید در چارچوب حوزه آبریز تالاب مدیریت شود، چراکه فعالیت های حوزه بر تالاب اثر خواهند داشت. باتوجه به بررسی امکانات و محدودیت های منطقه مورد مطالعه، برخی از اهداف کلی برای برنامه مدیریتی تالاب هشیلان شامل تأمین آب کافی برای تالاب از طریق بررسی و تعیین حداقل نیاز آبی تالاب، پیاده سازی مدیریت یکپارچه منابع آب حوزه آبریز تضمین کیفیت آب تالاب؛ از طریق تدوین استانداردهای مناسب برای کیفیت آب تالاب هشیلان، ایجاد شبکه و انجام پایش کیفیت آب تالاب، جلوگیری از ورود انواع آلودگی ها به آب تالاب و جلوگیری از تصرف و تغییر کاربری، از طریق تعیین

حریم و علامت‌گذاری محدوده تالاب، حفظ و نگهداری مناطق مناسب برای برخی از استفاده‌های انسانی همراه با به حداقل رساندن اثرات آن‌ها بر زیست‌بوم تالاب است.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از تمام کسانی که آن‌ها را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنند.

منابع

- آرخی، صالح، و نیازی، یعقوب. (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های مختلف سنجش‌ازدور برای پایش تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی حوزه دره شهر - استان ایلام). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷(۱)، ۹۳-۷۴. <https://civilica.com/doc/1633066>
- اسماعیلی افق، علیرضا. (۱۳۹۰). ارزیابی شرایط تروفی تالاب چغاخور. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه بوم‌شناسی آبیان شیلاتی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. <https://library.iut.ac.ir/dL/search/default.aspx?Term=6863&Field=0&DTC=107>
- امیری، خدیجه، سید کابلی، حسام، و محمودی کهن، فرهاد. (۱۴۰۰). مطالعه و پایش تغییرات سطح آب و تأثیر آن بر دمای سطح تالاب با استفاده از شاخص‌های NDWI، MNDWI و AWEI (مطالعه موردی: تالاب‌های شادگان و هورالعظیم). علوم و مهندسی آبیاری، ۴۴(۴)، ۷۴-۵۹. <https://doi.org/10.22055/jise.2020.31854.1898>
- بیات، رضا، جعفری، سمیه، و چرخابی، امیرحسین. (۱۳۹۳). پایش تغییرات سطح خاک، پوشش گیاهی و آب در تالاب شادگان با استفاده از فن آوری سنجش‌ازدور. دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک و کویری، سمنان، ایران. <https://civilica.com/doc/32949>
- جعفریگل، منصور، ویسی، عبدالکریم، نورایی صفت، ایثار، و نادری، سیروس. (۱۳۹۴). ارزیابی تأثیرات خشکسالی بر تالاب هشیلان. اکو بیولوژی تالاب (تالاب)، ۷(۲۵)، ۹۲-۸۱. <https://sid.ir/paper/174800/fa>
- جوادی، فاطمه، رضایان، سحر، و جوزی، سید علی. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های کمی ماهواره‌ای در تعیین سطح پهنه‌های آبی با استفاده از سنجنده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: تالاب زیربار استان کردستان). اکوهیدرولوژی، ۷(۲)، ۵۵۰-۵۳۹. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.295355.1267>
- رحیمی بلوچی، لیلا، زرع کار، آزاده، و ملک‌محمدی، بهرام. (۱۳۹۱). بررسی تغییرات زیست‌محیطی با استفاده از سنجش‌ازدور و شاخص کیفیت آب (مطالعه موردی: تالاب بین‌المللی شادگان). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در علوم منابع طبیعی)، ۳(۴)، ۵۵-۴۳. <https://sid.ir/paper/189632/fa>
- رضایی، یوسف، و فاطمی، سید باقر. (۱۳۹۶). کتاب مبانی سنجش‌ازدور. نشر آزاده، تهران، ایران. <https://www.gisoom.com/book/11362937>
- شرکت مهندسين مشاور گزين سازه توس. (۱۳۹۴). گزارش انجام مطالعات شرایط پایه زیست‌محیطی تالاب هشیلان (استان کرمانشاه). خراسان رضوی، ایران. <https://bamahse.com/gstce.html>
- طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، و مهندسين مشاور آسار. (۱۳۹۷). راهنمای تعیین نیاز آبی تالاب‌ها. نشر طلائی، تهران، ایران. https://api.cwipkm.ir/storage/content_attache/Manual%20for%20determining%20the%20water%20requirement%20of%20the%20wetlands.pdf
- مظفری، غلامعلی، و نارنگی فرد، مهدی. (۱۳۹۳). بررسی میزان بارش بر تغییر سطح آب دریاچه مهارلو با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور. اکو بیولوژی تالاب، ۶(۱۹)، ۸۲-۷۳. <https://sid.ir/paper/174840/fa>
- نجفی، زینب، کرمی، غلامحسین، و طاهری، عزیزالله. (۱۳۹۲). بررسی روند افت آب در تالاب هشیلان و نگرانی از خشک‌شدن این تالاب. اولین همایش حفاظت از تالاب‌ها و اکوسیستم‌های آبی، همدان، ایران. <https://civilica.com/doc/207693>

نوروزی میرزایی، مصطفی، و کرم علی، اشرف. (۱۴۰۱). ارزیابی اثرگذاری خشکسالی‌های متعدد دهه ۱۹۹۸ - ۲۰۰۸ بر تالاب‌های غرب ایران: مطالعه موردی تالاب کارستی هشیلان. دهمین کنفرانس بین‌المللی کشاورزی، محیط‌زیست، توسعه شهری و روستایی، تفریس، گرجستان. <https://civilica.com/doc/1541984>

یوسفی روشن، محمدرضا. (۱۴۰۱). برآورد پهنه آبی دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با استفاده از شاخص MNDWI. جغرافیا، ۲۰(۷۴)، ۱۸۶-۱۶۵. <https://sid.ir/paper/1046237/fa>

References

- Arekhi, S., & Niazi, Y. (2010). Assessing different remote sensing techniques to detect land use changes (case study in Dareshahr, Ilam province). *Iranian journal of Range and Desert Research*, 17(1), 74-93. <https://civilica.com/doc/864204/> [In Persian]
- Amiri, K., Seyed kaboli, H., & Mahmoodi-kohan, F. (2021). Study and monitoring of wetland area changes and its impact on wetland surface temperature using NDWI, MNDWI, and AWEI indices (case study: Hor-alazim and Shadegan wetlands). *Irrigation Sciences and Engineering*, 44(4), 59-74. <https://doi.org/10.22055/jise.2020.31854.1898> [In Persian]
- Bastawesy, M. A., Khalaf, F. I., & Arafat, S. M. (2008). The use of remote sensing and GIS for the estimation of water loss from Tushka lakes, southwestern desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 52(3), 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2008.03.006>
- Bayat, R., Jafari, S., & Charkhabi, A.H. (2014). Monitoring of soil surface changes, vegetation and water in Shadegan Wetland using the technology of cross-sensing. The second national conference on desert with the approach of managing arid and desert areas, Semnan, Iran. <https://civilica.com/doc/329497/> [In Persian]
- Conservation Plan of Iranian Wetlands., & Assarab Consulting Engineers. (2018). guide to Determining the Water Needs of Wetlands. Talaee Publishing, Tehran, Iran. https://api.cwipkm.ir/storage/content_attache/Manual%20for%20determining%20the%20water%20requirement%20of%20the%20wetlands.pdf [In Persian]
- Cui, B., Tang, N., Zhao, X., & Junhong, B. (2009). A management-oriented valuation method to determine ecological water requirement for wetlands in the Yellow River Delta of China. *Journal for Nature Conservation*, 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2009.01.003>
- Esmaeil Ofogh, alireza. (2011). Evaluation of Trofi Wetland Choghakhor. Department of Aquatic Plant Ecology, Faculty of Natural Resources. Master's degree Thesis, Isfahan university of technology, Isfahan, Iran. <https://library.iut.ac.ir/dL/search/default.aspx?Term=6863&Field=0&DTC=107> [In Persian]
- Garg, J. K. (2015). Wetland assessment, monitoring and management in India using geospatial techniques. *Journal of environmental management*, 123-148. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.018>
- Ghosh, M. K., Kumar, L., & Roy, C. (2015). Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.009>
- Gross, J. E., Nemani, R. R., Turner, W., & Melton, F. (2006). Remote sensing for the national parks. *Park Science*, 24(1), 30-36. https://www.researchgate.net/profile/John-Gross-5/publication/259286117_Remote_sensing_for_the_national_parks/links/5f0500cfa6fdcc4ca455be83/Remote-sensing-for-the-national-parks.pdf
- Gozin Sazeh Toos Consulting Engineers Co. (2015). report of studies of environmental conditions of Heshailan Wetland (Kermanshah province). Razavi Khorasan, Iran. <https://bamahse.com/gstce.html> [In Persian]

- Jafarbigloo, M., Veysi, A., Nuraeesezat, I., & Naderi, Sirus. (2015). study of drought impact assessment on hashiland wetland. *journal of wetland ecobiology*, 7(25), 81-92. sid. <https://sid.ir/paper/174800/en>[In Persian]
- Javadi, F., Rezayan, S., & Jozi, S. A. (2020). Evaluating Satellite Indicators in Determining the Level of Aquatic Areas Using Satellite Sensors (Case Study: Zaribar Wetland, Kurdistan Province). *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(2), 539-550. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.295355.1267> [In Persian]
- John, A., & Richards, X. J. (2005). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction* Springer.<https://torob.com/p/58d9551a-bbee-4098-a0fe-74f08d83993e/%D8%AF%D8%A7%D9%86%D9%84%D9%88%D8%AF%DA%A9%D8%AA%D8%A7%D8%A8-remote-sensing-digital-image-analysis-an-introduction/>
- Mozafari, G., & Narangifard, M. (2014). The Study of rainfall impact on Maharlou Lake water surface change using remote sensing data. *Wetland Ecobiology*, 6 (1), 73-82. <http://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-192-fa.html>[In Persian]
- Najafi, Z., Karami, Gh.H., & Taheri, A. (2013). Investigating the trend of water loss in Heshailan Wetland and concerns about drying of this wetland. First Conference on Conservation of Wetlands and Aquatic Ecosystems, Hamedan, Iran. <https://civilica.com/doc/207693>[In Persian]
- Norouzi Mirzaei, M., & Karem Ali, A. (2022). Evaluation of the Effect of Decade Droughts (1998-2008) On the Wetlands of Western Iran: A Case Study of Karst Wetland in Heshailan. *International Conference on Agriculture, Environment, Urban and Rural Development*. Teflis, Georgia . <https://civilica.com/doc/1541984>[In Persian]
- Rahimi Blouchi, L., Zarkar, A., & Malekmohammadi, B. (2012). Detecting environmental change of shadegan international wetland using remote sensing and wrastic index (case study: shadegan international wetland). *journal of rs and gis for natural resources (journal of applied rs and gis techniques in natural resource science)*, 3(4), 43-55. <https://sid.ir/paper/189632/en> [In Persian]
- Rezaei, Yousef And Fatemi, Seyyed Baqir. (2017). *the Basics of the Measurement of the From*. Tehran, Iran. <https://www.gisoom.com/book/11362937>[In Persian]
- Shokoohi, A., & Hong, Y. (2011). Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran Sea Basin—Iran). *Hydrological Processes*, 25(22), 3490-3498. <https://doi.org/10.1002/hyp.8076>
- Yousefiroshan, M. (2022). Estimation of Lake Urmia water area using Landsat 8 satellite imagery using MNDWI Index. *Geography*, 20(74), 165-186. <https://sid.ir/paper/1046237/en>[In Persian]
- Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., & Bauer, M. E. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote sensing of Environment*, 98(2-3), 317-328. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.006>
- Winter, T. C., Rosenberry, D. O., Buso, D. C., & Merk, D. A. (2001). Water source to four US wetlands: implications for wetland management. *Wetlands*, 21(4), 462-473. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2001\)021\[0462:WSTFUS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2001)021[0462:WSTFUS]2.0.CO;2)



Experimental study of the effect of transverse distance between the rectangular piers on local scour around them

Seyyed Mojtaba Hosseini Matin¹ , Mohammad Bahrami Yarahmadi² , Mehdi Ghomeshi³ ,
Mahmood Shafaei Bejestan⁴

¹ MSc. student of Civil Engineering (Water & Hydraulic Structures), Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail : mojtabahosseiniartin1997@gmail.com

² Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail : m.bahrami@scu.ac.ir

³ Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail : ghomeshi@scu.ac.ir

⁴ Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail : m_shafai@yahoo.com

ABSTRACT

The main cause of the destruction of many bridges built on rivers is local scour around their piers, especially during floods. The failure and destruction of bridges, in addition to financial and human losses, also cuts the communication path to flood-affected areas that need assistance and doubles the damages. The present study examined the effect of transverse distance between vertical rectangular piers in the pier group on the local scour around them in a straight channel under different hydraulic conditions (Froude numbers 0.160, 0.186, 0.211, and 0.245). The piers used in this study were rectangular 2.5 cm wide and 3.5 cm long. The longitudinal distance between the piers was fixed and 4 times the width of the pier (10 cm), and the transverse distance between the piers was 1, 3, 5, and 8 times the width of the pier, which were equivalent to 2.5, 7.5, 12.5 and 20 cm. The results showed that with an increase in the transverse distance between the piers, the maximum scour depth first began to decrease and reached the minimum value at a distance three times the width of the pier, then with an increase in the transverse distance, the maximum scour depth increased and reached the maximum at a distance of 8 times the width of the pier. The maximum scour depth at a distance of 8 times the width of the pier was obtained on average 34% more than the distance of 3 times the width of the pier.

Keywords: Local scour, Rectangular pier group, Transverse distance, River engineering.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 28 February 2024 Revised: 21 May 2024 Accepted: 05 June 2024 ePublished: 21 June 2024

1. Introduction

Bridges are built to connect the two sides of rivers. As a result of the flows hitting the piers of bridges, scour occurs around them, especially during floods. Sometimes the degree of the score is so high that it destroys the pier and eventually the bridge. Every year, many bridges around the world are destroyed due to scour around their piers and abutments (Ghodsi et al. 2015). Various studies have addressed the scour formed around bridge piers, mostly single piers, and the factors affecting it. However, some studies have examined pier groups, but the number of such studies is smaller than the studies conducted on single piers. Cylindrical piers are mostly used in the mentioned studies. A few studies have addressed the effect of the transverse distance between the piers in the group of piers, especially rectangular piers. The present study hypothesized that the changes in the transverse distance between the piers are effective on the intensity of scour around them in the pier group. To this end, the present study sought to investigate the effect of changes in the transverse distance between rectangular piers on the local scour around them in the group of piers with a 2×2 arrangement.

2. Methodology

The experiments of this study were carried out in Flume with a rectangular cross-section and length and width equal to 6 and 0.73 meters, respectively. The sediments used in this study were sand with a relative density of 2.65. The average size of the sediment particles (d_{50}) was equal to 0.73 mm and the standard deviation coefficient of bed sediments ($\sigma_g = \sqrt{d_{84}/d_{16}}$) was equal to 1.22, which indicates the uniformity of the sediment grading. The piers used in this study were rectangular 2.5 cm wide and 3.5 cm long. In all experiments, the pier group was used with a 2×2 arrangement. The longitudinal distance between the piers was fixed and 4 times the width of the pier (10 cm). The transverse distance between the piers was chosen as 1, 3, 5, and 8 times the width of the pier equivalent to 2.5, 7.5, 12.5, and 20 cm. In this study, the flow depth was equal to 14 cm with discharge rates of 19, 22, 25, and 29 L/s (Froude numbers 0.16, 0.186, 0.211, and 0.245). All the experiments were conducted in clear water.

3. Results and discussion

The scour rate around the piers is a function of the flow Froude number, the distance of the piers from each other, and the row of the pier placement (the first or second row). With an increase in the Froude number, the scour depth also increased due to an increase in the strength of the erosive eddies and the bed shear stress around the piers.

In all the experiments, the maximum depth of the scour hole was observed around the piers of the first row. Figure 1 displays the trend of changes in the maximum relative scour depth (ds_1/w) for different distances and Froude numbers. As can be seen, with an increase in the transverse distance between the piers, the maximum scour depth first started a downward trend and reached the minimum value at a distance three times the width of the pier, then the trend of changes in the maximum scour depth increased and reached its maximum value at a distance of 8 times the pier width. The data showed that the maximum scour depth at a distance of 8 times the width of the pier with Froude numbers 0.16, 0.186, 0.211, and 0.245, was 39.5, 35, 35, and 28% greater than the distance 3 times the pier width, 37, 37, 32 and 14% greater than the distance 5 times the pier width, and 30, 25, 20 and 10% greater than the distance 1 time the pier width.

In all the experiments, the maximum scour depth around the piers in the first row was greater than that of the piers in the second row. The data revealed that the maximum scour depth around the piers in the second row at transverse distances of 1, 3, 5, and 8 times the pier width was on average 35, 48, 40, and 42% smaller than the maximum scour depth around the piers in the first row.

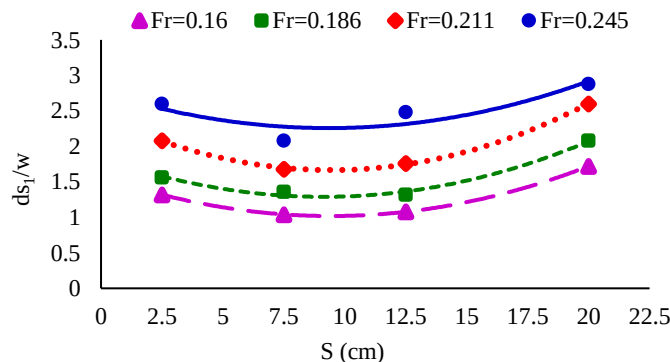


Figure 1. The changes in the maximum scour depth for different transverse distances between piers

4. Conclusions

This study examined the effect of the transverse distance between the rectangular piers in the pier group with a 2×2 arrangement on the local scour around the piers under different hydraulic conditions. The results showed that with an increase in the transverse distance between the piers, the maximum scour depth first began to decrease and reached the minimum value at a distance 3 times the width of the pier. Then, with an increase in the transverse distance, the maximum scour depth increased and reached the maximum at a distance of 8 times the width of the pier. Overall, the highest and lowest scour rates occurred at distances of 3 and 8 times the pier width, respectively. In addition to the depth, similar findings were also observed for the length and width of the scour hole. In other words, the maximum length and width of the scour hole were observed at a distance of 8 times the width of the pier. The data revealed that the maximum scour depth at a distance of 8 times the width of the base was on average 34, 30, and 21% greater than the distances of 3, 5, and 1 times the pier width, respectively.

5. References

Ghods, H., Khanjani, M. J., & Beheshti, A. A. (2015). Experimental investigation of local scour around a complex bridge pier. *Journal of Experimental Research in Civil Engineering*, 2(3), 47-55. https://journals.sru.ac.ir/article_337.html [In Persian]

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

7. Acknowledgments

We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support (SCU.WH1402.31373).

Cite this article: Hosseini Matin, S.M., Bahrami Yarahmadi, M., Ghomeshi, M., & Shafaei Bejestan, Mahmood. (2024). Experimental study of the effect of transverse distance between the rectangular piers on local scour around them, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(2), 43-58. DOI: 10.22126/ATWE.2024.10621.1123



بررسی آزمایشگاهی اثر فاصله عرضی بین پایه های مستطیل شکل بر آب شستگی موضعی اطراف آنها

سید مجتبی حسینی متین^۱ ID، محمد بهرامی یاراحمدی^۲ ID، مهدی قمشی^۳ ID، محمود شفاعی بجستان^۴ ID

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: mojtabahosseini1997@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.bahrami@scu.ac.ir

^۳ استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ghomeshi@scu.ac.ir

^۴ استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m_shafai@yahoo.com

چکیده

از علل اصلی خرابی بسیاری از پل ها که در رودخانه ها احداث می شوند آب شستگی موضعی در پیرامون پایه های آنها مخصوصاً در مواقع سیلابی است. شکست و تخریب پل ها علاوه بر خسارات مالی و جانی، راه ارتباطی به نقاط سیل گیر و محتاج کمک رسانی را نیز قطع کرده و خسارت ها را دوجندان می کند. در تحقیق حاضر به بررسی اثر فاصله عرضی بین پایه های مستطیلی قائم در گروه پایه، بر آب شستگی موضعی پیرامون آنها در کانال مستقیم تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت (اعداد فرود ۰/۱۶۰، ۰/۱۸۶، ۰/۲۱۱ و ۰/۲۴۵) پرداخته شده است. پایه های مورد استفاده در تحقیق حاضر مستطیل شکل و به عرض ۲/۵ و طول ۳/۵ سانتی متر انتخاب شدند. در این تحقیق فاصله طولی بین پایه ها ثابت و ۴ برابر عرض پایه (۱۰ سانتی متر) و فاصله عرضی بین پایه ها ۱، ۳، ۵ و ۸ برابر عرض پایه معادل با ۲/۵، ۷/۵، ۱۲/۵ و ۲۰ سانتی متر انتخاب شد. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله عرضی بین پایه ها حداکثر عمق آب شستگی ابتدا روند نزولی پیدا کرد و در فاصله سه برابر عرض پایه به حداقل مقدار رسید سپس با افزایش فاصله عرضی حداکثر عمق آب شستگی افزایش یافت و در فاصله ۸ برابر عرض پایه به بیشترین مقدار رسید. حداکثر عمق آب شستگی در فاصله ۸ برابر عرض پایه به طور متوسط ۳۴ درصد بیش از فاصله ۳ برابر عرض پایه به دست آمد.

واژه های کلیدی: آب شستگی موضعی، گروه پایه مستطیلی، فاصله عرضی، مهندسی رودخانه

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۹ اسفند ۱۴۰۲ اصلاح: ۰۱ خرداد ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۶ خرداد ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ تیر ۱۴۰۳

استناد: حسینی متین، س.م، بهرامی یاراحمدی، م، قمشی، م، و شفاعی بجستان، م. (۱۴۰۳). بررسی آزمایشگاهی اثر فاصله عرضی بین پایه های مستطیل شکل بر آب شستگی موضعی اطراف آنها، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۴(۲)، ۵۸-۴۳. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.10621.1123



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

اهمیت پل در برقراری ارتباط بر کسی پوشیده نیست. وقتی پایه پل در برابر جریان قرار می گیرد، در اطراف آن آب شستگی اتفاق می افتد. با رسیدن عمق آب شستگی به فونداسیون پایه پل، پایداری آن در معرض خطر قرار می گیرد. همه ساله هزاران پل در سراسر جهان در اثر آب شستگی در اطراف پایه های آن ها تخریب می شوند و این مسئله سال هاست که ذهن محققین و مهندسين رودخانه را به خود مشغول کرده است (قدسی و همکاران، ۱۳۹۴، و ولی زاده و همکاران^۱، ۲۰۲۳، ۲۰۲۴).

پایه پل به صورت مانعی در مقابل جریان عمل می کند و الگوی جریان را تحت تأثیر قرار می دهد. شکل هندسی و موقعیت پایه نسبت به امتداد جریان و همچنین تعداد و فواصل پایه ها در تغییر وضعیت جریان مؤثر است. سامانه های گردابی پیچیده ای در اطراف پایه به وجود می آید که عملکرد آن ها باعث حفر گودالی در اطراف پایه ها شده که حفره آب شستگی نامیده می شود. دو عامل مهم باعث ایجاد چنین سامانه هایی می شوند. یکی برخورد جریان به پایه و دیگری جدا شدن جریان از پایه است. برخورد جریان به پایه گرداب نعل اسبی^۲ را شکل داده و جدایی جریان از پایه باعث به وجود آمدن گرداب های برخاستگی^۳ می شوند (پور قاسم زاده، ۱۳۹۵).

گرداب نعل اسبی عامل اصلی فرسایش بستر رودخانه پیرامون پایه به ویژه در جلوی آن است. پس از برخورد جریان به پایه، به دلیل توزیع سرعت عمودی جریان که سرعت از بستر به طرف سطح آب زیاد می شود، توزیع فشار دینامیکی بر روی سطح پایه ایجاد می شود. گردابیان فشار بر روی پایه از بالا به پائین است. این گردابیان فشار باعث ایجاد یک جریان رو به پائین در جلوی پایه می شود. برخورد جریان به بستر در جلوی پایه باعث حفر چاله آب شستگی می شود. حفره آب شستگی توسط گرداب نعل اسبی آن قدر ادامه می یابد تا حجم آب داخل حفره زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک نماید (ملویل و ساترلند^۴، ۱۹۸۸). فرایند آب شستگی در حضور گروه پایه تحت تأثیر مکانیسم هایی است که آن را نسبت به تک پایه پیچیده تر می کند. تفاوت موجود باعث تغییر عمق و شکل آب شستگی در اطراف گروه پایه می شود. برای پایه ای که خود قسمتی از یک گروه پایه است علاوه بر پارامترهای مؤثر در آب شستگی موضعی اطراف پایه منفرد، اثر گروه نیز مهم است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در گذشته تحقیقات مختلفی در رابطه با آب شستگی پیرامون پایه پل در داخل و خارج از کشور انجام شده است. ژائو و شپارد^۵ (۱۹۹۹) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر زاویه برخورد جریان با گروه پایه بر روی عمق آب شستگی پرداختند. فاصله بین پایه ها ۳ برابر قطر پایه در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از آن بود که برای زوایای کمتر از ۲۰ درجه، گرداب های نعل اسبی عامل اصلی در فرایند آب شستگی هستند و بیشینه عمق آب شستگی در پایه بالادست ایجاد شد. افزون بر این بیشینه عمق آب شستگی در زاویه قرارگیری ۲۵ درجه مشاهده شد. بزکوس و سزمه^۶ (۲۰۱۰) به بررسی اثر زاویه گروه پایه های استوانه ای با سه قطر مختلف ۲۵، ۵۰ و ۷۰ میلی متر بر عمق آب شستگی موضعی در یک کانال مستقیم پرداختند. آن ها زاویه پایه ها را نسبت به خط قائم ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که عمق آب شستگی اطراف گروه پایه پل کج نسبت به پایه پل عمودی کمتر بود. همچنین عمق آب شستگی در پایه پل دوتایی نسبت به تک پایه کاهش پیدا کرد. لانکا و همکاران^۷ (۲۰۱۲) به منظور بررسی اثر فاصله طولی بین پایه ها در گروه پایه و همچنین اثر زاویه برخورد جریان با گروه پایه بر حداکثر عمق آب شستگی، آزمایش هایی برای یک گروه پایه استوانه ای انجام دادند. نتایج تحقیق آن ها نشان داد که حداکثر عمق آب شستگی، وابسته به فاصله بین پایه ها در گروه پایه و همچنین زاویه برخورد جریان به گروه پایه است. معمار و همکاران^۸ (۲۰۱۸) اثر زاویه برخورد جریان به دوپایه استوانه ای پشت سر هم بر عمق آب شستگی اطراف آن ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بهترین چیدمان پایه ها برای پایه های پشت سر هم در زاویه

¹ Valizadeh et al

² Horseshoe Vortex

³ Wake Vortex

⁴ Melville & Sutherland

⁵ Zhao & Sheppard

⁶ Bozkus & Cesme

⁷ Lança et al

⁸ Memar et al

کج ۳۰ درجه رخ می‌دهد. سلطانی کاظمی و همکاران^۱ (۲۰۲۲) میزان آب شستگی موضعی در اطراف گروه‌های پایه لوزی شکل را با آرایش‌های مختلف تحت تأثیر وجود امواج ایستاده عرضی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که وقوع امواج ایستاده عرضی در اطراف گروه پایه باعث افزایش عمق و حجم آب شستگی در اطراف پایه‌ها می‌شود. سالمی و همکاران^۲ (۲۰۲۳) میزان آب شستگی موضعی اطراف گروه‌های پایه استوانه‌ای را تحت تأثیر امواج ایستاده عرضی بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که وقوع امواج عرضی به‌طور کلی حداکثر عمق آب شستگی موضعی را در اطراف پایه‌ها افزایش می‌دهد که در آن اثر حالت موج دوم بیشتر از حالت موج اول بود. بهشتی و عطائی آشتیانی (۱۳۸۳) اثر فاصله بین پایه‌ها بر حداکثر عمق آب شستگی در گروه پایه ۲×۴ را بررسی کردند. آزمایش‌ها برای فواصل ۰/۲۵، ۰/۵، ۲ و ۴ برابر عرض پایه‌ها انجام شد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد اثر متقابل بین پایه‌ها با کاهش فاصله بین پایه‌ها بیشتر می‌شود، به‌طوری‌که برای فواصل کوچک بین پایه‌ها، حداکثر عمق آب شستگی حدود دو برابر مقدار متناظر برای پایه منفرد است و با افزایش فاصله بین پایه‌ها، عمق آب شستگی کاهش پیدا کرده و مساوی عمق آب شستگی در پایه منفرد است. امینی و اقبال زاده (۱۳۹۱) اثر آرایش گروه پایه‌ها بر عمق آب شستگی در پایه‌های پل را بررسی کردند. در این تحقیق دو حالت بررسی شد. حالت اول اثر آرایش پایه‌ها و فاصله آن‌ها از همدیگر و حالت دوم اثر تعداد ردیف‌های پایه‌ها در حالتی که فاصله آن‌ها ثابت بود، ارزیابی شد. آن‌ها دریافتند که چیدمان گروه پایه‌ها در پایه پل تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر آب شستگی موضعی دارد به‌طوری‌که بیشترین عمق آب شستگی در بالادست گروه پایه‌ها و در اطراف ردیف اول اتفاق می‌افتد. همچنین در این تحقیق نشان داده شد با افزایش تعداد ردیف پایه‌ها تا ۵ برابر قطر پایه در جهت جریان، عمق آب شستگی افزایش می‌یابد. بیشتر از این تعداد ردیف‌ها، تغییرات عمق آب شستگی ناچیز بود. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اثر فاصله طولی و آرایش پایه‌ها بر روی میزان آب شستگی در گروه پایه‌ها پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش فاصله در همه آرایش‌ها، حجم آب شستگی افزایش یافت. این افزایش تا $S/D = 3$ (S=فاصله بین پایه‌ها و D =قطر پایه) مقدار کمی است و تغییرات در $S/D > 3$ به‌شدت افزایش پیدا کرد. آرایش پایه‌ها و فاصله آن‌ها، مساحت و حجم حفره آب شستگی را تحت تأثیر قرارداد به‌طوری‌که با افزایش فاصله پایه‌ها، عمق آب شستگی، حجم و مساحت حفره آب شستگی افزایش یافت. اظهري و همکاران (۱۳۹۱) عمق آب شستگی موضعی اطراف گروه پایه دایره‌ای شکل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که، با افزایش فاصله مرکز به مرکز پایه‌ها (G) از D به $2.5D$ (D =قطر پایه) عمق آب شستگی ماکزیمم که در پایه جلویی ایجاد می‌شود تا ۲۰ درصد افزایش یافت. با افزایش فاصله بین پایه‌ها مقدار عمق آب شستگی در پایه اول کاهش یافته و برای فاصله $G/D = 5$ تقریباً برابر عمق آب شستگی در حالت $G/D = 1$ شد. رشنو و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی حداکثر عمق آب شستگی در گروه پایه‌های دوتایی و سه‌تایی با چیدمان خطی پرداختند. فاصله بین پایه‌ها از ۲ برابر تا ۱۰ برابر قطر پایه (D) و همچنین زاویه برخورد جریان به پایه‌ها از ۰ تا ۹۰ درجه متغیر بود. مدل گروه پایه‌های پل شامل دو پایه و سه‌پایه با مقطع دایره و قطر پایه‌ها برابر ۴ سانتیمتر بود. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در چیدمان دوپایه، حداکثر عمق آب شستگی اطراف پایه اول و دوم با افزایش فاصله بین پایه‌ها ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. به‌طوریکه حداکثر عمق آب شستگی پایه اول ۱/۱۹ برابر آب شستگی تک‌پایه و در فاصله $5D$ و همچنین حداکثر عمق آب شستگی پایه دوم ۱/۰۹ برابر آب شستگی تک‌پایه و در فاصله $4D$ رخ داد. همچنین با افزایش زاویه برخورد جریان از صفر تا ۹۰ درجه، عمق آب شستگی اطراف پایه دوم به میزان ۱۴ درصد افزایش یافت. در چیدمان سه‌پایه، حداکثر عمق آب شستگی اطراف پایه اول و دوم با افزایش فاصله بین پایه‌ها ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش پیدا کرد. به‌طوریکه حداکثر عمق آب شستگی پایه اول ۱/۱۸ برابر آب شستگی تک‌پایه و در فاصله $4D$ و همچنین حداکثر عمق آب شستگی پایه دوم ۱/۰۷ برابر آب شستگی تک‌پایه و در فاصله $5D$ رخ داد. حداکثر عمق آب شستگی در اطراف پایه سوم ۰/۸۶ برابر آب شستگی تک‌پایه و در فاصله $6D$ اتفاق افتاد. اقبال نیک و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثر چیدمان متفاوت پایه پل عمودی و کج در گروه پایه‌های ۶ تایی در قوس ۱۸۰ درجه تند پرداختند. در این پژوهش از ۶ پایه استوانه‌ای شکل به قطر ۲ سانتیمتر استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشینه عمق آب شستگی و تراز رسوب‌گذاری در موقعیت ۶۰ درجه و شرایط بستر زنده رخ می‌دهد.

¹ Soltani-Kazemi et al

² Salemi et al

در گذشته تحقیقات مختلفی بر روی آب شستگی پیرامون پایه‌های پل و عوامل مؤثر بر آن انجام شده است که اکثر آن‌ها در رابطه با تک‌پایه است. البته تحقیقاتی نیز بر روی گروه پایه‌ها صورت گرفته است که کمتر از تک‌پایه است. در تحقیقات مذکور اکثراً از پایه‌های استوانه‌ای شکل استفاده شده است. در خصوص تأثیر فاصله عرضی بین پایه‌ها در گروه پایه‌ها مخصوصاً پایه‌های به شکل مستطیل، تحقیقات بسیار اندکی انجام شده است. فرضیه نویسندگان تحقیق حاضر این است که تغییرات فاصله عرضی بین پایه‌ها بر میزان آب شستگی پیرامون آن‌ها در گروه پایه‌ها مؤثر است؛ بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر تغییرات فاصله عرضی بین پایه‌های مستطیل شکل بر آب شستگی موضعی پیرامون آن‌ها در گروه پایه‌های با آرایش 2×2 است.

روش پژوهش

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. فلومی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، یک فلوم مستقیم با مقطع مستطیلی است. طول و عرض فلوم به ترتیب برابر ۶ و ۰/۷۳ متر و شیب آن نزدیک به صفر بود. اسکلت فلوم، فلزی و جنس دیواره‌های آن شیشه سکوریت با ضخامت ۱۰ میلی‌متر بود که در شکل (۱) نشان داده شده است. برای این‌که تلاطم ناشی از پمپاژ آب در فلوم جلوگیری شود، در ابتدای فلوم یک مخزن آرام‌کننده تعبیه شده است. همچنین به همین منظور در ورودی فلوم نیز صفحه مشبک فلزی و پوشال کولر استفاده شد تا جریان با تلاطم حداقلی وارد فلوم شود. در انتهای فلوم یک سرریز کشویی جهت کنترل و تنظیم عمق جریان تعبیه شده بود که جنس آن از پلکسی‌گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر بود.



شکل ۱. فلوم مورد استفاده در این پژوهش

یک مخزن فلزی با ابعاد $90 \times 60 \times 50$ سانتی‌متر در انتهای فلوم و پس از سرریز کشویی قرار داشت. جریان پس از عبور از سرریز کشویی وارد این مخزن می‌شد سپس توسط یک لوله به استخر ذخیره ریخته می‌شد. تأمین آب آزمایشگاه هیدرولیک توسط سه عدد پمپ صورت می‌گرفت. این پمپ‌ها آب را از استخر ذخیره زیرزمینی به درون مخزن بار ثابت پمپاژ می‌کردند. این مخزن برای تأمین فشار ثابت در شبکه آب‌رسانی آزمایشگاه و دبی ورودی یکنواخت به فلوم، ساخته شده است. جریان پس از مخزن تأمین فشار ثابت و از طریق لوله وارد فلوم می‌شد. دبی سنج مورد استفاده در این تحقیق دبی سنج الکترومغناطیسی مگاب 3000 تولید شرکت ایران‌مدار با دقت اندازه‌گیری 0.5% درصد است. برداشت توپوگرافی بستر در هر آزمایش با استفاده از متر لیزری لایکا $X310$ با دقت 1 میلی‌متر صورت می‌گرفت. برای این منظور متر لیزری بر روی صفحه‌ای شفاف و مدرج (که بر روی فلوم و در عرض آن مستقر می‌گردید) قرار داده می‌شد. صفحه از جنس پلکسی‌گلاس بوده و توسط متر پارچه‌ای مدرج شده بود. متر لیزری بر روی این صفحه قابلیت حرکت در عرض فلوم جهت برداشت داده‌ها را داشت. رسوبات مورد استفاده در این تحقیق از جنس ماسه با چگالی نسبی $2/65$ بود. اندازه متوسط ذرات رسوبی (d_{50}) برابر 0.73 میلی‌متر انتخاب شد. برای حذف اثر غیریکنواختی رسوبات بر کاهش آب شستگی موضعی مطابق پیشنهاد چپو و ملویل (۱۹۸۷) میزان انحراف معیار هندسی ذرات باید از $1/3$ کم‌تر باشد. ضریب انحراف استاندارد رسوبات بستر $(\sigma_g = \sqrt{d_{84}/d_{16}})$ برابر $1/22$ محاسبه شد که نشان‌دهنده یکنواخت بودن دانه‌بندی رسوبات است. در شکل (۳) منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر ارائه شده است. برای جلوگیری از تأثیر اندازه ذرات بستر بر آب شستگی

موضعی و لذا ایجاد حداکثر عمق آب شستگی بایستی $20-25 mw/d_{50}$ (تعداد پایه‌ها در هر ردیف و w = عرض پایه) (رادکیوی و اتما^۱، ۱۹۸۳). در مطالعه حاضر این نسبت برابر ۶۸ است. رسوبات بستر درون یک باکس (محدوده آزمایش) به طول ۱/۵ متر و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر که در وسط فلوم قرار داشت، ریخته شد. فاصله ابتدای باکس از ابتدای فلوم برابر ۲/۲۵ متر بود. بالادست و پایین‌دست باکس رسوبی، باکس سیمانی به ارتفاع ۱۵ سانتیمتر جهت جلوگیری از شسته شدن تمام رسوبات درون باکس رسوبی ساخته شد. پایه‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر مستطیل شکل و به عرض ۲/۵ و طول ۳/۵ سانتی‌متر انتخاب شدند. جنس پایه‌ها از چوب بود. در همه آزمایش‌ها از گروه پایه با آرایش ۲×۲ استفاده شد. فاصله طولی بین پایه‌ها ثابت و ۴ برابر عرض پایه (۱۰ سانتیمتر) در نظر گرفته شد. فاصله عرضی بین پایه‌ها ۱، ۳، ۵ و ۸ برابر عرض پایه معادل با ۲/۵، ۷/۵، ۱۲/۵ و ۲۰ سانتیمتر انتخاب گردید.

