



صفحه	نویسندگان	عنوان
۱	محمود شفاعی بجستان، کیوان کاظمی حسونند و مهدی زینی وند	مطالعه عددی تأثیر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی بر شرایط هیدرولیکی جریان
۱۹	ادریس معروفی نیا، احمد شرافتی، هیراد عبقری و یوسف حسن زاده	ارزیابی عملکرد روشهای شبیه‌سازی-بهینه‌سازی ANN-WOA و ANN-BWO در پیش‌بینی رواناب روزانه (مطالعه موردی: ایستگاه جلوگیر در حوضه آبریز کرخه)
۳۷	لیلا امانت بهبهانی، عباس ساکی و مصطفی اسماعیلی	بررسی مدیریت آبیاری دو حالت بهینه و سنتی توزیع و تخصیص آب آبیاری (مطالعه موردی: شبکه‌های آبیاری و زهکشی مارون)
۵۷	اکبر کریمی، الهام زنگنه یوسف‌آبادی و سعید صفرزاده	مقایسه فراهمی و جذب فسفر و پتاسیم در نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای
۶۹	مهری سعیدی نیا، سید حسین موسوی و سجاد رحیمی مقدم	بررسی اثرات ورمی‌کمپوست و بیوجار بر ذرت علوفه‌ای در رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای در منطقه خرم‌آباد
۸۷	سیده فاطمه هاشمی، علی شاهنظری، روزبه مصطفوی اشکلک و سونیا صادقی	توسعه مدل پویایی سیستم برای مدیریت پایدار منابع آب با استفاده از رویکرد پایتون در سطح حوضه آبریز تجن
۱۰۷	کبری حمیدی، میترا چراغی و کامران الماسیه	ارزیابی مقایسه‌ای وضعیت رودخانه کارون براساس شاخص‌های کیفیت آب و آلودگی (مطالعه موردی: شهرستان باوی)
۱۲۳	امید محمدی، موسی حسام، منوچهر حیدریپور و محمد مهدی کهن‌سال	تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صنعتی (صنایع فلزی) با استفاده از روش ترکیبی بی‌هوای-هوای

مدیر مسؤول: سعید برومندنسب

سر دبیر: سید محمود کاشفی پور

مدیر داخلی: مهدی دریایی

تایپ و صفحه آرایی: ندا یزدانی

ویراستار: ندا یزدانی

هیأت تحریریه:

آخوندعلی، علی محمد	استاد	هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
حیدر پور، منوچهر	استاد	آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
زندپارسا، شاهرخ	استاد	آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
قمشی، مهدی	استاد	سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
کاشفی پور، سید محمود	استاد	سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
لیاقت، عبدالمجید	استاد	آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
حسین زاده دلیر، علی	استاد	گروه مهندسی آب- دانشکده کشاورزی- دانشگاه تبریز.
ناصری، عبد علی	استاد	آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
استفانو پالیارا	استاد	گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیزا، ایتالیا
لای سای هین	دانشیار	گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه مالایا، مالزی.
رضا احمدیان	استاد	گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاردیف، انگلستان
هنک ریتزما	دانشیار	گروه مدیریت منابع آب، گروه علوم محیط زیست، دانشگاه واگنینگن و پژوهش، هلند

صاحب امتیاز: دانشگاه شهید چمران اهواز - دانشکده مهندسی آب و محیط زیست

کلیه مکاتبات از طریق سردبیر مجله به نشانی اهواز - دانشگاه شهید چمران اهواز - دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دفتر مجله علمی علوم و مهندسی آبیاری تلفن ۰۹۰۴۶۳۰۵۶۴۸ و دورنگار ۳۳۶۵۶۷۰۳ (۰۶۱) صورت گیرد.

این مجله در سایت <http://jise.scu.ac.ir> نمایه می شود.

نشانی پست الکترونیکی: JISE.Water@scu.ac.ir و JISE.Water@yahoo.com

مجوز انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ۱۲۴/۱۰۳۶۲ به تاریخ ۷۷/۱۰/۸ و مجوز دفتر بررسی نشریات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ۳/۱۱/۱۲۶۴ به تاریخ

۸۸/۷/ ۲۹ برای مجله علوم و مهندسی آبیاری

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

اسامی بررسی کنندگان مقالات این شماره

انوری	صدیقه
پوررضا	محسن
تیشه زن	پروانه
حاتمی	حدیث
حقیقی	بیژن
خرمیان	امین
خرمیان	محمد
دیوبند هفشجانی	لاله
رحمانشاهی	مصطفی
رضایی استخرویه	عباس
زایری	محمدرضا
ساسانی	حسین
سجادی	سید محسن
شاهنظری	علی
شریفی	محمدرضا
شینی دشت گل	علی
علیزاده	حمزه علی
مازندرانی زاده	حامد
معزی	عبدالامیر
نظری	بیژن

پیشگفتار

سپاس و ستایش پروردگار متعال که بر ما منت گذاشت تا با همت و پشتکار اعضای هیأت تحریریه، کارکنان مجله، همکاری داوران و ویراستاران، جلد ۴۷، شماره ۳ مجله علمی علوم و مهندسی آبیاری با خرسندی فراوان به علاقه‌مندان علوم مهندسی آب تقدیم گردد.

مجله علوم و مهندسی آبیاری یک سابقه حدود ۴۳ ساله دارد و وزارت علوم و تحقیقات و فناوری مجوز این مجله علمی- پژوهشی در شکل حاضر در سال ۱۳۸۸ صادر کرد. این مجله در سایت های بین المللی ISC و Doaj نیز نمایه شده است. امتیاز این مجله متعلق به دانشگاه شهید چمران اهواز است.

هیأت تحریریه مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری امیدوار است که همکاران محترم در کلیه مراکز علمی و پژوهشی با ارسال مقالات ارزنده علمی و کاربردی خود در تخصص‌های مهندسی آب، آبیاری و زهکشی، منابع آب، سازه های آبی، هیدرولیک رسوب، محیط زیست آبی، آبخیزداری، آب- هواشناسی (هیدرومتئورولوژی)، هیدرولوژی، آب های زیرزمینی، اقتصاد آب و علوم وابسته به آنها، با این مجله همکاری نموده و در فراهم ساختن زمینه‌ی استمرار و پیوستگی چاپ و انتشار مجله و ارائه خدمات بیشتر و ارزنده تر در نشر علوم مهندسی آب و آبیاری ما را همراهی نمایند. از کلیه بررسی کنندگان مقالات و صاحب نظران که در فرصت های گوناگون با ارائه نظرات اصلاحی خود در بهبود کیفیت مجله نقشی به عهده گرفته اند، صمیمانه سپاسگزاری می نماید.

از همکاران گرامی که نتیجه مطالعات و تحقیقات خود را جهت چاپ و انتشار به این مجله ارسال می نمایند تقاضا می شود که ضوابط تعیین شده (راهنمای تهیه مقاله) را دقیقاً رعایت فرمایند. توجه به ضوابط مجله و رعایت آن از جانب صاحبان مقاله، ضمن جلوگیری از دوباره کارهای زیاد و وقت گیر، موجب تسریع و بهبود کیفیت چاپ مقالات نیز خواهد گردید.

سردبیر

صفحه	عنوان
۱	مطالعه عددی تأثیر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی بر شرایط هیدرولیکی جریان محمود شفاعی بجستان، کیوان کاظمی حسنونند و مهدی زینی وند
۱۹	ارزیابی عملکرد روشهای شبیه‌سازی-بهینه‌سازی ANN-WOA و ANN-BWO در پیش‌بینی رواناب روزانه (مطالعه موردی: ایستگاه جلوگیری در حوضه آبریز کرخه) ادریس معروفی نیا، احمد شرافتی، هیراد عبقری و یوسف حسن زاده
۳۷	بررسی مدیریت آبیاری دو حالت بهینه و سنتی توزیع و تخصیص آب آبیاری (مطالعه موردی: شبکه‌های آبیاری و زهکشی مارون) لیلا امانت بهبهانی، عباس ساکی و مصطفی اسماعیلی
۵۷	مقایسه فراهمی و جذب فسفر و پتاسیم در نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای اکبر کریمی، الهام زنگنه یوسف‌آبادی و سعید صفیرزاده
۶۹	بررسی اثرات ورمی کمپوست و بیوجار بر ذرت علوفه‌ای در رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای در منطقه خرم‌آباد مهری سعیدی نیا، سید حسین موسوی و سجاد رحیمی مقدم
۸۷	توسعه مدل پویایی سیستم برای مدیریت پایدار منابع آب با استفاده از رویکرد پایتون در سطح حوضه آبریز تجن سیده فاطمه هاشمی، علی شاهنظری، روزبه مصطفوی اشکلک و سونیا صادقی
۱۰۷	ارزیابی مقایسه‌ای وضعیت رودخانه کارون براساس شاخص‌های کیفیت آب و آلودگی (مطالعه موردی: شهرستان باوی) کبری حمیدی، میترا چراغی و کامران الماسیه
۱۲۳	تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صنعتی (صنایع فلزی) با استفاده از روش ترکیبی بی‌هوای-هوای امید محمدی، موسی حسام، منوچهر حیدرپور و محمد مهدی کهن‌سال

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Study of the Effect of Gradual Parabolic Inlet Transition of the Elliptical LOPAC Gate on the Hydraulic Conditions of the Flow

M. Shafai-Bajestan¹, K. Kazemi Hassanvand² and M. Zeinivand^{3*}

1-Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2-Master of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3*- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (M.Zeinivand@Scu.ac.ir).

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 30 September 2021

Revised: 06 May 2022

Accepted: 08 May 2022

Keywords:

Elliptical Lopac Gate, Gradual Parabolic Transition, Flow Coefficient, Relative Energy Loss, Flow3D.

TO CITE THIS ARTICLE:

Shafai-Bajestan, M., Kazemi Hassanvand, K., Zeinivand, M. (2024). 'Numerical Study of the Effect of Gradual Parabolic Inlet Transition of the Elliptical LOPAC Gate on the Hydraulic Conditions of the Flow', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(3), pp. 1-17. doi: 10.22055/jise.2022.38726.1993.

Introduction

Flow control and regulation of water levels in irrigation canals are critical to improving the distribution network's performance, water transfer, and ease of operation of the intakes. Therefore, the network needs to improve the existing control and regulation structures and construct the new structures (Monem and Hosseinzadeh, 2012). Today, various spillways and gates have been used as control and regulation structures in water transmission networks. Elliptical LOPAC gates are a particular type of gate that researchers have considered in recent decades due to their convenient advantages (Pilbala et al., 2021). Studies have been limited so far, so in this study, the hydraulic performance of this type of gate with the presence of gradual inlet transition has been investigated both experimentally and numerically. Research on Lopac gates indicates that studies have been performed on hydraulics, mainly in a sudden contraction or full-width gates in the laboratory flume. However, in many cases, the width of the gate needs to be less than the width of the channel, and an inlet transition is necessary to reduce the energy loss. Therefore, a parabolic transition was used in this study, and in particular, the effect of the parabolic transition upstream of the elliptical Lopac gate on the hydraulic conditions was investigated using Flow-3D software.

Methodology

This study uses the results of 9 experiments performed by Shafai Bajestan et al. (2020) to calibrate the numerical model. The numerical model was simulated using the data of these experiments. This simulation used three turbulence models, RNG, K- ϵ , and LES, and the LES turbulence model with the lowest error was selected for further investigation. To investigate the effect of parabolic inlet transition,

five models of parabolic shape transitions were tested. A non-transition case was considered a control experiment to compare the result. Three different parabolic transitions were simulated at three other flow discharges and three separate openings. The flow rate and energy drop across the gate were calculated in each experiment. Total number 45 Simulation was performed with different variables. The dimensional analysis was conducted to find the best relation between the desired non-dimensional parameters shown in Eqs. (1) and (2) using the π Buckingham's theory.

In these equations, R_1 is the transition radius (fixed in this study, equal to 15 cm), R_2 is the longitudinal radius of upward parabolic, B_g is the elliptical Lopac gate opening, B is the width of the flume, C_d is the flow coefficient, and Y_1 and Y_2 are the upstream and downstream flow depths, respectively. ΔE and E_1 are also energy loss and the upstream energy, respectively.

$$C_d = f_1\left(\frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (1)$$

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f_2\left(\frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2)$$

Findings

The numerical simulation results showed that with increasing the ratio R_2 / R_1 , the discharge coefficient increases in all experiments, and it was observed that with increasing the relative opening of the gate, the discharge coefficient also increases. By placing a gradual parabolic transition with minimum elongation at 25, 35, and 45 liters per second flow rates compared to non-conversion conditions, the flow rate coefficient is at least 6, 6.4, and 7.2% will increase. To study the same trend in different openings, it was observed that for relative openings of 0.41, 0.45, and 0.49, the discharge coefficient increased by at least 8.9, 5.7, and 5%, respectively. Then the flow rate coefficient in the minimum and maximum elongation at different flows and openings were compared and evaluated. The results showed that with an increase in relative elongation from 0.33 to 1.67 at 25, 35, and 45 liters per second, respectively, an average increase of 21.5, 13.4, and 11.5 percent occurred. In the end, the discharge coefficient in non-transition mode and the transition with maximum elongation were compared. It was observed that the maximum increase of discharge coefficient occurred by 24% in the test with flow discharge of 35 l/s and relative opening of 0.41.

Studies have shown that the relative energy loss will decrease with increasing the R_2/R_1 , and this trend was observed for all discharges and all gate opening ratios. It was also observed that the relative energy loss would decrease with increasing the relative opening of the elliptical Lopac gate. At a flow rate of 25 liters per second and a relative opening of 0.41, the highest R_2/R_1 reduces the relative energy loss by 27.7% compared to the case without gradual conversion.

With the help of numerical model output and TEC plot software, streamlines were plotted for all experiments. The results showed that in the non-transition state, a horizontal vortex forms on both sides upstream and downstream of the gate. While in the presence of gradual parabolic transition, this vortex is not formed and the flow lines are transmitted to the gate without separation from the walls. In addition, the downstream, in conditions without gradual transition, vortices are formed on both sides of the outlet flow of the gate and for a relatively long length. The main reason is the sudden concentration and compression of the flow lines upstream and their passage through the gate, which by increasing the width of the gate upstream to a great distance, the flow lines cannot return to the walls. As a result of this separation, a relatively long horizontal pattern is formed downstream. While in the case of gradual parabolic transition, the downstream streamlines reach the walls at a shorter distance, and the separation zone area is reduced, which certainly results in the strength of the horizontal vortex decreasing; so the

energy loss decreases and causes the discharge coefficient to increase. Therefore, gradual transition causes uniformity in flow passing through the gate.

Conclusion

Elliptical Lopac gates are a particular type of Lopac gates that researchers have recently considered. In this research, using Flow-3D software, the presence of gradual parabolic transformation upstream of this gate was simulated. The experiments were performed in two modes without gradual conversion and also with the presence of parabolic gradual conversion. The results showed that after the gradual parabolic transformation is located upstream of the elliptical Lopac gates, the flow vectors enter the gate with less curvature and fracture, and the number and size of vortices generated downstream of the gate are reduced. Therefore, the discharge coefficient increases and the energy loss also decreases due to the mentioned changes. So with the gradual parabolic transformation located above the elliptical Lopac gate, the relative energy loss decreased by 27.7%, and the discharge coefficient increased by 24%.

Acknowledgment

This research is taken from the master's thesis of the second author. Financial support received from the grant of the 1st author with the grant number SCU.WH1400.470. The authors appreciate the Vice Chancellor for Research of Shahid Chamran University of Ahvaz for this support.

References

- 1- Monem, M. J, Hosseinzadeh, Z., 2012. Development and testing of an automatic hinged overflow mathematical model with PID logic. *Iranian Soil and Water Research*, 43 (1), pp. 87-94. (In Persian).
- 2- Pilbala, A., Sajjadi, S. and Bejestan, M.S., 2021. Hydraulic performance of elliptical-LOPAC gate under submerged flow conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), pp.317-326. doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.007.
- 3- Shafaei Bajestan, M., Zeinivand, M., Tahmasebipour, M., 2020. Elliptical lopac gate discharge coefficient with gradual conversion in submerged conditions. *Journal of Hydraulics*, 15 (2), pp. 67-80. (In Persian).



© 2024 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مطالعه عددی تأثیر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی بر شرایط هیدرولیکی جریان

محمود شفاعی بجنستان^۱، کیوان کاظمی حسنونند^۲ و مهدی زینی وند^{۳*}

- ۱- استاد گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 ۲- کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 ۳- نویسنده مسئول، استادیار گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
 M.Zeinivand@Scu.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۱۶

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۸

چکیده

سرریزها و دریاچه‌ها از جمله سازه‌های موثر در شبکه‌های آبرسانی روستا می‌باشند. دریاچه‌های سالونی بیضوی نوع خاصی از دریاچه‌ها می‌باشند که اخیراً مورد توجه محققین قرار گرفت. حضور تبدیل تدریجی در بالادست دریاچه‌های سالونی بیضوی می‌تواند نقش موثری در افزایش کارایی دریاچه‌ها اعمال نماید. در این تحقیق اثر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی روی پارامترهای هیدرولیکی (ضریب دبی و افت انرژی) مورد مطالعه نرم‌افزاری قرار گرفت. بنابراین سناریوهای مورد نظر توسط نرم افزار Flow3D شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد پس از قرارگیری تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی، بردارهای جریان با انحنا و شکستگی کمتری وارد دریاچه می‌شوند و تعداد و اندازه گردابه‌های بوجود آمده در پایین دست دریاچه نیز کاهش می‌یابند. لذا با افزایش کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی به سمت بالادست دریاچه و افزایش پارامتر Rf ، ضریب دبی دریاچه افزایش و میزان افت انرژی نسبی جریان عبوری از دریاچه کاهش می‌یابد. پس از بررسی کمی و محاسبه درصد افزایش ضریب دبی و کاهش افت انرژی، حداکثر افزایش ضریب دبی به میزان ۲۴ درصد و حداکثر کاهش افت انرژی نسبی به میزان ۲۷/۷ درصد مشاهده شد.

کلید واژه‌ها: دریاچه سالونی بیضوی- تبدیل تدریجی سهموی- ضریب دبی- افت انرژی نسبی- Flow3D.

مقدمه

با توجه به بحران منابع آب که در سراسر جهان در حال ظهور است، نیاز به اقدامات مناسب‌تر برای کنترل، توزیع، تنظیم و انتقال آب برای کانال‌های آبیاری و زهکشی به شدت افزایش یافته است (Gómez et al. 2002). فرآیند نوسازی سیستم‌های آبیاری، به‌ویژه برای دستیابی به سیستم پایدار در مدیریت منابع آب، برای بهبود و استفاده حداکثری از زیرساخت‌های آبی کشاورزی موجود، با هدف صرفه‌جویی در هزینه‌های بالای ساخت سیستم‌های آبیاری جدید، موجب افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری در شبکه‌های بهره‌برداری و توزیع آب خواهد شد (Pilbala et al., 2021). کنترل جریان و تنظیم سطح آب در شبکه‌های آبیاری، برای ارتقاء عملکرد شبکه‌ها و سهولت کارکرد آب‌گیرها موضوع مهمی است که نیازمند بهبود سازه‌های کنترل و تنظیم موجود و نیز استفاده از سازه‌های نوین در شبکه‌ها می‌باشد (Monem and Hosseinzadeh, 2012). یکی از ضروری‌ترین اقدامات لازم در به‌سازی شبکه‌ها، تجهیز آن با سازه‌های کنترل و

تنظیم آب کارا و قابل اطمینان است. از طرف دیگر، سازه‌هایی که در کانال‌های آبیاری نصب می‌شوند، باید به گونه‌ای عمل کنند که ضمن تنظیم دقیق سطح آب در سطح هدف، تمامی آب‌گیرها از کانال اصلی به اندازه مورد نیاز آب دریافت کنند (Yousfovand et al., 2015). دریاچه‌های سالونی بواسطه ساختار خاص فیزیکی و امتیازاتی که دارا می‌باشند، در دهه اخیر مورد توجه محققان قرار گرفت. از جمله امتیازات این دریاچه‌ها، عدم رسوب‌گذاری در بالادست آنها و توانایی عبور جریان با دبی بالا می‌باشد. این دریاچه‌ها ابتدا در دهه ۱۹۸۰ توسط پیتر لانگمن ابداع شد و شرکت آکوا سیستم (Aqua system, 2000) (AS21) به منظور ارائه یک راه حل انعطاف‌پذیر و اقتصادی، برای کنترل جریان در کانال‌های کوچک و متوسط، مدل ساده دریاچه سالونی را با یک سیستم محرک خودکار ترکیب کرد (Naghai et al. 2016). شرکت آکوا سیستم ضمن ارائه‌ی معادله‌های دبی دریاچه سالونی در شرایط جریان آزاد و مستغرق، آستانه استغراق این سازه را سه درصد معرفی کرد که مطابق با آن، چنانچه درجه استغراق دریاچه (نسبت عمق آب پایین- دست دریاچه به عمق آب بالادست دریاچه) کمتر از ۰/۳ باشد، جریان

کانال به ترتیب در حدود ۲۸ تا ۸۶ درصد کاهش و ۱۱ تا ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. Sajjadi et al. (2021) در مطالعه‌ای به بررسی معادله‌ها و ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی و دریاچه سالونی مستطیلی در وضعیت آزاد پرداختند. در این مطالعه با کمک معادله انرژی و نتایج آزمایشگاهی، خصوصیات جریان عبوری از نوع اصلاح شده‌ی این دریاچه، به نام دریاچه سالونی بیضوی در وضعیت آزاد بررسی شد. در این تحقیق پس از انجام آزمایش‌ها مشاهده شد که ضریب دبی تنها تابعی از نسبت بازشدگی دریاچه است. همچنین مشخص شد در وضعیت یکسان، با کم شدن بازشدگی، ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی نسبت به دریاچه سالونی مستطیلی افزایش می‌یابد. Pilbala et al. (2021) در مطالعه‌ی آزمایشگاهی به بررسی دریاچه سالونی بیضوی در شرایط مستغرق پرداختند. در این تحقیق تعداد ۹۰ آزمایش در شرایط مختلف دبی و بازشدگی دریاچه و استغراق انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها، ضریب دبی و افت انرژی محاسبه شد و نتایج نشان داد که حداکثر کاهش افت انرژی نسبی زمانی رخ خواهد داد که استغراق دریاچه به میزان ۲۰ درصد افزایش یابد. Kheibar et al. (2020) در مطالعه‌ی آزمایشگاهی به بررسی تاثیر تبدیل ناگهانی بر میزان دبی عبوری و همچنین افت انرژی در دریاچه‌های سالونی بیضوی پرداختند. در این تحقیق تعداد ۱۰۸ آزمایش در شرایط مختلف دبی و استغراق و بازشدگی انجام شد. پس از محاسبه ضریب دبی و افت انرژی در هر آزمایش و آنالیز نتایج به دست آمده، رابطه‌ای برای پیش‌بینی دبی عبوری از دریاچه سالونی بیضوی استخراج شد که این رابطه دارای خطای کمتر از نه درصد در تخمین دبی می باشد. Pilbala et al. (2021) برای به دست آوردن ضریب دبی عبوری از دریاچه بیضوی، با نوشتن رابطه انرژی بین بالادست و پایین دست دریاچه سالونی به شرح زیر اقدام کرد:

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (1)$$

که میزان افت از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$h_f = C \left| \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right) \right| \quad (2)$$

سپس با لحاظ کردن رابطه پیوستگی جریان بین بالادست و پایین دست دریاچه سالونی و ترکیب رابطه‌های به دست آمده، ضریب دبی به شرح زیر استخراج شد.

$$C_d = \frac{Q_a}{BY_1^{3/2} \sqrt{\frac{S-1}{1-S-2}}} \quad (3)$$

عبوری از دریاچه آزاد و در غیر این صورت جریان مستغرق می‌باشد (Yousefvand et al., 2013, Aqua system 2000). در مطالعه‌ای به تعیین رابطه آستانه استغراق و بازشدگی (2018a) دریاچه سالونی در شرایط مختلف جریان پرداختند. در این تحقیق آستانه استغراق دریاچه سالونی در زوایای مختلف بازشدگی مورد بررسی قرار گرفت و بر این اساس رابطه‌ای برای آستانه استغراق دریاچه با استفاده از نتایج آزمایشگاهی در دو دبی و بر مبنای پارامترهای بی بعد موثر بر سازه، بدست آمد که در بررسی میزان دقت این رابطه حداکثر ۱۰ درصد خطا مشاهده شد. Babaei Faqihmahaleh et al (2018) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر مشخصات هندسی و شرایط هیدرولیکی بر عملکرد سازه تنظیم دبی دریاچه سالونی - پارشال فلوم پرداختند. در این تحقیق عملکرد سازه تحویل حجمی دبی دریاچه سالونی پارشال فلوم برای شرایط مختلف هندسی شامل مقدار بازشدگی دریاچه سالونی، ابعاد و دیگر پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد بازشدگی‌های ۱۱ و ۲۳ درصد دریاچه سالونی موجب افزایش افت انرژی نسبی به میزان ۲۹/۷ درصد می‌گردد. Yousefvand et al. (2018b) در مطالعه‌ای به برآورد معادلات جریان و ضریب دبی دریاچه‌های سالونی در شرایط مستغرق پرداختند. در این تحقیق پس از انجام آزمایش‌ها و بررسی نتایج آزمایشگاهی و انجام رگرسیون بین پارامترهای بدون بعد، معادله‌ای صریح برای ضریب دبی دریاچه‌های سالونی در شرایط جریان مستغرق ارائه شد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که ضریب دبی تا نسبت بازشدگی ۰/۳۹ روند صعودی داشته و پس از آن کاهش می‌یابد. Monem and Naghaei (2016) به منظور ارزیابی مدل ریاضی شبیه‌سازی شده دریاچه سالونی و ارائه دستورالعمل بهره‌برداری، از سازه‌ی موجود در کانال EIR1 واقع در شبکه آبیاری دز استفاده کردند. پس از بررسی‌های لازم در نهایت نموداری برای حالت جریان آزاد و مستغرق و دبی‌های مختلف استخراج شده است. سپس مطالعاتی بر روی دریاچه سالونی بیضوی انجام شد که در ادامه ارائه خواهند شد. Sajjadi et al. (2020) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر تبدیل ناگهانی بر ضریب دبی دریاچه سالونی - بیضوی در شرایط جریان مستغرق پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی با تبدیل ناگهانی در حدود ۱۴ تا ۷۳ درصد نسبت به شرایط هم‌عرض کانال کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد ضریب دبی با عدد فرود و زاویه بازشدگی دریاچه رابطه مستقیم و با میزان تنگ شدگی کانال ناشی از تبدیل و استغراق دریاچه رابطه عکس دارد. Kheybar et al. (2021) در مطالعه‌ای به بررسی استهلاک انرژی و دبی عبوری از دریاچه سالونی بیضوی در شرایط وجود تبدیل ناگهانی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار افت انرژی و دبی عبوری از دریاچه سالونی بیضوی با تبدیل ناگهانی نسبت به شرایط هم‌عرض

می شود. روابط زیر به ترتیب روابط پیوستگی و اندازه حرکت در برای اختیاری μ می باشند.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \nu \nabla^2 u_i \quad (5)$$

در روابط فوق u_i : مولفه سرعت لحظه‌ای در برای μ (m/s)؛ لزوجت دینامیکی سیال $(N.s/m^2)$ ، ρ : چگالی سیال (kg/m^3) ، g_i : مولفه شتاب ثقل در برای i (m/s^2) و p : فشار در هر نقطه از سیال (Pa) می باشد (Zamiri et al., 2020). نرم افزار Flow-3D یک مدل مناسب برای حل مسایل پیچیده دینامیک سیالات بوده و قادر است دامنه وسیعی از جریان سیالات را مدل نماید. این نرم‌افزار از روش حجم محدود برای حل معادله‌های حاکم بر جریان با استفاده از شبکه‌بندی منظم و روش حجم سیال برای محاسبه سطح آزاد آب در مجاری باز استفاده می کنند. این مدل قابلیت تحلیل یک، دو و سه بعدی میدان جریان را دارد. معادله‌های پایه ای مورد استفاده در این مدل، معادله‌های Navier- Stokes هستند و از پنج مدل آشفتگی طول اختلاط پرناتل (Prandtl mixing length)، یک معادله ای (One equation Turbulent energy model)، دو معادله‌ای $k - \epsilon$ (Two equation $k - \epsilon$ model)، مدل‌های RNG (Renormalized group model) و مدل شبیه سازی گردابه-های بزرگ (Large eddy simulation model) در حل خصوصیات جریان‌های آشفتنه استفاده می‌کنند (Kaheh et al. 2015).

واسنجی مدل

در ابتدای تحقیق از نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط Shafaei Bajestan et al (2020) در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز برای واسنجی مدل عددی استفاده شد. این آزمایش‌ها در فلولمی به طول ۱۰ متر و عرض و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر، با حضور دریاچه سالونی بیضوی به همراه تبدیل تدریجی خطی در بالادست، انجام شد. برای انجام شبیه‌سازی‌های اصلی هندسه‌ی پنج تبدیل سهموی به همراه سه بازشدگی متفاوت در نرم‌افزار اتوکد صورت گرفت. سپس فایل‌های موردنظر با فرمت Stl برای انجام شبیه‌سازی به مدل فراخوانی شدند. در شکل (۱) نمونه‌ای از این طراحی مشاهده می‌شود.

در رابطه (۳)، Q_a دبی عبوری از دریاچه است که در آزمایش‌ها مقدار آن توسط سرریز مستطیلی لبه تیز واقع در پائین‌دست فلولم اندازه‌گیری می‌شود. Shafaei Bajestan et al. (2020) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی همراه با تبدیل تدریجی در شرایط مستغرق پرداختند. در این مطالعه تأثیر قرارگیری تبدیل تدریجی با زوایای مختلف بر ضریب دبی در شرایط مختلف جریان و در مقادیر مختلف استغراق و بازشدگی دریاچه سالونی بیضوی، به طور آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که با قرارگیری تبدیل تدریجی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی، ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زاویه تبدیل تدریجی، ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد و این روند برای همه مقادیر استغراق‌ها و بازشدگی دریاچه مشاهده شد.

بررسی تحقیقات در زمینه دریاچه‌های سالونی بیانگر آن است که مطالعه‌هایی در خصوص هیدرولیک دریاچه سالونی انجام شده است که عمدتاً به صورت انقباض ناگهانی و یا دریاچه هم‌عرض با فلولم آزمایشگاهی بوده است. این درحالی است که در موارد متعددی عرض دریاچه کمتر از عرض کانال می‌باشد و برای کاهش افت، نیاز به تبدیل تدریجی ضروری است. از این رو در این مطالعه از تبدیل‌های سهموی به جای تبدیل‌های خطی مستقیم استفاده شده است و بطور خاص اثر میزان سهموی بودن تبدیل تدریجی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی بر شرایط هیدرولیک دریاچه بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

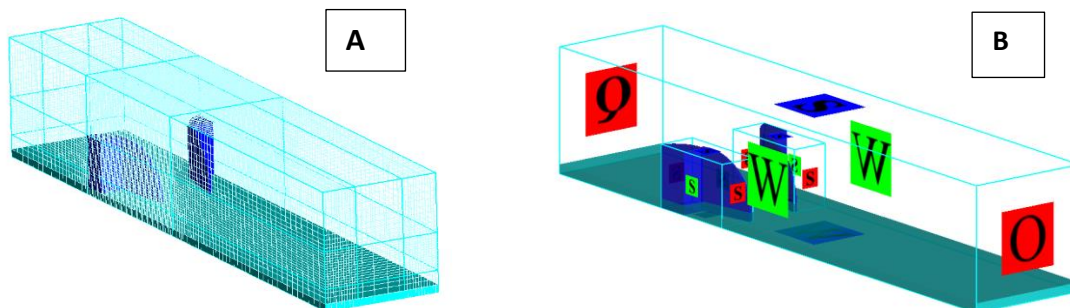
معرفی نرم افزار

دینامیک سیالات محاسباتی با تبدیل معادله‌های دیفرانسیلی حاکم بر معادله‌های جبری، امکان حل عددی آن‌ها را فراهم می‌سازد. علی‌رغم وجود روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف برای حل عددی معادله‌های حاکم، تقریباً در تمامی روش‌ها با تقسیم ناحیه مورد نظر به المان‌های کوچک‌تر و اعمال شرایط مرزی برای گره‌های مرزی با در نظر گرفتن تقریب‌هایی، یک دستگاه معادله‌های خطی به‌دست می‌آید که با حل این معادله‌های جبری، میدان سرعت، فشار و سایر پارامترها به‌دست می‌آید (Arab ameri and Barfehi. 2016). از نرم افزارهای قدرتمند در زمینه مکانیک سیالات بر اساس حجم محدود نرم‌افزار Flow-3D است که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط شرکت Flow Science Inc صورت گرفته است (Bahrebar et al. 2018). در مدل Flow-3D قوانین حاکم بر جریان یک سیال تراکم‌ناپذیر لزج، توسط معادله‌های پیوستگی و اندازه حرکت که به معادلات Navier-Stokes معروف هستند، بیان

شرایط مرزی تعریف شده به مدل در مش‌بلاک‌های تبدیل و دریاچه به این صورت بود که صفحات مش ورودی، خروجی، بالایی و صفحه‌ی مجاور جریان از نوع Symmetry، صفحات مش مجاور دیواره‌ی فلوم و کف نیز از نوع Wall بود. در شبکه‌ی مش فلوم، مرز ورودی Volume Flow rate، خروجی OutFlow، کف و دیواره‌ها Wall و مرز بالایی نیز از نوع Symmetry تعریف شد. برای صحت‌سنجی مدل عددی و انتخاب مدل حل آشفتگی مناسب مجموعاً ۲۷ مدل‌سازی با سه مدل حل آشفتگی $K - \epsilon$ ، RNG و LES صورت گرفت. در این بررسی عمق جریان در بالادست دریاچه به‌عنوان معیار انتخاب مدل آشفتگی انتخاب شد. با مقایسه انجام گرفته بین داده‌های آزمایشگاهی و خروجی نرم‌افزار، شکل زیر حاصل شد. در شکل (۲) خطوط مربوط به خطای $\pm 10\%$ ترسیم شده‌اند.

سپس بررسی‌های آماری انجام شد و نتایج حاصل در جدول (۱) نمایش داده شده است.

شرایط مرزی تعریف شده به مدل در مش‌بلاک‌های تبدیل و دریاچه به این صورت بود که صفحات مش ورودی، خروجی، بالایی و صفحه‌ی مجاور جریان از نوع Symmetry، صفحات مش مجاور دیواره‌ی فلوم و کف نیز از نوع Wall بود. در شبکه‌ی مش فلوم، مرز ورودی Volume Flow rate، خروجی OutFlow، کف و دیواره‌ها Wall و مرز بالایی نیز از نوع Symmetry تعریف شد. برای صحت‌سنجی مدل عددی و انتخاب مدل حل آشفتگی مناسب مجموعاً ۲۷ مدل‌سازی با سه مدل حل آشفتگی $K - \epsilon$ ، RNG و LES صورت گرفت. در این بررسی عمق جریان در بالادست دریاچه به‌عنوان معیار انتخاب مدل آشفتگی انتخاب شد. با مقایسه انجام گرفته بین داده‌های آزمایشگاهی و خروجی نرم‌افزار، شکل زیر حاصل شد. در شکل (۲) خطوط مربوط به خطای $\pm 10\%$ ترسیم شده‌اند.



A) Valve mesh and gradual upstream conversion, B) Three-dimensional view of the valve with gradual conversion

شکل ۱ - (a): مش بندی دریاچه و تبدیل تدریجی بالادست. (b): نمای سه بعدی دریاچه به همراه تبدیل تدریجی.

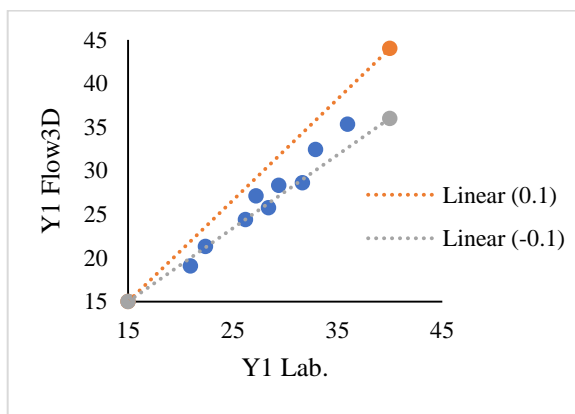


Fig. 2- Comparison between laboratory and software results for software calibration

شکل ۲- مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و نرم‌افزاری برای کالیبراسیون نرم‌افزار

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های آماری

Table 1- Values of statistical indicators

Model	R ²	RMSE
RNG	0.83	7.69
k-e	0.88	7.11
LES	0.98	4.31

بسیار ریزتر در مجاورت سازه استفاده شد. اندازه‌ی مش‌های مجاور این سازه ۰/۰۰۷ متر و تعداد مش‌ها در هر مش‌بلاک ۱۵۴۰۰۰ عدد در نظر گرفته شد. کل هندسه‌ی تعریف شده در بالادست و پایین دست سازه نیز مجموعاً ۱۲۳۰۰۰ مش به ابعاد ۰/۰۲۸ متر بود.

پارامترهای تحقیق و آنالیز ابعادی

با استفاده از شکل زیر جزئیات پارامترها و متغیرها ارائه می‌شوند در شکل (۳) پارامتر R_1 شعاع عرضی (در این تحقیق برابر ۱۵ سانتی‌متر ثابت انتخاب شد) و R_2 شعاع طولی تبدیل تدریجی سهموی بالادست، B_g میزان بازشدگی دریاچه سالونی بیضوی و B عرض فلوم می‌باشد.

برای انجام آزمایش‌ها پنج هندسه برای تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی در نظر گرفته شد که مشخصات آنها، با توجه به شکل (۳) در جدول (۲) مشاهده می‌شوند. بنابراین تعداد ۵۴ شبیه‌سازی با توجه به جدول فوق انجام شد. لازم به ذکر است که با توجه به شکل (۳-ب) و جدول فوق، صفر بودن پارامتر R_2 به معنای عدم وجود تبدیل تدریجی در بالادست می‌باشد و در واقع به عنوان آزمایش شاهد در نظر گرفته شد.

با شبیه‌سازی این آزمایش‌ها در نرم‌افزار و مقایسه آماری نتایج به‌دست آمده با نتایج آزمایشگاهی، مشاهده شد که مدل آشفتگی LES دارای کمترین میزان خطا و بیشترین میزان همخوانی بین نتایج نرم‌افزار و نتایج آزمایشگاهی دارد. بنابراین در ادامه برای شبیه‌سازی از این مدل آشفتگی استفاده شد.

شبکه بندی و مشخصات میدان حل

برای شبیه‌سازی سازه‌ی مورد نظر ابتدا با استفاده از نرم‌افزار اتوکد اقدام به طراحی دریاچه سالونی بیضوی به همراه تبدیل تدریجی در بالادست شد و خروجی این سازه به محیط نرم‌افزار Flow-3D وارد شد. سپس با مش بندی مناسب در بالادست، اطراف و پایین‌دست سازه، بگونه‌ای که شرایط و ضوابط استاندارد برای شبیه‌سازی رعایت گردد، شرایط اولیه برای شبیه‌سازی فراهم شد. در این مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D از سه مش‌بلاک استفاده شد و دلیل این امر نیز آن بود که با توجه به ضخامت کم سازه‌ی تبدیل تدریجی سهموی و همچنین دریاچه‌ی سالونی بیضوی به دلیل عدم افزایش تعداد مش‌ها در سایر نقاط و همچنین کمتر شدن مدت زمان و حجم شبیه‌سازی، مش‌هایی با ابعاد



Fig. 3– (a) Longitudinal profile of the flow through the Lopac gate, (b) View from above the stream passing through the Lopac gate

شکل ۳- (a): نیم‌رخ طولی عبور جریان از دریاچه سالونی. (b): دید از بالای جریان عبوری از دریاچه سالونی.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق

Table 2 - The values of the parameters used in this research

Q(Lit/Sec)	B (cm)	B_g (cm)	R_1 (cm)	R_2 (cm)
25	80	0.33	15	0
				5
35	80	0.36	15	10
				15
				20
45	80	0.39	15	25
				25

آنالیز ابعادی

در این تحقیق پارامترهای ضریب دبی و افت انرژی جریان عبوری از دریچه سالونی بیضوی با وجود تبدیل تدریجی سهموی در بالادست مورد بررسی قرار گرفت که هر کدام از این موارد به صورت جداگانه مورد بررسی ابعادی قرار می‌گیرد.

آنالیز ابعادی ضریب دبی

برای بررسی ضریب دبی ابتدا پارامترهای موثر بر این ضریب در رابطه (۶) ارائه شد.

$$f_1(C_d, Y_1, Y_2, R_1, R_2, B, B_g, \rho, g, \mu) = 0 \quad (6)$$

در رابطه فوق C_d ضریب دبی، Y_1 و Y_2 به ترتیب عمق جریان در پایین دست و بالادست دریچه، R_1 و R_2 به ترتیب شعاع تبدیل تدریجی سهموی در جهت عرضی و طولی کانال (که به اختصار در این تحقیق شعاع عرضی و شعاع طولی نامیده شد)، B و B_g به ترتیب عرض کانال و عرض بازشدگی دریچه می‌باشند. سپس با استفاده از روش آنالیز ابعادی و استفاده از قضیه پی باکینگهام و انتخاب متغیرهای ρ ، g و Y_1 به عنوان متغیرهای تکراری و ترکیب آن‌ها، اعداد بی بعد نهایی مطابق رابطه زیر استخراج شد.

$$C_d = f_2\left(S, \frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}, R_n\right) \quad (7)$$

در رابطه فوق S نسبت استغراق یا همان نسبت عمق جریان پایین دست به عمق جریان در بالادست سرریز، $\frac{B_g}{B}$ نسبت عرض بازشدگی دریچه به عرض کانال (که به اختصار در این تحقیق بازشدگی نسبی دریچه نامیده شد)، $\frac{R_2}{R_1}$ نسبت شعاع عرضی به شعاع طولی تبدیل سهموی بالادست دریچه سالونی بیضوی (که در این تحقیق شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی نامیده شد) و R_n عدد رینالدز جریان می‌باشد. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر محدوده عدد رینالدز بین ۳۱۲۵۰ و ۵۶۲۵۰ می‌باشد که در محدوده آشفته می‌باشد، لذا از عدد رینالدز صرف نظر می‌گردد. همچنین با توجه به اینکه در تحقیق حاضر آزمایشات در شرایط آزاد انجام شد، لذا مطابق نتایج تحقیق انجام شده توسط (Sajjadi et al. 2020) می‌توان از استغراق صرف نظر نمود. بنابراین در نهایت رابطه بین ضریب دبی و دیگر پارامترها به صورت زیر می‌باشد.

$$C_d = f_3\left(\frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (8)$$

بنابراین تمامی نمودارها و بررسی‌های مربوط به ضریب دبی در بخش نتایج و بحث و بررسی نهایی، براساس دو پارامتر شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی و همچنین بازشدگی نسبی انجام می‌شوند.

آنالیز ابعادی افت انرژی

برای بررسی میزان افت انرژی رخ داده در عبور جریان از تبدیل تدریجی سهموی و همچنین از دریچه سالونی بیضوی، تمامی پارامترهای مرتبط با میزان افت انرژی مورد نظر قرار گرفت.

$$f_4(E_1, E_2, Y_1, Y_2, R_1, R_2, B, B_g, \rho, g, \mu) = 0 \quad (9)$$

در رابطه فوق E_1 و E_2 به ترتیب انرژی مخصوص در بالادست و پایین دست دریچه می‌باشند و دیگر پارامترها قبلاً معرفی شدند. سپس با استفاده از آنالیز ابعادی به روش پی باکینگهام و انتخاب متغیرهای ρ ، g و Y_1 به عنوان متغیرهای تکراری و به دست آوردن اعداد بی بعد و ترکیب آن‌ها، در نهایت اعداد بی بعد به دست آمد که در رابطه (۱۰) مشاهده می‌شوند.

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f_5\left(\frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}, R_n, S\right) \quad (10)$$

در رابطه فوق $\frac{\Delta E}{E_1}$ نسبت افت انرژی رخ داده شده به انرژی مخصوص در بالادست تبدیل می‌باشد که در این تحقیق به اختصار به آن افت انرژی نسبی گفته می‌شود و دیگر پارامترها قبلاً معرفی شدند. با همان توضیحاتی که در مرحله ضریب دبی ارائه شد، از پارامتر استغراق و عدد رینالدز صرف نظر شد و رابطه (۱۱) برای بررسی نهایی پارامتر افت انرژی به دست آمد.

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f_6\left(\frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (11)$$

بنابراین برای بررسی افت انرژی از رابطه فوق استفاده می‌گردد و رابطه بین افت انرژی نسبی با پارامترهای شعاع نسبی و بازشدگی نسبی دریچه مورد بررسی و آنالیز قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

در این قسمت با تحلیل نتایج به دست آمده از مدل نرم افزاری، پارامترهای مؤثر همچون ضریب دبی عبوری از دریچه سالونی با تبدیل تدریجی و نیز میزان افت انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بررسی روند تغییر ضریب دبی

با استفاده از نتایج بدست آمده که از جدول (۲) استفاده شد، در این قسمت تغییرات ضریب دبی در مقابل تغییرات شعاع نسبی $R_r = R_2/R_1$ و بازشدگی نسبی B_g/B بررسی شده است.

نسبت‌های Br برابر 0.45 و 0.49 نیز مشاهده کرد. میزان افزایش ضریب دبی در نسبت R_r برابر 1 برای نسبت‌های Br برابر 0.41 ، 0.45 و 0.49 به ترتیب برابر $21/5$ درصد، $13/1$ درصد و 15 درصد می‌باشد و پس از آن تغییرات افزایشی ضریب بسیار کم هست. لازم به ذکر است با توجه به توضیحات بخش آنالیز ابعادی و استفاده از شکل (۲-ب) و همچنین نظر به ثابت بودن شعاع عرضی (R_1) برابر 15 سانتی‌متر، افزایش پارامتر R_r به معنای افزایش شعاع طولی و در نتیجه افزایش کشیدگی طولی تبدیل تدریجی سهموی می‌باشد. این امر بدان معناست که با افزایش R_r و در واقع با افزایش شعاع طولی تبدیل تدریجی سهموی و افزایش کشیدگی تبدیل طولی به سمت بالادست، ضریب دبی افزایش می‌یابد. این روند در تمامی دبی‌ها و در تمامی میزان بازشدگی‌های مورد بررسی مشاهده شد. همچنین مشاهده شد که با افزایش دبی، ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد. در ادامه روند تغییر ضریب دبی با افزایش میزان بازشدگی بیان می‌گردد و در انتهای این بخش به بررسی کمی و درصد افزایش ضریب دبی در حالت‌های مختلف پرداخته می‌شود.

روند تغییر ضریب دبی با تغییر شعاع نسبی

در این تحقیق ابتدا شبیه سازی مورد نظر انجام شد و با استفاده از رابطه (۳) ضریب دبی عبوری از دریچه سالونی بیضوی با حضور تبدیل تدریجی سهموی بدست آمد. سپس روند تغییر این پارامتر با شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی بدست آمد. شعاع نسبی، که در واقع نسبت شعاع عرضی به شعاع طولی می باشد، بعنوان مهمترین پارامتر مورد توجه قرار گرفت که نتایج در شکل های (۴) تا (۶) مشاهده می شوند.

در شکل‌های (۴) تا (۶) حالت ($R_r=0$) بیانگر حالت بدون حضور تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی می‌باشد. همان‌گونه مشاهده می‌شود با افزایش شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی بالادست، ضریب دبی افزایش می‌یابد. بطوری‌که تغییرات ضریب دبی در حالت تبدیل $R_r=0.5$ نسبت به حالت بدون تبدیل تغییر ناگهانی نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال در دبی 45 لیتر بر ثانیه و در حالت $Br=0.41$ مقدار ضریب دبی از $1/54$ به $1/78$ یعنی 36 درصد افزایش را نشان می‌دهد. پس از آن میزان افزایش C_d با افزایش R_r کندتر می‌شود. مشابه همین روند را می‌توان برای

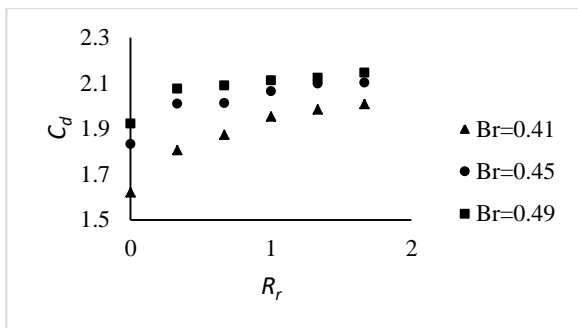


Fig. 5- The trend of changing the flow coefficient by changing the relative radius in the flow of 35 l/s
 شکل ۵- روند تغییر ضریب دبی با تغییر شعاع نسبی در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه

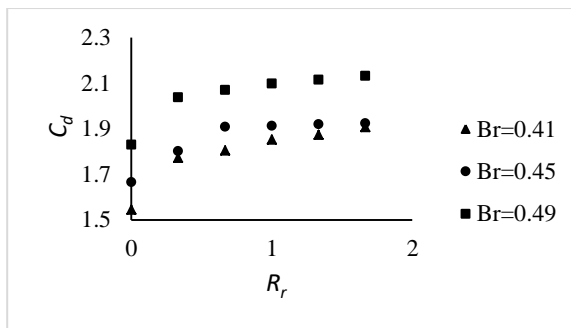


Fig. 4- The process of changing the flow coefficient by changing the relative radius in the flow of 25 liters l/s
 شکل ۴- روند تغییر ضریب دبی با تغییر شعاع نسبی در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

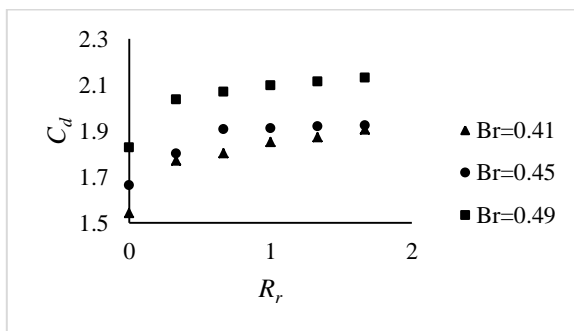


Fig. 6- The process of changing the flow rate by changing the relative radius in the flow of 45 l/s
 شکل ۶- روند تغییر ضریب دبی با تغییر شعاع نسبی در دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه

دبی‌های مورد استفاده در این تحقیق و همچنین در تمامی شعاع‌های نسبی مورد استفاده، مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است روند مشاهده شده در این مرحله با نتایج حاصل از مطالعه Pilbala et al. (2021) و Shafai bejestan et a. (2020) تطابق و هم‌خوانی دارد.

همچنین برای مقایسه با تحقیقات گذشته، نتایج تحقیق حاضر با مطالعه انجام شده توسط Sajjadi et al. (2020) مقایسه شد که نتایج آن در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود.

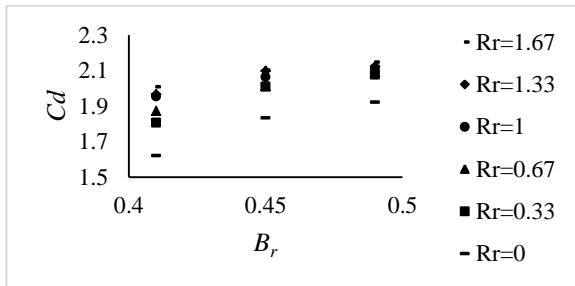


Fig. 8- The process of changing the flow coefficient by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 35 l/s

شکل ۸- روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان بازشدگی نسبی دریاچه در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه

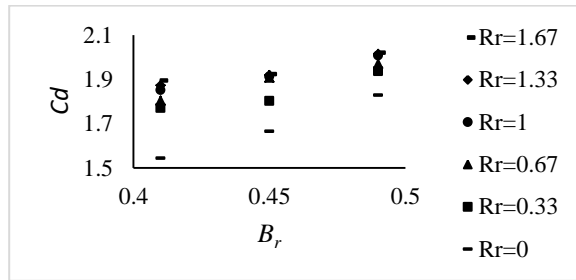


Fig. 7- The process of changing the flow rate by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 25 l/s

شکل ۷- روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان بازشدگی نسبی دریاچه در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

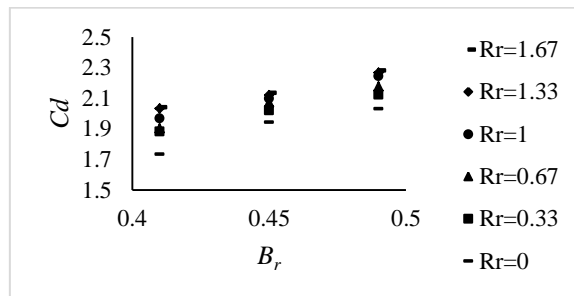


Fig. 9- Process of changing the flow coefficient by changing the relative opening of the gate in the flow of 45 l/s

شکل ۹- روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان بازشدگی نسبی دریاچه در دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه

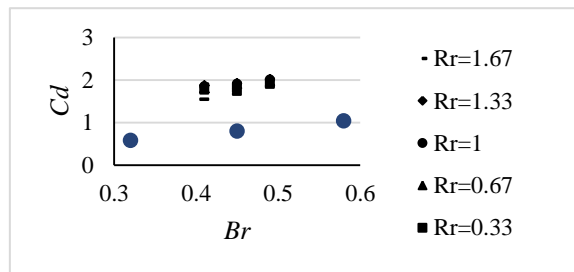


Fig. 10 - Comparison of discharge coefficient between states without gradual conversion and with the presence of parabolic gradual conversion

شکل ۱۰- مقایسه ضریب دبی بین حالت بدون تبدیل تدریجی و با حضور تبدیل تدریجی سهموی

$$\% \Delta Cd = \frac{Cd_{with\ transition(Rr=1.67)} - Cd_{without\ transition(Rr=0)}}{Cd_{without\ transition}} \times 100 \quad (14)$$

نتایج این بررسی نشان داد حداکثر افزایش ضریب دبی به میزان ۲۴ درصد رخ داد که در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی نسبی ۰/۴۱ رخ داد. برای بررسی علت افزایش ضریب دبی با کاهش نسبت R_r می‌توان از الگوی جریان که از خروجی های نرم افزار Flow-3D می‌باشد استفاده نمود که در ادامه‌ی این تحقیق به آن پرداخته خواهد شد.

بررسی روند تغییر افت انرژی نسبی

با توجه به نتایج آنالیز ابعادی افت انرژی، برای مشاهده روند تغییرات این پارامتر، باید روند تغییر افت انرژی نسبی با پارامترهای شعاع نسبی و بازشدگی نسبی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد که این بررسی‌ها در ادامه ارائه می‌شوند.

بررسی تغییرات افت انرژی نسبی با تغییر شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی

در این مرحله با استفاده از رابطه (۱۵) و با توجه به نتایج آنالیز ابعادی و رابطه (۱۱)، انرژی مخصوص در بالادست و پایین دست سازه به دست آمد با تفاضل این دو و تقسیم بر انرژی در بالادست سازه، افت انرژی نسبی برای هر شبیه‌سازی به دست آمد.

$$E = Y + \frac{V^2}{2g} \quad (15)$$

در ادامه روند تغییر این پارامتر با تغییر شعاع نسبی برای دبی‌های مختلف در شکل‌های زیر مشاهده می‌شوند. مشاهده می‌شود با افزایش شعاع نسبی، افت انرژی نسبی افزایش خواهد یافت و این روند در تمامی دبی‌ها و همچنین تمامی نسبت‌های بازشدگی در پیچه، مشاهده شد. در واقع با افزایش کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی به سمت بالادست و افزایش نسبت R_r افت انرژی نسبی کاهش خواهد یافت. این روند در تمامی دبی‌ها و در تمامی بازشدگی‌های نسبی مشاهده شد.

بررسی تغییرات انرژی مخصوص بدون بعد با افزایش بازشدگی

برای هر شبیه‌سازی، پس از محاسبه افت انرژی رخ داده، نسبت افت انرژی به انرژی مخصوص اولیه محاسبه شد و روند تغییر این پارامتر با تغییر میزان بازشدگی نسبی در پیچه محاسبه شد. در ادامه شکل‌های (۱۱) تا (۱۶) روند تغییر این پارامتر در دبی‌های شبیه‌سازی شده مشاهده می‌شود.

در این بررسی مشاهده شد که ایجاد تبدیل تدریجی سهموی (مطالعه حاضر) در مقایسه با حالت بدون تبدیل تدریجی (مطالعه Sajjadi et. al. (2020) می‌تواند تأثیر بسیار زیادی بر افزایش ضریب دبی عبوری داشته باشد.