در جریان‌های کم‌عمق طبق نظر اتما (۱۹۸۰)، گرداب‌های موج کم‌انی ایجاد شده در سطح آب، با جریان تداخل یافته و باعث کاهش در جریان رو به پائین و کاهش عمق آب شستگی می‌شود؛ بنابراین برای اینکه تأثیر این پدیده بر روی عمق آب شستگی از بین برود باید حداقل عمق جریان بیش از ۳ برابر قطر پایه باشد. برای این که زبری بستر روی آب شستگی اثر نگذارد باید عمق جریان بیش از ۲۰ میلی‌متر انتخاب شود. نکته حائز اهمیت دیگر در تعیین عمق جریان، رعایت حداکثر سرعت جریان در شرایط آب زلال است. آب شستگی موضعی به دودسته آب شستگی آب زلال و آب شستگی بستر زنده تقسیم‌بندی می‌شود. در آب شستگی آب زلال حداکثر عمق حفره آب شستگی به علت عدم حرکت رسوبات در بالادست پایه، ایجاد می‌گردد. در آب شستگی بستر زنده به علت حمل رسوب بستر بالادست پایه، حفره آب شستگی از رسوب پر شده و عمق حفره آب شستگی را کاهش می‌دهد. آب شستگی بستر زنده زمانی ایجاد می‌شود که سرعت متوسط جریان (V) از سرعت متوسط بحرانی (سرعت آستانه حرکت ذرات) (V_c) بیشتر باشد. اگر سرعت متوسط جریان در محدوده باشد ($0.3V_c < V < V_c$) باشد آب شستگی آب زلال ایجاد می‌شود (چیو و ملویل^۲، ۱۹۹۹). با توجه با مطالب ذکر شده، در این تحقیق عمق جریان ثابت و برابر ۱۴ سانتی‌متر انتخاب شد. در این پژوهش از دبی‌های ۱۹، ۲۲، ۲۵ و ۲۹ لیتر بر ثانیه (اعداد فرود ۰/۱۶، ۰/۱۸۶، ۰/۲۱۱ و ۰/۲۴۵) استفاده شد. نسبت V/V_c در این مطالعه در همه آزمایش‌ها بین ۰/۶۳ الی ۰/۹۷ بود، لذا کلیه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال انجام گرفته است. با توجه به اینکه ۴ فاصله عرضی برای پایه‌ها در هر گروه پایه در نظر گرفته شد، مجموع آزمایش‌ها برابر ۱۶ عدد است.

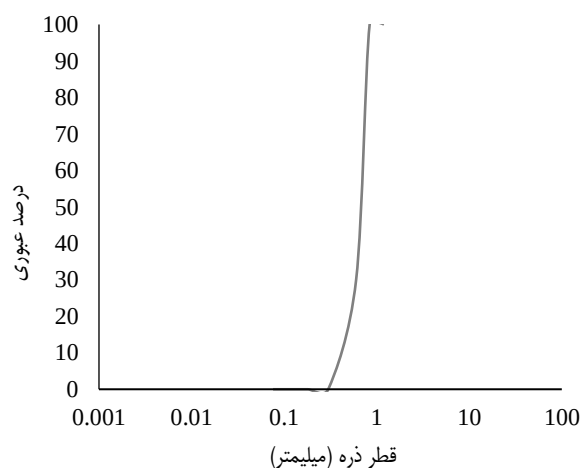
عمق آب شستگی در اطراف پایه پل‌ها، تابع زمان بوده و با گذشت زمان توسعه پیدا کرده و پس از طی مدت‌زمانی به حالت تعادل می‌رسد. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر هدف بررسی اثر فاصله عرضی بین پایه‌ها بر آب شستگی موضعی پیرامون گروه پایه‌ها بود؛ لذا از یک‌زمان ثابت ۵ ساعته برای تمام آزمایش‌ها استفاده شد.

¹ Raudkivi & Ettema

² Chiew & Melville



شکل ۲. نمایی از گروه پایه قبل از شروع آزمایش



شکل ۳. منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر

شرح انجام آزمایش

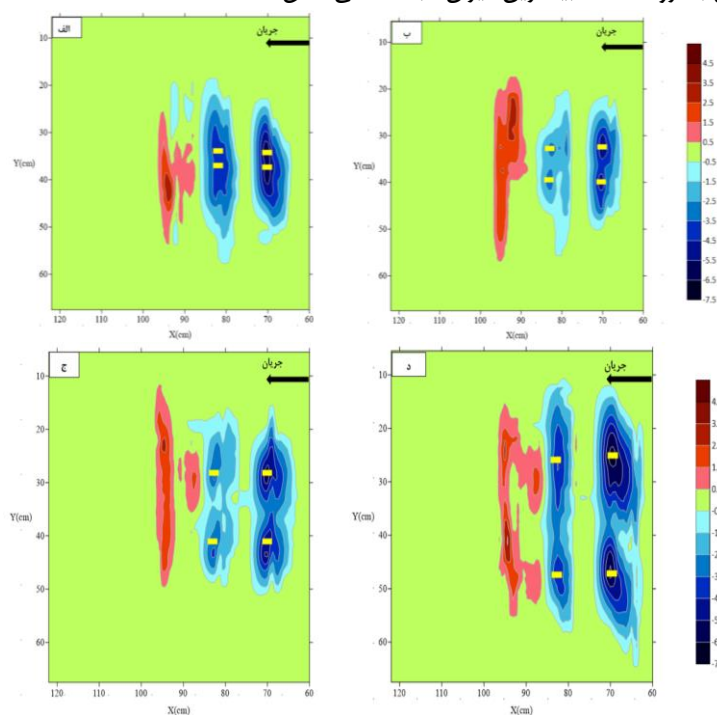
قبل از شروع هر آزمایش فاصله عرضی پایه‌ها از یکدیگر تنظیم می‌شد سپس سطح رسوبات بستر کاملاً تراز و تسطیح می‌گردید. برای اطمینان از تراز بودن بستر رسوبی، رقوم بستر در بالادست و پایین‌دست پایه‌ها و همچنین پیرامون آن‌ها با استفاده از متر لیزری برداشت می‌گردید. این رقوم تراز شده برای بستر در همه آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد. پس از آن اولین گام برای انجام آزمایش بستن سرریز کشویی انتهای فلوم و باز کردن شیرفلکه جریان با دبی کم در حدود ۱ لیتر بر ثانیه بود تا از فرسایش بستر جلوگیری شود. بعد از آنکه عمق آب در فلوم به حدود ۱۰ سانتیمتر می‌رسید به تدریج دبی افزایش داده می‌شد و این امر باعث افزایش عمق آب در فلوم می‌گردید. پس از تنظیم دبی جریان، با پایین آوردن سرریز کشویی عمق آب در حد ۱۴ سانتی‌متر تنظیم می‌گردید. در این هنگام آزمایش شروع می‌شد. پس از گذشت ۵ ساعت از شروع آزمایش، ابتدا سرریز کشویی انتهای فلوم بالا آورده می‌شد تا عمق آب افزایش و عدد فروود جریان کاهش یابد و توپوگرافی بستر دستخوش تغییر نشود. سپس شیرفلکه جریان کاملاً بسته می‌شد تا جریان وارد فلوم نگردد. در انتهای هر آزمایش پس از زهکشی شدن بستر، توپوگرافی بستر با استفاده از متر لیزری (با دقت ۱ میلی‌متر) برداشت می‌گردید و داده‌های برداشت‌شده در نرم‌افزار اکسل ذخیره می‌شد.

یافته‌ها

در این بخش از تحقیق نتایج حاصل از تغییر فاصله عرضی گروه پایه‌ها بر میزان آب شستگی موضعی پیرامون آنها تحت شرایط هیدرولیکی مختلف ارائه و با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

الگوی آب شستگی و رسوب‌گذاری اطراف گروه پایه‌ها

برای ترسیم الگوی آب شستگی و رسوب‌گذاری پیرامون گروه پایه‌ها از نرم‌افزار Surfer استفاده شد. شکل (۴) الگوی آب شستگی و رسوب‌گذاری اطراف گروه پایه‌ها را در فاصله‌های عرضی ۸ برابر عرض پایه برای اعداد فرود مختلف نشان می‌دهد. با دقت در شکل‌ها ملاحظه می‌کنید که در اطراف هر کدام از پایه‌ها آب شستگی اتفاق افتاده که میزان آب شستگی در این تحقیق تابعی از عدد فرود جریان، میزان فاصله پایه‌ها از یکدیگر و ردیف قرارگیری پایه (ردیف اول یا دوم) است. در این تحقیق با افزایش عدد فرود جریان عمق آب شستگی افزایش یافت که این ناشی از افزایش قدرت گردابه‌های فرساینده و همچنین تنش برشی بستر در پیرامون پایه‌ها است. علاوه بر این آب شستگی دوپایه ردیف اول بیشتر از پایه‌های ردیف دوم است. درواقع عمق آب شستگی در پیرامون پایه‌های ردیف دوم کمتر از پایه‌های ردیف اول است که این امر ناشی از این است که سرعت جریان برخوردکننده به پایه‌های ردیف دوم کمتر از پایه‌های ردیف اول است. جریان پس از عبور از پایه‌های ردیف اول دچار کاهش سرعت می‌شود. جریان پس از برخورد به پایه‌ها به علت تشکیل گردان فشار به طرف پایین حرکت کرده و پس از برخورد به بستر باعث حفر چاله آب شستگی می‌شود. چاله آن‌قدر بزرگ می‌شود که جریان پایین‌رونده قدرت فرسایش و حفر بیشتر چاله را نداشته باشد. در اثر تقابل جریان طولی و جریان پایین‌رونده، جریان حلزونی و یا گرداب نعل اسبی در دو طرف پایه شکل می‌گیرد که باعث حفر چاله در طرفین پایه می‌شود. در ضمن رسوبات حاصل از آب شستگی توسط همین جریان حلزونی به طرف پایین‌دست منتقل می‌شوند. تغییر عدد فرود جریان و فاصله بین پایه‌ها بر روی این سیستم گردابی تأثیر می‌گذارد و لذا باعث تغییر میزان آب شستگی می‌گردد. در آزمایش‌های با فرود 0.16 کمترین میزان آب شستگی و در آزمایش با فرود 0.245 بیشترین میزان آب شستگی اتفاق افتاد.



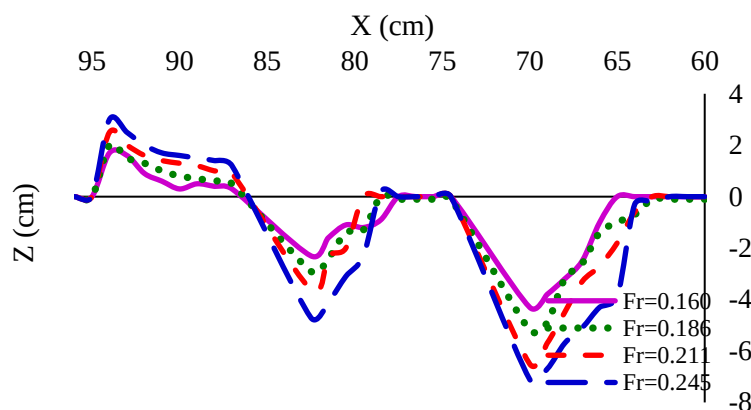
شکل ۴. الگوی آب شستگی و رسوب‌گذاری پیرامون گروه پایه‌ها به ازای عدد فرود 0.245 و برای فواصل الف) $S=1w$ ، ب) $S=3w$ ، ج) $S=5w$ ، د) $S=8w$.

شکل (۴) نشان می‌دهد که چاله آب شستگی دوپایه ردیف اول به علت یکسان بودن قدرت گردابه‌های نعل اسبی اطراف پایه‌های ردیف اول، متقارن هستند و عمق آن‌ها تقریباً یکسان است. بیشترین میزان آب شستگی در فاصله ۸ برابر عرض پایه اتفاق افتاد. رسوبات حاصل از آب شستگی در پایین‌دست پایه‌های ردیف دوم ترسیب یافتند. میزان رسوب‌گذاری در فاصله عرضی ۸ برابر عرض پایه که در آن بیشترین میزان آب شستگی اتفاق افتاد بیش از بقیه فواصل بود.

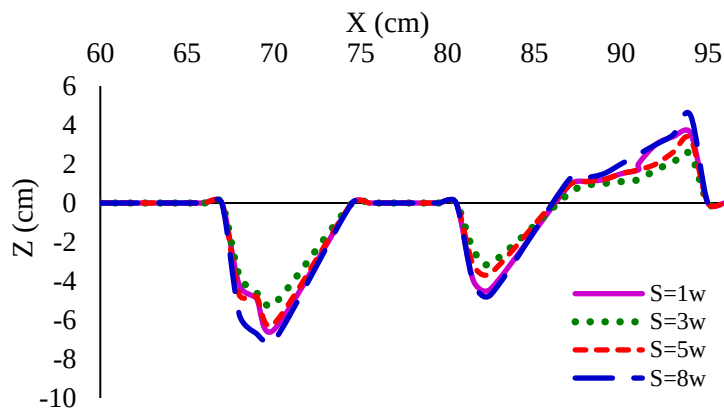
پروفیل طولی حداکثر عمق آب شستگی

در شکل (۵) روند تغییرات پروفیل طولی حداکثر عمق چاله آب شستگی برای فاصله عرضی ۸ برابر عرض پایه که در آن بیشترین میزان آب شستگی اتفاق افتاد نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در فاصله عرضی ۸ برابر عرض پایه با افزایش عدد فرود جریان، طول و عمق چاله آب شستگی افزایش پیدا کرد که این ناشی از افزایش قدرت گرداب نعل اسبی در پیرامون پایه‌ها و احتمالاً افزایش وسعت گردابه در پیرامون پایه‌ها است. توسعه‌ی طولی چاله‌ها بیان‌گر این است که در تمامی فاصله‌ها با افزایش شدت جریان، چاله‌های آب شستگی اطراف گروه پایه توسعه بیشتری یافته و حداکثر عمق آب شستگی در اطراف پایه‌ها افزایش می‌آید. همان‌گونه که شکل (۵) نشان می‌دهد شیب چاله‌های آب شستگی پایه‌های ردیف جلو و ردیف عقب تقریباً یکسان است ولی عمق چاله آب شستگی پایه‌های ردیف عقب کمتر از پایه‌های ردیف جلو است که این ناشی از کاهش سرعت جریان برخوردکننده به پایه‌های ردیف عقب است.

در شکل (۶) روند تغییرات پروفیل طولی حداکثر عمق چاله آب شستگی برای چهار فاصله مختلف به ازای عدد فرود ۰/۲۴۵ (به عنوان نمونه) نشان داده شده است. در فواصل ۱ و ۳ برابر عرض پایه، به علت نزدیکی دوپایه به یکدیگر، یک چاله آب شستگی در اطراف دوپایه تشکیل شد. چاله آب شستگی در فاصله عرضی ۳ برابر عرض پایه، کمترین میزان عمق آب شستگی را دارا است. با افزایش فاصله عرضی به میزان ۸ برابر عرض پایه بزرگ‌ترین چاله آب شستگی در پیرامون پایه‌های جلویی و به صورت مستقل تشکیل گردید. بیشترین میزان عمق آب شستگی به ترتیب متعلق به فاصله عرضی ۸ برابر، ۱ برابر، ۵ برابر و ۳ برابر عرض پایه است. به طور کلی نتایج نشان داد که در یک فرود ثابت با افزایش فاصله عرضی بین پایه‌ها میزان عمق آب شستگی و همچنین طول چاله آب شستگی و ارتفاع رسوب‌گذاری در پایین‌دست پایه‌های عقبی، ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت به طوری که در فاصله ۳ برابر عرض پایه به کمترین مقدار و در فاصله عرضی ۸ برابر عرض پایه به بیشترین مقدار خود رسید.



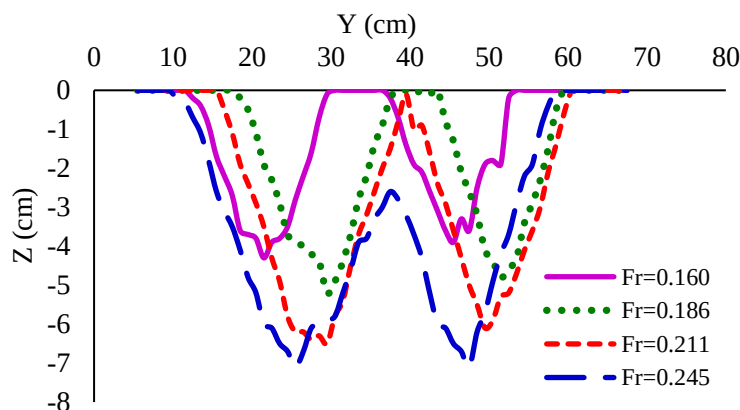
شکل ۵. پروفیل طولی حداکثر عمق چاله آب شستگی برای اعداد فرود مختلف



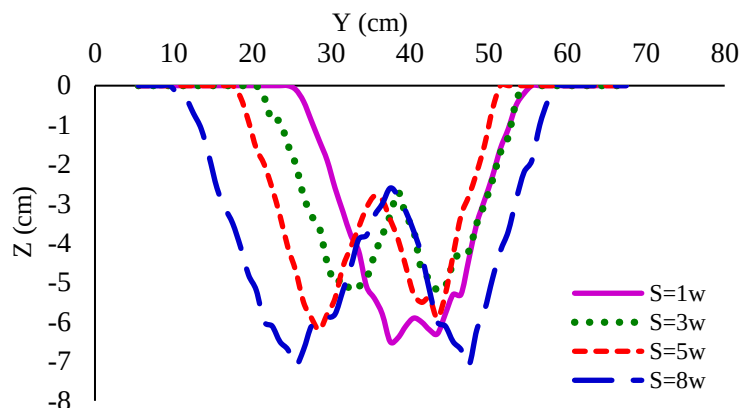
شکل ۶. پروفیل طولی حداکثر عمق چاله آب شستگی برای فواصل مختلف به ازای عدد فرود ۰/۲۴۵

پروفیل عرضی حداکثر عمق آب شستگی

در شکل‌های (۷) و (۸) پروفیل عرضی حداکثر عمق آب شستگی که مربوط به چاله آب شستگی پایه جلویی است را برای آزمایش‌های مختلف نشان می‌دهند. با دقت در این شکل‌ها ملاحظه می‌کنید که در هر فاصله دو چاله آب شستگی که مربوط به دوپایه جلویی است، ایجاد شد. در تمامی آزمایش‌های انجام‌شده، با افزایش عدد فرود جریان عرض و عمق هر چاله آب شستگی افزایش یافته است که این ناشی از افزایش قدرت گرداب نعل اسبی در پیرامون پایه‌ها و احتمالاً افزایش وسعت گردابه در پیرامون آنها است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که در یک عدد فرود ثابت با افزایش فاصله عرضی بین پایه‌ها میزان عمق آب شستگی و همچنین عرض چاله آب شستگی، ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت به‌طوری‌که در فاصله ۳ برابر عرض پایه به کمترین مقدار و در فاصله عرضی ۸ برابر عرض پایه به بیشترین مقدار خود رسید. همان‌گونه که شکل‌های (۷) و (۸) نشان می‌دهند شیب چاله آب شستگی در هر دو چاله یکسان و عمق هر دو چاله تقریباً یکسان است که این نشان می‌دهد میزان سرعت جریان برخورد شونده به هر دوپایه که در یک ردیف قرار دارند یکسان است و میزان قدرت گردابه نعل اسبی در پیرامون هر دوپایه تقریباً برابر است.



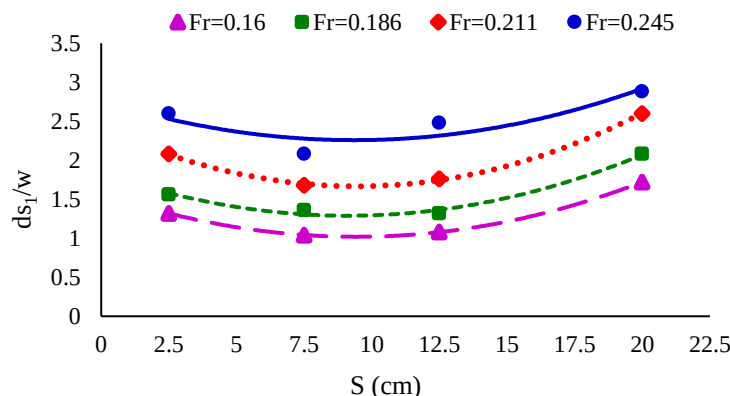
شکل ۷. پروفیل عرضی حداکثر عمق آب شستگی برای فاصله ۸ برابر عرض پایه



شکل ۸. پروفیل عرضی حداکثر عمق آب شستگی برای فواصل مختلف به ازای عدد فرود ۰/۲۴۵

حداکثر عمق چاله آب شستگی

همان گونه که قبلاً توضیح داده شد، در همه آزمایش ها حداکثر عمق چاله آب شستگی در پیرامون پایه های ردیف اول اتفاق افتاد. شکل (۹) روند تغییرات حداکثر عمق نسبی آب شستگی (ds_1/w) را به ازای فواصل و اعداد فرود مختلف نشان می دهد. با دقت در شکل ملاحظه می گردد که با افزایش فاصله عرضی بین پایه ها حداکثر عمق آب شستگی ابتدا روند نزولی پیدا کرد و در فاصله سه برابر عرض پایه به حداقل مقدار رسید سپس روند تغییرات حداکثر عمق آب شستگی صعودی شد و در فاصله ۸ برابر عرض پایه به بیشترین مقدار رسید. محاسبات نشان داد که حداکثر عمق آب شستگی در فاصله ۸ برابر عرض پایه در اعداد فرود ۰/۱۸۶، ۰/۲۱۱ و ۰/۲۴۵ به ترتیب ۳۹/۵، ۳۵، ۳۵ و ۲۸ درصد بیش از فاصله ۳ برابر عرض پایه و به ترتیب ۳۷، ۳۲ و ۱۴ درصد بیش از فاصله ۵ برابر عرض پایه و به ترتیب ۳۰، ۲۵ و ۱۰ درصد بیش از فاصله ۱ برابر عرض پایه بود. علاوه بر این حداکثر عمق آب شستگی در فاصله ۱ برابر عرض پایه در اعداد فرود ۰/۱۸۶، ۰/۲۱۱ و ۰/۲۴۵ به ترتیب ۲۱، ۱۳ و ۱۹ و ۲۰ درصد بیش از فاصله ۳ برابر عرض پایه محاسبه شد. در ضمن حداکثر عمق آب شستگی در فاصله ۵ برابر عرض پایه در اعداد فرود ۰/۱۸۶، ۰/۲۱۱ و ۰/۲۴۵ به ترتیب ۴، ۳ و ۵ و ۱۶ درصد بیش از فاصله ۳ برابر عرض پایه است. شکل (۹) نشان می دهد که در همه فواصل با افزایش عدد فرود جریان، به علت افزایش سرعت و در نتیجه تنش برشی جریان و همچنین افزایش قدرت گردابه های نعل اسبی، حداکثر عمق آب شستگی افزایش یافت. بررسی ها نشان داد که در فاصله عرضی ۸ برابر عرض پایه، حداکثر عمق آب شستگی در عدد فرود ۰/۱۸۶ به میزان ۱/۲۰ برابر عدد فرود ۰/۱۸۶، در عدد فرود ۰/۲۱۱ به میزان ۱/۲۵ برابر عدد فرود ۰/۱۸۶ و در عدد فرود ۰/۲۴۵ به میزان ۱/۱۰ برابر عدد فرود ۰/۲۱۱ بود. در فاصله عرضی ۱ برابر عرض پایه حداکثر عمق آب شستگی از عدد فرود ۰/۱۶۰ به ۰/۱۸۶ به اندازه ۱/۱۸ برابر، از عدد فرود ۰/۱۸۶ به ۰/۲۱۱ به اندازه ۱/۳۳ برابر و از عدد فرود ۰/۲۱۱ به ۰/۲۴۵ به میزان ۱/۲۵ برابر بود. در فاصله عرضی ۵ برابر عرض پایه، حداکثر عمق آب شستگی از عدد فرود ۰/۱۶ به ۰/۱۸۶ به اندازه ۱/۲۲ برابر، از عدد فرود ۰/۱۸۶ به ۰/۲۱۱ به اندازه ۱/۳۳ برابر و از عدد فرود ۰/۲۱۱ به ۰/۲۴۵ به اندازه ۱/۴۰ برابر افزایش پیدا کرد. در فاصله عرضی ۳ برابر عرض پایه، حداکثر عمق آب شستگی در عدد فرود ۰/۱۸۶ به میزان ۱/۳۰ برابر عدد فرود ۰/۱۸۶، در عدد فرود ۰/۲۱۱ به میزان ۱/۲۳ برابر عدد فرود ۰/۱۸۶ و در عدد فرود ۰/۲۴۵ به میزان ۱/۲۴ برابر عدد فرود ۰/۲۱۱ محاسبه شد.



شکل ۹. تغییرات حداکثر عمق آب شستگی نسبت به فاصله عرضی بین پایه‌ها

مقایسه حداکثر عمق آب شستگی اطراف پایه‌های جلویی و عقبی

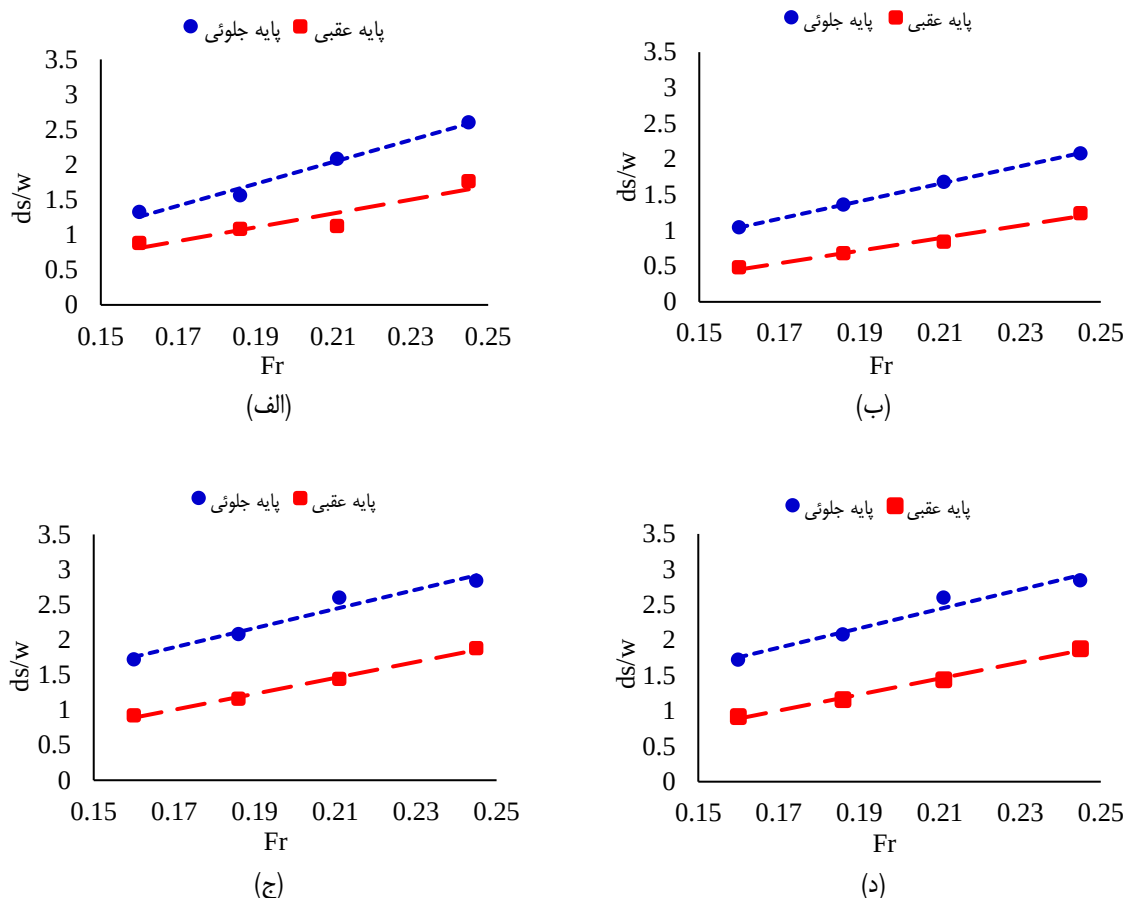
در شکل (۱۰) حداکثر عمق نسبی آب شستگی پیرامون پایه‌های جلویی و عقبی در همه فواصل با یکدیگر مقایسه شده است. بررسی نتایج نشان داد که در همه آزمایش‌ها حداکثر عمق آب شستگی پیرامون پایه‌های ردیف اول بزرگ‌تر از پایه‌های ردیف دوم بود. عاملی که سبب می‌شود عمق آب شستگی پایه عقبی کمتر از جلویی باشد، عامل محافظت‌کننده است. پایه جلویی مانند محافظ جلوی پایه‌های پشتی قرار گرفته است و باعث کاهش سرعت مؤثر جریان برخوردکننده به پایه پشتی و کمتر شدن قدرت گرداب‌های نعل اسبی می‌شود؛ بنابراین عمق آب شستگی در پایه پشتی کم می‌شود. در این شرایط گفته می‌شود که پایه پشتی تحت تأثیر عامل محافظت‌کننده پایه جلویی قرار دارد. محاسبات نشان داد که حداکثر عمق آب شستگی پیرامون پایه‌های ردیف دوم در فواصل عرضی ۱، ۳، ۵ و ۸ برابر عرض پایه به‌طور متوسط به ترتیب ۳۵، ۴۸، ۴۰ و ۴۲ درصد کمتر از پایه‌های ردیف اول است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد میزان کاهش عمق آب شستگی پایه‌های عقبی نسبت به پایه‌های جلویی در همه فواصل یکسان و به‌طور متوسط برابر ۴۱ درصد است.

بحث

در این تحقیق به بررسی اثر فاصله عرضی بین پایه‌های مستطیل شکل در گروه پایه با آرایش ۲×۲ بر آب شستگی موضعی پیرامون پایه‌ها به ازای شرایط هیدرولیکی مختلف پرداخته شده است. فاصله طولی بین پایه‌ها ثابت (۴ برابر عرض پایه) و فاصله عرضی بین پایه‌ها ۱، ۳، ۵ و ۸ برابر عرض پایه معادل با ۲/۵، ۷/۵، ۱۲/۵ و ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها تحت شرایط آب زلال انجام شدند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش فاصله بین پایه‌ها عمق آب شستگی ابتدا روند نزولی پیدا کرد و در فاصله ۳ برابر عرض پایه به حداقل مقدار رسید و با افزایش فاصله روند آن صعودی شد و در فاصله ۸ برابر عرض پایه به بیشترین مقدار خود رسید. به‌طور کلی بیشترین و کمترین میزان آب شستگی به ترتیب در فواصل ۳ و ۸ برابر عرض پایه رخ داد. چنین نتیجه‌ای علاوه بر عمق برای طول و عرض چاله آب شستگی نیز مشاهده شد یعنی بیشترین طول و عرض چاله آب شستگی در فاصله ۸ برابر عرض پایه مشاهده شد. محاسبات نشان داد که حداکثر عمق آب شستگی در فاصله ۸ برابر عرض پایه به‌طور متوسط به ترتیب ۳۴، ۳۰ و ۲۱ درصد بیش از فواصل ۳، ۵ و ۱ برابر عرض پایه است. علاوه بر این نتایج نشان داد که عمق آب شستگی پایه‌های عقبی کمتر از پایه‌های جلویی است. محاسبات نشان داد که حداکثر عمق آب شستگی پیرامون پایه‌های عقبی در فواصل عرضی ۱، ۳، ۵ و ۸ برابر عرض پایه به‌طور متوسط به ترتیب ۳۵، ۴۸، ۴۰ و ۴۲ درصد کمتر از پایه‌های جلویی است.



شکل ۱۰. مقایسه حداکثر عمق آب شستگی پایه‌های جلویی و عقبی برای فواصل (الف) $S=1w$ ، (ب) $S=3w$ ، (ج) $S=5w$ ، (د) $S=8w$

تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم انجام شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌شود (SCU.WH1402.31373).