برای بررسی کمی میزان تغییر ضریب دبی، دو نوع محاسبه‌ی درصد افزایش دبی، محاسبه شد. در نوع اول به بررسی درصد افزایش ضریب دبی در حالت بدون حضور تبدیل تدریجی سهموی و با حضور تبدیل تدریجی سهموی در حالت حداقل کشیدگی ($R_r=0.33$) پرداخته شد که رابطه درصد افزایش ضریب دبی به شکل رابطه (۱۲) می‌باشد.

$$\% \Delta Cd = \frac{Cd_{with\ transition(Rr=0.33)} - Cd_{without\ transition(Rr=0)}}{Cd_{without\ transition}} \times 100 \quad (12)$$

در واقع رابطه (۱۲) بیانگر حداقل تأثیر حضور تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی می‌باشد. این رابطه برای ۳ دبی و در بازشدگی‌های مختلف محاسبه شد. نتایج نشان داد که با قرار دادن تبدیل تدریجی سهموی با حداقل کشیدگی، به طور متوسط در دبی‌های ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه، ضریب دبی عبوری حداقل به میزان ۶، ۶/۴ و ۷/۲ درصد افزایش خواهد یافت. در ادامه برای بررسی همین روند در بازشدگی‌های مختلف، مشاهده شد که بازشدگی‌های نسبی ۰/۴۱، ۰/۴۵ و ۰/۴۹ به ترتیب ضریب دبی حداقل به میزان ۸/۹، ۵/۷ و ۵ درصد افزایش یافت.

برای بررسی کمی اثر افزایش کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی (R_r) در بالادست دریچه سالونی بیضوی بر ضریب دبی عبوری، و در واقع مقایسه ضریب دبی در حالت حداقل و حداکثر کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی در بالادست، از رابطه (۱۳) استفاده شد.

$$\% \Delta Cd = \frac{Cd_{with\ transition(Rr=1.67)} - Cd_{with\ transition(Rr=0.33)}}{Cd_{with\ transition(Rr=0.33)}} \times 100 \quad (13)$$

مطابق این رابطه ضریب دبی عبوری در حالت حداقل و حداکثر کشیدگی در دبی‌ها و بازشدگی‌های مختلف مورد مقایسه و بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش کشیدگی نسبی از ۰/۳۳ تا ۱/۶۷ در دبی‌های ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه به ترتیب، به طور متوسط به میزان ۲۱/۵، ۱۳/۴ و ۱۱/۵ درصد افزایش دبی رخ داد. در ادامه نیز برای محاسبه حداکثر افزایش ضریب دبی در حالت حداکثر کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی و مقایسه آن با حالت بدون تبدیل تدریجی، از رابطه (۱۴) استفاده شد.

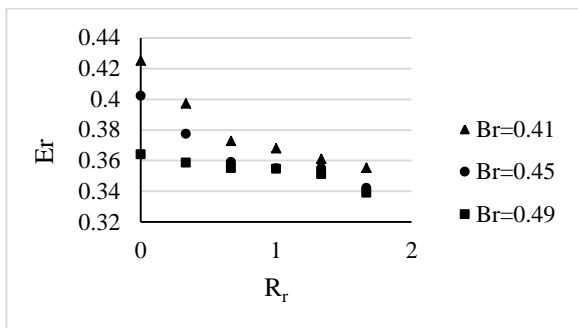


Fig. 12 - The trend of changing the relative energy drop with a relative radius of 35 l/s

شکل ۱۲- روند تغییر افت انرژی نسبی با شعاع نسبی در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه

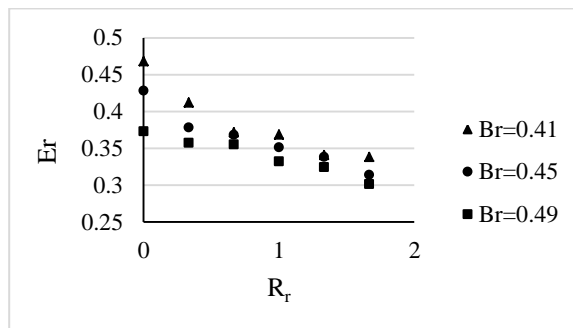


Fig. 11 - The trend of changing the relative energy drop with a relative radius of 25 l/s

شکل ۱۱- روند تغییر افت انرژی نسبی با شعاع نسبی در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

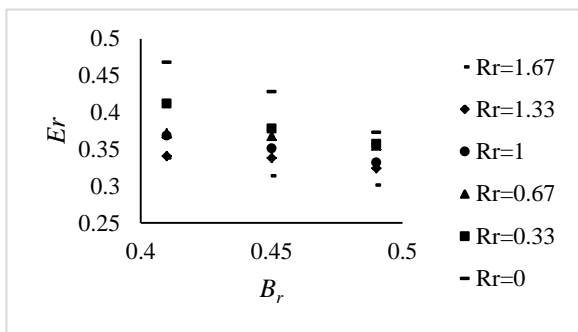


Fig. 14 - The trend of changing the relative energy drop by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 25 l/s

شکل ۱۴- روند تغییر افت انرژی نسبی با تغییر بازشدگی نسبی در بجه در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

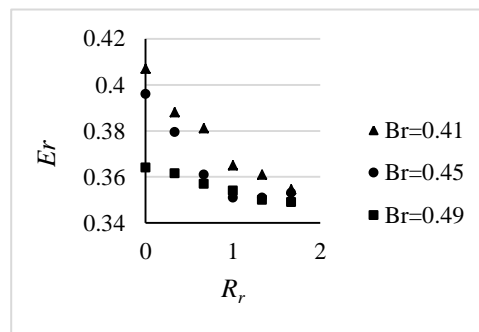


Fig. 13- The trend of changing the relative energy drop with a relative radius of 45 l/s

شکل ۱۳- روند تغییر افت انرژی نسبی با شعاع نسبی در دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه

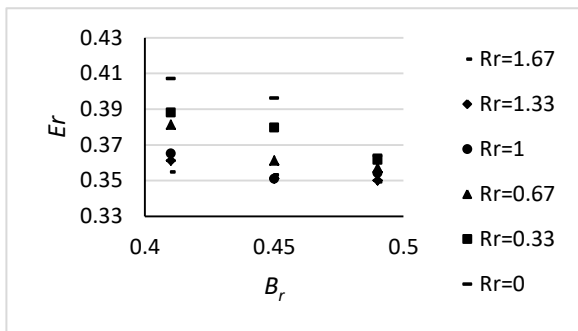


Fig. 16- The trend of changing the relative energy drop by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 45 l/s

شکل ۱۶- روند تغییر افت انرژی نسبی با تغییر بازشدگی نسبی در بجه در دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه

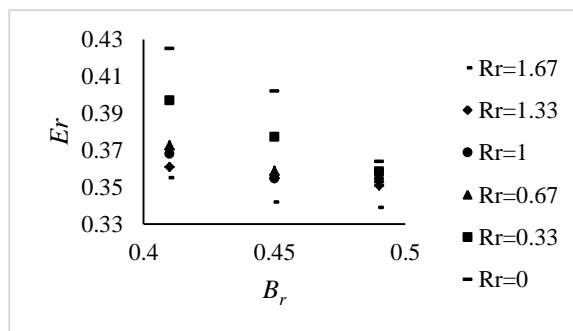


Fig. 15- The trend of changing the relative energy drop by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 35 l/s

شکل ۱۵- روند تغییر افت انرژی نسبی با تغییر بازشدگی نسبی در بجه در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه

تدریجی به سمت بالادست، افت انرژی نسبی به میزان ۲۷/۷ درصد در مقایسه با حالت بدون تبدیل تدریجی، کاهش یافته است. در ادامه برای بررسی علل رخ دادن این روند، به بررسی الگوی بردارهای جریان عبوری پرداخته می‌شود.

بررسی اثر تبدیل تدریجی سهموی بر خطوط جریان عبوری از دریچه سالونی بیضوی

پس از بررسی روند تغییر پارامترهای اصلی با تغییر شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی و همچنین تغییر عرض نسبی بازشدگی دریچه سالونی بیضوی، اقدام به بررسی خطوط جریان در بالادست و پایین دست در حالت بدون حضور تبدیل تدریجی سهموی و با حضور تبدیل گردید. در ادامه به عنوان نمونه برای چند شبیه‌سازی، این مقایسه انجام شد که در شکل‌های (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) برای دبی‌ها و بازشدگی‌های مختلف ارائه شده است.

مشاهده می‌شود با افزایش میزان بازشدگی نسبی دریچه سالونی بیضوی، میزان افت انرژی جریان عبوری کاهش می‌یابد. این روند با نتایج مطالعات (Pilbala et al. (2021) و Shafaei Bajestan (2020) تطابق و همخوانی دارد.

برای بررسی کمی میزان کاهش افت انرژی نسبی با کاهش نسبت R_r یا افزایش کشیدگی نسبی تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، با استفاده از رابطه (۱۴) میزان درصد کاهش افت انرژی نسبی با افزایش کشیدگی تبدیل تدریجی به سمت بالادست محاسبه شد.

$$\% \Delta E_r = \frac{E_{r \text{ without transition}} - E_{r \text{ with transition}}}{E_{r \text{ without transition}}} \times 100 \quad (14)$$

پس از انجام محاسبات مشاهده شد که در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی نسبی ۰/۴۱ و بیشترین میزان کشیدگی نسبی تبدیل

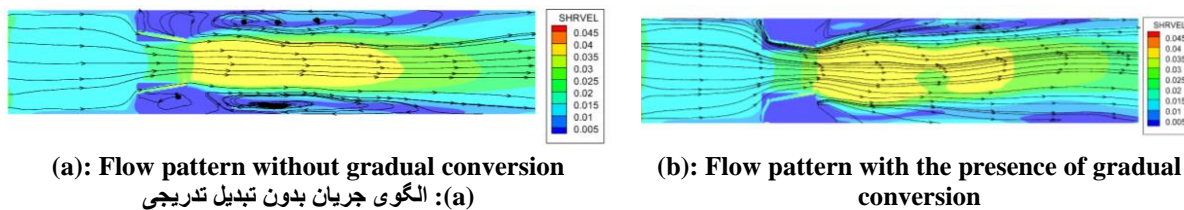


Fig. 17 - Comparison of the shape of flow lines for an opening of 32.8 cm and a flow of 25 l/s

شکل ۱۷ - مقایسه شکل خطوط جریان برای بازشدگی ۳۲/۸ سانتی‌متر و دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

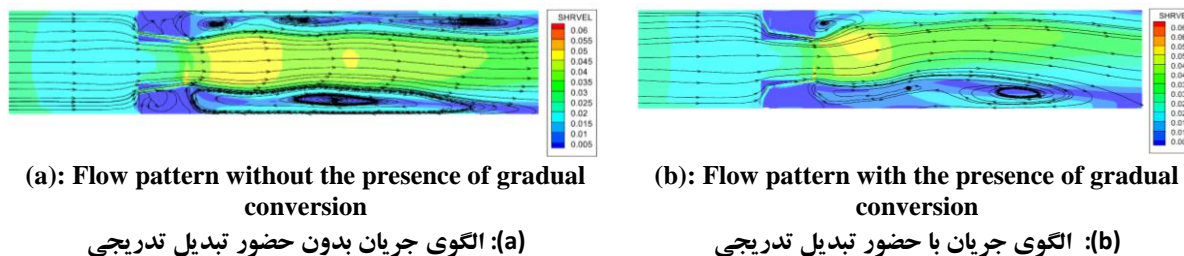


Fig. 18 - Comparison of the shape of flow lines for an opening of 32.8 cm and a flow of 45 l/s

شکل ۱۸ - مقایسه شکل خطوط جریان برای بازشدگی ۳۲/۸ سانتی‌متر و دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه

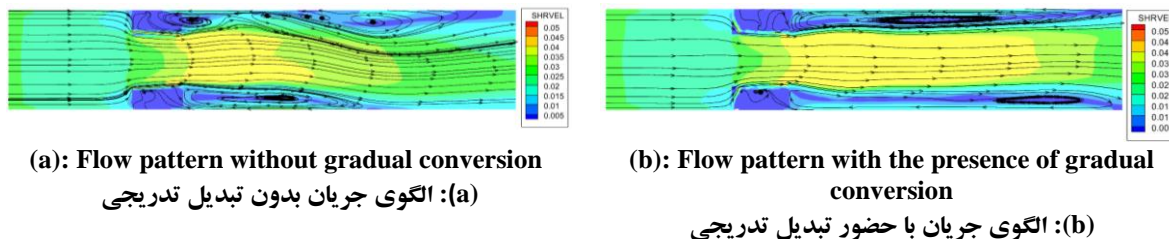


Fig. 19 - Comparison of the shape of flow lines for an opening of 39.2 cm and a flow of 45 l/s

شکل ۱۹ - مقایسه شکل خطوط جریان برای بازشدگی ۳۹/۲ سانتی‌متر و دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه

تبدیل، مشاهده شد که میزان شکستگی و انحنای خطوط جریان در حالت با تبدیل تدریجی سهموی، کمتر از زمانی است که تبدیل به کار برده نشده است. لذا حضور تبدیل تدریجی باعث یکنواختی در حرکت جریان و کاهش انحنای بردارهای جریان شده که این امر نیز باعث افزایش ضریب دبی و کاهش میزان افت انرژی شده است.

نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D اقدام به شبیه‌سازی حضور تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی شده است. پس از بررسی‌های نرم‌افزاری و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی، مدل آشفتگی LES برای انجام انتخاب شد و شبیه‌سازی‌ها در دو حالت بدون تبدیل تدریجی و همچنین با حضور تبدیل تدریجی سهموی انجام شد. نتایج نشان داد که پس از قرارگیری تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، بردارهای جریان با انحنای و شکستگی کمتری وارد دریچه می‌شوند و تعداد و اندازه گردابه‌های بوجود آمده در پایین‌دست دریچه نیز کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به تغییرات ذکر شده، ضریب دبی افزایش می‌یابد و افت انرژی نیز کاهش می‌یابد. به‌گونه‌ای که با قرارگیری تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، افت انرژی نسبی حداکثر به میزان ۲۷/۷ درصد کاهش و ضریب دبی نیز حداکثر به میزان ۲۴ درصد افزایش یافت.

سپاسگزاری

این تحقیق مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم می‌باشد که با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده اول با شماره پژوهانه SCU.WHI1400.470 تأمین شده است و بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می‌شود.

References

- 1- Aqua Systems 2000 Incorporation (AS21). Leaders in Water Management and Control. 2013; <<http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopacgate>>; 2013.
- 2- Arab Ameri, M., Barfehi, M., 2016. Solve Navier-Stokes equations using networkless methods of radial basis functions. *Sea Techniques*, 3 (1), pp. 47-53. (In Persian).
- 3- Babaei Faqihmahaleh, R., Ismaili Varki, M. and Shafiee Sabet, B., 2018. Investigation of the effect of geometric characteristics and hydraulic conditions on the performance of the salon-partial flow flow adjustment structure. *Iranian Soil and Water Research*, 49 (4), pp.727-717. (In Persian).
- 4- Bahrebar, A. R., Heidarnajad, M., Masjidi, A., Kaman Bedast, A. A., and Bordbar, A., 2018. Comparison of flow rate in congressional overflows with different geometries using Flow-3D software and laboratory model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12 (4), pp. 982-993. (In Persian).

همان‌گونه که در شکل (۱۷-الف) نشان داده شده‌است، گردابه افقی در دوطرف و بالادست دریچه شکل می‌گیرد. در حالیکه در شکل (۱۷-ب) برای شرایط با تبدیل تدریجی سهموی این گردابه تشکیل نمی‌شود و خطوط جریان بدون جداشدگی از دیواره‌های به دریچه منتقل می‌شوند. علاوه بر این در پایین‌دست نیز در شرایط بدون تبدیل تدریجی گردابه‌هایی در دو سوی جریان خروجی از دریچه و در طول نسبتاً زیادی شکل می‌گیرد. دلیل عمده آن متمرکز شده و فشردگی ناگهانی خطوط جریان در بالادست و عبور آن‌ها از دریچه است که با افزایش عرض دریچه در بالادست تا فاصله زیادی خطوط نمی‌توانند به دیواره‌ها برگردند. در نتیجه این جدایش الگوی افقی نسبتاً طولانی در پایین‌دست شکل می‌گیرد. در حالی که همان‌گونه که در شکل (۱۷-ب) دیده می‌شود، خطوط جریان پایین‌دست در فاصله کمتری به دیواره‌ها رسیده و سطح جداشدگی بسیار کمتر است و مسلماً قدرت گردابه افقی هم کمتر خواهد بود. با افزایش دبی جریان به ۴۵ لیتر بر ثانیه و برای بازشدگی یکسان، همان‌گونه که شکل (۱۸-الف) نشان می‌دهد، گردابه‌های افقی در دو سمت جت خروجی و با قدرت بیشتری شکل گرفته‌اند. البته به دلیل افزایش انرژی جنبشی خروجی آب، این گردابه‌ها با قدرت بیشتری نسبت به حالت دبی (۱۷-ب) در شرایط با حضور تبدیل تدریجی تشکیل می‌شوند که در شکل (۱۸-ب) نشان داده شده است. با مقایسه دو شکل (۱۸-الف) و (۱۸-ب) هم نشان می‌دهد که تبدیل تدریجی سهموی باعث کاسته شدن از سطح جدایش گردابه است که کاهش قدرت گردابه را به‌همراه دارد. در شکل (۱۹) که برای باز شدگی بیشتر از دو شکل (۱۷) و (۱۸) می‌باشد، تاثیر افزایش دبی خروجی و در نتیجه انرژی جنبشی را نشان می‌دهد. در مقایسه با شکل (۱۸)، مشخص هست که سطح جدایش افزایش یافته است. همچنین با بررسی انحنای الگوی جریان در بالادست دریچه‌ها در دو حالت بدون تبدیل و با

- 5- Gómez, M., Rodellar, J. and Mantecon, J.A., 2002. Predictive control method for decentralized operation of irrigation canals. *Applied Mathematical Modelling*, 26(11), pp.1039-1056. Doi: 10.1016/S0307-904X(02)00059-8.
- 6- Kaheh, M., Dehghani, A. A., Kaheh, M. and Zahiri, A., 2015. Hydraulic flow simulation in overflow-valve composite structures using Flow3D software. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 22 (1), pp. 111-129. doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.007. (In Persian).
- 7- Kheibar, H., and Sajjadi, S. M., and Ahadian, J., 2020. Investigation of energy consumption and flow through the elliptical lopac gate in the presence of sudden conversion. *Water and Soil Science*, 24 (3), pp. 83-95. Doi: doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.007. (In Persian).
- 8- Kheybar, H., Sajjadi, S. M., and Ahadyan, J., 2021. Effect of sudden canal contraction on the discharge coefficient and the energy dissipation coefficient of the elliptical LOPAC gate. *Irrigation and Drainage*. doi.org/10.1002/ird.2622.
- 9- Monem, M. J, Hosseinzadeh, Z., 2012. Development and testing of an automatic hinged overflow mathematical model with PID logic. *Iranian Soil and Water Research*, 43 (1), pp. 87-94. (In Persian).
- 10-Naghai, R, Monem, M. J., Hashemi Shahdani, S. M., 2016. Investigation of different hydraulic conditions and operation of saloon valves and development of structural mathematical model in accordance with ICSS hydrodynamic model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 10 (1), pp. 24-35. (In Persian).
- 11-Naghaei, R. and Monem, M.J., 2016. Development of a mathematical model of Lopac gates in accordance with the ICSS hydrodynamic model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(10), pp.04016043. doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001066.
- 12-Pilbala, A., Sajjadi, S. and Bejestan, M.S., 2021. Hydraulic performance of elliptical-LOPAC gate under submerged flow conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), pp.317-326. doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.007.
- 13-Sajjadi, S. M., Kheibar, H. and Ahadian, J., 2020. Investigation of the effect of sudden channel conversion on elliptical lopac gate discharge coefficient under submerged flow conditions. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14 (1), pp. 115-124. (In Persian).
- 14-Sajjadi, M., Neysi, M., and Shafai bajestan, M., 2021. Experimental Investigation of Hydraulic Conditions of Elliptical and Rectangular Lopac Gate In free Flow Conditions, *Iranian Water Research Journal*, 14(39), pp. 1-8. (In Persian).
- 15-Shafaei Bajestan, M., Zeinivand, M., Tahmasebipour, M., 2020. Elliptical lopac gate discharge coefficient with gradual conversion in submerged conditions. *Journal of Hydraulics*, 15 (2), pp. 67-80. Doi: 10.30482/JHYD.2020.225028.1449 .(In Persian).
- 16-Yousefvand, F., Monem, M. J. and Kavianpour, M.R., 2018(a). Laboratory study of the effect of immersion and input conversion on the flow-discharge relations of the saloon valve. *Iranian Soil and Water Research*, 49 (5), pp. 1095-1106. (In Persian).
- 17-Yousefvand, F., Monem M. J. and Kavianpour, M. R., 2018(b). Estimation of flow equations and discharge coefficient of lopac gate in submerged conditions, using momentum relation. *Iranian Water Research*, 12 (29). Pp. 51-58. (In Persian).
- 18-Yousefvand, F., Monem, M. J., Kavianpour, M. R. (2015). 'Experimental and Theoretical Analysis of Discharge Coefficient for Submerged Lopac Gate', *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 9(5), pp. 811-819 (In Persian).

-
- 19-Zamiri, E., Karami, H., and Farzin, S., 2020. Studying the effect of shape changes in plan of labyrinth weir on increasing flow discharge coefficient using Flow-3D numerical model. *Irrigation Sciences and Engineering*, 43(1), pp. 101-116. DOI: 10.22055/jise.2018.22395.1604. (In Persian).

EXTENDED ABSTRACT

Performance evaluation of ANN-WOA and ANN-BWO simulation-optimization methods in predicting daily runoff (case study: Jelogir station in Karkheh watershed)

E. Merufinia¹, A. Sharafati^{2*}, H. Abghari³ and Y. Hassanzadeh⁴

1- Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2*- Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (asharafati@srbiau.ac.ir).

3-Department of Range and Watershed Management, Urmia University, Urmia, Iran.

4-Department of Water Engineering, Center of Excellence, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz -Farazab Consulting Engineers, PMO, Tabriz, Iran .

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 11 October 2022

Revised: 16 September 2023

Accepted: 17 September 2023

Keywords:

Black widow algorithm; Rainfall-Runoff prediction; correlation coefficient; Wavelet.

TO CITE THIS ARTICLE:

Merufinia, E., Sharafati, A., Abghari, H., Hassanzadeh, Y. (2024). 'Performance evaluation of ANN-WOA and ANN-BWO simulation-optimization methods in predicting daily runoff (case study: Jelogir station in Karkheh watershed)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(3), pp. 19-36. doi: 10.22055/jise.2023.42026.2043.

Introduction

The key to social and economic development is water, an essential natural resource. Worldwide, many areas are experiencing water supply and demand mismatches or are under extreme stress due to water shortages. Water resources have been mismanaged or limited due to an increase in demand and limitations in available water supply (Banadkooki et al., 2019). Rainfall and runoff are considered to be the main components of the hydrological cycle. In order to capture the dynamic relationship between rainfall and runoff, engineers need to develop an accurate model (Tikhmarine et al., 2022). Rainfall-runoff modeling is one of the methods of estimating runoff and a suitable tool for studying hydrological processes, evaluating water resources and watershed management (Abrahart and See, 2000). But the complexity and non-linear nature of the rainfall-runoff process and the unknown effect of the factors on each other and finally on the outflow of the basin make modeling more difficult (Moriasi et al., 2007). Therefore, it is necessary to use methods that, in addition to dynamism, have the ability to develop, have a conceptual and user-friendly structure (Shi et al., 2012). The role and importance of the mentioned process in water resources studies has caused this process to be noticed by experts (Guvén, 2009). Therefore, several methods such as artificial neural networks, fuzzy and neuro-fuzzy systems, wavelet analysis, genetic algorithm, genetic programming and stochastic differential equations have been developed to model the rainfall-runoff process (Yaseen et al., 2016; Zhang et al., 2019). The development of rainfall-runoff models using different AI models has been conducted several times in the past two decades, but these models still have several shortcomings. These drawbacks are usually related to overfitting, difficulty in initializing the internal parameters related to these models and proposing the proper input-output architecture of the model (Ahmed et al., 2019).

Methodology

Rainfall measurements are considered a basis for any hydrological modelling. In this research, in order to model the rainfall-runoff process, rainfall and discharge variables at different delays were used as input variables and discharge as output variables. In order to develop the model, the first step is to split the data into different classes to train, validate and test the model performance. The main importance of such step is to assure that the model would perform with consistent level of accuracy in case that the model experienced unseen data rather than those in the training. Debit was used from one day delay to four days delay and precipitation was also used up to six days delay. Then Pearson's correlation coefficient was used to find the relationship between input and output variables. Finally, based on the correlation coefficient, the best input model combination was selected. The time series of the research data is daily and the ten-year discharge and precipitation statistics were used and a radar chart was drawn between the variables. An artificial neural network was used for modeling. In order to find the optimal weight and bias coefficients, meta-heuristic algorithms of black spider and whale were used. Also, to evaluate the model, the indices of RMSE, MAE and PBIAS were used.

To evaluate the accuracy and performance of the model, we use the evaluation criteria according to the equations (31) to (35) as follows:

The Root mean square error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{prd} - Q_{obs})^2} \quad (0 < RMSE < \infty) \quad (1)$$

The coefficient of determination (R2 score):

$$R^2 = 1 - RSE \quad (0 < R^2 < 1) \quad (2)$$

Mean Absolute Error (MAE):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_{prd} - Q_{obs}| \quad (0 < MAE < \infty) \quad (3)$$

Coefficient of correlation (R):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})(Q_{prd} - \bar{Q}_{prd})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2 \sum_{i=1}^N (Q_{prd} - \bar{Q}_{prd})^2}} \quad (-1 < R < +1) \quad (4)$$

Results and Discussion

In this research, the correlation coefficient was used to find the relationship between the input and output variables. The results of the research show that the flow rate with a one-day delay had the highest correlation with the output flow rate. Also, after choosing the best combination of the input model from the artificial neural network to predict the process Precipitation-runoff was used and black spider and whale algorithms were used to optimize the weighting and bias coefficients. The final results showed that all the models had a very good performance in forecasting and were able to predict the result of the model in a single mode. Finally, a box diagram and time series and data dispersion were used.

Conclusions

According to the RMSE criteria, it can be said that the ANN-WOA model has the best performance in predicting the rainfall-runoff process. Also, all the mentioned models showed a very good performance in the forecasting process. Based on this, the ANN-WOA model has been able to

improve the accuracy of a single model by 32.4%, the ANN-BWO model by 27.6% and the WANN network by 22.4%.

Acknowledgments

The authors thank the officials of Islamic Azad University and Shahid Chamran University of Ahvaz, especially the officials and staff of the Faculty of Water and Environmental Engineering of Shahid Chamran University of Ahvaz for providing the necessary facilities and conditions for this research.

Reference

- 1- Abrahart, R.J. and See, L., 2000. Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments. *Hydrological processes*, 14(11-12), pp.2157-2172. Doi: 10.1002/1099-1085(20000815/30)14:11/12<2157::AID-HYP57>3.0.CO;2-S.
- 1- Ahmed, A. N., Othman, F. B., Afan, H. A., Ibrahim, R. K., Fai, C. M., Hossain, M. S., ... & Elshafie, A. (2019). Machine learning methods for better water quality prediction. *Journal of Hydrology*, 578, 124084. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124084>.
- 2- Banadkooki, F. B., Ehteram, M., Ahmed, A. N., Fai, C. M., Afan, H. A., Ridwam, W. M., ... & El-Shafie, A. (2019). Precipitation forecasting using multilayer neural network and support vector machine optimization based on flow regime algorithm taking into account uncertainties of soft computing models. *Sustainability*, 11(23), 6681. <https://doi.org/10.3390/su11236681>.
- 3- Guven, A. (2009). Linear genetic programming for time-series modelling of daily flow rate. *Journal of earth system science*, 118(2), 137-146.
- 2- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), pp.885-900.
- 3- Shi, J., Guo, J. and Zheng, S., 2012. Evaluation of hybrid forecasting approaches for wind speed and power generation time series. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), pp.3471-3480. Doi: 10.1016/j.rser.2012.02.044.
- 4- Tikhamarine, Y., Souag-Gamane, D., Ahmed, A.N., Sammen, S.S., Kisi, O., Huang, Y.F. and El-Shafie, A., 2020. Rainfall-runoff modelling using improved machine learning methods: Harris hawks optimizer vs. particle swarm optimization. *Journal of Hydrology*, 589, p.125133. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125133>
- 4- Yaseen, Z.M., El-Shafie, A., Afan, H.A., Hameed, M., Mohtar, W.H.M.W. and Hussain, A., 2016. RBFNN versus FFNN for daily river flow forecasting at Johor River, Malaysia. *Neural Computing and Applications*, 27, pp.1533-1542.
- 5- Zhang, D., Peng, X., Pan, K. and Liu, Y., 2019. A novel wind speed forecasting based on hybrid decomposition and online sequential outlier robust extreme learning machine. *Energy conversion and management*, 180, pp.338-357. Doi: 10.1016/j.enconman.2018.10.089.



ارزیابی عملکرد روش‌های شبیه‌سازی-بهینه‌سازی ANN-WOA و ANN-BWO در پیش‌بینی رواناب روزانه (مطالعه موردی: ایستگاه جلوگیر در حوضه آبریز کرخه)

ادریس معروفی نیا^۱، احمد شرافتی^{۲*}، هیراد عبقری^۳ و یوسف حسن زاده^۴

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- ۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (asharafati@srbiau.ac.ir)
- ۳- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران.
- ۴- استاد، گروه مهندسی آب، قطب علمی هیدروانفورماتیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، شرکت مهندسی مشاور فراز آب، دفتر برنامه‌ریزی و مدیریت طرح‌ها، تبریز، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵

دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹

چکیده

مدل‌سازی بارش-رواناب روزانه به دلیل تعدد عوامل مؤثر آن، یکی از پیچیدگی‌های علم هیدرولوژی است. ترکیب‌های مختلفی از عوامل بارش-رواناب طی دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۹۰-۱۴۰۰) به عنوان ورودی برای تخمین رواناب در مقیاس زمانی روزانه مورد ارزیابی قرار گرفت. از ۸۰ درصد داده‌ها به عنوان آموزش (۲۹۲۰ نمونه) و ۲۰ درصد داده‌ها به عنوان آزمون (۷۳۰ نمونه) استفاده گردید. عوامل ورودی شامل بارش (P) و دبی (Q) که برای بارش تا شش تأخیر و برای دبی تا چهار تأخیر استفاده گردید. از ضریب همبستگی پیرسون برای ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده گردید. بر این اساس ترکیب مدل شماره یک شامل بارش و دبی، دارای بیشترین همبستگی (۰/۸۰۵) و ترکیب سیزدهم (بارش و بارش از یک تا شش روز تأخیر و دبی از یک تا چهار روز تأخیر) دارای کمترین همبستگی (۰/۱۰۹) بوده است. به منظور مدل‌سازی از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی-الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ (ANN-WOA)، شبکه عصبی مصنوعی-الگوریتم بهینه‌سازی عنکبوت سیاه (ANN-BWO) و مدل شبکه عصبی-موجک کلاه مکزیکی (WANN) استفاده گردید. همچنین برای ارزیابی مدل از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، ضریب بهره‌وری نش-ساتکلیف (NSE) و ضریب ناریبی (PBIAS) استفاده گردید. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که کلبه مدل‌های فوق عملکرد بسیار خوبی در پیش‌بینی فرایند بارش-رواناب از خود نشان دادند. در این بین مدل ANN-BWO دارای بهترین عملکرد در پیش‌بینی بوده است. همچنین مدل‌های ANN-WOA و WANN به ترتیب ۳۲/۴ و ۲۷/۶ و ۲۲/۱۴ درصد دقت مدل منفرد شبکه عصبی را بهبود بخشیدند.

کلید واژه‌ها: الگوریتم عنکبوت سیاه، پیش‌بینی رواناب روزانه، ضریب همبستگی، شبکه عصبی موجکی.

مقدمه

پیش‌بینی دقیق فرایند رواناب روزانه برای برنامه‌های مدیریت منابع از قبیل کنترل سیلاب، احداث سد و سایر سازه‌های هیدرولیکی، بهره‌برداری از مخزن تامین آب و سیستم‌های برق‌آبی ضروری است (Kember et al., 1993). لذا پیش‌بینی دقیق فرایند مذکور و الگوهای آن برای پروژه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب حیاتی است. علاوه بر این، پیش‌بینی جریان آب می‌تواند اطلاعات قابل توجهی را برای توسعه طراحی پایدار زیرساخت آب، بررسی رفتار رودخانه‌ها برای اهداف عملیاتی و اجرایی، ارزیابی کیفیت آب، برآورد قیمت آب، و اتخاذ شیوه‌های کشاورزی پایدار در اختیار هیدرولوژیست‌ها قرار دهد (Yaseen et al., 2016). تخمین دقیق جریان در یک حوضه آبریز به دلیل توزیع آشفته، تناوب در الگوهای جریان و روابط پیچیده و غیر خطی بین عناصر حوضه آبریز دشوار

است (Güven, 2009). لذا به دلیل پیچیدگی، ویژگی پویا، تصادفی بودن و غیرخطی بودن آن که ناشی از تاثیر مکانیزم‌ها و ویژگی‌های فیزیکی متعدد درگیر در تولید آن، یعنی ویژگی‌های حوضه آبریز (توپوگرافی و شکل)، کاربری و پوشش زمین، تبخیر و تعرق و تغییرات آب و هوایی، پیش‌بینی فرایند فوق کار آسانی نخواهد بود (Chiang et al., 2004). روش‌های اصلی برای پیش‌بینی جریان شامل فرمول‌های تجربی، مدل‌های آماری، مدل‌سازی مفهومی مبتنی بر فیزیک و روش‌های داده-مینا می‌باشد. روابط تجربی روش‌های ساده‌ای هستند که بر اساس مجموعه داده‌های خاص و برای شرایط حوضه آبریز مشخص توسعه یافته‌اند، بنابراین، برای استفاده در حوضه‌های آبریز دیگر دقیق نیستند و در میان هیدرولوژیست‌ها چندان محبوب نیستند (Salas, 1980). از زمان انتشار تحقیقات Box و Jenkins (1970)، مدل‌های آماری کلاسیک-سری‌های زمانی

شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب پرداختند. نتایج پژوهش فوق نشان داد که سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. Daneshvar Vousoughi و Samadzadeh (2021) به پیش‌بینی رواناب دشت اردبیل با رویکردهای پیش پردازش زمانی موجکی پرداختند. یافته‌های پژوهش فوق نشان می‌دهد که اعمال روش‌های پیش‌پردازش زمانی رفع نویز موجکی و استفاده از تبدیل موجک در پیش‌بینی رواناب روزانه با مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب به‌طور متوسط باعث بهبود ۴ و ۳۹ درصدی در مرحله آزمایش مدل گردیده است. Ghorbani et al., (2016) به مدل‌سازی رواناب روزانه با استفاده از مدل‌های هوشمند هیبریدی پرداختند. یافته‌های پژوهش فوق نشان داد که از بین مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی مصنوعی، هیبرید موجک-ماشین بردار پشتیبان و هیبرید موجک-شبکه عصبی، مدل هیبرید موجک-شبکه عصبی با بیشترین دقت و کمترین خطا را داشته است. در این تحقیق به‌منظور شبیه‌سازی فرآیند رواناب روزانه ایستگاه جلوگیری اهواز در حوضه آبریز کرخه، از شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های فرا ابتکاری عنکبوت سیاه و نهنگ و مدل عصبی موجکی استفاده خواهیم نمود تا ضمن بهینه کردن ضرایب درونی وزن و بایاس در راستای کاهش خطای مدل و افزایش دقت آن اقدام گردد. در نهایت برای ارزیابی مدل از شاخص‌های مختلف استفاده خواهد و میزان افزایش دقت مدل‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه کرخه در غرب کشور ایران در مناطق میانی و جنوبی کوه‌های زاگرس قرار دارد. این حوضه از نظر تقسیمات کشوری جزء حوضه‌های درجه دو محسوب می‌گردد. حوضه آبریز رودخانه کرخه از حوضه‌های باز ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه فرعی به‌شمار می‌رود و زیر مجموعه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است. مساحت کرخه برابر با ۵۱۵۲۷ کیلومتر می‌باشد. رودخانه ی کرخه، پس از کارون و دز سومین رودخانه ی بزرگ ایران از نقطه نظر آبدی محسوب می‌گردد. حوضه ی آبریز رودخانه‌ی کرخه بین ۴۶ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی، ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این حوضه با وسعتی در حدود ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع کیلومتر مربع، شامل استان‌های همدان، کرمانشاه، لرستان، ایلام، کردستان و خوزستان می باشد. شاخه های اصلی تشکیل دهنده ی رودخانه‌ی کرخه، رودخانه‌های گاماسیاب، قره‌سو، سیمره، چرداول و کشکان می‌باشند که زیر حوضه‌های اصلی کرخه را تشکیل می‌دهند. شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز کرخه را نشان می‌دهد.

جعبه سیاه، مانند میانگین متحرک خودهمبسته (ARMA)، میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه (ARIMA)، رگرسیون خطی (LR) و رگرسیون خطی چندگانه (MLR) به کار گرفته شده‌اند (Valipour and Montazar, 2012; Abudu et al., 2010). برخی از مدل‌های فیزیک-محور متداول که توسط محققان حوزه منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی (HEC-HMS) و ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) می‌باشد. این مدل‌ها عموماً برای فرایندهای فیزیکی حوضه آبریز توسعه یافته‌اند و پدیده‌های حوضه آبریز را در مقیاس پیکسل در نظر می‌گیرند. لذا این مدل‌ها نیاز به تجزیه و تحلیل عمیق‌تری دارند و به مقادیر زیادی از داده‌های اندازه‌گیری شده دقیق به‌عنوان ورودی نیاز دارند (Yaseen et al., 2018). در دهه‌های اخیر، رویکردهای داده-مبنا (محاسبات نرم) توجه فرآیندهای در میان هیدرولوژیست‌ها یافته است. (Ahmed and Sarma, 2007; Afan et al., 2015). الگوریتم‌های هوش مصنوعی یادگیری ماشین، مدل‌های مفهومی هستند که می‌توانند روابط غیرخطی بین متغیرهای ورودی و خروجی‌ها را استخراج کنند (Maier et al., 2014). شبکه‌های عصبی مصنوعی رویکردی است که به‌طور گسترده در کاربردهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، دو نوع یادگیری شامل یادگیری نظارت‌شده از قبیل شبکه عصبی مصنوعی پس‌انتشار پیشخور (FFBP)، تابع پایه شعاعی (RBF)، پرسپترون چند لایه (MLP) و شبکه عصبی رگرسیون تعمیم یافته (GRNN) و یادگیری غیرنظارتی از قبیل سیستم خودنگاشت (SOM) طبقه‌بندی شود (Abrahart and See, 2000; Danandeh Mehr et al., 2015). محبوبیت شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌علت سرعت همگرایی و قابلیت تعمیم پایین آن‌ها کاهش یافته به‌خصوص زمانی که رکورد داده‌ها برای اهداف آموزشی کوتاه‌مدت مورد استفاده قرار گرفته است و دامنه داده‌های آزمایش خارج از محدوده مورد استفاده برای آموزش است که منجر به کمینه محلی و تعیین اولیه وزن‌ها به‌صورت تصادفی در هر شبیه‌سازی می‌باشد (Anusree and Varghese, 2016). یکی از راهکارهای اساسی برای بهینه‌کردن ضرایب وزنی و بایاس در شبکه‌های عصبی مصنوعی، استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری می‌باشد که با شبکه‌های عصبی ترکیب می‌گردد و تشکیل یک مدل هیبریدی را می‌دهد. مطالعه‌های گسترده‌ای در زمینه شبیه‌سازی فرآیند رواناب روزانه با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی انجام گرفته است. Ghorbani و Dehghani (2016) کاربرد شبکه‌های عصبی بیزین، ماشین بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی بیان ژن در تحلیل بارش - رواناب را مورد استفاده قرار دادند. نتایج پژوهش فوق نشان داد که شبکه عصبی بیزین عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها شبیه‌سازی فرآیند رواناب روزانه داشته است. Salajegheh et al (2009) به بررسی کارایی روش‌های عصبی- فازی و مدل‌های آماری در

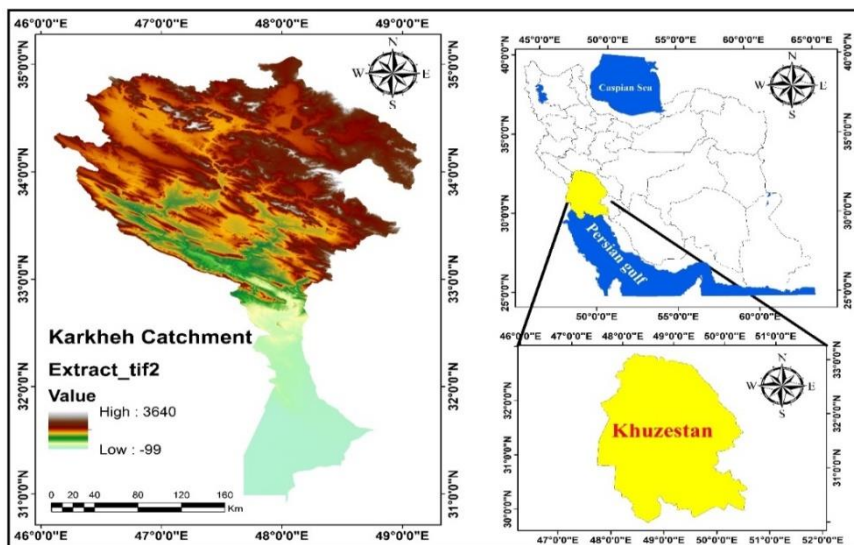


Fig. 1- The location of Karkheh watershed

شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کرخه

همان گونه که در بخش بالا اشاره گردید دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۹۲-۱۳۴۸) به عنوان ورودی برای تخمین رواناب در مقیاس زمانی روزانه مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد کل داده های پژوهش ۳۶۵۰ رکورد می باشد که از ۸۰ درصد داده ها بعنوان آموزش (۲۹۲۰ رکورد) و ۱۰ درصد داده ها به عنوان آزمون (۳۶۵ رکورد) و ۱۰ درصد داده ها به عنوان اعتبارسنجی (۳۶۵ رکورد) استفاده گردید. جدول (۱) خلاصه پارامترهای آماری رایج (بیشینه، کمینه، میانگین، انحراف معیار، واریانس، ضریب تغییرات، چولگی و ضریب کشیدگی) بین متغیر ورودی (بارش بر حسب میلی متر) و دبی (بر حسب متر مکعب بر ثانیه) را نشان می دهد.

سناریوهای پژوهش و انتخاب بهترین ترکیب مدل

پدیده های مختلفی در پیش بینی رواناب روزانه تأثیرگذار هستند. از اثرات برخی از این متغیرها به علت ناچیز بودن مقدار و اثرات آنها می توان صرف نظر نمود. از مهم ترین عوامل در پیش بینی فرایند بارش-رواناب می توان به بارش و دبی اشاره نمود. در این پژوهش سناریوهای مختلفی بین متغیرهای ورودی و خروجی مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت اثرات بارش و دبی با تأخیرهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت. اثرات بارش با شش تأخیر و اثرات دبی با چهار تأخیر مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس برای پیدا کردن ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. مقدار ضریب همبستگی بین ۱ و -۱ می باشد. اگر این مقدار صفر باشد همبستگی بین داده ها وجود دارد. عدد +۱ همبستگی مستقیم و -۱ همبستگی معکوس بین متغیرهای ورودی و خروجی را

آماده سازی و پیش پردازش داده ها

به منظور پیش بینی فرایند رواناب روزانه، اطلاعات روزانه دبی و بارش ایستگاه هیدرومتری جلوگیری در بالا دست سد مخزنی کرخه، مربوط به ۱۳۹۰-۱۳۹۰ از سازمان آب و برق خوزستان جمع آوری گردید. دوره آماری ۱۰ ساله به عنوان ورودی برای تخمین رواناب در مقیاس زمانی روزانه مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد کل داده های پژوهش ۳۶۵۰ رکورد می باشد که از ۸۰ درصد داده ها به عنوان آموزش (۲۹۲۰ رکورد) و ۱۰ درصد داده ها به عنوان آزمون (۳۶۵ رکورد) و ۱۰ درصد نیز به عنوان اعتبارسنجی (۳۶۵ رکورد) استفاده گردید. پارامتر و متغیرهای ورودی شامل بارش بارش (P) و بارش تا شش تأخیر و دبی تا پنج تأخیر مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به این که داده های دارای گستره متفاوتی می باشند برای مدل سازی می بایست داده ها نرمال گردد. هدف نرمال سازی تبدیل ویژگی ها به یک مقیاس مشابه است. این باعث بهبود عملکرد و ثبات آموزش مدل می شود. رابطه (۱) نرمال کردن داده ها را نشان می دهد.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

که در این رابطه X_{norm} : داده نرمال شده، X : داده ای که می خواهیم نرمال کنیم، X_{max} و X_{min} : به ترتیب داده های کمینه و بیشینه هستند. داده های نرمال شده در بازه صفر و یک خواهند بود.

پارامترهای آماری داده های آموزش و آزمون

خروجی و درجه بندی آن‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر ضریب همبستگی، ترکیب مدل ورودی با توجه به رتبه و درجه هر متغیر ورودی با خروجی تشکیل می‌گردد. جدول (۳) ترکیب مدل ورودی بین متغیرهای ورودی و خروجی را نشان می‌دهد. همچنین برای نمایش گرافیکی همبستگی بین متغیرهای ورودی و خروجی از نمودار راداری (عنکبوتی) استفاده می‌گردد. این نمودار مقادیر سه متغیر یا بیشتر را نسبت به یک نقطه مرکزی با یکدیگر مقایسه می‌کند. شکل (۲) نمودار راداری بین متغیرهای ورودی و خروجی را نشان می‌دهد.

نشان می‌دهد. ضریب همبستگی از رابطه (۲) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

که در این رابطه r : ضریب همبستگی پیرسون، x_i : مقادیر متغیر x در یک نمونه یا رکورد، \bar{x} : میانگین مقادیر متغیر x ، y_i : مقادیر متغیر y در یک نمونه یا رکورد و \bar{y} : میانگین مقادیر متغیر y می‌باشند. مقدار ضریب همبستگی برابر یک می‌باشد و هر چه مقدار متغیرها به سمت عدد یک نزدیک باشد مقدار همبستگی بیشتر خواهد بود. جدول (۲) ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای ورودی و

جدول ۱- پارامترهای آماری داده‌های آموزش و آزمون

Table 1- Statistical parameters of training and test datasets

Statistical parameters	Training phase (stage)		Training phase (stage)	
	P (mm)	Q(m ³ /s)	P (mm)	Q(m ³ /s)
Maximum	115	263	96	1689
Minimum	0	0	0	0
Mean	0.9712	34.992	1.396	117.795
Variance	25.5	1153.649	42.302	19317.554
standard deviation	5.049	33.965	6.504	138.987
Skewness	10.177	1.826	8.249	4.874
Kurtosis	146.848	4.926	89.332	43.445

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای ورودی و خروجی و درجه بندی آن‌ها

Table 2- Pearson correlation coefficient between input and output variables and their ranking

inputs	P (t)	P (t-1)	P (t-2)	P (t-3)	P (t-4)	P (t-5)	P (t-6)	Q (t-4)	Q (t-3)	Q (t-2)	Q (t-1)
Quantity	0.325	0.280	0.215	0.180	0.133	0.109	0.0792	0.680	0.703	0.735	0.805
Rank	5	6	7	8	9	10	11	4	3	2	1

جدول ۳- ترکیب مدل‌های ورودی برای پیش‌بینی مقدار دبی خروجی

Table 3- Combination of input models to predict output streamflow rate

Scenario Number	Input variables	Output variable
1	Q(t-1)	Q(t)
2	Q(t-1), Q(t-2)	Q(t)
3	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3)	Q(t)
4	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), Q(t-4)	Q(t)
5	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), Q(t-4), P (t)	Q(t)
6	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), Q(t-4), P (t), P(t-1)	Q(t)
7	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), Q(t-4), P (t), P(t-1), P(t-2)	Q(t)
8	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), Q(t-4), P (t), P(t-1), P(t-2), P(t-3)	Q(t)
0	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), Q(t-4), P (t), P(t-1), P(t-2), P(t-3), P(t-4)	Q(t)
10	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), Q(t-4), P (t), P(t-1), P(t-2), P(t-3), P(t-4), P(t-5)	Q(t)
11	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), Q(t-4), P (t), P(t-1), P(t-2), P(t-3), P(t-4), P(t-5), P(t-6)	Q(t)

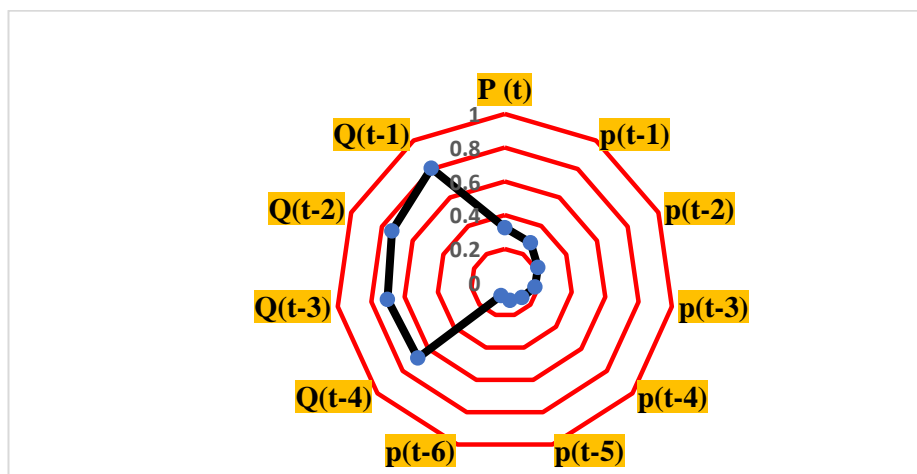


Fig. 2- Radar diagram between input and output variables based on Pearson correlation coefficient

شکل ۲- نمودار راداری بین متغیرهای ورودی و خروجی بر اساس ضریب همبستگی پیرسون

لایه خروجی برونند (Freire et al., 2019). ساختار ریاضی مدل پرسپترون چندلایه از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$y_i = f\left(\sum_{j=1}^N W_{ji} x_j + b_i\right) \quad (3)$$

که در این رابطه x_i برابر i امین مقدار گره لایه قبلی و y_i برابر با i امین مقدار گره لایه فعلی، b_i : بایاس گره i ام در لایه فعلی، W_{ji} : وزن اتصال x_j و y_i و N : تعداد گره‌ها در لایه قبلی و f : تابع فعال‌ساز در لایه فعلی می‌باشد (Mohanty et al., 2019).

($x_1, x_2, \dots, x_{N_{var}}$) بدست می‌آید. بنابراین طبق رابطه (۵) خواهیم داشت:

$$\text{Fitness} = (\text{widow}) = f(x_1, x_2, \dots, x_{N_{var}}) \quad (5)$$

برای شروع الگوریتم بهینه‌سازی، یک ماتریس بیه نامزدهای اندازه $N_{pop} \times N_{var}$ با جمعیت اولیه عنکبوت‌ها تولید می‌شود. سپس جفت والدین به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند تا مرحله زایش را با جفت‌گیری انجام دهند که در آن عنکبوت نر در طی آن یا بعد از آن توسط ماده خورده می‌شود. از آنجا که این جفت‌ها از یکدیگر مستقل نیستند، به‌منظور تولید مثل نسل جدید، به‌طور موازی و همچنین در طبیعت، هر یک از جفت‌ها جدا از بقیه جفت می‌شوند. در دنیای واقعی، در هر جفت‌گیری تقریباً ۱۰۰۰ تخم تولید می‌شود، اما سرانجام، برخی از نوزادان عنکبوتی زنده می‌مانند که قوی‌تر هستند. اکنون، در این الگوریتم برای تولید مثل، باید آرایه‌ای به نام آلفا ایجاد شود تا زمانی که آرایه بیه با اعداد تصادفی شامل باشد، سپس فرزندان با استفاده از α

مدل‌های تحقیق

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) به‌عنوان تعمیم سیستم‌های عصبی بیولوژیکی برای مدل‌های ریاضی توسعه یافته‌اند (Haykin, 1999). در حقیقت شبکه عصبی مصنوعی، یک روش شبیه‌سازی می‌باشد که از مطالعه سیستم شبکه عصبی موجودات زنده الهام گرفته است (Nayak et al., 2006). معمولاً یک شبکه عصبی مصنوعی مبتنی بر سه لایه است که در آن لایه ورودی داده‌ها به شبکه معرفی می‌شوند، سپس یک یا چند لایه پنهان وجود دارد که در آن داده‌ها پردازش می‌شوند تا در نهایت با نتیجه نهایی به

ساختار الگوریتم BWO

در اصطلاحات الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات، این ساختار به ترتیب "کروموزوم" و "موقعیت ذره" نامیده می‌شود، اما در الگوریتم بهینه‌سازی بیه سیاه (BWO) به آن "بیه" گفته می‌شود. در این الگوریتم، راه‌حل بالقوه هر مسئله به‌عنوان عنکبوت بیه سیاه در نظر گرفته شده است. هر عنکبوت بیه مقادیر متغیرهای مسئله را نشان می‌دهد. برای حل توابع معیار (بنچمارک)، ساختار باید به‌عنوان یک آرایه در نظر گرفته شود. که در آن N_{var} ابعاد یک مسئله بهینه‌سازی است. یک بیه یک آرایه از $1 \times N_{var}$ است که نشان‌دهنده جواب مسئله است. این آرایه به صورت زیر طبق رابطه (۴) تعریف می‌شود:

$$\text{Widow} = [x_1, x_2, x_{N_{var}}] \quad (4)$$

هر یک از مقادیر متغیر متغیر ($x_1, x_2, x_{N_{var}}$) یک عدد نقطه شناور است. تابع تناسب بیه با ارزیابی عملکرد تناسب f در یک بیه

این فرآیند برای $N_{var} / 2$ بار تکرار می‌شود، در حالی که اعداد تصادفی انتخاب شده نباید تکرار شوند. سرانجام، فرزندان و مادران به آرایه‌ای اضافه می‌شوند و براساس تابع تناسب آنها مرتب می‌شوند، اکنون با توجه به رتبه‌بندی همجنس‌خواری، برخی از بهترین افراد به جمعیت تازه تولید شده اضافه می‌شوند. این مراحل برای همه جفت‌ها اعمال می‌شود. شکل (۳) فلوجارت الگوریتم پیشنهادی عنکبوت بیوه سیاه را نشان می‌دهد.

معادله (۶) تولید می‌شوند که در آن x_1 و x_2 والدین هستند، y_1 و y_2 فرزندان هستند.

$$\begin{cases} y_1 = \alpha \times x_1 + (1 - \alpha) \times x_2 \\ y_2 = \alpha \times x_2 + (1 - \alpha) \times x_1 \end{cases} \quad (6)$$

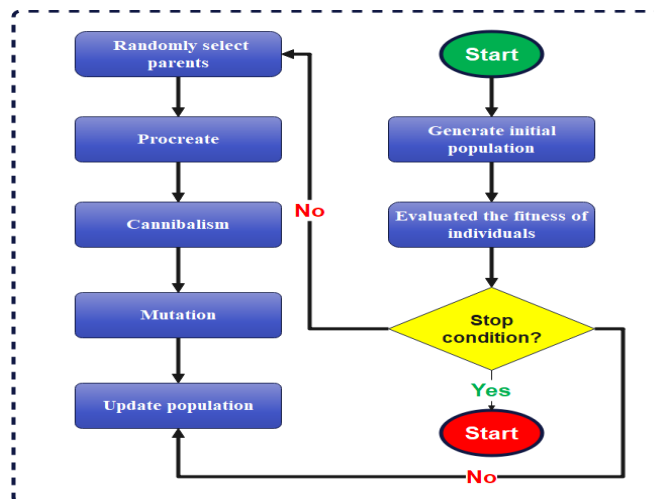


Fig. 3- Flowchart of the proposed black widow Optimization algorithm (Houssein et al., 2021)
 شکل ۳- فلوجارت الگوریتم پیشنهادی عنکبوت بیوه سیاه (Houssein et al., 2021)

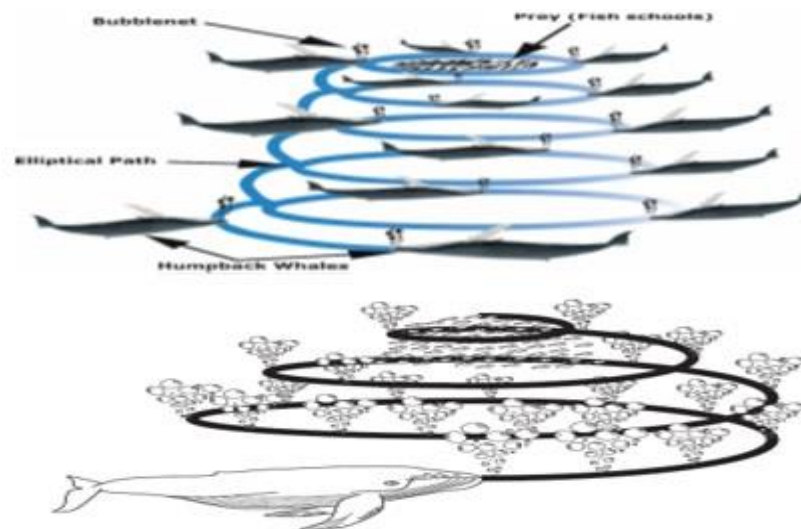


Fig. 4-a- Feeding behavior of humpback whales' bubble net (Rana et al., 2020) b) Feeding behavior of humpback whales' bubble net (Mirjalili & Lewis, 2016)

شکل ۴-الف رفتار تغذیه‌ای شبکه حباب‌دار نهنگ‌های کوهان‌دار (Rana et al., 2020) ب- رفتار تغذیه‌ای شبکه حباب‌دار نهنگ‌های کوهان‌دار (Mirjalili & Lewis, 2016)

الگوریتم بهینه سازی نهنگ (WOA)

الگوریتم بهینه سازی نهنگ توسط Lewis و Mirjalili (2016) ارائه گردید. این الگوریتم مبتنی بر هوش ازدحامی است که برای مشکلات بهینه سازی پیوسته پیشنهاد مورد استفاده قرار می گیرد. این روش از شکار نهنگ های کوهان دار در بهینه سازی مسائلی که روش های تغذیه شبکه حیابی بود استفاده می نمایند (Watkins and Schevill, 1974). تغذیه با شبکه حیابی یک رفتار تغذیه ای منحصر به فرد و پیچیده است که توسط نهنگ های کوهان دار انجام می شود. وقتی نهنگ های کوهان دار، ماهی های کوچک و کریل (میگو) را در نزدیکی سطح اقیانوس پیدا می کنند، یک شبکه حباب ماریپچ بیرون می زند و طعمه ها را در یک مسیر دایره ای محاصره می نمایند (Friedlaender et al., 2011). با توجه به این سری از رفتارها، برای ساخت یک مدل ریاضی الگوریتم نهنگ، سه ساختار اساسی جستجوی طعمه، محاصره طعمه و حمله با شبکه حباب را در نظر خواهد گرفت. الگوریتم به پارامترهای کنترل کمتری نیاز دارد. عملاً فقط یک پارامتر (فاصله زمانی) نیاز به تنظیم دقیق دارد. در الگوریتم نهنگ، جمعیت نهنگ های کوهان دار از طریق فضای جستجوی چند بعدی برای غذا جستجو می کنند (Fan et al., 2022). شکل (۴-الف) رفتار تغذیه ای شبکه حباب دار نهنگ های کوهان دار و شکل (۴-ب) را نشان می دهد.

موقعیت های نهنگ های کوهان دار منفرد به عنوان متغیرهای مختلف تصمیم بیان می گردد، در حالی که فاصله بین نهنگ کوهان دار منفرد و غذا با ارزش هزینه هدف مطابقت دارد. مکان وابسته به زمان یک نهنگ منفرد با سه فرآیند عملیاتی کوچک شدن طعمه های محاصره کننده، روش حمله حباب خالص (مرحله بهره برداری) و جستجوی طعمه (مرحله اکتشاف) اندازه گیری می شود. ابتدا مدل ریاضی محاصره طعمه، مانور تغذیه ای شبکه حباب و جستجوی طعمه ارائه می گردد. نهنگ های کوهان دار می توانند موقعیت طعمه را تشخیص داده و آنها را محاصره کنند. نهنگ های کوهان دار بسیار زیرک هستند و موقعیت طعمه را به خوبی تشخیص داده و سپس آنها را محاصره می کنند. از آنجا که موقعیت بهینه طراحی در فضای جستجو پیش بینی شناخته نشده است، الگوریتم WOA فرض می کند که بهترین راه حل فعلی کاندیدا، همان طعمه هدف است یا نزدیک به بهینه است. پس از تعریف کردن بهترین عامل جستجو و سایر عوامل جستجو، سعی می گردد موقعیت و مکان خود را نسبت به بهترین عامل جستجو به روز می کنند. این رفتار با معادله های (۷) و (۸) نشان داده شده است:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (7)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (8)$$

که در آن t تکرار اخیر، \vec{A} و \vec{C} ضرایب برداری، X^* بردار موقعیت بهترین راه حل به دست آمده تاکنون، \vec{X} بردار موقعیت، | مقدار مطلق، و * ضرب داخلی عنصر به عنصر است. لازم به ذکر است که در صورت وجود راه حل بهتر، X^* باید در هر تکرار به روز شود. بردارهای \vec{A} و \vec{C} از روابط (۹) و (۱۰) به شرح زیر محاسبه می شوند:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (9)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \quad (10)$$

که \vec{a} در طول تکرار (و در مراحل اکتشاف و بهره برداری) به صورت خطی از دو به صفر کاهش می یابد و \vec{r} یک بردار تصادفی در بازه [۰، ۱] است. موقعیت (Y, X) یک عامل جستجو را می توان با توجه به موقعیت بهترین رکورد فعلی (Y^* , X^*) به روزرسانی نمود. با تنظیم مقدار بردارهای \vec{A} و \vec{C} می توان مکان های مختلف اطراف بهترین عامل را با توجه به موقعیت فعلی بدست آورد. با تعریف بردار تصادفی (\vec{r}) می توان به هر موقعیتی در فضای جستجو واقع در بین نقاط کلیدی نشان داده شده رسید. معادله (۸) به هر عامل جستجو اجازه می دهد موقعیت خود را در همسایگی بهترین راه حل فعلی به روز نموده و محاصره طعمه را شبیه سازی می کند. به منظور مدل سازی ریاضی رفتار شبکه حباب نهنگ های کوهان دار، دو روش به شرح زیر طراحی شده است:

الف) کوچک کردن مکانیسم محاصره است که با کاهش مقدار \vec{a} در معادله (۹) به دست می آید نکته مهم که باید به آن توجه داشته باشید این است که دامنه نوسانات \vec{A} نیز با \vec{a} کاهش می یابد. به عبارت دیگر \vec{A} یک مقدار تصادفی در بازه [-a, a] است که در آن \vec{a} در طول تکرار از مقدار دو به صفر کاهش می یابد. با تنظیم مقادیر تصادفی برای \vec{A} در [۱، -۱]، موقعیت جدید یک عامل جستجو را می توان در هر مکانی بین موقعیت اصلی عامل و موقعیت بهترین عامل فعلی تعریف کرد.

ب) موقعیت به روزرسانی ماریپچی: این رویکرد ابتدا فاصله بین نهنگ واقع در (Y, X) و طعمه واقع در سمت (Y^* , X^*) را محاسبه می کند. سپس یک معادله ماریپچی بین موقعیت نهنگ و طعمه ایجاد می شود تا حرکت ماریپچی شکل نهنگ های کوهان دار را به صورت زیر تقلید کند که از معادله (۱۱) به دست می آید.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D} \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (11)$$

جایی که $\vec{D} = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)|$ می باشد. همچنین فاصله نهنگ اول تا طعمه را نشان می دهد (بهترین راه حل به دست آمده تا

قادر است بین یک حرکت مارپیچی یا دایره‌ای جابه‌جا شود. سرانجام، الگوریتم فوق با تامین شدن شرط خروجی، خاتمه می‌یابد.

معیارهای ارزیابی مدل

در این پژوهش برای ارزیابی عملکرد سناریوهای مختلف تعریف شده برای روش‌های مورد مطالعه از معیارهای ارزیابی ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب بهره‌وری نش-ساتکلیف (NSE) و ضریب درصد ناریبی (PBIAS) از طریق روابط (۱۵) تا (۱۹) استفاده می‌کنیم.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Q_t^{pr} - Q_t^{ob})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_t^{ob})^2} \right) \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_t^{pr} - Q_t^{ob})^2} \quad (16)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_t^{pr} - Q_t^{ob})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_t^{pr} - \bar{Q}_t^{pr})^2} \quad (17)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_t^{pr} - Q_t^{ob})}{\sum_{i=1}^N Q_t^{pr}} \quad (18)$$

از لحاظ کیفی اگر ضریب R^2 بین صفر تا ۰/۵ باشد مدل نتیجه رضایت بخشی ندارد. اگر بین ۰/۵ تا ۰/۶ باشد نتایج رضایت‌بخش، اگر بین ۰/۶ تا ۰/۷ باشد خوب و اگر بین ۰/۷ تا ۱ باشد نتیجه بسیار خوب می‌باشد. شاخص RMSE دارای واحد دبی (مترمکعب بر ثانیه) می‌باشد. هر چه این مقدار کمتر باشد نتیجه بهتر خواهد بود (Ayele et al., 2007; Moriasi et al., 2017). اگر ضریب بهره‌وری نش-ساتکلیف کمتر مساوی ۰/۴ باشد نتیجه رضایت‌بخش نخواهد بود. اگر ضریب مذکور بین ۰/۴ تا ۰/۵ باشد نتیجه قابل قبول، اگر بین ۰/۵ تا ۰/۶۵ باشد نتیجه رضایت‌بخش، اگر بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ باشد خوب و اگر بین ۰/۷۵ تا ۱ باشد بسیار خوب خواهد بود. ضریب درصد ناریبی نیز اگر کمتر یا مساوی ± 10 باشد نتیجه بسیار خوب خواهد بود. اگر بین ± 10 تا ± 15 باشد نتیجه خوب، اگر بین ± 15 تا ± 25 باشد رضایت‌بخش و اگر بزرگ‌تر یا مساوی ± 25 باشد نتیجه رضایت‌بخش نخواهد بود. (Legates and Mccab, 1999).

نتایج و بحث

انتخاب مؤثرترین ترکیب از متغیرهای ورودی، مهم‌ترین گام در حوزه یادگیری ماشین می‌باشد. قرار دادن متغیرهای غیر مرتبط و یا متغیرهایی که ضریب همبستگی منفی دارند باعث کاهش دقت مدل‌سازی و افزایش خطای مدل می‌گردد. لذا انتخاب یک ترکیب بهینه‌ی مؤثر، پیچیدگی مدل را کاهش می‌دهد. نتایج تجزیه و تحلیل

کنون)، b برای تعریف شکل مارپیچ لگاریتمی ثابت است، l یک عدد تصادفی بین $[-1, 1]$ و \cdot ضرب عنصر به عنصر است. لازم به ذکر است که نهنگ‌های کوهان‌دار به‌طور همزمان در اطراف طعمه شنا می‌کنند و در یک مسیر مارپیچی شکل قرار می‌گیرند. برای مدل‌سازی این رفتار هم‌زمان، ما تصور می‌کنیم که احتمال ۵۰ درصد برای انتخاب بین مکانیزم تنگ‌کردن محاصره یا مدل مارپیچی برای به‌روزرسانی موقعیت نهنگ‌ها هنگام بهینه‌سازی وجود دارد. مدل ریاضی آن از رابطه (۱۲) به شرح زیر به دست می‌آید:

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} & \text{if } p < 0.5 \\ \vec{D} \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \quad (12)$$

که در آن p عدد تصادفی در بازه $[0, 1]$ است. علاوه بر روش تور حبابی، نهنگ‌های کوهان‌دار به‌طور تصادفی طعمه را جستجو می‌کنند. از همان روش مبتنی بر تغییر بردار \vec{A} می‌توان برای جستجوی طعمه (اکتشاف) استفاده کرد. در حقیقت، نهنگ‌های کوهان‌دار با توجه به موقعیت یکدیگر به‌طور تصادفی جستجو می‌کنند. بنابراین، ما از \vec{A} با مقادیر تصادفی بزرگتر از ۱ یا کمتر از ۱- استفاده می‌کنیم تا عامل جستجو را مجبور کنیم از یک نهنگ مرجع دور شود. بر خلاف مرحله بهره‌برداری، ما موقعیت یک عامل جستجو را در مرحله اکتشاف با توجه به یک عامل جستجوگر انتخاب شده به جای بهترین عامل جستجوی موجود تاکنون به‌روز می‌کنیم. این مکانیزم و $|\vec{A}| > 1$ بر کاوش تأکید کرده و الگوریتم WOA را برای انجام جستجوی جهانی کاهش می‌دهد. مدل ریاضی جستجو از طریق روابط (۱۳) و (۱۴) به شرح زیر است:

$$\vec{D} = \vec{C} \cdot \overrightarrow{X_{rand}} - \vec{X} \quad (13)$$

$$\vec{X}(t+1) = \overrightarrow{X_{rand}} - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (14)$$

جایی که $\overrightarrow{X_{rand}}$ یک بردار موقعیت تصادفی (یک نهنگ تصادفی) است که از بین جمعیت فعلی انتخاب شده است. الگوریتم WOA با مجموعه‌ای از راه‌حل‌های تصادفی شروع می‌شود. در هر تکرار، عوامل جستجو مواضع خود را با توجه به یک عامل جستجوی تصادفی انتخاب شده یا بهترین راه‌حل تاکنون به‌روز می‌کنند. به‌منظور ارائه اکتشاف و بهره‌برداری، پارامتر a از دو به صفر کاهش می‌یابد. یک عامل جستجوی تصادفی انتخاب می‌شود $\vec{A} > 1$ در حالی که بهترین راه حل هنگام انتخاب $\vec{A} < 1$ برای به‌روزرسانی موقعیت عوامل جستجو می‌باشد. بسته به مقدار p ، الگوریتم نهنگ

به‌کار رفته در فاز آموزش بر اساس شاخص RMSE، مدل ANN-WOA با مقدار ۱۳/۸۳ مترمکعب بر ثانیه کمترین خطا و بهترین عملکرد را دارا می‌باشد. همچنین بعد از الگوریتم WANN و ANN-BWO به ترتیب با ۱۴/۱۱ و ۱۴/۲۷ مترمکعب بر ثانیه در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین نتایج در بخش آزمون نیز مشابه می‌باشد. در این بخش الگوریتم ANN-WOA با ۴۴/۶۱ مترمکعب بر ثانیه بهترین عملکرد را داشته است. همچنین نتایج بررسی‌ها بر اساس شاخص R^2 نیز نشان می‌دهد که مدل در بخش آموزش با ۰/۸۳۹ و در بخش آزمون ۰/۸۹۷ شبکه ANN-WOA دارای بهترین عملکرد بوده است. همچنین از لحاظ کیفی نیز می‌توان گفت که با توجه به این که کلیه مدل‌های مذکور بین بازه ۰/۷ تا ۱ قرار داشتند در درجه‌بندی بسیار خوب طبقه‌بندی می‌گردند. نتایج ضریب بهره‌وری نش-ساتکلیف نیز نشان می‌دهد که در فاز آموزش الگوریتم ANN-BWO با مقدار ۰/۶۵۵ در درجه‌بندی خوب و در فاز آزمون نیز با مقدار ۰/۸۷۹ در درجه‌بندی بسیار خوب قرار دارد. همچنین مدل ANN-WOA نیز در فاز آموزش با مقدار ۰/۶۷۵ و در فاز آزمون با ۰/۸۸۶ در رتبه‌بندی خوب و بسیار خوب قرار دارند. همچنین مدل WANN نیز در فاز آموزش دارای مقدار ۰/۶۶۲ و در فاز آزمون با ۰/۸۹۰ دارای رتبه‌بندی خوب و بسیار خوب هستند. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بر اساس شاخص بهره‌وری نش-ساتکلیف در فاز آموزش الگوریتم ANN-WOA دارای بهترین عملکرد و در فاز آزمون الگوریتم WANN دارای عملکرد بهتری بوده است. نتایج ضریب نا اریبی نیز نشان می‌دهد که با توجه به این که نتایج کلیه مدل‌ها زیر ده درصد می‌باشد عملکرد بسیار خوب از لحاظ کیفی گزارش می‌گردد. جدول (۴) نتایج ارزیابی مدل بر اساس معیارهای مختلف ارزیابی را در دو فاز آموزش و آزمون نشان می‌دهد. اشکال (۵) تا (۷) نیز نتایج سری‌های زمانی بین داده‌های مشاهداتی (واقعی) و داده‌های پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. در این اشکال محور عمودی مقدار دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه و محور افقی زمان بر حسب روز را نشان می‌دهد. همچنین اشکال (۸) تا (۱۰) نمودار پراکنده‌گی بین داده‌های مشاهداتی و واقعی را نشان می‌دهد که در آن محور افقی، دبی داده‌های مشاهداتی و محور عمودی، دبی داده‌های پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. در این پژوهش جهت اختصار صرفاً نتایج سری‌های زمانی در فاز آزمون نشان داده شده است.

ضریب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که گنجاندن متغیرهای نامربوط در ترکیب ورودی، عملکرد مدل را کاهش می‌دهد و مدل پیچیده‌تری ایجاد می‌کند. تجزیه و تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که دبی روز قبل (Q_{t-1}) مهمترین عامل در پیش‌بینی‌کننده جریان ($r = 0.80$) در ایستگاه جلوگیری می‌باشد. پس از آن دبی دو روز قبل ($r = 0.73, Q_{t-2}$)، دبی سه روز قبل ($r = 0.70, Q_{t-3}$)، دبی چهار روز قبل ($r = 0.68, Q_{t-4}$)، بارندگی ($r = 0.32, P_t$) و بارش با یک، دو، سه لغایت شش روز تأخیر دارای رتبه‌بندی‌های مختلف در مدل‌سازی می‌باشند. لذا ترکیب مدل شماره یک دارای بالاترین ضریب همبستگی و ترکیب مدل یازدهم دارای کمترین همبستگی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که فرایند بارش به‌تنهایی دبی جریان را به‌طور دقیق پیش‌بینی نمی‌کند. علت این امر ساختار پیچیده و غیرخطی فرآیند رواناب روزانه می‌باشد. اگرچه بارش تنها فرآیندی است که رواناب در حوضه آبریز تولید می‌کند، فرآیند رواناب روزانه تحت تأثیر پارامترهای زیادی قرار می‌گیرد. بنابراین، افزودن متغیرها به طور منطقی عملکرد مدل‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین متغیرهایی با ضرایب همبستگی بسیار پایین (مانند P_{t-6}) و یا متغیرهایی با ضریب همبستگی منفی می‌توانند بر عملکرد مدل تأثیر منفی بگذارند. از سوی دیگر، هر حوضه و هر مدل ساختار متفاوت و مخصوص به‌خودی دارد و بر اساس مفروضات مختلف توسعه یافته است. قرار دادن ورودی‌های مرتبط کمتر در یک مدل، ظرفیت پیش‌بینی آن را کاهش می‌دهد. نتایج تحقیقات قبلی برخی از پژوهشگران نشان می‌دهد که افزایش بیش از حد متغیرهای ورودی نه‌تنها کمکی به افزایش دقت مدل‌سازی و کاهش خطا نمی‌کند بلکه ساختار و فیزیکی مدل‌ها را پیچیده می‌کند و دقت پیش‌بینی را کاهش می‌دهد. چنین تضعیفی ممکن است ناشی از اثرات منفی بر واریانس باشد (Shi et al., 2012; Zhang et al., 2019). پس از شناسایی بهترین سناریوی ترکیب ورودی و مقدار بهینه برای هر اپراتور، عملکرد هر یک از مدل‌های توسعه‌یافته با استفاده از مجموعه داده آموزشی، با استفاده از مجموعه داده اعتبارسنجی در مرحله آزمون مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی برای برآورد و مقایسه عملکرد مدل مورد استفاده قرار گرفت. لذا پس از ساخت مدل‌ها و تعیین بهترین ترکیب ورودی در مرحله آموزش، الگوریتم‌ها با استفاده از مجموعه داده‌های آزمایشی برای ارزیابی قدرت کلی هر مدل اعتبارسنجی شدند. نتایج نشان می‌دهد که از بین الگوریتم‌های

جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل بر اساس معیارهای مختلف ارزیابی را در دو فاز آموزش و آزمون
Table 4- Results of model evaluation based on different evaluation criteria in two phases of training and testing

Models/Evaluation Criteria	RMSE	MAE	NSE	PBIAS	R ²
BWO-Train	14. 270	4. 668	0. 655	-2. 346	0. 828
BWO-Test	48. 116	21. 192	0. 879	2. 9595	0. 88
WOA-Train	13. 833	4. 775	0. 675	-3. 407	0. 839
WOA-Test	44. 613	19. 968	0. 886	-3. 018	0. 897
WANN-Train	14. 110	5. 176	0. 662	-3. 9251	0. 833
WANN-Test	45. 898	20. 654	0. 890	4. 006	0. 891

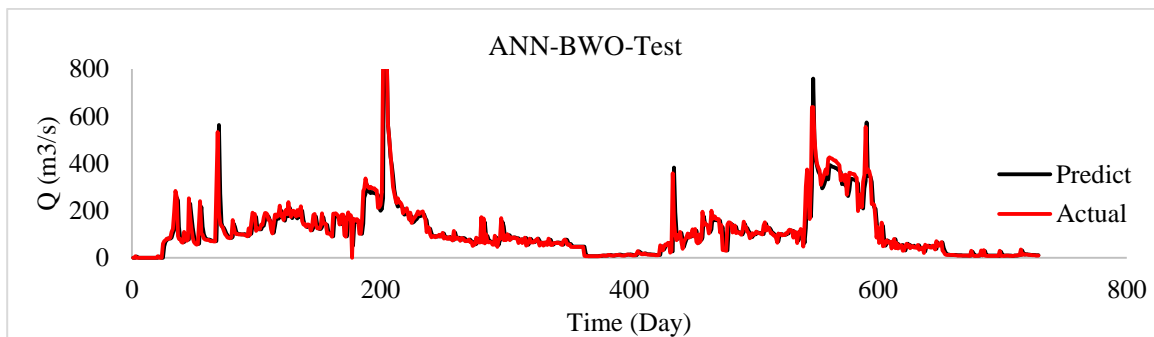


Fig. 8- Observed and predicted runoff hydrograph by ANN-BWO algorithm in the test phase
 شکل ۵- هیدروگراف رواناب مشاهداتی و پیش بینی شده توسط الگوریتم ANN-BWO در مرحله آزمون

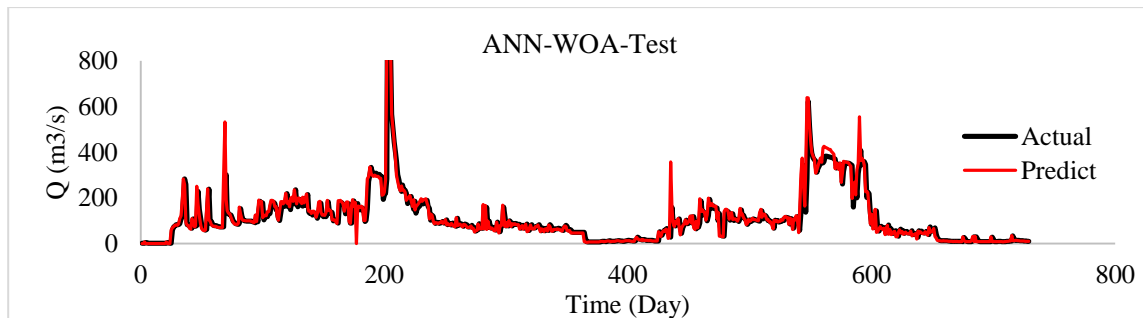


Fig. 9- Observed and predicted runoff hydrograph by ANN-WOA algorithm in the test phase
 شکل ۶- هیدروگراف رواناب مشاهداتی و پیش بینی شده توسط الگوریتم ANN-WOA در مرحله آزمون

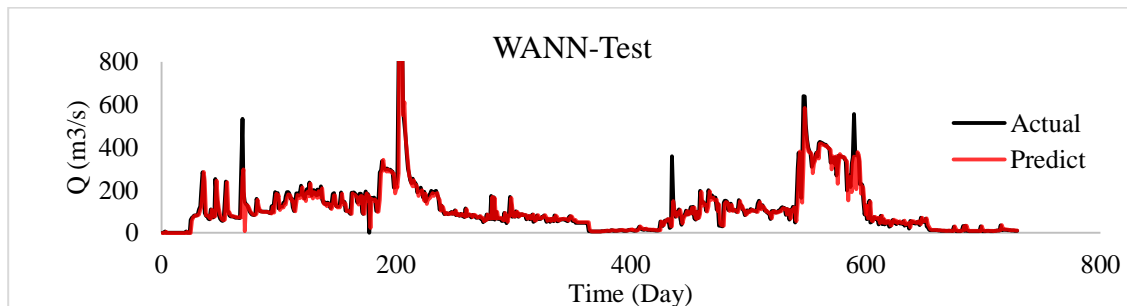


Fig. 10- Observed and predicted runoff hydrograph by WANN algorithm in the test phase
 شکل ۷- هیدروگراف رواناب مشاهداتی و پیش بینی شده توسط الگوریتم WANN در مرحله آزمون

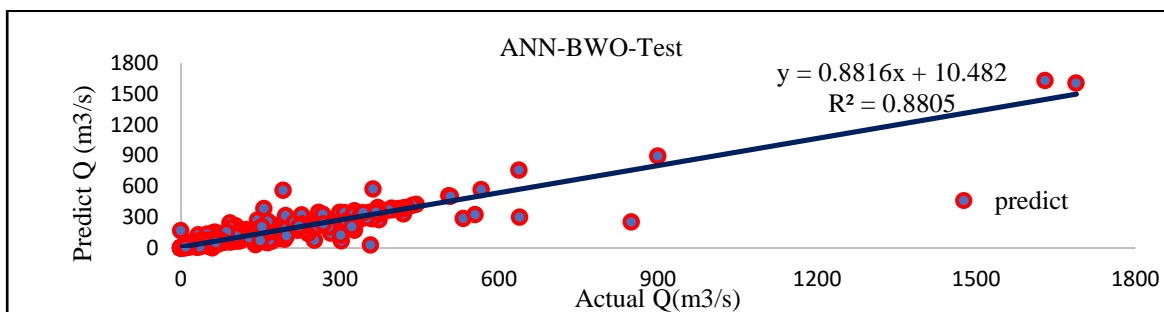


Fig. 11- scatter plot diagram between observation data and real data for ANN-BWO model in the test phase

شکل ۸- نمودار پراکندگی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های واقعی برای مدل ANN-BWO در فاز آزمون

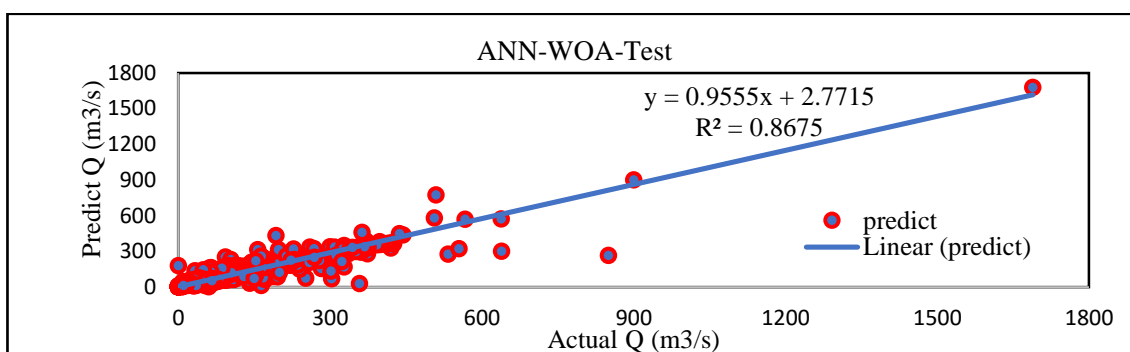


Fig. 12- scatter plot diagram between observation data and real data for ANN-WOA model in the test phase

شکل ۹- نمودار پراکندگی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های واقعی برای مدل ANN-WOA در فاز آزمون

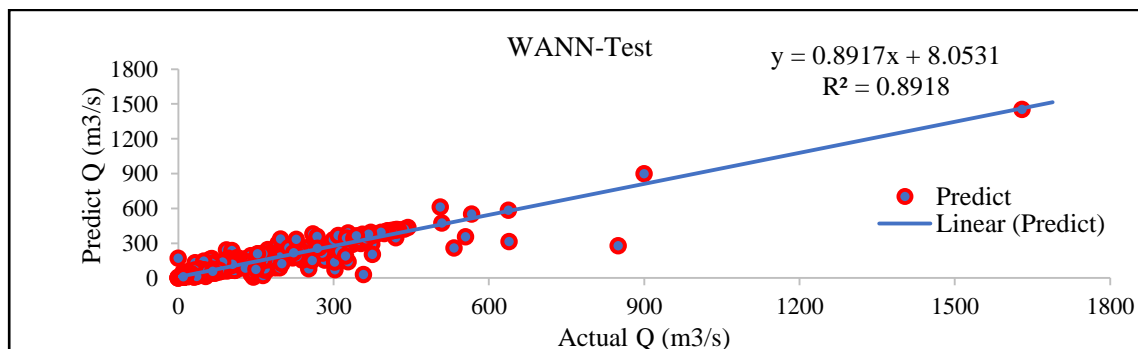


Fig. 13- Scatter plot diagram between observation data and real data for ANN-WOA model in the test phase

شکل ۱۰- نمودار پراکندگی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های واقعی برای مدل ANN-WOA در فاز آزمون

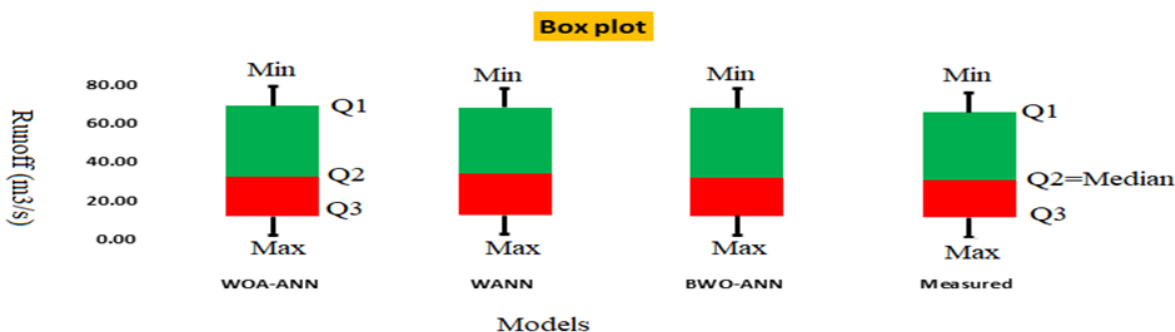


Fig. 11- Box plot for the measured and predicted streamflow values

شکل ۱۱- نمودار جعبه‌ای برای مقادیر دبی جریان اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده

غیرخطی بهره گرفت. عنکبوت بیوه سیاه نیز از الگوریتم‌های نوین فرا ابتکاری می‌باشد. در این الگوریتم هرچه تعداد فرزندان بیشتر باشد، شانس بیشتری برای کشف مقدار بیشتری از فضای جستجو وجود دارد که بدست آوردن عملکرد بالا برای مرحله اکتشاف را تضمین می‌کند. بنابراین الگوریتم فوق قادر به فرار از بهینه محلی و حرکت بسوی بهینه جهانی می‌شود. همچنین، عملکرد همجنس‌خواری توانایی از بین بردن سریع راه‌حل‌های نامناسب را فراهم می‌کند. در نتیجه، نسل بعدی توسط والدین بهتر تولید خواهد شد که همگرایی سریع راه‌حل‌های نزدیک به راه حل‌های بهینه را تضمین می‌کند.

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی فرایند رواناب روزانه برای ارزیابی تأثیر سیل و اجرای برنامه‌های مدیریت سیل مفید و ضروری است. با این حال به دلیل ماهیت غیرخطی و آشفته فرآیندهای تولید دبی جریان، همچنان یک کار چالش‌برانگیز برای مهندسان می‌باشد. این پژوهش برای شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب ایستگاه جلوگیری اهواز واقع در حوضه آبریز کرخه، به روش یادگیری ماشین انجام گرفته است. در این تحقیق از دو الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ و عنکبوت سیاه استفاده گردید. همچنین از موزیک کلاسه مکزیک نیز برای افزایش دقت مدل و برآورد ضرایب وزنی و بایاس استفاده گردد. کلیه الگوریتم‌های مورد استفاده برای توسعه مدل‌های مبتنی بر داده‌های ۱۰ ساله بارندگی و جریان روزانه استفاده شد. یافته‌های اصلی مطالعه را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

✓ متغیرهای زیادی در پیش‌بینی فرایند بارش-رواناب تأثیرگذار هستند که در میان عوامل مذکور بارش و دبی اثرات ملموس‌تری در این فرایند دارند. همچنین تأخیرهای مختلف برای بارش و دبی لحاظ گردید که در این میان، بارش با یک روز تأخیر (Q_{t-1}) موثرترین متغیر برای پیش‌بینی فرایند بارش رواناب می‌باشد.

در این پژوهش از نمودار جعبه‌ای برای توصیف تغییرات داده‌ها استفاده گردید. تحلیل نتایج نمودار جعبه‌ای نشان می‌دهد که الگوریتم ANN-BWO در پیش‌بینی داده‌های کمینه در مقایسه با داده‌های مشاهداتی عملکرد بهتری داشته است. به عبارتی دیگر این الگوریتم در پیش‌بینی داده‌های کمینه، چارک سوم، میانه و داده‌های بیشینه عملکرد بهتری داشته است. در عوض الگوریتم WOA-ANN در پیش‌بینی چارک اول عملکرد بهتری داشته است. شکل (۱۱) نمودار جعبه‌ای برای مقادیر دبی جریان اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نشان می‌دهد. این مطالعه الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر ازدحام را با الهام از رفتار شکار نهنگ‌های کوهان‌دار ارائه داده است. روش پیشنهادی شامل سه اپراتور برای شبیه‌سازی جستجوی طعمه، محاصره طعمه و رفتار جستجوی حباب تور نهنگ‌های کوهان‌دار است. نتایج نشان می‌دهد که از لحاظ تجزیه و تحلیل اکتشاف، بهره‌برداری، جلوگیری از بهینه‌سازی محلی و رفتار همگرایی الگوریتم پیشنهادی دارای عملکرد خوبی بوده است. مدل فوق مبتنی بر جمعیت بوده و توانایی جلوگیری از بهینه‌سازی محلی و دستیابی به یک راه‌حل بهینه جهانی را دارد. این مزایا باعث می‌شود الگوریتم فوق برای حل مشکلات مختلف بهینه‌سازی مقید مناسب باشد. سرعت همگرایی، کاهش زمان محاسبات و گیر نکردن در دام نقاط بهینه محلی از جمله مزایای دیگر این مدل می‌باشد. استفاده از اپراتورهای تصادفی به مدل اجازه می‌دهد تا از بهینه محلی فرار کرده و به بهینه جهانی تقریبی همگرا شود. عنصر اصلی برای دستیابی به چنین هدفی به رابطه مناسب بین اکتشاف و بهره‌برداری بستگی دارد. اکتشاف با شناسایی متنوع‌ترین مناطق جستجو در مناطق جستجوگر، امیدوارکننده‌ترین مناطق است. هرچه عملکرد یک الگوریتم فرا ابتکاری خاص در توازن این دو عملکرد بهتر باشد، عملکرد آن بهتر خواهد بود. بر این اساس توصیه می‌گردد از الگوریتم فوق برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه استفاده گردد. همچنین اصلاحات اساسی برای مدل فوق انجام گرفته تا بتوان در مسائل بهینه‌سازی در دنیای واقعی، به خصوص مشکلات بهینه‌سازی گسسته و برنامه‌ریزی

ANN-WOA و WANN و ANN-BWO به ترتیب ۳۲/۴ و ۲۷/۶ و ۲۲/۱۴ درصد دقت مدل شبکه عصبی منفرد را بهبود بخشیدند.

تشکر و قدردانی

این مقاله بر گرفته از رساله دکتری گروه مدیریت ساخت و آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد. نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت آب منطقه‌ای خوزستان و مجله علوم و مهندسی آبیاری دانشگاه چمران اهواز اعلام می‌دارند.

✓ هر چه زمان تأخیر هر متغیر ورودی بیشتر باشد، ضریب همبستگی و اثربخشی آن برای اهداف پیش‌بینی کمتر است. به عبارتی ساده‌تر افزایش زمان تأخیر موجب کاهش ضریب همبستگی و در نهایت کاهش دقت مدل در پیش‌بینی خواهد شد.

✓ با توجه به شاخص ارزیابی RMSE می‌توان گفت که عملکرد مدل ANN-WOA دارای بهترین عملکرد در پیش‌بینی فرایند رواناب روزانه بوده است. همچنین کلیه مدل‌های مذکور عملکرد بسیار خوبی در فرایند پیش‌بینی از خود نشان دادند. همچنین بر اساس معیار RMSE نتایج پیش‌بینی مدل‌ها نشان می‌دهد که به ترتیب مدل‌های

References

- 1- Abrahart, R.J. and See, L., 2000. Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments. *Hydrological processes*, 14(11-12), pp.2157-2172. Doi: 10.1002/1099-1085(20000815/30)14:11/12<2157::AID-HYP57>3.0.CO;2;S.
- 2- Abudu, S., Cui, C.L., King, J.P. and Abudukadeer, K., 2010. Comparison of performance of statistical models in forecasting monthly streamflow of Kizil River, China. *Water Science and Engineering*, 3(3), pp.269-281. Doi: 10.3882/j.issn.1674-2370.2010.03.003.
- 3- Afan, H.A., El-Shafie, A., Yaseen, Z.M., Hameed, M.M., Wan Mohtar, W.H.M. and Hussain, A., 2015. ANN based sediment prediction model utilizing different input scenarios. *Water resources management*, 29, pp.1231-1245.
- 4- Ahmed, J.A. and Sarma, A.K., 2007. Artificial neural network model for synthetic streamflow generation. *Water resources management*, 21, pp.1015-1029.
- 5- Anusree, K. and Varghese, K.O., 2016. Streamflow prediction of Karuvannur River Basin using ANFIS, ANN and MNL models. *Procedia Technology*, 24, pp.101-108. Doi: 10.1016/j.protcy.2016.05.015.
- 6- Ayele, G.T., Teshale, E.Z., Yu, B., Rutherford, I.D. and Jeong, J., 2017. Streamflow and sediment yield prediction for watershed prioritization in the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. *Water*, 9(10), p.782. Doi: 10.3390/w9100782.
- 7- Box, G.P., & Jenkins, 1970. Time series analysis: forecasting and control, San Francisco: John Wiley & Sons.
- 8- Chiang, Y.M., Chang, L.C. and Chang, F.J., 2004. Comparison of static-feedforward and dynamic-feedback neural networks for rainfall-runoff modeling. *Journal of hydrology*, 290(3-4), pp.297-311. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2003.12.033.
- 9- Danandeh Mehr, A., Kahya, E., Şahin, A. and Nazemosadat, M.J., 2015. Successive-station monthly streamflow prediction using different artificial neural network algorithms. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, pp.2191-2200.
- 10- Daneshvar Vousoughi, F. and Samadzadeh, R., 2021. Predicting runoff with pre-processing approaches in Ardabil plain. *Hydrogeomorphology*, 8(26), pp.116-99. Doi: 10.22034/hyd.2021.44060.1570. (In Persian).
- 11- Fan, Q., Chen, Z., Zhang, W. and Fang, X., 2022. ESSAWOA: enhanced whale optimization algorithm integrated with salp swarm algorithm for global optimization. *Engineering with Computers*, 38(Suppl 1), pp.797-814.

- 12-Freire, P.K.D.M.M., Santos, C.A.G. and da Silva, G.B.L., 2019. Analysis of the use of discrete wavelet transforms coupled with ANN for short-term streamflow forecasting. *Applied Soft Computing*, 80, pp.494-505. Doi: 10.1016/j.asoc.2019.04.024.
- 13-Wiley, D., Ware, C., Bocconcelli, A., Cholewiak, D., Friedlaender, A., Thompson, M. and Weinrich, M., 2011. Underwater components of humpback whale bubble-net feeding behaviour. *Behaviour*, pp.575-602.
- 14-Ghorbani, M.A. and Dehghani, R., 2016. Application of Bayesian Neural Networks, Support Vector Machines and Gene Expression Programming Analysis of Rainfall-Runoff Monthly (Case Study: Kakarza River). *Irrigation Science and Engineering*, 39(2), pp.125-138.
- 15-Ghorbani, M.A., Azani, A. and Mahmoudi Vanolya, S. 2016 . Rainfall-Runoff Modeling Using Hybrid Intelligent Models, *Iran Water Resources Research*, 11(2), 146 (In Persian).
- 16-Guven, A., 2009. Linear genetic programming for time-series modelling of daily flow rate. *Journal of earth system science*, 118, pp.137-146.
- 17-Haykin S. 1999. Neural Networks. MacMillan Publishing Company.
- 18-Houssein, E.H., Helmy, B.E.D., Oliva, D., Elngar, A.A. and Shaban, H., 2021. A novel black widow optimization algorithm for multilevel thresholding image segmentation. *Expert Systems with Applications*, 167, p.114159. Doi: 10.1016/j.eswa.2020.114159.
- 19-Kember, G., Flower, A.C. and Holubeshen, J., 1993. Forecasting river flow using nonlinear dynamics. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 7, pp.205-212.
- 20-Legates, D.R. and McCabe Jr, G.J., 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 35(1), pp.233-241. Doi: 10.1029/1998WR900018.
- 21-- Maier, H.R., Kapelan, Z., Kasprzyk, J., Kollat, J., Matott, L.S., Cunha, M.C., Dandy, G.C., Gibbs, M.S., Keedwell, E., Marchi, A. and Ostfeld, A., 2014. Evolutionary algorithms and other metaheuristics in water resources: Current status, research challenges and future directions. *Environmental Modelling & Software*, 62, pp.271-299. Doi: 10.1016/j.envsoft.2014.09.013.
- 22-Mirjalili, S. and Lewis, A., 2016. The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software*, 95, pp.51-67. Doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.01.008.
- 23-Mohanty, U.C., Nageswararao, M.M., Sinha, P., Nair, A., Singh, A., Rai, R.K., Kar, S.C., Ramesh, K.J., Singh, K.K., Ghosh, K. and Rathore, L.S., 2019. Evaluation of performance of seasonal precipitation prediction at regional scale over India. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, pp.1123-1142.
- 24-Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), pp.885-900.
- 25-Nayak, P.C., Rao, Y.S. and Sudheer, K.P., 2006. Groundwater level forecasting in a shallow aquifer using artificial neural network approach. *Water resources management*, 20, pp.77-90. *Water resources management*, 20, 77-90.
- 26-Rana, N., Latiff, M.S.A., Abdulhamid, S.I.M. and Chiroma, H., 2020. Whale optimization algorithm: a systematic review of contemporary applications, modifications and developments. *Neural Computing and Applications*, 32, pp.16245-16277.

- 27-Salajegheh, A., Fathabadi, A and Mahdavi, M. 2009. Investigation on the efficiency of neuro-fuzzy method and statistical models in simulation of rainfall-runoff process, *Journal of Range and Watershed Management*, 62(1), 65 (In Persian).
- 28-Salas, J.D., 1980. *Applied modeling of hydrologic time series*. Water Resources Publication.
- 29-Sari, I., Zengin, S., Davutoglu, V., Yildirim, C. and Gunay, N., 2008. Myocarditis after black widow spider envenomation. *The American journal of emergency medicine*, 26(5), pp.630-e1. Doi: 10.1016/j.ajem.2007.09.012.
- 30-Shi, J., Guo, J. and Zheng, S., 2012. Evaluation of hybrid forecasting approaches for wind speed and power generation time series. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), pp.3471-3480. Doi: 10.1016/j.rser.2012.02.044.
- 31-Valipour, M. and Montazar, A.A., 2012. Sensitive analysis of optimized infiltration parameters in SWDC model. *Advances in Environmental Biology*, pp.2574-2582.
- 32-Watkins, W.A. and Schevill, W.E., 1979. Aerial observation of feeding behavior in four baleen whales: *Eubalaena glacialis*, *Balaenoptera borealis*, *Megaptera novaeangliae*, and *Balaenoptera physalus*. *Journal of Mammalogy*, 60(1), pp.155-163. Doi: 10.2307/1379766.
- 33-Yaseen, Z.M., Awadh, S.M., Sharafati, A. and Shahid, S., 2018. Complementary data-intelligence model for river flow simulation. *Journal of Hydrology*, 567, pp.180-190. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.10.020.
- 34-Yaseen, Z.M., El-Shafie, A., Afan, H.A., Hameed, M., Mohtar, W.H.M.W. and Hussain, A., 2016. RBFNN versus FFNN for daily river flow forecasting at Johor River, Malaysia. *Neural Computing and Applications*, 27, pp.1533-1542.
- 35-Zhang, D., Peng, X., Pan, K. and Liu, Y., 2019. A novel wind speed forecasting based on hybrid decomposition and online sequential outlier robust extreme learning machine. *Energy conversion and management*, 180, pp.338-357. Doi: 10.1016/j.enconman.2018.10.089.

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the management of distribution and allocation of irrigation water in two optimal and traditional modes, Case Study: Irrigation and drainage networks of Marun

L. Amanat behbahani^{1*}, A. Saki² and M. Esmaili³

1- *Corresponding Author, Graduated with a PhD in irrigation and drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (Leilaamanat@yahoo.com).

2- Graduated with a PhD in hydraulic structures, Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

3- Graduated with a Master of agricultural economics, Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 15 May 2023

Revised: 09 December 2023

Accepted: 11 December 2023

Keywords:

Optimization; Irrigation water allocation; Uncertainty; Water Use Efficiency; Multi-stage stochastic programming.

TO CITE THIS ARTICLE:

Amanat behbahani, L., Saki, A., Esmaili, M. (2024). 'Investigating the management of distribution and allocation of irrigation water in two optimal and traditional modes, Case Study: Irrigation and drainage networks of Marun', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(3), pp. 37-56. doi: 10.22055/jise.2023.43836.2079.

Introduction

Moghaddasi *et al.* (2010a,b) did a research on optimization of water allocation and distribution in irrigation network of Zayandeh Rud catchment by the use of non-linear methods of collective intelligence and genetic algorithm. In the above mentioned study, optimization has done by 4 sub-models of water distribution optimization during crop growth periods, water allocation optimization among network crops, water distribution optimization among different networks, and annual optimization of agricultural water proportion of Zayandeh Rud. Comparing the results, it can be assumed that nonlinear programming (NLP) and consequently particle swarm optimization (PSO) methods have priority to the others. In addition the study confirmed that the optimization method associates 36% more income. Management of irrigation water resources in the agricultural sector, as the most important renewable but limited resource, has been the most important challenge of the current century and has resulted in major concerns around the world. The aim of this study was to allocation irrigation water and cropping area under uncertainty with emphasis on water use efficiency (WUE) and relative irrigation supply (RIS) indices and the results were compared to the actual management in Marun Irrigation Network.

Materials and Methods

At first, by using the Monte Carlo simulation method, water flow in different seasons was simulated and the flow probability was calculated in three categories of high, medium, and low intensity. The data obtained from the Monte Carlo simulation method as well as technical,

hydrometric, and economic data were used to run a multi-stage stochastic model with interval parameters for the upper and lower limits. As a result, solution parameters, the optimal area under cultivation and the volume of consumed water were obtained. Finally, the comparative analysis water use efficiency (WUE) and relative irrigation supply (RIS) indices were calculated for the upper and lower limits and compared with the actual management.

model of multistage irrigation water allocation based on two temporal stages of the interactive algorithm were divided into two certain sub-models to obtain the upper and lower bounds of Z^+ (i.e., the system's total benefit). The upper bound optimization was calculated through NLP with the CONOPT4 solver used for solving the problem. LP was used for lower bound optimization using the same method and based on the target function and its conditions. For this purpose, first hydrometric data were obtained from Marun Network Station during 2006-2016. Then based on the results Monte Carlo Simulation model, the probability of occurrence inflow intensity of low, moderate and high is defined and the optimization model has been developed for water allocation and distribution between different growing seasons.

Findings

The results indicate that Marun Dam had 60% of normal year, 20% of wet year and 20% of draught continuously, to calculate the stochastic amount of input water to irrigation networks, the Monte Carlo Simulation model, and to produce random numbers EASY FIT software can be used (Table 1). (Karamouz *et al.*, 2003). In this project, agricultural water demand was calculated by REF-ET software, FAO-Penman_Monteith method, and the case study meteorological data (Allen *et al.*, 1999-2000). considering high and low irrigation efficiency of the region in Tables (2) and (3) water demand was determined based on intervals. The decision variables were calculated using the relationship $a * b * \prod_{s=1}^P S_s$ for seasons 1-4, respectively, at 27-81-243-243. These results support the optimal allocation of water for all crops under different flow scenarios. These results proved effective for the optimal allocation of irrigation water and the optimal cropping patterns in the irrigation networks under study. As it was mentioned previously when ST_{abpopt}^{\pm} approaches zero, if the irrigation target is provided, there will be the least benefit, and if not there will be the least penalty too. In the other words, in this situation, there will be a low risk. So the manager will have a conservative view for available water. The results, indicate that the cropping pattern area of all crops in all networks makes itself compatible with the optimization lower bounds.

Discussion

The results showed that the more optimal water consumption due to the increase of the cropping areas were increased by respectively 26 and 2%, and of course the benefit amount had an increase of 92 and 25% and also the increase of the WUE index in the developed model compared to the actual management. In the actual management the RIS index of irrigation water is close to one. In the optimization model, the difference between the supply and allocation of irrigation due to the estimation of the actual water requirement of the plant, the optimal cropping area and water storage is more than the traditional management.

Conclusion

- Applying optimizing model for allocating water resources as for betterment of water consumption management and enhancing economic water productivity that is attained from running these models.
- Water releasing management in irrigation networks according to water requirement of crops as for influence of lack of enormous volume of water in increasing function of crops should be applied.

Table 1- The stochastic input inflow to the networks for irrigation under 3 scenarios of inflow intensity in 4 seasons of crop growth (MM³)

		Available Water											
t		Fall			Winter			Spring			Summer		
Scenario	P%	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan
Low	20	(0.02-0.03)	(1.5-3)	(0.02-0.03)	(4-10)	(3-9)	(1.3-2.4)	(4-9)	(1.4-3)	0	0	0	0
moderate	60	(10-16)	(13-21)	(7-14)	(10-16.5)	(13-21)	(8-19)	(10-16)	(14-24)	(2-3)	(7-8)	(18.5-28)	0
High	20	(14-21)	(32.5-54)	(23-41)	(13-23)	(16-25)	(20.5-27)	(10-19)	(19-49.5)	(5.4-10.3)	(12-20)	(24-35)	(14-20)

* P=Probability

Source: Research Findings

Table 2- Water requirement of products during different seasons of growth in North and South networks (M³)

Crop	t	Fall	Winter	Spring	Summer
Wheat		33-69	221 - 4623	1060-2208	0
Colza		118-246	2244.5-4676	591-1230	0
Alfalfa		2759-5744	394-821	6699-13957	9852-20525

Table 3- Water requirements during different seasons of growth in the Jayzan network (M³)

Crop	t	Fall	Winter	Spring	Summer
Wheat		278-313	7508-8447	6117-6889	0
Colza		602-677	7822-8799	3610-4061	0
Alfalfa		0	0	0	0

Acknowledgements

Hereby, the authors of the article appreciate company of maroon irrigation networks for providing the required data and information.

References

- 1- Karamouz M, Szidarovszky F, Zahraie B., 2003. *Water resources systems analysis*. Lewis Publishers, CRC Press, pp.1-22. <https://dx.doi.org/10.1201/b11874-6>.
- 2- Allen R. 1999-2000. *Evapotranspiration of grass and alfalfa software*. Idaho university. Idaho, USA.

- 3- Moghaddasi ,M., Morid ,S., Araghinejad ,S and Agha Alikhni ,M., 2010a. Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduced agricultural drought losses; the 1999 drought in the Zayandehrud Irrigation System (IRAN). *Irrigation and Drainage*, 59,pp. 377-387.<http://dx.doi.org/10.1002/ird.499>.
- 4- Moghaddasi ,M., Araghnejad ,S and Morid ,S., 2010b. Long-term operation of irrigation dams considering variable demands: case study of Zayandeh-rud reservoir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(5),pp. 309-316.



© 2024 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



بررسی مدیریت آبیاری دو حالت بهینه و سنتی توزیع و تخصیص آب آبیاری (مطالعه موردی: شبکه‌های آبیاری و زهکشی مارون)

لیلا امانت بهبهانی^{۱*}، عباس ساکی^۲ و مصطفی اسماعیلی^۳

^۱ - نویسنده مسئول، دکتری تخصصی آبیاری زهکشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(Leilaamanat@yahoo.com)

^۲ - دکتری تخصصی سازه های آبی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

^۳ - کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵

چکیده

هدف این تحقیق تهیه مدل بهینه‌سازی تخصیص آب آبیاری و الگوی کشت در شرایط عدم قطعیت با تأکید بر بررسی شاخص‌های کارایی مصرف آب و عرضه نسبی آب و مقایسه با مدیریت سنتی در شبکه آبیاری مارون می‌باشد. داده‌های هیدرومتری از ایستگاه شبکه مارون و داده‌های هواشناسی از ایستگاه ایدنک بهبهان برای سال‌های ۸۵ الی ۹۵ تهیه گردید. بدین منظور مدلی با هدف ماکزیمم کردن کل سود ناخالص شبکه‌های آبیاری و زهکشی مارون توسعه داده شده است. این مدل قادر است توزیع بهینه آب بین شبکه‌ها، محصولات و مراحل مختلف رشد، میزان کمبود آب، مازاد آب تخصیص داده شده، و مقدار سود ناخالص سیستم در طی چهار فصل رشد تحت سه سناریو خشکسالی، نرمال و ترسالی با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای در شرایط عدم قطعیت را تعیین نماید. نتایج نشان دهنده مصرف بهینه‌تر آب با توجه به افزایش سطح کشت بین (۲۶-۲) درصد و به تبع آن افزایش سود بین (۹۲-۲۵) درصد و همچنین افزایش شاخص کارایی مصرف آب در مدل توسعه یافته نسبت به مدیریت سنتی می‌باشد. در مدیریت سنتی، میزان شاخص عرضه نسبی آب آبیاری نزدیک به یک می‌باشد. در مدل بهینه‌سازی اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری به علت برآورد نیاز آبی واقعی گیاه، سطح کشت بهینه و ذخیره‌سازی آب نسبت به مدیریت سنتی زیادتر می‌گردد (در اکثر حالات کمتر از یک می‌باشد).

کلید واژه‌ها: بهینه‌سازی، تخصیص آب آبیاری، عدم قطعیت، کارایی مصرف آب، برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای.

مقدمه

۳۶ درصد امکان افزایش درآمد را نسبت به مدیریت‌های سنتی در حوضه دارد. Li و Zehao (2018) با توجه به فرایند چرخه آب، یک مدل برنامه‌ریزی شانس محدود دو مرحله‌ای را با پارامترهای تصادفی در دو طرف چپ و راست محدودیت‌ها، برای تخصیص آب آبیاری کشاورزی در منطقه آبیاری Yinghe در وسط حوزه رودخانه Hehe شمال غربی چین توسعه داده‌اند. این مدل قادر به تولید استراتژی‌های تخصیص آبیاری مناسب با توجه به تغییر شکل آب از جمله تبخیر و تعرق گیاه-بارندگی-آبیاری-رطوبت خاک-نفوذ عمیق است. در تحقیق Mo et al (2016) یک مدل خطی بازه‌ای کوچک تخصیص آب آبیاری (ILFIWA) را توسعه داده‌اند. با استفاده از یک مطالعه موردی در شمال غربی چین، پتانسیل مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد این مدل می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مربوط به تخصیص آب آبیاری برای دوره‌های زمانی مختلف در مقادیر مختلف جریان کمک نماید. در ادامه مقایسه مدل (ILFIWA) و مدل برنامه‌ریزی خطی- معمولی نشان داد که مدل توسعه یافته برای بهبود

مدیریت منابع آب آبیاری در بخش کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تجدیدپذیر اما محدود، یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر بوده و نگرانی‌های عمده‌ای در سرتاسر جهان به‌وجود آورده است. در این راستا تحقیقات متعددی انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها پرداخته می‌شود. در تحقیق Moghaddasi et al (2010 a,b) به بهینه‌سازی تخصیص و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری حوضه آبریز زاینده‌رود با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی غیر خطی، هوش جمعی و الگوریتم ژنتیک پرداختند. در این مطالعه بهینه‌سازی تخصیص آب با استفاده از چهار زیر مدل به‌منظور بهینه‌سازی توزیع آب در طول فصل رشد گیاهان، بهینه‌سازی تخصیص آب بین محصولات شبکه‌ها، بهینه‌سازی توزیع آب بین شبکه‌های مختلف و بهینه-سازی سالانه سهم آب کشاورزی زاینده‌رود صورت گرفت. مقایسه نتایج برتری روش NLP و سپس PSO را نشان داد. ضمن اینکه نشان داده شد که بهینه‌سازی تخصیص و توزیع آب در شبکه‌ها تا

تفاوت این مطالعه با مطالعه‌های گذشته در این است که مطالعه‌ی حاضر شاخص کارایی مصرف آب و شاخص عرضه نسبی آب آبیاری را به‌عنوان معیاری برای تخصیص بهینه در نظر گرفته است. در این راستا از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای استفاده شده است. در بین مطالعه‌های مروری تنها مطالعه Li و Dai (2013) به این موضوع توجه داشته است. اما وجه تمایز این مطالعه با مطالعه‌ی Li و Dai (2013) در این است که مطالعه‌ی تخصیص بهینه آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف جریان با تأکید بر کارایی مصرف آب می‌باشد. قابل ذکر است چنین مطالعه‌ای تاکنون در ایران صورت نگرفته است. بنابراین هدف تحقیق حاضر مدیریت و تخصیص بهینه آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف جریان با تأکید بر کارایی مصرف آب می‌باشد ضمن اینکه مقایسه کارایی مصرف آب و شاخص عرضه نسبی آب در شرایط بهینه با مدیریت سنتی شبکه آبیاری و زهکشی مارون صورت می‌گیرد.