منابع

- اظهري، امير، تقی پور، رضا، و علیزاده، محمد. (۱۳۹۱). آبشستگی موضعی پیرامون گروه پایه پل: بررسی اثر زاویه قوس کانال و فاصله بین پایه ها. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. <https://civilica.com/doc/186261>
- اقبال نیک، لیلا، واقفی، محمد، و گلبهار حقیقی، محمد رضا. (۱۳۹۸). تأثیر شرایط جریان بر ابعاد حفره آبشستگی اطراف گروه پایه‌های پل ۶ تایی کج و عمود بر جهت جریان در کانال قوسی ۱۸۰ درجه. مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران مدرس، ۱۹(۴)، ۱-۱۶. <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-28029-fa.html>
- امینی، عطا، و اقبال زاده، افشین. (۱۳۹۱). بررسی آزمایشگاهی اثر آرایش گروه شمع ها بر عمق آبشستگی در پایه های پل. مجله پژوهش آب ایران، ۶(۱۱)، ۹۵-۱۰۳. https://iwrj.sku.ac.ir/article_10907.html

- بهشتی، علی اصغر، و عطائی‌آشتیانی، بهزاد. (۱۳۸۳). آبشستگی در شرایط آب صاف در اطراف گروه پایه. اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
- پور قاسم‌زاده، بهنام. (۱۳۹۵). بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه گروه پایه‌های استوانه‌ای پل نسبت به جهت جریان بر روی حداکثر عمق آبشستگی گروه پایه‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
- رشنو، عماد، زراتی، امیر رضا، و کریمایی طبرستانی، مجتبی. (۱۳۹۵). مطالعه آزمایشگاهی پدیده آبشستگی موضعی در اطراف گروه پایه پل. پژوهش‌های تجربی در مهندسی عمران، ۳(۶)، ۱۴۳-۱۵۴. https://journals.sru.ac.ir/article_800.html
- سلیمانی، نینا، امینی، عطا، و بانژاد، حسین. (۱۳۹۴). بررسی مکانیسم آبشستگی در پایه پل منفرد و گروه پایه‌های پل. دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. <https://civilica.com/doc/364681>
- قدسی، حبیب، خانبجانی، محمد جواد، و بهشتی، علی اصغر. (۱۳۹۴). بررسی آزمایشگاهی آبشستگی خاک حول پایه‌های مرکب پل. نشریه پژوهش‌های تجربی در مهندسی عمران، ۲(۳)، ۴۷-۵۵. https://journals.sru.ac.ir/article_337.html

References

- Amini, A., & Eghbalzadeh, A. (2012). Effect of pile arrangement on local scour depth at pile groups. *Iranian Water Researches Journal*, 6(2), 95-103. https://iwrj.sku.ac.ir/article_10907.html [In Persian]
- Azhari, A., Taghipour, R., & Alizadeh, M. (2012). Local scouring around the pier group of the bridge: investigation of the effect of the arch angle of the channel and the distance between the piers. 11th Iranian Hydraulic Conference, Urmia University, Urmia, Iran. <https://civilica.com/doc/186261> [In Persian]
- Beheshti, A. A., & Atai Ashtiani, B. (2004). Scouring in clear water conditions around the pier group. 1st National Congress on Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. [In Persian]
- Bozkus, Z., & Cesme, M. (2010). Reduction of scouring depth by using inclined piers. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(12), 1621-1630. <https://doi.org/10.1139/L10-09>
- Chiew, Y. M., & Melville, B. W. (1987). Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, 25(1), 15-26. <https://doi.org/10.1080/00221688709499285>
- Eghbali, L., Vaghefi, M., & Golbahar Haghighi, M. R. (2019). The effect of flow conditions on bed topography in a 180 degree bend containing sextuple inclined-vertical pier groups in a perpendicular to the flow. *MCEJ*, 19 (4), 1-16. <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-28029-fa.html> [In Persian]
- Ettema, R. (1980). Scour at Bridge Piers. Rep. No 216, Unniversity of Aukland, School of Engineering.
- Ghodsi, H., Khanjani, M., & Beheshti, A. A. (2015). Experimental investigation of local scour around a complex bridge pier. *Experimental Research in Civil Engineering*, 2(3), 47-55. https://journals.sru.ac.ir/article_337.html [In Persian]
- Lança, R., Fael, C., Maia, R., Pêgo, R. & Cardoso, A. H. (2012). Effect of spacing and skew angle on clear-water scour at pier alignments. *Proceedings of River Flow*, Muñoz, R. (editor), 927 - 933. <https://www.researchgate.net/publication/273761582>
- Melville, B. W., & Sutherland, A. J. (1988). Design method for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(10), 1210-1226. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1988\)114:10\(1210\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1988)114:10(1210))
- Memar, S., Zounemat-Kermani, M., Beheshti, A. A., De Cesare, G., & Schleiss, A. J. (2018). Investigation of local scour around tandem piers for different skew-angles. *E3S Web of Conferences* 40, 03008. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20184003008>

- Pour Ghasemzadeh, B. (2016). Experimental study of the effect of the angle of the cylindrical pier group relative to the flow direction on the maximum scour depth of the pier group. Master's thesis, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. [In Persian]
- Rashno, E., Zarrati, A., & Karimaei Tabarestani, M. (2016). Experimental investigation of local scour around bridge pier group. *Experimental Research in Civil Engineering*, 3(6), 143-154. https://journals.sru.ac.ir/article_800.html [In Persian]
- Raudkivi, A. J., & Ettema, R. (1983). Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3), 338-350. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1983\)109:3\(338\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:3(338))
- Salemi, F., Ghomeshi, M., & Bahrami Yarahmadi, M. (2023). Experimental study of transverse waves effects by obstacles on local scour around cylindrical pier groups of bridge. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s40996-023-01041-w>
- Soleimani, N., Amini, A., & Banjad, H. (2015). Investigating scouring mechanism in single bridge pier and bridge pier group. 10th International Congress on Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran. <https://civilica.com/doc/364681> [In Persian]
- Soltani-Kazemi, Z., Ghomeshi, M., & Bahrami Yarahmadi, M. (2022). Experimental study of local scour around diamond bridge piers subject to transverse standing waves. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101598. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.09.025>
- Valizadeh, R., Arman, A., & Ghobadian, R. (2023). The effect of the pipe angle and protective inclined apron on the scouring and sedimentation pattern around a semi-buried pipe in a 90° mild bend. *Ocean Engineering*, 286(3). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4460395>
- Valizadeh, R., Arman, A., & Ghobadian, R. (2024). Controlling the local scouring of the bottom of the protective inclined apron in a 90- degree mild bend using a numerical model. *Ocean Engineering*, 307, 118177. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118177>
- Zhao, G., & Sheppard, D. M. (1999). The effect of flow skew angle on sediment scour near pile groups. *Stream Stability and Scour at Highway Bridges; Compilation of Conference Papers*, Reston (U.S.): ASCE. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Effect-of-Flow-Skew-Angle-on-Sediment-Scour-Zhao-Sheppard/561481a31a6d101ec986aded176b041fcc3df44b>



Prediction of weighted entropy water quality index for agricultural uses using simple and hybrid artificial intelligence methods

Akbar Kamali¹ , Ahmad Saki² , Mostafa Moghadam³ , Laleh Divband Hafshejani⁴

- ¹ Msc. Student of Water and Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: Akbarkamali1000@gmail.com
- ² Msc. Student of Water and Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: ah-saki@stu.scu.ac.ir
- ³ Msc. Student of Water and Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: mostafamogadam@gmail.com
- ⁴ Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: l.divband@scu.ac.ir

ABSTRACT

The focus of this study was to evaluate the quality of water resources, specifically for agricultural purposes. The researchers aimed to optimize the evaluation process by reducing the number and types of parameters used in water quality indicators, thereby reducing measurement costs. To achieve this, Shannon's entropy method was employed to determine the weight of each parameter in the water quality index. The study utilized artificial intelligence algorithms, individually and in combination, to predict the weighted entropy water quality index. The goal was to assess the suitability of water for agricultural purposes. The results indicated that the sub-index of bicarbonate had the highest weight (0.24) among the parameters, while sodium absorption had the lowest weight (0.18). The combined decision tree and neural network algorithm compared to the simple decision tree and neural network algorithm with higher R^2 (0.999 compared to 0.996 and 0.998) and lower RMSE (0.331 compared to 0.331 and 1.081). It showed a higher accuracy in predicting the weighted entropy water quality index. Furthermore, by analyzing the importance of parameters using the Pearson correlation matrix, it was discovered that removing bicarbonate and reducing the number of inputs to 4 allowed the combined decision tree and neural network algorithm to maintain high accuracy in predicting the index. Overall, this study demonstrated the effectiveness of Shannon's entropy method and artificial intelligence algorithms in evaluating the quality of water resources for agricultural purposes. The optimized approach can assist in planning and ensuring the proper use of water resources, contributing to the continuity of farming activities.

Keywords: Artificial intelligence, Pearson correlation, Agriculture, Bicarbonate.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 15 January 2024 Revised: 09 May 2024 Accepted: 05 June 2024 ePublished: 21 June 2024

1. Introduction

Water quality is a crucial environmental issue affecting health and ecosystems. Assessing irrigation water quality is vital for making informed decisions about water consumption and reducing crop pollution. Water quality forecasting plays a crucial role in evaluating and identifying possible changes in water quality. Artificial intelligence (AI) is a powerful tool that can predict and monitor water quality. AI models can recognize complex patterns in environmental data and provide accurate predictions. The sub-indices of the agricultural water quality index were calculated, and the weight of the sub-indices was determined using Shannon's entropy theory. Simple and combined AI algorithms were used to predict the weighted entropy water quality index.

2. Methodology

This study focuses on the Karun River, located in the Khuzestan Province of Iran, specifically between Gatond, Ahvaz, and Sulaymaniyah stations. The province is divided into two regions, namely, mountainous and plain, with the plain region accounting for 60% of the province. In this study, the irrigation water quality index (IWQI) was used to determine the suitability of water for irrigation. The IWQI was calculated using five parameters, including EC, Na^+ , Cl^- , SAR, and HCO_3^- . The weight of these parameters was determined using the Shannon entropy technique. Based on the IWQI values, water for irrigation was categorized into five classes. The study used data from the period of 1370 to 1400. This study developed a predictive model using the decision tree algorithm to determine agricultural consumption's weighted entropy water quality index. To address overfitting issues, artificial intelligence techniques were incorporated. Pearson correlation analysis was used to select the important input parameters. The combined decision tree and neural network algorithm were used to test the model's efficiency. The selection of important input parameters can enhance the accuracy and efficiency of the model, which is a crucial aspect of better artificial

intelligence algorithms.

3. Results and discussion

Electrical conductivity measures the ionic strength of irrigation water and determines its suitability for agriculture. Studies have shown that high electrical conductivity and sodium absorption ratio can negatively impact soil and plant health. In the studied area, electrical conductivity values range from 428 to 4846 ds/m, with 9.36% of the samples exceeding 3000. SAR values range from 0.96 to 11.64, with 21.91% of the samples in the illegal category. Figures 2 and 3 show the distribution of irrigation water quality index values in five categories. Low water quality is due to the high electrical conductivity and SAR, which can be attributed to various factors, including human activities such as dam construction. The study area's irrigation water quality index values are classified into five categories, with most samples having moderate restrictions. The water quality in Gatund station is better than Sulaymaniyah station, which has the lowest quality due to various factors. The prediction results of the water quality index showed that the combined algorithm of decision tree and neural network has a higher ability than the simple algorithm of decision tree and neural network.

The prediction results of the water quality index showed that the combined algorithm of decision tree and neural network has a higher ability than the simple algorithm of decision tree and neural network.

Hybrid models can effectively depict patterns and relationships in water quality data, resulting in more reliable predictions. Combining different algorithms and techniques in hybrid models increases their predictive capabilities and makes them more suitable for water quality prediction tasks. One of the effective ways to reduce the cost and time of determining the water quality index is to reduce the number of unimportant input parameters. The results of this research showed that bicarbonate ion can be removed due to its low effectiveness in the present study. The results of the best algorithm before and after reducing the input parameters are shown in the below figure and table.

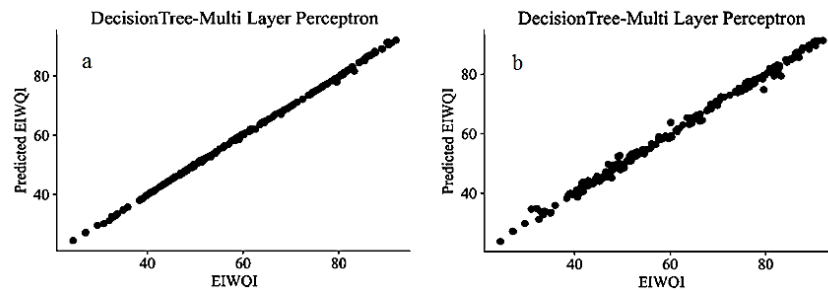


Figure 1. The results of the best algorithm before (a) and after (b) reducing the input parameters

Table1. Evaluation metric for predicting the entropy water quality index for agricultural uses

Algorithm	Evaluation metric			
	MSE	MAE	R ²	RMSE
DecisionTree-Multi Layer Perceptron	0.110	0.236	0.999	0.331
DecisionTree-Multi Layer Perceptron (without bicarbonate)	1.246	0.773	0.996	1.116

4. Conclusions

AI techniques are used to predict environmental processes. Multi-criteria decision-making improves water quality assessment accuracy. Simple and combined AI algorithms efficiently estimate the weighted entropy water quality index for agriculture. Combined algorithms are more effective.

5. References

Kadam, A., Wagh, V., Muley, A., Umrikar, B., & Sankhua, R. (2019). Prediction of water quality index using artificial neural network and multiple linear regression modelling approach in Shivganga River basin, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5, 951-962. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00581-3>

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

7. Acknowledgments

The authors would like to thank Shahid Chamran University of Ahvaz for providing the facilities to carry out the laboratory experiments of this paper

Cite this article: Kamali, A., Saki, A., Moghadam, M., & Divband Hafshejani, L. (2024). Prediction of weighted entropy water quality index for agricultural uses using simple and hybrid artificial intelligence methods, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(2), 59-76. DOI: 10.22126/ATWE.2024.10518.1119



پیش بینی شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن دار برای مصارف کشاورزی با استفاده از روش - های ساده و ترکیبی هوش مصنوعی

اکبر کمالی^۱، احمد ساکی^۲، مصطفی مقدم^۳، لاله دیوبند هفشجانی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: Akbarkamali1000@gmail.com

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ah-saki@stu.scu.ac.ir

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: mostafamogadam@gmail.com

^۴ نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: l.divband@scu.ac.ir

چکیده

در دهه های اخیر، ارزیابی کیفیت منابع آبی برای برنامه ریزی استفاده درست و به دنبال آن پیش بینی کیفیت آن ها برای تضمین تداوم برنامه ریزی از اهمیت بالایی برخوردار است. علیرغم توجه بی سابقه به شاخص های کیفیت آب در سراسر جهان، بهینه سازی در جهت کاهش تعداد و انواع پارامترها در شاخص های کیفیت آب کشاورزی و در نتیجه کاهش هزینه های اندازه گیری تا حدی مغفول مانده است؛ بنابراین در این مطالعه ابتدا روش آنتروپی شانون برای تعیین وزن پارامترهای تشکیل دهنده شاخص به کار برده شد و سپس توانایی الگوریتم های ساده و ترکیبی هوش مصنوعی برای پیش بینی شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن دار که برای ارزیابی تناسب آب با اهداف کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد، بررسی گردید. نتایج نشان داد که زیر شاخص بی کربنات و نسبت جذب سدیم به ترتیب بیشترین وزن (۰/۲۴) و کمترین وزن (۰/۱۸) را به خود اختصاص دادند. الگوریتم ترکیبی درخت تصمیم و شبکه عصبی نسبت به الگوریتم ساده درخت تصمیم و شبکه عصبی با R^2 بالاتر (۰/۹۹۹ نسبت به ۰/۹۹۶ و ۰/۹۹۸) و RMSE پایین تر (۰/۳۳۱ نسبت به ۱/۰۸۱ و ۰/۳۳۱) دقت بالاتری در پیش بینی شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن دار نشان داد. تجزیه و تحلیل اهمیت پارامترها در به کارگیری به عنوان ورودی الگوریتم های مورد مطالعه با استفاده از ماتریس همبستگی پیرسون نشان داد که با حذف بی کربنات و کاهش تعداد ورودی ها به ۴ ورودی نیز الگوریتم ترکیبی درخت تصمیم و شبکه عصبی توانایی بالایی در پیش بینی شاخص دارند.

واژه های کلیدی: هوش مصنوعی، همبستگی پیرسون، کشاورزی، بی کربنات

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۵ دی ۱۴۰۲ اصلاح: ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۶ خرداد ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ تیر ۱۴۰۳

استناد: کمالی، ا.، ساکی، ا.، مقدم، م.، و دیوبند هفشجانی، ل. (۱۴۰۳). پیش بینی شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن دار برای مصارف کشاورزی با استفاده از روش های ساده و ترکیبی هوش مصنوعی، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، (۲) ۴، ۵۹-۷۶. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.10518.1119



مقدمه

در دنیای مدرن امروز، موضوع کیفیت آب از اهمیت علمی قابل توجهی برخوردار است و تأثیر عمیقی بر رفاه انسان و سیستم‌های اکولوژیکی دارد. رشد فزاینده جمعیت و تلاش‌های صنعتی چالش‌های اساسی را برای منابع آبی ما ایجاد کرده است، در درجه اول از طریق آلودگی. به‌طور هم‌زمان، تأکید بر اهمیت کیفیت آب در حوزه کشاورزی بسیار مهم است زیرا پیامدهای مستقیمی بر کمیت و کیفیت عملکرد محصول دارد. آب باکیفیت برتر نقش اساسی در افزایش تولیدات کشاورزی دارد، درحالی‌که وجود آلاینده‌ها در آب می‌تواند مانع رشد گیاه، ایجاد بیماری‌های گیاهی و حتی عوارض سلامتی در انسان شود (سان و همکاران^۱، ۲۰۲۳). درک کیفیت آب کشاورزی برای مدیریت مؤثر منابع آب و تضمین کشاورزی پایدار بسیار مهم است و ارزیابی مناسب بودن آب آبیاری برای اهداف کشت محصول به تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد مصرف آب و کاهش آلودگی محصول در مزرعه کمک می‌کند (ال بهایری و همکاران^۲، ۲۰۲۱، و سوبیاتورو^۳، ۲۰۲۲). علاوه بر این، ارزیابی کیفیت آب آبیاری می‌تواند به شناسایی خطرات بالقوه مانند شوری، سمیت یونی خاص و آلودگی فلزات سنگین کمک کند و امکان اتخاذ اقدامات مناسب برای جلوگیری از تخریب خاک و حفظ منابع آب را فراهم کند. به‌طور کلی، ارزیابی کیفیت آب کشاورزی نقشی حیاتی در ترویج شیوه‌های کشاورزی ایمن و پایدار دارد. تکنیک‌های متعددی برای ارزیابی کیفیت آب وجود دارد.

یکی از این رویکردها شامل مقایسه خواص فیزیکی، شیمیایی و باکتریولوژیکی نمونه آب با مقادیر استاندارد برای تعیین میزان آلودگی است. شایان‌ذکر است که پارامترهای مشخص‌شده بر اساس استفاده موردنظر از آب متفاوت است. بااین‌حال، نظارت بر تمام پارامترهایی که بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارند برای تعیین مناسب بودن آن برای یک هدف خاص، یک کار پیچیده و پرهزینه است. در نتیجه، بسیاری از سازمان‌های ملی و بین‌المللی مجموعه‌ای از شاخص‌های کیفیت آب را بر اساس اهداف خاص و مناطق هدف خود توسعه داده‌اند. به‌عنوان مثال، سازمان بهداشت جهانی (WHO) دستورالعمل‌ها و شاخص‌هایی را برای ارزیابی ایمنی و مناسب بودن آب برای اهداف آشامیدنی ایجاد کرده است (اگبوئری و همکاران^۴، ۲۰۲۰، و جها و همکاران^۵، ۲۰۲۰). این شاخص‌ها پارامترهای مختلف کیفیت آب را برای ایجاد درک عمومی از کیفیت آب برای عموم ترکیب می‌کنند (حیله و گبیه^۶، ۲۰۲۲). توسعه و اتخاذ این شاخص‌های کیفیت آب در تسهیل برنامه‌های پایش معمول و امکان مداخلات به‌موقع، زمانی که انحرافات از استانداردهای کیفیت آب موردنظر تشخیص داده می‌شود، مفید بوده است. با استفاده از زیرمجموعه‌ای از شاخص‌های مرتبط متناسب با کاربرد خاص، ذینفعان می‌توانند به‌طور مؤثر کیفیت آب را ارزیابی کنند و در مورد مناسب بودن آن برای مصارف مختلف تصمیم‌گیری آگاهانه بگیرند. بااین‌حال، مهم است که اذعان کنیم که نظارت بر کیفیت آب یک فرآیند مداوم و پویا است. با تکامل درک علمی و ظهور چالش‌های جدید، فهرست شاخص‌های توصیه‌شده ممکن است به‌روزرسانی یا اصلاح شود (ژائو و همکاران^۷، ۲۰۱۸).

پیش‌بینی کیفیت آب داده‌های حیاتی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران قرار می‌دهد تا برای استفاده مستمر از آب برنامه‌ریزی کنند. همچنین به‌عنوان یک سیستم هشدار اولیه عمل می‌کند و داده‌ها را به بخش مدیریت محیط‌زیست ارائه می‌دهد. اصلاح بسیاری از حوادث ناشی از آلودگی را می‌توان قبل از وقوع با پیش‌بینی کیفیت آب انجام داد. این می‌تواند به‌طور قابل توجهی سطح مدیریت منابع آب را بهبود بخشد (یو و همکاران^۸، ۲۰۲۲) برخی از محققان از تکنیک‌های سنتی برای پیش‌بینی کیفیت آب استفاده می‌کنند که می‌تواند هم گران و هم‌زمان بر باشد. علاوه بر این، این روش‌ها ممکن است همیشه نتایج دقیقی ایجاد نکنند. از طرفی هوش مصنوعی به توسعه سیستم‌های رایانه‌ای اشاره دارد که قادر به انجام وظایفی هستند که معمولاً به هوش انسانی نیاز دارند. از سوی دیگر، محاسبات نرم حوزه‌ای در هوش مصنوعی است که بر تقریب‌ها و تحمل برای عدم دقت، ابهام و حقیقت جزئی تمرکز دارد تا فرآیندهای تصمیم‌گیری

¹ Sun et al² El Behairy et al³ Subiantoro⁴ Egbueri et al⁵ Jha et al⁶ Haile & Gabbiye⁷ Zhao et al⁸ Yu et al

انسانی را تقلید کند (فهمی و همکاران^۱، ۲۰۱۷). در این راستا، هوش مصنوعی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند شناخته‌شده است که می‌تواند به‌طور مؤثری در پیش‌بینی و نظارت بر کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد. مدل‌های هوش مصنوعی، مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین‌های بردار پشتیبان و سیستم‌های یادگیری ماشینی، قادرند الگوهای پیچیده و غیرخطی را در داده‌های محیطی تشخیص دهند و بر اساس آن‌ها پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه دهند (وانگ و همکاران^۲، ۲۰۲۳). این مدل‌ها می‌توانند از مجموعه‌ای وسیع از داده‌ها، از جمله داده‌های زمانی و مکانی، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب و حتی داده‌های مربوط به فعالیت‌های انسانی، برای یادگیری و ارزیابی وضعیت کیفیت آب استفاده کنند.

با بهره‌گیری از هوش مصنوعی، می‌توان سرعت و دقت تشخیص تغییرات در کیفیت آب را افزایش داد که این امر به مدیران منابع آبی اجازه می‌دهد تا تدابیر پیشگیرانه‌ای را به‌موقع اتخاذ کنند. این تکنولوژی همچنین می‌تواند در شناسایی منابع آلودگی و بهبود استراتژی‌های مدیریت منابع آب مؤثر باشد. در نتیجه، هوش مصنوعی نقش حیاتی در تضمین دسترسی به آب سالم و پایدار برای نسل‌های کنونی و آینده دارد (ماروجو و همکاران^۳، ۲۰۲۳)؛ بنابراین در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های بخشی از رودخانه کارون (گتوند-سلیمانیه)، زیرشاخص‌های شاخص کیفیت آب کشاورزی محاسبه گردید و سپس وزن زیرشاخص‌ها با استفاده از تئوری آنتروپی شانون تعیین گردید تا بتوان ارزیابی دقیقی از وضعیت کیفیت آب منطقه مورد مطالعه به دست آورد. در مرحله بعد برای پیش‌بینی شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن دار استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی ساده و ترکیبی استفاده گردید. ذکر این نکته ضروری است که هدف اصلی استفاده از این الگوریتم‌ها برآورد شاخص کیفیت آب آنتروپی وزنی است. آنچه این الگوریتم‌ها را متمایز می‌کند توانایی آن‌ها در انجام این تخمین بدون نیاز به کار پرمحت محاسبه زیرشاخص‌ها است. در عوض، آن‌ها تنها بر پارامترهای ارائه‌شده متکی هستند. با حذف فرآیند زمان‌بر، این الگوریتم‌ها ابزار کارآمدتر و راحت‌تری برای تخمین شاخص کیفیت آب ارائه می‌دهند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

محمد پور و همکاران^۴ (۲۰۱۵)، در تحقیقی از ماشین بردار پشتیبان و دو روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (انتشار به جلو (FFBP) و تابع پایه شعاعی (RBF) برای پیش‌بینی شاخص کیفیت آب (WQI) در یک سازه آزاد استفاده کردند. مقایسه دقیق عملکرد کلی نشان داد که SVM و FFBP می‌توانند با موفقیت برای پیش‌بینی کیفیت آب در یک محیط تالاب ساخته‌شده با سطح آزاد استفاده شوند. این روش‌ها محاسبه WQI را ساده می‌کند و تلاش‌ها و زمان قابل توجهی را با بهینه‌سازی محاسبات کاهش می‌دهد.

کادام و همکاران^۵ (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای از تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و رگرسیون خطی چندگانه (MLR) برای پیش‌بینی تناسب کیفیت آب زیرزمینی برای آشامیدن در رودخانه‌ای در هند استفاده کردند. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مانند اسیدیته، هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول، سختی کل، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، کربنات، سولفات، نیترات و فسفات برای محاسبه شاخص کیفیت آب (WQI) در نظر گرفته شدند. نتایج تحلیلی تأیید کرد که تمام پارامترها در محدوده قابل قبول هستند. تنها یک نمونه نشان می‌دهد که کیفیت آب برای آشامیدن به دلیل ورودی زباله‌های خانگی و کشاورزی نامناسب است. علاوه بر این به‌منظور ایجاد مدلی دقیق و سازگار برای پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی مبتنی بر WQI، یک الگوریتم انتشار سه لایه پستی Levenberg-Marquardt در معماری ANN استفاده شد. نتایج تأیید می‌کند که پیش‌بینی‌های مدل ANN رضایت‌بخش است.

تراچ و همکاران^۶ (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ای بر اصلاح روش اوکراینی برای ارزیابی شاخص کیفیت آب (WQI) با ترکیب تأثیر عناصر شیمیایی خطرناک پرداختند. از منطق فازی برای مدل‌سازی ارزیابی WQI با چهار متغیر ورودی و یک متغیر خروجی استفاده شد. یک مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی WQI، تجزیه و تحلیل شش مدل ANN با بهینه‌سازهای مختلف و توابع فعال‌سازی

¹ Fahimi et al

² Wang et al

³ Maraju et al

⁴ Kadam et al

⁵ Mohammadpour et al

⁶ Trach et al

ایجاد شد. بر اساس نتایج این تحقیق یک رویکرد جدید با ترکیب منطق فازی و ANN برای ارزیابی و پیش‌بینی مؤثر مقادیر WQI پیشنهاد شد به‌طوری‌که توافق رضایت‌بخشی بین داده‌های پیش‌بینی و هدف را نشان می‌دهد. اسدالله و همکاران^۱ (۲۰۲۱)، در مطالعه‌ای با استفاده از مدل یادگیری ماشین جدیدی به نام رگرسیون درخت اضافی (ETR) به پیش‌بینی مقادیر ماهانه WQI در رودخانه‌ای در هنگ‌کنگ پرداختند و عملکرد مدل ETR با مدل‌های مستقل کلاسیک، رگرسیون بردار پشتیبانی (SVR) و رگرسیون درخت تصمیم (DTR) مقایسه کردند. داده‌های کیفیت آب ورودی ماهانه شامل نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، نیاز اکسیژن خواهی شیمیایی، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، نیترات، نیتريت، فسفات، اسیدیت، دما و کدورت بودند. تجزیه و تحلیل نشان داد که مدل ETR به‌طور کلی پیش‌بینی‌های دقیق‌تری را برای هر دو مرحله آموزش و آزمایش تولید می‌کند. اگرچه با ده متغیر ورودی بالاترین عملکرد پیش‌بینی به دست آمد، اما ترکیبی از پارامترهای ورودی شامل نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، کدورت و فسفات دومین دقت پیش‌بینی را ارائه می‌کند.

اجاز و همکاران^۲ (۲۰۲۴)، با استفاده از ۱۹ پارامتر کیفیت آب ورودی و ۶ مدل پیشرفته یادگیری ماشین به پیش‌بینی شاخص کیفیت آب منبع آب طبیعی آلوده صنعتی در پاکستان پرداختند. برای کالیبراسیون مدل، ۸۰٪ از مجموعه داده برای آموزش، درحالی‌که ۲۰٪ برای آزمایش کنار گذاشته شد. مقایسه نتایج نشان داد که مدل تقویت گرادیان با استفاده از ترکیبی از تنها هفت پارامتر (نیاز اکسیژن شیمیایی، کل کربن آلی، روغن و گریس، آمونیاک نیتروژن، آرسنیک، نیکل و روی)، با دستیابی به نتایج بهتر از سایر مدل‌ها پیشی گرفت. تجزیه و تحلیل اهمیت ویژگی‌ها نشان داد که همه متغیرهای انتخاب‌شده به‌جز نیترات، مواد جامد محلول و دما بر دقت پیش‌بینی مدل‌ها تأثیر داشتند.

محسنی و همکاران^۳ (۲۰۲۴)، برای پیش‌بینی شاخص کیفیت وزنی از ۸ پارامتر اصلی فیزیکوشیمیایی ورودی و ۴ مدل یادگیری ماشین استفاده کردند. نمونه‌های کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده در تحقیق از ۵۴ بخش زیر ناحیه شهری جمع‌آوری شده بودند. نتایج نشان داد است که مدل XG-Boost نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌های ماشین لرنینگ داشت. ارزیابی ارائه گرافیکی، مدل XG-Boost نتایج مشابهی از برتری نشان داد. نتایج مدل‌سازی به‌دست‌آمده بر کاربرد مدل‌های کامپیوتری برای برنامه‌ریزی بهتر و اطلاعات ضروری برای تصمیم‌گیری تأکید دارد.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان از نظر پستی و بلندی به دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. منطقه جلگه‌ای خوزستان از جنوب دزفول، مسجدسلیمان، رامهرمز و بهبهان آغاز شده و تا کرانه‌های خلیج فارس و اروند ادامه دارد. این جلگه تقریباً دارای شیب کم است و در برخی از نقاط آن گنبد های نمک مربوط به دوران کامبرین وجود دارد که در شور کردن اراضی و آب‌ها تأثیر عمده‌ای دارد. وسعت این منطقه تقریباً ۶۰ درصد کل استان است. میانگین سالانه بارش در محدوده مورد مطالعه ۲۵۸ میلی‌متر است.

رودخانه کارون، از ارتفاعات دنا به ارتفاع ۳۲۶۲ متر در استان کهگیلویه و بویراحمد و کوه‌رنگ به ارتفاع ۳۲۲۴ در استان چهارمحال بختیاری سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از عبور از دره‌های تنگ و عمیق زاگرس از شهرهای شوشتر، گتوند و اهواز عبور می‌کند. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق رودخانه کارون حدفاصل ایستگاه‌های گتوند، اهواز و سلیمانیه است. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

داده‌ها و پیش‌پردازش آن‌ها

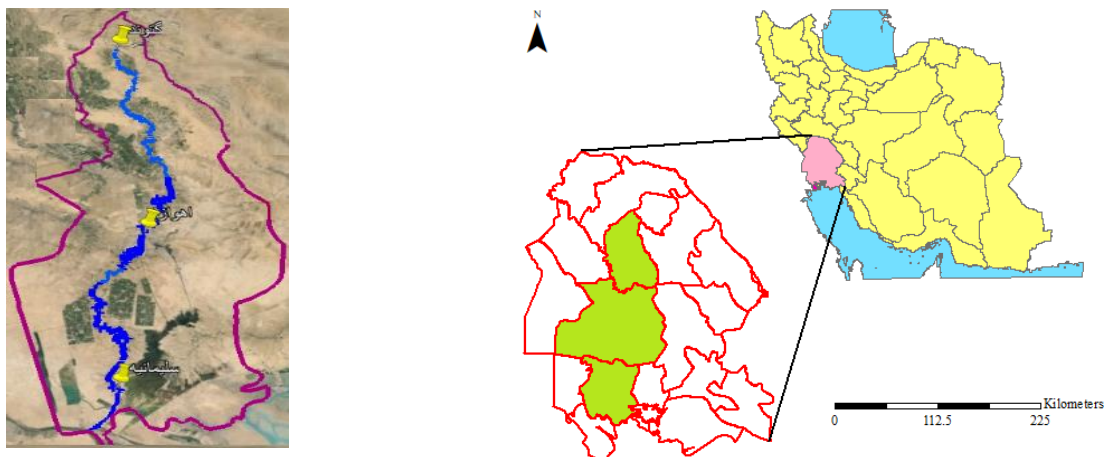
به‌منظور محاسبه شاخص کیفیت آب کشاورزی داده‌های کیفیت آب همچون هدایت الکتریکی (EC)، نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (Na^+)، کلر (Cl^-)، نسبت جذب سدیم (SAR)، بی‌کربنات (HCO_3^-) برای ۳۰ سال آبی (۱۴۰۰-۱۳۷۰) و ایستگاه‌های گتوند، اهواز و

¹ Asadollah et al

² Ejaz et al

³ Mohseni et al

سلیمانیه از سازمان آب و برق خوزستان دریافت شد. به منظور بررسی آمار توصیفی داده ها مقادیر میانگین، انحراف معیار، مینیمم، ماکزیمم آن ها تعیین گردید.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه در تحقیق حاضر

شاخص کیفیت آب کشاورزی

از آنجایی که مصارف متعدد و کاربردهای متفاوتی برای آب وجود دارد، لذا برای مشخص نمودن قابل استفاده بودن آب در مصرف مورد نظر، نیاز به شاخصی است که با استفاده از آن کیفیت آب را سنجید. با توجه به اینکه در این مطالعه بررسی کیفیت آب جهت کشاورزی مورد نظر است از شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI) استفاده شد. شاخص مذکور برای محاسبه به پارامترهایی مانند EC ، Na^+ ، Cl^- ، SAR و HCO_3^- نیاز دارد. این پنج پارامتر بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب آبیاری دارند. برای محاسبه IWQI از روابط زیر استفاده شد.

$$IWQI = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad (1)$$

$$q_i = q_{max} - \left(\frac{(X_{ij} - X_{inf}) \times q_{iamp}}{X_{iamp}} \right) \quad (2)$$

در روابط بالا IWQI: شاخص کیفیت آب کشاورزی (بدون بعد)، q_i : زیر شاخص پارامتر کیفیت آب محاسبه شده طبق رابطه (۲)، q_{max} : بالاترین مقدار زیر شاخص در هر کلاس، q_{iamp} : محدوده طبقات، X_{ij} : مقدار اندازه گیری هر پارامتر در هر کلاس، X_{iamp} : محدوده پارامتر در هر کلاس، X_{inf} : کمترین مقدار دامنه پارامتر در هر کلاس و w_i : وزن نسبی هر زیر شاخص که بر اساس آنتروپی شانون محاسبه می گردد. مقادیر پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه q_i در جدول (۱) ارائه گردیده است.

جدول ۱. پارامترها و حدود مشخص شده برای هر زیر شاخص (میرلس و همکاران^۱، ۲۰۱۰)

q_i	HCO_3^-	Cl^-	Na^+	SAR	EC
۸۵-۱۰۰	$1 \leq HCO_3^- < 1/5$	$1 \leq Cl^- < 4$	$2 \leq Na^+ < 3$	$2 \leq SAR < 3$	$200 \leq EC < 750$
۶۰-۸۵	$1/5 \leq HCO_3^- < 4/5$	$4 \leq Cl^- < 7$	$3 \leq Na^+ < 6$	$3 \leq SAR < 6$	$750 \leq EC < 1500$
۳۵-۶۰	$4/5 \leq HCO_3^- < 8/5$	$7 \leq Cl^- < 10$	$6 \leq Na^+ < 9$	$6 \leq SAR < 12$	$1500 \leq EC < 3000$
۰-۳۵	$8/5 \leq HCO_3^-$	$10 \leq Cl^-$	$9 \leq Na^+$	$12 \leq SAR$	$3000 \leq EC$

¹ Meireles et al

تعیین وزن پارامترهای شاخص کیفیت آب با استفاده از آنتروپی شانون

آنتروپی یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای تعیین وزن یک ویژگی در مسائل تصمیم‌گیری است. این تکنیک بر اساس معیار فراوانی از میزان اطلاعات یا میزان تصادفی بودن یک متغیر است. در این مطالعه برای محاسبه وزن پارامترهای شاخص کیفیت آب کشاورزی از روش مذکور استفاده شد. متغیرهای موردبررسی عبارت‌اند از پارامترهایی که در جدول (۲) ارائه گردید.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$Xn = \begin{bmatrix} n_{11} & \cdots & n_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & \cdots & n_{mn} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (۵)$$

$$E_i = -\frac{\sum_{j=1}^n n_{ij} \cdot \ln n_{ij}}{\ln n} \quad (۶)$$

$$w_i = \frac{1-E_i}{\sum_{j=1}^m (1-E_j)} \quad (۷)$$

$$q_i = \frac{c_i}{s_i} \times 100 \quad (۸)$$

$$IWQI = q_i \times w_i \quad (۹)$$

در روابط بالا، X : ماتریس مقادیر، Xn : ماتریس نرمال شده، m : تعداد نمونه، n : تعداد پارامترها، n_{ij} : مقدار نرمال، E_i : مقدار آنتروپی هر شاخص، C_i : غلظت اندازه‌گیری شده هر پارامتر شیمیایی، q_i : رتبه کیفی هر پارامتر، S_i : وزن هر معیار و $IWQI$: شاخص کیفیت آب کشاورزی برای هر نمونه آب است.

بر اساس مقادیر $IWQI$ ، برای آبیاری ۵ کلاس وجود دارد. $IWQI$ ۸۵-۱۰۰: (بدون محدودیت)، $IWQI$ ۷۰-۸۵: (محدودیت کم)، $IWQI$ ۷۰-۵۵: (محدودیت متوسط)، $IWQI$ ۴۰-۵۵: (محدودیت بالا) و $IWQI$ ۰-۴۰: (محدودیت شدید) (یلدیز و کاراکوش^۱، ۲۰۲۰).