منطقه مطالعاتی و داده‌ها

سد مخزنی مارون در جنوب غربی ایران، در استان خوزستان و روی رودخانه مارون، در ۱۹ کیلومتری شمال شرقی بهبهان و ۲۲۰ کیلومتری مرکز استان (اهواز) واقع گردیده است. "در دشت بهبهان شبکه‌های آبیاری و زهکشی شمال و جنوب به وسعت ۱۳۵۰۰ هکتار و در دشت جازان شبکه جازان به وسعت ۳۰۰۰ هکتار قرار دارد شکل (۱) راندمان آبیاری در دوشبکه شمال و جنوب بین (۳۶-۷۵) درصد و در شبکه جازان بین (۳۶-۳۲) درصد می‌باشد (Based on technical report of Exploitation Company of Marun irrigation network, 2016). "الگوی کشت غالب در این مناطق گندم، کلزا و یونجه است که حداکثر عملکرد آن‌ها به ترتیب برابر با ۲۲۰۰۰، ۲۳۰۰۰، ۴۷۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بازه تغییرات سطح زیرکشت آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. میزان سود و هزینه محصولات مذکور هم در جدول (۲) قابل مشاهده است. لازم به ذکر است ایستگاه‌های باران سنجی ایدنک، پاقله و الکن که حوزه آبریزشان مارون می‌باشد به‌عنوان مبنا برای دریافت آمار بارندگی در نظر گرفته شده اند.

بهره‌وری آب آبیاری و کمک به تصمیم گیرندگان در مدیریت منابع آب آبیاری مورد نظر تحت شرایط عدم اطمینان است. Ortega Alvarez et al (2004) در مطالعه‌ای یک مدل برنامه‌ریزی برای آبیاری بهینه از منظر اقتصادی ارائه دادند. در این مطالعه به تعیین الگوی کشت بهینه محصولات و استراتژی‌های مدیریت آب آبیاری پرداخته شد. نتایج این مدل نشان داد که می‌توان بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب را تحقق بخشید. Fatemi et al (2011) با توجه به محدود بودن منابع آب برای برنامه‌ریزی آبیاری کشاورزی، گزینه‌های مطلوبی برای تخصیص بهینه آب از طریق افزایش بهره‌وری آبیاری و بهینه‌سازی الگوی کشت شناسایی کردند. Heydari و Akbari (2015) بیان کردند که شاخص عرضه نسبی آب در همه سال‌های بررسی به‌جز خشکسالی‌های اخیر در اکثر شبکه‌های حوضه زاینده‌رود بیش از یک و متوسط سودمندی آب برای شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه بین ۰/۷ تا ۰/۹ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید. Li و Dai (2013) مدل تخصیص آب آبیاری چند مرحله‌ای (MIWA) را برای پاسخ به پیچیدگی‌های مشکلات مدیریت منابع آب توسعه داده‌اند. این مدل برای برنامه‌ریزی مدیریت آب کشاورزی و تعیین الگوی کشت بهینه در یکی از مناطق چین که با مشکل کمبود آب روبه‌روست به‌کاربرده شده است. Mo et al. (2016) یک مدل کسری خطی بازه‌ای برای تخصیص آب آبیاری را گسترش دادند. آن‌ها در یک مطالعه موردی، پتانسیل مدل را ارزیابی و نتیجه گرفتند که این مدل می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مربوط به تخصیص آب آبیاری برای دوره‌های زمانی متفاوت و در مقادیر مختلف جریان مؤثر باشد.

Ren et al. (2019) در مطالعه‌ای یک مدل برنامه‌ریزی پیچیده برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب آبیاری ارائه دادند، که نه تنها برای بهینه‌سازی آب آبیاری، بلکه در جهت بهبود کارایی مصرف آب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج نشان داد که خروجی‌های مدل ریاضی مورد استفاده برای تصمیم‌گیری در مورد مصرف بهینه منابع آب آبیاری تحت عدم قطعیت‌های متعدد بسیار کارا می‌باشند. همان‌طور که از این مطالعه‌ها بر می‌آید برای غلبه بر مشکلات محدودیت منابع آب و صرفه‌جویی در مصرف آب، تخصیص بهینه آب آبیاری لازم است.



Fig. 1- Map of the case study areas

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- بازه تغییرات سطح زیر کشت محصولات غالب شبکه‌های حوزه مارون بهبهان (هکتار)

Table 1- Arable land changing interval for the prominent crops in the networks of Marun catchment in Behbahan city (Ha)

Crop	North	south	Jayzan
	Network		
Wheat	[18-3976]	[0-4802]	[14-2640]
Colza	[10-38]	[5-120]	[0-253]
Alfalfa	[3-461]	[103-2144]	-

جدول ۲- مقادیر سود خالص محصولات کشاورزی و ضرر کرد در یک هکتار (میلیون ریال)

Table 2- Crops net benefit and penalties (IRR/ha)

CROP	Network	NB	C
Wheat	North	$[1.8(10)^4 - 3.4(10)^4]$	$[1.5(10)^7 - 2.6(10)^7]$
Wheat	south	$[1.8(10)^4 - 3.4(10)^4]$	$[1.5(10)^7 - 2.6(10)^7]$
Wheat	Jayzan	$[1.1(10)^4 - 2.5(10)^4]$	$[8.7(10)^6 - 1.8(10)^7]$
Colza	North	$[1.9(10)^3 - 2.9(10)^4]$	$[1.5(10)^7 - 2.6(10)^7]$
Colza	south	$[1.9(10)^3 - 2.9(10)^4]$	$[1.5(10)^7 - 2.6(10)^7]$
Colza	Jayzan	$[4.2(10)^3 - 6.3(10)^4]$	$[8.7(10)^6 - 1.8(10)^7]$
Alfalfa	North	$[9.6(10)^4 - 1.6(10)^5]$	$[2.6(10)^7 - 4.1(10)^7]$
Alfalfa	south	$[9.6(10)^4 - 1.6(10)^5]$	$[2.6(10)^7 - 4.1(10)^7]$
Alfalfa	Jayzan	-----	-----

* NB= net benefit of crop a in network b

* C= cost of an unirrigated rental area per hectare for crop a in network b

راهکارهای کاربردی برای بهبود شرایط موجود ضروری می‌باشد. بدین منظور شاخص‌هایی از جمله عرضه نسبی آب آبیاری و کارایی مصرف آب پیشنهاد گردیده است (Molden et al., 1998).

شاخص عرضه نسبی آب آبیاری

نسبت عرضه آب آبیاری (آب سطحی) به تقاضا آب آبیاری (نیاز آبی گیاه با احتساب بارش مؤثر) را شاخص عرضه نسبی آب آبیاری می‌گویند. این شاخص، شرایط تأمین آب را به لحاظ فراوانی یا کمبود عرضه آب و تطابق عرضه و تقاضا را نشان می‌دهد.

شاخص کارایی مصرف آب

از شاخص‌های اساسی در تعیین کارایی استفاده از آب جهت تولید محصولات کشاورزی، شاخص کارایی مصرف آب می‌باشد که بیانگر نسبت میزان محصول تولیدی بر حسب کیلوگرم به آب تعلق شده بر حسب متر مکعب می‌باشد.

مدل سازی

مدل‌سازی طراحی شده برای سیستم آب کشاورزی مارون، که ایده اولیه این پژوهش از کار تحقیقاتی Li و Dai (2013) می‌باشد، با این تفاوت که مدل توسعه یافته و تابع محدودیت سود خالص جاری رابطه (۵) وارد مدل می‌شود و بایستی سود خالص سطح کشت آبیاری شده در شبکه‌ها برای محصولات در همه دوره‌ها و سناریوها در مدل بهینه‌سازی بزرگتر یا مساوی سود خالص مدیریت سنتی در یک سال آبی باشد. که در ادامه به

مواد و روش‌ها

در ابتدا با استفاده از مدل مونت کارلو به شبیه‌سازی جریان‌های آب طی فصول مختلف پرداخته می‌شود سپس با محاسبه احتمال وقوع، جریان‌ها در سه دسته‌ی شدت زیاد، متوسط و کم دسته بندی می‌شوند. با استفاده از داده‌های حاصله از شبیه‌سازی مونت کارلو و داده‌های فنی، هیدرومتری و اقتصادی، مدل تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای برای حدود بالا و پایین پارامترها حل می‌گردد. تخصیص بهینه آب آبیاری از طریق تعیین الگوهای کشت بهینه‌ی محصولات کشاورزی محاسبه و با شرایط فعلی مقایسه گردید.

شبیه سازی مونت کارلو

شبیه‌سازی مونت کارلو روشی بر پایه تکرار می‌باشد که یک پروسه عددی برای تولید اعداد تصادفی بر اساس توزیع احتمالاتی آن‌ها می‌باشد. در این روش ابتدا اعدادی به صورت تصادفی بین صفر و یک انتخاب شده متناسب با هر کدام از احتمالات به دست آمده با استفاده از تابع توزیع احتمال (CDF) حجم آب سال مورد نظر انتخاب و حجم آب ورودی آن سال به صورت سالانه به عنوان یک سری داده ذخیره می‌شود. تابع توزیع احتمال $F(x)$ تابعی است که با احتمال P متغیر x را طوری انتخاب می‌کند که کوچک‌تر و یا مساوی x باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود. که در آن $F(x)$ بین صفر و یک است (Hardaker et al., 2015).

شاخص‌های ارزیابی مقایسه‌ای مدیریت آب آبیاری

ارزیابی مستمر مدیریت آبیاری در شبکه‌های آبیاری به منظور تعیین وضعیت موجود، شناخت نقاط قوت و ضعف و یافتن

$$\begin{aligned} & \varepsilon_{(t-1)k}^{\pm} \\ & = Q_{(t-1)k}^{\pm} \\ & - \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j W_{ij(t-1)}^{\pm} (ST_{ij(t-1)}^{\pm} - SD_{ijtk(t-1)}^{\pm}) \\ & + \varepsilon_{(t-2)}^{\pm}, \forall t, k \end{aligned}$$

(۳) محدودیت آب مازاد

رابطه (۴) محدودیت مربوط به میزان سطح کشت است. حداقل سطح کشت آبیاری شده بعلاوه سطح کشتی که با آب سطحی موجود آبیاری نمی‌شود بایستی بزرگتر یا مساوی صفر باشد و سطح کشت بهینه محاسبه شده بایستی بین میزان ماکزیمم و مینیمم سطح کشت بررسی شده در دوره آماری تحقیق حاضر باشد که برای هر محصول، هر شبکه، هر دوره و هر سناریو حساب می‌شود.

$$0 \leq SD_{abps}^{\pm} + ST_{abpmin}^{\pm} \leq ST_{abp}^{\pm} \leq ST_{abpmax}^{\pm}, \forall a, b, p, s$$

(۴) محدودیت میزان سطح کشت

(محدودیت سود جاری در رابطه (۵) که نشان می‌دهد سود خالص سطح کشت آبیاری شده در شبکه‌ها برای محصولات در همه دوره‌ها و سناریوها بایستی بزرگتر یا مساوی سود خالص فعلی در یک سال آبی باشد).

$$\begin{aligned} & \sum_a^A \sum_b^B \sum_p^P \sum_s^S NB_{abps}^{\pm} ST_{abp}^{\pm} \geq \\ & \sum_a^A \sum_b^B \sum_p^P ST_{curabp}^{\pm} * NB_{abp}^{\pm} \end{aligned}$$

(۵) محدودیت سود جاری

(رابطه (۶) نشان می‌دهد محدودیت یکسان بودن سطح کشت در هر فصل آبیاری با فصل آبیاری قبل می‌باشد که برای هر محصول، هر شبکه و هر دوره حساب می‌شود).

$$ST_{abp}^{\pm} = ST_{ab(p-1)}^{\pm}, \forall a, b, p=2,3,\dots,P$$

(۶) محدودیت برابر بودن سطح کشت در هر فصل با فصل قبلی

محدودیت رابطه (۷) نشان می‌دهد سطح کشتی که با آب سطحی موجود آبیاری نمی‌شود باید بزرگتر یا مساوی صفر باشد. این رابطه برای هر محصول، هر شبکه، هر دوره و هر سناریو حساب می‌شود.

$$SD_{abps}^{\pm} \geq 0, \forall a, b, p, s \quad (7)$$

که در این روابط W_{abp} نیاز آبی ناخالص محصول a در شبکه b در دوره p (متر مکعب) ، ε_{p-1} آب مازاد وقتی در

تشریح مختصر مدل پرداخته می‌شود. (رابطه ۱ تابع هدف این مدل حداکثر سود ناخالص حاصل از انتقال آب به شبکه‌ها و محصولات در افق برنامه‌ریزی برای چهار فصل کشت (پاییز - زمستان - بهار - تابستان) می‌باشد که به صورت زیر فرموله شده است) (Amanat behbahani et al., 2020).

$$\begin{aligned} & \text{Max } Z^{\pm} \\ & = \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P NB_{abp}^{\pm} ST_{abp}^{\pm} \\ & - \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^{S_t} P_{ps} C_{abp}^{\pm} SD_{abps}^{\pm} \end{aligned} \quad (1)$$

در این رابطه \pm بیانگر عدم قطعیت پارامترها می‌باشد و اینکه بصورت بازه‌ای نشان داده می‌شوند، Z کل بازده برنامه‌ای یا سود ناخالص در یک سال آبیاری (ریال)، a انواع محصولات (گندم، $a=1$ ، کزلا، $a=2$ ، یونجه، $a=3$)، b شبکه‌های آبیاری، (شبکه مال، $b=1$ ؛ شبکه جنوب، $b=2$ ؛ شبکه جایزان، $b=3$)، زمان دوره برنامه‌ریزی (پاییز، $p=1$ ؛ زمستان، $p=2$ ؛ بهار، $p=3$ ؛ تابستان، $p=4$)، NB_{abp} سود خالص حاصل از محصول a در شبکه b (ریال/هکتار)، ST_{abp} سطح کشت محصول a در یک سال آبیاری ثابت در نظر گرفته می‌شود. P_{sp} ، احتمال وقوع سناریو s در دوره p ، C_{abp} ، اجاره یک هکتار زمین برای محصول a در شبکه b (ریال). SD_{abps} سطح کشت که با جریان سطحی Q_t آبیاری نمی‌شود (هکتار).

با لحاظ محدودیت‌های ذیل:

رابطه (۲) محدودیت آب موجود است. یعنی اینکه کل آب تخصیص یافته به سطوح کشت آبیاری شده در هر شبکه باید کمتر یا مساوی حجم آب عرضه شده به هر شبکه به علاوه آب مازاد از فصل آبیاری قبل باشد. این رابطه برای هر شبکه، هر دوره و هر سناریو حساب می‌شود.

$$\begin{aligned} & \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B W_{abp}^{\pm} (ST_{abp}^{\pm} - SD_{abps}^{\pm}) \\ & \leq Q_{ps}^{\pm} + \varepsilon_{(p-1)s}^{\pm}, \forall p, \forall s \end{aligned}$$

(۲) محدودیت عرضه آب

محدودیت رابطه (۳) مربوط به میزان آب مازاد از فصل آبیاری قبل هر شبکه می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود. کل آب تخصیص یافته به سطوح کشت آبیاری شده به علاوه آب مازاد از دو فصل آبیاری قبل محاسبه شده را از حجم آب عرضه شده به هر شبکه کم کنیم. این رابطه برای هر شبکه، هر دوره و هر سناریو حساب می‌شود.

محاسبه حجم آب ورودی به شبکه‌های آبیاری به دلیل ماهیت تصادفی بودن، با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو و تولید اعداد تصادفی در نرم افزار Easy fit می‌توان حجم آب ورودی به شبکه‌ها را به صورت تصادفی محاسبه نمود (جدول ۳) (Karamouz et al., 2003).

برآورد نیاز آبی کشاورزی

در این تحقیق نیاز آبی محصولات توسط نرم افزار REFET با روش فائو- پنمن- مانیت و داده‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه محاسبه شده است (Allen et al. 1999-2000). قابل ذکر است با در نظر گرفتن حد بالا و پایین راندمان آبیاری منطقه نیاز آبی به صورت بازه‌ای در نظر گرفته شده است (جدول ۴ و ۵).

۳-۵- اجرای مدل بهینه‌سازی

در این قسمت نتایج اجرای مدل مدیریت بهینه حاصل از انتقال آب به شبکه‌ها و محصولات کشاورزی در افق برنامه‌ریزی برای چهار فصل کشت (پاییز- زمستان- بهار- تابستان) تحت سه سناریو شدت جریان (زیاد- نرمال- کم) ارائه می‌گردد. قابل ذکر است پویایی دوره‌های تصمیم‌گیری برای تخصیص آب در کل مراحل تصمیم‌گیری لحاظ شده است. متغیرهای تصمیم برای فصول یک تا چهار به ترتیب برابر است با ۲۴۳-۲۴۳-۸۱-۲۷ که تخصیص بهینه آب برای محصولات مختلف را تحت سناریوهای مختلف جریان حمایت می‌کند. این نتایج در تخصیص آب آبیاری، مدیریت تنظیم سطوح الگوی کشت با شروع سال آبیاری و تخصیص مجدد آب طبق سناریوهای جریان مختلف و الگوی کشت بهینه در هر شبکه آبیاری منطقه مورد مطالعه می‌تواند کارآمد باشد.

سطح الگوی کشت بهینه

(سطح الگوی کشت بهینه مشخص شده که تمامی محصولات در همه شبکه‌ها خود را با حد پایین بهینه تطبیق می‌دهد در رابطه (۱۱) ارائه شده است).

$$ST_{ijtopt}^{\pm} = ST_{ijt}^{-} \quad (11)$$

سطح الگوی کشت بهینه نشان داد که در هر سه شبکه، ابتدا گندم و بعد یونجه بیشترین سطح کشت را نسبت به کلزا دارند (جدول ۶). نتایج ذکر شده با نتایج Dai و Li (2013) در یک راستا قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است، هنگامی که ST_{ijtopt}^{\pm} در پایین‌ترین حد خود قرار دارد اگر آب مورد نیاز تأمین شود کمترین میزان سود و اگر تأمین نشود، کمترین ضرر برای سیستم به دست می‌آید. به عبارت دیگر در این حالت حداقل ریسک در سیستم وجود دارد و

دوره $p-1$ آب تحویل داده می‌شود (میلیون متر مکعب)، ε_{p-2} آب مازاد وقتی در دوره $p-2$ آب تحویل داده می‌شود (میلیون متر مکعب)، ST_{abpmax} حداکثر سطح کشت در طول دوره آماری بررسی شده محصول a در شبکه ST_{abpmin} حداقل سطح کشت در طول دوره آماری بررسی شده محصول a در شبکه b . پارامتر تصادفی آب سطحی موجود برای آبیاری در دوره p (میلیون متر مکعب) Q_p . مقادیری از q_{ps} با سطوح احتمالاتی P_{ps} برای سناریو s در دوره p . (با توجه به حل دو زیر مدل فوق جواب مدل اصلی به صورت دو رابطه (۸) و (۹) بیان می‌شود).

$$z_{opt}^{\pm} = [z_{opt}^{-}, z_{opt}^{+}] \quad (8)$$

$$SD_{abpsopt}^{\pm} = [SD_{abpsopt}^{-}, SD_{abpsopt}^{+}] \quad \forall a, b, p, s \quad (9)$$

که در آن $z_{opt}^{\pm}, ST_{abpop}^{\pm}, SD_{abpsopt}^{\pm}$ به ترتیب حد بالا و پایین سود بهینه، سطح بهینه الگوی کشت برای محصول a در زیرناحیه b ، دوره p و سطح کشت برای محصول a در زیرناحیه b ، دوره p و سناریو s که با جریان سطحی Q_t آبیاری نمی‌شود (هکتار). بنابراین تخصیص بهینه آب با کاربرد مدل توسعه یافته تخصیص آب آبیاری چند مرحله‌ای از رابطه (۱۰) به دست می‌آید

$$SA_{abpsopt}^{\pm} = ST_{abpsopt}^{\pm} - SD_{abpsopt}^{\pm} \quad \forall a, b, p, s \quad (10)$$

$SA_{abpsopt}^{\pm}$ حد بالا و پایین تخصیص بهینه آب برای برای محصول a در زیرناحیه b ، دوره p و سناریو s است که از کسر میزان سطح کشتی که با کمبود آب آبیاری سطحی مواجه شده از سطح بهینه الگوی کشت به دست می‌آید.

نتایج و بحث

برآورد احتمال شدت جریان و سناریوها

برای به دست آوردن احتمال شدت جریان آب (کم، متوسط، زیاد) بر اساس داده‌های بارندگی ۳۰ سال گذشته (۱۳۹۵-۱۳۶۵) در محل سد و با استفاده از نرم افزار Morid et DIP (2004) al. و شاخص بارندگی استاندارد برای ایستگاه‌های منتخب، درصد سال‌های خشک و متوسط و تر محاسبه شد و از این درصدها برای احتمال وقوع سطح جریان کم، متوسط و زیاد خروجی آب سد استفاده شد (Mckee et al, 1993). نتایج نشان داد در حوزه سد مارون به صورت متوسط در ۶۰ درصد حالات دارای سال نرمال، ۲۰ درصد ترسالی و ۲۰ درصد خشکسالی بوده است. در ادامه برای

عبارت دیگر در این حالت حداکثر ریسک در سیستم وجود دارد و زمانی کاربرد دارد که مدیر برای آب در دسترس نگرش خوش بینانه دارد.

زمانی کاربرد دارد که مدیر برای آب در دسترس نگرش محافظه کارانه دارد. در صورتی که ST_{ijtopt}^{\pm} در بالاترین حد خود قرار گیرد اگر آب مورد نیاز تأمین شود بیشترین میزان سود و اگر تأمین نشود، بیشترین ضرر برای سیستم به دست می آید. به

جدول ۳- جریان ورودی آب به شبکه‌ها برای آبیاری تحت سه سناریو شدت جریان در چهار فصل زمانی رشد (میلیون متر مکعب) به صورت تصادفی

Table 3- The stochastic input inflow to the networks for irrigation under 3 scenarios of inflow intensity in 4 seasons of crop growth (MM³)

t	Available Water												
	Fall			Winter			Spring			Summer			
Scenario	P%	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan	North	South	Jayzan
Low	20	(0.02-0.03)	(1.5-3)	(0.02-0.03)	(4-10)	(3-9)	(1.3-2.4)	(4-9)	(1.4-3)	0	0	0	0
moderate	60	(10-16)	(13-21)	(7-14)	(10-16.5)	(13-21)	(8-19)	(10-16)	(14-24)	(2-3)	(7-8)	(18.5-28)	0
High	20	(14-21)	(32.5-54)	(23-41)	(13-23)	(16-25)	(20.5-27)	(10-19)	(19-49.5)	(5.4-10.3)	(12-20)	(24-35)	(14-20)

* P=Probability

Source: Research Findings

جدول ۴- نیاز آبی محصولات با در نظر گرفتن بارش مؤثر در شبکه‌های شمال و جنوب (بر حسب متر مکعب)

Table 4- Water requirement of products during different seasons of growth in North and South networks (M³)

Crop	Fall	Winter	Spring	Summer
Wheat	33-69	221 - 4623	1060-2208	0
Colza	118-246	2244.5-4676	591-1230	0
Alfalfa	2759-5744	394-821	6699-13957	9852-20525

جدول ۵- نیاز آبی محصولات با در نظر گرفتن بارش مؤثر در شبکه جایزان (بر حسب متر مکعب)

Table 5- Water requirements during different seasons of growth in the Jayzan network (M³)

Crop	Fall	Winter	Spring	Summer
Wheat	278-313	7508-8447	6117-6889	0
Colza	602-677	7822-8799	3610-4061	0
Alfalfa	0	0	0	0

جدول ۶- سطح کشت بهینه (هکتار)

Table 6 - Optimized irrigation area in networks(Ha)

Network	ST_{abp}^{\pm}		
	Wheat	Colza	Alfalfa
North	4570-2400	51-10	539-291
south	6563-2582	128-4.5	2620-2022
Jayzan	3433-1891	362-0	-

تخصیص آب آبیاری

در این قسمت با استفاده از رابطه (۱۰) سطح کشت محصولات آبیاری که با آب سطحی آبیاری شده‌اند (SA_{abps}^{\pm}) طی سناریوهای مختلف جریان در چهار فصل رشد در شبکه‌ها برای حد پایین و بالای مدل تعیین می‌شود.

حل مدل

نتایج سطح کشت (هکتار) واقعی آبیاری SA_{abps}^{\pm} محصولات در شبکه‌های مختلف برای سه حالت در فصل پاییز ارائه شده است (جدول ۷). همانطور که قابل مشاهده است محصول گندم تحت هر سه سناریو جریان بیشترین رقابت را نسبت به سایر محصولات دارد. در مقایسه سناریوهای کم و متوسط نسبت به سناریو زیاد جریان هر محصول، گندم شبکه شمال و جنوب و جایزان در سناریو کم به ترتیب از راست به چپ (۰-۶۱)، (۰-۱۰۰) (۹۹-۴۴)، کلزا شبکه شمال و جنوب در سناریو کم به ترتیب (۰-۸۶) و (۰-۳۴)، یونجه شبکه جنوب در سناریو کم (۸۴-۷۸)

و در سناریو متوسط (۶۷-۶۹) درصد کاهش سطح دارند. اما یونجه شبکه شمال در سناریو متوسط (۰-۹۸) درصد نسبت به سناریو زیاد افزایش سطح دارد. در مدل حد بالا، گندم در هر سه سناریو به صورت کامل آبیاری می‌شود به جز سناریو کم در ناحیه جایزان ($SA_{131L}^{\pm} = [18,1884]ha$). کلزا در دو سناریو زیاد و متوسط تأمین آب و در سناریو کم، شبکه شمال و جنوب دچار کمبود آب و در شبکه جایزان تأمین آب نمی‌شود. یونجه شبکه شمال به جز سناریو متوسط در دو سناریو دیگر با کمبود آب مواجه می‌گردد و یونجه شبکه جنوب در هر سه سناریو تا حدی آبیاری می‌شود.

در مدل حدپایین، گندم در دو سناریو زیاد و متوسط، کلزا در هر سه سناریو به جز شبکه جایزان بصورت کامل تأمین آب می‌شود. یونجه شبکه شمال در هر سه سناریو تقریباً تأمین آب نمی‌شود و در شبکه جنوب در هر سه سناریو با کمبود آب مواجه می‌شود.

جدول ۷- حل مدل تصادفی برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای توسعه یافته در فصل پاییز

Table 7- Solution of the optimization model developed in fall

Symbol	Senario	Period	Subarea	Crop	ST	SD	SA
1111	H	autumn	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2111	H	autumn	North	Colza	1-51	0	1-51
3111	H	autumn	North	alfaalfa	291-535	288-0	3-535
1211	H	autumn	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2211	H	autumn	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3211	H	autumn	South	alfaalfa	2022-2620	238-0	1784-2620
1311	H	autumn	Jayzan	Wheat	1891-3423	0	1891-3423
2311	H	autumn	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3311	H	autumn	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
1112	M	autumn	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2112	M	autumn	North	Colza	1-51	0	1-51
3112	M	autumn	North	alfaalfa	291-535	0	291-535
1212	M	autumn	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2212	M	autumn	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3212	M	autumn	South	alfaalfa	2022-2620	1443-0	579-2620
1312	M	autumn	Jayzan	Wheat	1891-3423	0	1891-109
2312	M	autumn	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3312	M	autumn	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
1113	L	autumn	North	Wheat	2569-4570	1591-0	978-4570
2113	L	autumn	North	Colza	1-51	0	1-1.5
3113	L	autumn	North	alfaalfa	291-535	28-3.5	3-531.5
1213	L	autumn	South	Wheat	2582-6563	2582-0	0-6563
2213	L	autumn	South	Colza	4.4-128	0-38.5	4.4-89.5
3213	L	autumn	South	alfaalfa	2022-2620	1738-1868	284-752
1313	L	autumn	Jayzan	Wheat	1891-3423	7-3405	1884-18
2313	L	autumn	Jayzan	Colza	0-322	0-322	0-0
3313	L	autumn	Jayzan	alfaalfa	0	0	0

جدول ۸- حل مدل تصادفی برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای توسعه یافته در فصل زمستان

Table 8 - Solution of the optimization model developed in winter

Symbol	Senario	Period	Subarea	Crop	ST	SD	SA
1121	HH	winter	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2121	HH	winter	North	Colza	1-51	0	1-51
3121	HH	winter	North	alfaalfa	291-535	288-182	3-535
1221	HH	winter	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2221	HH	winter	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3221	HH	winter	South	alfaalfa	2022-2620	238-0	1784-2620
1321	HH	winter	Jayzan	Wheat	1891-3423	0	1891-3403
2321	HH	winter	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3321	HH	winter	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
1125	MM	winter	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2125	MM	winter	North	Colza	1-51	0	1-51
3125	MM	winter	North	alfaalfa	291-535	0	291-535
1225	MM	winter	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2225	MM	winter	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3225	MM	winter	South	alfaalfa	2022-2620	1443-0	579-2620
1325	MM	winter	Jayzan	Wheat	1891-3423	0	1891-3403
2325	MM	winter	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3325	MM	winter	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
1129	LL	winter	North	Wheat	2569-4570	1591-0	978-4570
2129	LL	winter	North	Colza	1-51	1-49.5	1-1.5
3129	LL	winter	North	alfaalfa	291-535	288-0	3-0
1229	LL	winter	South	Wheat	2582-6563	2582-0	0-6563
2229	LL	winter	South	Colza	4.4-128	0-38.5	4.4-89.5
3229	LL	winter	South	alfaalfa	2022-2620	1739-2620	283-0
1329	LL	winter	Jayzan	Wheat	1891-3423	7-3423	1884-0
2329	LL	winter	Jayzan	Colza	0-322	0-322	0-0
3329	LL	winter	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0

هر محصول، گندم شبکه شمال در سناریو کم (۱۰۰-۸۷) و در شبکه جایزان با سناریو متوسط (۴۰-۳۶) و در سناریو کم ۱۰۰، کلزا شبکه شمال و جنوب در سناریو کم به ترتیب (۹۷-۰) و (۹۹-۰)، یونجه شبکه شمال در دو سناریو کم و متوسط (۹۹-۰) و (۵۴-۰) یونجه شبکه جنوب در دو سناریو کم و متوسط (۹۸-۰) و (۵۰-۰) درصد کاهش سطح دارند. در مدل حد بالا، سطح کشت محصولات تحت دو سناریو زیاد و متوسط به جز SA_{133M} همه تأمین آب می‌شوند. تحت سناریو جریان کم به جز SA_{123L} تمامی محصولات در شبکه‌های شمال و جنوب با کمبود آب مواجه می‌شوند و تحت این سناریو هیچ محصولی در شبکه جایزان تأمین آب نمی‌شود. تحت سناریو (کم-کم) به‌طور مثال جریان‌ها در سه دوره پیشین همگی کم هستند فقط گندم شبکه جنوب به‌صورت کامل آبیاری می‌شود اما در مدل حد پایین، سطح کشت گندم تحت سناریو زیاد و متوسط به جز SA_{133M} تأمین آب می‌شوند. کلزا در هر سه سناریو در شبکه‌های شمال و جنوب تأمین آب می‌شود اما در شبکه جایزان تحت هر سه سناریو تأمین آب نمی‌شود. یونجه در دو سناریو زیاد و متوسط در دو شبکه شمال و جنوب با کمبود آب مواجه می‌شود و در سناریو کم در هر دو شبکه تأمین آب نمی‌شود.

در فصل زمستان نتایج براساس نه حالت ارائه شده‌اند (جدول ۸). همان‌طور که قابل مشاهده است محصول گندم در هر سه سناریو جریان بیشترین رقابت را نسبت به سایر محصولات دارد. در مقایسه سناریوهای کم و متوسط نسبت به سناریو زیاد جریان هر محصول، گندم شبکه شمال در سناریو کم (۱۰۰-۸۷) و در شبکه جایزان با سناریو متوسط (۴۰-۳۶)، کلزا شبکه شمال در سناریو کم (۹۷-۰)، یونجه شبکه شمال در دو سناریو کم و متوسط (۱۰۰-۹۹) و (۵۴-۰)، یونجه شبکه جنوب در سناریو کم (۷۴-۳۷) و در سناریو متوسط (۵۰-۰) درصد کاهش سطح دارند. در مدل حد بالا، تمامی محصولات تحت دو سناریو زیاد و متوسط به‌جز گندم شبکه جایزان، تأمین آب می‌شوند (یعنی با آب سطحی موجود آبیاری می‌شوند). تحت سناریو جریان کم، دو محصول گندم و کلزا به‌جز شبکه جنوب در بقیه شبکه‌ها با کمبود آب مواجه می‌شوند و یونجه در هر دو شبکه با کمبود آب مواجه می‌شود. در مدل حد پایین سطح کشت گندم در دو سناریو زیاد و متوسط و کلزا در هر سه سناریو به‌جز شبکه جایزان تأمین آب می‌شوند. در این مدل یونجه در هر سه سناریو با کمبود آب مواجه شده و در سناریو کم، شبکه شمال تأمین آب نمی‌شود. در فصل بهار نتایج براساس ۲۷ حالت ارائه شده‌اند (جدول ۹). در مقایسه سناریوهای کم و متوسط نسبت به سناریو زیاد جریان

جدول ۹- حل مدل تصادفی برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای توسعه یافته در فصل بهار

Table 9-Solution of the optimization model developed in spring

Symbol	Senario	Period	Subarea	Crop	ST	SD	SA
1131	HHH	spring	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
2131	HHH	spring	North	Colza	1-51	0	1-51
3131	HHH	spring	North	alfaalfa	291-535	288-0	3-535
1231	HHH	spring	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
2231	HHH	spring	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
3231	HHH	spring	South	alfaalfa	2022-2620	238-0	1784-2620
1331	HHH	spring	Jayzan	Wheat	1891-3423	0-18	1891-3405
2331	HHH	spring	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
3331	HHH	spring	Jayzan	alfaalfa	0	0	0
11314	MMM	spring	North	Wheat	2569-4570	0	2569-4570
21314	MMM	spring	North	Colza	1-51	0	1-51
31314	MMM	spring	North	alfaalfa	291-535	0	291-535
12314	MMM	spring	South	Wheat	2582-6563	0	2582-6563
22314	MMM	spring	South	Colza	4.4-128	0	4.4-128
32314	MMM	spring	South	alfaalfa	2022-2620	1443-0	579-2620
13314	MMM	spring	Jayzan	Wheat	1891-3423	0-2535	1891-1070
23314	MMM	spring	Jayzan	Colza	0-322	0	0-322
33314	MMM	spring	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0
11327	LLL	spring	North	Wheat	2569-4570	1591-0	562-4570
21327	LLL	spring	North	Colza	1-51	0-49.5	1-1.5
31327	LLL	spring	North	alfaalfa	291-535	291-535	0-0
12327	LLL	spring	South	Wheat	2582-6563	2582-.0	0-6563
22327	LLL	spring	South	Colza	4.4-128	0-38.5	4.4-89.5
32327	LLL	spring	South	alfaalfa	2022-2620	2022-2620	0-0
13327	LLL	spring	Jayzan	Wheat	1891-3423	1891-3423	0-0
23327	LLL	spring	Jayzan	Colza	0-322	0-322	0-0
33327	LLL	spring	Jayzan	alfaalfa	0	0	0-0

جدول ۱۰- حل مدل تصادفی برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای توسعه یافته در فصل تابستان

Table 10-Solution of the optimization model developed in summer

Symbol	Senario	Period	Subarea	Crop	ST	SD	SA
3141	HHHH	summer	North	alfaalfa	291-535	288-0	3-535
3241	HHHH	summer	South	alfaalfa	2022-2620	238-0	1784-2620
31441	MMMM	summer	North	alfaalfa	291-535	0	291-535
32441	MMMM	summer	South	alfaalfa	2022-2620	1443-0	579-2620
31481	LLLL	summer	North	alfaalfa	291-535	291-535	0
32481	LLLL	summer	South	alfaalfa	2022-2620	2022-2620	0

می‌شود. در مدل حد پایین، در دو سناریو زیاد و متوسط با کمبود آب مواجه می‌شود و در سناریو کم تأمین آب نمی‌شود.

مقایسه سطح کشت بهینه شده نسبت به مدیریت سنتی

کل سطح قابل کشت برای کلزا و گندم و یونجه با آب موجود در مدیریت سنتی (۵۰-۱۴۴۳۴) هکتار در سه شبکه می‌باشد. نتایج ارائه شده نشان دادند در مدل توسعه یافته سطح کشت بین (۲-۲۶) درصد با افزایش نسبت به سطح کشت مدیریت سنتی روبرو شده که به تبع آن سود نیز {۹۲-۲۵} درصد افزایش یافته است.

در فصل تابستان با توجه به اینکه گندم و کلزا برداشت شده‌اند و فقط یونجه کشت شده نیاز به آبیاری دارد، این فصل با آب در دسترس بیشتر و تقاضای کمتر نسبت به فصول قبلی دارای شرایط آبیاری بهینه‌تر می‌باشد (جدول ۱۰).

درمقایسه سناریوهای کم و متوسط نسبت به سناریو زیاد جریان محصول یونجه، شبکه شمال در سناریو کم (۹۹-۱۰۰) و در سناریو متوسط (۰-۵۴) و شبکه جنوب در سناریو کم (۹۹-۱۰۰) درصد کاهش سطح دارند.

در مدل حد بالا، آبیاری تحت دو سناریو زیاد و متوسط یونجه به صورت کامل آبیاری و در سناریو کم با کمبود آب مواجه

کم در فصول مختلف نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مصرف در فصل بهار و کمترین در فصل تابستان اتفاق می‌افتد.

شکل (۳) میانگین شاخص کارایی مصرف آب تحت سناریو متوسط در هر سه شبکه شمال و جنوب و جایزان در چهار فصل رشد را نشان می‌دهد. در مدل حد بالا بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال به میزان ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب در فصول پاییز و زمستان و بهار برای شبکه جنوب به میزان ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب در فصل زمستان و بهار برای شبکه جایزان به میزان ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب برای فصول پاییز و زمستان و بهار اتفاق می‌افتد. در مدل حد پایین بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال و جنوب به میزان ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل تابستان برای شبکه جایزان به میزان صفر اتفاق می‌افتد. مقایسه سناریو متوسط در فصول مختلف نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مصرف در فصل زمستان و بهار و کمترین در فصل تابستان اتفاق می‌افتد.

مقایسه کارایی مصرف آب بین محصولات در سناریوهای مختلف در مدل توسعه یافته

در شکل (۲) میانگین شاخص کارایی مصرف آب تحت سناریو کم در هر سه شبکه شمال و جنوب و جایزان در چهار فصل رشد را نشان می‌دهد. در مدل حد بالا بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال به میزان ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل زمستان و بهار برای شبکه جنوب به میزان ۰/۷۴ کیلوگرم بر متر مکعب در فصل بهار و شبکه جایزان به میزان ۰/۱ کیلوگرم بر مترمکعب برای فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در مدل حد پایین بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال به میزان ۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل زمستان برای شبکه جنوب به میزان ۰/۸۶ کیلوگرم بر متر مکعب در فصل زمستان و بهار و شبکه جایزان به میزان صفر اتفاق می‌افتد. مقایسه سناریو

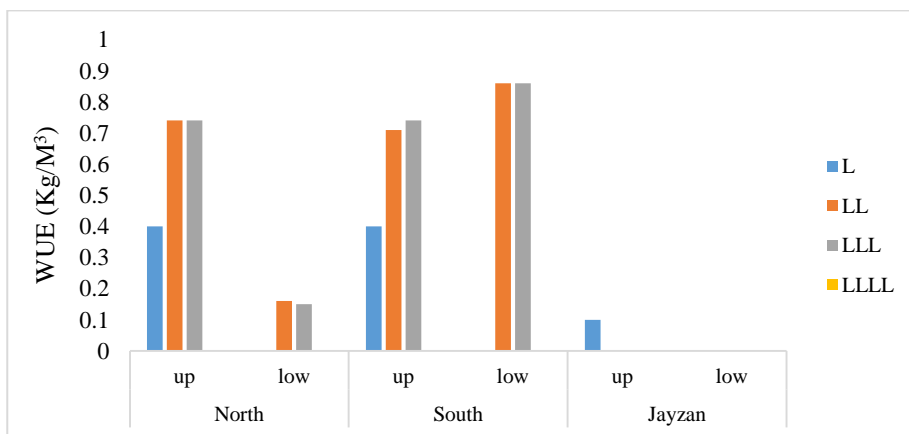


Fig. 2- Comparison of WUE index in four seasons under the low scenario in networks
 شکل ۲- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف تحت سناریو کم در چهار فصل رشد

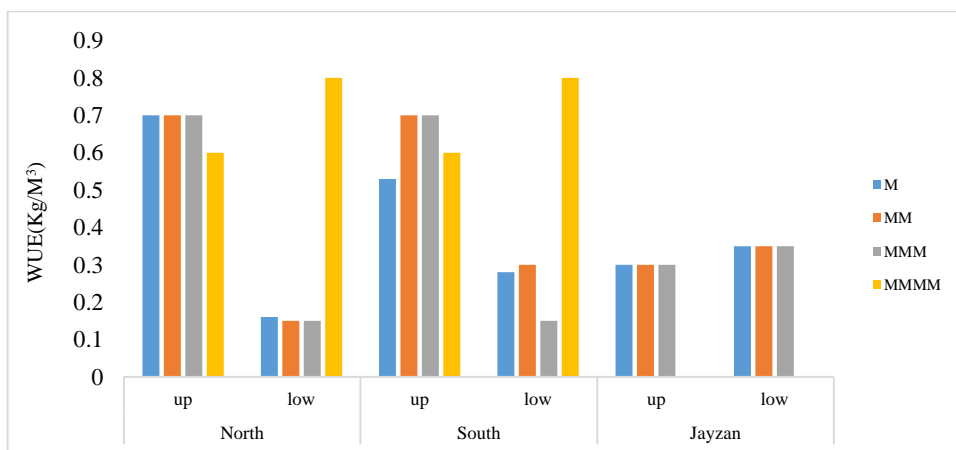


Fig. 3- Comparison of WUE index in four seasons under the moderate scenario in networks
 شکل ۳- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف تحت سناریو متوسط در چهار فصل رشد

میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌ها در مدیریت سنتی مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۵ و ۶). در شبکه شمال و جنوب حد بالا مدل بهینه سازی نسبت به مدیریت سنتی به ترتیب ۲۴ و ۲۱ درصد افزایش و در شبکه جازان با ۳۶ درصد کاهش میزان بهره‌وری مواجه خواهد شد. در شبکه شمال و جنوب حد پایین مدل بهینه سازی نسبت به مدیریت سنتی به ترتیب ۴۴ و ۴۰ درصد افزایش و در شبکه جازان با ۲۰ درصد کاهش میزان کارایی مصرف آب مواجه خواهد شد. (لازم به توضیح است به دلیل عملکرد پایین محصولات، سطح کشت در شبکه جازان در اجرای مدل بهینه کاهش یافته است که متعاقباً باعث کاهش میزان کارایی مصرف آب شده است). قابل ذکر است شاخص کارایی مصرف آب در تحقیق Ren et al (2019) که برای مدل برنامه‌ریزی پیچیده‌ای برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب آبیاری ارائه داده بودند نیز بهبود یافته است. قابل ذکر است که مقایسه شاخص کارایی مصرف آب در سناریوهای مختلف مدل توسعه یافته نشان داد که میزان بیشتر حجم آب رها شده در سناریو زیاد نسبت به سناریو متوسط اثری در بهبود کارایی مصرف آب نداشته اما در سناریو متوسط نسبت به سناریو کم با افزایش روبرو شده است.

در شکل (۴) میانگین شاخص کارایی مصرف آب تحت سناریو زیاد در هر سه شبکه شمال و جنوب و جازان در چهار فصل رشد را نشان می‌دهد. در مدل حد بالا بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال به میزان ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل زمستان برای شبکه جنوب به میزان ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب در فصل بهار برای شبکه جازان به میزان ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب برای فصول پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد. در مدل حد پایین بیشترین کارایی مصرف آب برای شبکه شمال و جنوب به میزان ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل تابستان برای شبکه جازان به میزان صفر به میزان صفر اتفاق می‌افتد. مقایسه سناریو زیاد در فصول مختلف نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مصرف در فصل زمستان و بهار و کمترین در فصل تابستان اتفاق می‌افتد.

مقایسه شاخص کارایی مصرف آب شبکه‌ها در مدل بهینه سازی با مدیریت سنتی

به منظور بررسی اثر تغییر مدیریت توزیع و تخصیص آب بر میزان شاخص کارایی مصرف آب، نتایج میانگین شاخص کارایی مصرف آب در شبکه‌ها در دو حد بالا و پایین مدل بهینه‌سازی با

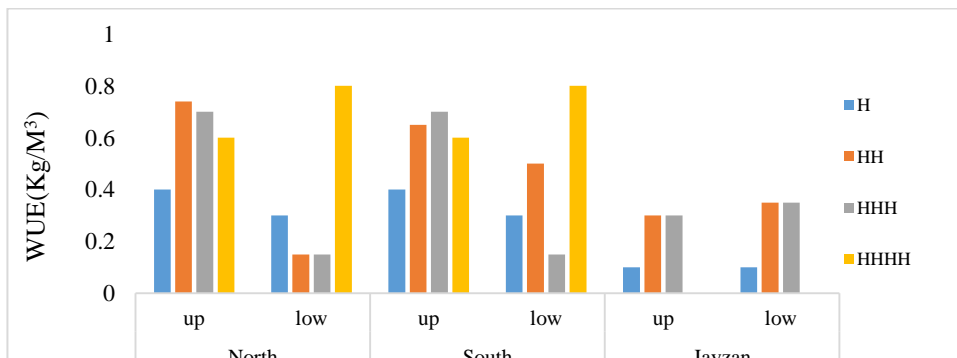


Fig. 4- Comparison of WUE index in four seasons under the high scenario in networks

شکل ۴- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف تحت سناریو زیاد در چهار فصل رشد

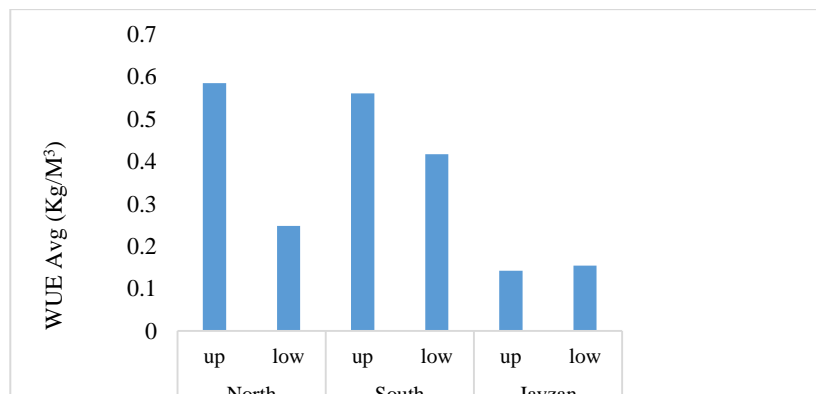


Fig. 5 - Average WUE index in networks in two optimization sub-models

شکل ۵- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف در دو حد مدل توسعه یافته

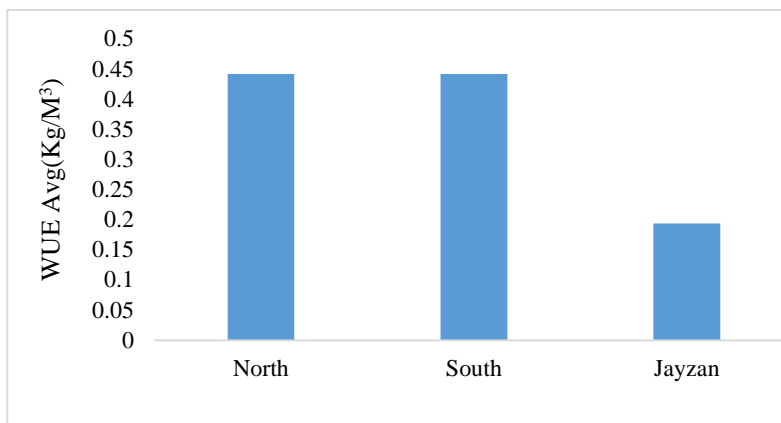
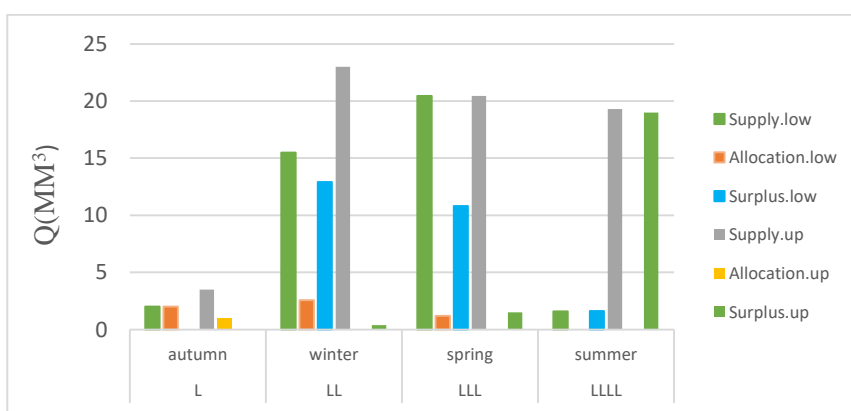


Fig. 6 - Comparison of Average WUE index in networks in the actual management
 شکل ۶- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در شبکه‌های مختلف در مدیریت سنتی

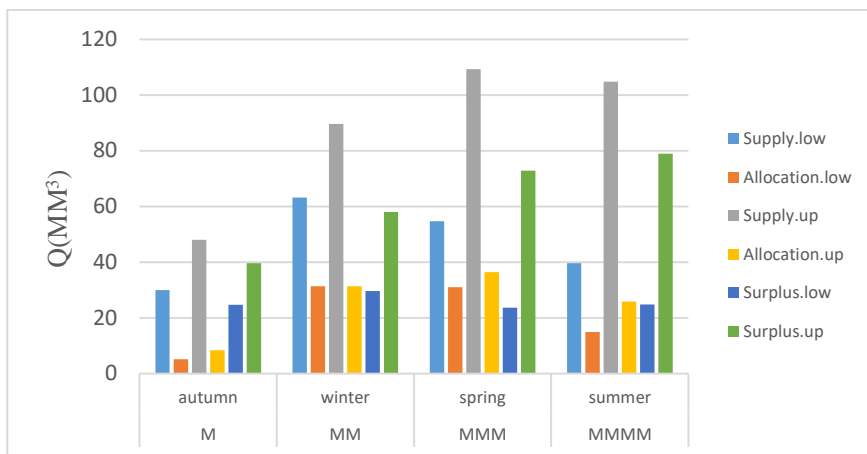


شکل ۷- مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری در چهار فصل تحت سناریو کم
 Fig. 7 - Comparison of Relative Irrigation Supply index in four seasons under the low scenario in networks

فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل زمستان و پاییز می‌باشد. شکل (۸) نشان می‌دهد که در مدل حد پایین تحت سناریو متوسط شاخص عرضه نسبی آب آبیاری به ترتیب در فصل پاییز ۸۲ درصد، در فصل زمستان ۴۷ درصد فصل بهار ۴۳ درصد و در فصل تابستان ۶۲ درصد می‌باشد. کمترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در فصل بهار اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل زمستان و بهار می‌باشد. در مدل حد بالا تحت سناریو متوسط شاخص عرضه نسبی آب آبیاری به ترتیب در فصل پاییز ۸۲ درصد، در فصل زمستان ۶۵ درصد در فصل بهار ۷۰ درصد و در فصل تابستان ۷۵ درصد می‌باشد. کمترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در فصل بهار اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل تابستان و پاییز می‌باشد.

مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف جریان

شاخص عرضه نسبی آب آبیاری برای حد پایین مدل طی فصول مختلف رشد محصولات در شبکه‌ها، تحت سه سناریو در اشکال (۷) الی (۹) ارائه شده است. شکل (۷) نشان می‌دهد که در مدل حد پایین تحت سناریو کم شاخص عرضه نسبی آبیاری به ترتیب در فصل پاییز صفر در فصل زمستان ۸۳ درصد در فصل بهار ۵۲ درصد و در فصل تابستان ۱۰۰ درصد می‌باشد. کمترین اختلاف بین عرضه تخصیص آبیاری در فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل زمستان و پاییز می‌باشد. در مدل حد بالا مدل تحت سناریو کم شاخص عرضه نسبی آبیاری به ترتیب در فصل پاییز صفر در فصل زمستان یک در فصل بهار هفت درصد و در فصل تابستان ۹۸ درصد می‌باشد. کمترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در



شکل ۸- مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری در چهار فصل تحت سناریو متوسط

Fig. 8 - Comparison of Relative Irrigation Supply index in four seasons under the moderate scenario in networks

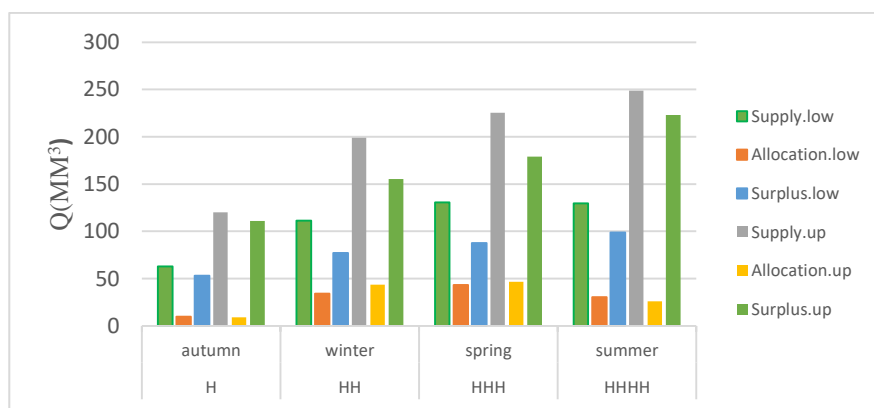


Fig. 9- Comparison of Relative Irrigation Supply index in four seasons under the high scenario in networks

شکل ۹- مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری در چهار فصل تحت سناریو زیاد

مقایسه شاخص عرضه نسبی در مدیریت سنتی

مقایسه شاخص عرضه نسبی آب آبیاری در هر سه شبکه در فصل‌های پاییز، زمستان، بهار، تابستان ارائه شده است (شکل ۱۰). میزان عرضه در شبکه‌های شمال، جنوب و جایزان در فصل پاییز (۸۳-۳۸-۵۶)، زمستان (۵۵-۲۷-۱۲)، بهار (۷۷-۴-۵۱) و تابستان (۰-۲۲-۷۵) درصد بیشتر از میزان تقاضا بوده است. کم‌ترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری که منجر به بهره‌وری بیشتر از آب می‌شود در شبکه‌های شمال و جنوب و جایزان به- ترتیب فصل زمستان، بهار، تابستان می‌باشد.