پیش‌بینی شاخص کیفیت آب با استفاده از هوش مصنوعی

درخت تصمیم یک ابزار مدل‌سازی پیش‌بینی است که در زمینه‌های مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرد. این شامل تقسیم مجموعه داده بر اساس شرایط مختلف برای ایجاد زیرمجموعه‌هایی است که از نظر پارامتر هدف شبیه‌تر هستند. درخت‌های تصمیم معمولاً در یادگیری ماشینی نظارت‌شده استفاده می‌شوند، زیرا پیاده‌سازی، تفسیر و ارائه نتایج ثابت آسان هستند. آن‌ها را می‌توان برای تجزیه و تحلیل رگرسیون استفاده کرد و برای پیش‌بینی نتایج در حوزه‌های مختلف استفاده شده است (جالوری و همکاران^۲، ۲۰۱۴). متأسفانه برخی مواقع الگوریتم درخت تصمیم ممکن است به علت انطباق بیش‌ازحد به داده‌های آموزش، با مشکل بیش‌برازش روبرو شود. با اضافه کردن عناصر هوش مصنوعی مانند روش‌های بهینه‌سازی در شبکه‌های عصبی، این مشکل قابلیت کنترل بیشتری پیدا می‌کند. هوش مصنوعی، از جمله شبکه‌های عصبی، دارای قابلیت‌ها و توانایی‌های پیشرفته‌تری برای مدل‌سازی پیچیدگی‌های غیرخطی و تعمیم‌پذیری بیشتر است. این قابلیت‌ها می‌توانند در بهبود دقت و کارایی مدل کمک کنند؛ بنابراین در این تحقیق به منظور توسعه یک مدل پیش‌بینی کننده شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار برای مصرف کشاورزی، از الگوریتم ساده درخت تصمیم و سپس به منظور بررسی کارایی الگوریتم‌های ترکیبی نسبت به ساده از الگوریتم ترکیبی درخت تصمیم و شبکه عصبی (پرسپترون چندلایه) استفاده شد. همچنین با توجه به این که یکی از اهداف هوش مصنوعی کاهش هزینه و زمان در حل مسائل است و انتخاب متغیرهای ورودی یکی از کلیدهای الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهتر بودن است (ال بلالی و طالب^۳، ۲۰۲۰)، ابتدا از تمام پارامترهای تشکیل‌دهنده شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار برای پیش‌بینی آن

¹ Yıldız & Karakuş

² Jaloree et al

³ El Bilali & Taleb

استفاده شد و پس از تعیین الگوریتم موفق، تنها پارامترهایی که همبستگی بیشتری با شاخص داشتند به‌کاربرده شدند. برای بررسی روابط بین پارامترهای ورودی و شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار (خروجی) از تحلیل همبستگی پیرسون استفاده شد. قابل‌ذکر است میزان دقت پیش‌بینی الگوریتم‌های به‌کاربرده شده با استفاده از معیارهای ارزیابی (معادلات ۹-۱۲) تعیین گردید

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{\text{exp}} - Y_i^{\text{pred}})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{\text{exp}} - Y_{\text{ave}}^{\text{exp}})^2} \quad (10)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i^{\text{pred}} - Y_i^{\text{exp}}| \quad (11)$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{\text{pred}} - Y_i^{\text{exp}})^2 \quad (12)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{\text{exp}} - Y_i^{\text{pred}})^2} \quad (13)$$

در اینجا Y_i^{exp} و Y_i^{pred} به ترتیب مقادیر پیش‌بینی‌شده و محاسبه‌شده و n تعداد مقادیر است. برای یک مدل کامل، مقادیر RMSE ، R^2 ، MAE و MSE به ترتیب ۰، ۱، ۰ و ۰ خواهد بود (دیوبند هفشجانی و همکاران^۱، ۲۰۲۳).
گام‌های مراحل انجام تحقیق به ترتیب در شکل (۲) نشان داده‌شده است.

یافته‌ها

جدول (۲) مقادیر خصوصیات آماری پارامترهای ورودی و شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار را در این مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول (۲)، مقدار هدایت الکتریکی در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۴۲۸ تا ۴۸۴۶ دسی زیمنس بر متر است؛ که ۹/۳۶ درصد از نمونه‌ها هدایت الکتریکی بالاتر از ۳۰۰۰، ۳۳/۷۱ درصد نمونه‌ها بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ و ۵۹/۵۶ درصد نمونه‌ها بین ۷۵۰ تا ۲۰۰ دسی زیمنس بر متر دارند که استفاده آب را برای اهداف کشاورزی محدود می‌کنند. یکی دیگر از پارامترهای مؤثر بر میزان شاخص کیفیت آب در کشاورزی نسبت جذب سدیم (SAR) است. مقدار این پارامتر در نمونه‌های منطقه مطالعه حاضر بین ۰/۹۶ تا ۱۱/۶۴ است که در این تحقیق ۲۱/۹۱ درصد نمونه‌ها از نظر میزان SAR در رده غیرمجاز قرار دارند. قابل‌ذکر است که نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه از لحاظ میزان سایر پارامترهای شاخص کیفیت آب آبیاری (سدیم، کلر و بی‌کربنات) در رده قابل‌اطمینان قرار دارند.

جدول ۲. آمار توصیفی پارامترهای ورودی و شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار

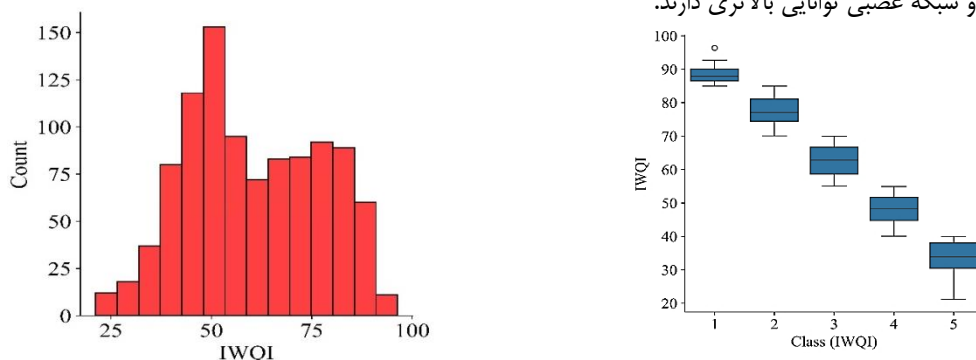
پارامتر	هدایت الکتریکی	نسبت سدیم قابل جذب	کلر	کربنات	سدیم	شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار
حداقل	۴۲۸	۰/۹۶	۱/۵۴	۰/۶	۱/۱۵	۲۱/۱۷
حداکثر	۴۸۴۶	۱۱/۶۴	۳۲/۳۲	۵/۶	۳۲/۲۶	۹۶/۳۶
میانگین	۱۷۶۶/۴۷	۴/۵۵	۹/۵۴	۲/۹۵	۹/۶۵	۶۰/۲۴
انحراف از استاندارد	۸۵۶/۷۴	۱/۹۹	۵/۷۹	۰/۶۰	۵/۸۸	۱۶/۶۵

¹ Divband Hafshejani et al

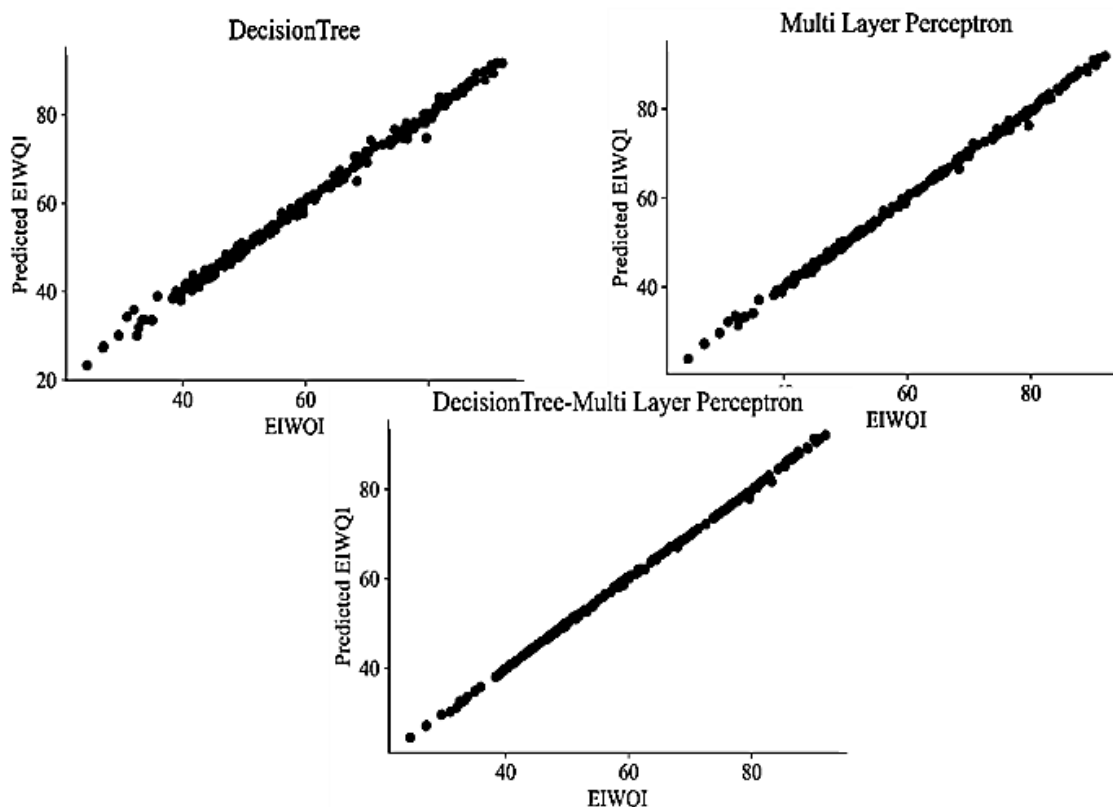


شکل ۲. مراحل انجام تحقیق حاضر

شکل (۳) نشان دهنده توزیع مقادیر شاخص کیفیت آب آبیاری در منطقه مورد مطالعه است. بر اساس این شکل‌ها نمونه‌ها در ۵ رده بدون محدودیت (کلاس ۵) تا محدودیت شدید (کلاس ۱) قرار دارد و بیشتر نمونه‌ها در محدوده‌ی محدودیت متوسط (کلاس ۳) قرار دارند. نتایج پیش‌بینی شاخص کیفیت آب در مرحله اول (شکل (۴) و جدول (۳)) نشان داد که الگوریتم ترکیبی درخت تصمیم و شبکه عصبی نسبت به الگوریتم ساده درخت تصمیم و شبکه عصبی توانایی بالاتری دارند.



شکل ۳. توزیع شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن دار برای منطقه مورد مطالعه (داده‌های ۲۰ ساله)

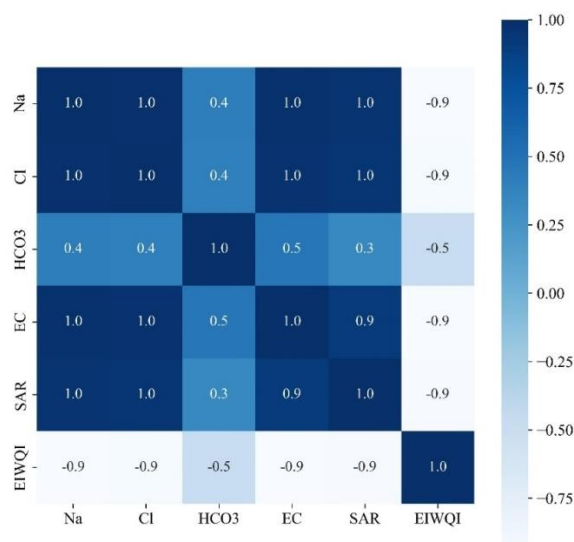


شکل ۴. پیش‌بینی شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار با استفاده از الگوریتم‌های ساده درخت تصمیم، شبکه عصبی و ترکیبی درخت تصمیم و شبکه عصبی (۵ متغیر ورودی)

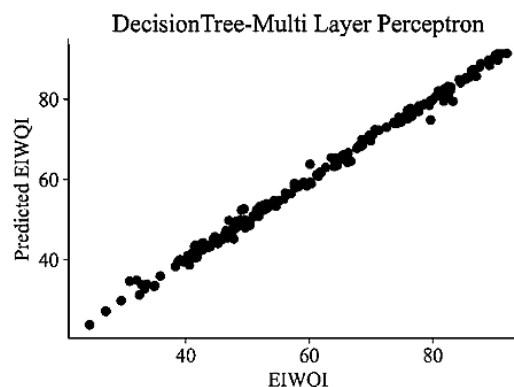
جدول ۳. معیارهای ارزیابی پیش‌بینی شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار برای مصارف کشاورزی (۵ متغیر ورودی)

معیارهای ارزیابی				الگوریتم
MSE	MAE	R ²	RMSE	
۱/۱۷۰	۰/۷۸۹	۰/۹۹۶	۱/۰۸۱	درخت تصمیم
۰/۳۱۸	۰/۴۱۵	۰/۹۹۸	۰/۵۶۴	شبکه عصبی
۰/۱۱۰	۰/۲۳۶	۰/۹۹۹	۰/۳۳۱	درخت تصمیم و شبکه عصبی

نتایج ماتریس همبستگی پیرسون در شکل (۵) ارائه شده است. نتایج پیش‌بینی شاخص پس از حذف پارامتر HCO_3^- از متغیرهای ورودی با استفاده از الگوریتم ترکیبی درخت تصمیم و شبکه عصبی در شکل (۶) و جدول (۴) نشان داده شده است.



شکل ۵. ماتریس همبستگی پیرسون با ۵ ورودی (Na⁺, HCO₃⁻, SAR, Cl⁻, EC) و ۱ متغیر هدف (EIWQI)



شکل ۶. پیش‌بینی شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار با استفاده از الگوریتم ترکیبی درخت تصمیم و شبکه عصبی (۴ متغیر ورودی)

جدول ۴. معیارهای ارزیابی پیش‌بینی شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار برای مصارف کشاورزی (۴ متغیر ورودی)

معیارهای ارزیابی				الگوریتم
MSE	MAE	R ²	RMSE	
۱/۲۴۶	۰/۷۷۳	۰/۹۹۶	۱/۱۱۶	درخت تصمیم و شبکه عصبی (بدون بی‌کرنات)

بحث

هدایت الکتریکی یک پارامتر مهم در ارزیابی کیفیت آب آبیاری از منابع آب سطحی است. از آن به‌عنوان معیاری برای سنجش قدرت یونی آب استفاده می‌شود که برای تعیین مناسب بودن آن برای اهداف آبیاری بسیار مهم است. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از منطقه مورد مطالعه طیفی از مقادیر هدایت الکتریکی را نشان می‌دهند که از ۴۲۸ تا ۴۸۴۶ دسی زیمنس بر متر را شامل می‌شود. قابل‌ذکر است که ۳۶/۹ درصد نمونه‌ها دارای رسانایی الکتریکی بیش از ۳۰۰۰ دسی زیمنس بر متر هستند. علاوه بر این، ۲۳/۷۱ درصد از نمونه‌ها در محدوده ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دسی زیمنس بر متر قرار می‌گیرند، درحالی‌که ۵۹/۵۶ درصد از نمونه‌ها دارای سطوح هدایت الکتریکی بین ۷۵۰ تا ۲۰۰ دسی زیمنس بر متر هستند. این مقادیر تغییر در هدایت الکتریکی مشاهده‌شده در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه را برجسته می‌کند. دامنه مقادیر نشان‌دهنده تنوع خواص فیزیکی و شیمیایی منابع آب در منطقه است. وجود نمونه‌هایی با رسانایی الکتریکی بالا، بالای ۳۰۰۰ دسی زیمنس بر متر، نگرانی‌هایی را در

مورد مناسب بودن آنها برای اهداف آبی خاص ایجاد می کند. آب با چنین سطوح رسانایی بالا ممکن است برای فعالیت های کشاورزی ایده آل نباشد، زیرا می تواند اثرات نامطلوبی بر رشد گیاه و کیفیت خاک داشته باشد (سینگ و همکاران^۱، ۲۰۲۳). از سوی دیگر، بخش قابل توجهی از نمونه ها (۵۹/۵۶٪) هدایت الکتریکی بین ۷۵۰ تا ۲۰۰ دسی زیمنس بر متر را نشان می دهند. این محدوده عموماً برای مصارف آب در کشاورزی قابل قبول تر است. با این حال، ارزیابی نیازهای خاص محصولات و ویژگی های محلی خاک برای تعیین سطح هدایت الکتریکی بهینه برای آبیاری بسیار مهم است. درک توزیع رسانایی الکتریکی در منطقه مورد مطالعه برای مدیریت مؤثر منابع آب ضروری است. این امکان استفاده، تخصیص و تصفیه مناسب آب را برای اهداف مختلف، به ویژه در محیط های کشاورزی فراهم می کند. با در نظر گرفتن این اندازه گیری های هدایت الکتریکی، ذینفعان می توانند اقداماتی را برای بهینه سازی مصرف آب و به حداقل رساندن موانع بالقوه در فعالیت های کشاورزی ناشی از سطوح رسانایی بالا اجرا کنند (داروچیه-کریادو و همکاران^۲، ۲۰۱۵). مطالعات متعددی همچنین اهمیت هدایت الکتریکی را در ارزیابی کیفیت آب برای آبیاری برجسته کرده اند. به عنوان مثال، مطالعه ای در بنگلادش نشان داد که رسانایی الکتریکی آب های سطحی ساحلی از حد مجاز فراتر رفته است که نشان دهنده بدتر شدن کیفیت آب است (رجب و اسماعیل^۳، ۲۰۲۳). مطالعه دیگری در عراق همبستگی قوی بین هدایت الکتریکی و قدرت یونی را نشان داد و بر دقت هدایت الکتریکی به عنوان معیاری برای کیفیت آب برای آبیاری تأکید کرد (سردر و همکاران^۴، ۲۰۲۰). به طور مشابه، مطالعه ای در منطقه تاشکند ازبکستان حساسیت و دقت روش های مبتنی بر هدایت الکتریکی را در تشخیص ناخالصی های معدنی در آب برجسته کرد (ایزاک و همکاران^۵، ۲۰۰۹). به طور کلی، هدایت الکتریکی به عنوان یک شاخص ارزشمند برای کیفیت آب عمل می کند و نقش مهمی در ارزیابی مناسب بودن منابع آب سطحی برای اهداف آبیاری ایفا می کند.

یکی دیگر از پارامترهای مؤثر که به طور قابل توجهی بر شاخص کیفیت آب در کشاورزی تأثیر می گذارد، نسبت جذب سدیم است. نسبت جذب سدیم نقش حیاتی در تعیین مناسب بودن آب برای اهداف آبیاری دارد. در نمونه های جمع آوری شده از منطقه مورد مطالعه فعلی، مقادیر نسبت جذب سدیم از ۰/۹۶ تا ۱۱/۶۴ متغیر است. شایان ذکر است که تقریباً ۲۱/۹۱ درصد از نمونه ها از حد مجاز نسبت جذب سدیم فراتر می روند.

دلایل متعددی می تواند به وجود نسبت جذب سدیم بالا در نمونه ها کمک کند. یکی از دلایل احتمالی شور شدن آب های زیرزمینی به دلیل استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی است که می تواند منجر به تجمع املاح در خاک و متعاقباً در منابع آب شود. علاوه بر این، دستگاه های زهکشی ناکافی یا شیوه های آبیاری نامناسب ممکن است منجر به حرکت رو به بالا نمک ها از لایه های زیرین و در نتیجه افزایش مقادیر نسبت جذب سدیم شود.

نظارت و تجزیه و تحلیل منظم پارامترهای کیفیت آب، مانند نسبت جذب سدیم، برای اطمینان از اقدامات کشاورزی پایدار ضروری است. با پرداختن و مدیریت مؤثر سطوح نسبت جذب سدیم، کشاورزان و سیاست گذاران می توانند بهره برداری کارآمد از آب را ارتقاء دهند، از حاصلخیزی خاک محافظت کنند و بهره وری کشاورزی را در منطقه مورد مطالعه افزایش دهند. استفاده از آب آبیاری بی کیفیت با نسبت جذب سدیم بالا می تواند منجر به افزایش سدیم خاک و شور شدن آب شود که منجر به جابجایی کاتیون های پایه و شستشوی مواد مغذی از خاک می شود (آوان و همکاران^۶، ۲۰۲۱). غلظت بالای سدیم می تواند اثرات منفی بر ساختار خاک، سرعت نفوذ و خواص هدایت هیدرولیکی داشته باشد و همچنین مانع جذب مواد مغذی توسط گیاهان شود (تاس و همکاران^۷، ۲۰۲۲).

داده های ارائه شده در شکل های ۳ توزیع مقادیر شاخص کیفیت آب آبیاری را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد. مقادیر شاخص، نمونه ها را به پنج دسته مجزا طبقه بندی می کنند، از بدون محدودیت (کلاس ۵) تا محدودیت شدید (کلاس ۱). تجزیه و تحلیل ارقام نشان می دهد که اکثر نمونه ها در محدوده محدودیت متوسط قرار دارند (کلاس ۳).

¹ Singh et al

² Darwiche-Criado et al

³ Rajab & Esmail

⁴ Serder et al

⁵ Isaac et al

⁶ Awan et al

⁷ Tas et al

این توزیع مقادیر شاخص کیفیت آب بینش های مهمی را در مورد مناسب بودن آب آبیاری برای اهداف کشاورزی در منطقه مورد مطالعه ارائه می دهد. وجود نمونه ها در رده بدون محدودیت نشان می دهد که می توان از بخشی از منابع آبی بدون هیچ محدودیتی استفاده کرد و رشد و بهره وری مطلوب محصول را تضمین کرد. از سوی دیگر، نمونه هایی که در رده محدودیت شدید قرار می گیرند نشان می دهند که برخی از منابع آب به دلیل کیفیت پایین به طور قابل توجهی از نظر قابلیت استفاده برای آبیاری در خطر هستند.

شیوع نمونه ها در رده محدودیت متوسط نشان می دهد که بخش قابل توجهی از آب آبیاری منطقه مورد مطالعه در محدوده ای قرار می گیرد که ممکن است محدودیت هایی وجود داشته باشد، اما با مدیریت دقیق، همچنان می توان از آن برای اهداف کشاورزی استفاده کرد. این یافته نیاز به نظارت و اجرای استراتژی های مدیریت آب برای کاهش محدودیت های بالقوه و اطمینان از شیوه های آبیاری مؤثر را برجسته می کند.

توضیح علمی برای این الگوی توزیع ممکن است شامل عوامل مختلفی باشد که در مقادیر شاخص کیفیت آب نقش دارند. این عوامل می تواند شامل وجود آلاینده هایی مانند فلزات سنگین یا سطوح بیش از حد شوری در منابع آبی باشد. علاوه بر این، فعالیت های کشاورزی، فعالیت های صنعتی و فرایندهای طبیعی مانند هوازدگی و فرسایش می توانند بر پارامترهای کیفیت آب تأثیر بگذارند.

برای درک بهتر و پرداختن به عوامل خاص مؤثر بر کیفیت آب، بررسی ها و ارزیابی های بیشتر ضروری است. این مطالعات می تواند شامل تجزیه و تحلیل ترکیب شیمیایی آب، شناسایی منابع آلودگی، و ارزیابی اثرات بلندمدت شیوه های مختلف مدیریت بر کیفیت آب باشد. در نهایت، درک جامع از توزیع و علل مقادیر شاخص کیفیت آب به تصمیم گیری آگاهانه برای شیوه های آبیاری پایدار در منطقه مورد مطالعه کمک خواهد کرد.

یافته ها نشان می دهد که الگوریتم های پیچیده تر، مانند الگوریتم ترکیبی درخت تصمیم و شبکه عصبی، برای پیش بینی دقیق شاخص کیفیت آب در مقایسه با الگوریتم های ساده مناسب تر هستند. این الگوریتم های پیشرفته سطح بالاتری از اثربخشی در ضبط روابط و الگوهای پیچیده در مجموعه داده ها را نشان داده اند و در نتیجه عملکرد پیش بینی شده بهبود یافته است. همچنین الگوریتم های ترکیبی به دلیل توانایی آن ها در مدیریت مؤثر و کارآمد مجموعه داده های بزرگ، نسبت به الگوریتم های ساده در پیش بینی کیفیت آب برتری دارند (ال وی و همکاران^۱، ۲۰۲۳). الگوریتم های ترکیبی می توانند پیچیدگی و غیرخطی بودن داده های کیفیت آب را کنترل کنند و امکان پیش بینی دقیق تر را فراهم کنند (آزما و همکاران^۲، ۲۰۲۳). مدل های ترکیبی می توانند به طور مؤثر الگوها و روابط موجود در داده های کیفیت آب را به تصویر بکشند و در نتیجه پیش بینی های قابل اعتمادتری به دست می آیند. به طور کلی، ترکیب الگوریتم ها و تکنیک های مختلف در مدل های ترکیبی، قابلیت های پیش بینی آن ها را افزایش می دهد و آن ها را برای کارهای پیش بینی کیفیت آب مناسب تر می کند. مقایسه مقادیر معیارهای ارزیابی در جدول (۴) و (۳) نشان داد زمانی که تعداد پارامترهای ورودی کاهش یافت، الگوریتم ترکیبی نیز توانایی بالایی در پیش بینی شاخص دارد. همان طور که این شکل نشان می دهد شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن دار با پارامترهای EC، Cl⁻، SAR و Na⁺ همبستگی نسبتاً خوب و با پارامتر HCO₃⁻ همبستگی بسیار کمی دارد. مقایسه نتایج این تحقیق در ارتباط با الگوریتم موفق برای پیش بینی کیفیت آب و سایر محققین در جدول (۵) ارائه گردیده است.

¹ Lv et al

² Azma et al

جدول ۵. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر محققین در پیش‌بینی شاخص کیفیت آب

منبع	الگوریتم موفق	شاخص
(رحجا و همکاران ^۱ ، ۲۰۲۲)	شبکه عصبی عمیق	شاخص کیفیت آب زیرزمینی
(احمد و همکاران ^۲ ، ۲۰۲۱)	درخت تصمیم	شاخص کیفیت آب سطحی
(لی و همکاران ^۳ ، ۲۰۲۱)	ماشین بردار پشتیبان رگرسیون حداقل مربعات جزئی	شاخص کیفیت آب سطحی
(کوادری و همکاران ^۴ ، ۲۰۲۱)	جنگل تصادفی	شاخص کیفیت آب زیرزمینی
(آبا و همکاران ^۵ ، ۲۰۲۰)	شبکه عصبی ترکیبی	شاخص کیفیت آب سطحی
(سینگا و همکاران ^۶ ، ۲۰۲۱)	جنگل تصادفی	شاخص آنتروپی کیفیت آب زیرزمینی

الگوریتم‌های موفق برای پیش‌بینی شاخص کیفیت آب در واقع می‌توانند بسته به ویژگی‌های داده و زمینه خاص متفاوت باشند. داده‌های کیفیت آب می‌تواند بسیار متغیر باشد و این تغییرات می‌تواند منجر به روابط و الگوهای متفاوتی بین شاخص‌های کیفیت آب و پیش‌بینی کننده‌های آن‌ها شود؛ بنابراین، الگوریتم‌هایی که برای یک مجموعه داده به‌خوبی کار می‌کنند، ممکن است لزوماً به‌خوبی به دیگران تعمیم ندهند. علاوه بر این انتخاب ویژگی‌ها یا متغیرها برای گنجاندن در مدل پیش‌بینی می‌تواند بر عملکرد آن تأثیر زیادی بگذارد. مجموعه داده‌های مختلف ممکن است مجموعه‌های متمایز از ویژگی‌های اطلاعاتی داشته باشند و اهمیت این ویژگی‌ها نیز می‌تواند متفاوت باشد؛ بنابراین، الگوریتم‌ها باید با انواع داده‌های متنوع سازگار شوند و مکانیسم‌هایی را برای انتخاب ویژگی یا مهندسی مناسب به‌کارگیرند. پیچیدگی داده‌ها و روابط درون آن می‌تواند در بین مجموعه داده‌ها متفاوت باشد. در برخی موارد، الگوریتم‌های ساده‌تر ممکن است برای گرفتن الگوها و پیش‌بینی‌های دقیق کافی باشد. با این حال، برای روابط پیچیده‌تر و غیرخطی‌تر، ممکن است به تکنیک‌های پیشرفته‌تری مانند الگوریتم‌های یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی یا روش‌های مجموعه نیاز باشد.

برای به حداکثر رساندن دقت و اثربخشی مدل‌های پیش‌بینی، تجزیه و تحلیل دقیق ویژگی‌های داده، درک زمینه و انتخاب یا توسعه الگوریتم‌هایی که برای مجموعه داده‌ها و اهداف خاص در دست هستند، مهم است.

نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، تکنیک‌های هوش مصنوعی به‌طور گسترده برای پیش‌بینی فرآیندهای مختلف محیطی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از نکات مهم در استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، توسعه مدلی است که بتواند شاخص کیفیت آب را با حداقل پارامترهای ورودی به‌طور دقیق برآورد کند. این جنبه که در مطالعات قبلی مورد توجه کافی قرار نگرفته است از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج کلی این مطالعه نشان داد که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای تعیین وزن زیرشاخص‌ها می‌تواند بر دقت ارزیابی وضعیت کیفیت آب تأثیر بسزایی داشته باشد. از طرفی استفاده از الگوریتم‌های ساده و ترکیبی هوش مصنوعی را برای تخمین شاخص کیفیت آب آنتروپی وزن‌دار که به‌منظور ارزیابی تناسب آب با اهداف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد بسیار کارا است. قابل‌ذکر است که در این میان کارایی الگوریتم‌های ترکیبی نسبت به ساده در درجه‌ی بالاتری قرار داد.

¹ Raheja et al

² Ahmed et al

³ Li et al

⁴ Kouadri et al

⁵ Abba et al

⁶ Singha et al

References

- Abba, S. I., Pham, Q. B., Saini, G., Linh, N. T. T., Ahmed, A. N., Mohajane, M., ... & Bach, Q. V. (2020). Implementation of data intelligence models coupled with ensemble machine learning for prediction of water quality index. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 41524-41539. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09689-x>
- Ahmed, M., Mumtaz, R., & Hassan Zaidi, S. M. (2021). Analysis of water quality indices and machine learning techniques for rating water pollution: A case study of Rawal Dam, Pakistan. *Water Supply*, 21(6), 3225-3250. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.082>
- Asadollah, S. B. H. S., Sharafati, A., Motta, D., & Yaseen, Z. M. (2021). River water quality index prediction and uncertainty analysis: A comparative study of machine learning models. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104599. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104599>
- Awan, S., Ippolito, J. A., Ullman, J., Ansari, K., Cui, L., & Siyal, A. (2021). Biochars reduce irrigation water sodium adsorption ratio. *Biochar*, 3, 77-87. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00073-z>
- Azma, A., Liu, Y., Azma, M., Saadat, M., Zhang, D., Cho, J., & Rezaia, S. (2023). Hybrid machine learning models for prediction of daily dissolved oxygen. *Journal of Water Process Engineering*, 54, 103957. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103957>
- Darwiche-Criado, N., Jiménez, J. J., Comín, F. A., Sorando, R., & Sánchez-Pérez, J. M. (2015). Identifying spatial and seasonal patterns of river water quality in a semiarid irrigated agricultural Mediterranean basin. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 18626-18636. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5484-5>
- Divband Hafshejani, L., Naseri, A. A., Moradzadeh, M., Daneshvar, E., & Bhatnagar, A. (2022). Applications of soft computing techniques for prediction of pollutant removal by environmentally friendly adsorbents (case study: the nitrate adsorption on modified hydrochar). *Water Science & Technology*, 86(5), 1066-1082. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.264>
- Egbueri, J. C., Ameh, P. D., & Unigwe, C. O. (2020). Integrating entropy-weighted water quality index and multiple pollution indices towards a better understanding of drinking water quality in Ojoto area, SE Nigeria. *Scientific African*, 10, e00644. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00644>
- Ejaz, U., Khan, S. M., Jehangir, S., Ahmad, Z., Abdullah, A., Iqbal, M., ... & Svenning, J. C. (2024). Monitoring the Industrial waste polluted stream-Integrated analytics and machine learning for water quality index assessment. *Journal of Cleaner Production*, 450, 141877. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141877>
- El Behairy, R. A., El Baroudy, A. A., Ibrahim, M. M., Kheir, A. M., & Shokr, M. S. (2021). Modelling and assessment of irrigation water quality index using GIS in semi-arid region for sustainable agriculture. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(9), 352. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05310-0>
- El Bilali, A., & Taleb, A. (2020). Prediction of irrigation water quality parameters using machine learning models in a semi-arid environment. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(7), 439-451. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.08.001>
- Fahimi, F., Yaseen, Z. M., & El-shafie, A. (2017). Application of soft computing based hybrid models in hydrological variables modeling: a comprehensive review. *Theoretical and applied climatology*, 128, 875-903. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1735-8>
- Haile, D., & Gabbiye, N. (2022). The applications of Canadian water quality index for ground and surface water quality assessments of Chilanchil Abay watershed: The case of Bahir Dar city waste disposal site. *Water Supply*, 22(1), 89-109. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.286>
- Isaac, R., Khura, T., & Wurmbbrand, J. (2009). Surface and subsurface water quality appraisal for irrigation. *Environmental monitoring and assessment*, 159, 465-473. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0643-5>
- Jaloree, S., Rajput, A., & Gour, S. (2014). Decision tree approach to build a model for water quality. *Binary Journal of Data Mining & Networking*, 4(1), 25-28. <https://doi.org/10.5138/BJDMN.V4I1.1563>

- Jha, M. K., Shekhar, A., & Jenifer, M. A. (2020). Assessing groundwater quality for drinking water supply using hybrid fuzzy-GIS-based water quality index. *Water Research*, 179, 115867. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115867>
- Kadam, A., Wagh, V., Muley, A., Umrikar, B., & Sankhua, R. (2019). Prediction of water quality index using artificial neural network and multiple linear regression modelling approach in Shivganga River basin, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5, 951-962. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00581-3>
- Kouadri, S., Elbeltagi, A., Islam, A. R. M. T., & Kateb, S. (2021). Performance of machine learning methods in predicting water quality index based on irregular data set: application on Illizi region (Algerian southeast). *Applied Water Science*, 11(12), 190. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01528-9>
- Li, X., Ding, J., & Ilyas, N. (2021). Machine learning method for quick identification of water quality index (WQI) based on Sentinel-2 MSI data: Ebinur Lake case study. *Water Supply*, 21(3), 1291-1312. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.381>
- Lv, L., Wang, J., Li, J., Zhang, B., & Gao, S. (2023). A Hybrid Model Based on LSTM for Water Prediction Algorithm. 2023 6th International Symposium on Autonomous Systems (ISAS). <https://doi.org/10.1109/ISAS59543.2023.10164338>
- Maroju, R. G., Choudhari, S. G., Shaikh, M. K., Borkar, S. K., & Mendhe, H. (2023). Application of Artificial Intelligence in the Management of Drinking Water: A Narrative Review. *Cureus*, 15(11). <https://doi.org/10.7759/cureus.49344>
- Meireles, A. C. M., Andrade, E. M. D., Chaves, L. C. G., Frischkorn, H., & Crisostomo, L. A. (2010). A new proposal of the classification of irrigation water. *Revista Ciência Agronômica*, 41, 349-357. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000300005>
- Mohammadpour, R., Shaharuddin, S., Chang, C. K., Zakaria, N. A., Ghani, A. A., & Chan, N. W. (2015). Prediction of water quality index in constructed wetlands using support vector machine. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 6208-6219. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3806-7>
- Mohseni, U., Pande, C. B., Pal, S. C., & Alshehri, F. (2024). Prediction of weighted arithmetic water quality index for urban water quality using ensemble machine learning model. *Chemosphere*, 141393. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141393>
- Raheja, H., Goel, A., & Pal, M. (2022). Prediction of groundwater quality indices using machine learning algorithms. *Water Practice & Technology*, 17(1), 336-351. <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.120>
- Rajab, K., & Esmail, A. (2023). Role of ion pairs and activity in estimation of ionic strength from electrical conductivity of irrigation water. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 54(3), 755-767. <https://doi.org/10.36103/ijas.v54i3.1758>
- Serder, M., Islam, M., Hasan, M., Yeasmin, M., & Mostafa, M. (2020). Assessment of coastal surface water quality for irrigation purpose. *Water Practice & Technology*, 15(4), 960-972. <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.070>
- Singh, G., Wani, O. A., Egbueri, J. C., Salaria, A., & Singh, H. (2023). Seasonal variation of the quality of groundwater resources for human consumption and industrial purposes in the central plain zone of Punjab, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12), 1454. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2800041/v1>
- Singha, S., Pasupuleti, S., Singha, S. S., Singh, R., & Kumar, S. (2021). Prediction of groundwater quality using efficient machine learning technique. *Chemosphere*, 276, 130265. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130265>
- Subiantoro, R. (2022). Assessment of Water Quality for Agricultural Cultivation Irrigation Using the Irrigation Water Quality Index: A Case-Study Land Survey and Evaluation from Kampus Polinela II. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1012/1/012049>

- Sun, Y., Chen, X., Luo, Y., Cao, D., Feng, H., Zhang, X., & Yao, R. (2023). Agricultural Water Quality Assessment and Application in the Yellow River Delta. *Agronomy*, 13(6), 1495. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061495>
- Tas, I., Yildirim, Y. E., & Gokalp, Z. (2022). The effect of excessive sodium-containing irrigation waters on soil infiltration rate. *Current Trends in Natural Sciences*, 11(22), 19-28. <https://doi.org/10.47068/ctns.2022.v11i22.002>
- Trach, R., Trach, Y., Kiersnowska, A., Markiewicz, A., Lendo-Siwicka, M., & Rusakov, K. (2022). A study of assessment and prediction of water quality index using fuzzy logic and ANN models. *Sustainability*, 14(9), 5656. <https://doi.org/10.3390/su14095656>
- Wang, X., Li, Y., Qiao, Q., Tavares, A., & Liang, Y. (2023). Water quality prediction based on machine learning and comprehensive weighting methods. *Entropy*, 25(8), 1186. <https://doi.org/10.3390/e25081186>
- Yıldız, S., & Karakuş, C. B. (2020). Estimation of irrigation water quality index with development of an optimum model: a case study. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 4771-4786. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00405-5>
- Yu, J.-W., Kim, J.-S., Li, X., Jong, Y.-C., Kim, K.-H., & Ryang, G.-I. (2022). Water quality forecasting based on data decomposition, fuzzy clustering and deep learning neural network. *Environmental Pollution*, 303, 119136. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119136>
- Zhao, X., Wang, H., Tang, Z., Zhao, T., Qin, N., Li, H., ... & Giesy, J. P. (2018). Amendment of water quality standards in China: viewpoint on strategic considerations. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 3078-3092. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7357-y>



The effects of different levels of salinity on the yield and some physiological characteristics of different pinto bean cultivars

Mohammad Azimi Gandomani¹

¹ Corresponding Author, Assistant Professor of Agriculture Department, Faculty of Technical and Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: Mohammad.Azimi@pnu.ac.ir

ABSTRACT

Salinity stress is one of the basic challenges in the field of agriculture, which occurs due to the increase in the concentration of salts in the soil and water resources, in the growth media of plants. Investigating different plants at different levels of salinity stress in greenhouse conditions, the possibility of cultivation in different seasons and speeding up the selection process of salinity-tolerant cultivars in order to introduce and continue research in the field is of great importance. Considering the susceptibility of different bean cultivars to salinity stress; Having a detailed understanding of the physiological and biochemical responses of different bean cultivars, when faced with saline conditions, allows us to provide effective solutions for the optimal management of salinity stress and the improvement of plants' resistance to salinity stress. In order to investigate the effects of different levels of salinity on the yield and some physiological characteristics of different pinto bean cultivars, an experiment was carried out in the form of a split plot experiment with a completely randomized design in three replications in 2022 in the research greenhouse of Payam Noor University of Gandaman Center (Chaharmahal and Bakhtiari Province). The first factor was Four levels of salinity including S0 (2), S1 (10), S2 (20), and S3 (30) (dS/m), where S0 was the Hoagland's solution as the control, and other salinity levels were the result of mixing sodium chloride (NaCl) and calcium chloride (CaCl₂) at a ratio of 20 to 1 moles in the Hoagland's solution, respectively. The second factor comprised four pinto bean cultivars used were Kousha, Saleh, Ghaffar, and Talash. The interaction of salinity stress and cultivar was significant for all investigated traits. According to the obtained results, in all the evaluated cultivars, the levels of salinity stress caused a decrease in the traits of chlorophyll content, biological yield, harvest index and seed yield. On the contrary, it caused an increase in carotenoid content, proline concentration and seed protein content. Under salinity stress, the examined cultivars moderated the adverse effects of salinity stress on reducing biological yield, harvest index and grain yield compared to the control by keeping the level of carotenoids high, increasing the amount of proline and seed protein. According to the results, the Kosha cultivar which obtained the highest seed yield of 3450 kg/ha at control (S0) and 1470 kg/ha at S3 (the highest level of salinity) was the most successful of all the cultivars in moderating the adverse effects of salinity. On the contrary, Talash cultivar showed the lowest seed yield of 680 kg/ha.

Keywords: Seed protein, Proline, Seed yield, Carotenoids content, Chlorophyll content

Article Type: Research Article

Article history: Received: 28 February 2024 Revised: 15 May 2024 Accepted: 07 June 2024 ePublished: 21 June 2024

1. Introduction

Environmental stresses are among the major limiting factors of crop production at the global level. Environmental stresses affect the biochemical and physiological processes of plants, leading to reduced crop yield, and in severe cases, even plant death. Among the abiotic stresses, salinity stress ranks second after drought stress as a limiting factor for the yield of agricultural crops worldwide (Gupta & Huang, 2014). The range of saline ecosystems is very wide, extending from lowlands to mountain elevations. In total, about 1 billion hectares of the world's land (seven percent of the world's land) and about 1.5 million hectares of agricultural land in the world (five percent of the world's land) are affected by salinity (Balasubramaniam et al, 2023). Considering that different bean cultivars exhibit varying levels of susceptibility to salinity at different stages, it is essential to study the effects of salinity levels on the ecophysiological characteristics of different bean cultivars. Evaluating different plants under various salinity stress levels in greenhouse conditions allows for the possibility of multi-season cultivation and faster screening in the cultivars selection process for identifying and continuing research on salt-tolerant cultivars, which holds great importance. Under these conditions, by measuring certain parameters related to salinity at the growth stage and before harvesting, salt-tolerant cultivars can be identified with a high degree of probability, thus allowing for a more informed selection process. The lack of comprehensive information on the effects of salinity on the physiological aspects of beans, as well as the existence of a significant number of unknown cultivars in terms of salt tolerance, makes extensive research in this field unavoidable. Therefore, this research was conducted to investigate The effects of different levels of salinity on the yield and some physiological characteristics of different pinto bean cultivars, with the aim of gaining a deeper understanding of salt tolerance in these plants and potentially identifying cultivars with improved salt tolerance for further breeding efforts.

2. Methodology

2.1. Experimental model

To evaluate the yield and some physiological characteristics of four different pinto bean cultivars under salinity stress, an experiment was conducted in a greenhouse at the Research Greenhouse of Payame Noor University of Gandaman (Chaharmahal and Bakhtiari province). The experiment was arranged as a split-plot design within a completely randomized design with three replications. The first factor was Four levels of salinity including S0 (2), S1 (10), S2 (20), and S3 (30) (dS/m). where S0 was the Hoagland's solution as the control, and other salinity levels were the result of mixing sodium chloride (NaCl) and calcium chloride (CaCl₂) at a ratio of 20 to 1 moles in the Hoagland's solution,

respectively. The second factor comprised four pinto bean cultivars used were Kousha, Saleh, Ghaffar, and Talash. The experimental units included 40 × 40 cm pots, 35 cm in height, containing a completely homogenized washed sand. Due to lack of absorption and less the plants' need for a complete nutrient solution, the pots were irrigated every other day with a solution containing half the concentration of nutrients found in the Hoagland's solution (Dehdari et al, 2005). Two weeks after establishment, the plants were thinned from 15 to 8 plants per pot to achieve the desired plant density. From the 20th day after sowing (the four-leaf stage of the plants), salinity levels were gradually applied to acclimate the plants, such that all pots, except for the control level, received incremental salinity levels of 25% of each level in four irrigation shifts, thereby applying the total salinity treatment for each level.

2.2. Collecting and preparing plant samples

The salinity treatment continued at the specified ratios until the end of the growth stage. In this study, the traits of chlorophyll content, carotenoids, and proline levels were measured throughout the growth season; samples were collected at the flowering stage (60 days after sowing) by taking five fully grown young leaves from the upper parts of each experimental unit. To measure the content of chlorophyll, carotenoids, and proline, the methods of Arnon (1940), Gross (1991), and Pacquiao and Lecourier (1997) were used, respectively; the absorption of light from the extract was recorded using a spectrophotometer (SHIMADZO 54A). At the end of the growth stage (100 days after sowing), to measure the biological yield, grain yield, and harvest index, six plants in each pot were randomly selected, harvested, and the above parameters were measured and calculated. Seed protein was calculated using the Bradford method (Bradford, 1976) with a Kjeldahl apparatus, using bovine serum albumin (BSA) as the standard.

2.3. Statistical Analysis

Finally, data were analyzed using SAS software (version 9.1). Mean comparisons were conducted using Duncan's multiple range test at a 5% probability level.

3. Results and discussion

In this study, all the examined traits were affected by salinity; increasing salinity levels decreased chlorophyll content, biological yield, harvest index, and grain yield in all studied cultivars. Cultivars under salinity stress maintained high levels of carotenoids, increased proline, and seed protein content, which mitigated the adverse effects of salinity stress. Salinity stress disrupts plant metabolism, affecting the grain filling process and reducing the translocation of assimilates due to secondary drought conditions. This disruption leads to the abortion of flowers and newly formed seeds in the pods, ultimately resulting in decreased grain yield in beans. (Gupta et al, 2014).

4. Conclusions

Environmental stresses such as drought and salinity have inhibitory effects on growth and plant development under stress, leading to reductions in yield and harvest index; this is associated with decreased levels of photosynthetic pigments and the remobilization of photosynthetic materials during grain filling. In the present study, cultivars under salinity stress maintained high carotenoid levels, increased proline, and seed protein content, mitigating the adverse effects of salinity stress; the Kousha cultivar showed higher yield compared to other cultivars in salinity stress and a lower yield reduction. Therefore, considering the different cultivars' responses to salinity stress and susceptibility of beans to salinity conditions and secondary drought stress, further research on different cultivars under diverse climatic conditions in Iran is necessary.

5. References

- Arnon, D. I. (1940). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase. *Journal Plant Physiology*, 45, 100-114. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. *Plants*, 12, 2253. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. *Analytical Biochemistry*, 38, 248-252. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- Dehdari, A., Rezai, A., & Mirmohammady Maibody, S. A. (2005). Salt tolerance of seedling and plant based on Ion contents and agronomic traits. *Soil Science and Plant Analysis*, 36, 2239-2253. <https://doi.org/10.1080/00103620500196622>
- Gross J. (1991). *Pigments in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids*. Van Nostrand Reinhold. USA. 1-37. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-2033-7>
- Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical and Molecular Characterization. *International Journal of Genomics*, 68(3), 1-18. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Paquiere, R., & Lechasser, P. (1997). Observations sur une methode dosage la libre. 145-160. <https://doi.org/10.1139/b79-233>

6. Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

7. Acknowledgments

The author would like to thank the management of Payam Noor University of Gandaman Center (Chaharmahal and Bakhtiari Province) for the possibility of using the research greenhouse and laboratory facilities.

Cite this article: Azimi Gandomani., M. (2024). The effects of different levels of salinity on the yield and some physiological characteristics of different pinto bean cultivars, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(2), 77-92. DOI: 10.22126/ATWE.2024.10549.1120



اثرات سطوح مختلف شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف

لوبیاچیتی

محمد عظیمی گندمانی^۱

^۱ نویسنده مسئول، استادیار، گروه کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: Mohammad.azimi@pnu.ac.ir

چکیده

تنش شوری، یکی از چالش‌های اساسی در زمینه کشاورزی است که بر اثر افزایش غلظت نمک‌ها در خاک و منابع آبی، در محیط رشد گیاهان به وجود می‌آید. بررسی گیاهان مختلف در سطوح مختلف تنش شوری در شرایط گلخانه، امکان کشت در چند فصل و سرعت بخشیدن به فرایند گزینش ارقام متحمل به شوری، جهت معرفی و ادامه تحقیقات در مزرعه، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به حساسیت ارقام مختلف لوبیایی به تنش شوری؛ داشتن درک دقیق از پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام مختلف لوبیا، در مواجهه با شرایط شور، این امکان را به ما می‌دهد که راهکارهای مؤثری برای مدیریت بهینه تنش شوری و ارتقاء مقاومت گیاهان به این تنش ارائه دهیم. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف لوبیاچیتی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۲۰۲۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز گندمان (استان چهارمحال و بختیاری) به اجرا درآمد. عامل اول چهار سطح شوری، شامل S_0 (۲)، S_1 (۱۰)، S_2 (۲۰) و S_3 (۳۰) دسی زیمنس بر متر است که درواقع S_0 محلول هوگلند به‌عنوان شاهد است و دیگر سطوح شوری حاصل از ترکیب کلرید سدیم (NaCl) و کلرید کلسیم ($CaCl_2$) به ترتیب با نسبت ۲۰ به ۱ مولی در محلول هوگلند، و چهار رقم لوبیاچیتی شامل: کوشا، صالح، غفار و تلاش به‌عنوان عامل دوم بکار رفتند. در طول آزمایش صفات محتوای کلروفیل، محتوای کارتنوئید، غلظت پرولین، درصد پروتئین، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. برهمکنش تنش شوری و رقم برای کلیه صفات موردبررسی معنی‌دار گردید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده گردید که در کلیه ارقام مورد ارزیابی، سطوح تنش شوری موجب کاهش میزان صفات محتوای کلروفیل، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه و در مقابل موجب افزایش صفات محتوای کارتنوئید، غلظت پرولین و درصد پروتئین دانه گردید. ارقام موردبررسی در شرایط تنش شوری با بالا نگه‌داشتن سطح کارتنوئیدها، افزایش میزان پرولین و پروتئین دانه نسبت به شاهد موجب تعدیل اثرات سوء تنش شوری شده؛ و باعث تعدیل اثرات نامطلوب تنش شوری بر کاهش عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه گردید. با توجه به نتایج، مشاهده شد که رقم کوشا علاوه بر کسب بیشترین میزان عملکرد دانه (۳۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) در سطح شوری شاهد (S_0)، در تعدیل اثرات تنش شوری نیز، موفق‌تر از سایر ارقام عمل نموده و در بالاترین سطح تنش شوری (S_3)، با میانگین عملکرد دانه ۱۴۷۰ کیلوگرم در هکتار، به‌طور معنی‌داری، بیشترین عملکرد دانه را به نام خود ثبت نمود؛ در مقابل رقم تلاش با میانگین عملکرد دانه ۶۸۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد ضعیفی از خود به نمایش گذاشت.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، پرولین، عملکرد دانه، کارتنوئیدها، محتوای کلروفیل

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۹ اسفند ۱۴۰۲ اصلاح: ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۸ خرداد ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ تیر ۱۴۰۳

استناد: عظیمی گندمانی، م. (۱۴۰۳). اثرات سطوح مختلف شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف لوبیاچیتی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۴(۲)، ۹۲-۷۷، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.10549.1120



مقدمه

تنش های محیطی از عوامل مهم محدودکننده تولید در گیاهان زراعی در سطح جهان قلمداد می گردد. تنش های محیطی با تأثیر بر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه، باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی و در موارد شدیدتر حتی باعث مرگ گیاه می گردد. در میان تنش های غیرزنده، تنش شوری پس از تنش خشکی، دومین عامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان است (دست نشان و سبک دست، ۱۳۹۸). و گاپتا و هانگ^۱، (۲۰۱۴). در ایران نزدیک به ۵۰ درصد اراضی زیرکشت کشاورزی، با مشکل شوری و قلیایی بودن خاک و آب آبیاری مواجه هستند (دست نشان و سبک دست، ۱۳۹۸).

گیاهان از طریق سیستم ریشه ای خود در معرض شوری قرار می گیرند. تأثیر منفی شوری بر مراحل مختلف رشد گیاه از جمله جوانه زنی، رشد رویشی و مراحل رسیدگی و عملکرد دانه در محصولات کشاورزی به اثبات رسیده است. میزان اثر تنش شوری بر گیاه زراعی، به مواردی همچون ژنوتیپ، شرایط آب و هوایی، نوع خاک، نحوه آبیاری و عملیات زراعی وابسته است. در گیاه لوبیا نیز تنش شوری در اکثر مراحل دوره رشد نظیر جوانه زنی، رشد رویشی و رسیدگی دانه اثرات سوء دارد (شاهرخیان و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به اینکه ارقام مختلف لوبیایی از نظر حساسیت به شوری در مراحل مختلف با یکدیگر متفاوت می باشند، مطالعه تأثیر سطوح شوری بر خصوصیات اکوفیزیولوژیک ارقام مختلف لوبیا ضروری به نظر می رسد. بررسی گیاهان مختلف در سطوح مختلف تنش شوری در شرایط گلخانه، امکان کشت در چند فصل و سرعت بخشیدن به فرایند گزینش ارقام متحمل به شوری، جهت معرفی و ادامه تحقیقات در مزرعه، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این شرایط می توان با اندازه گیری برخی پارامترهای مرتبط با شوری در مرحله رویشی و قبل از رسیدن محصول، با احتمال بسیار بالا، ارقام متحمل به شوری را شناسایی نمود. عدم اطلاعات جامع در مورد تأثیر شوری بر پایه های فیزیولوژیکی لوبیا و نیز وجود طیف قابل توجهی از ژنوتیپ های ناشناخته به لحاظ تحمل به شوری، لزوم تحقیقات گسترده را در این زمینه اجتناب ناپذیر می نماید. لذا این پژوهش به منظور بررسی آثار شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف لوبیا صورت گرفت.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

حبوبات پس از غلات مهم ترین منبع غذایی انسان را تشکیل می دهند و در بین حبوبات، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) از لحاظ سطح زیر کشت، مقام اول را در ایران و جهان را دارد. لوبیا با داشتن حدود ۲۳-۱۸ درصد پروتئین و مقادیر مناسبی از عناصر فسفر، آهن، ویتامین B و فیبر، دارای بهترین پروتئین گیاهی فاقد کلسترول بوده و در بسیاری از مناطق دنیا که هزینه تولید پروتئین حیوانی بسیار بالا است؛ به عنوان یکی از منابع تأمین غذای انسان کاربرد دارد (گلعدانی و همکاران^۲، ۲۰۱۲).

محدوده اکوسیستم های شور بسیار وسیع است، به طوری که از ارتفاعات پایین تا ارتفاعات کوه ها گسترش دارد. در مجموع حدود ۱۰۰۰ بیلیون هکتار از اراضی کل دنیا (هفت درصد اراضی جهان) و حدود ۱/۵ میلیون هکتار از اراضی زراعی در دنیا (پنج درصد اراضی جهان) به نحوی متأثر از شوری می باشند (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴). بخش های وسیعی از ایران مانند کویرها، دشت های حاصلخیز دامغان و مغان، گرگان و گنبد، آزادگان، ورامین تا گرمسار، بستان تا فارس و اراضی اطراف زاینده رود به نحوی متأثر از شوری هستند (پرنده و همکاران، ۱۳۹۳)، و مجنون حسینی، (۱۳۹۴).

زمانی که تنش شوری اتفاق می افتد میزان گونه های فعال اکسیژن از قبیل سوپراکسید (O_2) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) افزایش می یابد. گونه های فعال اکسیژن به دلیل داشتن الکترون های جفت نشده در اربیتال های خود، از میل ترکیبی بسیار بالایی با مولکول های زیستی سلول برخوردار می باشند. رادیکال های حاصل از احیای ناقص اکسیژن مولکول های زیستی که پیش ساز متابولیت های ضروری متابولیسم می باشند را هدف قرار داده و به این ترتیب مانع سنتز آن ها می شوند (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴، و احمد و امر^۳، ۲۰۱۱)؛ و از طرفی نیز کاهش پتانسیل تورژسانس در نتیجه شوری، مهم ترین عامل بازدارندگی رشد گیاه تحت شرایط شوری است. کاهش فشار تورژسانس بر روی تقسیم سلولی و

¹ Gupta & Huang

² Golezani et al

³ Ahmad & Umar

طویل شدن و همچنین بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان حساس به شوری اثر می‌گذارد. این امر باعث کاهش تبادل گازی (کاهش فتوسنتز و تنفس) و در نتیجه باعث کاهش رشد گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد می‌شود (ژانگ و شی، ۲۰۱۳). مقاومت به شوری در گیاهان فرایندی بسیار پیچیده است، به‌طوری‌که واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی به بروز تغییرات ظاهری و رشدی گیاه منجر می‌گردند. غلظت و ترکیب یونی شوری و نوع وارسته گیاه از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز پاسخ‌های متفاوت گیاهان از نظر کاهش رشد و عملکرد به شمار می‌آیند (ژانگ و شی، ۲۰۱۳). بقولات نیز همانند گیاهان دیگر، بسته به عواملی همچون شرایط آب و هوایی، خواص خاک و مرحله رشد گیاه عکس‌العمل‌های متفاوتی در پاسخ به تنش شوری اعمال می‌نمایند. بعضی از بقولات مانند باقلا، لوبیا و سویا نسبت به سایر بقولات مانند خلر، مقاومت بیشتری به شوری دارند (استووا و کایماکانووا، ۲۰۰۸، و گلعدانی و همکاران، ۲۰۱۲).

روش پژوهش

به‌منظور ارزیابی عملکرد محصول و برخی از خصوصیات فیزیولوژیک ۴ رقم مختلف لوبیاچیتی تحت سطوح مختلف شوری، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز گندمان (استان چهارمحال و بختیاری) که در شکل (۱) نشان داده شده است، به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. چهار سطح شوری، شامل S0 (۲)، S1 (۱۰)، S2 (۲۰) و S3 (۳۰) دسی‌زیمنس بر متر است که درواقع S0 محلول هوگلند به‌عنوان شاهد است و دیگر سطوح شوری حاصل از ترکیب کلرید سدیم (NaCl) و کلرید کلسیم (CaCl_2) به ترتیب با نسبت ۲۰ به ۱ مولی در محلول هوگلند، به‌عنوان عامل اول و عامل دوم نیز چهار رقم لوبیاچیتی شامل کوشا، صالح، غفار و تلاش بودند. واحدهای آزمایش شامل گلدان‌هایی به ابعاد 40×40 سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و حاوی ماسه نرم و کاملاً شسته شده بود. برای ایجاد زه‌کشی مناسب و جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها، ۳ سوراخ به قطر یک سانتی‌متر در ته هر کدام از گلدان‌ها تعبیه شد. ۱۵ عدد بذر ارقام مختلف لوبیاچیتی در عمقی حدود سه سانتی‌متر از سطح ماسه در گلدان‌ها کشت شدند. از مرحله کاشت تا مرحله جوانه‌زنی (۷ روز پس از کاشت) آبیاری با آب مقطر صورت گرفت و پس از ثبت تاریخ دقیق سبز شدن (زمانی که ۵۰ درصد از بذرها سبز شد)، گلدان‌ها به سبب عدم جذب و نیاز کمتر گیاهان به نسبت کامل عناصر غذایی، با محلول حاوی نصف غلظت عناصر غذایی محلول هوگلند، به‌صورت یک روز در میان، آبیاری شدند (دهداری و همکاران، ۲۰۰۵). دو هفته بعد از استقرار گیاهان، به جهت رسیدن به تراکم مطلوب، بوته‌ها از ۱۵ بوته به هشت بوته در گلدان تنک شدند. از زمان ۲۰ روز پس از کاشت (مرحله چهار برگی گیاه)، سطوح شوری جهت سازگار شدن گیاهان به‌صورت تدریجی اعمال گردید، به‌نحوی که کلیه گلدان‌ها به‌جز سطح شاهد با اضافه کردن تدریجی شوری به میزان ۲۵ درصد هر سطح، در چهار نوبت آبیاری، کل تیمار شوری مربوط به هر سطح اعمال گردید. اعمال تیمارهای شوری تا پایان مرحله رسیدگی، با نسبت‌های ذکرشده ادامه داشت (دهداری و همکاران، ۲۰۰۵).

محلول غذایی هوگلند یک محلول عمومی برای کشت هیدروپونیک است و تاکنون تحقیقات فیزیولوژی گیاهی زیادی بر اساس این محلول غذایی انجام شده است؛ برای تهیه این محلول، از مواد شیمیایی تولیدی شرکت مرک آلمان و طبق جدول (۱) عمل گردید (هوجلند و آرنون، ۱۹۵۰).

¹ Zhang & Shi

² Stoeva & Kaymakanova

³ Dehdari et al

⁴ Hoagland & Arnon

جدول ۱. فرمول محلول غذایی هوگلند (هوگلند و آرنون، ۱۹۵۰)

محلول مادر	غلظت	جرم مولی به گرم	میلی لیتر در لیتر - میزان کاربرد
فسفات دی هیدروژن آمونیوم	یک مولار	۱۳۶	۱
نیتрат پتاسیم	یک مولار	۱۰۱	۶
نیترات کلسیم	یک مولار	۲۳۶	۴
سولفات منیزیم	یک مولار	۲۴۶	۲
عناصر کم مصرف محلول پایه			میزان کاربرد - گرم در لیتر
اسید بوریک	-	-	۲/۸۶
کلرید منگنز	-	-	۱/۸۱
سولفات روی	-	-	۰/۲۲
سولفات مس	-	-	۰/۰۸
اسید مولیبدیک	-	-	۰/۰۲
آهن			میزان کاربرد - میلی لیتر در لیتر
کلات آهن	۰/۵ درصد		۲

در این پژوهش صفات محتوای کلروفیل، کارتنوئیدها و میزان اسیدآمین پیرولین در طول فصل رشد برآورد گردید؛ نمونه‌گیری در مرحله گلدهی (۶۰ روز پس از کاشت) با برداشت پنج برگ جوان و کاملاً رشد یافته از قسمت‌های بالایی گیاه از هر واحد آزمایشی صورت گرفت. برای اندازه‌گیری پیرولین، یک میلی لیتر از عصاره الکلی حاصل از برگ‌های نمونه برداری شده انتخاب گردید و به لوله‌های درب دار منتقل و ۱۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر شده به آن اضافه شد. سپس ۵ میلی لیتر نین هیدرین و ۵ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال به هر نمونه اضافه گردید و نمونه‌ها داخل حمام آب جوش (بن‌ماری) به مدت ۴۵ دقیقه قرار داده شدند؛ پس از خنک شدن نمونه‌ها، به هر نمونه ۱۰ میلی لیتر بنزن اضافه شد و به شدت تکان داده شد تا پیرولین وارد فاز بنزن گردد. سپس میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت شد (پاکوئین و لچاژر^۱، ۱۹۹۷).

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها به ترتیب از روش آرنون^۲ (۱۹۴۰) و گروس^۳ (۱۹۹۱) استفاده شد؛ بدین منظور یک گرم برگ خرد شده از نمونه‌های برداشت شده از هر واحد آزمایشی توزین و عملیات استخراج کلروفیل و کارتنوئیدها از بافت های گیاه، به وسیله استن ۸۰ درصد (مرک^۴) و کربنات منیزیم (سیگما^۵) در یک حمام یخی صورت گرفت. سپس میزان جذب نور محلول برای محتوای کلروفیل در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و برای محتوای کارتنوئیدها در طول موج ۴۸۰ نانومتر، به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت شد و نهایتاً میزان محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها برآورد گردید که در شکل (۲) نشان داده شده است.

¹ Paquine & Lechasser² Arnon³ Groos⁴ Merk⁵ Sigma



شکل ۱. موقعیت مکانی انجام پژوهش



شکل ۲. بخشی از مراحل اندازه‌گیری محتوای کلروفیل، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر

در مرحله رسیدگی (۱۰۰ روز پس از کاشت) نیز برای برآورد عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت، شش بوته در هر گلدان به‌صورت کف‌بر، برداشت و پارامترهای فوق اندازه‌گیری و محاسبه شد. پروتئین دانه نیز پس از تهیه نمونه از دانه‌های برداشت‌شده به روش برادفورد^۱ (۱۹۷۶) توسط دستگاه کج‌لدال و با استفاده از سرم آلبومین گاوی (BSA^۲) به‌عنوان استاندارد، محاسبه گردید. نهایتاً تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

یافته‌ها

محتوای کلروفیل

اثر متقابل تنش شوری و رقم برای محتوای کلروفیل معنی‌دار گردید که در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول (۳)، مشاهده گردید که محتوای کلروفیل با افزایش سطح تنش شوری در کلیه ارقام موردبررسی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در سطح شوری شاهد (S0) و سطح شوری (S3)، رقم غفار به ترتیب با میانگین‌های ۰/۰۹۴ و ۰/۰۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، بیشترین میزان محتوای کلروفیل را داشت ولی با سایر تیمارها دارای تفاوت معنی‌داری نبود. در جدول (۳) مشاهده گردید که با افزایش سطح تنش شوری از S0 به S3، میزان محتوای کلروفیل در ارقام کوشا و تلاش به ترتیب با ۳۲/۱۸ و ۳۲/۹۶ درصد کاهش، کمترین میزان تأثیرپذیری از تنش شوری را در

^۱ Bradford

^۲ bovine serum albumin

مقایسه با سایر ارقام از خود نشان دادند؛ همچنین کمترین میزان محتوای کلروفیل نیز به میزان ۰/۰۵۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ، در سطح شوری S3 و به رقم صالح تعلق گرفت.

کاهش غلظت کلروفیل تحت تاثیر تنش شوری توسط سایر محققین (فریرا گوس و همکاران^۱، ۲۰۲۰، و محرم نژاد و ولیزاده، ۱۳۹۴) نیز گزارش شده است، به علت مشترک بودن مسیر بیوسنتزی کلروفیل و آلفا کتوفرو و اولویت گیاه در شرایط شور به سمت فعال کردن مسیر بیوسنتزی آنتی اکسیدان آلفا کتوفرو و همچنین به دلیل تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی نظیر پرولین، محتوای کلروفیل در گیاه کاهش می‌یابد (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴). محرم نژاد و ولیزاده (۱۳۹۴) نیز در تحقیقات خود در زمینه تغییرات میزان رنگدانه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه‌های لوبیاچیتی در شرایط شور، بیان نمودند که تنش شوری موجب کاهش میزان کلروفیل و میزان فتوسنتز گیاه می‌شود. بیان شده است که (بالاسوبرامانیام و همکاران^۲، ۲۰۲۳) تنش شوری در غلظت‌های پایین نمک منجر به کاهش نرخ فتوسنتز می‌گردد و با افزایش سطح تنش شوری، ساختارهای کلروپلاست آسیب جدی می‌بیند. نتایج پژوهش حاضر نیز با موارد فوق تطابق دارد؛ به نحوی که سطوح پایین تنش شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل گردید ولی با افزایش سطح تنش این میزان کاهش، شیب تندتری به خود گرفت و تأثیر بیشتری بر کاهش محتوای کلروفیل داشت. مطالعات زیادی در خصوص اثرات تنش شوری بر فتوسنتز و محتوای کلروفیل گیاهان مختلف از جمله لوبیا، ارزن، ذرت و باقلا (هنلیکوا و همکاران^۳، ۲۰۲۱، و حناچی و همکاران^۴، ۲۰۲۲) انجام شده است؛ همه این مطالعات موارد فوق را تأیید نموده و بیان کردند که در شرایط تنش شوری کاهش میزان کلروفیل به علت کاهش سنتز کلروفیل و همچنین تخریب کلروفیل ناشی از اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و یا آنزیم کلروفیلاز، موجب کاهش کارایی دستگاه فتوسنتزی و نهایتاً عملکرد گیاه می‌گردد (ژانگ و شی، ۲۰۱۳، و بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳).

جدول ۲. میانگین مربعات صفات موردبررسی در آزمایش تأثیر شوری بر ارقام لوبیاچیتی

درجه آزادی	محتوای کلروفیل	کارتنوئیدها	غلظت پرولین	پروتئین دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت
شوری	۰/۰۰۴۱۳**	۰/۰۱۸**	۱۳/۸۳**	۱/۲۲**	۷۰۱۰۲۴۴/۶۳**	۹۶۱۷۶۷۱/۴۵**	۲۹۸/۵۶۵**
خطای a	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۳۱	۱/۶۵	۳۷۵۵۲۰/۱۲	۳۹۸۹/۵۵	۰/۶۶۸
رقم	۰/۰۰۰۱۸۰**	۰/۰۰۰۸۹**	۰/۰۵۲**	۹/۹۳**	۲۰۵۱۵۳/۶۱**	۲۴۹۸۵۳/۵۳**	۹۸/۸۲۹**
شوری × رقم	۰/۰۰۰۰۵۹**	۰/۰۰۰۰۱۶**	۰/۰۳۶**	۰/۴۵**	۳۹۹۶۲۴/۰۳**	۲۳۹۶۷/۵۵**	۱۰/۹۶۲**
خطای b	۰/۰۰۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۳/۱۵	۶۰۵۲۴/۴۴	۳۰۷۴/۷۵	۰/۵۰۳
ظریب تغییرات	۳/۱۳	۳/۲۸	۴/۱۱	۲/۶۲	۲/۲۶	۲/۲	۲/۴۰

***، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار را نشان می‌دهند.

کارتنوئیدها

کارتنوئیدها رنگیزه‌های غیر سبزی هستند که نقش ویژه‌ای در محافظت از کلروفیل موجود در برگ و افزایش فتوسنتز در برگ، ایفا می‌کنند. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش تنش شوری و رقم، برای محتوای کارتنوئید در جدول (۲)، مشاهده گردید که با افزایش میزان شوری در کلیه ارقام موردبررسی، میزان کارتنوئیدها نیز روند افزایشی داشت؛ بطوریکه بیشترین میزان کارتنوئید به میزان ۰/۳۸ میلی گرم بر گرم وزن تر، در سطح شوری S3 و در رقم کوشا مشاهده شد که با سایر تیمارها مطابق جدول (۳) دارای تفاوت معنی‌داری بود. کمترین میزان کارتنوئیدها نیز به میزان ۰/۲۶ میلی گرم بر گرم وزن تر، در سطح شاهد (S0) و مربوط به رقم غفار بود (جدول ۳). در این خصوص، با افزایش سطح تنش شوری از شاهد (S0) تا بالاترین سطح تنش شوری (S3)، بیشترین میزان درصد افزایش محتوای به میزان ۳۱/۰۳ درصد در رقم کوشا و کمترین

¹ Ferreira Goes et al

² Balasubramaniam et al

³ Hnilickova et al

⁴ Hannachi et al

درصد افزایش آن به میزان ۱۸/۵۲ درصد، مربوط به رقم تلاش بود. نتایج تحقیقات محرم نژاد و ولیزاده (۱۳۹۴) نیز با پژوهش حاضر تطابق دارد؛ آن‌ها اظهار کردند که تنش شوری (۴۰۰ میلی‌مولار NaCl) در گیاهچه‌های لوبیا قرمز سبب کاهش وزن تر و میزان کلروفیل برگ می‌شود؛ ولی موجب افزایش غلظت آنتوسیانین و کارتنوئیدها در گیاه می‌گردد. در خصوص افزایش کارتنوئیدها و پرولین نیز گزارش شده است که گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو از سیستم‌های غیرآنزیمی و آنزیمی بهره می‌برند؛ در این خصوص، کارتنوئیدها، آسکوربات‌ها و پرولین به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی، جهت مقابله با گونه‌ها اکسیژن فعال نقش کلیدی را ایفا می‌کنند (گاپتا و همکاران^۱، ۲۰۰۵). و ال هینایی و همکاران^۲، ۲۰۲۲). در پژوهش حاضر نیز میزان کارتنوئیدها در شرایط تنش شوری افزایش یافت و حداکثر میزان آن در بالاترین سطوح شوری و در ارقامی نظیر کوشا که در بالاترین سطح تنش شوری (S3)، عملکرد بالاتری نسبت به سایر ارقام داشتند مشاهده گردید؛ که با تحقیقات صورت گرفته مبنی بر اثر کارتنوئیدها در خنثی‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال دلالت دارد (بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳). و زهرا و همکاران^۳، ۲۰۲۲).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شوری (S) و رقم بر برخی صفات موردبررسی در ارقام مختلف لوبیاچیتی

	محتوای کلروفیل	کارتنوئیدها	غلظت پرولین	پروتئین دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	رقم
	سطوح شوری	میلی گرم بر گرم	میکرومول بر گرم وزن تر	درصد	کیلوگرم در هکتار	درصد	درصد	درصد
S0	کوشا	۰/۰۸۷ ^{ab}	۰/۲۹ ^{cd}	۰/۸۲ ^e	۲۲/۹ ^{ab}	۹۷۰۵ ^{ab}	۳۳۵۰ ^a	۳۵ ^a
	صالح	۰/۰۹۱ ^a	۰/۲۸ ^d	۰/۸۳ ^e	۲۱/۰۸ ^{ab}	۱۰۰۴۰ ^{ab}	۳۳۵۰ ^a	۳۳ ^{ab}
	غفار	۰/۰۹۴ ^a	۰/۲۶ ^{de}	۰/۸۲ ^e	۲۲/۱۱ ^a	۱۱۰۰۰ ^a	۳۴۵۰ ^a	۳۱ ^b
	تلاش	۰/۰۹۱ ^a	۰/۲۷ ^d	۰/۸۲ ^e	۲۲/۵۰ ^a	۱۰۸۰۰ ^a	۳۳۰۰ ^a	۳۱ ^b
S1	کوشا	۰/۰۷۷ ^c	۰/۳۲ ^{bc}	۱/۰۵ ^{de}	۲۳/۲۳ ^d	۸۷۸۷ ^{bc}	۲۹۰۰ ^b	۳۳ ^{ab}
	صالح	۰/۰۸۰ ^{bc}	۰/۳۰ ^c	۱/۰۵ ^{de}	۲۱/۱۳ ^c	۹۵۰۰ ^{ab}	۲۸۵۰ ^{bc}	۳۰ ^{bc}
	غفار	۰/۰۸۲ ^b	۰/۲۹ ^{cd}	۱/۰۶ ^{de}	۲۱/۱۱ ^c	۹۳۱۰ ^{ab}	۲۷۰۰ ^{bc}	۲۹ ^c
	تلاش	۰/۰۸۲ ^b	۰/۲۸ ^d	۱/۰۴ ^{de}	۲۲/۳۵ ^a	۹۴۶۴ ^{ab}	۲۶۵۰ ^{bc}	۲۸ ^{cd}
S2	کوشا	۰/۰۶۲ ^{de}	۰/۳۶ ^{ab}	۱/۰۵۵ ^{ab}	۲۳/۷۴ ^a	۷۱۶۱ ^{cd}	۲۲۲۰ ^d	۳۱ ^b
	صالح	۰/۰۶۳ ^d	۰/۳۳ ^{bc}	۱/۰۴۷ ^b	۲۱/۶۱ ^b	۶۸۹۳ ^{de}	۱۹۳۰ ^{de}	۲۸ ^{cd}
	غفار	۰/۰۶۸ ^d	۰/۳۱ ^c	۱/۰۳۸ ^c	۲۱/۶۳ ^b	۶۴۶۴ ^{de}	۱۸۱۰ ^{de}	۲۸ ^{cd}
	تلاش	۰/۰۶۵ ^d	۰/۳۰ ^c	۱/۰۱۶ ^d	۲۲/۸۸ ^a	۶۶۹۲ ^e	۱۷۴۰ ^e	۲۶ ^d
S3	کوشا	۰/۰۵۹ ^{de}	۰/۳۸ ^a	۱/۰۹۵ ^a	۲۴/۲۷ ^a	۵۲۵۰ ^{ef}	۱۴۷۰ ^e	۲۹ ^d
	صالح	۰/۰۵۴ ^e	۰/۳۴ ^b	۱/۰۵۲ ^b	۲۲/۱۴ ^b	۳۹۶۲ ^f	۱۰۳۰ ^{ef}	۲۷ ^{de}
	غفار	۰/۰۶۲ ^{de}	۰/۳۲ ^{bc}	۱/۰۴۸ ^b	۲۳/۰۰ ^b	۳۴۰۰ ^{fe}	۸۵۰ ^f	۲۵ ^e
	تلاش	۰/۰۶۱ ^{de}	۰/۳۲ ^{bc}	۱/۰۳۶ ^c	۲۳/۱۸ ^a	۲۷۲۰ ^e	۶۸۰ ^f	۲۵ ^e

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد است.