شکل (۹) نشان می‌دهد که در مدل حد پایین تحت سناریو زیاد شاخص عرضه نسبی آب آبیاری به ترتیب در فصل پاییز ۰/۸ درصد، در فصل زمستان ۰/۷ درصد، در فصل بهار ۰/۷ درصد و در فصل تابستان ۰/۸ درصد می‌باشد. کم‌ترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل تابستان و پاییز می‌باشد. در مدل حد بالا تحت سناریو زیاد شاخص عرضه نسبی آب آبیاری به ترتیب در فصل پاییز ۹۰ درصد، در فصل زمستان ۸۰ درصد، در فصل بهار ۸۰ درصد و در فصل تابستان ۹۰ درصد می‌باشد. کم‌ترین اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری در فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در این سناریو بیشترین و کمترین آب مازاد به ترتیب در فصل تابستان و پاییز می‌باشد.

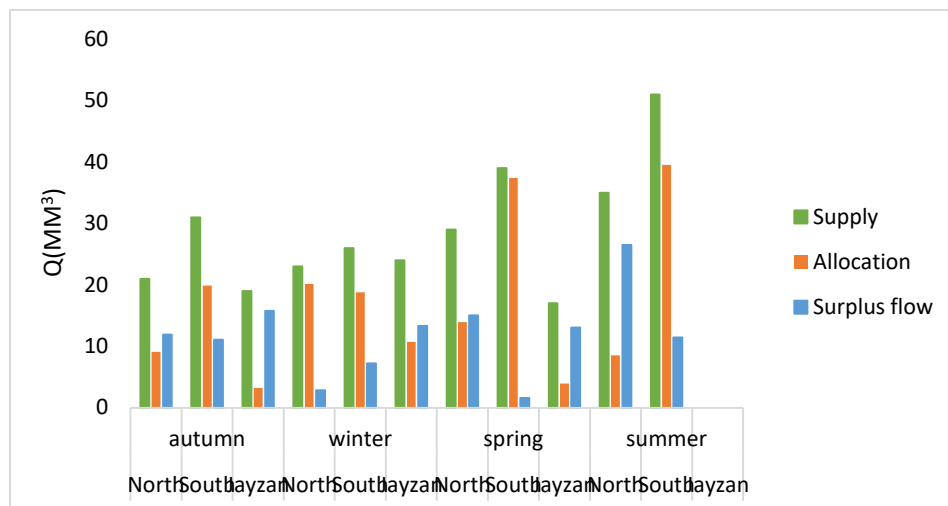


Fig. 10 - Comparison of Relative Irrigation Supply index in the actual management in four seasons
شکل ۱۰- مقایسه شاخص عرضه نسبی آب در مدیریت سنتی برای چهار فصل

سنتی دارد و در نتیجه مدیریت مصرف آب بهتر صورت گرفته است.

نتیجه گیری

این تحقیق، اثر تغییر مدیریت توزیع و تخصیص آب بهینه را بر شاخص عرضه نسبی آب و کارایی مصرف آب با مدیریت سنتی مقایسه می‌کند. با توجه به افزایش میزان کارایی مصرف آب در مدل بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف آب و ذخیره آب، مدل به خوبی توانسته نتایج مثبت را نشان دهد. همچنین نتایج توزیع و تخصیص بهینه آب، نشان‌دهنده قابل استفاده بودن این مدل توسعه یافته در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. یافته‌های کلی به شرح ذیل می‌باشد:

۱- مقایسه سطح کشت نشان داد که سطح کشت بهینه شده نسبت به مدیریت سنتی بین (۲۶-۲) درصد با افزایش روبه‌رو شده که به تبع آن سود نیز {۹۲-۲۵} درصد افزایش می‌یابد.

۲- مقایسه شاخص کارایی مصرف آب در سناریوهای مختلف مدل توسعه یافته نشان داد که میزان بیشتر حجم آب رها شده در سناریو زیاد نسبت به سناریو متوسط، اثری در بهبود کارایی مصرف آب نداشته، اما در سناریو متوسط نسبت به سناریو کم با افزایش روبه‌رو شده است.

۳- با توجه به میزان تقاضا آب آبیاری، مصرف آب در حد پایین و بالا مدل بهینه‌سازی (۶۴-۷۲) درصد کاهش نسبت به مدیریت سنتی دارد در نتیجه مدیریت مصرف آب بهتر صورت گرفته است.

۴- مدیریت رهاسازی آب در شبکه‌های آبیاری مطابق با نیاز آبی محصولات با توجه به تأثیر نداشتن حجم زیاد آب در افزایش عملکرد محصولات صورت گیرد.

۵- نتایج مدل توسعه یافته در تخصیص آب آبیاری، مدیریت تنظیم سطوح الگوی کشت با شروع سال آبیاری و تخصیص

مقایسه شاخص عرضه نسبی آب در مدل بهینه‌سازی با مدیریت سنتی

نتایج شاخص عرضه نسبی آب در شبکه‌های شمال، جنوب و جایزان در اجرای دو حد بالا و پایین مدل بهینه‌سازی نسبت به مدیریت سنتی به این صورت است که برای سناریو L در فصل پاییز صفر درصد، برای سناریو L-L در فصل زمستان (۱۰۰-۶۱) درصد و برای سناریو L-L-L در فصل بهار (۱۰۰-۵۳) درصد و برای سناریو L-L-L-L در فصل تابستان (۱۰۰-۶۸) درصد افزایش داشته است. برای سناریو M در فصل پاییز (۷۵-۷۴) درصد، برای سناریو M-M در فصل بهار (۳۲-۰) درصد و برای سناریو M-M-M-M در فصل تابستان (۴۸-۵۶) درصد افزایش داشته است. برای سناریو H در فصل پاییز (۷۸-۷۳) درصد، برای سناریو H-H در فصل زمستان (۵۹-۵۳) درصد و برای سناریو H-H-H-H در فصل بهار (۴۴-۳۴) درصد و برای سناریو H-H-H-H-H در فصل تابستان (۶۴-۵۸) درصد افزایش داشته است. در مدیریت سنتی با توجه به این که مدیر سیستم بدون در نظر گرفتن نیاز آبی محصولات آب را رها می‌کند، در اکثر اوقات آب عرضه شده مصرف شده است و اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری کم می‌باشد و میزان شاخص عرضه نسبی آب آبیاری نزدیک به یک می‌باشد. در مدل بهینه‌سازی اختلاف بین عرضه و تخصیص آبیاری به علت برآورد نیاز آبی واقعی گیاه، سطح کشت بهینه و ذخیره سازی آب نسبت به مدیریت سنتی زیادتر می‌گردد. (در اکثر حالات کمتر از یک می‌باشد). این شاخص در تحقیق Akbari و Heydari (2015) در همه سال‌های بررسی به جز خشک‌سالی‌های اخیر در اکثر شبکه‌های حوضه زاینده‌رود بیش از یک برآورد شده است. با توجه به میزان تقاضا آب آبیاری، مصرف آب در حد پایین و بالا مدل بهینه سازی (۶۴-۷۲) درصد کاهش نسبت به مدیریت

۲- توسعه تابع هدف مدل، مانند توابع هدف چند منظوره با اهدافی مثل پایداری کشاورزی با پیوند (آب- انرژی- محصول- محیط زیست).

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان مقاله از شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری مارون بابت در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات مورد نیاز تقدیر به عمل می‌آورند.

مجدد آب طبق سناریوهای جریان مختلف و الگوی کشت بهینه، در هر شبکه آبیاری منطقه مورد مطالعه می‌تواند کارآمد باشد.
۶- به کار بردن مدل بهینه سازی برای تخصیص منابع آب با توجه به بهبود مدیریت مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب که در این مدل‌ها انجام می‌شود.

پیشنهادات

۱- بررسی چرخه هیدرولوژیکی آب (تبخیر و تعرق گیاهان، بارندگی، آبیاری، رطوبت خاک و نفوذ عمقی) برای تعیین آب مورد تقاضا (نیاز آبی گیاهان).

References

- 1- Akbari .M and Heydari .N., 2015. Estimation of consumption demand and water consumption efficiency of Zayandeh Rood basin using satellite information. *In Iran Water Resources Management Conference. Isfahan University of Technology, Isfahan.Iran.* (In Persian)
- 2- Allen R. 1999-2000. *Evapotranspiration of grass and alfalfa software.* Idaho university. Idaho, USA.
- 3- Amanat Behbahani ,I., Moghaddasi ,M., Ebrahimi ,H and Babazadeh ,H ., 2020. Optimal water allocation and distribution management in irrigation networks under uncertainty by multi-stage stochastic case study: Irrigation and drainage networks of Marun. *Irrig and Drain* . 69,pp. 531-545. <https://doi.org/10.1002/ird.2476>.
- 4- Dai, Z.Y. and Li, Y.P., 2013. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty. *Agricultural Water Management*, 129, pp. 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.013>
- 5- Fatemi, S.M., Mohammed, T.A. and Soom, M.A.B.M., 2011. Proposed model for efficient water management at Razmagan irrigation project, a semi-arid region in Khorasan, Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 6(13), pp.3203-3216. Doi: 10.5897/AJAR10.1041
- 6- Hardaker JB, Huine BM, Anderson R, Line G., 2015. Coping with risk in agriculture, 3rd edition; Applied Decision Analysis. CABI publishing. Wallingford, United Kingdom .
- 7- Karamouz M, Szidarovszky F, Zahraie B., 2003. *Water resources systems analysis*. Lewis Publishers, CRC Press, pp.1-22. <https://dx.doi.org/10.1201/b11874-6>.
- 8- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993, January. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* 17(22), pp. 179-183.
- 10- Moghaddasi ,M., Morid ,S., Araghinejad ,S and Agha Alikhni ,M., 2010a. Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduced agricultural drought losses; the 1999 drought in the Zayandehrud Irrigation System (IRAN). *Irrigation and Drainage*, 59,pp. 377-387. <http://dx.doi.org/10.1002/ird.499>.
- 11- Moghaddasi ,M., Araghnejad ,S and Morid ,S., 2010b. Long-term operation of irrigation dams considering variable demands: case study of Zayandeh-rud reservoir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(5),pp. 309-316. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000128](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000128).
- 12- Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, C.J. and De Fraiture, C., 1998. *Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems* (Vol. 20). Iwmi.
- 13- Mo,L.,Ping,G and Vijay,P., 2016. An efficient irrigation water allocation model under uncertainty. *Agricultural systems*,144, pp.46-57.

-
- 14- Morid ,S., Moghddasi ,M., Arshad ,S and Omid ,M., 2004. Application of drought indices package. *Water Resources Management*.
- 16- Ortega Alvarez , J.F. J. A., de Juan Valero, J.A., Tarjuelo Martin-Benito, J.A and Lo pezMata, E ., 2004. MOPECO: an economic optimization model for irrigation water management, *Irrigation Science*, 23, pp. 61–75 . <https://doi.org/10.1007/s00271-004-0094-x>.
- 15- Ren, C., Yang, J. and Zhang, H., 2019. An inexact fractional programming model for irrigation water resources optimal allocation under multiple uncertainties. *Plos one*, 14(6), p.e0217783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217783>
- 16- Zehao,Y and Li. M., 2018.A stochastic optimization model for agricultural irrigation water allocation based on the field water cycle. *water*, 1031, pp. 1-19.

EXTENDED ABSTRACT

Comparison of availability and uptake of phosphorus and potassium in sugarcane under subsurface drip irrigation and furrow irrigation

A. Karimi^{1*}, E. Zanganeh-Yusefabadi² and S. Safirzadeh³

*1** - Corresponding Author, Researcher of Soil Chemistry and Fertility, Department of Agronomy Research, Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Ahvaz, Iran. (a.karimi@iscrti.ir)

2 - Researcher of Irrigation and Drainage, Department of Irrigation and Drainage Research, Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Ahvaz, Iran

3 - PhD in Soil Chemistry and Fertility, Khuzestan Hakim Farabi Agro-Industry CO. Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 16 May 2023

Revised: 28 January 2024

Accepted: 31 January 2024

Keywords:

Sugarcane nutrition, Irrigation method, Nutrients availability.

TO CITE THIS ARTICLE:

Karimi, A., Zanganeh-Yusefabadi, E., Safirzadeh, S. (2024). 'Comparison of availability and uptake of phosphorus and potassium in sugarcane under subsurface drip irrigation and furrow irrigation', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(3), pp. -. doi: 10.22055/jise.2024.43784.2078.

Introduction

Drought and water shortage for agricultural consumption are vital issues in arid and semi-arid regions of the world, and water is one of the most important factors contributing to crop yields (Torabi Haghghi et al. 2020; Anjum et al. 2023). For instance, in Khuzestan province, frequent irrigation is needed to sustain normal or high agricultural productivity due to the low rainfall. However, the application efficiency is important when selecting a suitable irrigation method and schedule in arid and semi-arid regions. Subsurface drip irrigation (SDI), offers promising opportunity for reducing irrigation requirements while sustaining high water and crop productivity. SDI emitters are installed in the soil profile near the root system, maximizing the water uptake (Manikandan and Thiagarajan, 2021). The sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) growth is strongly dependent on phosphorus (P) and potassium nutrition. Phosphorus (P) is an essential macronutrient in sustainable production of sugarcane. Phosphorus plays fundamental roles in the sugarcane photosynthesis, root development, tillering, growth and yield of sugarcane (Boschiero et al., 2019). Potassium is another essential macronutrient for sugarcane growth and productivity. The importance of potassium in plant metabolism and its role as a cofactor in activities of more than 60 enzymes has been reported. The role of potassium in various plant physiological processes, namely, seed germination and emergence, stomatal regulation, phloem transport, cation-anion balance, protein synthesis, photosynthesis, energy transfer, osmoregulation, nutrient balance, and stress resistance is also reported (Sardans and Peñuelas, 2021).

Considering the decrease of water resources and the possibility of developing subsurface drip irrigation in the sugarcane fields and industries of Khuzestan in the coming years, investigating the condition of soil nutrients and their uptake by sugarcane under of subsurface drip irrigation and furrow irrigation conditions can be effective in evaluating soil fertility status and fertilization planning in sugarcane fields. Therefore the purpose of this study was to comparison of the of

phosphorus and potassium availability in the soil and their uptake by sugarcane under subsurface drip irrigation and furrow irrigation conditions.

Materials and methods

This research was conducted in two sugarcane fields including subsurface drip irrigation and furrow irrigation, located in Khuzestan Hakim Farabi Agro-Industry, SW Iran. In both subsurface drip irrigation and furrow irrigation fields, after field preparation, sugarcane (CP69-1062 variety) were planted in rows with a distance of 40 cm from each other. In the subsurface drip irrigation field, the irrigation lateral pipe was placed in a depth of 20 cm from the soil surface, drippers spacing was 50 cm and drippers flow rate of 2.4 L h^{-1} . The distance of the irrigation lateral pipes from each other was considered to be 183 cm according to the conditions of sugarcane cultivation. Before planting, the application of phosphorus fertilizer 250 kg ha^{-1} as triple superphosphate was done in both fields. In this study, in order to compare the soil phosphorus and potassium availability, soil sampling was done at two and four months after cultivation. The soil was air-dried and passed through a sieve ($<2 \text{ mm}$). The soil's available phosphorus and potassium were measured by 0.5M NaHCO_3 and $1\text{M NH}_4\text{OAc}$ extraction methods, respectively. In addition, shoot dry weight and the concentration of phosphorus and potassium in the sugarcane shoot were determined at two and four months. Harvested shoots of plant from each field were thoroughly rinsed with deionized water and oven-dried at 70°C . Then, the dry weights were measured. Phosphorus and potassium concentration in the shoot was measured after 4M HCl digestion. The phosphorus and potassium concentration of the shoots were measured with a flame photometer and spectrophotometer, respectively. Also, the phosphorus and potassium uptake in sugarcane shoot were calculated. Statistical analysis and average data comparison was done using t test.

Results and discussion

The results showed that in both sampling times, the concentration of available phosphorus in the soil in subsurface drip irrigation conditions was higher than that under furrow irrigation conditions. Results indicated that at two months after cultivation, there was no significant difference between available soil potassium concentrations in two irrigation methods. At the time of four months after cultivation, the available potassium concentration of the soil was significantly higher in subsurface drip irrigation conditions than in furrow irrigation conditions. In four months after cultivation, the shoot dry weight of sugarcane under subsurface drip irrigation conditions was higher than under furrow irrigation conditions. The results showed that in both times, two and four months after cultivation, the concentration of phosphorus and potassium in sugarcane shoots was higher under subsurface drip irrigation conditions than under furrow irrigation conditions. Although this difference was not statistically significant for both phosphorus and potassium nutrients four months after cultivation. In both sampling times (two and four months after cultivation), the phosphorus and potassium uptake in the sugarcane shoot in subsurface drip irrigation conditions was significantly higher than in furrow irrigation conditions.

Conclusion

Therefore, it can be concluded that in the early stages of plant growth (four months after cultivation), the phosphorus and potassium availability in the soil and their uptake by sugarcane plant can be improved under subsurface drip irrigation conditions.

Acknowledgments

The authors of the article thank and appreciate the Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute for their financial support and assistance in the various stages of this research.

References

- 1- Anjum, M.N., Cheema, M.J.M., Hussain, F. and Wu, R.S. 2023. Precision irrigation: challenges and opportunities. *Precision Agriculture*, pp. 85-101. Doi: 10.1016/B978-0-443-18953-1.00007-6.
- 2- Boschiero, B.N., de Castro, S.G.Q., da Rocha, A.E.Q., Franco, H.C.J., Carvalho, J.L.N., Soriano, H.L., dos Santos, J.A., Bressiani, J.A. and Kölln, O.T., 2019. Biomass production and nutrient removal of energy cane genotypes in Northeastern Brazil. *Crop Science*, 59(1), pp.379-391. Doi: 10.2135/cropsci2018.07.0458
- 3- Manikandan, M. and Thiyagarajan, G., 2021. Soil moisture and nutrient patterns under subsurface drip irrigation for a sustainable sugarcane initiative. In *Fertigation Technologies for Micro Irrigated Crops* (pp. 171-178). Apple Academic Press.
- 4- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2021). Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, 10(2), p. 419. Doi: 10.3390/plants10020419
- 5- Torabi Haghghi, A., Abou Zaki, N., Rossi, P. M., Noori, R., Hekmatzadeh, A. A., Saremi, H. and Kløve, B. 2020. Unsustainability syndrome—from meteorological to agricultural drought in arid and semi-arid regions. *Water*, 12(3), p. 838. Doi: 10.3390/w12030838



© 2024 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقایسه فراهمی و جذب فسفر و پتاسیم در نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای

اکبر کریمی^{۱*}، الهام زنگنه یوسف آبادی^۲ و سعید صفیرزاده^۳

^۱ - نویسنده مسئول، محقق شیمی و حاصلخیزی خاک، گروه تحقیقات به‌زرعی، مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، اهواز، ایران
(a.karimi@iscrti.ir)

^۲ - محقق آبیاری و زهکشی، گروه تحقیقات آبیاری و زهکشی، مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان، اهواز، ایران.

^۳ - دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک، کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی خوزستان، اهواز، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۶

بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

چکیده

هدف از این پژوهش مقایسه فراهمی فسفر و پتاسیم خاک و جذب آن‌ها در نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای بود. این پژوهش در دو مزرعه نیشکر (آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای)، واقع در کشت و صنعت حکیم فارابی خوزستان انجام شد. در این مطالعه نمونه‌برداری خاک و گیاه در زمان‌های دو و چهار ماه پس از کشت انجام شد و غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک، وزن خشک گیاه و غلظت فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر در زمان‌های دو و چهار ماه پس از کشت بررسی شد. همچنین مقدار جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر محاسبه شد. آنالیز آماری و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون t انجام شد. نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در زمان دو ماه پس از کشت، غلظت فسفر قابل دسترس خاک (۵۶/۴ درصد)، غلظت و جذب فسفر (به ترتیب ۱۳/۶ و ۱۹/۲ درصد) و پتاسیم (به ترتیب ۱۷/۲ و ۲۲/۹ درصد) در اندام هوایی نیشکر به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود. همچنین در زمان چهار ماه پس از کشت، در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک، غلظت و جذب فسفر (۱۴/۸ درصد) و پتاسیم (۸/۷ درصد) در اندام هوایی نیشکر به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در زمان‌های ابتدایی رشد گیاه (دو و چهار ماه پس از کشت)، در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر، فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه نیشکر بهبود پیدا می‌کند.

کلید واژه‌ها: تغذیه نیشکر، روش آبیاری، فراهمی عناصر غذایی.

مقدمه

یکی از چالش‌های مهم کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود منابع آب می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی برای مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک مورد توجه قرار گرفته است (Grecco et al., 2019). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با کاربرد مستقیم آب و عناصر غذایی در ناحیه توسعه ریشه، کاهش آبشویی و هدررفت عناصر غذایی و بهبود فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌تواند در بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه مؤثر باشد (Mahesh and Raja 2015; Manikandan and Thiyagarajan, 2021).

نیشکر (*Saccharum cinarum* L.) گیاهی چند ساله و یکی از گیاهان مهم زراعی و صنعتی در استان خوزستان و کشور می‌باشد، که به‌دلیل زیست توده بسیار بالای آن نیاز زیادی به عناصر غذایی دارد. فسفر از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه نیشکر است که نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاه به‌ویژه در توسعه

ریشه، پنجه‌زنی و راتون‌پذیری نیشکر دارد (Zambrosi et al., 2017; Boschiero et al., 2019; Zambrosi, 2021). فسفر همچنین برای تقسیم سلولی، تشکیل تارهای کشنده، رشد و توسعه ریشه نیشکر ضروری است. افزون بر این ساخت شکر در فرآیند فتوسنتز، تشکیل ساکارز از گلوکز و فروکتوز و انتقال آن‌ها، توسط ترکیبات فسفات تسهیل می‌شود (Zhu et al., 2018). پتاسیم یکی دیگر از عناصر غذایی پرمصرف ضروری در رشد و متابولیسم نیشکر است. پتاسیم در فعالیت آنزیمی، جذب آب و باز شدن روزنه‌های برگ و حفظ تورژسانس سلولی و همچنین برای سنتز و انتقال پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها و انباشت ساکارز در نیشکر ضروری است (Sardans, and Peñuelas, 2021). بنابراین آگاهی از وضعیت فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه می‌تواند به مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه نیشکر، کمک کند (Flores et al. 2020).

الگوی توزیع رطوبت خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سیستم آبیاری جویچه‌ای متفاوت می‌باشد. بنابراین

مدیریت آبیاری و تغذیه گیاه دو فاکتور مهم در رسیدن به حداکثر پتانسیل رشد و عملکرد در گیاه نیشکر می‌باشند (Gunarathna et al., 2018). با توجه به کاهش منابع آب و احتمال توسعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مزارع کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان در سال‌های آینده، بررسی وضعیت عناصر غذایی خاک و جذب آن‌ها توسط نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر و آبیاری جویچه‌ای، می‌تواند در ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک و برنامه‌ریزی کوددهی در مزارع نیشکر مؤثر باشد. بنابراین هدف از این پژوهش مقایسه وضعیت فراهمی عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط نیشکر (کشت جدید) در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر و آبیاری جویچه‌ای، بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای واقع در شرکت کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی ($36^{\circ} 36'E, 30^{\circ} 59'N$) در جنوب غربی شهرستان اهواز مورد بررسی قرار گرفتند. دو مزرعه با مساحتی معادل ۲۱ هکتار در مجاور یکدیگر قرار داشته و دارای سابقه کشت یکسانی بودند، منبع آب آبیاری آن‌ها یکسان بوده و روش آبیاری آن‌ها در گذشته به روش آبیاری جویچه‌ای سطحی انجام شده است. پیش از کشت نیشکر، نمونه‌برداری خاک به صورت مرکب (از ۲۲ نمونه ساده) از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری، انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دو مزرعه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد (جدول ۱). نتایج آنالیز ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دو مزرعه مورد مطالعه نشان داد بافت خاک هر دو مزرعه لومی رسی بود و تفاوتی میان مقدار ویژگی‌های شیمیایی (EC، pH و کربن آلی) و غلظت نیترژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک در دو مزرعه وجود نداشت (جدول ۱).

در هر دو مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای پس از آماده‌سازی مزارع و فاروژنی، کشت قلمه نیشکر واریته CP69-1062 به صورت دوردیفه با فاصله ۴۰ سانتی‌متری از یکدیگر، از ۱۶ تا ۱۹ مهر ماه سال ۱۴۰۰ به مدت سه روز، انجام شد. در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی لوله آبد در وسط دو ردیف قلمه قرار گرفت. لوله‌های آبد با قطر ۲۰ میلی‌متر، فاصله قطره‌چکان ۵۰ سانتی‌متر و دبی قطره‌چکان ۲/۴ لیتر در ساعت، در عمق ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک کارگذاری شدند. فاصله لوله‌های آبد از یکدیگر با توجه به شرایط کشت نیشکر ۱۸۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از کشت کاربرد کود پایه فسفر به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل در هکتار در هر دو مزرعه به صورت توزیع در کف جویچه و در زیر قلمه انجام شد.

توزیع ریشه گیاه و همچنین توزیع عناصر غذایی در خاک در این دو روش آبیاری متفاوت می‌باشد (Wu et al., 2019; Quach et al., 2022). جذب عناصر غذایی توسط گیاه و آب قابل دسترس خاک، رابطه نزدیکی باهم دارند. روابط آبی با فرآیندهای مؤثر در حلالیت و قابل دسترس بودن عناصر غذایی در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشک بودن خاک از طریق کاهش سیستم انتقال فعال، نفوذ پذیری غشاء و توانایی جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه و سرعت انتشار عناصر غذایی از خاک به سطح ریشه را کاهش می‌دهد (Manikandan and Thiyagarajan, 2021). Zhang و Wang (2012) توزیع فسفر در عمق‌های مختلف خاک و فراهمی فسفر را تحت تأثیر روش‌های مختلف آبیاری بررسی نمودند و گزارش کردند توزیع فسفر در خاک تحت تأثیر نحوه آبیاری قرار دارد و در شرایط دفعات بیش‌تر و حجم کم‌تر آب در هر نوبت آبیاری، فسفر قابل دسترس در خاک افزایش می‌یابد.

فراهمی عناصر غذایی مختلف در خاک برای جذب توسط گیاه به غلظت عناصر در فاز محلول خاک بستگی دارد که عمدتاً به رطوبت خاک وابسته است. همچنین افزایش جذب و انتقال آب، سبب بهبود جذب عناصر غذایی، توسط گیاه می‌شود. (Gonçalves et al., 2019). غلظت عناصر غذایی در فاز محلول خاک شاخصی از تحرک آن‌ها در خاک و حرکت به سمت ریشه گیاه است. تغییرات مربوط به آب قابل دسترس برای گیاه می‌تواند فراهمی عناصر غذایی در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با بهبود شرایط رطوبت خاک به دلیل تأمین مداوم آب، فراهمی عناصر غذایی در خاک و در نتیجه جذب آن‌ها توسط گیاه می‌تواند افزایش یابد. افزون بر این یکی دیگر از مزایای سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی این است که عناصر غذایی به مرکز سیستم ریشه ارائه می‌شوند و در این شرایط گیاه کم‌تر دچار تنش تغذیه‌ای می‌شود (Jayakumar et al., 2014; Manikandan and Thiyagarajan, 2021).

یکی از مشکلات اغلب خاک‌های مزارع نیشکر خوزستان، بافت سنگین و تراکم بالای آن‌ها می‌باشد که سبب افزایش مقاومت فروروی خاک، کاهش تخلخل تهویه‌ای و به دنبال آن محدود شدن رشد و توسعه ریشه می‌شود (Veisitabar et al., 2015). در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با روش جویچه‌ای تخلخل تهویه‌ای خاک بهبود می‌یابد. بهبود تهویه خاک می‌تواند سبب بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌های مؤثر در چرخه نیترژن و حل‌کننده فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک شده و در نتیجه می‌تواند در افزایش فراهمی آن‌ها در خاک و جذب آن توسط گیاه مؤثر باشد (Manikandan and Thiyagarajan, 2021).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه

Table 1- Soil physicochemical characteristics of the studied fields

Field	Soil texture	Soil EC (dS m ⁻¹)	pH	Organic carbon (%)	Total Nitrogen (g kg ⁻¹)	Available Phosphorus (mg kg ⁻¹)	Available Potassium (mg kg ⁻¹)
Subsurface drip irrigation	Clay loam	2.81	7.81	0.35	0.64	3.44	92.2
Furrow irrigation	Clay loam	2.78	7.85	0.35	0.61	3.63	89.6

انجام شد و در پایان پنج نمونه مرکب خاک از هر عمق به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های خاک تهیه شده پس از هواخشک نمودن، الک شدند. فسفر قابل دسترس خاک با استفاده از بی‌کربنات سدیم، ۰/۵ مولار عصاره‌گیری شد و غلظت فسفر در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. پتاسیم قابل دسترس خاک با استفاده از اسنات آمونیوم یک مولار عصاره‌گیری شد و غلظت پتاسیم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری گردید (Carter and Gregorich, 2007).

نمونه‌های گیاهی در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس وزن خشک اندام هوایی گیاه، اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر به روش خاکستری خشک و هضم با اسیدکلریدریک اندازه‌گیری شد (Gupta, 2000). جذب فسفر و پتاسیم توسط نیشکر از حاصلضرب غلظت آن‌ها در ماده خشک اندام هوایی گیاه محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌های این پژوهش با استفاده از آزمون t و توسط نرم‌افزار SPSS 25 برای هر یک از زمان‌های نمونه‌برداری (T₁ و T₂) به صورت جداگانه، انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک

نتایج آزمون t نشان داد که اثر شرایط آبیاری مزرعه بر تغییرات غلظت فسفر قابل دسترس خاک در هر دو زمان معنی‌دار بود. همچنین اثر شرایط آبیاری مزرعه بر غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک در زمان نمونه‌برداری چهار ماه پس از کشت (T₂) معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو زمان نمونه‌برداری غلظت فسفر قابل دسترس خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (شکل ۱). مقایسه غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک در دو روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای مرسوم نشان داد که در زمان دو ماه پس از کشت، تفاوت معنی‌داری بین غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک در دو روش آبیاری وجود نداشت. در زمان

در این تحقیق آبیاری مزرعه قطره‌ای زیرسطحی به‌گونه‌ای بود که همواره رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی (FC) حفظ شود. به‌منظور انجام محاسبات آبیاری، از داده‌های تشت تبخیر کلاس A (آمریکایی) ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت فارابی و ضرایب گیاهی به‌دست آمده از داده‌های لایسی‌متری موسسه تحقیقات و آموزش نیشکر برای نیشکر پلنت رقم CP69-1062 استفاده گردید (Zanganeh-YusefAbadi et al., 2021). دور آبیاری در مزرعه قطره‌ای زیرسطحی در زمان‌های دو و چهار ماه پس از کشت و شروع آبیاری، ۳ روز بود. حجم آب مصرفی در این زمان‌ها در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب ۷۳۳ مترمکعب و ۵۸۴ متر مکعب بود.

آبیاری در مزرعه آبیاری جویچه‌ای بر اساس روش مرسوم کشت و صنعت حکیم فارابی با فاصله ۱۵ روز انجام شد. در این مزرعه، آب مصرفی در زمان دو ماه و چهارماه پس از کشت به ترتیب ۱۵۸۸ مترمکعب و ۴۵۴۵ متر مکعب بود. بخشی از آب مصرفی در زمان چهار ماه پس از کشت جهت کاهش خسارت سرمزدگی بود.

برای مقایسه وضعیت عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط نیشکر در زمان‌های دو و چهار ماه پس از کشت و شروع آبیاری، نمونه‌برداری خاک و گیاه انجام شد. زمان‌های دو و چهارماه پس از کشت به دو دلیل انتخاب شدند: ۱- با توجه به نقش فسفر و پتاسیم در جوانه‌زنی قلمه نیشکر، رشد و توسعه ریشه نیشکر و به عبارت دیگر استقرار گیاه و همچنین نقش آن‌ها در رشد و فعالیت‌های متابولیکی نیشکر در رشد اولیه گیاه (چهار ماه ابتدایی) و ۲- نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده است که بخش عمده کود فسفر افزوده شده به خاک، دو تا چهار ماه پس از کاربرد آن به دلیل تشکیل فسفات‌های کلسیم، به شکل‌های غیرقابل دسترس در می‌آید، همچنین پتاسیم قابل دسترس خاک، تحت تأثیر آب آبیاری مصرفی در دوره رشد ابتدایی گیاه (چهار ماه ابتدایی) و با توجه به نوع کانی‌های خاک، می‌تواند به شکل‌های غیرقابل دسترس برای گیاه تبدیل شود. نمونه‌برداری خاک به صورت مرکب و در پنج تکرار در دو مزرعه مورد مطالعه انجام شد. برای کاهش خطا در آزمایش، هر نمونه مرکب از ترکیب ۲۰ نمونه ساده، تهیه شد. آماده‌سازی نمونه‌های مرکب تهیه شده از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری (عمق توسعه بخش عمده ریشه نیشکر)

خاک و جذب آن در نیشکر در دو مزرعه به دلیل اثر مستقیم رطوبت بر فراهمی این عناصر و جذب آن‌ها توسط ریشه از طریق مکانیسم حرکت توده‌ای نبوده است و اثرات مثبت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر وضعیت این عناصر غذایی در خاک به دلیل اثرات غیرمستقیم شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر رطوبت و شرایط تهویه‌ای خاک بوده است. احتمالاً در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به دلیل بهبود شرایط رطوبت و تهویه‌ای خاک برای فعالیت میکروبی مانند میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفر، توزیع شکل‌های شیمیایی فسفر تحت تأثیر قرار گرفته و سبب شده که فراهمی فسفر در خاک افزایش یابد. نتایج مطالعه Zhang و Wang (2012) نشان داد حفظ رطوبت خاک در شرایط بهینه در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، سبب تغییر توزیع شکل‌های شیمیایی فسفر در خاک شد، بدین ترتیب که در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شکل‌های شیمیایی فسفر از شکل‌های غیرقابل دسترس یا شکل‌های با فراهمی کم‌تر (مانند آپاتیت) به شکل‌های با فراهمی بیشتر برای گیاه و افزایش فسفر قابل دسترس خاک شد. Zhang و Wang (2008) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

چهار ماه پس از کشت، غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک، در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (شکل ۲).

افزایش غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک در مزرعه با آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با مقدار آن‌ها قبل از کشت و همچنین بیش‌تر بودن غلظت فسفر و پتاسیم در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای می‌تواند به دلیل بهبود شرایط تهویه‌ای و رطوبتی در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای باشد. بهبود تهویه خاک و حفظ رطوبت خاک در محدوده بهینه، در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند سبب بهبود توسعه ریشه و بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفر و پتاسیم در خاک شده و در نتیجه افزایش فراهمی آن‌ها برای گیاه شود (Fu et al., 2021; Manikandan and Thiyagarajan, 2021).

حرکت توده‌ای پتاسیم در خاک به مراتب بیش‌تر از فسفر است. با این حال اختلاف فسفر قابل دسترس خاک در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای، در زمان اول نمونه‌برداری (دو ماه پس از کشت) معنی‌دار بود، اما اختلاف پتاسیم قابل دسترس در دو مزرعه مورد مطالعه معنی‌دار نبود. این نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً تفاوت فراهمی فسفر و پتاسیم در

جدول ۲- مقایسه آماری غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک بر اساس آزمون t

Table 2- Statistical comparison of available P and K in the soil based on t test

Sampling time	df	t	
		Soil available Phosphorus	Soil available potassium
T ₁	8	1.82*	-0.15 ^{ns}
T ₂	8	3.58**	-1.42**

^{ns}, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1 % probability level, respectively
T1 and T2 are sampling time at two and four month of after planting, respectively

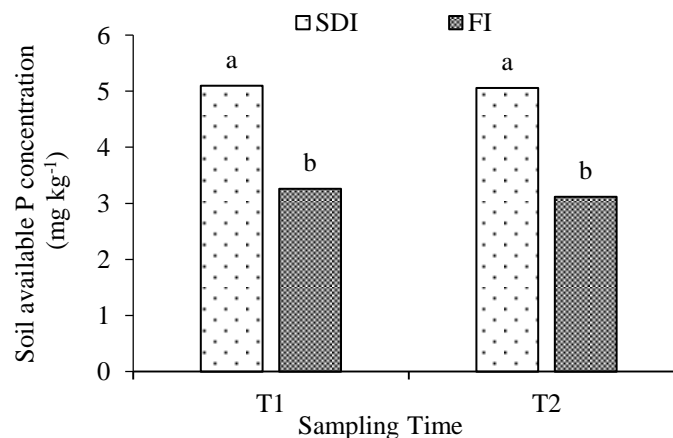


Fig. 1- Soil available concentration of P in the subsurface drip irrigation (SDI) and furrow irrigation (FI) fields at two (T1) and four (T2) month of after planting (Means with similar at each sampling time letter are not significantly different ($P < 0.05$) according to the t test.)

شکل ۱- غلظت فسفر قابل دسترس خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) و آبیاری جویچه‌ای (FI) و در زمان‌های دو (T1) و چهار ماه (T2) پس از کشت (میاتگین‌های دارای حروف متفاوت در هر زمان نمونه‌برداری، بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری دارند)

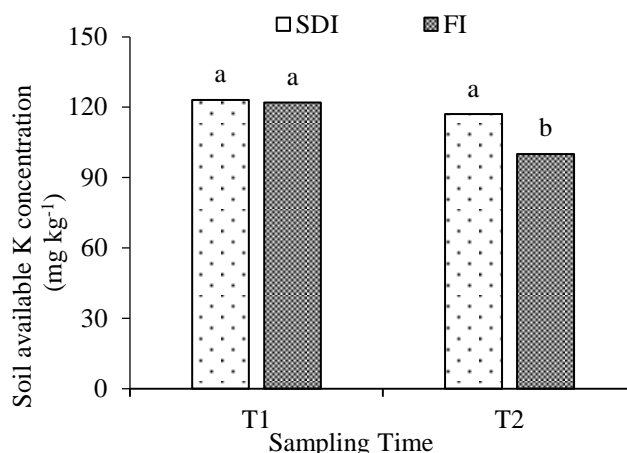


Fig. 2- Soil available concentration of K in the subsurface drip irrigation (SDI) and furrow irrigation fields at two (T1) and four (T2) month of after planting (Means with similar at each sampling time letter are not significantly different ($P < 0.05$) according to the t test)

شکل ۲- غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) و آبیاری جویچه‌ای (FI) و در زمان‌های دو (T1) و چهار ماه (T2) پس از کشت (میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر زمان نمونه‌برداری، بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری دارند)

جدول ۳- مقایسه آماری وزن خشک گیاه، غلظت و جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه بر اساس آزمون t

Table 3- Statistical comparison of shoot dry weight, Shoot P and K concentration and uptake based on t test

Sampling time	df	t				
		Shoot dry weight	Shoot P concentration	Shoot K concentration	Shoot P Uptake	Shoot K uptake
T ₁	8	0.28 ^{ns}	4.22 ^{**}	3.33 ^{**}	1.41 ^{**}	2.59 [*]
T ₂	8	-3.47 [*]	2.27 ^{ns}	1.24 ^{ns}	1.24 [*]	5.84 ^{**}

^{ns}, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1 % probability level, respectively

T₁ and T₂ are sampling time at two and four month of after planting, respectively

2018). افزون بر این در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در مقایسه با روش آبیاری جویچه‌ای، با به حداقل رسیدن هدررفت شکل محلول فسفر و پتاسیم از طریق آبشویی (نفوذ عمقی و رواناب)، شرایط تغذیه‌ای نیشکر و به دنبال آن رشد گیاه می‌تواند بهبود پیدا کند (Chen et al., 2012; Mahesh and Raja, 2015; Manikandan and Thiyagarajan, 2021). بر اساس نتایج به دست آمده، بهبود وضعیت فراهمی عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در خاک (شکل ۱ و ۲) و به دنبال آن بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه از جمله افزایش جذب فسفر و پتاسیم توسط گیاه (جدول ۴) به عنوان عناصر غذایی غذایی ضروری پرمصرف برای رشد گیاه، می‌تواند از دیگر دلایل افزایش وزن خشک گیاه در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای باشد. افزایش رشد و عملکرد نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای سطحی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Chen et al., 2012; Mahesh and Raja 2015; Gunarathna et al., 2018).

وزن خشک گیاه

نتایج آزمون t نشان داد که اثر شرایط آبیاری مزرعه بر وزن خشک گیاه در زمان چهار ماه پس از کشت معنی‌دار بود. در حالی که اثر آن در زمان دو ماه پس از کشت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در زمان چهار ماه پس از کشت، وزن خشک اندام هوایی گیاه در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (جدول ۴).

یکی از دلایل بیش‌تر بودن وزن خشک اندام هوایی گیاه در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زمان چهار ماه پس از کشت می‌تواند بهبود وضعیت رطوبتی خاک و حفظ رطوبت خاک در محدوده بهینه برای گیاه و بهبود آب قابل دسترس خاک برای گیاه به دلیل تأمین مداوم آب باشد. نتایج پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده است که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند رشد و عملکرد نیشکر را به دلیل حفظ رطوبت خاک در شرایط بهینه و استفاده دقیق از مقدار مناسب آب و همچنین شرایط تهویه مناسب محدوده توسعه ریشه، افزایش دهد (Gunarathna et al., 2018).

جدول ۴- مقایسه میانگین وزن خشک گیاه، غلظت و جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه در مزرعه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) و آبیاری جویچه‌ای (FI)، در زمان‌های دو (T1) و چهار ماه (T2) پس از کشت

Table 3- Mean comparison of shoot dry weight, Shoot P and K concentration and uptake at two (T1) and four (T2) month of after planting

Sampling time	Field	Shoot dry weight	Shoot P concentration	Shoot K concentration	Shoot P Uptake	Shoot K uptake
T ₁	Subsurface drip irrigation (SDI)	2.24 ^a	0.25 ^a	2.52 ^a	5.61 ^a	56.50 ^a
	Furrow irrigation (FI)	2.14 ^a	0.22 ^b	2.15 ^b	4.70 ^b	45.99 ^b
T ₂	Subsurface drip irrigation (SDI)	3.32 ^a	0.21 ^a	1.84 ^a	6.97 ^a	61.14 ^a
	Furrow irrigation	3.06 ^b	0.20 ^a	1.74 ^a	6.12 ^b	53.27 ^b

Means with similar at each sampling time letter are not significantly different ($P < 0.05$) according to the t test

نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (جدول ۴). بدین ترتیب که مقدار جذب فسفر در اندام هوایی نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زمان دو و چهار ماه پس از کشت به‌ترتیب ۱۹/۱ و ۱۴/۸ درصد و مقدار جذب پتاسیم در اندام هوایی نیشکر به‌ترتیب ۲۱/۶ و ۸/۷ درصد بیش‌تر از مقدار آن در شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (شکل ۶ و ۷). جذب عناصر غذایی توسط گیاه به فراهمی آب و عناصر غذایی در خاک وابسته است. در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با بهبود شرایط رطوبت خاک و کاهش آبشویی عناصر غذایی از جمله پتاسیم، فراهمی عناصر غذایی در خاک و در نتیجه جذب آن‌ها توسط گیاه می‌تواند افزایش یابد (Gunarathna et al., 2018; Manikandan and Thiyagarajan, 2021; Paramesha et al., 2022). نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک بیش‌تر از آبیاری جویچه‌ای بود (شکل‌های ۱ و ۲). بنابراین بهبود جذب این عناصر غذایی در اندام هوایی نیشکر می‌تواند به-دلیل بهبود فراهمی آن در خاک باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط آبیاری مزرعه نیشکر فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها در اندام هوایی نیشکر را تحت تأثیر قرار داد. در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک، وزن خشک اندام هوایی نیشکر و همچنین جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود. با توجه به این‌که در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی امکان تأمین عناصر غذایی در محدوده توسعه ریشه وجود دارد و در این شرایط شرایط تغذیه‌ای

جذب فسفر و پتاسیم توسط نیشکر

نتایج آزمون t نشان داد که اثر شرایط آبیاری مزرعه بر غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی نیشکر در زمان دو ماه پس از کشت معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر آن بر غلظت این عناصر در گیاه در زمان چهار ماه پس از کشت، معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در زمان دو ماه پس از کشت (T₁)، غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیش‌تر از شرایط آبیاری جویچه‌ای بود (جدول ۴)، اما این تفاوت در زمان چهار ماه پس از کشت (T₂) برای هر دو عنصر غذایی فسفر و پتاسیم، از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). عدم تفاوت معنی‌دار غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی نیشکر در زمان چهار ماه پس از کشت در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای، می‌تواند به‌دلیل بیش‌تر بودن ماده خشک اندام هوایی در این زمان نمونه‌برداری در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (جدول ۴) و در نتیجه به‌وجود آمدن اثر رقت و به‌دنبال آن کاهش غلظت غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی نیشکر در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باشد. نتایج همچنین نشان دهنده روند کاهش غلظت فسفر و پتاسیم در اندام هوایی در زمان چهار ماه نسبت به زمان دو ماه بود که این نتیجه می‌تواند به‌دلیل افزایش رشد گیاه و زیست‌توده اندام هوایی در زمان چهار ماه پس از کشت، در مقایسه با زمان دو ماه پس از کشت (جدول ۴) و در نتیجه کاهش غلظت این عناصر به‌دلیل به‌وجود آمدن اثر رقت باشد.

نتایج آزمون t نشان داد که اثر شرایط آبیاری مزرعه بر مقدار جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی نیشکر در هر دو زمان دو و چهار ماه پس از کشت معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو زمان مورد مطالعه (دو و چهار ماه پس از کشت) مقدار فسفر و پتاسیم جذب شده در اندام هوایی

مکانیسم‌های مؤثر در جذب این عناصر غذایی و نقش تغییرات رطوبت خاک در آن، مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر برای حمایت مالی و مساعدت در مراحل مختلف اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌کنند.

گیاه، می‌تواند بهبود یابد. براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به‌نظر می‌رسد که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر می‌تواند روش مناسبی برای بهبود فراهمی عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در خاک و جذب آن‌ها توسط نیشکر در ماه‌های ابتدایی رشد گیاه باشد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی توزیع شکل‌های شیمیایی فسفر و پتاسیم و پارامترهای مؤثر در جذب فسفر و پتاسیم در نیشکر و همچنین فعالیت و تنوع میکروبی خاک در دو روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای جهت تعیین

References

- 1- Boschiero, B.N., de Castro, S.G.Q., da Rocha, A.E.Q., Franco, H.C.J., Carvalho, J.L.N., Soriano, H.L., dos Santos, J.A., Bressiani, J.A. and Kölln, O.T., 2019. Biomass production and nutrient removal of energy cane genotypes in Northeastern Brazil. *Crop Science*, 59(1), pp.379-391. Doi: 10.2135/cropsci2018.07.0458
- 2- Carter, M.R. and Gregorich, E.G. eds., 2007. *Soil sampling and methods of analysis*. CRC press.
- 3- Chen, G.F., Tang, Q.Z., Li, Y.R., Huang, Y.Y., Liu, B., Xu, L. and Huang, H.R., 2012. Effects of sub-soil drip fertigation on sugarcane in field conditions. *Sugar Tech*, 14, pp.418-421. Doi: 10.1007/s12355-012-0173-x
- 4- Flores, R.A., Andrade, A.F.D., Casaroli, D., Quirino, D.T., Abdala, K.D.O., Martins, C., Bueno, A.M., Alves Júnior, J. and Evangelista, A.W.P., 2020. Potassium fertilization in sugarcane ratoon yield grown in a tropical region. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(7), pp.896-910. Doi: 10.1080/00103624.2020.1744622
- 5- Fu, B., Li, Z., Gao, X., Wu, L., Lan, J. and Peng, W., 2021. Effects of subsurface drip irrigation on alfalfa (*Medicago sativa* L.) growth and soil microbial community structures in arid and semi-arid areas of northern China. *Applied Soil Ecology*, 159, p.103859. Doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103859
- 6- Gonçalves, I.Z., Barbosa, E.A.A., Santos, L.N.S., Nazario, A.A., Feitosa, D.R.C., Tuta, N.F. and Matura, E.E., 2019. Nutritional balance and production of sugarcane irrigated with treated wastewater through subsurface drip. *Irrigation Science*, 37, pp.207-217. Doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103859
- 7- Grecco, K.L., de Miranda, J.H., Silveira, L.K. and van Genuchten, M.T., 2019. HYDRUS-2D simulations of water and potassium movement in drip irrigated tropical soil container cultivated with sugarcane. *Agricultural Water Management*, 221, pp.334-347. Doi: 10.1016/j.agwat.2019.05.010
- 8- Gunarathna, M.H.J.P., Sakai, K., Nakandakari, T., Momii, K., Onodera, T., Kaneshiro, H., Uehara, H. and Wakasugi, K., 2018. Optimized subsurface irrigation system: the future of sugarcane irrigation. *Water*, 10(3), p.314. Doi: 10.3390/w10030314
- 9- Gupta, P.K., 2000. Soil plant water and fertilizer analysis. Agrobios pub. *Bikaner. India*.
- 10- Jayakumar, M., Surendran, U. and Manickasundaram, P., 2014. Drip fertigation effects on yield, nutrient uptake and soil fertility of Bt Cotton in semi-arid tropics. *International Journal of Plant Production*, 8(3), pp.375-390. Doi: 10.22069/IJPP.2014.1615
- 11- Mahesh, R. and Raja, N.A., 2015. Influence of source of fertilizers and fertilizer levels on tillers production, shoot population, number of millable canes and yield of sugarcane under subsurface drip fertigation. *Trends in Biosciences*, 8(4), pp.1095-1099.
- 12- Manikandan, M. and Thiyagarajan, G., 2021. Soil moisture and nutrient patterns under subsurface drip irrigation for a sustainable sugarcane initiative. In *Fertigation Technologies for Micro Irrigated Crops* (pp. 171-178). Apple Academic Press. Doi: 10.1201/9781003084136-12

- 13- Paramesha, V., Rajanna, G.A., Kumar, P., Sannagoudar, M.S. and Halli, H.M., 2022. Drip fertigation for enhancing crop yield, nutrient uptake, nutrient, and water use efficiency. *Sustainable Agriculture Systems and Technologies*, pp.267-278. Doi: <https://doi.org/10.1002/9781119808565.ch12>
- 14- Quach, M., Mele, P.M., Hayden, H.L., Marshall, A.J., Mann, L., Hu, H.W. and He, J.Z., 2022. Proximity to subsurface drip irrigation emitters altered soil microbial communities in two commercial processing tomato fields. *Applied Soil Ecology*, 171, p.104315. Doi: 10.1016/j.apsoil.2021.104315
- 15- Sardans, J. and Peñuelas, J., 2021. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, 10(2), 419. Doi: 10.3390/plants10020419
- 16- Veisitarbar, A., Hemmat, A. and Mosaddeghi, M.R., 2015. Soil compaction assessment in sugarcane fields under different planting conditions using soil bulk density, relative bulk density and cone index. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 19(72), pp.93-106. Doi: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9 (In Persian)
- 17- Wang, Y. and Zhang, Y., 2008. Effect of greenhouse subsurface irrigation on soil phosphatase activity. *Communications in soil science and plant analysis*, 39(5-6), pp.680-692. Doi: 10.1080/00103620701879265
- 18- Wang, Y. and Zhang, Y., 2012. Soil inorganic phosphorus fractionation and availability under greenhouse subsurface irrigation. *Communications in soil science and plant analysis*, 43(3), pp.519-532. Doi: 10.1080/00103624.2012.639430
- 19- Wu, D., Xu, X., Chen, Y., Shao, H., Sokolowski, E. and Mi, G., 2019. Effect of different drip fertigation methods on maize yield, nutrient and water productivity in two-soils in Northeast China. *Agricultural Water Management*, 213, pp.200-211. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.018>
- 20- Zambrosi, F. C. B. 2021. Phosphorus fertilizer reapplication on sugarcane ratoon: opportunities and challenges for improvements in nutrient efficiency. *Sugar Tech*, 23(3), pp.704-708. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.018>
- 21- Zambrosi, F.C.B., Ribeiro, R.V., Machado, E.C. and Garcia, J.C., 2017. Phosphorus deficiency impairs shoot regrowth of sugarcane varieties. *Experimental Agriculture*, 53(1), pp.1-11. Doi: 10.1017/S0014479715000290
- 22- Zanganeh-YusefAbadi, E., Hooshmand, A.A, Naseri, A.A., Boroomand-Nasab, S. and Parvizi, M. 2021. The effect of different management of sub-surface irrigation on water productivity, yield and yield component of sugarcane (Var. CP69-1062)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 44(1), pp. 1-15. Doi: 10.22055/IISE.2018.25258.1747 (In Persian)
- 23- Zhu, J., Li, M. and Whelan, M., 2018. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Science of the Total Environment*, 612, pp.522-537. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.095

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the effects of compost and biochar on Maize in different irrigation regimes and drip irrigation system in Khoramabad region

M. Saeidinia^{1*}, S. H. Mousavi² and S. Rahimi Moghadam³

1* - Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. (saeidinia.m@lu.ac.ir).

2- Master's student, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 31 May 2023

Revised: 03 January 2024

Accepted: 06 January 2024

Keywords:

Organic fertilizers, water management, fodder crops, irrigation systems.

TO CITE THIS ARTICLE:

Saeidinia, M., Mousavi, S. H., rahimi moghadam, S. (2024). 'Investigating the effect of compost and biochar on Maize under the condition of water stress and drip irrigation in Khoramabad region.', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(3), pp. 69-85. doi: 10.22055/jise.2024.43920.2081.

Abstract

Water shortage is one of the most important threats to the survival and development of agriculture in the country, so it is necessary to use different methods of farm water management to improve the water productivity and water efficiency. In order to investigate the effect of vermicompost and biochar on the yield and water productivity of corn, a factorial research was conducted in Khorramabad city with a completely random basic design in three replications, the first factor was irrigation water treatment at 4 levels including irrigation based on supplying 100% of Water requirements (I1), providing 80% of Water requirements (I2), providing 60% of Water requirements (I3), providing 40% of Water requirements (I4) and the second factor including organic fertilizer, vermicompost (C), biochar (B) and control treatment (I). The results of the research showed that maximum wet yield, dry yield and plant height were observed in the I1-C treatment, which were 126.71 tons per hectare, 46.27 tons per hectare and 2.35 meters, respectively, and the maximum amount of wet productivity and dry productivity was obtained in I2-C treatment was 16.79 kg/m³ and 5.9 kg/m³, respectively. Although the use of vermicompost had better results than biochar, the use of biochar also increased the yield compared to the control treatment, so that in the treatment without water stress and using biochar, the dry yield was 27.06%, the wet yield was 29.78%, and the biological productivity 36.41% and more productive 46.01% increase in control treatment ratio was observed. Therefore, the use of these two organic fertilizers was significantly effective in increasing the yield and water productivity of corn.

Introduction

Corn is a one-year plant that belongs to the cereal family and has a higher yield compared to other cereals (Warman, 2003). Using deficit irrigation is one of the effective methods to increase water

productivity and increase production per water usage (Howell *et al.*, 2004). The use of renewable resources is one of the principles of sustainable agriculture, which leads to maximum agricultural productivity and minimum environmental risks. The excessive use of chemical fertilizers has caused an decrease in organic matter in soils, as a result of which the yield of the crop decreases. Therefore, in order to maintain soil fertility, improve its physical and chemical properties, and maintain balance in environmental factors, the use of organic and biological fertilizers in agricultural soils is inevitable (Zhang *et al.*, 2014). One of the organic fertilizers is biochar, which has become popular in recent years (Leng *et al.*, 2019). Biochar is charcoal prepared from plant biomass and agricultural waste, which are burned in the presence of little or no oxygen (Ashoori *et al.*, 2019). Another famous organict fertilizers is vermicompost. The use of biofertilizers, including vermicompost, can improve soil fertility in addition to meeting the plant's fertilizer needs (Ravindran *et al.*, 2008).

Research Methodology

The current research was carried out under the climatic conditions of Khorram Abad with the geographic coordinates of the region 48 degrees 15 minutes east and 33 degrees 26 minutes north and an altitude of 1147 meters above sea level. Considering that the corn plant can be cultivated in the temperature conditions of Khorram Abad, for this purpose this plant (variety SC-704) was selected. In this research, biochar (burnt wood of fruit trees at 400 degrees Celsius and a small amount of oxygen) and vermicompost were used. The irrigation system was also set based on tape drip irrigation system with 15 cm intervals for each dripper. This research was conducted in the form of a factorial design in three replications. The first factor is irrigation water treatment in 4 levels including irrigation based on 100% of soil moisture deficiency (I₀), 80% of soil moisture deficiency (I₁), 60% of soil moisture deficiency (I₂), 40% of soil moisture deficiency (I₃), compared to FC (Table 1).

Table 1- Irrigation treatment

Total irrigation water (mm)	Irrigation treatment
787.2	I ₁₀₀
662.8	I ₈₀
538.3	I ₆₀
413.9	I ₄₀

The second factor is management of water stress by using biochar (2.5 tons per hectare) (B), compost (12.5 tons per hectare) (C) and control treatment (without using any substance) (I) . (Table 2).

Table 2- Treatment of corrective substances

The amount of correction material in each treatment (ton/hect)	Treatments
0	I
12.5	C
2.5	B

The average irrigation cycle is 3 days (common irrigation cycle for strip irrigation). A Class evaporation pan installed in the field was also used to determine the irrigation depth. Irrigation efficiency (E_a) was calculated at 95% and considering 5% losses. To calculate the water requirement of corn, evapotranspiration of corn plant was done as the net depth of irrigation and Gross depth was calculated as the amount of water given to achieve 100% water requirement treatment. After

calculating the irrigation depth to calculate the water volume, the depth was multiplied by the area of the plots and the obtained volume was controlled by a volumetric meter with a maximum output of 10 cubic meters per hour. At the end of the season, the crop was harvested by removing two planting lines from around each plot from a surface equivalent to one square meter of internal planting lines. During the harvest, it was done by removing two planting lines from around harvest to one square meter of internal planting lines. The height of the plant was measured at the time of harvesting in the field and before removing the plant. Then, by transferring the plants to the laboratory wet yield, biological yield and leaf area index were measured. Finally, to investigate the effect of different treatments on water productivity, the water productivity index was calculated using equation (1).

$$\text{WPI} = Y/I \quad (1)$$

In the above equation: (Y) is biological yield (kilogram per hectare), (I) is amount of irrigation water (cubic meter per hectare) and (WPI) is irrigation water productivity (kilogram per cubic meter).

Results and Discussion

It was observed that The amount of wet yield in compost treatment (I100-C) by 126.71 tons per hectare is more than biochar treatments (I100-B) by 103.09 tons per hectare and control treatment (I100) by 76.85 tons per hectare. It should be mentioned that at this level of irrigation, the difference between wet yield in different treatments was significant. It was the same reason in The 80% of water supply. These results indicate that under irrigation of 100 and 80% of water requirement, the application of compost and biochar has increased the wet yield and it also seems that the performance of compost was better than biochar in increasing production. The trend of changes in dry yield under different treatments is almost similar to wet yield. In the compost and biochar treatments with 100 and 80% of water requirement, the application of these two substances had a significant effect on the dry yield compared to the control treatment. The increase in dry yield in compost and biochar treatments compared to the control treatment, in the irrigation level of supplying 100% of the water requirement was 75.4% and 27%, respectively, and in the irrigation level of 80% of the water requirement about 52.2% and 17.8% increase Found. In general, at 100% and 80% irrigation levels of water requirement, no significant difference was observed between the amount of height in different levels of biochar and compost. According to the results of the research, a significant difference between the productivity in different treatments was observed at the levels of 100 and 80% of water requirement. The highest amount of productivity was related to I80- C with 16.74 kg per cubic meter of water and the lowest productivity related to I100 with 10.01 kg per cubic meter of water. According to the observations and data of this research, the compost amendment material had a considerable superiority over other materials at all irrigation levels. Therefore, the use of compost increases the crop yield per hectare. So that at the levels of 100% and 80% of water requirement, the highest performance was specific to biochar treatments after compost.

Conclusion

By investigating the effect of deficit irrigation, compost and biochar on the yield of fodder corn under strip drip irrigation in Khorramabad region, the results showed that different irrigation and compost treatments, yield (wet and dry), plant height, and corn water efficiency. Increasing the use of compost even in the conditions of high drought stress is cause increases the yield and water productivity and in the treatment of 80% of water requirement and adding 12.5 tons per hectare of compost we increase the yield and water productivity while saving 20% of water. Substituting organic fertilizers instead of chemical fertilizers not only does not reduce plant performance, but also reduces environmental pollution caused by them.

Reference

- 1- Ashoori, N., Teixido, M. and Spahr, S., 2019. Evaluation of pilot- scale biochar – amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban storm water runoff. *Water Research*, 154 (1), pp. 1-11. doi: 10.1016/j.waters.2019.01.040.
- 2- Howell, T.A., Evett, S.R., Tolk, J.A. and Schneider, A.D., 2004. Evapotranspiration of full-, deficit-irrigated, and dryland cotton on the Northern Texas High Plains. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 130(4), pp.277-285.. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:4(277).
- 3- Leng, I., Huang, H., Li, H., Li, J. and Zhou, W., 2019. Biochar stability assessment methods, review. *Science of The Total Environment*, 647,pp. 210-222. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.402.
- 4- Ravindran, B., Dinesh, S. L., Kennedy, L. and Sekaran, G., 2008. Vermicomposting of solid waste generated from Leather Industries using epigeic earth worm *eiseniafetida*. *AppliedBiochemical Biotechnology*, 151, pp. 480-488. doi: 10.1007/s12010-008-8222-3.
- 5- Warman, A., 2003. *Corn and capitalism: How a botanical bustard grew to global dominance*. The University of North Carolina Press, USA, pp . 1-273.
- 6- Zhang, L., Sun, X., Tian, Y. and Gong, X., 2014. Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant *Calathea insignis*. *Scientia Horticulturae*, 176, pp. doi: 10.1016/j.scienta.2014.06.021.





بررسی اثرات ورمی کمپوست و بیوجار بر ذرت علوفه‌ای در رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای در منطقه خرم‌آباد

مهری سعیدی نیا^{۱*}، سید حسین موسوی^۲ و سجاد رحیمی مقدم^۳

۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران saeedinia.m@lu.ac.ir
 ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 ۳- استادیار، گروه و مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰

چکیده

کمبود آب یکی از مهمترین تهدیدها برای ادامه حیات و توسعه کشاورزی در کشور است لذا استفاده از روش‌های مختلف مدیریت آب در مزرعه برای بهبود میزان بهره‌وری و راندمان مصرف آب ضروری است. به منظور بررسی اثر ورمی کمپوست و بیوجار بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت، پژوهشی در شهر خرم‌آباد به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد که فاکتور اول تیمار آب آبیاری در چهار سطح شامل آبیاری بر اساس تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I1)، تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی (I2)، تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی (I3)، تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی (I4) و فاکتور دوم شامل کود آلی ورمی کمپوست (C)، بیوجار (B) و تیمار شاهد (بدون ماده اصلاحی) (I) بودند. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین میزان عملکرد تر، عملکرد خشک و ارتفاع بوته در تیمار I1-C مشاهده گردید که به ترتیب برابر ۱۲۶/۷۱ تن در هکتار، ۴۶/۲۷ تن در هکتار و ۲/۳۵ متر به دست آمد و بیشترین مقدار بهره‌وری تر و بهره‌وری خشک در تیمار I2-C بود که به ترتیب برابر ۱۶/۷۹ کیلوگرم بر متر مکعب و ۵/۹ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. اگرچه استفاده از ورمی کمپوست نتایج بهتری نسبت به بیوجار داشت اما کاربرد بیوجار نیز سبب افزایش عملکرد محصول نسبت به تیمار شاهد گردید به طوری که در تیمار بدون تنش آبی و مصرف بیوجار عملکرد خشک ۲۷/۰۶ درصد، عملکرد تر ۲۹/۷۸ درصد، بهره‌وری بیولوژیک ۳۶/۴۱ درصد و بهره‌وری تر ۴۶/۰۱ درصد افزایش نسبت تیمار شاهد مشاهده گردید. لذا استفاده از این دو کود آلی در افزایش عملکرد و بهره‌وری آب ذرت به طرز قابل توجهی مؤثر واقع شد.

کلیدواژه‌ها: کودهای آلی، مدیریت آب در مزرعه، محصولات علوفه‌ای، روش آبیاری.

مقدمه

محصولات زراعی می‌باشد (Aslam et al., 2015). استفاده از کم‌آبیاری یکی از روش‌های مؤثر برای بالابردن بهره‌وری آب و افزایش تولید به ازای آب مصرفی است. زمانی که با کمبود بارش مواجه باشیم و منابع آبی محدود باشند، کم‌آبیاری در اراضی پهناور نسبت به بسیاری از روش‌های مدیریت آب در مزرعه مؤثرتر است و باعث افزایش بهره‌وری آب می‌شود (Howell et al., 2004). در چند دهه گذشته استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای گسترش یافته و پس از استفاده در محصولات مختلف زراعی مشخص شد که آبیاری قطره‌ای قادر به کاهش آب مصرفی و افزایش کارایی آب در محصولات مختلف است (Bronson et al., 2006). کاربرد منابع و نهاده‌های تجدیدپذیر، یکی از اصول کشاورزی پایدار است که موجب حداکثر بهره‌وری زراعی و کم‌ترین خطرات زیست‌محیطی

کمبود آب یکی از مهم‌ترین تهدیدهای کشاورزی، امنیت غذایی، بهداشت، صنعت و بقای جوامع انسانی است (Chartzoulakis and Bertaki, 2015). بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته متوسط میزان بارش در ایران ۲۵۰ میلی‌متر است که این میزان یک‌سوم میانگین جهانی است. از طرف دیگر، بخش کشاورزی قسمت عمده‌ای از منابع آبی را به خود اختصاص داده است در حالی که متوسط جهان حدود ۷۰ درصد است (Masomi et al., 2015). ذرت گیاهی یک‌ساله است که از خانواده غلات به‌شمار می‌رود و در مقایسه با سایر غلات عملکرد بالاتری را به خود اختصاص داده است (Warman, 2003). پس از گندم و برنج بیشترین سطح زیر کشت به ذرت تعلق گرفته است اما از لحاظ میزان تولید بیشتر از سایر

انجام آزمایشی نشان دادند استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و زیستی (ورمی کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت) بهترین گزینه در زراعت جو و در شرایط کم‌آبایی می‌باشد. Zafar et al., (2018) تأثیر دو نوع بیوپچار کلش گندم و باگاس نیشکر را روی اجزای عملکرد ذرت در شرایط دیم بررسی نمودند. مقادیر متفاوت مصرف بیوپچار نشان داد که مقدار بالاتر بیوپچار منجر به افزایش عملکرد دانه و زیست توده گیاه ذرت خواهد شد. بیوپچار کلش گندم و باگاس نیشکر به مقدار ۱۰ تن در هکتار به ترتیب افزایش ۲۸/۹ و ۲۷/۶ درصدی در زیست توده را نشان دادند. همچنین Moradi et al (2017) در تحقیقی تأثیر کاربرد بیوپچارهای حاصل از هرس سیب، هرس انگور و کاه کلش گندم در سطوح یک، دو، چهار و هشت درصد کاربرد در یک خاک آهکی پرداختند، که نتایج آنها نشان داد کاربرد این بیوپچارها به‌ویژه سطح هشت درصد موجب افزایش معنی‌دار مقدار PH، درصد کربن آلی و مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مقایسه با تیمارهای شاهد شد، اما تنها بیوپچار کاه و کلش گندم به‌طور معنی‌دار موجب افزایش نسبی قابلیت هدایت الکتریکی شده بود و دو بیوپچار دیگر در این زمینه اثر معنی‌داری نداشتند. با توجه به نتایج تحقیق‌های انجام شده و کمبود منابع آب، به‌نظر می‌رسد بررسی میزان عملکرد محصولات تحت شرایط مدیریت‌های مختلف مانند استفاده از ورمی کمپوست، بیوپچار، آبیاری قطره‌ای نواری، کم‌آبایی و... به‌صورت منطقه‌ای ضروری می‌باشد. سطح زیر کشت ذرت در استان لرستان حدود ۳۷۷۳ هکتار (رتبه شانزدهم از نظر تولید ذرت در بین ۳۲ استان تولید کننده ذرت) و میزان عملکرد آن حدود ۴۶۹۶۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. با توجه به اهمیت گیاه ذرت به‌عنوان یکی از کشت‌های آبی مهم در استان لرستان، این تحقیق با هدف بررسی میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای (رقم SC-704)، تحت آبیاری قطره‌ای نواری (TAPE)، مدیریت کم‌آبایی توام با استفاده از بیوپچار و ورمی کمپوست برای مدیریت بهتر آب مزرعه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر تحت شرایط اقلیمی خرم‌آباد با مختصات جغرافیایی منطقه ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۴۷ متری از سطح دریا انجام گرفت. در این تحقیق ذرت با رقم SC-704 مورد استفاده قرار گرفت. مواد اصلاحی به‌کاربرده شده نیز شامل بیوپچار (چوب سوخته درختان میوه در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط کبود اکسیژن) به میزان ۱/۵ تن در هکتار و کود ورمی کمپوست به میزان ۶ تن در هکتار بود. سیستم آبیاری نیز از نوع قطره‌ای نواری (TAPE) با فواصل روزانه ۱۵ سانتی‌متر و آبدهی ۱/۶ لیتر در ساعت انتخاب گردید.

می‌شود. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب کاهش روزافزون ماده آلی در خاک‌های کشاورزی شده که به‌دنبال آن عملکرد محصول کاهش می‌یابد؛ بنابراین برای حفظ حاصل‌خیزی خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن و حفظ تعادل در عوامل زیست‌محیطی، مصرف کودهای آلی و زیستی در خاک‌های کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است (Zhang et al., 2014). یکی از کودهای آلی، بیوپچار است که در سال‌های اخیر استفاده از آن رواج پیدا کرده است (Leng et al., 2019). بیوپچار، ذغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن انجام می‌شود (Ashoori et al., 2019). مصرف کودهای زیستی از جمله ورمی کمپوست می‌تواند علاوه بر تأمین نیاز کودی گیاه باعث بهبود حاصل‌خیزی خاک نیز شود (Ravindran et al., 2008). میزان بیش‌تر نیتروژن، فسفر و پتاس در ورمی کمپوست نسبت به سایر کودهای آلی در بیش‌تر منابع تأیید شده است (Srivastava and Beohar, 2004)؛ Mahajan et al., (Arancon and Edwards, 2009). طی یک تحقیق، نشان دادند که میزان تلفات آب، تحت آبیاری قطره‌ای برای کشت ذرت، ۵۰ درصد کل آب مصرفی بوده است. Amini Najafabadi et al., (2021) پژوهشی با هدف مطالعه‌ی اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تنش رطوبتی در اصفهان انجام دادند. نتایج نشان داد تیمار تأمین ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبتی با عملکرد محصول ۶۶۵۰۷ کیلوگرم بر هکتار و بهره‌وری آب ۱۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب بهترین تیمار بود. به‌منظور بررسی تأثیر کم‌آبایی بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای تحت مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته، تحقیقی در سال ۱۳۹۸ در منطقه ورامین اجرا شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین و مقادیر بهره‌وری آب به‌دست آمده در این پژوهش، در نهایت در مناطقی با اقلیم مشابه، که با کمبود منابع آبی مواجه هستند، برای استفاده بهینه از منابع آب، اعمال تنش کم‌آبی در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه با مدیریت پالسی در زراعت ذرت علوفه‌ای توصیه گردید (Hajirad et al., 2021). برای بررسی اثرات کم‌آبایی بر روند رشد، خصوصیات کمی، کیفی و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای در کرمانشاه مطالعه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد مقدار بیشینه کارایی مصرف آب نسبت به عملکرد دانه، زیست‌توده و چربی در تیمار بیش‌آبایی به‌ترتیب معادل ۱/۱۵، ۲/۷۴ و ۰/۰۵۴۸ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمدند. لذا، کم‌آبایی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۶ در کرمانشاه توصیه نمی‌شود (Palash et al., 2022). Doan et al., (2015) در پژوهشی بیان کردند که استفاده از کمپوست و ورمی کمپوست در مزارع ذرت سبب افزایش عملکرد گیاه به‌ویژه در شرایط کمبود رطوبت و تنش آبی می‌شود. Maleki Frahani و Chaichi (2012) نیز با

ایجاد گردید و سپس مواد اصلاحی به خاک اضافه و کاملاً مخلوط شدند

در مرحله بعد، در تمام تیمارها، بذر ذرت در عمق پنج سانتی‌متر در حدود پنج سانتی‌متر پایین پشته کشت شد و تراکم بوته در آن ۱۳ بوته در هر مترمربع به دست آمد. برخی خصوصیات کیفی آب مورد استفاده برای آبیاری نیز سنجیده شد (جدول ۲).

این تحقیق در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تیمار آب آبیاری در چهار سطح شامل آبیاری بر اساس وجود تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I1)، تأمین ۸۰ نیاز آبی (I2)، تأمین ۶۰ نیاز آبی (I3)، تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی (I4) بود. (جدول ۳).

فاکتور دوم شامل مدیریت کاهش تنش آبی با استفاده از بیوپار (۱/۵ تن در هکتار) (B)، ورمی‌کمپوست (شیش تن در هکتار) (C) و تیمار شاهد (بدون استفاده از هیچ ماده‌ای) (I) در نظر گرفته شد (جدول ۴).

آزمایش در مجموع شامل ۱۲ تیمار و ۳۶ کرت (شکل ۱) بود.

مراحل انجام طرح به این صورت بود که ابتدا برای تعیین خصوصیات خاک مزرعه تحقیقاتی، در ابتدای کار و قبل از کشت ذرت، از نقاط مختلف مزرعه نمونه‌برداری صورت گرفت که نتایج آنالیز آن در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس توصیه‌های کودی، میزان کود داده شده به زمین به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (یک سوم پایه و دو سوم سرک) بود که نیمی از آن در مرحله سه برگی شدن نیمی دیگر در مرحله رشد ساقه به ذرت داده شد. همچنین ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار سوپر فسفات تریپل بود که در ابتدا زمین شخم زده شد و دیسک خورد و پس از آن به صورت یکنواخت مجدداً با دیسک در سطح زمین پخش گردید. پس از مرحله شخم، دیسک، ماله‌کشی و تسطیح، فاروها ایجاد و کرت‌های آزمایشی به مساحت ۴×۴ متر ایجاد گردید. برای کنترل اثرات تیمارهای آزمایش روی یکدیگر فاصله‌ی کرت‌های آزمایشی از هم یک متر در نظر گرفته شد. در هر کرت آزمایش به صورت دستی پشته‌هایی به فواصل ۷۵ سانتی‌متر ایجاد گردید.

پس از مرحله شخم و دیسک و تنظیم کرت‌ها، شیارهایی به عمق پنج تا ۱۰ سانتی‌متر بر روی دیواره و کف جویچه‌ها در کرت‌های مربوط به تیمارهای مواد اصلاحی بیوپار و ورمی‌کمپوست

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical properties of farm soil

soil depth	soil texture	PWP	FC (Volume %)	ρ_b (gr/cm ³)	K (ppm)	P (ppm)	N (ppm)
		Volume) (%)					
0-30	Silty loam	16.19	30.76	1.56	360	6.02	0.131
30-60	Silty loam	18.56	35.73	1.86	321	5.75	0.091
60-90	Silty loam	18.81	35.87	1.88	298	5.64	0.024

جدول ۲- خصوصیات کیفی آب آبیاری در طول فصل

Table 2- Quality characteristics of irrigation water during the season

SAR	Na ⁺ (meq/l)	Mg ²⁺ (meq/l)	Ca ²⁺ (meq/l)	TDS (mg/l)	EC (ds/m)	PH
0.73	1.28	1.6	4.6	397	0.6	7

جدول ۳- تیمار آبیاری

Table 3- Irrigation treatment

Irrigation treatment	Total irrigation water (mm)
I ₁₀₀	706.5
I ₈₀	590
I ₆₀	473.5
I ₄₀	357

جدول ۴- تیمار مواد اصلاحی

Table 4- Treatment of corrective substances

Treatments	The amount of correction material in each treatment (ton/hect)
I	0
C	6
B	1.5

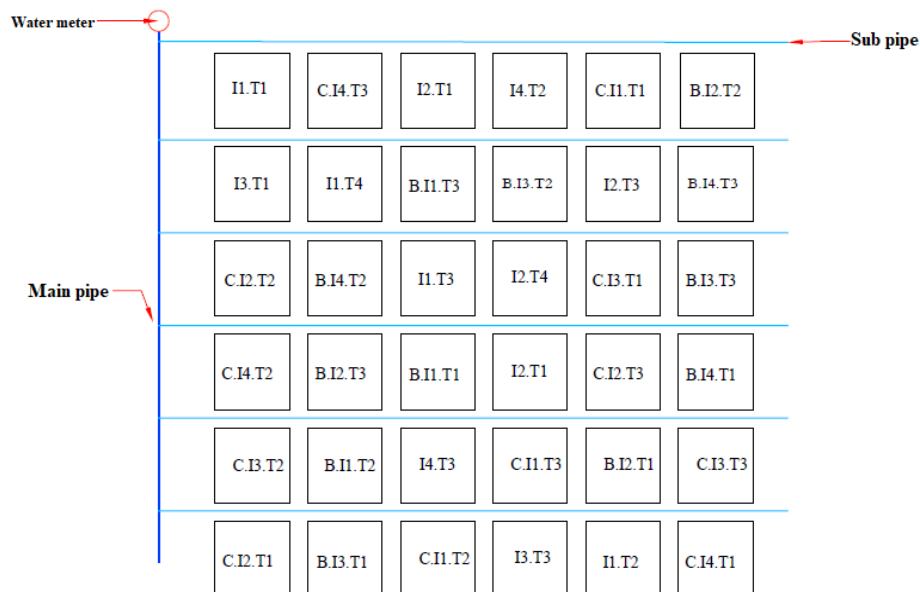


Fig. 1- General placement of the research project

شکل ۱- جانمایی کلی طرح

که در این رابطه، ET_0 : تبخیر - تعرق مرجع، K_{pan} : ضریب تشتت که ۰/۷ در نظر گرفته شد (Alizadeh, 2004). E_{pan} : میزان عمق آب بخار شده از تشتت است. حال برای محاسبه تبخیر - تعرق گیاه ذرت فرمول زیر مورد استفاده قرار گرفت.

$$ET_C = ET_0 \cdot K_C \quad (2)$$

که در این فرمول، ET_C : تبخیر - تعرق گیاه ذرت، ET_0 : تبخیر - تعرق مرجع و K_C ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای است که در ابتدا از ترجمه مجله فائو ۵۶ استخراج شد و سپس برای مراحل مختلف رشد برای اقلیم خرم‌آباد بر اساس روابط ارائه شده اصلاح شدند (Vaziri et al., 2009). میزان ضریب گیاهی در مراحل اولیه طبق اندازه موجود در مجله فائو در نظر گرفته شد. اما

دور آبیاری به‌طور متوسط سه روز (دور آبیاری رایج برای آبیاری نواری قطره‌ای) در نظر گرفته شده است. برای تعیین عمق آبیاری نیز از تشتت تبخیر کلاس A تعبیه شده در مزرعه استفاده شد. راندمان آبیاری (Ea) ۹۵ درصد و با در نظر گرفتن پنج درصد تلفات محاسبه شد. برای محاسبه‌ی آب مورد نیاز ذرت، تبخیر - تعرق گیاه ذرت به‌عنوان عمق خالص آبیاری و عمق ناخالص به‌عنوان میزان آب داده شده برای دستیابی به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام شد. سایر تیمارها درصدی از نیاز کامل آبیاری بود. همچنین کم‌آبیاری از مرحله هشت‌برگی شدن و یک ماه پس از کشت اعمال گردید (Amerian et al., 2021). در ابتدا میزان آب بخار شده در هر دوره آبیاری محاسبه و میزان ET_0 به صورت رابطه (۱) به دست آمد.

$$ET_0 = K_{pan} \cdot (E_{pan}) \quad (1)$$

پس از محاسبه عمق آبیاری برای محاسبه حجم آب، میزان عمق در مساحت کرت‌ها ضرب شد و حجم به‌دست آمده توسط کنتور حجمی با حداکثر دبی خروجی ۱۰ متر مکعب در ساعت کنترل شد. در پایان فصل در تاریخ ۱۴۰۱/۰۷/۰۸، برداشت محصول صورت گرفت. ارتفاع بوته در زمان برداشت در مزرعه و قبل از قطع بوته از زمین اندازه‌گیری شد، سپس با انتقال بوته‌ها به آزمایشگاه عملکرد تر و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شد. در نهایت برای بررسی اثر تیمارهای مختلف روی بهره‌وری آب شاخص بهره‌وری آب با استفاده از رابطه (۶) محاسبه گردید:

$$WP_1 = Y/I \quad (6)$$

در رابطه (۶): Y: عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)، I: میزان آب آبیاری (متر مکعب در هکتار) و WP_1 : بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم در متر مکعب) می‌باشد. در این تحقیق برای آنالیز آماری نرم‌افزار SAS و برای رسم نمودارها، نرم‌افزار EXCEL مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مختلف آبیاری و مواد اصلاحی در جدول (۶) ارائه شده است. نتایج نشان داد، اثرات تیمارهای آبیاری و مواد بیوجار و ورمی کمپوست هر کدام جداگانه بر صفات عملکرد خشک، عملکرد تر، ارتفاع بوته، بهره‌وری ماده تر و بهره‌وری ماده خشک در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد. علاوه بر این، اثر متقابل تیمارهای آبیاری مالچ و ورمی کمپوست بر فاکتورهای فوق نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). از این رو مقایسه‌ی میانگین صفات مورد بررسی با استفاده از آزمون دانکن انجام شد (جدول ۷). نتایج مربوط به هریک از صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته شد.

برای مرحله میانی و پایانی رشد برای اقلیم خرم‌آباد بر اساس روابط (۳) و (۴) اصلاح گردیدند.

$$K_{c \text{ mid}} = K_{c \text{ mid(tab)}} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (3)$$

که $K_{c \text{ mid(tab)}}$: مقدار ضریب گیاهی در مجله فائو در مرحله میانی رشد، u_2 : میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متری بالای سطح چمن در مرحله میانی رشد (بین یک تا شیش متر بر ثانیه)، RH_{\min} : میانگین حداقل رطوبت نسبی روزانه در مرحله میانی رشد (درصد)، بین ۲۰ تا ۸۰ درصد، و h : میانگین ارتفاع گیاه در مرحله میانی رشد (بین ۰/۱ تا ۱۰ متر).

$$K_{c \text{ end}} = K_{c \text{ end(tab)}} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (4)$$

$K_{c \text{ end(tab)}}$: مقدار ضریب گیاهی در ترجمه مجله فائو ۵۶ توسط Vaziri et al (2009) در مرحله پایانی رشد، u_2 : میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متری بالای سطح چمن در مرحله پایانی رشد (بین یک تا شیش متر بر ثانیه)، RH_{\min} : میانگین حداقل رطوبت نسبی روزانه در مرحله پایانی رشد (درصد)، بین ۲۰ تا ۸۰ درصد و h : میانگین ارتفاع گیاه در مرحله پایانی رشد (بین ۰/۱ تا ۱۰ متر). ضرایب گیاهی اصلاح شده بر اساس متغیرهای آب و هوایی منطقه و روابط (۳) و (۴)، در جدول (۵) نمایش داده شده است.

با توجه به عدم بارش در تابستان و همچنین ناچیز بودن میزان آب خارج شده از منطقه گیاه، ET_c برابر عمق خالص آبیاری (d_n) در نظر گرفته شد. عمق ناخالص آبیاری برابر تقسیم عمق خالص بر راندمان است.

$$d_g = d_n/Ea \quad (5)$$

جدول ۵- ضرایب گیاهی و میانگین عمق آبیاری در طول دوره رشد

Table 5- Plant coefficients and average irrigation depth during the growth period

growing steps	Measured KC coefficient	KC of FAO magazine	Average irrigation volume (m ³ hec -1)
Initial	0.3	0.3	113
Middle	1.16	1.2	321
Final	0.7	0.55	168

جدول ۶- تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای کم آبیاری و مواد اصلاحی بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت

Table 6- Variance analysis of the effect deficit irrigation treatments and corrective materials on corn yield and water productivity

Sources of changes	Degrees of freedom(Df)	average of squares				
		biological productivity	wet productivity	plant height	Wet yield	Dry yield
Irrigation	3	0.458*	5.73*	0.5737*	4423*	518.6*
Corrective materials	2	4.796*	34.42*	0.0062*	1581*	241.2*
..Irrigation	6	1.141*	6.59*	0.0207*	387*	68.6*
Corrective material						
Error	24	0.032	0.14	0.006	5	1.6
Coefficient of variation		3.94	2.77	4.02	2.87	4.6

* ,** and ns Significant at the probability level of one and five percent and non-significant respectively

Table 7- comparison table of average physiological characteristics of fodder corn plant

جدول ۷- جدول مقایسه میانگین خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ذرت علوفه‌ای

treatment	Biological productivity (Kg/M ³)	Bush height (Meter)	Wet yeild (tons per hectare)	Dry yeild (tons per hectare)	Wet productivity (Kg/M ³)
I1- C	5.88 ^a	2.35 ^a	126.71 ^a	46.27 ^a	16.09 ^b
I2- C	5.91 ^a	2.17 ^{bcd}	110.95 ^b	39.13 ^b	16.74 ^a
I1- B	4.26 ^{cd}	2.19 ^{bc}	103.09 ^c	33.52 ^c	13.09 ^d
I2- B	4.57 ^{bc}	2.09 ^{cde}	97.76 ^d	30.26 ^d	14.75 ^c
I1	3.35 ^f	2.25 ^{ab}	79.43 ^e	26.38 ^e	10.01 ^g
I2	3.88 ^e	2.096 ^{cde}	75.19 ^f	26.69 ^e	11.34 ^f
I3- C	4.34 ^{cd}	1.99 ^{ef}	67.75 ^g	23.36 ^f	12.61 ^{de}
I3- B	4.25 ^{cd}	2.04 ^{def}	66.28 ^{gh}	22.89 ^f	12.31 ^e
I3	4.14 ^{de}	1.91 ^{fg}	67.90 ^g	22.26 ^f	12.61 ^{de}
I4- C	4.77 ^b	1.61 ^h	63.57 ^h	19.76 ^g	15.36 ^c
I4	4.58 ^{bc}	1.79 ^g	54.76 ⁱ	18.97 ^g	13.23 ^d
I4- B	4.45 ^{cd}	1.62 ^h	54.42 ⁱ	18.40 ^g	13.15 ^d

عملکرد تر ذرت علوفه‌ای

نیاز آبی، کاربرد ورمی کمپوست و بیوجار باعث افزایش میزان عملکرد تر شده است و همچنین به نظر می‌رسد عملکرد ورمی کمپوست نسبت به بیوجار در جهت افزایش تولید بهتر بوده است. در سطح ۶۰ درصد تأمین نیاز آبی، میزان عملکرد هیچکدام از مواد اصلاحی با تیمار ۶۰ درصد و بدون ماده افزودنی تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. در این سطح، بیشترین میزان عملکرد تر در تیمار I3 یعنی تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی و بدون مواد اصلاحی (۶۷/۹ تن در هکتار) و I60- C (۶۹/۸۶ تن در هکتار) حاصل شد و کمترین میزان عملکرد تر نیز متعلق به I3- B (۶۶/۲۸ تن در هکتار) بود. نتایج عملکرد تر در تیمارهایی که تحت آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی قرار گرفته‌اند نیز نشان داد که استفاده از ورمی کمپوست یعنی تیمار I4 - C (۶۳/۵۷ تن در هکتار) باعث تغییر معنی‌داری در سطح پنج درصد در عملکرد تر در

باتوجه به نمودار عملکرد تر در شکل (۲)، در سطح تأمین نیاز آبی ۱۰۰ درصد، میزان عملکرد تر در تیمار ورمی کمپوست (I1- C) به میزان ۱۲۶/۷۱ تن در هکتار و بیشتر از تیمارهای بیوجار (I1- B) به میزان ۱۰۳/۰۹ تن در هکتار و تیمار شاهد (I1) به میزان ۷۶/۸۵ تن در هکتار مشاهده گردید. قابل ذکر است که در این سطح آبیاری، تفاوت بین عملکرد در تیمارهای مختلف معنی‌دار بود. همین روند در تیمارهای تحت آبیاری ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی نیز برقرار بود، به‌گونه‌ای که عملکرد تر در I2- C با سطح اصمینان ۹۵ درصد، بیشتر از سایر تیمارهای ۸۰ درصد نیاز آبی اندازه‌گیری شد و عملکرد تر در I2- B نیز با سطح اصمینان ۹۵ درصد، بیشتر از I2 به دست آمد. این نتایج مشخص می‌کند که تحت آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد

۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری یافتند (Fakhrabadi and Khossima Chenar, 2021). Doan et al., (2015) در پژوهشی بیان کردند که استفاده از کمپوست و ورمی کمپوست در مزارع ذرت سبب افزایش عملکرد گیاه به‌ویژه در شرایط کمبود رطوبت و تنش آبی می‌شود که تحقیق حاضر نیز بر این موضوع تاکید دارد. (Behrouri et al., (2022) بیان کردند که کاربرد کود زیستی ورمی کمپوست توانست عملکرد کمی و کیفی ذرت را در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی افزایش دهد.

مقایسه با تیمار بدون مالچ یعنی I4 (۵۴/۷۶ تن در هکتار) شد، اما تیمار بیوجار تفاوت چندانی با تیمار شاهد نداشت. Yadav et al., (2016) هم عنوان کردند که بیشترین عملکرد ذرت با مصرف همزمان پنج تن در هکتار ورمی کمپوست و ۷۵ درصد کود شیمیایی به میزان توصیه شده به دست آمد. با مقایسه سه سطح کاربرد بیوجار در سطوح کم‌آبیاری یکسان، مشاهده شد که بیشترین وزن ساقه مربوط به تیمارهایی است که در آن‌ها ۱۰ درصد حجمی بیوجار استفاده شده است و نقش بیوجار را در افزایش وزن تر ساقه را نشان می‌دهد. به‌طور کلی وزن تر و خشک ساقه در هر دو سطح کم‌آبیاری

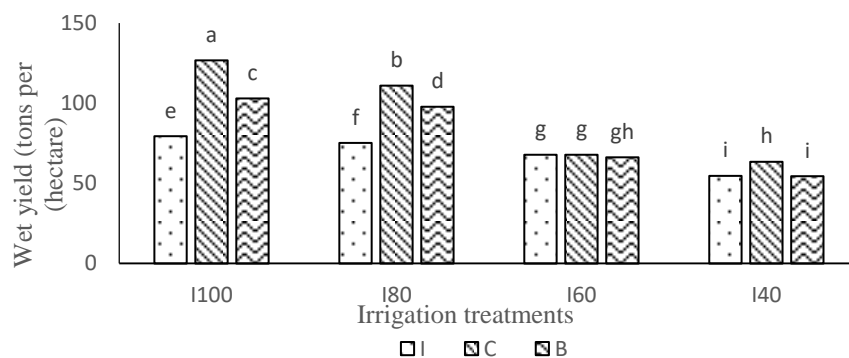


Fig. 2- Comparison graph of the average yield of fodder corn

شکل ۲- نمودار مقایسه میانگین عملکرد تر ذرت علوفه‌ای

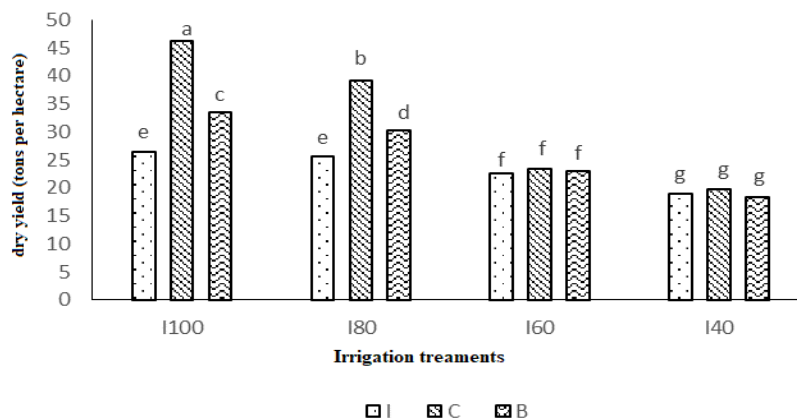


Fig. 3- Comparison chart of average dry yield of fodder corn

شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین عملکرد خشک ذرت علوفه‌ای

ورمی کمپوست و بیوجار نسبت به تیمار شاهد در سطح آبی تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب ۷۵/۴ درصد و ۲۷ درصد و در سطح آبیاری ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی، ۵۲/۲ درصد و ۱۷/۸ درصد افزایش یافت. علاوه بر این در این سطوح آبی، میزان عملکرد خشک در تیمار ورمی کمپوست نسبت به تیمار بیوجار به‌صورت معنی‌داری بیشتر شده است به عبارت دیگر در سطوح آبی ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، عملکرد ماده ورمی کمپوست از ماده بیوجار بهتر بوده است. به این

عملکرد خشک ذرت علوفه‌ای

روند تغییرات در میزان عملکرد خشک تحت تیمارهای مختلف، تقریباً مشابه عملکرد تر می‌باشد. همان‌طور که نمودار مربوط به عملکرد خشک در شکل (۳) نشان می‌دهد، در تیمارهای ورمی کمپوست و بیوجار با تأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، کاربرد این دو ماده نسبت به تیمار شاهد، اثر معنی‌داری روی میزان عملکرد خشک داشته است. افزایش عملکرد خشک در تیمارهای

C (۲/۳۵ متر) اندازه‌گیری شد که با تیمار شاهد اختلاف قابل توجهی نداشت، اما اختلاف آن با تیمار B-II (تیمار صد درصد نیاز آبی با کاربرد ماده اصلاحی بیوجار در خاک) معنی‌دار شد. اگرچه بیشترین مقدار ارتفاع در تیمار C-II (۲/۳۵ متر) حاصل شد، اما تفاوت معنی‌داری با میزان ارتفاع در تیمار C-I80 نداشت. به‌طور کلی در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، تفاوت معنی‌داری بین میزان ارتفاع در سطوح مختلف بیوجار و ورمی کمپوست مشاهده نگردد. در سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی، نیز تفاوت معنی‌داری بین میزان ارتفاع ذرت در تیمارهای مختلف مواد اصلاحی با یکدیگر مشاهده نگردد هرچند که در این سطح آبیاری، میزان ارتفاع در تیمار شاهد یعنی تیمار I3 (۱/۹۱ متر) کمتر از سایر تیمارها بود. در سطح آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی، هرچند تفاوت بین میزان ارتفاع ذرت در تیمار بیوجار و ورمی کمپوست معنی‌دار نبود ولی قابل ذکر است که میزان ارتفاع گیاه در هر دو این تیمارها به‌صورت معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد محاسبه شد. به‌طور کلی استفاده از کودهای آلی سبب بیشتر شدن ارتفاع بوته گیاه گردید. Rafiei و Konani (2019) نیز گزارش دادند که ورمی کمپوست با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و همچنین با قدرت کلات کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش رشد و ارتفاع ذرت می‌شود. نتایج سایر پژوهشگران نیز افزایش ارتفاع بوته ناشی از مصرف کودهای آلی را تأیید کردند (Faizabadi et al., 2021). Mohkami et al., (2022) نیز گزارش دادند که کاربرد ترکیب بیوجار و ورمی کمپوست منجر به افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد شد. کاربرد ۴۰ تن در هکتار کمپوست مصرف شده قارچ خوراکی نیز باعث افزایش ۲۲ درصدی ارتفاع بوته گیاه ذرت نسبت به تیمار شاهد گردید (Ismailian and Amiri, 2022).

صورت که میزان عملکرد خشک در ۱۰۰ درصد نیاز آبی برای ورمی کمپوست و بیوجار به‌ترتیب برابر C-II (۴۶/۲۷ تن در هکتار) و B-II (۳۳/۵۲ تن در هکتار) و در ۸۰ درصد نیاز آبی برابر C-II (۳۹/۱۳ تن در هکتار) و B-II (۳۰/۲۸ تن در هکتار) شد. در سطوح آبی ۴۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، تفاوت عملکرد خشک، بین هیچ‌کدام از تیمارهای مواد اصلاحی و تیمار شاهد معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد در تیمارهای با تنش بالا، اثرات این مواد اصلاحی در خاک برای افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد محسوس نیست. ورمی کمپوست با تولید هیومیک اسید باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی می‌شود. در واقع اسیدهای هیومیک طبیعی می‌توانند یک جایگزین زیست محیطی برای افزایش تحمل به تنش آبی به دلیل سنتز پروتئین در اندام‌های مختلف گیاهی و سنتز آنزیم و یا افزایش فعالیت‌های آنزیم‌ها باشند (Hussain Shah et al., 2018). Doan et al., (2015) نیز استفاده از کمپوست و ورمی کمپوست را عامل افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه ذرت دانستند که در شرایط تنش خشکی این افزایش نیز مشهود است. Nasimi et al., (2022) بیان کردند که اضافه کردن ۴/۵ درصد وزنی بیوجار سبب بهبود عملکرد خشک در اندام‌های و اغلب اجزای آن در گیاه ذرت علوفه‌ای شده است. Biglouei et al., (2013) در تحقیقی نشان دادند که با اعمال کم‌آبیاری، می‌توان ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد ماده خشک، کشت ذرت علوفه‌ای را توسعه داد. Mohkami et al., (2022) نیز بیان کردند استفاده توامان کمپوست و بیوجار سبب افزایش ماده خشک در گیاه کینوا می‌گردد.

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه‌ی میانگین مربوط به ارتفاع بوته شکل (۴) نشان داد، در تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین مقدار مربوط به B-II

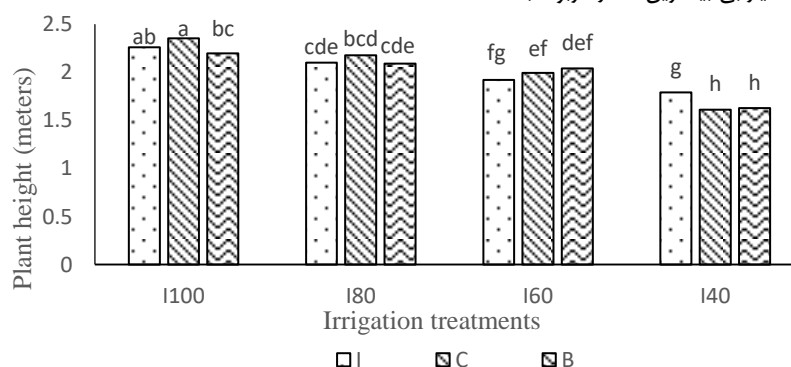


Fig. 4- Comparison chart of the average height of fodder corn plant

شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین ارتفاع بوته ذرت علوفه‌ای

عملکرد تر رقم خورده است. اما در بهره‌وری ماده خشک اگرچه میزان I2- C (۵/۹۱) کیلوگرم ماده خشک به ازای یک مترمکعب (آب) بیشترین مقدار را دارد اما با تیمار II- C تفاوت معنی‌داری نداشت. وضعیت تغییرات میزان بهره‌وری خشک تیمارهای مختلف ماده اصلاحی در سطوح ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی نیز مشابه بهره‌وری ماده تر بود. در سطح ۶۰ درصد نیاز آبی، تفاوت معنی‌داری بین میزان بهره‌وری در تیمارهای مختلف مشاهده نگردید. اما در سطح ۴۰ درصد نیاز آبی میزان بهره‌وری عملکرد خشک مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست از سایر تیمارها بیشتر به دست آمد. Piroozfar et al., (2019) نیز گزارش کردند که بهترین میزان بهره‌وری آب برای ذرت تحت آبیاری قطره‌ای با کاربرد پوشش پلاستیکی و تامین ۸۰ درصد نیاز آبی، به‌دست آمد.

بهره‌وری ماده تر و خشک

با توجه به شکل (۵) که مربوط به بهره‌وری عملکرد ماده تر می‌باشد، تفاوت معنی‌داری بین میزان بهره‌وری در تیمارهای مختلف، در سطوح ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی مشاهده گردید. بیشترین میزان بهره‌وری ماده تر مربوط به I2- C با مقدار ۱۶/۷۴ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب و کمترین میزان بهره‌وری مربوط به II با مقدار ۱۰/۰۱ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب حاصل شد. در سطح ۶۰ درصد نیاز آبی هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین میزان بهره‌وری در تیمارهای مختلف وجود نداشت. اما در سطح ۴۰ درصد نیاز آبی میزان بهره‌وری عملکرد تر مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست از سایر تیمارها بیشتر به‌دست آمد. پس از بررسی و تحلیل نمودار بهره‌وری ماده خشک مشاهده شد که تقریباً تغییرات آن مشابه به تغییرات بهره‌وری

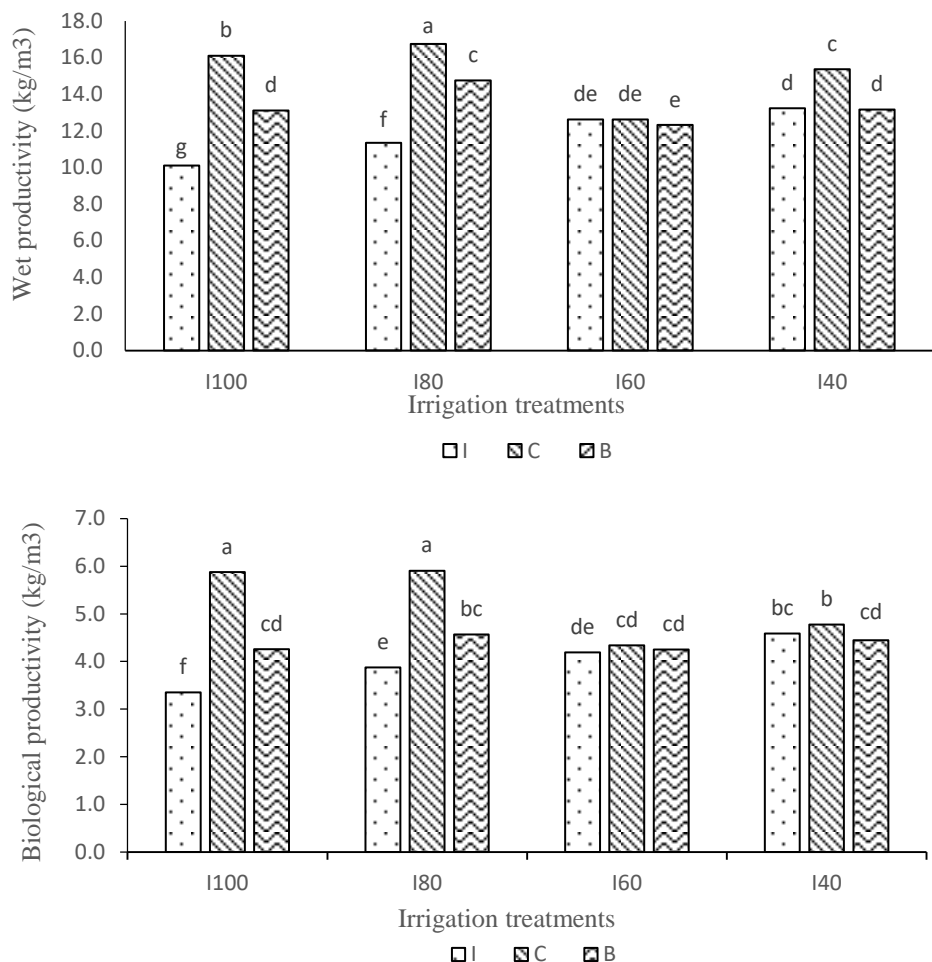


Fig. 5- Comparison chart of average biological productivity and fodder corn moisture

شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین بهره‌وری بیولوژیک و تر ذرت علوفه‌ای

آب گیاه بگذارد که نتیجه تحقیق حاضر نیز بیان گر این موضوع است Amiri و Ismailian (2022) نیز گزارش دادند که در شرایط آبیاری کامل، با افزایش مقادیر ورمی کمپوست مصرف شده چارچ خوراکی بهره‌وری آب گیاه ماش بهبود یافت.

نتیجه گیری

با بررسی اثر کم آبیاری، ورمی کمپوست و بیوچار بر عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت آبیاری قطره‌ای نواری در منطقه خرم‌آباد، نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف آبیاری و ورمی کمپوست، میزان عملکرد (تر و خشک)، ارتفاع بوته، و بهره‌وری آب ذرت را تحت تأثیر قرار داد. در این بررسی‌ها نتایج نشان داد، افزایش مصرف ورمی کمپوست حتی در شرایط تنش خشکی زیاد، سبب بالا رفتن عملکرد می شود و در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و افزودن ۶/۲۵ تن در هکتار ورمی کمپوست عملکرد و بهره‌وری آب را ضمن صرفه‌جویی ۲۰ درصدی آب افزایش می‌دهد. اگرچه مصرف بیوچار نسبت به ورمی کمپوست مقدار کمتری در صفات ذکر شده داشت اما به تنهایی سبب افزایش آن‌ها شد. استفاده از کودهای آلی در کنار کودهای شیمیایی نه تنها عملکرد گیاه را کاهش نمی‌دهد بلکه سبب کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آن‌ها می‌گردد. لذا با بررسی این پژوهش و استفاده بهینه از آب و کودهای آلی می‌توان تأثیرات مهم و کاربردی در توسعه کشاورزی پایدار و سلامت محیط زیست ایجاد کرد.

طبق بررسی مشاهدات و داده‌های این پژوهش، ماده اصلاحی ورمی کمپوست در تمام سطوح آبیاری نسبت به سایر مواد دارای برتری قابل ملاحظه بود. لذا مصرف ورمی کمپوست باعث بالاتر بردن عملکرد محصول در هکتار می‌شود. با اعمال کم آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی و نیز استفاده از ورمی کمپوست می‌توان به میزان عملکردی بالاتر از آبیاری کامل رسید. در این صورت با ۲۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب عملکرد ذرت به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. استفاده از بیوچار نیز در تمامی سطوح به غیر از تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی عملکرد قابل قبولی را ثبت نمود. به‌طوری‌که در سطوح ۱۰۰ درصد و ۸۰ درصد نیاز آبی، بیشترین عملکرد، بعد از ورمی کمپوست مختص به تیمارهای بیوچار بود. در تحقیقی روی ذرت داده‌ها حاکی از آن بودند که تفاوت بین تیمارهای مختلف معنی‌دار بود. به عنوان مثال عملکرد علوفه در تیمار آبی صد در صد نسبت به تیمار ۷۵ درصد و ۵۰ درصد به‌ترتیب ۹/۰۹ و ۲۴/۸۳ درصد برتری داشت. Nasimi et al., (2022) نیز بیان کردند که مصرف بیوچار نتایج مثبتی برای افزایش بهره‌وری آب در گیاه ذرت علوفه‌ای داشته است و در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که با بحران آب مواجه هستند، بیوچار با اثر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌تواند باعث افزایش تولید و کاهش مصرف آب شود. در این پژوهش نتایج نشان داد با افزودن بیوچار برگ خرما به خاک، عملکرد تر گیاه در تیمارهای مختلف ۲۰، ۳۵/۷، ۸/۸، ۱۴/۱۶، و ۳۴/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین Joseph et al., (2021) نیز بیان کردند که بیوچار می‌تواند اثرات مثبتی روی کارایی مصرف

References

- 1- Alizadeh, A., 2004. Soil water-plant relation ship. Mashhad: beh nashr. (In persian).
- 2- Amerian, M., Hashemi Garmdareh, S.E. and Karami, A., 2021. Effect of Deficit Drip Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Single Cross Corn 704. *Journal of Water Research in Agriculture*, 35(3), pp.247-258. (In persian). doi: 10.22092/jwra.2021.352290.832.
- 3- Amini Najafabadi, M., Fatahi, R. A., Ghorbani, B. 2020. 'Effect of different types of drip irrigation tapes and different levels of irrigation on yield components of forage maize. *Iranian Water Researches Journal*, 14(4), pp. 179-187. (In persian).
- 4- Arancon, Q. N. and Edwards, C. A., 2009. The utilization of vermicompost in Horticulture and Agriculture. In: Edwards CA, Jeyaraaj R, Indira AJ (Eds.) Vermitechnology in Human welfare. Rohini Achagam, Coimbatore, Tamil Nadu, India, 98-108.
- 5- Ashoori, N., Teixido, M. and Spahr, S.. 2019. Evaluation of pilot- scale biochar – amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban storm water runoff. *Water Research*, 154 (1), pp. 1-11. doi: 10.1016/j.waters.2019.01.040.
- 6- Aslam, M., Cengiz, R. and Maqbool, M.A., 2015. Drought stress in maize (*Zea mays* L.). Springer. Switzerland, 2 p. doi:10.1007/978-3-319-25442-5.

- 7- Biglouei, M., Kafi Ghasemi, A., Javaherdashti, M. and Isfahani, M., 2013. Effect of irrigation regimes on yield and quality of forage maize (KSC 704) in Rasht region in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(3), pp. 196-206. (In persian).
- 8- Behrouri, D., Diyanat, M., Majidi, E., Mirhadi, J.M. and Shirkhani, A., 2022. Effect of Deficit Irrigation, Fertilizers and Vermicompost on Forage Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Crops Improvement*, 24(4), pp. 1069-1084. (In persian). doi:10.22059/jci.2021.328509.2594.
- 9- Bronson, K. F., Onken, A. B., Keeling, J. W., Booker, J. D. & Torbert, H.A., 2006 Nitrogen response in cotton as affected by tillage system and irrigation level. *Soil Science Society American Journal*, 65, pp. 1153-1163. doi:10.2136/sssaj2001.6541153x.
- 10-Chartzoulakis, K., and Bertaki, M. 2015. Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 88- 98. doi: 10.1016/j.aaspro.2015.03.011.
- 11-Doan, T. T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J. L. and Jouquet, P., 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*, 514, pp. 147 154. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.02.005.
- 12-Faizabadi, A., Nurmohammadi, Q. and Fatehi, F., 2021. Study of some Morphophysiological Characteristics of Several Rapeseed Cultivars Using Vermicompost Fertilizer in Drought Tension Conditions. *Scientific Journal of Crop Physiology* , 12(4), pp . 133-153. (In persian). dor: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.8.4.
- 13- Fakhrabadi, H. and Khossima Chenar, M., 2021. The effect of deficit irrigation and biochar on the quantitative and qualitative characteristics of basil medicinal plant. *Iran Irrigation and Drainage Journal*, 15(3), pp. 941-954. (In persian). dor: 20.1001.1.20087942.2021.15.4.17.7
- 14- Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., Dehaghani Sanich, H., Mohammadi, S. 2021. Investigating the effect of deficit irrigation on yield and water productivity of silage maize under pulsed and continuous drip irrigation management', *Iranian Water Researches Journal*, 15(3), pp. 15-23.. (In persian).
- 15- Howell, T.A., Evett, S.R., Tolk, J.A. and Schneider, A.D., 2004. Evapotranspiration of full-, deficit-irrigated, and dryland cotton on the Northern Texas High Plains. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 130(4), pp.277-285.. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:4(277).
- 16- Hussain Shah, Z., Rehman, H., Akhtar, T., Alsamandany, H., Hamooh, B., Mujtaba, T., Daur, I., Zahrani, Y., Alzahrani, H., Ali, Sh., Yang, S., and Chung, G. 2018. Humic substances: determining potential molecular regulatory processes in plants. *Frontiers in Plant Science*, 9, pp 1-12. doi:10.3389/fpls.2018.00263.
- 17- Ismailian, Y. and Amiri, B. M.. 2022. Effect of Spent Mushroom (*Agaricus bisporus* Imbach.) Compost on Growth, Yield, and Water Use Efficiency of Mungbean (*Vigna radiata* L.) in Conditions of Cut Irrigation in the Pod Formation Stage. *Journal of Agroecology*, 2(14), pp. 235-249. (In persian). doi: 10.22067/agry.2021.20272.0.
- 18- Joseph, S., Cowie, A.L., Van Zwieten, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., Luz Cayuela, M., Graber, E.R., Ippolito, J. A., Kuzyakov, Y., Luo, Y., Sik Ok, Y., Palansooriya, K.N., Shepherd, J., Stephens, S., Weng, Z. and Lehmann, J., 2021. How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*, doi: 10.1111/gcbb.12885
- 19- Leng, I., Huang, H., Li, H., Li, J. and Zhou, W., 2019. Biochar stability assessment methods, review. *Science of The Total Environment*, 647, pp. 210-222. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.402

- 20- Mahajan, G., Sharda, R., Kumar, A. and Singh, K., 2007. Effect of plastic mulch on economizing irrigation water and weed control in baby corn sown by different methods. *African Journal of Agricultural Research*, 2(1), pp. 19-26.
- 21- Maleki Farahani, S. and Chaichi. M., 2012. Application of biological and integrated fertilizers mitigates the adverse effects of drought stress on barley. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3 (7), Pp. 1508-1519.
- 22- Masomi, T., Rahimikhoob, A., Ghorbanijavid, M. and Nazarifar, M.H. 2015. The effect of intermittent deficit irrigation on yield, yield components and water productivity of maize Se-704. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(8), 810 – 816. (In Persian).
- 23- Mohkami, A., Yazdan-Panah, N. and Saeednejad, A.M., 2022. The Effect of Vermicompost and Biochar Application on Morphophysiological Characteristics of Quinoa under Drought Stress Conditions. *Iran Water and Soil Research*, 53(1), pp. 129-140.. (In persian). doi: 10.22059/ijswr.2021.329540.669058.
- 24- Moradi, N., Rasouli Sedghiani, M.H. and Sepehr, A., 2017. Effect of Biochar Types and Rates on Some Soil properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil. *Journal of Water and Soil*, 31(4), pp. 1232-1246. (In persian). doi: 10.22067/jsw.v31i4.61298.
- 25- Nasimi, P., Karimi, A. and Garami, Z., 2022. Investigation the Effects of Date Palm Leaves and It's Biochar on Yield and Water Use Efficiency of Forage Corn. *Iran Water and Soil Research*, 53(1), pp. 97-85. (In persian). doi: 10.22059/ijswr.2022.335796.669162.
- 26- Palash, M., Bafkar, A., Farhadie bansoule, B. and Ghobadi, M., 2022. Investigating the effects of deficit irrigation on the quantitative, qualitative and water productivity characteristics of Single Cross 706 seed corn in Kermanshah. *Advanced technologies in water efficiency*, (1)2, pp. 16-37. (In persian). doi: 10.22126/atwe.2021.6686.1003.
- 27- Piroozfar, R., Borumandnesb, S. and Salehi, F., 2019. Effect of Drip Irrigation on Grain Yield and Water Use Efficiency of Corn (*Zea mays* L.) with Winged and Non- Winged Tape Under Ahwaz Climatic. *Water and Soil Science Journal*, 30(4), pp. 29-41. doi:10.22034/ws.2020.11644
- 28- Rafiei, M. and Konani, A.R., 2019. Effect of vermicompost and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative yield of corn (*Zea Mays* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(1), pp. 151-159. (In persian). doi: 10.22059/ijfcs.2018.249682.654431.
- 29- Ravindran, B., Dinesh, S. L., Kennedy, L. and Sekaran, G., 2008. Vermicomposting of solid waste generated from Leather Industries using epigeic earth worm *eiseniafetida*. *Applied Biochemical Biotechnology*, 151, pp. 480-488. doi: 10.1007/s12010-008-8222-3.
- 30- Srivastava, R.K. and Beohar, P.A., 2004. Vermicompost as an organic manure. A good substitute of fertilizers. *International Journal of Current Science*, 5, pp. 141-143.
- 31- Vaziri, J., Salamat, A.L., Meschi, M., Dehghanisanij, H., Heydari, N., and Entisari, M.R., 2009. Evapotranspiration of plants (instructions for calculating the plants water requirement). *Tehran. Iranian National Irrigation and Drainage Committee*. (In persian).
- 32- Warman, A., 2003. Corn and capitalism: How a botanical bustard grew to global dominance. *The University of North Carolina Press*, USA, pp . 1-273.
- 33- Yadav, A.K., Chand. S. and Thenua. O., 2016. Effect of integrated nutrition management on productivity of Maize with Mungbean intercropping. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology*, 5(1), pp. 115-118.