¹ Gupta et al

² Al Hinai et al.

³ Zahra et al

غلظت پرولین

مطابق جدول (۲) با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل تنش شوری و رقم در خصوص میزان پرولین؛ مشاهده گردید که در همه ارقام موردبررسی با افزایش سطح شوری، میزان پرولین نیز افزایش معنی داری داشت؛ در این خصوص، با افزایش شدت تنش از سطح شوری S0 به سطح شوری S3، بیشترین (۱۳۷/۸۰ درصد) و کمترین (۶۵/۸۵ درصد) میزان افزایش درصد پرولین به ترتیب به ارقام کوشا و تلاش تعلق گرفت که در جدول (۳) نشان داده شده است. میزان پرولین در سطح شوری شاهد (S0) در بین ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی داری نداشت؛ در بالاترین سطح شوری (S3) نیز رقم کوشا با میانگین ۱/۹۵ میکروگرم بر گرم وزن تر، دارای بیشترین میزان پرولین و رقم تلاش با میانگین ۱/۳۶ میکروگرم بر گرم وزن تر، کمترین میزان پرولین را به خود اختصاص داد.

بالا بودن مقدار پرولین به عنوان یک نشانه فیزیولوژیکی در پاسخ گیاه به تنش شوری قلمداد می گردد (احمد و امر، ۲۰۱۱ و هنیلیکوا و همکاران^۱، ۲۰۲۱). گزارش شده است که تجمع املاح آلی سازگار مانند پرولین و قندهای محلول از رایج ترین پاسخ ها در گیاهان تحت تنش شوری است؛ در پژوهش حاضر نیز همانند پژوهش های اشاره شده، تنش شوری موجب افزایش محتوای پرولین گردید؛ که پرولین تولیدی به عنوان محافظ اسمزی عمل نموده و به تنظیم اسمزی درون سلولی و مقابله با گونه های اکسیژن فعال کمک می کنند (هنیلیکوا و همکاران، ۲۰۲۱).

پروتئین دانه

درصد پروتئین دانه حبوبات که یکی از مهم ترین معیارهای ارزیابی کمی و کیفی حبوبات قلمداد می گردد، نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت. مطابق جدول (۲) با توجه به معنی دار شدن برهمکنش تنش شوری و رقم در خصوص صفت درصد پروتئین دانه، مشاهده گردید که بیشترین میزان پروتئین دانه به میزان ۲۳/۹۶ درصد، در سطح شوری S3 و مربوط به رقم کوشا و کمترین آن به میزان ۲۱/۰۸ درصد، در سطح شاهد و مربوط به رقم صالح بود که در جدول (۳) نیز نشان داده شده است. مطابق جدول (۳) میزان درصد پروتئین دانه با افزایش سطح تنش شوری در کلیه ارقام مورد ارزیابی دارای یک روند افزایشی بود؛ در این خصوص، بیشترین (۵/۹۸ درصد) و کمترین (۳/۰۲ درصد)، میزان افزایش درصد پروتئین دانه، با افزایش سطح تنش شوری از سطح شوری شاهد (S0) به سطح تنش شوری (S3)، به ترتیب مربوط به ارقام کوشا و تلاش بود.

با افزایش شدت تنش و کاهش دسترسی گیاه به آب، همانند شرایط تنش خشکی میزان پروتئین دانه افزایش می یابد؛ که این امر ناشی از تغییرات فرایندهای فیزیولوژیک گیاه در جهت افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش و جلوگیری از کاهش بیشتر عملکرد است (شاهرخیان و همکاران، ۱۴۰۰، و گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴). عمادی و همکاران (۱۳۹۱) نیز در مطالعه ارقام مختلف لوبیا تحت تنش خشکی، افزایش میزان درصد پروتئین را در شرایط تنش گزارش دادند که علت این میزان افزایش پروتئین دانه در شرایط تنش را به طور عمده به کاهش نسبت نشاسته به پروتئین در دانه به واسطه کاهش فتوسنتز خالص نسبت دادند (شاهرخیان و همکاران، ۱۴۰۰).

عملکرد بیولوژیک

با توجه به نتایج برهمکنش تنش شوری و رقم برای عملکرد بیولوژیک (جدول ۳) مشاهده گردید که در سطح شاهد (S0) رقم غفار با میانگین ۱۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، دارای بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک و رقم تلاش در سطح شوری S3، با میانگین ۲۷۲۰ کیلوگرم در هکتار کمترین رتبه را به خود اختصاص داد (جدول ۳). حفظ میزان بالای عملکرد بیولوژیک به عنوان سطح فتوسنتز کننده مطلوب در شرایط تنش شوری، بیانگر سازگاری بهتر گیاه با شرایط تنش و نهایتاً حصول عملکرد بالاتر است؛ در این خصوص در بالاترین سطح تنش شوری (S3)، رقم

¹ Hnilickova et al

کوشا با کمترین میزان درصد کاهش عملکرد بیولوژیک (۴۶ درصد)، نسب به سطح شاهد و با میانگین ۵۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، به طور معنی-داری دارای بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک نسبت به سایر ارقام مورد بررسی بود که در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج سایر محققین نیز (پرند و همکاران، ۱۳۹۳، و دست نشان و سبکدست، ۱۳۹۸) مؤید کاهش عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا تحت شرایط تنش شوری است؛ که با نتایج حاضر تطابق دارد. آن ها بیان نمودند که بروز تنش، موجب بسته شدن روزنه ها، تخریب کلروفیل، کاهش فتوسنتز و به دنبال آن کاهش رشد و نمو گیاه تحت تنش می گردد (گلعدانی و همکاران، ۲۰۱۲، و افضل و همکاران^۱، ۲۰۲۲). مقدار کلروفیل و رنگدانه های فتوسنتزی نقش مؤثری در توان فتوسنتزی گیاهان دارند و به همین دلیل مستقیماً بر میزان و سرعت فتوسنتز و در نهایت تولید زیست توده مؤثر هستند. از آنجایی که تنش شوری موجب کاهش رنگدانه های فتوسنتزی در گیاهان تحت تنش شوری می گردد؛ ظرفیت گیاه برای فتوسنتز و تولید را کاهش داده و از این طریق موجب کاهش زیست توده تولیدی می شود (عطا و همکاران^۲، ۲۰۲۳، و همکاران^۳، ۲۰۲۳).

عملکرد دانه

با توجه به معنی دار شدن برهمکنش رقم و تنش شوری برای عملکرد دانه مشاهده گردید که بیشترین مقدار عملکرد دانه برای همه ارقام مورد ارزیابی مربوط به سطح شوری شاهد (S0) بود؛ در این خصوص بیشترین میانگین عملکرد دانه به میزان ۳۴۵۰ کیلوگرم در هکتار، در سطح شوری شاهد (S0) و به رقم غفار اختصاص یافت که در جدول (۳) نشان داده شده است. عملکرد دانه در کلیه ارقام مورد ارزیابی با افزایش سطح شوری کاهش یافت. میزان درصد کاهش عملکرد دانه از هر سطح تنش شوری نسبت به سطح قبل، در تمامی ارقام متفاوت بود؛ بطوریکه بیشترین درصدهای کاهش عملکرد دانه، در همه ارقام مورد ارزیابی در افزایش سطح تنش شوری از S2 به S3 مشاهده گردید. در سطح شوری S3، رقم کوشا با ۵۶/۱۲ درصد کاهش نسبت به سطح شوری شاهد، دارای کمترین میزان درصد کاهش عملکرد بود و رقم تلاش با ۷۹/۳۹ درصد کاهش نسبت به سطح شوری شاهد، بیشترین میزان کاهش عملکرد را به نام خود ثبت نمود که در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول (۳)، مشاهده گردید که رقم کوشا در تعدیل اثرات تنش شوری، موفق تر از سایر ارقام عمل نموده و در بالاترین سطح شوری (S3) با میانگین عملکرد دانه ۱۴۷۰ کیلوگرم در هکتار، به طور معنی داری، بیشترین عملکرد دانه را به نام خود ثبت نمود؛ در مقابل رقم تلاش با میانگین عملکرد دانه ۶۸۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد ضعیفی از خود به نمایش گذاشت.

تنش شوری در گیاه، از طریق ایجاد اختلال در متابولیسم گیاه در فرایند پر شدن دانه و علاوه بر آن تأثیر در کاهش انتقال مواد پرورده ناشی از شرایط ثانویه خشکی موجب سقط گل ها و دانه های تازه تشکیل شده در غلاف و به دنبال آن موجب کاهش عملکرد دانه در لوبیا می گردد (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴، و گلعدانی و همکاران، ۲۰۱۲). تنش شوری با کاهش هدایت روزنه ای و به دنبال آن کاهش آسیمیلاسیون دی اکسید کربن و سرعت فتوسنتز دو، منجر به کاهش توان فتوسنتزی و نهایتاً کاهش عملکرد در گیاهان تحت تنش شوری می گردد (عطا و همکاران، ۲۰۲۳، و توگاتوروپ و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر جنبه های رشد گیاه که مورد بحث قرار گرفت، تنش شوری با کاهش کارایی دستگاه فتوسنتزی از یک سو و هزینه های تحمیلی جهت مقابله با اثرات سوء تنش و ایجاد سازگاری های متابولیک از سوی دیگر، منجر به کاهش در عملکرد گیاه می گردد (عطا و همکاران^۴، ۲۰۲۳، و توگاتوروپ و همکاران، ۲۰۲۳).

شاخص برداشت

شاخص برداشت که بیانگر سهم عملکرد اقتصادی از زیست توده تولیدی و نمایانگر نحوه تسهیم شیره پرورده بین اندام گیاهی است نیز در همه ارقام مورد ارزیابی، تحت تأثیر سطوح مختلف تنش شوری قرار گرفت. با توجه به جدول (۲) با توجه به معنی دار شدن برهمکنش تنش شوری و رقم برای شاخص برداشت مشاهده گردید که بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۵ درصد) در سطح شوری شاهد (S0)، در رقم کوشا و

¹ Afzal et al

² Atta et al

³ Togatorop et al

⁴ Atta et al

کمترین میزان شاخص برداشت (۲۵ درصد) در سطح شوری S3، به طور مشترک در ارقام تلاش و غفار مشاهده گردید. مطابق جدول (۳) میزان شاخص برداشت با افزایش سطوح تنش شوری در کلیه ارقام مورد ارزیابی، یکروند نزولی را نشان داد؛ به طوری که با افزایش سطح تنش شوری از S0 به S3، رقم کوشا با تسهیم بهتر مواد تولیدی دستگاه فتوستتزی به نفع عملکرد دانه، با میانگین ۱۷/۱۴ درصد، دارای کمترین میزان درصد کاهش شاخص برداشت و ارقام غفار و تلاش با میانگین ۱۹/۳۵ درصد، دارای بیشترین درصد کاهش شاخص برداشت نسبت به سایر ارقام مورد ارزیابی بودند.

سایر محققان نیز (استووا و کایماکانوا، ۲۰۰۸، و گلعدانی و همکاران، ۲۰۱۲) کاهش شاخص برداشت را در شرایط تنش شوری در لوبیا و سایر گیاهان زراعی گزارش داده‌اند و بیان نمودند که علاوه بر تجمع ماده خشک تسهیم مواد پرورده بین اندام‌های مختلف گیاه نیز در مقاومت گیاه به تنش و عملکرد قابل برداشت حائز اهمیت است. اولویت تخصیص شیره پرورده در شرایط تنش به لحاظ بالا نگه داشتن تولید حائز اهمیت است؛ از این رو در پژوهش حاضر ارقامی نظیر کوشا، با داشتن عملکرد بیولوژیک بیشتر در شرایط تنش شوری و تسهیم درصد بالاتری از آن در تولید عملکرد دانه، دارای بیشترین شاخص برداشت در شرایط تنش شوری بودند (بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳، و زهرا و همکاران، ۲۰۲۲). تنش‌های محیطی نظیر تنش خشکی و شوری، موجب اثرات بازدارنده بر فرایندهای مرتبط با رشد و نمو گیاه تحت تنش شده که موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین کاهش شاخص برداشت می‌گردد؛ که با کاهش سطح فتوستتزی کننده و انتقال مجدد مواد فتوستتزی شده در مرحله پر شدن دانه‌ها ارتباط دارد (ژانگ و شی، ۲۰۱۳ و عطا و همکاران، ۲۰۲۳). داشتن شاخص برداشت بالا در شرایط تنش‌های محیطی نظیر تنش شوری و خشکی معیار مناسبی جهت گزینش ارقام متحمل به تنش قلمداد می‌گردد (بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳).

بحث

شوری به عنوان یکی از مشکلات عمده تهدیدکننده کشاورزی در سطح بین‌المللی و به ویژه در عرض‌های پایین جغرافیایی مطرح است. یکی از دلایل از بین رفتن بسیاری از زمین‌ها تنش شوری است. نیاز اعلام شده برای افزایش تولید غذا به همراه مشکل شور شدن زمین‌ها و نیز با توجه به این حقیقت که بشر در آینده نمی‌تواند زمین‌های کشاورزی را رها نماید و به سراغ زمین‌های جدید برود، همه نشانه‌های خوبی برای تغییر اولویت‌های تحقیقاتی کشاورزی در سال‌های آینده می‌باشند.

افزایش غلظت نمک‌ها در محیط رشد ریشه به میزان بیش از آستانه تحمل گیاه، منجر به کاهش کیفیت و کمیت محصولات می‌گردد (ژانگ و شی، ۲۰۱۳). مهم‌ترین واکنش گیاه به شوری خاک، کاهش رشد است که می‌تواند به دلیل اختلال در جذب آب و املاح، بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها و کاهش کارایی فتوستتزی باشد (رزاقی و همکاران^۱، ۲۰۱۱، و زهرا و همکاران، ۲۰۲۲)؛ همچنین تنش شوری سبب تخریب سیستم متابولیسمی و بی‌نظمی غشایی شده و با افزایش لیگنین و ضخامت دیواره سلولی، قابلیت ارتجاعی آن را کاهش داده و منجر به کاهش تقسیم و گسترش سلولی و در نهایت افت رشد، توسعه و درصد بقای گیاهان و نهایتاً کاهش عملکرد گیاه تحت تنش می‌گردد. (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴، و بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳).

در پژوهش حاضر نیز تنش شوری از طرق مختلف با محدود کردن رشد و نمو گیاه موجب کاهش عملکرد گردید. با توجه به نتایج جدول (۳) مشاهده گردید که در کلیه ارقام مورد بررسی، شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل و افزایش پرولین و کارتنوئیدها گردید. بیان شده است که با مواجهه گیاهان با انواع تنش، نظیر تنش شوری و خشکی، تنش اکسیداتیو القاء می‌گردد و میزان گونه‌های اکسیژن فعال از قبیل سوپر اکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) افزایش پیدا می‌کند. میل ترکیبی بالای گونه‌ها اکسیژن فعال با مولکول‌های زیستی سلول سبب اکسید

¹ Razzaghi et al

شدن چربی‌ها، تغییر ساختمان پروتئین‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن کلروفیل و تخریب اسیدهای نوکلئیک می‌گردد (ال هینایی و همکاران^۱، ۲۰۲۲، و احمد و امر، ۲۰۱۱).

با توجه به نتایج جدول (۳) مشاهده گردید که هر سه صفت عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه نیز با اعمال تنش شوری و افزایش شدت تنش روند کاهشی داشتند. با توجه به نقش کارتنوئیدها در حفاظت از رنگ‌دانه‌های سبز یا همان کلروفیل؛ افزایش محتوای کارتنوئید در شرایط تنش، موجب کاهش اثرات تنش بر گیاهان و کمک به کاهش آسیب به رنگ‌دانه‌های سبز فتوسنتزی و کاهش اثرات سوء تنش می‌شود (زهر و همکاران، ۲۰۲۲). در این خصوص رقم کوشا با کمترین میزان درصد کاهش در صفات محتوای کلروفیل، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و برخورداری از میزان مناسبی از پروتئین و کارتنوئیدها نسبت به سایر ارقام مورد آزمایش؛ موفق‌تر عمل نمود و نهایتاً موفق به حصول بیشترین عملکرد دانه (۱۴۷۰ کیلوگرم در هکتار) در سطح شوری S3، گردید.

با توجه به اهمیت آب آبیاری در تولید محصولات کشاورزی و همچنین محدودیت ناشی از اقلیم خشک ایران و خشک‌سالی‌های اخیر در تأمین منابع آب؛ روی آوردن به منابع آب نامتعارف، نظیر آب‌های شور و قلیا در کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر وجود اراضی شور، لب‌شور و در شرف شور شدن در سرتاسر ایران، اهمیت پرداختن به بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری و گزینش ارقام متحمل به تنش شوری را دوچندان می‌کند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر همه صفات موردبررسی تحت تأثیر شوری قرار گرفت؛ افزایش سطح شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه در کلیه ارقام موردبررسی گردید. ارقام موردبررسی در شرایط تنش شوری با بالا نگره‌داشتن سطح کارتنوئیدها، افزایش میزان پروتئین و پروتئین دانه نسبت به شاهد موجب تعدیل اثرات سوء تنش شوری شدند. در کلیه سطوح شوری مورد بررسی، شاهد کاهش عملکرد قابل‌بردشت در ارقام موردبررسی بودیم؛ اما درصد کاهش عملکرد در سطح شوری S1، در کلیه ارقام مورد ارزیابی کمتر از درصد کاهش عملکرد در سایر سطوح شوری بود؛ لذا کشت ارقام مورد ارزیابی لوبیا در این تحقیق تا سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌تواند عملکرد دانه قابل قبولی به همراه داشته باشد. در این پژوهش، رقم کوشا عملکرد بالاتری نسبت به سایر ارقام در تعدیل شرایط تنش شوری داشت و درصد کاهش عملکرد کمتری را از خود نشان داد؛ از این رو می‌تواند به‌عنوان گزینه مناسبی برای کشت در شرایط شوری تا ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، قلمداد گردد. در نهایت، با توجه به واکنش متفاوت ارقام نسبت به تنش شوری از یک‌سو و حساسیت لوبیا به شرایط شوری و همچنین تنش خشکی ناشی از آن؛ لازم است جهت توصیه ارقام مناسب کشت در شرایط شور، تحقیقات بیشتری روی ارقام متفاوت و در شرایط متنوع آب و هوایی ایران صورت گیرد.

تقدیر و تشکر

در پایان از مدیریت دانشگاه پیام نور مرکز گندمان (استان چهارمحال و بختیاری) برای در اختیار گذاشتن گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه، کمال تشکر را دارم.

منابع

پرنده، سارا، زمانی، غلامرضا، سیاری، محمد حسن، و قادری، محمد قادر. (۱۳۹۳). ارزیابی اثر سیلیسیم بر صفات فیزیولوژی، کیفی و کمی لوبیا در تنش شوری. نشریه پژوهشهای حبوبات ایران، ۵(۲)، ۷۰-۵۷. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i2.47004>

¹ Al Hinai et al.

- دست‌نشان، شکوفه، و سبکدست، منیژه. (۱۳۹۸). ارزیابی میزان تحمل برخی ژنوتیپ‌های لوبیا به شوری. مجله پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، ۱۱ (۳۲)، ۱۸۴-۱۹۷. <http://dx.doi.org/10.29252/jcb.11.32.184>
- شاهرخیان، زهره، نوری امام زاده، محمد رضا، دانش‌شهرکی، عبدالرزاق، طباطبایی، سید حسن، و شاه‌نظری، علی. (۱۴۰۰). تاثیر کاربرد آب شور در مراحل رشد رویشی و زایشی بر عملکرد و بهره‌وری آب در گیاه لوبیا قرمز. مجله پژوهش آب ایران، ۱۵ (۴)، ۴۳-۵۶. <https://doi.org/10.22034/iwrj.2021.11181>
- عمادی، نوید ا...، بلوچی، حمیدرضا، و جهانبین، شاهرخ. (۱۳۹۱). تولید گیاهان زراعی. اثر تنش خشکی و تراکم بوته بر عملکرد، اجزاء عملکرد و برخی خصوصیات ریخت‌شناسی لوبیا چیتی رقم S.O.C.۱۶ در منطقه یاسوج، مجله الکترونیک، ۵(۲)، ۱۷-۱. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.2.1.2>
- محرم‌نژاد، سجاد، و ولیزاده، مصطفی. (۱۳۹۴). تغییرات میزان رنگ‌دانه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه‌های لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش شوری. نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱(۳۳)، ۱۶۶-۱۵۳. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/956540>
- مجنون‌حسینی، ناصر. (۱۳۹۴). زراعت و تولید حیوانات (حیوانات در ایران). انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران، ایران. <https://www.gisoom.com/book/11132693/>

References

- Afzal, M., Alghamdi, S. S., Migdadi, H. H., El-Harty, E., & Al-Faifi, S. A. (2022). Agronomical and Physiological Responses of Faba Bean Genotypes to Salt Stress. *Agriculture*, 12 (235), 1-13. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020235>
- Ahmad, P., & Umar, S. (2011). *Oxidative Stress: Role of Antioxidants in Plants*. Studium Press, New Delhi, India. <https://www.abebooks.fr/Antioxidants-Oxidative-Stress-Management-Plants-Edited/7577938868/bd>
- Al Hinai, M. S., Ullah, A., Al-Rajhi, R. S., & Farooq, M. (2022). Proline accumulation, ion homeostasis and antioxidant defence system alleviate salt stress and protect carbon assimilation in bread wheat genotypes of Omani origin. *Environ. Experimental Botany*, 193, 104687. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104687>
- Arnon, D. I. (1940). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase. *Journal Plant Physiology*, 45, 100-114. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A. P., Kumari, A., Ghosh, T., Roy, A., Hembram, S., Gaikwad, D. J., Mondal, S., Bhattacharya, S., Jha, U. C., & Jespersen, D. (2023). Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Front. Plant Science*, 14, 1241736. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>
- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. *Plants*, 12, 2253. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. *Analytical Biochemistry*, 38, 248-252. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- Dast-neshan, Sh., & Sabokdast, m. (2018). Evaluation of tolerance of some bean genotypes to salinity. *Crop breeding research journal*, 11 (32), 184-197. <http://dx.doi.org/10.29252/jcb.11.32.184> [In Persian]

- Dehdari, A., Rezai, A., & Mirmohammady Maibody, S. A. (2005). Salt tolerance of seedling and plant based on Ion contents and agronomic traits. *Soil Science and Plant Analysis*, 36, 2239-2253. <https://doi.org/10.1080/00103620500196622>
- Emadi, N., Balouchi, H. R., & Jahanbin, Sh. (2012). Effect of drought stress and plant density on yield, yield components and some morphological characters of pinto bean (cv.C.O.S16) in Yasouj region. *Journal of Crop Production*, 5 (2), 1-17. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.2.1.2> [In Persian]
- Ghassemi-Golezani, K., Nikpour-Rashidabad, N., & Zehtab-Salmasi, S. (2012). Effect of salinity on yield and yield components of pinto bean cultivars. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 2 (2), 47-51. https://www.researchgate.net/publication/235798272_Effect_of_salinity_on_yield_and_yield_components_of_pinto_bean_cultivars
- Gross J. (1991). *Pigments in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids*. Van Nostrand Reinhold. USA. PP 1-37. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-2033-7>
- Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical and Molecular Characterization. *International Journal of Genomics*, 68(3), 1-18. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Gupta, K. J., Stoimenova, M., & Kaiser, W. M. (2005). In higher plants, only root mitochondria, but not leaf mitochondria reduce nitrite to NO. *in vitro and in situ*. *Journal Experimental Botany*, 56, 2601–2609. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri252>
- Hannachi, S., Steppe, K., Eloudi, M., Mechi, L., Bahrini, I., & Van Labeke, M.C. (2022). Salt stress induced changes in photosynthesis and metabolic profiles of one tolerant ('Bonica') and one sensitive ('Black beauty') eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Plants*, 11(5), 590. <https://doi.org/10.3390/plants11050590>
- Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P., & Hnilicka, F. (2021). Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. *Plants*, 10, 845. <https://doi.org/10.3390/plants10050845>
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plant without soil. *California Agricultural Experiment Station*, 347, 1-32. <https://openlibrary.org/books/OL25240089M>
- Majnoon-Hosseini, N. (2014). *Cultivation and production of legumes (legumes in Iran)*. Jahad University Press, Tehran, Iran. <https://www.gisoom.com/book/11132693/> [In Persian]
- Moharramnejad, S., & Valizadeh, M. (2014). Changes in the amount of pigment and activity of antioxidant enzymes in pinto bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.) under salt stress. *Ecophysiology scientific research journal of agricultural plants*, 1 (33), 166-153. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/956540> [In Persian]
- Paquine, R., & Lechasser, P. (1997). *Obsertins sur une methode dosage la libre*. 145-160. <https://doi.org/10.1139/b79-233>
- Parande, S., Zamani, Gh., Sayari, M. H., & Qadiri, M. Q. (2013). Evaluating the effect of silicon on the physiological, qualitative and quantitative traits of beans under salinity stress. *Journal of Iranian Legume Research*, 5 (2), 57-70. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i2.47004> [In Persian]
- Razzaghi, F., Ahmadi, S. H., Adolf, V. I., Jensen, C. R., Jacobsen, S. E., & Andersen, M. N. (2011). Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 348–360. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00473.x>

- Shahrokhian, Z., Nouri Imamzadeh, M. R., Danesh-Shahraki, A., Tabatabai, S. H., & Shah-Nazari, A. (2020). The effect of saline water application in the vegetative and reproductive stages on yield and water efficiency in red bean plant. *Iranian Water Research Journal*, 15 (4), 56-43. <https://doi.org/10.22034/iwrj.2021.11181> [In Persian]
- Soltani, A., Hammer, G. L., Torabi, B., Robertson, M. J., & Zeinali, E. (2006). Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crops Research*, 99 (1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.004>
- Stoeva, N., & Kaymakanova, M. (2008). Effect of salt stress on the growth and photosynthesis rate of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 9(3), 385-391. <https://hrcak.srce.hr/35369>
- Togatorop, E. R., Sari, D. N., & Handayani, S. (2023). Effect of different salinity stress on seedling growth in long bean (*Vigna sinensis* L.) genotypes. *International Journal of Agricultural Technology* 19(4), 1919-1928. [http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v19_n4_2023_July/37_IJAT_19\(4\)_2023_Togatorop,%20E.%20R.\(52\).pdf](http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v19_n4_2023_July/37_IJAT_19(4)_2023_Togatorop,%20E.%20R.(52).pdf)
- Zahra, N., Al Hinai, M. S., Hafeez, M.B., Rehman, A., Wahid, A., Siddique, K.H., & Farooq, M. (2022). Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. *Plant Physiology Biochemistry*, 178, 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.003>
- Zhang, J. L., & Shi, H. (2013). Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance. *Photosynthesis Research*, 115, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9813-6>



Solutions to prevent farmers from using sewage (a case study of vegetable growers in Hamedan)

Reza Movahedi ¹ , Mehrdad Pouya ² , Taraneh Sarami Foroushani ³ , Gholamali Aeini ⁴

¹ Corresponding Author, Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: Movahedi686@basu.ac.ir

² Assistant Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: m.poya@basu.ac.ir

³ Ph.D graduated of Agricultural Development, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: Sarami84@ymail.com

⁴ Ph.D graduated of Geography, Agricultural Jihad Organization of Hamedan, Hamedan, Iran. E-mail: aliaeini1346@gmail.com

ABSTRACT

The use of wastewater in agriculture faces challenges that can negatively affect plant and soil quality as well as human health. Therefore, this issue should be done in a controlled manner, with proper treatment and compliance with health standards. Therefore, the main goal of this article was to investigate and identify solutions to prevent the use of wastewater for agriculture and vegetable growing in Hamadan City. The research method was a survey type that used interview and questionnaire tools to collect data. The statistical population of the research was the experts and professors of Hamedan city, 26 people were selected for interviews and 80 people were selected as samples to complete the questionnaire. The results showed that the strategies to prevent the use of wastewater in the irrigation of agricultural fields in Hamedan city can be classified into 8 factors. These factors include legal and judicial action, continuous visitation and monitoring, securing rights, increasing the number of treatment plants, creating and developing vegetable farms, organizing sewage transfer routes, training and justifying farmers, and management mechanisms. Also, the results of the quantitative part showed that three solutions, Legal treatment, education and promotion, and management and planning are at a higher priority level in terms of importance.

Keywords: Wastewater in Agriculture, Water management, Hamadan city

Article Type: Research Article

Article history: Received: 30 January 2024 Revised: 19 May 2024 Accepted: 04 June 2024 ePublished: 21 June 2024

1. Introduction

In recent years, due to the lack of fresh water and the depletion of underground water, the reuse of wastewater in agriculture to irrigate crops has been considered as one of the methods of managing water resources (Verma et al, 2023).

The use of wastewater in agriculture faces challenges that can negatively affect plant and soil quality as well as human health. Therefore, this issue should be done in a controlled manner, with proper treatment and compliance with health standards. Also, alternative and more sustainable methods should be used for irrigation and food supply in agriculture to reduce environmental and health problems. Therefore, the main goal of this article is to investigate and identify solutions to prevent the use of wastewater for agriculture and vegetable growing in Hamadan city.

2. Methodology

The research method is a survey type that uses interview tools and questionnaires to collect data. The statistical population of the research is the experts and professors of Hamadan city, 26 people were selected for interview and 80 people were selected as a sample to complete the questionnaire. Data analysis was done with the help of content analysis method and extracting the categories, then prioritizing the categories with the help of SPSS

software and PLS.

3.Results and discussion

The results of the qualitative part showed that to prevent the use of wastewater in the irrigation of vegetable fields in Hamedan city, 8 solutions were identified and presented. These solutions include legal and judicial action, continuous visits and monitoring, providing water rights, increasing the number of sewage refineries, creation and development of vegetable cultivation settlements, organizing sewage transfer channels, training and informing farmers, and management mechanisms. Also, the results of the quantitative part showed that three solutions, Legal treatment, education and promotion, and management and planning are at a higher priority level in terms of importance.

4.Conclusion

Based on the results of this research the solutions to prevent the use of wastewater in the irrigation of fields can be classified into three categories: "Legal and regulatory solutions", "Technical-structural solutions" and "Educational solutions". The legal and regulatory solutions were one of the most important issues of experts' attention, and they believed that until there is continuous and accurate monitoring, it is not possible to prevent the use of wastewater in farms.

5. References

Verma, A., Gupta, A., & Rajamani, P. (2023). Application of Wastewater in Agriculture: Benefits and Detriments. In River Conservation and Water Resource Management (pp. 53-75). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2605-3_17

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

7. Acknowledgments

The present article is based on part of the results of a research project that was carried out with the financial assistance of Hamedan Agricultural Jihad Organization. Therefore, the authors consider it necessary to thank and appreciate the financial support of this organization.

Cite this article: Movahedi, R., Pouya. M., Sarami Foroushani, T., & Aeini, Gh.A. (2024). Solutions to prevent farmers from using sewage (a case study of vegetable growers in Hamedan), *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(2), 93-116. DOI: 10.22126/ATWE.2024.10559.1121

Publisher:

© The Author(s).





راهکارهای جلوگیری استفاده کشاورزان از فاضلاب

(مطالعه موردی: سبزیکاران شهر همدان)

رضا موحدی^۱ ، مهرداد پویا^۲ ، ترانه صرامی فروشانی^۳ ، غلامعلی آئینی^۴ 

^۱ نویسنده مسئول، استاد گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: Movahedi686@basu.ac.ir

^۲ استادیار، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: m.poya@basu.ac.ir

^۳ دانش آموخته دکتری توسعه کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: Sarami84@ymail.com

^۴ دانش آموخته دکتری جغرافیا، سازمان جهاد کشاورزی استان همدان، همدان، ایران. رایانامه: aliaeiini1346@gmail.com

چکیده

استفاده از فاضلاب در کشاورزی با چالش‌هایی مواجه است که می‌تواند بر کیفیت گیاه و خاک و همچنین سلامت انسان تأثیر منفی بگذارد؛ بنابراین این مسئله باید به‌صورت کنترل‌شده، با تصفیه مناسب و رعایت استانداردهای بهداشتی صورت گیرد. همچنین، باید از روش‌های جایگزین و پایدارتر برای آبیاری و تأمین مواد غذایی در کشاورزی استفاده کرد تا مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی کاهش یابند؛ بنابراین هدف اصلی این مقاله بررسی و شناسایی راهکارهای جلوگیری از استفاده فاضلاب‌ها جهت مصارف زراعت و سبزی‌کاری در شهرستان همدان است. روش تحقیق از نوع پیمایشی است که از ابزار مصاحبه و پرسشنامه برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است. جامعه آماری تحقیق کارشناسان و اساتید شهرستان همدان می‌باشند که تعداد ۲۶ نفر برای مصاحبه و ۸۰ نفر برای تکمیل پرسشنامه به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک روش تحلیل محتوا و استخراج مقوله‌ها، سپس اولویت‌بندی مقوله‌ها به کمک نرم‌افزار اس پی اس و پی ال اس بوده است. نتایج نشان داد راهکارهای جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع کشاورزی شهر همدان را می‌توان در ۸ عامل طبقه‌بندی کرد. این عوامل عبارت‌اند از: برخورد قانونی و قضایی، بازدید و نظارت مستمر، تأمین حبابه، افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها، ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری، ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب، آموزش و توجیه کشاورزان و سازوکارهای مدیریتی. همچنین نتایج بخش کمی نشان داد سه راهکار، برخورد قانونی و حقوقی، آموزش و ترویج و مدیریت و برنامه‌ریزی از نظر اهمیت در درجه اولویت بالاتری قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب کشاورزی، مدیریت آب، شهرستان همدان.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۰ بهمن ۱۴۰۲ اصلاح: ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۵ خرداد ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ تیر ۱۴۰۳

استناد: موحدی، ر.، پویا، م.، صرامی فروشانی، ت.، و آئینی، غ. (۱۴۰۳). راهکارهای جلوگیری استفاده کشاورزان از فاضلاب: مطالعه موردی سبزیکاران شهر همدان، مجله فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۴(۲)، ۹۳-۱۱۶. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.10559.1121



مقدمه

در سال‌های اخیر کمبود آب شیرین و تخلیه آب زیرزمینی، استفاده مجدد از فاضلاب در کشاورزی برای آبیاری محصولات، به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت منابع آب، موردتوجه قرار گرفته است (رضایی و سعادت، ۱۳۹۷، ورما و همکاران^۱، ۲۰۲۳، میشرا و همکاران^۲، ۲۰۲۳). بر اساس گزارش سازمان ملل متحد^۳ (۲۰۱۷) در برنامه ارزیابی جهانی آب یونسکو^۴، تقریباً در ۵۰ کشور جهان، از فاضلاب برای آبیاری در کشاورزی استفاده می‌شود. روزانه حدود ۱۵ میلیون مترمکعب آب بازیافتی برای آبیاری کشاورزی در سراسر جهان استفاده می‌شود (الگالال و همکاران^۵، ۲۰۱۶). استفاده از فاضلاب در کشاورزی تحت تأثیر عوامل متعددی است. اولاً، افزایش جمعیت جهانی و توسعه سریع صنعتی منجر به افزایش مصرف آب و کمبود و کاهش دسترسی به منابع آب شده است و نیاز به منابع آبی جایگزین نظیر استفاده از پسماندها و فاضلاب را ایجاد کرده است (لی^۶، ۲۰۲۳)، همچنین، فاضلاب حاوی مواد آلی و مواد مغذی است که می‌تواند حاصلخیزی خاک را افزایش دهد و عناصر ضروری برای رشد محصول را فراهم سازد (ریاض^۷، ۲۰۲۲، و چن^۸، ۲۰۲۳) بااین‌حال، چالش‌هایی نیز در ارتباط با استفاده از فاضلاب در کشاورزی وجود دارد، مانند وجود ترکیبات سمی و فلزات سنگین که می‌توانند بر کیفیت گیاه و خاک و همچنین سلامت انسان تأثیر منفی بگذارد (میشرا و همکاران، ۲۰۲۳، و ورما و همکاران، ۲۰۲۳).

نگرانی عمده استفاده از فاضلاب‌ها، آلودگی بالقوه محصولات و خاک با انگل‌های بیماری‌زا مانند ژیاوردیا، آسکاریس و تریچوریس است (امانکوه-یباو و همکاران^۹، ۲۰۲۳). این انگل‌ها اغلب در فاضلاب شناسایی شده‌اند و می‌توانند خطرات سلامتی را هم برای کشاورزان و هم برای مصرف‌کنندگان ایجاد کنند (میشرا و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، وجود مواد سمی، ازجمله فلزات سنگین، در فاضلاب می‌تواند بر جواهرزنی، رشد و عملکرد محصول تأثیر منفی بگذارد (امامید و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۳). درحالی‌که برخی مطالعات نشان داده‌اند که افزودن فاضلاب می‌تواند مواد آلی خاک و در دسترس بودن مواد مغذی را افزایش دهد، برخی دیگر کاهش عملکرد محصول را گزارش کرده‌اند (لی، ۲۰۲۳). همچنین، استفاده از فاضلاب در کشاورزی موضوع بحث بین مقامات دولتی و سیاست‌گذاران به دلیل نگرانی‌های مربوط به اثرات زیست‌محیطی، حاصلخیزی خاک و سلامت عمومی است (ریاض، ۲۰۲۲). ازاین‌رو، استفاده از فاضلاب در کشاورزی مستلزم بررسی دقیق مزایا و خطرات بالقوه آن و همچنین اجرای شیوه‌های تصفیه و مدیریت صحیح است.

استفاده از فاضلاب در کشاورزی، علی‌رغم مزایا و استفاده‌هایی که می‌تواند داشته باشد، ممکن است برخی مشکلات و مضرات نیز به همراه داشته باشد. برخی از مضرات محتمل استفاده از فاضلاب در کشاورزی:

آلودگی خاک و آب: فاضلاب حاوی مواد آلی، مواد مغذی و عناصر آلوده است. استفاده بی‌رویه از فاضلاب بدون تصفیه و کنترل ممکن است منجر به آلودگی خاک و آب زیرزمینی شود. این آلودگی می‌تواند به کاهش کیفیت خاک، افزایش آلودگی منابع آبی و ایجاد مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی منجر شود (میشرا و همکاران، ۲۰۲۳).

انتقال بیماری‌ها: فاضلاب شامل میکروب‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها است که ممکن است بیماری‌هایی مانند اسکاریس، تینیا، آمیبیازیس و... را به گیاهان و حیوانات و در نتیجه به انسان‌ها منتقل کند. عدم تصفیه مناسب فاضلاب و استفاده از آن برای آبیاری ممکن است به گسترش بیماری‌ها و افزایش خطرات بهداشتی منجر شود (امامید و همکاران، ۲۰۲۳).

تجمع عناصر سنگین: فاضلاب ممکن است حاوی عناصر سنگین مضر مانند سرب، کادمیوم، جیوه و روی باشد. استفاده بی‌رویه از فاضلاب بدون تصفیه و کنترل می‌تواند منجر به تجمع این عناصر سنگین در خاک و گیاهان شود. در نتیجه، این عناصر مضر می‌توانند وارد زنجیره غذایی شوند و خطرات بهداشتی را برای انسان‌ها ایجاد کنند (لی، ۲۰۲۳).

تغییر خاصیت خاک: استفاده مداوم از فاضلاب بدون تعادل و کنترل می‌تواند منجر به تغییر خاصیت خاک شود. افزایش غلظت مواد آلی و مواد مغذی در خاک ممکن است باعث افزایش تراکم و انباشت سطحی خاک و کاهش تهویه مناسب خاک شود. این مشکل

¹ Verma et al

² Mishra

³ UNDP

⁴ WWAP

⁵ Elgallal et al

⁶ Lee

⁷ Riaz

⁸ Chen

⁹ Amankwah-Yeboah et al

¹⁰ Amahmid et al

می‌تواند منجر به کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و افزایش نیاز به کودهای شیمیایی شود (امام‌مید و همکاران، ۲۰۲۳، و میسرا و همکاران، ۲۰۲۳).

مقاومت دارویی: استفاده از فاضلاب بدون تصفیه و کنترل آن، ممکن است باعث افزایش مقاومت دارویی در میکروب‌ها شود؛ زیرا فاضلاب حاوی آنتی‌بیوتیک‌ها و مواد ضدعفونی‌کننده است که می‌تواند باعث تشکیل سوپرباکتری‌ها (باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک) شود. این موضوع باعث می‌شود که درمان بیماری‌های مشابه در انسان‌ها به‌سختی‌تر و گاهی درمان آن نیز غیرممکن گردد (میاو و همکاران^۱، ۲۰۲۴، و نیانج و همکاران^۲، ۲۰۲۳).

تأثیرات زیست‌محیطی: استفاده از فاضلاب بدون تصفیه می‌تواند تأثیرات زیست‌محیطی منفی داشته باشد. افزایش غلظت مواد آلی و مواد مغذی در منابع آبی می‌تواند باعث رشد گسترده جلبک‌ها و گیاهان آبی شود که به پدیده‌ای به نام ازدیاد اکسیژن مصنوعی^۳ منجر می‌شود. این ازدیاد اکسیژن مصنوعی باعث کاهش محتوای اکسیژن آب، اختلال در تعادل زیستی آبزیان و کاهش تنوع زیستی می‌شود (میسرا و همکاران، ۲۰۲۳، و هیجراه و همکاران^۴، ۲۰۲۳).

به هر روی استفاده از پساب‌ها در مقایسه با آب‌های معمولی با مسائل فنی، اقتصادی و اجتماعی پیچیده‌تری روبرو است؛ بنابراین، استفاده از فاضلاب در کشاورزی باید به‌صورت کنترل‌شده، با تصفیه مناسب و رعایت استانداردهای بهداشتی صورت گیرد. همچنین، باید از روش‌های جایگزین و پایدارتر برای آبیاری و تأمین مواد غذایی در کشاورزی استفاده کرد تا مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی کاهش یابند. با در نظر گرفتن شرایط خشک اقلیمی ایران و کاهش بارندگی‌ها مخصوصاً در استان همدان، ضرورت استفاده بهینه از منابع آب و از جمله فاضلاب واضح و مبرم گردیده است. استفاده مستمر کشاورزان از پساب‌ها و عدم نظارت کافی بر نحوه مصرف آن و عدم برخورد با خاطیان سبب شده تا این موضوع علاوه بر به یک معضل زیست‌محیطی، به یک مشکل اجتماعی و فرهنگی نیز تبدیل گردد؛ بنابراین هدف اصلی در این مقاله بررسی و شناسایی راهکارهای جلوگیری از استفاده فاضلاب‌ها جهت مصارف زراعت و سبزی‌کاری در شهرستان همدان است.



شکل ۱. آبیاری مزارع سبزی‌کاری با فاضلاب شهری همدان

^۱ Miao et al

^۲ Niang et al

^۳ Eutrophication

^۴ Hijrah et al

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

استفاده از پساب برای آبیاری محصولات کشاورزی موضوع جدیدی نیست و در بسیاری از کشورهای در حال توسعه از جمله چین و مکزیک از فاضلاب خام برای کشاورزی و آبی‌پروری قرن‌هاست مورد استفاده قرار می‌گرفته است (رضایی و سعادت، ۱۳۹۷)، و حسین و همکاران^۱، ۲۰۰۲). در حال حاضر نیز در کشورهای همانند آمریکا، اسپانیا، استرالیا، فلسطین و... افزایش روزافزون داشته است (انگلاکس و سیندر، ۲۰۱۵). در ایران نیز از دوره صفویه از فضولات انسانی در اصفهان به‌عنوان کود در زمین‌های حاشیه شهر استفاده می‌شده است. همچنین فاضلاب بسیاری از خانه‌های شهری به نه‌رهای موسوم به مادی تخلیه می‌شده که برای آبیاری زمین‌ها استفاده می‌شدند (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا با افزایش بحران کمبود آب، بحث‌های مداوم در مورد چگونگی افزایش آب با استفاده از آب‌های غیرمتعارف که از منابع معمول آب‌های شیرین مانند باران و یا آب‌های سطحی و یا زیرزمینی به دست نمی‌آیند، وجود دارد. آب غیرمتعارف، منابعی نظیر فاضلاب (که حداقل یک‌بار مصرف شدند)، آب‌های شور و آب‌های زهکشی کشاورزی را شامل می‌گردد. با اینکه نمک‌زدایی آب‌های شور بسیار گران‌قیمت است، ولی بازهم این آب‌ها یک منبع غیرمتعارف برای استفاده در کشاورزی به شمار می‌رود. منظور از فاضلاب، آبی است که استفاده شده و شامل تمام مواد اضافه‌شده به آب در طول استفاده است. به عبارت دیگر، فاضلاب، آب مصرف‌شده‌ای است که خواص فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی آن به حدی تغییر کرده است که قابلیت مصرف در بهترین مورد خود را از دست داده است (شکوهی، ۱۳۹۶). همچنین پساب، به آبی اطلاق می‌گردد که پس از مراحل تصفیه از تصفیه‌خانه خارج شده و کیفیت آن نسبت به فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه تغییر کرده باشد. فاضلاب ممکن است شامل انواع آلاینده‌های معدنی، آلی و سمی مقاوم به تصفیه باشد که با ورود آن به محیط‌زیست و تماس با منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و خاک‌ها، آلودگی آن‌ها را به دنبال دارد و در صورت استفاده انسان از این منابع، خطر گسترش بیماری‌های مختلف افزایش خواهد یافت. این عوامل علاوه بر خطرهای مستقیمی که بر بهداشت عمومی دارند، نتایجی از قبیل ایجاد مناظر زشت، تولید بوهای ناخوشایند و افزایش جمعیت حشرات ناقل مانند پشه‌ها و مگس‌ها را نیز به همراه خواهند داشت. با استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی، علاوه بر کاهش این خطرات می‌توان در مصرف آب شیرین نیز صرفه‌جویی کرد و همچنین مواد کودی موجود در پساب‌ها، باعث حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی می‌شود که در نهایت صرفه‌جویی اقتصادی را در پی خواهد داشت (کاکاوندی و همکاران، ۱۳۹۰).

در سراسر جهان، تنها حدود ۶۰ درصد از منابع قابل استفاده آب مصرف می‌شود و ۴۰ درصد به شکل آب مصرف نشده به چرخه هیدرولوژیکی برمی‌گردد. به‌خصوص در کشورهای کم‌آب در این منطقه، سرمایه‌گذاری در استفاده مجدد از فاضلاب‌های تصفیه‌شده و آب‌های زهکشی می‌تواند کمبود آب را کاهش دهد. در مواردی که کمبود آب بسیار شدید است و تقاضا برای کشاورزی بسیار زیاد است، استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده (که غنی از مواد مغذی است) می‌تواند راهی برای جبران کمبود آب باشد (افکاری و ناسوتی، ۱۳۹۷). به‌طور مثال در سلطان‌نشین عمان^۲ منابع متعارف آب (شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی) حدود ۸۷ درصد از منابع آب کشور را تشکیل می‌دهند و ۱۳ درصد مابقی از منابع آب غیرمتعارف تأمین می‌شود. سازمان فائو^۳ سیستم کم‌هزینه‌ای را برای تصفیه استفاده مجدد از فاضلاب در الجزایر، مراکش، تونس و مصر با تالاب‌های ساخته‌شده و یا تأسیسات تصفیه فاضلاب ساده راه‌اندازی کرده است. در مصر، فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری جنگل‌ها استفاده شده و در طول یک برنامه مدیریت جنگلداری، تولید چوب را به‌طور محلی در طول دو دهه افزایش داده است. در مراکش، پساب تصفیه‌شده به‌عنوان قسمتی از کود مورد نیاز برای کمر بند سبز اطراف مراکش استفاده می‌شود. در الجزایر، تالاب‌های ساخته‌شده برای حل مشکل عظیم آلودگی‌های فاضلاب در وادی‌ها توسعه یافتند (افکاری و ناسوتی، ۱۳۹۷).

بنابراین، استفاده از آب فاضلاب برای آبیاری و استفاده در کشاورزی، بسته به منطقه جغرافیایی ممکن است مفید یا مضر باشد و تحقیقات فراوانی در این زمینه انجام شده است. مطالعه محمدی و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد، بیماری‌هایی نظیر هپاتیت‌های عفونی، اسهال‌ها، انگل‌های روده‌ای و سایر انواع بیماری‌هایی که به دلیل آلودگی محیط ناشی از دفع نادرست

¹ Hussain

² Sultanate of Oman

³ FAO

فاضلاب‌ها می‌باشند، در شهرهای مختلفی از ایران شیوع پیدا کرده است. بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و وجود نیتрат بیش‌ازاندازه در آب‌های زیرزمینی و آلودگی سبزی‌کاری در برخی از مناطق، بر اثر آبیاری با فاضلاب‌ها، نمونه‌هایی از این قبیل مسائل هستند که سال‌به‌سال حادث شده و هرچه دیرتر اقدام مؤثر صورت گیرد، مشکلات بزرگ‌تر خواهد بود.

رضایی و سعادت (۱۳۹۷) استفاده از فاضلاب و پساب در کشاورزی را بایستی به‌عنوان بخشی از مدیریت یکپارچه پسماندها نگریست. مدیریت تلفیقی پایدار پسماند (ISWM) مدیریتی است که در آن سه بعد: ۱- همه عناصر سیستم پسماند، ۲- همه ذینفعان دخیل و ۳- همه جنبه‌های پایداری (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و...) یکپارچه می‌شوند. بر اساس یافته‌های شایگان و افشاری (۱۳۸۳) در صورت تکمیل تصفیه‌خانه‌ها حدود ۵۰۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی با آب پساب قابل آبیاری خواهد بود. سلیمانی و همکاران^۱ (۲۰۲۳)، به ارزیابی خطر اکولوژیکی و تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی آبیاری شده با پساب تصفیه فاضلاب، آب رودخانه و آب چاه به همراه کودهای شیمیایی پرداختند. نتیجه به‌دست‌آمده بیانگر این بود که غلظت کم فلزات سنگین و وجود عناصر غذایی در پساب فاضلاب تصفیه‌شده این منبع را به مناسب‌ترین منبع آبیاری تبدیل می‌کند زیرا نیاز کشاورزان به کودهای شیمیایی را از بین می‌برد و فلزات سنگین کمتری را به خاک وارد می‌کند.

یو و همکاران^۲ (۲۰۱۵) دریافتند که چین با این که در حدود یک‌پنجم از جمعیت جهان را به خود اختصاص داده اما کمتر از ۶ درصد از کل منابع آبی جهان را در اختیار دارد. این کشور در مدیریت منابع آبی خود با چالش‌های جدی به‌ویژه در مناطق روستایی مواجه است. در این مطالعه بحران آب در مناطق روستایی شامل تأمین آب آشامیدنی، تصفیه فاضلاب، تأمین آب برای مصارف کشاورزی، نگرانی‌های زیست‌محیطی و درنهایت سیستم اداری منابع آب موردبررسی و مطالعه قرار گرفته است. برای حل بحران آب در مناطق روستایی، از اصلاحات نهادی، تجدیدنظر در مقررات، ابزارهای اقتصادی، فناوری‌های جدید و ظرفیت‌سازی بهره گرفته شده است. برخی مطالعات به بررسی تأثیر استفاده از پساب بر عملکرد گیاهان پرداخته‌اند (صفاری و همکاران، ۱۳۸۷، مرویلی و همکاران، ۱۳۸۸، علی خاصی و کوچک زاده، ۱۳۸۹، بدیعی و همکاران، ۱۳۹۵، و مؤمنی و قاسمی، ۱۳۹۶). برخی از پژوهش‌ها چگونگی استفاده از پساب تصفیه‌شده را موردبررسی قرار داده‌اند (ملکی نژاد و پورمحمدی، ۱۳۸۷، شاکری و رخشانی نسب، ۱۳۹۷، مرآت، ۱۳۸۹، صفایی و بیگی، ۱۳۹۰، منجزی و همکاران، ۱۳۹۰، آقاخانی و همکاران، ۱۳۹۲، و ابراهیم و همکاران^۳، ۲۰۱۸). بعضی از پژوهش‌ها نیز به بررسی برآورد ارزش اقتصادی کاربرد پساب تصفیه‌خانه فاضلاب جهت آبیاری اراضی کشاورزی با استفاده از روش‌های اقتصاد مهندسی پرداخته‌اند (دری و همکاران، ۱۳۹۴، ملک جعفریان و محسنی، ۱۳۹۴، حیدریان و رشید زاده، ۱۳۸۸، محمدی و خاشعی سیوکی، ۱۳۹۲، صادقی و همکاران، ۱۳۹۵، صراف زاده، ۱۳۹۶، دی ول و همکاران^۴، ۲۰۱۷، و اپاریسیو و همکاران^۵، ۲۰۱۸). علاوه براین در زمینه استفاده از فاضلاب و اثرات آن از جهت کیفیت خاک و سلامت محصول در تحقیقات مختلفی موردتوجه قرار گرفته است که ازجمله آن‌ها می‌توان به استان‌ها و مناطق اصفهان (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲، نجفی و همکاران، ۱۳۸۶، و روحانی شهرکی و همکاران، ۱۳۸۴)، تهران (ملاحسینی و بغوری، ۱۳۸۱)، قزوین (مستشاری و همکاران، ۱۳۸۱)، شهرکرد (بهبهانی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹)، بهبهانی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰، و مرادمند و همکاران، ۱۳۸۸)، کرمانشاه (میرزایی تختگاهی و قمرنیا، ۱۳۹۷، میرزایی تختگاهی و همکاران، ۱۳۹۵، فرمانی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۶) اشاره نمود.

روش پژوهش

استان همدان با وسعت حدود ۱۹۴۹۳ کیلومترمربع حدود ۲/۱٪ از کل مساحت کشور را دربر می‌گیرد و از لحاظ وسعت بیستمین استان کشور است. بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است و جزء استان‌های غربی ایران است. از شمال به استان زنجان و از جنوب به

¹ Soleimani et al

² Yu et al

³ Ibrahim et al

⁴ Divel et al

⁵ Aparisyun et al

هدف اصلی در این مقاله بررسی و شناسایی راهکارهای جلوگیری از استفاده فاضلاب جهت مصارف زراعت و سبزی‌کاری در شهرستان همدان است. روش تحقیق از نوع پیمایشی است که از ابزار مصاحبه و پرسشنامه برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است. جامعه آماری تحقیق کارشناسان و اساتید شهرستان همدان می‌باشند که تعداد ۲۶ نفر برای مصاحبه و ۸۰ نفر برای تکمیل پرسشنامه به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک روش تحلیل محتوا و استخراج مقوله‌ها، سپس تحلیل ساختاری اولویت‌بندی مقوله‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS و Smart PLS.3 و محاسبه میانگین‌ها بوده است.

این پژوهش در سه مرحله انجام شده است. در مرحله اول شامل گردآوری داده‌های ثانویه با روش اسنادی و کتابخانه‌ای صورت پذیرفت. در مرحله دوم جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها در بخش کیفی با تحلیل محتوا و انجام عملیات کدگذاری و استخراج مقوله‌ها انجام شد. از این رو، در این بخش، اطلاعات از طریق انجام مصاحبه و استفاده از نظرات متخصصین و کارشناسان جمع‌آوری شد. در مرحله سوم با استفاده از ابزار پرسشنامه کارشناسان، راهکارهای مربوط به جلوگیری از استفاده فاضلاب در کشاورزی بررسی و اولویت‌بندی شد.

یافته‌ها

نتایج تحلیل محتوای مصاحبه‌ها

الف) نتایج تحلیل مصاحبه‌های کارشناسان: در این مرحله راهکارهای جلوگیری از استفاده از فاضلاب در آبیاری مزارع توسط کشاورزان مورد پرسش قرار گرفت. در ابتدا مصاحبه‌ها از حالت شفاهی به نوشتاری تبدیل شد، سپس با مرور دقیق محتوای مصاحبه‌ها، کدهای اولیه استخراج شده و سرانجام برحسب مشابهت مفهومی مقوله‌های فرعی و اصلی استخراج شدند. در جدول (۱) نتایج مرحله اول استخراج کدها (کدهای اولیه) نشان داده شده است.

جدول ۱. استخراج کدهای اولیه مصاحبه‌ها درباره پیشنهاد های جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع (کارشناسان)

مصاحبه	کدهای اولیه
۱	استفاده از بازیافت آب فاضلاب و ایجاد تصفیه‌خانه‌هایی برای تصفیه آب - استفاده از تجربه‌ی سایر کشورها که از آب تصفیه‌شده حتی در بخش صنعت و مصارف خانگی استفاده می‌کنند.
۲	بازدید مستمر از سبزیکارها از طریق اجرای هماهنگ برنامه‌ها توسط کارشناسان جهاد کشاورزی با مرکز بهداشت - تحت کنترل قرار دادن مزارع آلوده و نظارت بر آن‌ها - معرفی کشاورزان متخلف به سازمان‌های متولی - عدم ارائه یارانه‌ی کود، سم و بذر به کشاورز متخلف - معرفی کشاورزانی که از آب سالم استفاده می‌کنند جهت دریافت تسهیلات - تمایز قائل شدن بین کشاورزان متخلف و کشاورزان درستکار
۳	اطلاع‌رسانی و آگاهی بخشی به کشاورزان در خصوص عدم استفاده از فاضلاب خام - برخورد قاطع و محکم آب و فاضلاب با کشاورزان متخلف
۴	استفاده از پساب تصفیه‌شده برای آبیاری مزارع
۵	استفاده از پساب (آبی که فرمولاسیون آن در حد آب شرب رسیده باشد) - ایجاد شهرک‌های سبزی‌کاری برای سبزی‌کاران و در اختیار قرار دادن پساب تصفیه‌شده برای آن‌ها - تعیین یارانه و سهمیه کود و نهاده‌های کشاورزی برای سبزی‌کاران در شهرک‌های سبزی‌کاری
۶	معرفی کشاورزان متخلف به دادگاه - اصلاح قوانین در زمینه برخورد قاطع با کشاورزان متخلف - افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها در سطح استان به منظور تصفیه فاضلاب - احداث تصفیه‌خانه‌ها در دو یا سه نقطه استراتژیک - احداث تصفیه‌خانه‌ها در بالادست مزارع کشاورزی به منظور کاهش هزینه‌های انتقال آب - مشارکت، هماهنگی و همکاری بین دولت، بخش خصوصی و مردم محلی - مشارکت سازمان جهاد کشاورزی با سازمان بهداشت، دادگاه و فرمانداری به منظور جلوگیری از بهره‌برداری فاضلاب خام توسط کشاورزان
۷	پوشش کانال‌های انتقال فاضلاب به تصفیه‌خانه و جلوگیری از سو استفاده کشاورزان - عدم تخلیه فاضلاب در مسیرهایی که قبلاً رودخانه یا چشمه بوده است - کشت محصول بر اساس منابع آبی موجود و در دسترس - خریداری چاه کشاورزان توسط دولت و جایگزین نمودن آن با پساب تصفیه‌شده فاضلاب
۸	آموزش و ترویج در راستای به‌کارگیری راهکارها - جلوگیری از انتقال و انتشار فاضلاب به زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی - هدایت فاضلاب به تصفیه‌خانه‌ها
۹	آموزش کشاورزان و هشدار دادن به آن‌ها در خصوص استفاده از فاضلاب جهت حفظ سلامت عمومی - نظارت مستمر گروه‌های بازرسی جهت نظارت بر کشاورزان که از آب فاضلاب استفاده نکنند - توقیف دستگاه‌هایی که از خطوط انتقال فاضلاب به صورت غیرقانونی برداشت می‌کنند

ادامه جدول ۱. استخراج کدهای اولیه مصاحبه‌ها درباره پیشنهاد‌های جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع (کارشناسان)

مصاحبه	کدهای اولیه
۱۰	جدا سازی فاضلاب از مسیرهای قدیمی حق آبه ها- آموزش و توجیه کشاورزان مبنی بر مضرات آبیاری مزارع با فاضلاب اعم از مشکلات بهداشتی، شرعی و قانونی
۱۱	آموزش و اطلاع رسانی به کشاورزان در خصوص مضرات استفاده از فاضلاب- قطع فاضلاب ورودی به منابع آب پاک- برخورد قهری مناسب با متخلفین که از فاضلاب برداشت می کنند
۱۲	توجیه کشاورزان در خصوص مسائل و معضلات بهداشتی استفاده از فاضلاب- تأمین حقا به جایگزین برای کشاورزان - معرفی گونه های مقاوم به کم آبی و خشکی- برخورد قانونی و قضایی با کشاورزانی که برداشت غیرقانونی دارند
۱۳	استفاده از ظرفیت قانونی برای جلوگیری از این کار- تأمین حقا به رودخانه ها و قنات ها به طوری که در برخی رودخانه ها فاضلاب جایگزین نشود- اصلاح شبکه های فاضلاب شهری و متتهی کردن آن ها به تصفیه خانه ها
۱۴	استفاده از بازیافت آب فاضلاب و ایجاد تصفیه خانه هایی برای تصفیه آب
۱۵	آگاهی بخشی به کشاورزان در خصوص مضرات فاضلاب- برچسب زدن بر محصولات که با فاضلاب آبیاری شده اند- کنترل مزارع عرضه سبزی ها- استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری مزارع
۱۶	مدیریت و پوشش کانال های فاضلاب جهت عدم دسترسی کشاورزان به آب فاضلاب
۱۷	برخورد قاطع و جدی با متخلفین

در مرحله دوم به استخراج مقوله های فرعی و اصلی پرداخته، در این قسمت تعداد ۸ مقوله اصلی حاصل از اشتراک معنایی کدهای اولیه استخراج شد. نتایج در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲. استخراج مقوله های فرعی درباره راهکارهای جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع

مقوله اصلی	مقوله فرعی
	استفاده از ظرفیت قانونی نهادها (کلیه ارگان های متولی باید فعالیت کنند).
	معرفی کشاورز متخلف به سازمان های متولی
	برخورد قاطع و محکم آب و فاضلاب با کشاورزان متخلف
	اصلاح قوانین در زمینه برخورد قاطع با کشاورزان متخلف
برخورد قانونی و قضایی مناسب با کشاورزانی که برداشت غیرقانونی دارند	
	توقیف دستگاه هایی که از خطوط انتقال فاضلاب به صورت غیرقانونی برداشت می کنند
	مشارکت سازمان جهاد کشاورزی با سازمان بهداشت، دادگاه و فرمانداری به منظور جلوگیری از بهره برداری از فاضلاب خام توسط کشاورزان
	عدم ارائه یارانه ی کود، سم و بذر به کشاورز متخلف و محروم کردن وی از خدمات

ادامه جدول ۲. استخراج مقوله‌های فرعی درباره راهکارهای جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع

مقوله اصلی	مقوله فرعی
بازدید و نظارت مستمر	بازدید مستمر از سبزیکارها از طریق اجرای هماهنگ برنامه‌ها توسط کارشناسان جهاد کشاورزی با مرکز بهداشت تحت کنترل قرار دادن مزارع آلوده و نظارت بر آنها نظارت مستمر تیم‌های بازرسی جهت نظارت بر کشاورزان که از آب فاضلاب استفاده نکنند (برداشت غیرقانونی) تصفیه نمودن آب فاضلاب طبق استانداردهای جهانی استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب به‌عنوان منبع جایگزین برای پساب شهری و زهکش مزارع افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها در سطح استان به‌منظور تصفیه فاضلاب احداث تصفیه‌خانه‌ها در دو یا سه نقطه استراتژیک احداث تصفیه‌خانه‌ها در بالادست مزارع کشاورزی به‌منظور کاهش هزینه‌های انتقال آب استفاده از تجربه‌ی سایر کشورها که از پساب تصفیه‌شده فاضلاب حتی در بخش صنعت و مصارف خانگی (به‌جز شرب) استفاده می‌کنند. اصلاح شبکه‌های فاضلاب شهری و متهمی کردن آنها به تصفیه‌خانه‌ها ایجاد شهرک‌های سبزی‌کاری برای سبزی‌کاران و در اختیار قرار دادن پساب تصفیه‌شده برای آنها تعیین یارانه و سهمیه کود و نهاده‌های کشاورزی برای سبزی‌کاران در شهرک‌های سبزی‌کاری ارائه تسهیلات مالی کم‌بهره به تولیدکنندگان شهرک‌های سبزی‌کاری ارائه خدمات فنی و مشاوره‌ای رایگان به سبزی‌کاران در شهرک‌های سبزی‌کاری پوشش کانال‌های انتقال فاضلاب به تصفیه‌خانه و جلوگیری از سو استفاده کشاورزان قطع فاضلاب ورودی به منابع آب پاک جداسازی فاضلاب از مسیرهای قدیمی حق آبه‌ها عدم تخلیه فاضلاب در مسیرهایی که قبلاً رودخانه یا چشمه بوده است آگاهی دادن به کشاورزان در خصوص خطرات استفاده از فاضلاب خام به‌خصوص در زمینه از بین رفتن سلامت عمومی مردم آموزش در خصوص توجیه کشاورزان مبنی بر مضرات آبیاری مزارع با فاضلاب اعم از مشکلات بهداشتی شرعی، اخلاقی و قانونی توجیه کشاورزان در خصوص مسائل و معضلات بهداشتی استفاده از فاضلاب در تولید محصول معرفی گونه‌های مقاوم به کم‌آبی و خشکی به کشاورزان خریداری چاه کشاورزان توسط دولت و جایگزین نمودن آن با پساب تصفیه‌شده فاضلاب تأمین حقابه‌های رودخانه‌ها و قنات‌ها به‌طوری‌که در برخی رودخانه‌ها فاضلاب جایگزین نشود تأمین حقابه جایگزین برای کشاورزان معرفی کشاورزانی که از آب سالم استفاده می‌کنند جهت دریافت تسهیلات تمایز قائل شدن بین کشاورزان متخلف و کشاورزان درستکار انتخاب کشاورزانی که از آب سالم استفاده می‌کنند به‌عنوان کشاورز نمونه
افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها	
ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری	
ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب	
تأمین حقابه	
سازوکارهای تشویقی	

ب) نتایج تحلیل مصاحبه‌های اعضای هیئت علمی دانشگاه: در این مرحله راهکارهای جلوگیری از استفاده از فاضلاب در آبیاری مزارع توسط کشاورزان از اساتید دانشگاه مورد پرسش قرار گرفت. در ابتدا مصاحبه‌ها از حالت شفاهی به نوشتاری تبدیل شده سپس با مرور دقیق محتوای مصاحبه‌ها، کدهای اولیه استخراج و سپس برحسب مشابهت مفهومی مقوله‌های فرعی و اصلی استخراج شدند. در جدول (۳) نتایج مرحله استخراج مقوله‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳. استخراج مقوله‌های فرعی راهکارهای جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع

مقوله اصلی	مقوله فرعی
تأمین حقابه کشاورزان	ضرورت تأمین حقابه کشاورزان
	در اختیار قرار دادن آب برای کشاورزان
	رفع تأمین آب کافی و مشکل کمیت آب
	در دسترس قرار دادن آب‌های تمیز و سالم و پساب تصفیه شده وقتی کشاورز نیاز داشته باشد به هر طریقی استفاده می‌کند.
احداث تصفیه‌خانه	ایجاد تصفیه‌خانه‌ها
	تصفیه مجدد و استفاده دوباره از آب‌ها
	استفاده از آب‌های بازیافتی به دلیل محدودیت منابع آب
	تصفیه و بهره‌برداری مجدد از آب‌های نامتعارف تصفیه آب‌های جمع شده قرار گرفتن فاضلاب‌ها در روند تصفیه استفاده از آب‌های تصفیه شده برحسب کیفیت تصفیه تصفیه فاضلاب همدان برای استفاده در نیروگاه
استفاده و کاربرد جایگزین	کشت گیاهان با توانایی جذب مواد مضر
	کشت گیاهانی خارج از تغذیه انسان و دام
	استفاده از آب‌های نامرغوب در کشت چوب و زراعت چوب
	استفاده در جاهایی مثل فضای سبز شهری
آزاد و در دسترس بودن فاضلاب‌ها	وجود و در دسترس بودن فاضلاب
	عدم اجازه توسط سیستم به استفاده از فاضلاب
	عبور فاضلاب به صورت باز از شهر
	ایجاد سیستم تیپ در روستاها دستگاه‌های تصفیه فاضلاب
استفاده از تکنولوژی	طراحی و ساخت دستگاه تصفیه آب فاضلابی توسط دانشکده
	تشویق به استفاده از دستگاه‌های تصفیه
	استفاده از تکنولوژی‌های جدید
	نظارت بر تکنولوژی سیستم تصفیه اعطای دستگاه‌های تصفیه فاضلاب
اعطای تسهیلات	اعطای وام
	اختصاص منابع برای تصفیه و جمع‌آوری فاضلاب‌ها

ادامه جدول ۳. استخراج مقوله‌های فرعی راهکارهای جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع

مقوله اصلی	مقوله فرعی
مدیریت	مدیریت آب در همه جنبه‌ها اصلاح مدیریت آب مدیریت آب‌های فاضلاب به دلیل خطرناک بودن نمایش فیلم درباره آثار آب‌های آلوده ترویج و آموزش کشاورزی اصلاح باورهای غلط کشاورزان (بعضی از کشاورزان اعتقاد دارند که این آب‌ها به زمین و رشد گیاه کمک می‌کند)
آموزش و آگاه‌سازی	آگاه‌سازی و فرهنگ‌سازی آگاه‌سازی جامعه و کشاورزان اطلاع‌رسانی کشاورزان از خطرات آب‌های آلوده اولویت اول آموزش است
برنامه‌ریزی	اعمال برنامه‌ریزی‌های درست و صحیح - استفاده از برنامه ریزان مجرب - تصمیم‌گیری‌های درست.
حمایت و پشتیبانی	حمایت‌های دولت و سازمان‌های مرتبط - حمایت شرکت آب و فاضلاب
زیرساخت‌های فنی	فراهم کردن زیرساخت - خریداری تجهیزات مدرن
برخورد قانونی	برخوردهای قانونی و شدید - جلوگیری از حفر چاه‌های غیرقانونی استفاده از قوه قهریه
نظارت و کنترل	استفاده از اهرم‌های نظارتی و تنبیهی - لزوم نظارت همه‌جانبه توسط سازمان‌های مربوطه
مشارکت و هم‌فکری همه	همکاری بین دستگاه‌های مسئول سازمان جهاد کشاورزی و مراکز بهداشت مانند علوم پزشکی همدان، مراکز برنامه ریزی و تحقیقاتی و استانداری بابرگزاری جلسات متعدد
اقتشار و نهادها	برگزاری جلسات، مطالعات و جمع‌آوری نظرات و راهکارهای مختلف - دعوت از کشاورزان در جلسات جهت رفع مشکلات

درنهایت با مقایسه مقوله‌های استخراجی از مصاحبه‌های کارشناسان و مصاحبه‌های اساتید تعداد ۸ مقوله اصلی مشترک شناسایی شدند که در جدول (۴) بیان شده‌اند.

جدول ۴. استخراج مقوله‌های اصلی مشترک بین نظرات کارشناسان و اساتید

مقوله اصلی کارشناسان	مقوله اصلی اساتید	مقوله اصلی اشتراکی
تأمین حقابه	تأمین حقابه کشاورزان	تأمین حقابه
افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها	احداث تصفیه‌خانه	افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها
برخورد قانونی و قضایی	برخورد قانونی	برخورد قانونی و قضایی
ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب	نظارت و کنترل	ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب
ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری	استفاده از تکنولوژی، زیرساخت‌های فنی	ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری
سازوکارهای تشویقی	حمایت و پشتیبانی	بازدید و نظارت مستمر
بازدید و نظارت مستمر	مدیریت و برنامه‌ریزی	مدیریت و برنامه‌ریزی
آموزش و توجیه کشاورزان	آموزش و آگاه‌سازی	آموزش و توجیه کشاورزان
مشارکت و همفکری همه اقشار و نهادها		

ج) نتایج مربوط به توصیف ویژگی‌های فردی کارشناسان

نتایج آمار توصیفی نشان داد که بیشتر شرکت‌کنندگان در پژوهش از نظر ویژگی سن، ۳۲/۹ درصد (۲۶ نفر) از پاسخگویان در فاصله سنی ۳۱ تا ۴۰ سال، ۳۱/۶ درصد (۲۵ نفر) در فاصله سنی ۴۱ تا ۵۰ سال و ۲۶/۶ درصد (۲۱ نفر) بالاتر از ۵۱ سال، و ۸/۹ درصد (۷ نفر) بین کمتر از ۳۰ سال سن داشتند و میانگین سنی پاسخگویان ۳۴ سال است. از نظر جنسیت پاسخگویان ۳۸ درصد خانم و ۶۲ درصد مرد می‌باشند. از نظر ویژگی تحصیلات ۳/۸ درصد (۳ نفر) فوق‌دیپلم، ۲۷/۸ درصد (۲۲ نفر) لیسانس، ۵۹/۵ درصد (۴۷ نفر) فوق‌لیسانس و ۸/۹ درصد (۷ نفر) دارای تحصیلات دکتری می‌باشند. از نظر محل خدمت، ۵۳/۲ درصد (۴۲ نفر) از سازمان جهاد کشاورزی، ۲۶/۶ درصد (۲۱ نفر) از سازمان آب منطقه‌ای، ۲۰/۳ درصد (۱۶ نفر) سازمان منابع طبیعی می‌باشند که در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵. ویژگی‌های فردی کارشناسان و مسئولان

متغیر	سن		متغیر	تحصیلات		متغیر	جنسیت	
	فراوانی	درصد		فراوانی	درصد		فراوانی	درصد
۳۰ سال و کمتر	۷	۸/۹	فوق‌دیپلم	۳	۳/۸	زن	۳۰	۳۸
۳۱ تا ۴۰ سال	۲۶	۳۲/۹	لیسانس	۲۲	۲۷/۸	مرد	۴۹	۶۲
۴۱ تا ۵۰ سال	۲۵	۳۱/۶	فوق‌لیسانس	۴۷	۵۹/۵			
۵۱ سال و بالاتر	۲۱	۲۶/۶	دکتری	۷	۸/۹			
مجموع	۷۹	۱۰۰	مجموع	۷۹	۱۰۰	مجموع	۷۹	۱۰۰
متغیر	سابقه خدمت		متغیر	محل خدمت		متغیر	سمت سازمانی	
	فراوانی	درصد		فراوانی	درصد		فراوانی	درصد
کمتر از ۱۰ سال	۲۶	۳۲/۹	سازمان منابع طبیعی	۱۶	۲۰/۳	کارمند	۶۹	۸۷/۳
۱۱ تا ۲۰ سال	۲۵	۳۱/۶	سازمان آب منطقه‌ای	۲۱	۲۶/۶	رئیس	۱۰	۱۲/۷
۲۱ تا ۳۰ سال	۲۵	۳۱/۶	سازمان جهاد کشاورزی	۴۲	۵۳/۲			
۳۱ سال و بالاتر	۳	۳/۸						
مجموع	۷۹	۱۰۰	مجموع	۷۹	۱۰۰			

د) اولویت‌بندی راهکارهای جلوگیری کشاورزان در استفاده از آب فاضلاب در آبیاری مزارع

به‌منظور اولویت‌بندی راهکارهای لازم در جلوگیری از استفاده از آب فاضلاب در آبیاری مزارع توسط کشاورزان مقوله‌های مشترک استخراجی از بخش مصاحبه‌ها شامل برخورد قانونی و قضایی، بازدید و نظارت مستمر، افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها، ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری، ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب، آموزش و توجیه کشاورزان، تأمین حبابه، مدیریت و برنامه‌ریزی، موردسنجش و مطالعه قرار گرفت. در ادامه هریک از بخش‌ها و زیر بخش‌ها به تفکیک مورد ارزیابی و بررسی قرار می‌گیرد.