-
- 34- Zafar, U., Akmal, M., Ali. M., Zaib, A. and Zaid, T., 2018. Effect of biochar on maize yield and yield components in rainfed conditions. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*,12(3), pp. 46-51.
- 35- Zhang, L., Sun, X., Tian, Y. and Gong, X., 2014. Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant *Calathea insignis*. *Scientia Horticulturae*, 176, pp. doi: 10.1016/j.scienta.2014.06.021

EXTENDED ABSTRACT

Development of system dynamics model for sustainable management of water resources by python approach in Tajan catchment

S.F. Hashemi¹, A. Shanazari^{2*}, R. Mustafavi Eshkelak³ and S. Sadeghi⁴

1- Postdoc Researcher, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2* - Corresponding Author, Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (A.shahnazari@Sanru.ac.ir)

2- MSc. Student Computer-Software, Lahijan Azad University.

3- Postdoc Researcher, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 14 February 2023

Revised: 07 October 2023

Accepted: 10 October 2023

Keywords:

Model development, Open source, system dynamics modeling,

TO CITE THIS ARTICLE:

Hashemi, S. F., Shahnazari, A., Mustafavi Eshkelak, R., Sadeghi, S. (2024). 'Development of system dynamics model for sustainable management of water resources by python approach in Tajan watershed level', Irrigation Sciences and Engineering, 47(3), pp. 87-106. doi: 10.22055/jise.2023.42931.2055.

Abstract

Open source is a part of the software that is not visible to most users, but in fact, the software can be viewed, edited or developed from its source code. In fact, by writing the source code, the performance of different parts of a software is determined, and it allows to add certain features to it by accessing it. In this way, the performance of the program will also be improved or its problems will be solved. Its documentation is provided through the public repository layer under the EUPL license, which is freely accessible to the public. Also, besides the possibility of integration with different models through open source (Inam et al., 2017a), it prevents problems in deciding long-term strategies (Malard et al., 2017). So far, various integrated models have been developed in coding. In most of these researches, the use of these developed models in combination with dynamic system models has been reported (Hashemi et al., 2020, Prodanovic and Simonovic, 2010, Peck et al., 2014, Malard et al., 2017, Inam et al., 2017a, Shrestha et al., 2013, Liao et al., 2012, Bulatewicz et al., 2010). For example, Malard et al. (2017) and Inam et al. (a, b 2017) developed the SAHYSMOD groundwater movement model for the Punjab region of Pakistan using the Python coding language. Allocation of drinking, agricultural, industrial and environmental water resources was not found based on the review of research records conducted for this research in this area using the PySD model. Therefore, in this research, the VENSIM model was developed with the Python programming language to simulate the allocation to evaluate the efficiency of the water resources system during the years 2013-2017.

Methods

PySD, which refers to a VENSIM model created in Python, parses the VENSIM '.mdl' file into its components and returns the results to Python, which enables the extraction of dependent components from the VENSIM environment. It can easily be used to model communication or parallel distributed computing and finally perform simulations without changing the dynamic structure of the systems or the real variables of the developed model (Houghton, 2018). At this stage, by identifying the basic relationships between different system components and subsystems, the package under Python

should be created. The basic relationships governing them and existing assumptions were translated into the Python programming language and were placed in the package (Hashemi *et al.*, 2020). In the present research, these things were realized in the following order:

1. Creating a dictionary so that all the parameters of the model are written in the majority of the dictionary so that it can be called through the created library if necessary.
2. In the second stage, the dynamic model system was translated from the Windows version to Python, which was the most important part of the work and requires the correct recognition and calling of all its libraries and classes. This step requires sufficient mastery of the built dynamics system model and familiarity with its main rules and approaches. The initial code was posted by Houghton (2018) which was used for the initial simulation. It is also possible to apply changes and check the results according to the simulation of the model and the assumptions that are followed in it.
3. In the next step, the input data to the model was prepared. This step is exactly the same as the VENSIM model, so that each batch of input data is stored in its desired folder and called in the process of running the simulation.
4. For the calibration of the model, a special command has been written, which can be called the relevant variable using the same dictionary written in the first step, and any changes can be applied to it, and how its changes can be evaluated on the output.

Results and discussions

investigating the RMSE values showed this parameter has the best match between the simulation and observation values in all the proposed cases and it was higher for $Zr0 = 0.75$ and $agri\ coe = 1.5$. On the other hand, nRMSE had the opposite trend. So that it is in the range of 12%-14%, which puts it in the good to excellent range, and except for $Zr0=0.75$ and $agricoe=1.5$, the nRMSE is estimated to be 20%, which makes it in the good range. (Kiani, 2010). In order to complete the evaluations, a significance test was performed and the results of the t test showed that there is no significant difference between the simulated and observed values at the 95% probability level ($T\text{-test}>0.05$). Of course, except for $Zr0 = 0.75$ and $agricoe = 1.5$, which there is a significant difference at the 95% level. This test proves the results of other statistics to a large extent.

Checking the supply and shortage related to rice also has a similar trend with other products of this sector. Out of a total of 17 million cubic meters of required water, 7 million cubic meters have been supplied and 42% of it has not been supplied. Of course, checking the numbers of supply and shortage in different months of this product shows that the shortage is mainly in the hot months of the year, when the base discharge and release of the reservoir in this area are reduced. Due to the lower supply priority compared to the other two products and the relatively lower demand of this product with citrus, its supply has had such a trend.

In the case of wheat, seed corn and oilseeds, there is a more or less different trend, so that this parameter was almost 50% for oilseeds. Also, wheat and grain corn can be supplied by 20% and 31%, respectively, which after rice have the lowest supply priority in this region. The results of the balance of resources and water consumption in the Tajan catchment basin in the existing conditions with the VENSIM model during 2012-2016 showed that the agricultural demand in Finsk, Shahid Rajaei, Zarem and the Tajan diversion dam is 18, 146, 93 and 478 million cubic meters, respectively. 6 million cubic meters (33 percent), 93 million cubic meters (63 percent), 100 million cubic meters (59 percent), and 380 million cubic meters (80 percent) have been provided, respectively, and only in the Tajan diversion dam area, the ability to provide 80 percent has been met. And in other regions, significant deficiencies have been observed. On the other hand, the review of the balance of resources and expenses in the drinking, industry and environment sectors in all regions shows that the resources available in each region are sufficient to meet these needs, and in most regions, more than 90% of these needs are not met. Therefore, there are still significant deficiencies in the agricultural sector.

Conclusion

The evaluation of the sustainability criterion in estimating the efficiency of the water resources system in providing the agricultural needs of the Tajan catchment area shows that few products are in the acceptable range. Including citrus fruits in Finsk and Zarem region, summer crops in Shahid Rajaei region and oilseeds in Zarem region. Also, stone fruit trees in Zarem and Shahid Rajaei region and wheat in Finsk region show the lowest level of stability and zero. This problem shows the significant deficiencies in this basin, especially in providing the needs of these products and the significant lack of water resources in providing its needs, which requires the need for special management measures such as changing the cultivation pattern, determining the optimal depth or using other sources.

Acknowledgements

This research was carried out with the financial support of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University under contract number 2019-06-02, for which we are grateful.

References

- 1- Bulatewicz, T., Yang, X., Peterson, J.M., Staggenborg, S., Welch, S.M. and Steward, D.R., 2010. Accessible integration of agriculture, groundwater, and economic models using the Open Modeling Interface (OpenMI): methodology and initial results. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(3), pp.521-534. <https://doi.org/10.5194/hess-14-521-2010>, 2010.
- 2- Hashemi, S Rayeni, M. and Shahbazbegian, M., 2021. Evaluation of Optimal Cropping Pattern in Tajan Watershed with Systematic Modeling. *Journal of Watershed Management Research*, 12(23), pp.155-168. Doi: 10.52547/jwmr.12.23.155 .(In Persian).
- 3- Houghton, J., 2018. PySD Documentation Release 0.9. 0. *Read the Docs*.
- 4- Inam, A., Adamowski, J., Prasher, S., Halbe, J., Malard, J. and Albano, R., 2017a. Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management–Part 1: model development. *Journal of Hydrology*, 551, pp.596-618. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.03.039.
- 5- Inam, A., Adamowski, J., Prasher, S., Halbe, J., Malard, J. and Albano, R., 2017b. Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management. Part 2: Model coupling and application. *Journal of Hydrology*, 551, pp.278-299. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.03.039.
- 6- Kiani, A.R., 2010. Optimal irrigation scheduling based on water-yield relations in soybean cultivars. *Journal of Agricultural Engineering Research (Iran)*, 11(1), pp.85-102. (In Persian).
- 7- Liao, Y.P., Lin, S.S. and Chou, H.S., 2012. Integration of urban runoff and storm sewer models using the OpenMI framework. *Journal of Hydroinformatics*, 14(4), pp.884-901. <https://doi.org/10.2166/hydro.2012.045>.
- 8- Malard, J.J., Inam, A., Hassanzadeh, E., Adamowski, J., Tuy, H.A. and Melgar-Quiñonez, H., 2017. Development of a software tool for rapid, reproducible, and stakeholder-friendly dynamic coupling of system dynamics and physically-based models. *Environmental modelling & software*, 96, pp.410-420. Doi: 10.1016/j.envsoft.2017.06.053.
- 9- Peck, A., Neuwirth, C. and Simonovic, S.P., 2014. *Coupling System Dynamics with Geographic Information Systems: CCaR Project Report*. University of Western Ontario Department of Civil and Environmental Engineering (No. 086). report.

- 10-Prodanovic, P. and Simonovic, S.P., 2010. An operational model for support of integrated watershed management. *Water resources management*, 24, pp.1161-1194.
- 11-Shrestha, N.K., Leta, O.T., De Fraine, B., Van Griensven, A. and Bauwens, W., 2013. OpenMI-based integrated sediment transport modelling of the river Zenne, Belgium. *Environmental Modelling & Software*, 47, pp.193-206. Doi: 10.1016/j.envsoft.2013.05.004.



© 2024 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



توسعه مدل پویایی سیستم برای مدیریت پایدار منابع آب با استفاده از رویکرد پایتون در سطح حوضه آبریز تجن

سیده فاطمه هاشمی^۱، علی شاهنظری^{۲*}، روزبه مصطفوی اشکلک^۳ و سونیا صادقی^۴

۱- پژوهشگر پسادکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲- نویسنده مسئول، استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (A.shahnazari@Sanru.ac.ir).

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد کامپیوتر- نرم افزار، دانشگاه آزاد واحد لاهیجان.

۴- پژوهشگر پسادکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵

چکیده

در این تحقیق به منظور تخصیص منابع آب به محصولات حوضه آبریز تجن، مدل سیستم پویایی VENSIM ساخته و مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است. سپس مدل با استفاده از رویکرد کدنویسی توسعه و مدلی به نام PySD ساخته شد. هدف اولیه شبیه‌سازی مدل PySD، پیش‌بینی میزان آب تخصیص یافته از منابع حوضه به تقاضاهای شرب، صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی است و برآورد کمبود احتمالی است. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل PySD نشان داد که مقادیر RMSE، nRMSE و T_{test} در همه موارد پیشنهادی به جز ضرایب پیشنهادی برای مخزن سد زارم و تقاضای کشاورزی در این منطقه (Zr0 و agri coe1.5) بهترین تطابق را بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای نشان داده است که میزان RMSE و nRMSE آن از یک سو به ترتیب ۰/۰۸+ متر و ۱۲ درصد و از سوی دیگر میزان T_{test} آن ۰/۰۵۱+ محاسبه شد. بررسی نتایج نشان داد گندم در اکثر ماه‌های فصل زراعی با کمبود مواجه بوده به طوری که از مجموع ۱/۵۶ میلیون مترمکعب تقاضای آبی آن تنها ۰/۳ میلیون متر مکعب تأمین شده است. از طرفی براساس اصل قابلیت تأمین‌پذیری نیازهای کشاورزی، تنها برای سه محصول سیاه‌ریشه، شالی و مرکبات بیش از ۸۵ درصد نیازها تأمین شده و باقی محصولات قابلیت تأمین‌پذیری بسیار اندکی دارند. نتایج ارزیابی معیارهای اعتماد‌پذیری، برگشت‌پذیری، آسیب‌پذیری و پایداری در تخمین کارایی سیستم منابع آب در تأمین مصارف کشاورزی حوضه آبریز تجن، نشان می‌دهد که مرکبات، جالیز و دانه‌های روغنی در منطقه شهید رجایی، زارم و فینسک در محدوده قابل قبولی قرار دارند و این پارامتر برای محصولات سیاه‌ریشه کم‌ترین میزان پایداری را دارا هستند.

کلید واژه‌ها: توسعه مدل، متن باز، مدل‌سازی سیستم دینامیک.

مقدمه

گذشته و چشم‌انداز در آینده، یک استراتژی منطقی و مؤثر برای تخصیص عادلانه آب است که می‌تواند برای کمک به مدیران منابع آب منطقه‌ای لحاظ گردد. تخصیص منابع آب می‌تواند عرضه و تقاضا را بین بخش‌های مختلف مصرف آب در میان ذینفعان متعادل نماید (Read et al., 2014). تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه ارزیابی تخصیص منابع آب منطقه‌ای برای حداکثر منافع اجتماعی- اقتصادی با حداقل اثرات زیست‌محیطی انجام شده است (Habibi Davijani et al., 2016; Yu and Lu, 2018; He et al., 2020). Flinn و Guise (1970) مفهوم تعادل فضایی‌ای را پیشنهاد نمودند که از آن برای دستیابی به تخصیص و قیمت منطقی آب استفاده شد. Marin و Smith (1988) نیز رویکردی را برای انتخاب سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌های منابع آب مبتنی بر رعایت قانون عادلانه تخصیص ارائه کردند.

کمبود آب ناشی از توزیع نابرابر مکانی منابع آب به یک مسئله کلیدی در جهان تبدیل شده است. به طوری که امنیت آب (Water Security) را تهدید و توسعه پایدار جامعه و اقتصاد را محدود می‌نماید (Hou et al., 2021). از سوی دیگر، این مسئله به شدت بر توسعه همه‌جانبه سیستم‌های اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی در مقیاس منطقه‌ای تأثیرگذار است (Cosgrove and Loucks, 2015; Sun et al., 2016). برای دستیابی به امنیت آبی و توسعه پایدار، اجرای تخصیص عادلانه منابع آب در مناطق حیاتی است (Fu et al., 2017; Ma et al., 2020). علاوه بر این، با رشد چشمگیر جمعیت، تقاضای آب روندی رو به رشد دارد. از طرفی دیگر، کمبود آب ناشی از توزیع نابرابر منابع آب، تضادهای آبی بین ذینفعان را تشدید نموده و بدین ترتیب، مشکلات آب را پیچیده‌تر می‌نماید (Naghdi et al., 2021). بر همین اساس، در نظر گرفتن شرایط فعلی با عنایت به تجربیات

زیست‌محیطی حداقل بر اساس بررسی سوابق تحقیق که برای این پژوهش در این منطقه به عمل آمد با استفاده از مدل PySD، یافت نشد، لذا در این پژوهش توسعه مدل VENSIM با زبان کدنویسی پایتون در شبیه‌سازی تخصیص منابع و مصارف حوضه آبریز تجن، مورد استفاده قرار گرفته تا بتوان کارایی سیستم منابع آب را در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳ مورد ارزیابی قرار داد.

مواد و روش‌ها

کاربرد PySD: مدیریت پایدار منابع آب با استفاده از رویکرد متن‌باز در حوضه آبریز تجن

روش‌شناسی ساخت مدل مدیریت پایدار منابع آب با استفاده از رویکرد متن‌باز در حوضه مورد مطالعه شامل چندین گام اساسی است. گام اول، شناسایی منابع و مصارف در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی شبیه‌سازی است. گام دوم، ساخت مدل ونسیم آن است. یعنی مدیریت تخصیص با چشم‌انداز پایدار منابع و مصارف، بایستی در مدل تحت ویندوز ساخته شود. گام بعدی، توسعه مدل (Development) به زبان پایتون است. زبان برنامه‌نویسی پایتون، زبان برنامه‌نویسی‌ای تفسیری، پویا و شی‌گرا می‌باشد که برای بیان محاسبات در اوایل ۱۹۹۰ در موسسه تحقیقات بین‌المللی ریاضیات و کامپیوتر هلند توسط Guido van Rossum ساخته شد (Van Rossum and Drake). توسعه مدل سیستم دینامیک VENSIM از طریق زبان برنامه‌نویسی پایتون در شکل (۱) نشان داده شد. توسعه مدل‌ها با این رویکرد از سه گام زیر پیروی می‌کند: (۱) کدنویسی (Scripting) Peck et al (2014)، و Prodanovic و Simonovic (2010). (۲) ترجمه مدل (Translation) Prodanovic و Simonovic (2010) و (۳) ایجاد بسته که در واقع هسته مرکزی و موتور شبیه‌سازی مدل به‌شمار می‌رود (Gregersen et al (2007) و در تحقیقات متعدد چگونگی کاربرد آن مورد ارزیابی قرار گرفته است (Shrestha et al., 2013). از طرفی دیگر استفاده از صفحه گسترده (به‌طور خاص Excel) نیز در کنترل استخراج و تبادل داده بین مدل‌های فیزیکی و مدل پویایی سیستم‌ها اجتناب‌ناپذیر است (Inam et al., 2017a).

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز تجن با مساحت تقریبی ۴۰۰۵ کیلومتر مربع که ۳۹۸۰ کیلومتر مربع آن در استان مازندران قرار گرفته، در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی $35^{\circ} - 52^{\circ}$ تا $45^{\circ} - 56^{\circ}$ طول شرقی و $35^{\circ} - 38^{\circ}$ تا $00^{\circ} - 38^{\circ}$ عرض شمالی قرار دارد که در شکل (a و b) نشان داده شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود رود تجن با سرشاخه‌های متعددی از جمله ورن، رودخانه سفید، زارم‌رود، شیرین رود، لاجیم و گرم‌رود بوده که با پیوستن این انشعابات به پیکره اصلی تجن، آورد اصلی رودخانه تجن شکل

پیش‌بینی حجم آب در دسترس و تقاضای آب منابع تخصیص منابع آب را تشکیل می‌دهد (Wei et al., 2020). متداول‌ترین روش پیش‌بینی عرضه و تقاضای آب استفاده از روش پویایی سیستم (SD) است (Honti et al., 2019). مدل SD ساخته شده از طریق تخمین پارامترهای دقیق و معادله‌های عددی می‌تواند به‌طور مؤثر عدم قطعیت را کاهش دهد و دقت را بهبود بخشد و به‌طور گسترده در مدل‌سازی مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است (Al-Zahrani and Abo-Monassar, 2015). در مقایسه با سایر روش‌ها، برجسته‌ترین مزیت مدل SD این است که می‌تواند به صراحت مشکلات چند بازخوردی را تشریح نماید و به‌طور مؤثر ویژگی‌های تکامل بلندمدت و ارتباطات بین سامانه تلفیقی (به‌عنوان مثال سامانه تلفیقی منابع آب، اجتماعی-اقتصادی و محیطی) را به تصویر بکشد.

همچنین از دیگر قابلیت‌هایی که تاکنون به آن اضافه شده است، توسعه مدل با استفاده از متن باز (Open Source) است. متن باز بخشی از نرم‌افزار است که برای اکثر کاربران قابل مشاهده نبوده اما در واقع از منبع کد (Source Code) آن می‌توان نرم‌افزار را مشاهده، ویرایش و یا توسعه داد. در واقع با نوشتن سورس کد نحوه عمل بخش‌های مختلف یک نرم‌افزار تعیین می‌شود و این امکان را می‌دهد تا با دسترسی به آن، قابلیت‌هایی خاص به آن افزود و عملکرد برنامه را بهبود بخشید و یا مشکلات آن را برطرف نمود. در واقع مستندات آن از طریق لایه ذخیره (Repository) عمومی تحت مجوز مجاز (EUPL) (Repositories under a permissive license) ارائه می‌شود که امکان دسترسی به آن برای عموم رایگان است. همچنین علاوه بر امکان تلفیق با مدل‌های مختلف از طریق متن باز (Inam et al 2017a)، از بروز مشکلات در تصمیم‌گیری استراتژی‌های طولانی‌مدت جلوگیری می‌نماید (Malard et al., 2017). تاکنون مدل‌های یکپارچه مختلفی در زمینه کدنویسی توسعه یافته است. در اکثر این تحقیقات چگونگی استفاده از این مدل‌های توسعه یافته در تلفیق با مدل‌های سیستم پویا اشاره شده است (Malard et al., 2017; Inam et al., 2017a; Hashemi et al., 2020; Peck et al., 2014). برای نمونه Malard et al (2017) و Inam et al (2017b) حرکت آب زیرزمینی SAHYSMOD را برای منطقه پنجاب پاکستان با استفاده از زبان کدنویسی پایتون توسعه دادند.

بررسی تحقیقات صورت گرفته در حوضه آبریز تجن نیز نشان می‌دهد جنبه‌های مدیریت مشارکت‌مدار (Hosseinpur et al., 2016) و عملکرد آن‌ها در فرایند انتقال مدیریت آبیاری مورد بررسی قرار گرفته است (Madani, 2014). همچنین پاره‌ای دیگر از این تحقیقات اثرات احداث مخازن را از لحاظ کمی و کیفی بر منابع آبی موجود در منطقه مورد بررسی قرار می‌دهند (Khoshravesh and Valizade, 2017). اما از آنجایی که تخصیص منابع آب به مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و

بخش آخر بخش صنعتی است که مستلزم در نظر گرفتن تقاضای صنعتی است (Hashemi et al., 2021).

در حوضه آبریز تجن، عمده‌ترین نیاز، تأمین تقاضای کشاورزی در منطقه است. لذا نیاز آبی به تفکیک الگوی کشت هر منطقه و بر اساس مدل Cropwat 8 در طی سال ۹۷-۱۳۹۳ محاسبه و به مدل وارد شد. در جدول (۱) الگوی کشت فعلی و سطح زیر کشت آن‌ها آورده شده است. الگوی کشت به‌ترتیب نزولی اولویت تأمین مرتب شده است. بدین صورت که مرکبات و سیاه‌ریشه به‌ترتیب اولویت اول و دوم را دارا بوده و سایر محصولات اولویت‌های بعدی (اولویت هفتم برای گندم در بالادست بند انحرافی تجن و فینسک، اولویت چهارم برای دانه‌های روغنی در بالادست زارم و اولویت ششم برای گندم در بالادست سد شهید رجایی) را تحت پوشش قرار می‌دهند.

می‌گیرد. سد شهید رجایی، سد فینسک و زارم به ترتیب با ظرفیت ۱۶۱ میلیون مترمکعب، ۱۲ میلیون مترمکعب و ۸۳ میلیون مترمکعب ساخته شده است. در پایین‌دست رودخانه تجن، بند انحرافی تجن با ظرفیت آبیگری ۳۸ مترمکعب بر ثانیه احداث شده که قابلیت تنظیم برای کلیه دبی‌های مورد نیاز را داراست (Hashemi et al., 2020).

در شرایط موجود تخصیص منابع آب حوضه آبریز تجن یک مدل شبیه‌ساز دینامیکی ایجاد شد که متشکل از چهار بخش اساسی است: بخش هیدرولوژیکی که خود برگرفته از سیستم‌های تأمین آب نظیر مخازن اصلی، آب‌بندان، آب زیرزمینی، رودخانه‌ها و ... است، بخش کشاورزی که مبتنی بر الگوی کشت منطقه و عملکرد محصولات کشاورزی است، بخش اقتصادی که مسائل مربوط به درآمد به هزینه را تحت پوشش خود قرار می‌دهد و

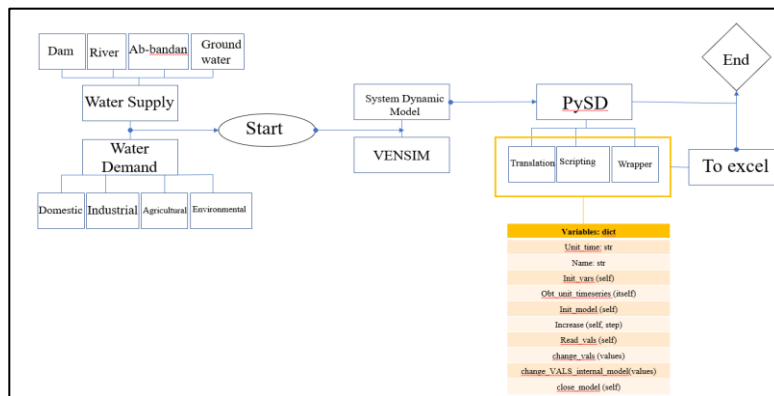


Fig. 1- Flowchart of Developed framework for water resources allocation by Python approach
 شکل ۱- فلوچارت چهارچوب توسعه یافته برای تخصیص منابع آب با رویکرد پایتون

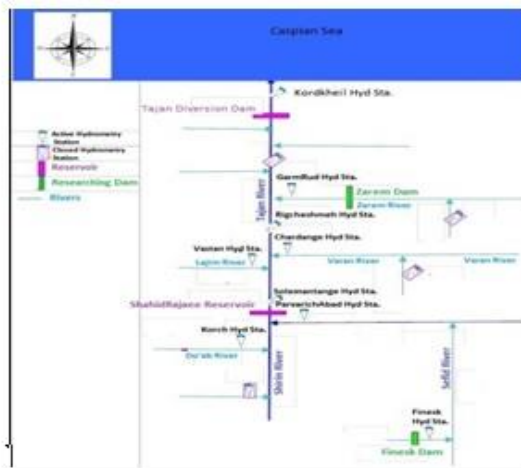
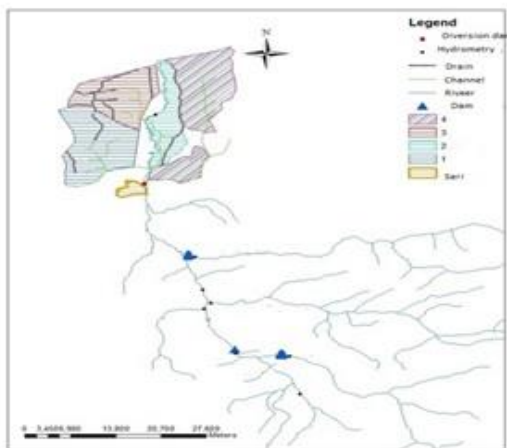


Fig. 2 a)- Water resources and demands diagram in tajan watershed b)- Dams and Rivers locations in tajan watershed

شکل ۲- (a) نمودار منابع و مصارف حوضه آبریز تجن شکل ۲- (b): جانمایی سد ها و رودخانه‌های حوضه آبریز تجن

جدول ۱- الگوی کشت فعلی محصولات حوضه آبریز تاجن به ترتیب نزولی اولویت تأمین

Table 1- Current crop pattern in Tajan watershed in descending order of supply priority

Crop Pattern	Upstream cultivated area (ha)			
	Tajan Diversion Dam	ShahidRajae Dam	Finesk Dam	Zarem Dam
Citrus	12940	39	96	-
Black root	64026	501	2735	973
Rice	21961	1060	1907	160
Potager garden	23.5	3.5	2783	1.7
Maize	369	-	1	-
Cereals	8.5	-	6.1	-
Oilseeds	435	0.3	13	4157
Wheat	1710	0.8	901	-

مطابق با فرضیه‌های پویا، چهار زیر سیستم کشاورزی، اقتصادی، صنعتی و هیدرولوژی در مدل با توجه به پارامترها و روابط اساسی حاکم شبیه‌سازی و ساخته شد (شکل ۳). عمده‌ترین روابطی که مبنای محاسبات را در این چهار زیر سیستم فراهم نموده، که از جمله پارامترهای ورودی مدل می‌باشد شامل K_c ضریب رشد گیاهی، بارش موثر P_{eff} و ET_c و ET_0 - تبخیر - تعرق واقعی و حداکثر تبخیر - تعرق است. مقادیر K_c محصولات مختلف از مقادیر پیشنهادی Allen et al. (2005) گرفته شده است. همچنین فصل زراعی از ماه فروردین شروع شده و برای بیشتر محصولات در شهریور خاتمه می‌پذیرد. داده‌های محصولات شامل تراکم کشت، نیاز آبی خالص و ناخالص و راندمان است. نیاز صنعت و شرب که در روابط به صورت $dd(t)$ بر حسب میلیون متر مکعب در ماه (MCM/month) نشان داده شده است، با استفاده از نیاز آبی صنعت و شرب به ازای هر فرد $d(pc)d$ و جمعیت $p(t)$ قابل تخمین است. همینطور برای محاسبه نیاز زیست‌محیطی، از روش Tennant (1976) استفاده شد.

مدل VENSIM براساس پارامترهای ورودی و بر حسب بازه زمانی ماهانه در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳ مطابق جدول (۲) به مدل وارد شد. سپس الگوی تخصیص منابع آب به هر بخش از حوضه آبریز با توجه به فرضیات پویا که دربرگیرنده قوانین رهاسازی از سدها، آب‌بندان و آب زیرزمینی توسط مدل VENSIM شبیه‌سازی شد تا بتوان کمبودهای احتمالی را برآورد نمود. سناریوی وضعیت موجود که در بازه زمانی ماهانه برای سال ۱۳۹۴ در شرایط فعلی و با در نظر گرفتن خصوصیات کمی و کیفی اجزای سیستم با استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی، آب‌بندان و آب زیرزمینی و با در نظر گرفتن نیاز شرب، صنعت، زیست‌محیطی و کشاورزی با استفاده از مدل VENSIM انجام می‌شود. در این مرحله با تعیین تراز آب، کمبودهای احتمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

آماده‌سازی داده‌های ورودی مدل VENSIM

فرضیات پویایی و چگونگی تاثیر آن‌ها بر هم در شکل (۳) نشان داده شده است. حلقه‌های قرمز نشان‌دهنده حلقه‌های درآمد به هزینه، حلقه درآمد و حلقه بهره‌وری می‌باشد. باقی حلقه‌ها بیان‌کننده حلقه ورودی به دریا، حلقه آب حاصل از رهاسازی سد و آب‌بندان، حلقه رفاه و حلقه سرریز است. رشد جمعیت منجر به افزایش نیاز صنعت و متعاقباً افزایش در تأمین آب و افزایش نیاز صنعت می‌شود. بر همین اساس این حلقه (رفاه) یک حلقه برون‌زا (تعدالی) است. افزایش حجم ذخیره در مخازن، افزایش سرریز از سدها و تأمین نیازها و کاهش برداشت از آب زیرزمینی منجر به افزایش منابع کلی آب شده و حلقه تقویتی را ایجاد می‌کند (حلقه سرریز). افزایش سرریز، افزایش میزان آب ورودی به دریا، افزایش کمبودها و کاهش میزان کل منابع آب سطحی خواهد شد که یک حلقه تقویتی را ایجاد میکند (حلقه ورودی به دریا). آب سطحی (جریان آب حاصل از رهاسازی سد و آب‌بندان) و رواناب با میزان آب ورودی به مخازن رابطه مستقیم دارد. علاوه بر این، میزان آب ورودی به مخازن، افزایش سطح زیر کشت و افزایش میزان بهره‌وری و درآمد خواهد شد. با افزایش درآمد، برداشت از آب زیرزمینی زیادت‌ر شده که منجر به کاهش در برداشت از حجم کل آب در دسترس بوده و بدین ترتیب حجم ذخیره سد نیز کاهش می‌یابد که ترکیب تمامی موارد بالا در حلقه، یک حلقه برون‌زا را ایجاد می‌کند. افزایش درآمد، منجر به افزایش فعالیت‌های کشاورزی شده که این دو مورد حلقه تقویتی را به‌منظور تمایل به تغییر الگوی کشت ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، هر چه هزینه‌های پمپاژ افزایش یابد بهره‌وری و درآمد کاهش یافته که اساساً یک حلقه برون‌زا را ایجاد می‌کند (حلقه بهره‌وری). همچنین با افزایش سطح زیر کشت، عملکرد محصول و بهره‌وری افزایش یافته و با افزایش درآمد حلقه تقویتی ایجاد می‌شود (حلقه درآمد). از سویی دیگر با افزایش آب سطحی، هزینه آب سطحی افزایش یافته و در نتیجه درآمد به هزینه کاهش یافته که منجر به کاهش سطح زیر کشت شده و حلقه تعدالی یا برون‌زا را ایجاد می‌کند (حلقه درآمد به هزینه).

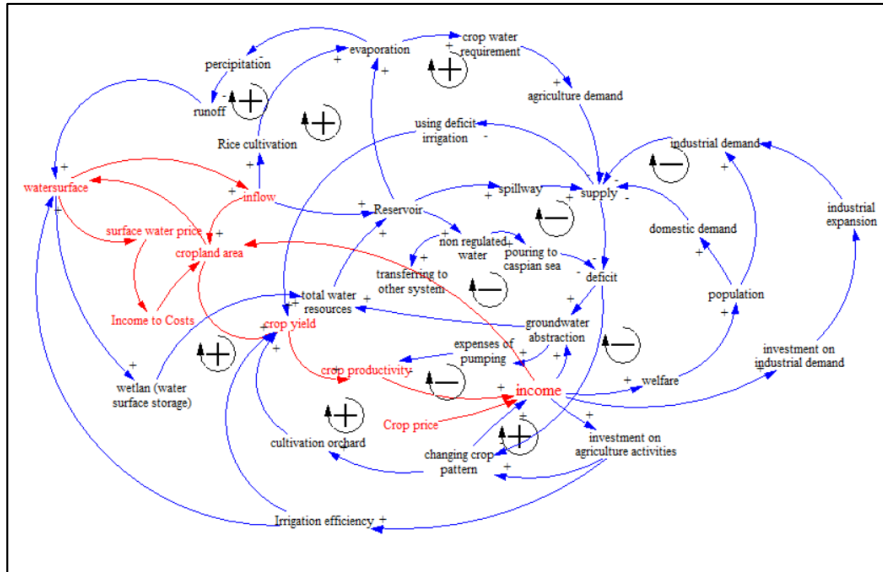


Fig 3- Casual loop Diagram in Hydrology System (Hashemi et al., 2021)
 شکل ۳- نمودار علت و معلولی بین زیرسیستم‌های حوضه آبریز تجن (Hashemi et al., 2021)

جدول ۲- فهرست پارامترهای مورد استفاده در حوضه آبریز تجن در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳

Table 2- Applied parameters in Tajan watershed during 2014-2018

Parameter	Description	Value	Unit
CR SH. R	Shahid Rajaei Crest height	138	meter
CR Fnsk	Finesk Crest height	59	meter
CR Zr	Zarem Crest height	78	meter
FCL SH.R	SH.R Flood control level	153	meter
FCL Fnsk	Finesk Flood control level	9.52	meter
FCL Zr	Zarem Flood control level	60	meter
FCL AB	Lagoon Flood control level	92	meter
Max Vol SH.R	SH.R Maximum volume	162	Million Cubic meter
Max Vol Fnsk	Finesk Maximum volume	11.8	Million Cubic meter
Max Vol Zr	Zarem Maximum volume	82.73	Million Cubic meter
Max Vol Ab	Lagoon Maximum volume	102	Million Cubic meter
Min Vol SH.R	SH.R Minimum volume	17.12	Million Cubic meter
Min Vol Fnsk	Finesk Minimum volume	2.27	Million Cubic meter
Min Vol Zr	Zarem Minimum volume	13	Million Cubic meter
Min Vol Ab	Lagoon Minimum volume	25.6	Million Cubic meter
Eva Res	Evaporation	0.9	meter
Ea Agri	Agricultural efficiency	70	Percent
Dom Dem of SH.R	SH.R Domestic demand	2.5	Million Cubic meter / Month
Dom Dem of Fnsk	Finesk Domestic demand	0.6	Million Cubic meter / Month
Dom Dem of Zr	Zarem Domestic demand	3	Million Cubic meter / Month
Ind Dem of SH.R	SH.R Industrial Demand	1	Million Cubic meter / Month
Ind Dem of Zr	Zarem Industrial Demand	0.5	Million Cubic meter / Month
Aquifer Depth	Zarem Industrial Demand	70	Meter

کارآمد و قابل اطمینان آب به لحاظ زمانی و مکانی و در دو بعد کمیت و کیفیت نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد (Loucks, 2000). بایستی توجه نمود که به دلیل عدم وجود رابطه همگرایی بین شاخص‌های ۲۲ گانه توسعه پایدار، Loucks (2000)

علاوه بر این می‌توان پتانسیل منابع آب موجود در منطقه را بررسی نمود تا بتوان طرح‌های توسعه‌ای دیگری را نیز در نظر گرفت. این سناریو علاوه بر ارزیابی تراز منابع، مصارف و کمبودها در ساخت بسته پایتون مورد استفاده قرار می‌گیرد. تخصیص

به منظور واسنجی مدل از آمار و داده‌های ورودی سال ۲۰۱۴ استفاده شده و در ادامه مدل برای همه سال‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون‌های صحت‌سنجی نیز شامل ارزیابی ساختار و آزمون t استیوندت با نرم‌افزار SPSS است. در بررسی این آزمون‌ها نتایج مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی با استفاده از دو روش ترسیمی و شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE)، استفاده می‌شود که در روابط (۶) و (۷) ارایه شده است. بدین ترتیب که ابتدا ضریب اصلاحی مخزن و متعاقباً ضرایب اصلاحی نیاز کشاورزی برای دشت آبخور سد زارم برای مدل وارد شده و در نهایت با مقایسه تراز سطح مخزن زارم با نتایج واقعی در طی سال‌های آماری مدل مورد اعتبارسنجی قرار گرفته و از سویی دیگر می‌توان برای منطقه مورد مطالعه ضریب اصلاحی مخزن و نیاز کشاورزی مطلوبی را نیز ارائه نمود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad (۶)$$

$$nRMSE = RMSE/\bar{O} \times 100 \quad (۷)$$

ساخت مدل PySD - VENSIM

در این پژوهش از محیط مدل VENSIM PLE استفاده شده است. براساس جدول (۲) پارامترهای ورودی بر حسب بازه زمانی ماهانه به مدل وارد شد. داده‌های ماهانه آب و هوا در بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ که شامل بر داده‌های بارش، حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، سرعت میانگین باد و تابش خورشیدی است از ایستگاه هواشناسی دشت ناز که به فاصله ۱۵ کیلومتر از محدوده مورد مطالعه است، برداشت شد. سپس الگوی تخصیص منابع آب به هر بخش از حوضه آبریز با توجه به فرضیات پویا که دربرگیرنده قوانین رهاسازی از سدها، آب‌بندان و آب زیرزمینی در طی دوره زمانی مفروض توسط مدل VENSIM شبیه‌سازی شد تا بتوان کمبودهای احتمالی را برآورد نمود.

منای کار PySD تسهیل تلفیق مدل‌های دینامیک سیستم و علم داده می‌باشد. بدین ترتیب که فراخوان مدل‌های ایجاد شده توسط پلت‌فرم‌های سنتی مدل‌سازی SD به سیستم پایتون را طراحی می‌کند. این سیستم‌ها، در واقع بستری را فراهم می‌کند که علاوه بر ایجاد بستری برای تلفیق مدل‌های مختلف، می‌تواند به صورت مجزا هم قابل استفاده باشد (Houghton et al., 2014; Houghton and Siegel, 2015; Houghton, 2018; Malard et al., 2017; Inam et al., 2017a,b). علاوه بر این‌ها، امکان گرفتن خروجی به فرمت‌های JPEG، *Xlsx یا *csv در نسخه جدید وجود دارد. این موارد اگرچه برتری نسبی PySD را به نسخه تحت ویندوز آن نشان می‌دهد،

شاخص پایداری که ترکیبی از سه شاخص Hashimoto et al. (1982) بود معرفی نمود که بیشتر شاخص پایداری به عنوان گزینه برتر معرفی می‌شود که در رابطه (۱) آورده شده است. Φ شاخص پایداری، δ شاخص اطمینان‌پذیری (Reliability)، γ شاخص سرعت برگشت‌پذیری (Resiliency) و η شاخص آسیب‌پذیری (Vulnerability) است. محدوده قابل قبول شاخص پایداری تأمین کشاورزی ۱-۰/۸ می‌باشد.

$$\Phi = \delta\gamma(1-\eta) \quad (۱)$$

این شاخص‌ها برای آزمون عملکرد سیستم منابع آب برای سناریوهای مختلف، ارزیابی خروجی سیستم منابع آب با توجه به نیازهای مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طوری که یک ضابطه C برای هر منبع تأمین آب در ابتدا تعریف می‌شود که معادل مقدار ناراضیاتی است که در آن منبع قادر به تأمین عملکرد از قبل تعیین شده نمی‌باشد. در این پژوهش ضابطه تعریف شده C تأمین ۸۵ درصد تقاضای آبی در سری زمانی تعریف شده است (Trieu, 2005). این بدان معناست که سطح تأمین متجاوز از چهار سال از پنج سال است (Hashemi and Shahnzari, 2015). سری‌های زمانی مقادیر روزانه شبیه‌سازی تأمین (Xt) که برای مدت زمان T ارزیابی می‌گردد. هر منبع تأمین آب دارای یک دامنه رضایت‌بخشی (S) (Satisfactory) و ناراضیاتی (U) تعریف شده برای ضابطه C خواهد بود. اگر $Xt > C$ باشد آنگاه $Xt \in S$ و $Zt = 1$ در غیر این صورت $Xt \in U$ و $Zt = 0$ خواهد بود. لیکن شاخص دیگری که تعریف می‌شود Wt است که نشان‌دهنده نوعی انتقال از ناراضیاتی به حالت رضایت‌بخش است. بنابراین:

$$Wt = 0; \quad \text{در غیر این } (Xt \in U \& Xt+1 \in S, \text{ If then else } 1; \text{ صورت } Wt = 0; \quad (۲)$$

که در آن Xt پارامتر مورد ارزیابی (تأمین نیاز) و Zt شاخص تأمین یا عدم تأمین که مقدار آن یک یا صفر است. اگر دوره‌های ناراضیاتی Xt به صورت J_1, J_2, \dots, J_n تعریف گردد، آنگاه شاخص‌های اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری سیستم به صورت روابط زیر تعریف می‌شود:

$$C_R = \frac{\sum_{t=1}^T Z_t}{T} \quad \text{اعتمادپذیری} \quad (۳)$$

$$C_{RS} = \frac{\sum_{t=1}^T W_t}{T - \sum_{t=1}^T Z_t} \quad \text{برگشت‌پذیری} \quad (۴)$$

$$\text{آسیب‌پذیری} \quad (۵)$$

نتایج ارزیابی مدل در جدول (۳) نشان داده شده است. بررسی ارقام RMSE نشان داد این پارامتر در همه موارد پیشنهادی بهترین تطابق بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای وجود دارد و تنها برای $Zr0 = 0.75$ و $agri\ coe = 1.5$ بیشتر به دست آمد. از سویی دیگر nRMSE روند معکوسی دارد. به طوری که در محدوده ۱۴٪-۱۲٪ بوده که آن را در محدوده خوب تا عالی قرار می‌دهد و به جز $Zr0 = 0.75$ و $agri\ coe = 1.5$ که nRMSE برابر با ۲۰٪ برآورد شده، که آنرا در رده خوب جای می‌دهد (Kiani, 2010). به منظور تکمیل ارزیابی‌ها آزمون معناداری انجام شده است که نتایج آزمون t در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد که تفاوت معناداری بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای وجود ندارد ($Ttest > 0.05$). البته به جز در $Zr0 = 0.75$ و $agri\ coe = 1.5$ که در سطح ۹۵٪ تفاوت معناداری وجود دارد. این آزمون هم تا حدود زیادی نتایج سایر آمارها را اثبات می‌کند.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی تخصیص منابع آب در حوضه آبریز تجن با استفاده از PySD

به منظور بررسی وضعیت منابع و مصارف حوضه آبریز تجن و ارزیابی پتانسیل منابع آب در شبکه مورد مطالعه، بسته PySD اجرا شد که در اجرای مدل مذکور، تمامی مخازن و بالادست آن‌ها در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳ و به طور هم‌زمان لحاظ گردید. انتخاب این دوره آماری از این لحاظ حائز اهمیت است تا بتوان به درستی درک جامعی از تمامی مصارف موجود داشت. این مصارف به طور عمده مشتمل بر مصارف شرب، صنعت، زیست محیطی و کشاورزی است.

از آنجایی که شرب و زیست محیطی اولویت بالایی در تامین نیازها دارند، تقریباً نیاز آن‌ها برطرف شده است که در جدول (۴) قابل مشاهده است. به عبارت دیگر قابلیت تامین در این محدوده برای این نیازها ۱۰۰ درصد است. ولی عمده‌ترین کمبودها در بخش کشاورزی مشاهده شده است که لزوم برداشت از سایر منابع را اجتناب‌ناپذیر نموده است. البته بایستی توجه نمود که چاه‌ها بجز محدوده بند انحرافی تجن قابل برداشت نبوده یا حجم بسیار اندکی دارند که در محاسبات لحاظ نمی‌شود. همچنین امکان برداشت از آب‌بندان نیز فقط در این محدوده وجود دارد. بنابراین علیرغم کمبودهای قابل توجه در این بخش، نیازها به صورت تأمین نشده باقی خواهند ماند.

در ادامه تأمین تقاضای کشاورزی در محدوده دشت تجن به تفکیک الگوی کشت در میانگین ۵ ساله (۹۷-۱۳۹۳) مطابق با جدول (۵) ارایه شده است. در توضیح اعداد و ارقام به دست آمده بایستی توجه نمود که نحوه تخصیص منابع آب به محصولات با معیار حداکثر سودآوری شرکت آب منطقه‌ای است بدین ترتیب که سیاه‌ریشه اولویت اول و سایر محصولات به ترتیب نزولی اولویت مرتب شده باشند.

ولی یکی از مهم‌ترین برتری‌های نسخه تحت پایتون این است که می‌توان با آگاهی از زبان کدنویسی پایتون، انواع مختلفی از دستورات را تنها با یک خط کد اعمال نمود بدون آنکه در داده‌های ورودی آن تغییرات خاصی اعمال شود. لازم به ذکر است این نسخه تحت زبان پایتون نیاز به نسخه تحت ویندوز نداشته و تنها کافی است اطلاعات ورودی در پوشه‌ای تحت اسامی دلخواه ذخیره شده و سپس از نسخه تحت پایتون، به آن ارجاع داده شود. بر همین اساس با توجه به توضیحات بالا، در پژوهش حاضر این موارد به ترتیب زیر محقق شد: ۱- ایجاد لغت‌نامه به این ترتیب که تمامی پارامترهای موجود در مدل بایستی در قالب لغت‌نامه نوشته شود تا در صورت لزوم، از طریق همین کتابخانه ایجاد شده فراخوانی شود. ۲- در مرحله دوم، بایستی مدل دینامیک سیستم عیناً از نسخه تحت ویندوز به پایتون ترجمه شود که این بخش مهم‌ترین بخش کار است و نیاز دارد تمامی کتابخانه‌ها و کلاس‌های آن به درستی شناخته شده و فراخوانی شود. از طرفی دیگر، ارتباط بین آن‌ها نیز بایستی به درستی تشخیص داده شود. لذا این مرحله نیاز به تسلط کافی بر مدل ساخته شده دینامیک سیستم و آشنایی با قوانین و رویکردهای اصلی آن دارد. کدهای اولیه توسط Houghton (2018) به صورت متن‌باز قرار داده شد که می‌توان برای شبیه‌سازی اولیه از آن استفاده نمود. همچنین می‌توان به تناسب شبیه‌سازی مدل و فرضیاتی که در آن دنبال می‌شود، تغییرات را اعمال و نتایج را بررسی نمود. ۳- در مرحله بعدی، داده‌های ورودی به مدل بایستی آماده شود. این مرحله دقیقاً شبیه به مدل VENSIM است بدین ترتیب که هر دسته از داده‌های ورودی در پوشه مورد نظر خود ذخیره و در روند اجرای شبیه‌سازی فراخوانی می‌شود. ۴- برای کالیبره مدل نیز دستور خاصی نوشته شده است که می‌توان با استفاده از همان دیکشنری نوشته شده در گام، متغیر مربوطه را فراخوانی و هر گونه تغییری را بر آن اعمال نموده و چگونگی تغییرات آن را بر خروجی ارزیابی نمود.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از واسنجی مدل PySD

به منظور ارزیابی نتایج مدل، رفتار مدل با رفتار مشاهداتی مقایسه شد. یکی از متغیرهایی که صحت‌سنجی آن بررسی شد و در تحلیل نتایج این تحقیق نسبت به سایر ورودی‌های مدل از اهمیت بسیار زیادی نیز برخوردار است، تراز آب مخزن و چگونگی تغییرات آن در طی تأمین مصارف می‌باشد (Hashemi et al., 2021). برای اعتبارسنجی، محدوده سد زارم انتخاب شد و پارامترهای معرفی شده در آن به ازای ضرایبی تغییر نمود و سایر محدوده‌های مورد مطالعه ثابت در نظر گرفته شدند. این مسئله از این حیث قابل تامل است می‌توان مقادیری به عنوان ضریب اصلاحی برای نیاز آبی محصولات کشاورزی برای منطقه مورد مطالعه، پیشنهاد و در طی دوره شبیه‌سازی لااقل در این تحقیق مورد ارزیابی قرار داد.

دانه‌های روغنی قابلیت اطمینان‌پذیری در تأمین تقاضای کشاورزی صد در صد بوده که بررسی سطح زیر کشت آن (۰/۳ هکتار) این فرضیه را ثابت می‌کند. چنین روندی در مورد گندم و جالیز نیز صادق است. با سطح زیر کشت ۰/۸ و ۳/۵ هکتار، ۰/۳۱ و ۳/۶۲ میلیون مترمکعب تقاضا، تقریباً تمامی آن‌ها تأمین شده است. بررسی اعداد و ارقام جدول (۵) در مورد محصول دانه‌های روغنی قابلیت تأمین این محصول ۳۲ درصد است به طوری که از ۰/۰۴ میلیون مترمکعب کل تقاضای این محصول در این منطقه، تنها ۰/۰۲ میلیون مترمکعب آن تأمین شده است. در محدوده سد شهید رجایی تأمین شالی صفر برآورد شده است. همچنین برای محصولات جالیز و گندم تأمین به‌طور کامل انجام شده است. از این میان برای مرکبات از چهار ماه تخصیص صورت گرفته، تنها یک ماه تأمین نشده و باقی تأمین شده است به طوری که ماه فروردین به میزان ۱/۲۷ میلیون متر مکعب تأمین نشده و ۵/۱۵ میلیون متر مکعب در باقی ماه‌ها تأمین شده است و می‌توان گفت به میزان ۸۰ درصد تأمین حجم آن صورت پذیرفته است. در حالیکه برای محصول سیاه‌ریشه، اگر چه در اولویت تأمین اول قرار دارد، تأمین به میزان بسیار کمی انجام شده است. به طوری که از ۴۴ میلیون مترمکعب تقاضا در این بخش، ۰/۷۲ میلیون مترمکعب آن تأمین شده است که تقریباً دو درصد نیازهای آن تأمین شده است. البته بایستی توجه نمود که اگرچه اولویت تأمین سیاه‌ریشه اول است، ولی نیاز آبی آن نسبت به سایر محصولات این بخش بسیار بیشتر است، که نحوه تخصیص آن براساس سطح زیر کشت آن توجیه‌پذیر است. سطح زیر کشت سیاه‌ریشه ۵۰۱ هکتار است و مرکبات ۳۹ هکتار. همچنین برای شالی نیز که از مجموع هشت میلیون مترمکعب تقاضا، درصد تأمین آن صفر بوده، سطح زیر کشت آن ۱۰۶۰ هکتار است. در ادامه می‌توان چنین استنباط نمود که در شرایطی که نیاز آبی محصولات کم باشد، تأمین بهتر صورت می‌پذیرد. برای نمونه دانه‌های روغنی قابلیت اطمینان‌پذیری در تأمین تقاضای کشاورزی صد در صد بوده که بررسی سطح زیر کشت آن (۰/۳ هکتار) این فرضیه را ثابت می‌کند. چنین روندی در مورد گندم و جالیز نیز صادق است. با سطح زیر کشت ۰/۸ و ۳/۵ هکتار، ۰/۳۱ و ۳/۶۲ میلیون مترمکعب تقاضا، تقریباً تمامی آن‌ها تأمین شده است. بررسی اعداد و ارقام جدول زیر در مورد محصول دانه‌های روغنی قابلیت تأمین این محصول ۳۲ درصد است به طوری که از ۰/۰۴ میلیون مترمکعب کل تقاضای این محصول در این منطقه، تنها ۰/۰۲ میلیون مترمکعب آن تأمین شده است.

در محدوده فینسک از آنجایی که مرکبات اولویت دوم تأمین را دارد، تمامی نیازهای آن تأمین شده است بدون آنکه سایر محصولات شبکه که سود کمتری برای شرکت آب منطقه‌ای دارند تأمین گردد. همچنین از بررسی جدول (۵) این‌طور استنباط می‌شود که شالی نیز با میزان دومیلیون متر مکعب کمبود، توانسته بیش از ۸۰ درصد کمبودهای خود را تأمین نماید. از طرفی دیگر بررسی جدول (۵) نشان می‌دهد که گندم نیز در اکثر ماه‌های فصل زراعی با کمبود مواجه بوده به طوری که از مجموع ۱/۵۶ میلیون مترمکعب تقاضای آبی آن تنها ۰/۳ میلیون متر مکعب آن تأمین شده است. همچنین با رعایت اصل قابلیت تأمین‌پذیری نیازهای کشاورزی، تنها برای دو محصول سیاه‌ریشه، شالی و مرکبات بیش از ۸۵ درصد نیازها تأمین شده و باقی محصولات قابلیت تأمین‌پذیری بسیار اندکی دارند. بعبارت دیگر برای محصولاتی که سودآوری بیشینه را برای شرکت آب منطقه‌ای دارند، تمام محصولات با قابلیت اطمینان‌پذیری بیشتر از ۸۵ درصد تأمین شده و سایر محصولات که احتمالاً حتی برای تأمین مایحتاج فصلی کشاورزان هستند نظیر جالیز، تأمین بسیار اندک و در حد صفر است.