۱) برخورد قانونی و قضایی: به‌منظور بررسی شاخص برخورد قانونی و قضایی از دیدگاه کارشناسان از ۷ گویه استفاده شد.

همان‌طور که نتایج جدول (۶) مشاهده می‌شود میانگین همه گویه‌های بررسی‌شده مقدار بالاتر از میانگین است و به‌طور کلی با توجه به نتایج ضریب تغییرات گویه‌های « استفاده از ظرفیت قانونی کلیه ارگان‌های متولی » و « معرفی کشاورز متخلف به سازمان‌های متولی » در رتبه اول و دوم به‌عنوان راهکار برخورد قانونی در استفاده از آب فاضلاب در کشاورزی شناسایی شدند.

جدول ۶. نتایج شاخص برخورد قانونی و قضایی از دیدگاه کارشناسان

عامل	گویه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
برخورد قانونی	استفاده از ظرفیت قانونی کلیه ارگان های متولی	۳.۹۷	۰.۹۴۷	۰.۲۳	۱
	معرفی کشاورز متخلف به سازمان های متولی	۳.۹۰	۰.۹۴۲	۰.۲۴	۲
	توقیف دستگاه هایی که از خطوط انتقال فاضلاب به صورت غیرقانونی برداشت می کنند	۳.۸۲	۰.۹۹	۰.۲۵	۳
	اصلاح قوانین در زمینه برخورد قاطع با کشاورزان متخلف	۳.۹۹	۱.۰۵	۰.۲۶	۴
	برخورد قاطع و محکم توسط آب و فاضلاب با کشاورزان متخلف	۳.۸۷	۱.۰۶	۰.۲۷	۵
	محروم کردن کشاورزان متخلف از خدمات (عدم ارائه کود، سم و بذر)	۳.۹۰	۱.۱۲	۰.۲۸	۶
	مشارکت سازمان های دولتی (جهاد کشاورزی و سازمان بهداشت و...) به منظور جلوگیری از بهره برداری از فاضلاب توسط کشاورزان	۳.۸۶	۱.۱۲	۰.۲۹	۷

مقیاس طیف لیکرت (۱= خیلی کم، ۲= کم، ۳= متوسط، ۴= زیاد، ۵= خیلی زیاد)

۲) **بازدید و نظارت مستمر:** به منظور بررسی شاخص بازدید و نظارت مستمر از دیدگاه کارشناسان از ۳ گویه استفاده شد. همان طور که نتایج جدول (۷) مشاهده می شود میانگین همه گویه های بررسی شده مقدار بالاتر از میانگین است و به طور کلی با توجه به نتایج ضریب تغییرات گویه « کنترل و نظارت بر مزارع آلوده و معدوم سازی » در رتبه اول به عنوان راهکار بازدید و نظارت بر استفاده از آب فاضلاب در کشاورزی شناسایی شدند.

جدول ۷. نتایج شاخص بازدید و نظارت از دیدگاه کارشناسان

عامل	گویه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
بازدید و نظارت مستمر	کنترل و نظارت بر مزارع آلوده و معدوم سازی	۳.۹۵	۱.۰۶	۰.۲۶	۱
	بازدید مستمر از مزارع سبزی کاری با هماهنگی کارشناسان جهاد کشاورزی و مرکز بهداشت	۳.۹۰	۱.۰۶	۰.۲۷	۲
	تقویت تیم های بازرسی و نظارت جهت جلوگیری از استفاده کشاورزان از آب فاضلاب	۳.۹۹	۱.۱۶	۰.۲۹	۳

۳) **افزایش تعداد تصفیه خانه ها:** به منظور بررسی شاخص افزایش تعداد تصفیه خانه ها از دیدگاه کارشناسان از ۵ گویه استفاده شد. همان طور که نتایج جدول (۸) مشاهده می شود میانگین همه گویه های بررسی شده مقدار بالاتر از میانگین است و به طور کلی با توجه به نتایج ضریب تغییرات گویه « تجهیز و استاندارد کردن تصفیه خانه ها » در رتبه اول به عنوان راهکار افزایش تعداد تصفیه خانه ها بر استفاده از آب فاضلاب در کشاورزی شناسایی شدند.

جدول ۸. نتایج شاخص افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها از دیدگاه کارشناسان

عامل	گویه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
۱ توسعه تصفیه‌خانه‌ها	تجهیز و استاندارد کردن تصفیه‌خانه‌ها	۴.۱۶	۰.۸۹	۰.۲۱۳	۱
	تأمین سرمایه‌گذاری‌های لازم جهت افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها در سطح استان	۴.۱۸	۰.۹۱	۰.۲۱۷	۲
	اصلاح شبکه‌های فاضلاب شهری و منتهی کردن آن‌ها به تصفیه‌خانه‌ها	۴.۱۶	۰.۹۲	۰.۲۲۱	۳
	مکان‌یابی مناسب احداث تصفیه‌خانه‌ها در بالادست مزارع کشاورزی به‌منظور کاهش هزینه‌های انتقال آب	۴.۰۵	۰.۹۱	۰.۲۲۴	۴
	استفاده از تجربه سایر کشورها از پساب تصفیه‌شده فاضلاب	۴.۰۵	۱.۰۲	۰.۲۵۱	۵

۴) **ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری:** به‌منظور بررسی شاخص ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری از دیدگاه کارشناسان از ۴ گویه استفاده شد. همان‌طور که نتایج جدول (۹) مشاهده می‌شود میانگین همه گویه‌های بررسی‌شده مقدار بالاتر از میانگین است و به‌طورکلی با توجه به نتایج ضریب تغییرات گویه‌های « ارائه تسهیلات مالی کم‌بهره به تولیدکنندگان شهرک‌های سبزی‌کاری » و « ایجاد شهرک‌های سبزی‌کاری برای سبزی‌کاران و در اختیار قرار دادن پساب تصفیه‌شده برای آن‌ها » در رتبه اول و دوم به‌عنوان راهکار ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری بر استفاده از آب فاضلاب در کشاورزی شناسایی شدند.

جدول ۹. نتایج شاخص ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری از دیدگاه کارشناسان

عامل	گویه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
۱ ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری	ارائه تسهیلات مالی کم‌بهره به تولیدکنندگان شهرک‌های سبزی‌کاری	۳.۷۶	۰.۹۵	۰.۲۵۲	۱
	ایجاد شهرک‌های سبزی‌کاری برای سبزی‌کاران و در اختیار قرار دادن پساب تصفیه‌شده برای آن‌ها	۳.۹۲	۱.۰۱	۰.۲۵۷	۲
	ارائه تسهیلات یارانه‌ای (کود و نهاده‌های کشاورزی) برای سبزی‌کاران در شهرک‌های سبزی‌کاری	۳.۷۷	۰.۹۸	۰.۲۵۹	۳
	ارائه خدمات فنی و مشاوره‌ای به سبزی‌کاران در شهرک‌های سبزی‌کاری	۳.۷۲	۱.۰۹	۰.۲۹۳	۴

۵) **ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب:** به‌منظور بررسی شاخص ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب از دیدگاه کارشناسان از ۴ گویه استفاده شد. همان‌طور که نتایج جدول (۱۰) مشاهده می‌شود میانگین همه گویه‌های بررسی‌شده مقدار بالاتر از میانگین است و به‌طورکلی با توجه به نتایج ضریب تغییرات گویه‌های « جداسازی مسیر فاضلاب از مسیرهای آبیاری مزارع » و « جلوگیری از ورود فاضلاب به منابع آب پاک » در رتبه اول و دوم به‌عنوان راهکار ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب بر استفاده از آب فاضلاب در کشاورزی شناسایی شدند.

جدول ۱۰. نتایج شاخص ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب از دیدگاه کارشناسان

عامل	گویه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
ساماندهی مسیرهای انتقال	جداسازی مسیر فاضلاب از مسیرهای آبیاری مزارع	۴.۱۸	۰.۸۲	۰.۱۹۶	۱
	جلوگیری از ورود فاضلاب به منابع آب پاک	۴.۱۵	۰.۸۴	۰.۲۰۲	۲
	عدم تخلیه فاضلاب در مسیرهایی که قبلاً رودخانه یا چشمه بوده است	۴.۰۵	۰.۹۳	۰.۲۲۹	۳
	پوشش کانال‌های انتقال فاضلاب به تصفیه‌خانه	۳.۸۷	۰.۹۶	۰.۲۴۸	۴

۶) **آموزش و توجیه کشاورزان:** به‌منظور بررسی شاخص آموزش و توجیه کشاورزان از دیدگاه کارشناسان از ۸ گویه استفاده شد. همان‌طور که نتایج جدول (۱۱) مشاهده می‌شود میانگین همه گویه‌های بررسی‌شده مقدار بالاتر از میانگین است و به‌طور کلی با توجه به نتایج ضریب تغییرات گویه‌های « آموزش مسائل زیست‌محیطی » و « اصلاح الگوی کشت و جایگزینی محصولات با نیاز آبی کم » در رتبه اول و دوم به‌عنوان راهکار آموزش و توجیه کشاورزان بر استفاده از آب فاضلاب در کشاورزی شناسایی شدند.

جدول ۱۱. نتایج شاخص آموزش و توجیه کشاورزان از دیدگاه کارشناسان

عامل	گویه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
تأمین حقایق	آموزش مسائل زیست‌محیطی	۴.۱۴	۰.۷۶	۰.۱۸۳	۱
	اصلاح الگوی کشت و جایگزینی محصولات با نیاز آبی کم	۴.۱۹	۰.۸۴	۰.۲۰۰	۲
	آگاه‌سازی در زمینه خطرات استفاده از آب‌های آلوده	۴.۰۶	۰.۸۸	۰.۲۱۶	۳
	پخش و نمایش فیلم در زمینه آثار و زیان‌های استفاده از آب فاضلاب	۴.۰۵	۰.۸۹	۰.۲۱۹	۴
	آگاهی دادن به کشاورزان در خصوص خطرات استفاده از فاضلاب تصفیه نشده به‌خصوص در زمینه از بین رفتن سلامت عمومی مردم	۴.۱۰	۰.۹۲	۰.۲۲۴	۵
	برگزاری کلاس‌های توجیهی کشاورزان در خصوص مسائل و معضلات بهداشتی و سلامتی استفاده از فاضلاب در تولید محصول	۴.۰۳	۰.۹۲	۰.۲۲۸	۶
	فرهنگ‌سازی و آگاه‌سازی کشاورزان از طریق رسانه‌ها	۳.۹۲	۰.۹۰	۰.۲۲۹	۷
	استفاده از بروشورها و نشریات ترویجی جهت آگاه‌سازی کشاورزان در زمینه استفاده از آب فاضلاب	۳.۸۰	۰.۹۷	۰.۲۵۵	۸

۷) **تأمین حقایق:** به‌منظور بررسی شاخص تأمین حقایق از دیدگاه کارشناسان از ۲ گویه استفاده شد. همان‌طور که نتایج جدول (۱۲) مشاهده می‌شود میانگین همه گویه‌های بررسی‌شده مقدار بالاتر از میانگین است و به‌طور کلی با توجه به نتایج ضریب تغییرات گویه‌های « توجه مسئولین به کیفیت آب در کنار تأمین کمیت آب » و « مدیریت تأمین حقایق‌های کشاورزان از رودخانه‌ها و قنات‌ها » در رتبه اول و دوم به‌عنوان راهکار تأمین حقایق بر استفاده از آب فاضلاب در کشاورزی شناسایی شدند.

جدول ۱۲. نتایج شاخص تأمین حقایق از دیدگاه کارشناسان

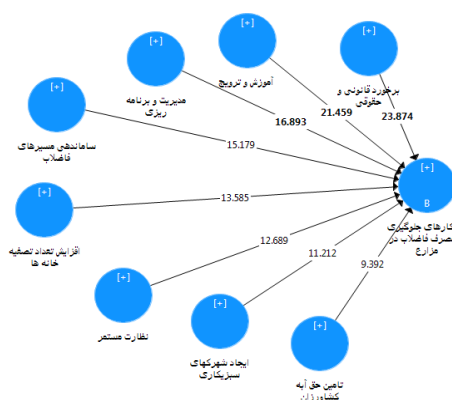
عامل	گویه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
$\frac{C_1}{C_2}$	توجه مسئولین به کیفیت آب در کنار تأمین کمیت آب	۴.۰۹	۰.۷۸	۰.۱۹۰	۱
	مدیریت تأمین حقایق های کشاورزان از رودخانه ها و قنات ها	۴.۰۸	۰.۷۹	۰.۱۹۳	۲

۸) **مدیریت و برنامه ریزی:** به منظور بررسی شاخص مدیریت و برنامه ریزی از دیدگاه کارشناسان از ۵ گویه استفاده شد. همان طور که نتایج جدول (۱۳) مشاهده می شود میانگین همه گویه های بررسی شده مقدار بالاتر از میانگین است و به طور کلی با توجه به نتایج ضریب تغییرات گویه های « مدیریت صحیح آب های آلوده » و « جمع آوری آب فاضلاب جهت استفاده در درختکاری بجای زراعت » در رتبه اول و دوم به عنوان راهکار مدیریت و برنامه ریزی بر استفاده از آب فاضلاب در کشاورزی شناسایی شدند.

جدول ۱۳. نتایج شاخص مدیریت و برنامه ریزی از دیدگاه کارشناسان

عامل	گویه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
$\frac{C_1}{C_2}$	مدیریت صحیح آب های آلوده	۴.۲۳	۰.۸۴	۰.۱۹۸	۱
	جمع آوری آب فاضلاب جهت استفاده در درختکاری بجای زراعت	۳.۹۴	۰.۸۲	۰.۲۰۸	۲
	لزوم توجه و رعایت استانداردهای کشاورزی پایدار در منطقه	۳.۸۰	۰.۸۲	۰.۲۱۵	۳
	ضرورت حکمرانی عوامل دخیل از جمله دولت، کشاورزان و سایر بخش ها	۴	۰.۸۷	۰.۲۱۷	۴
	برنامه ریزی در جهت بالا بردن کیفیت آب	۳.۸۷	۰.۸۶	۰.۲۲۲	۵

تحلیل ساختاری اولویت راهکارهای جلوگیری از مصرف فاضلاب در مزارع کشاورزی: در این قسمت با استفاده از مدل معادلات ساختاری و نرم افزار PLS، هر یک از عوامل هشت گانه مورد تحلیل قرار گرفت. همان طور که در شکل (۳) مشاهده می شود مقادیر آزمون t برای همه عوامل بالاتر از ۱/۹۶ است که نشان دهنده معنی داری همه عوامل است. همچنین با توجه به ضرایب به دست آمده، می توان نتیجه گرفت که سه راهکار، برخورد قانونی و حقوقی، آموزش و ترویج و مدیریت و برنامه ریزی از نظر اهمیت در درجه اولویت بالاتری قرار دارند.

شکل ۳. ضرایب مقدار t راهکارهای جلوگیری از مصرف فاضلاب در مزارع شهر همدان

بحث

استفاده از فاضلاب در کشاورزی با چالش‌هایی مواجه است که می‌تواند بر کیفیت گیاه و خاک و همچنین سلامت انسان تأثیر منفی بگذارد؛ بنابراین این مسئله باید به‌صورت کنترل‌شده، با تصفیه مناسب و رعایت استانداردهای بهداشتی صورت گیرد. همچنین، باید از روش‌های جایگزین و پایدارتر برای آبیاری و تأمین مواد غذایی در کشاورزی استفاده کرد تا مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی کاهش یابند؛ بنابراین هدف اصلی این مقاله بررسی و شناسایی راهکارهای جلوگیری از استفاده فاضلاب‌ها جهت مصارف زراعت و سبزی‌کاری در شهرستان همدان است. این استان با دارا بودن ۶/۵ درصد سطح تولید محصولات زراعی و تولید میزان ۴ درصد از کل محصولات زراعی کشور رتبه ششم تولید را به خود اختصاص داده است. همچنین از لحاظ مساحت باغات، استان همدان با دربرداشتن ۵/۲ درصد مساحت باغات کشور، رتبه شانزدهم و با تولید ۲/۳ درصد از محصولات باغی رتبه نهم کشور را دارا است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۶). استان همدان از جمله مناطقی از کشور است که در سال‌های اخیر به‌شدت با کم آبی و خشک‌سالی مواجه بوده است. بر اساس گزارش مرکز ملی خشک‌سالی و مدیریت بحران کشور (۱۳۹۸) ۲/۹۴ درصد مساحت این استان دچار خشک‌سالی است که ۵/۸ درصد آن را خشک‌سالی شدید تشکیل می‌دهد. روش تحقیق از نوع پیمایشی است که از ابزار مصاحبه و پرسشنامه برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است. جامعه آماری تحقیق کارشناسان و اساتید شهرستان همدان می‌باشند که تعداد ۲۶ نفر برای مصاحبه و ۸۰ نفر برای تکمیل پرسشنامه به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک روش تحلیل محتوا و استخراج مقوله‌ها، سپس اولویت‌بندی مقوله‌ها به کمک نرم‌افزار اس پی اس و پی ال اس بوده است.

نتیجه‌گیری

تحلیل محتوای مصاحبه‌ها در خصوص راهکارهای جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع کشاورزی نشان داد که در مجموع ۸ مقوله شامل برخورد قانونی و قضایی، بازدید و نظارت مستمر، تأمین حقایق، افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها، ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری، ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب، آموزش و توجیه کشاورزان و سازوکارهای تشویقی را می‌توان به این منظور شناسایی کرد. با توجه به این که برخی از این مقوله‌ها دارای مفاهیم مشابهی بودند، تقسیم‌بندی کلی‌تری انجام گرفت و نتایج نشان داد که راهکارهای جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع را می‌توان در سه طبقه «راهکارهای قانونی و نظارتی»، «راهکارهای فنی-ساختاری» و «راهکارهای آموزشی» قرار داد. راهکارهای قانونی و نظارتی یکی از مهم‌ترین موارد مورد توجه کارشناسان بود و در این باره معتقد بودند که تا زمانی که نظارت مستمر و دقیقی وجود نداشته باشد نمی‌توان از استفاده فاضلاب در مزارع جلوگیری کرد. لازمه‌ی این نظارت نیز وجود قوانین دقیق و شفاف است که بر مبنای آن تصمیمات لازم اتخاذ گردد. البته در این راستا اقدامات قابل توجهی توسط بازرسان و کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی طی سال‌های اخیر صورت پذیرفته است؛ به‌طوری که سطح سبزی‌کاری‌های آبیاری شده با فاضلاب از ۱۵۰ هکتار در سال‌های گذشته به ۲ هکتار در سال جاری کاهش پیدا کرده است و این مدیون نظارت و بازدید مستمر کارشناسان از مزارع به‌ویژه سبزی‌کاری‌ها بوده است. در حال حاضر چند سالی است که کارشناسان با همکاری مرکز بهداشت، برنامه‌ای را به‌صورت هماهنگ اجرا می‌کنند و از سبزی‌کاری‌ها بازدید مستمر دارند. همه مزارع را تحت کنترل و نظارت داشته و اگر مزرعه آلوده‌ای وجود داشته باشد، با کمک مرکز بهداشت به مراجع قضایی معرفی می‌شوند و زمین‌های آن‌ها تخریب خواهد شد. همچنین کشاورزان متخلف حق دریافت هیچ نوع کودی را ندارند و برای مدتی از دریافت خدمات جهاد کشاورزی محروم خواهند شد.

دسته‌ی دوم راهکارهای تحت عنوان «راهکارهای فنی-ساختاری» نام‌گذاری گردیدند. این دسته شامل تأمین حقایق، افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها، ایجاد و توسعه شهرک‌های سبزی‌کاری و ساماندهی مسیرهای انتقال فاضلاب است. همان‌طور که از مفهوم این راهکارها برمی‌آید، به دنبال ایجاد سازوکارهای فنی است تا دسترسی کشاورزان به آب فاضلاب را محدود نموده یا از بین ببرد. زمانی که با انجام اقدامات درست دسترسی کشاورز به فاضلاب از بین برود دیگر شاهد استفاده از آب آلوده در تولید محصولات کشاورزی نخواهیم بود. بر اساس نتایج مصاحبه‌ها، «ایجاد شهرک‌های سبزی‌کاری» برای برطرف نمودن این مشکل پیشنهاد می‌شود. یکی دیگر از سازوکارهای فنی، افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها به‌منظور تصفیه فاضلاب خام بود. افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها می‌تواند در برطرف کردن این مشکل نقش بسزایی داشته باشد. پیشنهاد می‌شود که در دو

الی سه نقطه استراتژیک تصفیه‌خانه‌ها احداث گردند که کشاورزان پایین‌دست تصفیه‌خانه‌ها بتوانند از پساب استفاده کنند. این امر باعث می‌گردد آب از نظر ثقلی حرکت کرده و نیازی به پمپاژ آب نباشد. این مسئله زمانی محقق می‌گردد که مشارکت، هماهنگی و همکاری بین دولت، بخش خصوصی و مردم اتفاق بیفتند تا با هزینه‌های کمتر و سریع‌تر بتوان چنین اقداماتی را به سرانجام رسانید. راهکارهای آموزشی به‌عنوان یکی دیگر از مهم‌ترین اقدامات برای جلوگیری از کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع شناسایی شد. تحلیل متن مصاحبه‌ها نشان داد که اگر مشکلی در هر بخشی وجود داشته باشد اعم از عدم مشارکت تا کاربرد فاضلاب در آبیاری مزارع، همواره می‌توان به آموزش کشاورزان به‌عنوان یک اقدام جدی نگریست و از آن به نحوه بهینه برای توجیه کشاورزان استفاده نمود. داگوستینو و همکاران^۱ (۲۰۱۹)، نشان دادند که راهکارهای توسعه حمایت از آموزش کشاورزان، انتقال دانش، آگاهی بیشتر مردم از اهمیت و ارزش آب برای تولید محصولات باارزش و همکاری چندبخشی آنان برای ارتقاء فرصت‌های مشترک برای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آب به‌عنوان راه‌حل‌های بالقوه برای حل مشکلات آبی و کمبود آب مطرح است.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر برگرفته از بخشی از نتایج یک طرح پژوهشی است که با کمک مالی سازمان جهاد کشاورزی همدان انجام شده است. لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های مالی این سازمان تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

- بدیعی، آرزو، کاراندیش، فاطمه، و طباطبائی، سید محمود. (۱۳۹۵). تأثیر آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده شهری بر عملکرد گندم و ویژگی‌های میکروبی خاک و گیاه. نشریه دانش آب و خاک، ۲۶(۴)، ۲۱۵-۲۲۸.
https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_5898.html?lang=fa
- ملک جعفریان، ملیحه، و محسنی، محمدرضا. (۱۳۹۶). ارزیابی مالی و اقتصادی اجرای طرح‌های فاضلاب برای تولید پساب قابل استفاده در کشاورزی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۱(۳)، ۸-۱.
https://jwsd.um.ac.ir/article_26016.html?lang=fa
- دری، محمد. شهرکی نادر، ملیحه. نورایی، محمدرضا، و جهان‌تینی فیروز، بیژن. (۱۳۹۴). ارزیابی اقتصادی استفاده از پساب فاضلاب شهری در آبیاری فضای سبز شهر زاهدان. سومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، ایران.
<https://civilica.com/doc/610525>
- صراف زاده، محمدحسین. (۱۳۹۶). ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های نمک زدایی از آب دریا با در نظر گرفتن ویژگی‌های بومی در نقاط مختلف دنیا. نشریه علوم و مهندسی، ۲(۱)، ۳۷-۲۸.
https://www.jwwse.ir/article_55723.html
- رضایی، حامد، و سعادت، سعید. (۱۳۹۷). استفاده از فاضلاب در کشاورزی: فرصت‌ها، چالش‌ها و راهکارها. مدیریت اراضی، ۲۶(۲)، ۲۳۱-۲۱۳.
<https://doi.org/10.22092/lmj.2019.118339>
- روحانی شهرکی، فرزاد، مهدوی، رسول، و رضایی، مرضیه. (۱۳۸۴). اثر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک. مجله آب و فاضلاب، ۱۶(۱)، ۲۹-۳۳.
https://www.wwjournal.ir/article_2081.html?lang=fa
- شایگان، جلال‌الدین، و افشاری، عباس. (۱۳۸۳). بررسی وضعیت فاضلاب‌های شهری و صنعتی در ایران. مجله آب و فاضلاب، ۱۵(۱)، ۶۹-۵۸.
https://www.wwjournal.ir/article_2540.html
- شکوهی، رضا، الماسی، حلیمه، و زمانی، فهیمه. (۱۳۹۶). کارایی تصفیه‌خانه پساب مجتمع پتروشیمی شازند و امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب آن در سال ۱۳۹۴. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، ۱۶(۱۱)، ۱۰۵۲-۱۰۴۱.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17353165.1396.16.11.4.6>

¹ D'agostino et al

- صادقی، زین العابدین، حری، حمیدرضا. و صفی نتاج، مهلا. (۱۳۹۵). مقایسه اقتصادی شیرین کردن آب خلیج فارس با استفاده از انرژی های نو و فسیلی. فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، ۱(۲)، ۱۷۱ - ۱۷۳. <https://doi.org/10.22054/eenr.2016.8410.143>
- صفاری، محبوب، فتحی، حامد، عمادی، مصطفی، و رونقی، عبدالمجید. (۱۳۸۷). تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب بر عملکرد و کیفیت دو گونه لوبیا و برخی ویژگی های خاک. سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی، اصفهان، ایران. <https://civilica.com/doc/38858>
- علی خاصی، مهدی، و کوچک زاده، مهدی. (۱۳۸۹). تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده روی خصوصیات گیاه پنبه. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۲(۴۱)، ۲۳۵ - ۲۲۹. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008479.1389.41.2.10.1>
- کاکاوندی، بابک، جنیدی جعفری، احمد، قاسمی، اصغر، و قلی زاده، عبدالحمید. (۱۳۹۰). بررسی تطبیقی کیفیت پساب تصفیه خانه های فاضلاب صاحبقرانی، اکباتان و جنوب تهران. مجله تحقیقات نظام سلامت، ۸(۴)، ۷۱۴-۷۰۶. <http://hsr.mui.ac.ir/article-1-416-fa.html>
- میرزایی تختگاهی، حسین، قمرنیا، هوشنگ، پیرصاحب، مقداد، و فتاحی، نظیر. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر آبیاری با آب آلوده بر تجمع فلزات سنگین در گندم و جعفری. مدیریت آب و آبیاری، ۶(۲)، ۳۳۰-۳۱۵. <https://doi.org/10.22059/jwim.2017.64218.315-330>
- میرزایی تختگاهی، حسین، و قمرنیا، هوشنگ. (۱۳۹۷). بررسی و مقایسه تجمع فلزات سنگین در سبزیجات آبیاری شده با آب چاه و رودخانه قره سو. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲(۳)، ۴۸۳-۴۷۳. <https://doi.org/10.22092/jwra.2018.117803>

Refreances

- Ali Khasi, M., & Kochzadeh, M. (2010). Effect of irrigation with treated wastewater on cotton plant characteristics. *Iran Water and Soil Research*, 41(2), 229-235. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008479.1389.41.2.10.1>[In Persian]
- Amahmid, O., El Guamri, Y., Rakibi, Y., Yazidi, M., Razoki, B., Kaid Rassou, K., & Chakiri, S. (2023). Wastewater reuse in agriculture: A review of soil and crops parasitic contamination, associated health risks and mitigation approach. *Environmental Health Engineering And Management Journal*, 10(1), 107-119. https://ehemj.com/browse.php?a_code=A-10-1-287&slc_lang=en&sid=1
- Amankwah-Yeboah, P., Yeboah, S., Osei, G., Waaley, L., Kyeremateng, P., Agyeman, K., & Ampong, A. (2023). Critical attributes and considerations for selecting irrigation systems for wastewater. *Journal of the Ghana Institution of Engineering*, 23(2), 64-75. <https://www.ajol.info/index.php/jgie/article/view/252899>
- Aparicio, J., Candela, L., & Alfraca, O. (2018). Social and privat costs of water for irrigation the small desalination plant in San Vicent del Raspig, spain. *Desalination*, 439, 102-107. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916418300687>
- Badiei, A., Karandish, F., & Tabatabaei, S.M. (2017). The Influence of Irrigation with Raw and Treated Municipal Wastewater on Wheat Yield and Microbial Characteristics of Soil and Plant. *Water and Soil Science*, 26(4.2), 215-228. https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_5898.html?lang=fa [In Persian]
- Chen, Y. (2023). Beneficial and negative impacts of wastewater for sustainable agricultural irrigation: Current knowledge and future perspectives. *Advances in chemical pollution, environmental management and protection*. <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2022.10.008>
- Cheng, X. (2023). Application of Wastewater in Agriculture: Benefits and Detriments. *Advances in geographical and environmental sciences*. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2605-3_4
- D'agostino, M., Tesse, N., Frippiat, J. P., Machouart, M., & Debourgogne, A. (2019). Essential oils and their natural active compounds presenting antifungal properties. *Molecules*, 24(20), 3713. <https://doi.org/10.3390/2Fmolecules24203713>

- Dorri, M., Shahraki Nader, M., Nooraee, M.R., & Firooz Jahantighi, B. (2019). Economic Evaluation of the Use of Treated Wastewater and the Cost of Pollution Control for Irrigation of Green Spaces in the City of Zahedan. The third international conference on new findings in agricultural sciences, natural resources and environment, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/610525> [In Persian]
- Elgallal, M., Fletcher, L., & Evans, B. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. *Agricultural Water Management*, 177, 419-431. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.027>
- Hijrah, N., Syakir, M. I., & Syah, B. I. (2023). Quantification of environmental impact potentials within the processes of industrial wastewater treatment system. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1167(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1167/1/012019>
- Hussain, I., Raschid, L., Hanjra, M.A., Marikar, F., & Van der Hoek, W. (2002). Wastewater use in agriculture: review of impacts and methodological issues in valuing impacts. Working Paper 37. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. <https://books.google.com/books?hl>
- Ibrahim, Y. A., Arafat, H., Mezher, T., & Almarzooqi, F. (2018). An integrated framework for sustainability assessment of sea water desalination. *Desalination*, 447, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.08.019>
- Kakavandi, B., Junidi Jafari, A., Ghasemi, A., & Qolizadeh, A. (2011). A comparative study of the effluent quality of the wastewater treatment plants of Saheb Qaranieh, Ekbatan and south of Tehran. *Journal of Health System Research*, 8(4), 714-706. <http://hsr.mui.ac.ir/article-1-416-fa.html> [In Persian]
- Lee, K.H. (2023). Investigating Issues and Problems of Using Sewage Effluent in Agriculture. <https://doi.org/10.5772/intechopen.108636>
- Malek jafarian, M., & mohseni, M. (2015). Financial and Economic Evaluation of Projects for Wastewater Used in Irrigation and Industry. *Journal of Water and Sustainable Development*, 1(3), 1-8. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v1i3.38041> [In Persian]
- Miao, S., Zhang, Y., Men, C., Mao, Y., & Zuo, J. (2024). A combined evaluation of the characteristics and antibiotic resistance induction potential of antibiotic wastewater during the treatment process. *Journal of Environmental Sciences*, 138, 626-636. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.04.002>
- Mirzaei-Takhtgahi, H., & Ghamarnia, H. (2016). Assessment of irrigation effects with polluted water on heavy metals accumulation in wheat and parsley. *Water and Irrigation Management*, 6(2), 315-330. <https://doi.org/10.22059/jwim.2017.64218> [In Persian]
- Mirzaei-Takhtgahi, H., & ghamarnia, H. (2018). Investigation and Comparison of Heavy Metals Accumulation in Vegetables Irrigated with Well Water and Ghareso River. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(3), 473-483. <https://doi.org/10.22092/jwra.2018.117803> [In Persian]
- Mishra, S., Kumar, R., & Kumar, M. (2023). Use of Treated Sewage or wastewater as an Irrigation Water for Agricultural Purposes-Environmental, Health, and Economic Impacts. *Total Environment Research Themes*, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100051>
- Niang, M., Reichard, J. F., Maier, A., Talaska, G., Ying, J., Santo Domingo, J., & Reponen, T. (2023). Ciprofloxacin-and azithromycin-resistant bacteria in a wastewater treatment plant. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1-7. <https://doi.org/10.1080/15459624.2023.2205485>
- Rezaee, H., & sadat, S. (2019). Wastewater Reuse in Agriculture: Opportunities, Challenges, and Solutions. *Land Management Journal*, 6(2), 213-231. <https://doi.org/10.22092/lmj.2019.118339> [In Persian]
- Riaz, A. (2022). Wastewater Use: A Debatable Scenario and their Impacts on Crop Production. *Current Research in Agriculture and Farming*. <https://doi.org/10.18782/2582-7146.178>

- Rohani Shahraki, F., Mahdavi, R., & Rezaee, M. (2005). Effect of Irrigation with Wastewater on Certain Soil Physical and Chemical properties. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab*, 16(1), 23-29. https://www.wwjournal.ir/article_2081_16.html?lang=en [In Persian]
- Sadeghi, Z.A., Hari, H., & Safi Netaj, M. (2017). Economic comparison of desalination of Persian Gulf water using new and fossil energies. *Environmental Economics and Natural Resources Quarterly*, 2(2), 143-171. <https://doi.org/10.22054/eenr.2016.8410> [In Persian]
- Safari, M., Fathi, H., Emadi, M., & Raunghi, A. M. (1387). The effect of irrigation with sewage effluent on the yield and quality of two types of beans and some soil characteristics. The third national congress of recycling and use of renewable organic resources in agriculture, Isfahan, Iran. <https://civilica.com/doc/38858> [In Persian]
- Sarrafaadeh, M. H. (2017). Technical and economic aspects of water desalination worldwide. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 2(1), 28-37. <https://doi.org/10.22112/jwwse.2017.89834.1030> [In Persian]
- Shayegan, J., & Afshari, A. (2004). The Treatment Situation of Municipal and Industrial Wastewater in Iran. *Journal of Water and Wastewater, Ab va Fazilab*, 15(1), 58-69. https://www.wwjournal.ir/article_2540.html?lang=en [In Persian]
- Shokohi, R., Almasi, H., & Zamani, F. (2018). The Evaluation of Wastewater Treatment Efficiency of Shazand Petrochemical Corporation and Feasibility of Its Effluent Reuse in 2016. *JRUMS*, 16 (11), 1041-1052. <http://journal.rums.ac.ir/article-1-3881-fa.html> [In Persian]
- Soleimani, H., Mansouri, B., Kiani, A., Khalid Omer, A., Tazik, M., Ebrahimzadeh, GH., & Sharafi, K. (2023). Ecological risk assesement and heavy metals accumulation in agriculture soils irrigated with treated wastewater effluent, river water, and wellwater combined with chemical fertilizers. *Helion* 9, e14580. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14580>
- Verma, A., Gupta, A., & Rajamani, P. (2023). Application of Wastewater in Agriculture: Benefits and Detriments. In *River Conservation and Water Resource Management*, 75-53. Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2605-3_17