در محدوده سد شهید رجایی تأمین شالی صفر برآورد شده است. همچنین برای محصولات جالیز و گندم تأمین به‌طور کامل انجام شده است. از این میان برای مرکبات از چهار ماه تخصیص صورت گرفته، تنها یک ماه تأمین نشده و باقی تأمین شده است به طوری که ماه فروردین به میزان ۱/۲۷ میلیون متر مکعب تأمین نشده و ۵/۱۵ میلیون متر مکعب در باقی ماه‌ها تأمین شده است و می‌توان گفت به میزان ۸۰ درصد تأمین حجم آن صورت پذیرفته است. در حالیکه برای محصول سیاه‌ریشه، اگر چه در اولویت تأمین اول قرار دارد، تأمین به میزان بسیار کمی انجام شده است. به طوری که از ۴۴ میلیون مترمکعب تقاضا در این بخش، ۰/۷۲ میلیون مترمکعب آن تأمین شده است که تقریباً دو درصد نیازهای آن تأمین شده است. البته بایستی توجه نمود که اگرچه اولویت تأمین سیاه‌ریشه اول است، ولی نیاز آبی آن نسبت به سایر محصولات این بخش بسیار بیشتر است، که نحوه تخصیص آن براساس سطح زیر کشت آن توجیه‌پذیر است. سطح زیر کشت سیاه‌ریشه ۵۰۱ هکتار است و مرکبات ۳۹ هکتار. همچنین برای شالی نیز که از مجموع ۸ میلیون مترمکعب تقاضا، درصد تأمین آن صفر بوده، سطح زیر کشت آن ۱۰۶۰ هکتار است.

در ادامه می‌توان چنین استنباط نمود که در شرایطی که نیاز آبی محصولات کم باشد، تأمین بهتر صورت می‌پذیرد. برای نمونه

Table 3- The results of VENSIM model calibration in Zarem Part using PySD model

جدول ۳- نتایج حاصل از واسنجی مدل VENSIM در منطقه زارم با استفاده از مدل PySD

Year	Statistical tests	Zr0= 0.96	Zr0= 4	Zr0= 3	Zr0= 3	Zr0= 0.75	Zr0= 1.8
		Agri coe= 3	Agri coe= 4	Agri coe= 4.5	Agri coe= 6	Agri coe= 1.5	Agri coe= 0.8
2014	RMSE (meter)	0.08	0.09	0.09	0.09	0.21	0.07
	nRMSE (%)	12.17	13	14	14.71	20	12
	P-value	n. s. 0.029	n. s. 0.077	n. s. 0.032	n. s. 0.015	s. 0	n. s. 0.051
	R	0.053	0.68	0.65	0.69	0.59	0.052
2015	RMSE (meter)	0.008	0.010	0.013	0.010	0.009	0.38
	nRMSE (%)	-0.528	-0.772	-1.281	-0.570	-0.34	4
	P-value	n. s. 0.381	n. s. 0.511	n. s. 0.099	n. s. 0.059	s. 0	n. s. 0.057
	R	0.94	0.92	0.92	0.93	0.95	0.93
2016	RMSE (meter)	0.013	0.008	0.011	0.010	0.012	0.01
	nRMSE (%)	-0.899	-0.284	-0.567	-0.338	-0.907	-0.917
	P-value	n. s. 0.124	n. s. 0.247	n. s. 0.309	n. s. 0.785	s. 0.04	0.067
	R	0.91	0.95	0.92	0.94	0.89	0.93
2017	RMSE (meter)	0.009	0.014	0.008	0.009	1.24	0.21
	nRMSE (%)	-0.397	-1.039	-0.197	-0.344	26.6	5.82
	P-value	n. s. 0.102	n. s. 0.364	n. s. 0.752	n. s. 0.094	s. 0	n. s. 0.032
	R	0.98	0.61	0.62	0.63	0.67	0.57
2018	RMSE (meter)	0.85	0.003	1.38	1.24	2.2	0.46
	nRMSE (%)	1.22	-0.231	1.12	1.06	7.01	1.05
	P-value	n. s. 0.347	n. s. 0.247	n. s. 0.506	n. s. 0.264	s. 0.051	n. s. 0.07
	R	0.65	0.76	0.59	0.72	0.61	0.98

* Zr0 و Agri coe :Reservoir correction factor and agricultural need correction factor respectively.

.***m ::meter.

***. S:Significance and n.s.: non-significance at the 5% probability level

Table 4- summary of water allocation in Tajan Watershed in PySD environment

جدول ۴- خلاصه تخصیص آب در حوضه آبریز تاجن در محیط Pysd

description	Tajan River at Finesk dam Part	at Tajan River at Reservoir Part	Tajan River at ShahidRajae. Zarem Part	Tajan River at Tajan diversion Part
upstream	31.78	107	140	447
water requirement supply before Dam	22.07	-	8.03	54.06
water requirement supply before Dam	19.37	-	8.03	54
Inflow to Dam	16.27	182	240.55	432
storage volume in Dam	48	567	454	389
Agricultural demand	31.54	146	52	-
Domestic demand	29.88	51.58	46.8	-
Industrial demand	-	30	28	-
Enviromental demand	29.29	12	6	98.24
Agricultural supply	3.3	88.5	45	-
Domestic supply	8.22	49.37	37	-
Industrial supply	-	11	24	-
Enviromental supply	4.3	30	4.9	98.2
Interflow of dam after supply demand	16	138	73	53.6
Demand after dam	19.05	-	5.05	483
Supply after dam	18.35	-	4.88	376.5
Baseflow of river (before bifurcation node)	110	164	92	443
outflow after Supply and adding other river	182	303	116.83	-
beseflow before sea	-	-	-	333
Exchangeable water to other province	-	-	-	243
Ab- bandan Abstraction	-	-	-	98
Baseflow after Ab-bandan	-	-	-	483
GW abstraction	-	-	-	91.5

Table 5- Simulation of supply and deficit in the 5-year average in the Tajen watershed (MCM) by the PySD model

جدول ۵- شبیه سازی میزان تامین و کمبود در میانگین ۵ ساله در حوضه آبریز تجن (MCM) با استفاده از مدل PySD

Part	Months Crops	April		May		June		July		August		September	
		Deficit	Supply	Deficit	Supply	Deficit	Supply	Deficit	Supply	Deficit	Supply	Deficit	Supply
Black root trees	Finesk Dam.	-	-	1.2	-	0.02	0.07	0.15	0.12	0.26	0.08	0.12	0.02
	ShahidRajae Dam	4.77	-	9.27	0.09	9.58	0.2	9.40	0.3	8.09	0.13	2.85	-
	Zarem Dam	-	-	2.1	10	15	0.6	16	-	8.6	0.24	8.7	1
	Diversion Dam	3.71	0.67	6.6	7.35	0.27	7.53	-	6.40	0.05	2.22	0.01	0.30
Citrus	Finesk Dam.	-	0.06	-	0.02	-	0.04	-	0.03	-	0.01	-	-
	ShahidRajae Dam	1.27	-	-	1.15	-	1.75	-	1.6	-	0.65	-	-
	Zarem Dam	0.03	23	0.24	19.6	0.32	16	0.3	10	0.19	8.85	0.1	11
	Diversion Dam	13.61	4.12	22.70	27.56	0.53	27.8	-	23.6	-	8.20	0.25	1.72
Rice	Finesk Dam.	-	-	0.09	-	0.86	1.34	0.71	2.09	0.26	1.74	0.07	0.68
	ShahidRajae Dam	-	-	1.82	-	2.6	-	2.17	-	0.87	-	-	-
	Zarem Dam	0.32	2.56	2.5	1.3	3.25	0.58	2.45	0.63	1.47	0.57	1.17	0.80
	Diversion Dam	25	-	12.6	39	0.4	52	-	53	-	45	0.35	15
Potager garden	Finesk Dam.	-	-	0.01	-	0.29	-	0.04	-	0.01	-	-	-
	ShahidRajae Dam	-	-	-	0.02	-	0.08	-	0.14	-	0.07	-	-
	Diversion Dam	0.02	-	-	0.24	-	3	-	3.18	0.3	2.65	0.02	1.06
oilseeds	Finesk Dam.	-	-	-	-	0.03	-	0.03	-	0.06	-	0.02	-
	ShahidRajae Dam	-	-	-	-	-	0.01	0.02	-	-	-	-	-
	Zarem Dam	-	-	-	0.01	-	0.02	-	0.02	-	-	-	-
	Diversion Dam	-	0.08	0.54	1.04	1.78	1.1	0.98	0.93	0.07	0.32	-	0.02
Maize	Finesk Dam.	-	-	-	-	-	-	0.03	-	0.02	-	-	-
	Diversion Dam	-	0.23	1.6	3.14	2.91	3.25	0.15	2.76	0.03	0.96	-	0.07
Wheat	Finesk Dam.	-	-	-	-	0.12	-	0.06	0.24	-	0.05	-	-
	ShahidRajae Dam	-	-	-	-	-	0.12	0.06	3.45	-	0.05	-	-
	Diversion Dam	-	0.24	1.65	3.27	3	3.66	1.1	2.85	0.12	1	-	-
Cereals	Finesk Dam.	-	-	-	-	0.02	-	0.01	-	0.02	-	-	-

مرکبات که اولویت اول و دوم از لحاظ تخصیص منابع آب را دارا هستند، یکسان است. همچنین بررسی اجمالی اعداد و ارقام نشان می‌دهد که تقاضای آبی محصول شالی در این منطقه بیشترین میزان است. به طوری که از حجم ۳۱۴ میلیون مترمکعب تقاضای آبی آن، تنها ۳۹ میلیون مترمکعب آن تأمین شده که تنها ۱۲٪ از نیازهای این محصول می‌باشد. چنین روندی کم‌وبیش برای محصول جالیز نیز وجود دارد به طوری که از ۱۱ میلیون مترمکعب تنها ۰/۳۴ آن تأمین شده است. بررسی تأمین و کمبود مربوط به شالی نیز روندی مشابه با سایر محصولات در این بخش دارد که از مجموع ۱۷ میلیون مترمکعب تقاضای آبی، هفت میلیون متر مکعب آن تأمین شده و ۴۲ درصد آن تأمین نشده است. البته بررسی اعداد تأمین و کمبود در ماه‌های مختلف این محصول نشان‌دهنده این مطلب است که کمبود عمدتاً در ماه‌های گرم سال که جریان پایه و رهاسازی مخزن در این منطقه کاهش یافته است و بین ماه‌های اردیبهشت تا شهریور بوده و با توجه به اولویت تأمین کمتر نسبت به دو محصول دیگر از یک سو و تقاضای نسبتاً کمتر این محصول با سیاه‌ریشه و مرکبات، تأمین آن چنین روندی داشته است. در مورد گندم و ذرت دانه‌ای و دانه‌های روغنی روندی کم و بیش متفاوت حاکم است به طوری که برای دانه‌های روغنی قابلیت تأمین تقریباً ۵۰ درصد بوده است. همچنین گندم و ذرت دانه‌ای قابلیت تأمین به ترتیب ۲۰ درصد و ۳۱ درصد است که بعد از شالی، در این منطقه کمترین اولویت تأمین را به خود اختصاص داده‌اند. به طوری که برای گندم ۵/۸۷ میلیون مترمکعب و برای ذرت دانه‌ای ۴/۷ میلیون مترمکعب قابل مشاهده است.

ارزیابی کارایی سیستم منابع آب در تأمین مصارف کشاورزی حوضه آبریز تجن، معیارهای اعتماد پذیری، برگشت‌پذیری، آسیب‌پذیری و پایداری سیستم مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت. بررسی ارقام موجود در جدول (۶) نشان می‌دهد که مرکبات در منطقه فینسک و زارم، جالیز در منطقه شهید رجایی و دانه‌های روغنی در منطقه زارم پایداری در محدوده قابل قبولی قرار دارند (Loucks, 2000). ۰/۰۱، ۰/۰۶ و ۰/۰۲ کمترین میزان پایداری می‌باشند که برای محصولات سیاه‌ریشه در منطقه زارم و شهید رجایی و گندم در منطقه فینسک می‌باشند که مستلزم در نظر گرفتن راهبردهای مدیریتی خاصی است. از سویی دیگر نکته قابل توجه در جدول زیر اعداد و ارقام مربوط به معیار آسیب‌پذیری است که نشان‌دهنده ضابطه رضایتمندی تأمین چهار سال از پنج در این پژوهش است به طوری که هر چه به عدد صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده این حقیقت است که ۸۵ درصد نیازها تأمین شده و هر چه به عدد یک نزدیک باشد، معنای معکوس می‌یابد.

در محدوده سد زارم برای مرکبات کمبود بسیار کمی نسبت به سایر محصولات وجود دارد. حتی در ماه‌های گرم سال که انتظار می‌رود رهاسازی از سد کافی نباشد. به طوری که از مجموع ۹۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی این محصول، تنها ۱/۵ میلیون مترمکعب آن تأمین نشده و تقریباً بیشتر از ۹۹ درصد تأمین صورت پذیرفته است. البته باید توجه داشت که در بین محصولات این منطقه، بیشترین نیاز آبی به این محصول اختصاص داشته و این محصول وزن زیادی در میزان تقاضای کشاورزی داشته و بدین ترتیب الگوی تخصیص منابع آب در سد زارم توانسته اولویت تأمین آب منطقه‌ای را همراه با اولویت حداکثر تقاضای آبی تأمین نماید. در مورد سیاه‌ریشه مشابه با سد شهید رجایی تخصیص صورت گرفته و با وجود تقاضای زیاد این محصول، تنها به میزان ۲۲ درصد تأمین صورت پذیرفته و باقی به صورت تأمین نشده است. البته می‌توان چنین استنباط نشان داد که عدم تأمین در ماه‌های رخ داده که جریان پایه رودخانه کافی نبوده. از سویی دیگر در مقایسه با مرکبات این احتمال وجود دارد روزهای اوج نیاز آبی برای محصول مرکبات زودتر از سیاه‌ریشه زودتر رخ داده و مدل براساس اولویت تأمین مورد استفاده، ابتدا به سیاه‌ریشه و سپس به مرکبات تخصیص را انجام داده و بدین ترتیب برای دوره اوج تقاضای سیاه‌ریشه منابع آب موجود کاهش یافته است. البته باید توجه داشت که چنین مبنایی برای تخصیص با آنچه که در واقعیت رخ داده مطابقت دارد و مدل توانایی اینکه بتواند کمبود را به دوره بعدی تخصیص دهد، ندارد. در چنین شرایطی حتی با وجود اولویت بالاتر، تخصیص به محصولی کامل خواهد بود که نیاز آبی آن زودتر از سایر محصولات رخ داده است. بررسی تأمین و کمبود مربوط به شالی نیز روندی مشابه با سایر محصولات در این بخش دارد که از مجموع ۱۷ میلیون مترمکعب تقاضای آبی، هفت میلیون متر مکعب آن تأمین شده و ۴۲ درصد آن تأمین نشده است. البته بررسی اعداد تأمین و کمبود در ماه‌های مختلف این محصول نشان‌دهنده این مطلب است که کمبود عمدتاً در ماه‌های گرم سال بوده که جریان پایه و رهاسازی مخزن در این منطقه کاهش یافته و بین ماه‌های اردیبهشت تا شهریور بوده و با توجه به اولویت تأمین کمتر نسبت به دو محصول دیگر از یک سو و تقاضای نسبتاً کمتر این محصول با سیاه‌ریشه و مرکبات، تأمین آن چنین روندی داشته است.

در محدوده بند انحرافی تجن برای مرکبات بیشترین میزان تأمین نسبت به سایر محصولات صورت گرفته است. حتی در ماه‌های گرم سال که انتظار می‌رود رهاسازی از سد کافی نباشد، به طوری که از مجموع ۱۳۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی این محصول، ۳۷/۰۹ میلیون مترمکعب آن تأمین نشده و تقریباً ۷۲ درصد تأمین صورت پذیرفته است. در مورد سیاه‌ریشه مشابه با سد شهید رجایی تخصیص صورت گرفته و با وجود تقاضای ۳۴/۸۷ میلیون مترمکعب، به میزان ۷۰ درصد تأمین صورت پذیرفته و باقی به صورت تأمین نشده است. در این بین قابلیت تأمین سیاه‌ریشه و

جدول ۶- ارزیابی معیارهای کارآیی حوضه آبریز تجن در تامین مصارف کشاورزی در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳
Table 6- Evaluation of the performance criteria of Tajen irrigation and drainage network in supplying agricultural demand during 2014-2018

Parts	Crops	Evaluation criteria			
		Reliability	Resiliency	Vulnerability	Satiability
Finesk	Blackroot trees	0.51	0.41	0.12	0.21
Zarem		0.12	0.03	0.02	0.01
ShahidRajae		0.35	0.17	-	0.06
Diversion Dam		0.67	0.49	0.04	0.36
Finesk	Citrus	0.70	0.55	0.01	0.85
Zarem		0.71	0.43	0.15	0.95
ShahidRajae		0.98	0.66	0.06	0.61
Diversion Dam		0.59	0.43	0.2	0.2
Finesk	Rice	0.73	0.38	0.11	0.68
Zarem		0.43	0.66	-	0.29
Diversion Dam		0.87	0.9	-	0.78
ShahidRajae		1	0.86	-	0.86
Diversion Dam	garden	0.73	0.37	-	0.65
Diversion Dam	Maize	0.71	0.32	0.24	0.18
Zarem	Oilseed	1	1	-	1
Diversion Dam		0.65	0.4	0.2	0.2
Finesk	Wheat	0.37	0.05	0.05	0.02
ShahidRajae		0.9	0.77	0.24	0.52
Diversion Dam		0.66	0.4	-	0.64

سایر مناطق کمبودهای قابل ملاحظه‌ای مشاهده شده است. از طرفی دیگر بررسی تراز منابع و مصارف در بخش شرب، صنعت و زیست محیطی در تمامی مناطق نشان می‌دهد که منابع موجود در هر منطقه برای تأمین این مصارف کافی بوده و در اکثر مناطق بیش از ۹۰ درصد این مصارف تأمین شده است. لذا همچنان کمبودهای قابل ملاحظه‌ای در بخش کشاورزی وجود دارد. از طرفی ارزیابی معیار پایداری در تخمین کارایی سیستم منابع آب در تأمین مصارف کشاورزی حوضه آبریز تجن، نشان می‌دهد محصولات کمی در محدوده قابل قبولی قرار دارند، از جمله مرکبات در منطقه فینسک و زارم، جالیز در منطقه شهید رجایی و دانه‌های روغنی در منطقه زارم. همچنین سیاه‌ریشه در منطقه زارم و شهید رجایی و گندم در منطقه فینسک کمترین میزان پایداری در حد صفر را نشان می‌دهند که این مسئله نشان‌دهنده کمبودهای قابل توجه در این حوضه به‌ویژه در تأمین مصارف این محصولات از یک سو و از سویی دیگر کمبود قابل ملاحظه منابع آب در تأمین مصارف آن است که لزوم اقدامات مدیریتی خاص نظیر تغییر الگوی کشت، تعیین عمق بهینه یا استفاده از سایر منابع را ایجاب می‌نماید.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تحت قرارداد شماره ۰۶-۱۳۹۹-۰۲ انجام شد که به این وسیله سپاسگزاری می‌شود.

نتیجه‌گیری

خروجی‌های هر دو مدل VENSIM و PySD کاملاً بر هم مطابقت دارند که این مسئله یکی از بنیادی‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق است. لازم بذکر است که بعد از ساخت اولیه مدل، و تبدیل بسته تحت پایتون آن، می‌توان تنها با کمی آشنایی با زبان پایتون و اجزای مدل ساخته تحت VENSIM، هر گونه تغییری را بدون رجوع به نسخه اصلی آن در محیط پایتون اجرا و نتایج را در زمان بسیار کمی ارزیابی کرد. اگرچه شاید به‌نظر برسد نسخه PySD تفاوت چندانی با VENSIM ندارد، ولی باید دانست که این توسعه مدل مقدمه‌ای برای تلفیق مدل دینامیک سیستم با مدل‌های بیوفیزیکی است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد در صورت انتخاب ضرایب اصلاحی مخزن و نیاز آبی به ترتیب ۱/۸ و ۰/۸، مدل PySD توانایی بالایی در شبیه‌سازی تخصیص منابع آب در حوضه آبریز تجن دارد. نتایج تراز منابع و مصارف آب در حوضه آبریز تجن در شرایط موجود توسط مدل PySD در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳ نشان داد که تقاضای کشاورزی در منطقه فینسک، شهید رجایی، زارم و بند انحرافی تجن به‌ترتیب ۱۸، ۱۴۶، ۹۳ و ۴۷۸ میلیون متر مکعب است که به‌ترتیب شش میلیون مترمکعب (۳۳ درصد)، ۹۳ میلیون مترمکعب (۶۳ درصد)، ۱۰۰ میلیون مترمکعب (۵۹ درصد) و ۳۸۰ میلیون مترمکعب (۸۰ درصد) تأمین شده است که تنها در منطقه بند انحرافی تجن، قابلیت تأمین ۸۰ درصد رعایت شده و در

References

- 1- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D. and Wright, J.L., 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 131(1), pp.2-13. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(2).
- 2- Al-Zahrani, M.A. and Abo-Monasar, A., 2015. Urban residential water demand prediction based on artificial neural networks and time series models. *Water resources management*, 29, pp.3651-3662.
- 3- Cosgrove, W.J. and Loucks, D.P., 2015. Water management: Current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, 51(6), pp.4823-4839. Doi: 10.1002/2014WR016869.
- 4- Flinn, J.C. and Guise, J.W., 1970. An application of spatial equilibrium analysis to water resource allocation. *Water Resources Research*, 6(2), pp.398-409. Doi: 10.1029/WR006i002p00398.
- 5- Fu, Z.H., Zhao, H.J., Wang, H., Lu, W.T., Wang, J. and Guo, H.C., 2017. Integrated planning for regional development planning and water resources management under uncertainty: A case study of Xining, China. *Journal of Hydrology*, 554, pp.623-634. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.08.022.
- 6- Gregersen, J.B., Gijsbers, P.J.A. and Westen, S.J.P., 2007. OpenMI: Open modelling interface. *Journal of hydroinformatics*, 9(3), pp.175-191. Doi: 10.2166/hydro.2007.023.
- 7- Habibi Davijani, M., Banihabib, M. E., Nadjafzadeh Anvar, A. and Hashemi, S. R. 2016. Multi-objective optimization model for the allocation of water resources in arid regions based on the maximization of socioeconomic efficiency. *Water resources management*, 30, 927-946.
- 8- Hashemi, S.F. and Shahnazari, A., 2015. Evaluating Reliability Index and Determining the Allocation Levels of Water Resources in Water User Association of Alborz Scheme. *Water and Soil*, 29(5), pp.1232-1246. Doi: 10.22067/jsw.v29i5.34561 .(In Persian)
- 9- Hashemi, S. F., Shahnazari, A., Rayini, M., Shahbazbegian, M. and Adamowski, J. F. 2020. Water Resource Allocation and Crop Yield Simulation in Tajan Plain Watershed by Coupling of WOFOST and VENSIM Models. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. No. 3, Vol. 14. (In Persian)
- 10-Hashemi, S Rayeni, M. and Shahbazbegian, M., 2021. Evaluation of Optimal Cropping Pattern in Tajan Watershed with Systematic Modeling. *Journal of Watershed Management Research*, 12(23), pp.155-168. Doi: 10.52547/jwmr.12.23.155 .(In Persian)
- 11-Hashimoto, T., Stedinger, J.R. and Loucks, D.P., 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water resources research*, 18(1), pp.14-20. Doi: 10.1029/WR018i001p00014.
- 12-He, L., Bao, J., Daccache, A., Wang, S., and Guo, P. 2020. Optimize the spatial distribution of crop water consumption based on a cellular automata model: a case study of the middle Heihe River basin, China. *Science of the Total Environment*, 720, 137569. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137569.
- 13-Honti, G., Dörgö, G. and Abonyi, J., 2019. Review and structural analysis of system dynamics models in sustainability science. *Journal of Cleaner Production*, 240, p.118015. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118015.
- 14-Horlemann, L. and Jafari Berenji, P., 2017. Participation in water Management in Iran. *Reviving the Dying Giant: Integrated Water Resource Management in the Zayandeh Rud Catchment, Iran*, pp.51-62.
- 15-Hosseinpur, Z., Menhaj, M.H. and Kavooosi-Kalashami, M., 2016. Assessment Improving and organizing mechanism of water users cooperatives using AHP method in Esfarayen County, Iran. *International*

- Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD)*, 6(1047-2017-1689), pp.339-351. Doi: 10.22004/ag.econ.262600.
- 16-Hou, C., Wen, Y., Liu, X. and Dong, M., 2021. Impacts of regional water shortage information disclosure on public acceptance of recycled water—evidences from China's urban residents. *Journal of Cleaner Production*, 278, p.123965. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123965.
- 17-Houghton, J., 2018. PySD Documentation Release 0.9. 0. *Read the Docs*
- 18-Houghton, J. and Siegel, M., 2015. Advanced data analytics for system dynamics models using PySD. *revolution*, 3(4).
- 19-Houghton, J., Siegel, M., Wirsch, A., Moulton, A., Madnick, S.E. and Goldsmith, D., 2014. A survey of methods for data inclusion in System Dynamics models: methods, tools and applications.
- 20-Inam, A., Adamowski, J., Prasher, S., Halbe, J., Malard, J. and Albano, R., 2017a. Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management—Part 1: model development. *Journal of Hydrology*, 551, pp.596-618. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.03.039.
- 21-Inam, A., Adamowski, J., Prasher, S., Halbe, J., Malard, J. and Albano, R., 2017b. Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management. Part 2: Model coupling and application. *Journal of Hydrology*, 551, pp.278-299. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.03.039.
- 22-Khoshravesh, M. and Valizadeh, M., 2017. The Effects of Constructing Irrigation and Drainage Network of Rajaei Dam on Spatial and Temporal Changes of Groundwater Quality and Quantity. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 21(2), pp.1-14. (In Persian)
- 23-Kiani, A.R., 2010. Optimal irrigation scheduling based on water-yield relations in soybean cultivars. *Journal of Agricultural Engineering Research (Iran)*, 11(1), pp.85-102. (In Persian)
- 24-Loucks, D.P., 2000. Sustainable water resources management. *Water international*, 25(1), pp.3-10.
- 25-Ma, Y., Li, Y.P., Huang, G.H. and Liu, Y.R., 2020. Water-energy nexus under uncertainty: Development of a hierarchical decision-making model. *Journal of Hydrology*, 591, p.125297. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125297.
- 26-Madani, K., 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. *Journal of environmental studies and sciences*, 4, pp.315-328.
- 27-Malard, J.J., Inam, A., Hassanzadeh, E., Adamowski, J., Tuy, H.A. and Melgar-Quiñonez, H., 2017. Development of a software tool for rapid, reproducible, and stakeholder-friendly dynamic coupling of system dynamics and physically-based models. *Environmental modelling & software*, 96, pp.410-420. Doi: 10.1016/j.envsoft.2017.06.053.
- 28-Marin, C.M. and Smith, M.G., 1988. Water resources assessment: A spatial equilibrium approach. *Water Resources Research*, 24(6), pp.793-801. Doi: 10.1029/WR024i006p00793.
- 29-Naghdi, S., Bozorg-Haddad, O., Khorsandi, M. and Chu, X., 2021. Multi-objective optimization for allocation of surface water and groundwater resources. *Science of the Total Environment*, 776, p.146026. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146026.

- 30-Peck, A., Neuwirth, C. and Simonovic, S.P., 2014. *Coupling System Dynamics with Geographic Information Systems: CCaR Project Report. University of Western Ontario Department of Civil and Environmental Engineering* (No. 086). report.
- 31-Prodanovic, P. and Simonovic, S.P., 2010. An operational model for support of integrated watershed management. *Water resources management*, 24, pp.1161-1194.
- 32-Read, L., Madani, K. and Inanloo, B., 2014. Optimality versus stability in water resource allocation. *Journal of environmental management*, 133, pp.343-354. Doi: 10.1016/j.jenvman.2013.11.045.
- 33-Shrestha, N.K., Leta, O.T., De Fraigne, B., Van Griensven, A. and Bauwens, W., 2013. OpenMI-based integrated sediment transport modelling of the river Zenne, Belgium. *Environmental Modelling & Software*, 47, pp.193-206. Doi: 10.1016/j.envsoft.2013.05.004.
- 34-Sun, S., Wang, Y., Liu, J., Cai, H., Wu, P., Geng, Q. and Xu, L., 2016. Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. *Journal of Hydrology*, 532, pp.140-148. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.11.028
- 35-Tennant, D.L., 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1(4), pp.6-10. Doi: 10.1577/1548-8446(1976)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2
- 36-Trieu T.T. 2005. Water Balance Analysis in Ea Knir Catchment, Dak Lak, Vietnam. *Integrated Watershed Management: Studies and Experiences from Asia*.
- 37-Van Rossum, G. and Drake Jr, F. L. 2014. The python language reference. *Python Software Foundation: Wilmington, DE, USA*.
- 38-Wei, F., Zhang, X., Xu, J., Bing, J. and Pan, G., 2020. Simulation of water resource allocation for sustainable urban development: An integrated optimization approach. *Journal of cleaner production*, 273, p.122537. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122537.
- 39-Yu, S. and Lu, H. 2018. An integrated model of water resources optimization allocation based on projection pursuit model–Grey wolf optimization method in a transboundary river basin. *Journal of Hydrology*, 559, 156-165. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.033.

EXTENDED ABSTRACT

Comparative evaluation of Karoon river status based on water quality and pollution indices (case study: Bavi county)

K. Hamidi¹, M. Cheraghi^{2*} and K. Almasieh³

1- MSc student of Ecohydrology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

2* - Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, (Cheraghi.mitra@asnrukh.ac.ir).

3- Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 27 April 2024

Revised: 20 June 2024

Accepted: 22 June 2024

Keywords:

Water Quality, NSFQI,
IRWQIsc, Liou.

TO CITE THIS ARTICLE:

Hamidi, K., Cheraghi, M., Almasieh, K. (2024). 'Comparative evaluation of Karoon river status based on water quality and pollution indices (case study: Bavi county)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(3), pp. 107-121. doi: 10.22055/jise.2024.46748.2125

Introduction

Nowadays, due to the expansion of urbanization, the emergence of various industries and the increase in the level of social well-being, irreparable damage has been caused to the environment, including the loss of forests and rangelands, the discharge of urban and industrial wastewater into rivers and seas, and the lack of drinking water resources pointed out that it has caused problems for humans (Zhang et al., 2010). In terms of quantity and quality, water is one of the most important and vital parts of any ecosystem and affects all its aspects. Reducing the amount of water flow and its quality have important negative effects on the ecosystem and its organisms. Therefore, determining the flow regime and water quality of the river is an important factor determining the health of the river (Razzaghi Rezaieh et al., 2017). Water quality indicators (WQI) are one of the best and easiest ways to determine the status and conditions of water quality, which determine the quality characteristics of water without statistical and mathematical complications; used for quality and necessary decisions. (Hassan Khan et al., 2011).

Zamani et al. (2020) investigated the water quality of Beheshtabad river using the Liou pollution index measured along the river at 7 selected stations during six months. The results showed that the Liou pollution index was in a good quality range and the parameters were within the standard range. All three indicators were within the good quality of water in the study area.

Methodology

In the current research, to analyze the water quality characteristic of Karoon River in Bavi county, the methods of NSFQI and IRWQIsc quality indicators of Liou pollution index were used and evaluated.

NSFQI, IRWQIsc and Liou INDEX

Equation (1) was used to calculate the NSFQI index. This index It is based on 9 parameters such as: BOD, DO, nitrate, total phosphate, temperature change, turbidity, total solids, pH, and Fecal

Coliform. (Shokohi and Bahmani, 2021). In this equation, W_i is the weight parameter, Q_i is the quality parameters and n is the number of calculation parameters of this index and it is classified according to table (1). Equation (2) was used to calculate the IRWQIsc index based on 11 parameters. In this index, each parameter has a specific weight, and the value of each index for each parameter is obtained using its ranking curve, and the Landa value is equal to the sum of the weights (Table2) (Radwanc et al, 2019).

$$NSFWQI = \sum_{n=1}^n W_i Q_i \tag{1}$$

$$IRWQIsc = (I_i^{W_i})^{1/\lambda} \tag{2}$$

Table 1- National Sanitation Foundation Water Quality Index (Mohseni Bandpey et al., 2014)

Parameters	Coluors	Value	Rank
great	blue	90-100	I
good	green	70-90	II
medium	yellow	50-70	III
bad	orange	25-50	IV
Very bad	red	0-25	V





Table 2- Classification of surface water quality of Iran based on IRWQIsc index (Mazlomi et al., 2023)

Parameters	Values
Great	85-100
Good	70-85
Relatively good	55-70
Medium	45-55
Relatively bad	30-45
Bad	15-30
Very bad	0-15

The Taiwan Environmental Protection Agency has used this index as water quality data to classify stations in order to check water quality. In equation 3, S_i is the index score for classification of pollution Table (3) and its average value is checked with four parameters (Liou and et al. 2003).

$$RPI = 1/4 \sum_{n=1}^4 S_i \tag{3}$$

Table 3- - Parameters and classification of River Pollution Index (Aminpour Shiani et al., 2016)

Parameters				
	No pollution	Undeniable pollution	Moderate pollution	High pollution
DO	>6.5	4.6-6.5	2-4.5	<2
BOD	<3	3-4.9	5-15	>15
TDS	<0.5	0.5-0.99	1-3	>3
NH4	<20	20-49	50-100	>100
Index score S_i	1	3	6	10
Value RPI	2>	2-3	3.1-6	>6

Interpolation

ArcGIS 10.3 software and the weighted interpolation technique were used to create a spatial distribution map for measuring water quality, enabling estimation at other points with known coordinates. Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation methods have been used (Equation 4) and its validation was investigated by using equation (5).

$$\sum_{x=1}^n(x) z(x) = \frac{1}{n} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (5)$$

Results and Discussion

According to the Table (4), the values of the measured indicators showed that the highest and lowest values of the NSFQI index were in November and February respectively; on average, it is placed in the average quality ranking with a value of 55. One of the most important reasons for the reduction of this index is the presence of water pumping stations of Ramin power plant and Yadgar Imam power plant to the river, which increases the pollution of this part of the river. In addition, according to the IRWQIsc index, the water quality of the Karoon River was the lowest value in September with average quality, and relatively good quality in August. Total hardness and high dissolved oxygen were ranked in the worst water quality. It is also ranked as average. Based on the LIOU pollution index, it will be more able to moderate pollution than the NSFQI index based on Table(3). Based on this index, in July with a value of 3.8, it is relatively polluted and in October with a value of 5.1, it is also ranked as relatively polluted. Due to the presence of agricultural and industrial wastewater along the Karoon river, of the lack of high quality for drinking was verified and needs to be purified. The IDW interpolation method was found to be more accurate in estimating data. The NSFQI index showed the highest quality of water at Kot Seyed Sultan, while the Liou index indicated medium pollution at Zargan and Ramin power plant. The IRWQIsc index showed the highest quality of water at Kot Seyed Sultan, while the green index indicated average quality at Ramin power plant. These results suggest the IDW method is more accurate in estimating water quality (Figure1).

Table 4-the numerical value of indices in Karoon river

Index	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sepr	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
Liou	4.1	4	4.3	3.8	3.9	4.3	5	3.9	4.1	4.3	3.8	4.1
IRWQIsc	58	54	56.7	57.7	61.7	48.9	49.2	57	54.2	55.1	54	49.9
NSFWQI	58.5	58.9	54.4	56.7	59.2	55.3	54.1	59.5	53.4	53	47.1	50

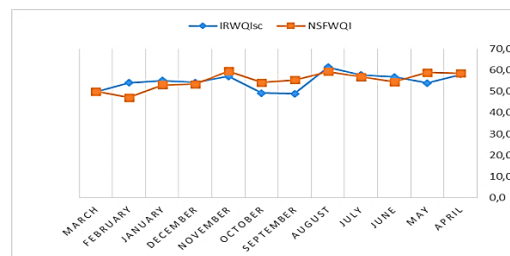


Fig 1- Monthly chart of water quality change

Conclusion

In the current research, using quality indicators and water pollution as the most important water quality indicators, the water quality of the Karoon River was analyzed. Due to the fact that many studies and researches have not been done to investigate the water quality of Iranian rivers in terms of quality grading, the use of NSFQI, IRWQI and Liou techniques are suitable as simple methods for the initial knowledge of river quality and can be used by managers and engineers for quality protection planning. Regular monitoring of rivers in a targeted manner planning and appropriate design and then grading it with the method of qualitative indicators provide the possibility of access

to changes and qualitative developments and predicting pollution reduction measures in the river catchment area for managers and officials.

Acknowledgements

This article is a part of the master's thesis of Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Also, the authors of the article are grateful to Khuzestan Water and Wastewater Department for Cooperation in sampling and laboratory analysis.

References

1. Aminpour Shiani, S., Mohamadi. M., Khaledian, M. and Mirroshandel, A., 2016. Water Quality Evaluation of Gazroudbar River Using NSFQI and Liou Indices. *Wetland Ecobiology*, 8, 63-74 (In Persian). <http://jweb.iauhvaz.ac.ir/article-1-407-fa.html>.
2. Hassan Khan, H., A. Khan, S., Ahmed and J. Perrin., 2011. GIS-based impact assessment of land-use changes on groundwater quality: study from a rapidly urbanizing region of South India. *Environmental Earth Sciences* 63(6): 1289-1302 doi:10.1007/s12665-010-0801-2
3. Liou, S. M., Lo, S. L. and Hu, C. Y., 2003. Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation In Taiwan. *Water Research*, 37(6): 1406-1416. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00479-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00479-7)
4. Mazlomi, M., Hatami, A., Moridi, A., & Khalili, R., 2023. Sensitivity assessment of the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) and IRan Water Quality Index for Surface Water Resources (IRWQIsc) on the water quality of the Neka River. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (3), 581-592. <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.355941.1059>
5. Mohseni Bandapay, A. Majlisi, M. Kazempour, A., 2014. Investigation of the water quality of the Gol Gol River in Ilam based on NSFQI water quality index, *Health Quarterly in Shahid Beheshti University of Medical Sciences*, No. 4, pp. 45-53. (In Persian)
6. Radwanc, A. Abdelmoneim, M. Basiony, A and El-Alfy M., 2019. Water pollution monitoring in Idku Lake (Egypt) using phytoplankton and NSFQI. *Egypt. J Aqua. Bio. Fisheries.*, 23(4), 465–481 doi:[10.21608/ejabf.2019.57161](https://doi.org/10.21608/ejabf.2019.57161)
7. Razzaghi Rezaieh, A. Ahmadi. H, Haq Doust, N.A, Hissari, B., 2017. Evaluating the environmental flow of the river with ecohydrology methods (case study: Mahabadcha River). *Water and Soil Conservation Research*, pp. 47-60. (In Persian). doi: 10.22069/JWSC.2019.14563.2939.
8. Shokohi. A.R and Bahmani. O., 2021. A comparative study of NSFQI and IRWQISC indices in the quality assessment of rivers. *Journal of water and soil resources protection*, 10th year, number 3. <https://sid.ir/paper/412651/fa>.
9. Zamani Ahmad Mahmoudi, R. Fathi, E. Bayati, S., 2019. victim of Dashtaki, Pune. Investigating the water quality of Behesht Abad river using Liou pollution index and main watersheds. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*. Volume 33, Number 3, p. 417_405. doi: 10.22067/jsw.v0i0.79102 (In Persian) .
10. Zhang J, Shen Z, Shan W, Chen Z, Mei Z, Lei Y., 2010. Adsorption behavior of phosphate on lanthanum (III) doped mesoporous silicates material. *Journal of Environmental Sciences (China)*,; 22(4): 507-11. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60141-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60141-8).





ارزیابی مقایسه‌ای وضعیت رودخانه کارون براساس شاخص‌های کیفیت آب و آلودگی (مطالعه موردی: شهرستان باوی)

کبری حمیدی^۱، میترا چراغی^{۲*} و کامران الماسیه^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی
cheraghi.mitra@asnrukh.ac.ir

۳- دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی.

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۳۱

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸

چکیده

رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت و شرب دارند. بنابراین تعیین رژیم جریان و کیفیت آب رودخانه یک عامل مهم تعیین‌کننده سلامت رودخانه است. در این پژوهش، برای تعیین کیفیت و پهنه‌بندی آب رودخانه کارون (محدوده شهرستان باوی) با استفاده از شاخص IRWQISC، شاخص کیفی NSFQI و شاخص آلودگی Liou، نمونه‌برداری ماهانه از آب از فروردین تا اسفند ماه ۱۴۰۲ انجام شد. استفاده از این سه شاخص و ارائه آن‌ها به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی، یک رویکرد جامع برای ارزیابی و مدیریت کیفیت آب فراهم می‌کند تا امکان درک بهتر سلامت و پایداری منابع آب توسط مدیران و تصمیم‌گیرندگان صورت گیرد. بر اساس نتایج شاخص IRWQISC، کیفیت رودخانه در رده متوسط تا نسبتاً خوب بوده در حالی که بر اساس شاخص NSFQI، آب رودخانه در طبقه کیفی بد تا متوسط و بر اساس شاخص Liou، در طبقه نسبتاً آلوده قرار دارد. به نظر می‌رسد که شاخص NSFQI و شاخص Liou سخت‌گیرانه‌تر برخورد می‌کنند اما می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای استفاده و ارزیابی کیفیت آب برای مصارف مختلف باشند. با توجه به کاهش کیفیت آب از ایستگاه‌های بالادست به سمت پایین‌دست محدوده مورد مطالعه، تأثیر فعالیت‌های صنعتی، زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری را نباید نادیده گرفت و پایش مداوم کیفیت آب در این محدوده ضروری می‌باشد.

کلید واژه‌ها: کیفیت آب، NSFQI، IRWQISC، Liou.

مقدمه

آب را تعیین و برای ایجاد تصمیم‌های لازم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hassan Khan et al., 2011).

یکی از مهم‌ترین این شاخص‌ها می‌توان به شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (National Sanitation Foundation Water Quality Index) اشاره کرد. این معیار برای ارزیابی کیفی آب توسط Brown et al (1972) توسعه داده شد. اهمیت ملی و همچنین به‌کارگیری ساده این شاخص، جایگاه آن را در فضای کارشناسی کیفیت آب توسعه داد تا آنجا که علی‌رغم گذشت زمان طولانی از توسعه این روش، همچنان کارایی خود را حفظ کرده است. این شاخص شامل نه پارامتر، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن محلول، کدورت، pH، کلی‌فرم مدفوعی، فسفات، نترات، دما و کل جامدات معلق (Total Suspended Solids) است و یک وزن یا یک مقدار عددی به هر یک از پارامترها اختصاص داده می‌شود و سرانجام از روابط ریاضی برای محاسبه شاخص نهایی استفاده می‌شود (Shokohi and Bahmani, 2021). یکی دیگر از شاخص‌ها،

امروزه به دلیل گسترش شهرنشینی، ظهور انواع صنایع و افزایش سطح رفاه اجتماعی، صدمات جبران‌ناپذیری به محیط زیست وارد شده که از آن جمله می‌توان به از بین رفتن جنگل‌ها و مراتع، تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به رودخانه‌ها و دریاها، کاهش ضخامت لایه ازن و کمبود منابع آب شرب اشاره کرد که سبب ایجاد مشکلاتی برای بشر شده است (Zhang et al., 2010). از نظر کمی و کیفی، آب یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین بخش‌های هر اکوسیستم است و همه جنبه‌های آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش مقدار جریان آب و کیفیت آن، اثرهای منفی مهمی بر اکوسیستم و زیست‌مندان آن دارند. بنابراین تعیین رژیم جریان و کیفیت آب رودخانه یک عامل مهم تعیین‌کننده سلامت رودخانه است (Razzaghi Rezaieh et al., 2017). شاخص‌های کیفیت آب (Water Quality Index) یکی از بهترین و ساده‌ترین راه‌ها برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب هستند که بدون پیچیدگی‌های آماری و ریاضی، مشخصات کیفی

محدوده اهواز و دارخوین با استفاده از شاخص WQI، بد اعلام کردند در حالی که در تحقیق Hosseini et al (2013)، وضعیت رودخانه کارون در سه ایستگاه در شهر اهواز بر اساس شاخص WQI، متوسط اعلام شده است و Madadnia et al (2015) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. (2024) Nezhadafzali et al. به پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه کارون در کلان شهر اهواز با استفاده از روش سنجش از دور و شاخص کیفی NSFQI پرداختند. نتایج پهنه‌بندی این شاخص نشان داد از سال ۹۲ تا ۹۴ کیفیت آب رودخانه کارون روند نزولی داشته و در رده بد قرار می‌گیرد. کیفیت آب در سال ۹۳ بهتر از سال ۹۲ بوده ولی دوباره در سال ۹۴ روند نزولی داشته است. با توجه به بررسی مطالعه‌های انجام شده در رودخانه کارون، مشاهده می‌شود که کیفیت آب رودخانه کارون در بازه‌های زمانی مختلف تحت تأثیر آلاینده‌های مختلفی از جمله زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و صنعتی قرار داشته است. بنابراین پایش وضعیت کیفیت رودخانه و روند تغییرات آن در طول زمان و مکان با هدف آگاهی از وضع حاکم و اتخاذ تمهیدات مورد نیاز احتمالی در آینده، ضروری به نظر می‌رسد. در موضوعات آلودگی و تعیین کیفیت آب، پایش دوره‌ای بسیار مهم است و با توجه به اینکه، شاخص‌های مختلفی در این زمینه استفاده می‌شود، از این رو ارزیابی مقایسه‌ای این شاخص‌ها و ارائه آن‌ها به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی، یک رویکرد جامع برای ارزیابی و مدیریت کیفیت آب فراهم می‌کند تا امکان درک بهتر سلامت و پایداری منابع آب توسط مدیران و تصمیم‌گیرندگان صورت گیرد. به عبارت دیگر، شاخص‌های تعیین کیفیت و آلودگی، تصویر جامعی از وضعیت یک بدنه آبی را ارائه می‌دهند که بر اساس آن، می‌توان برای اهداف مختلفی مانند شرب، کشاورزی، ماهیگیری و ... برنامه‌ریزی کرد. تفاوت اصلی بین این شاخص‌ها در نحوه ارزیابی آلودگی، تعداد، انواع و وزن پارامترهای مورد استفاده در شاخص است. از این رو در پژوهش حاضر برای تجزیه و تحلیل مشخصه کیفی آب رودخانه کارون در محدوده شهرستان باوی، از روش شاخص‌های کیفی NSFQI، IRWQIsc و شاخص آلودگی Liou استفاده شده است تا ضمن ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب این رودخانه، نقشه‌های پهنه‌بندی این شاخص‌ها برای تصمیم‌گیری و مدیریت بهینه این رودخانه ارزشمند ارائه شوند.

موقعیت جغرافیایی

رودخانه کارون از ارتفاعات زاگرس سرچشمه گرفته با طول ۹۵۰ کیلومتر یکی از طولانی‌ترین رودخانه‌های ایران است که پس از عبور از زاگرس، وارد دشت ساحلی و خلیج فارس می‌شود (Azhdari and Rostami, 2005). رودخانه پس از عبور از شهر اهواز، هم‌چنان مسیر جنوبی را ادامه داده تا در نزدیکی خرمشهر به بهمن‌شیر و اروندرود متصل می‌شود (Saif and

شاخص آلودگی (Liou) است که توسط Liou et al (2003) یافت. این شاخص برای تعیین سلامت رودخانه بوده و در آن به پارامترهای انتخاب شده امتیاز استاندارد بر اساس منحنی‌های دسته‌بندی داده می‌شود. این شاخص شامل چهار پارامتر اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، مواد جامد معلق و نیتروژن آمونیاکی است. در مطالعه Aminpour (2016) Shiani et al. کیفیت آب رودخانه گازرودبار با استفاده از شاخص کیفی NSFQI و شاخص آلودگی Liou در طی ۱۲ ماه بررسی شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میانگین شاخص کیفی در محدوده ۵۰ تا ۶۰ و شاخص آلودگی ۱/۱ تا ۳/۸۵ قرار دارد که بر اساس شاخص کیفی در رده متوسط و بر اساس شاخص آلودگی در رده اندکی آلوده قرار گرفته است. Zamani et al. (2019) کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد را با استفاده از شاخص آلودگی Liou در هفت ایستگاه انتخابی در طول رودخانه به مدت شش ماه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که شاخص آلودگی Liou در محدوده کیفی خوب و هم‌چنین پارامترها در حد استاندارد واقع شدند.

Khalili et al. (2020) به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه گرمارد از سه شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI)، شاخص آلودگی رودخانه (RPI) و شاخص کیفیت وزنی حسابی آب (WAWQI) در طی رودخانه در دو بازه زمانی تابستان و زمستان سال ۱۳۹۸ استفاده کردند که هر سه شاخص بیان‌گر کیفیت خوب آب منطقه مورد مطالعه است. Gholizdeh و Heydari (2020) به ارزیابی کیفیت آب رودخانه گرگان‌رود بر پایه شاخص‌های کیفی IRWQIsc، NSFQI و شاخص آلودگی Liou و مقایسه آن‌ها با استانداردهای جهانی پرداختند و ۱۲ پارامتر در طول رودخانه از خرداد ماه ۱۳۹۷ تا اردیبهشت ۱۳۹۸ را سنجش کردند. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و کلی فرم مدفوعی با مقادیر استاندارد وجود دارد. هم‌چنین نتایج شاخص‌های کیفیت آب بیان‌گر تأثیرات بسیار زیاد خروجی فاضلاب‌های شهری و زیاله‌های انسانی در حریم رودخانه است. بالاترین وضعیت کیفی مربوط به ایستگاه یک که دسترسی کمتری برای توسعه فعالیت‌های انسانی وجود داشت، بود. Shanmugasundharam et al. (2023) کیفیت آب رودخانه Karamana در سواحل غربی هند را با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) ارزیابی کردند. اکثر ایستگاه‌ها، کیفیت آب مناسب تا خوب را نشان دادند و ایستگاه‌هایی که در آن فعالیت‌های انسانی غالب بودند، در طبقه آلوده قرار گرفتند.

Shamsaii et al. (2005)، به بررسی و پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه کارون در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳ پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که وضعیت کیفی رودخانه کارون در طبقه بد تا خیلی بد قرار دارد. Salari et al. (2013) در مطالعه‌ای در فصل تابستان، کیفیت آب رودخانه کارون را در

جدول (۲) و Q_i پارامترهای کیفیت و n نیز تعداد پارامترهای مورد استفاده در محاسبه این شاخص می‌باشد و طبق جدول (۳) طبقه‌بندی می‌شود. شاخص $IRWQIsc$ شاخص تلفیقی از $NSFWQI$ و $BCEQI$ می‌باشد که بر اساس نظریات کارشناسی سازمان حفاظت محیط زیست ایران طراحی شده‌است (راهنمای محاسبه کیفیت منابع آب ایران). این شاخص از ۱۱ پارامتر که هفت تای آن‌ها پارامترهای شاخص $NSFWQI$ را شامل می‌شود. پارامترهای آمونیم (NH_4)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، سختی کل و هدایت الکتریکی را دارا است. در این شاخص نیز هر پارامتر وزن خاصی دارد و مقدار هر شاخص برای هر پارامتر با استفاده از منحنی رتبه‌بندی‌اش بدست می‌آید مقدار لاندا نیز برابر با مجموع وزن‌هاست (جدول ۴) (Radwanc et al., 2019).

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n W_i Q_i \quad (1)$$

$$IRWQIsc = (I_i^{W_i})^{1/\lambda} \quad (2)$$

(Najmi, 2013). موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل (۱) نشان داده شده است.

انتخاب ایستگاه‌های مورد نظر و نمونه‌برداری

برای دستیابی به اهداف پژوهش، ۱۰ ایستگاه در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید و در طی فروردین تا اسفند ماه ۱۴۰۲ نمونه‌برداری از آب با سه تکرار انجام شد. برای نمونه‌برداری آب از ظروف یک لیتری که اسیدشوئی شده و با آب مقطر شسته شدند، استفاده شد. سپس در هر ایستگاه نمونه‌برداری، بطری نمونه‌برداری ابتدا با نمونه آب مورد نظر پر و خالی شده و سپس از آب مورد نظر پر شد. نحوه سنجش پارامترها در جدول (۱) آورده شده است. سپس با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب و شاخص‌های آلودگی به شرح ذیل، وضعیت آب رودخانه کارون در محدوده شهرستان باوی تعیین شد.

شاخص کیفیت آب $NSFWQI$ و $IRWQIsc$

در به کارگیری شاخص $NSFWQI$ ، از نه پارامتر اصلی که قبلاً به آن‌ها اشاره شده است، استفاده گردید. از رابطه (۱) برای محاسبه شاخص استفاده شد که در این رابطه W_i پارامتر وزن در

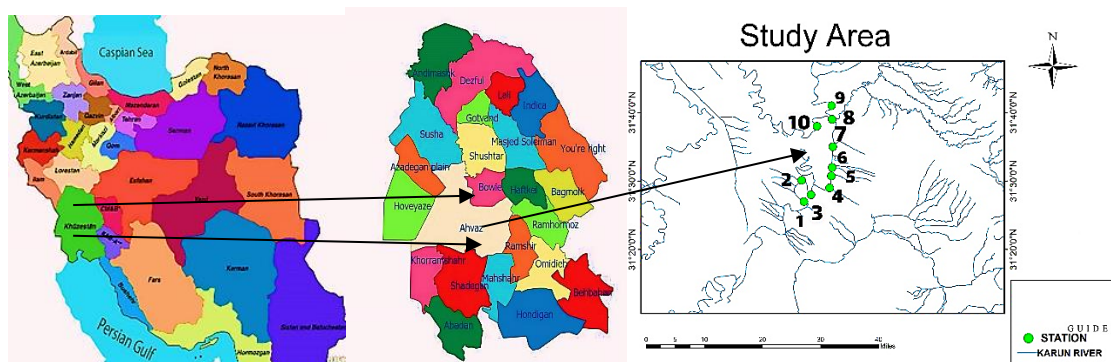


Fig. 1- Study area
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- روش اندازه‌گیری پارامترها

Table 1- Method of measured parameters

parameters	Method
DO	Do meter
PO_4^{-3} , NO_4^{-}	Spectrophotometer
BOD, pH	pH meter, Weight difference
TSS	Weighing method
Fecal coliform	MPN
Temperature	Mercury Thermometer
Turbidity	Turbidity meter
EC	EC meter
NH_4^{+}	Spectrophotometer
COD	Titration
Total Hardness	Titration

جدول ۲- پارامترهای موردنیاز و وزن انتخاب شده جهت محاسبه شاخص NSFQI (Kumar et al., 2014) و

(Mazlomi et al., 2023) IRWQIsc

Table 2- Required parameters and selected weight for calculating NSFQI (Kumar et al., 2014) and IRWQIsc index (Mazlomi et al., 2023)

INDEX	PO ₄ ⁻³	DO	BOD	COD	pH	TSS	FC	TH	NH ₄ ⁺	EC	TUR	TEM	NO ₄ ⁻
IRWQIsc	0.087	0.097	0.117	0.093	0.051	-	0.14	0.059	0.09	0.096	0.062	-	0.108
NSFWQI	0.1	0.17	0.11	-	0.11	0.07	0.16	-	-	-	0.08	0.1	0.1

جدول ۳- شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI) (Mohseni Bandpey et al., 2014)

Table 3- National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI)

(Mohseni Bandpey et al., 2014)

parameters	colours	value	rank
great	blue	90-100	I
good	green	70-90	II
medium	yellow	50-70	III
bad	orange	25-50	IV
Very bad	red	0-25	V

جدول ۴- طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی ایران براساس شاخص IRWQIsc (Mazlomi et al., 2023)

Table 4- Classification of surface water quality of Iran based on IRWQIsc index

(Mazlomi et al., 2023)

parameters	colours	value
great		85-100
Good		70-85
Relatively good		55-70
Medium		45-55
Relatively bad		30-45
bad		15-30
Very bad		0-15

درون‌یابی و تهیه نقشه توزیع مکانی

با کمک نرم‌افزار ArcGIS 10.3 و با استفاده از روش درون‌یابی وزنی، نقشه توزیع مکانی برای سنجه کیفیت آب ترسیم گردید. در زمین آمار می‌توان با داشتن مقادیر یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار آن کمیت را در نقطه دیگری با مختصات معلوم برآورد نمود. (Hasanipak, 1998; Asakereh, 2008). در این بررسی، به‌منظور تعیین نقشه توزیع مکانی سنجه کیفیت آب از روش‌های درون‌یابی میانگین وزنی عکس فاصله (Inverse Distance Weighted- IDW) استفاده شده است رابطه (۴) و با استفاده از رابطه (۵) صحت‌سنجی آن انجام شد.

$$z(x) = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n (x) \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - x_i)^2} \quad (5)$$

شاخص آلودگی Liou (RPI)

اداره حفاظت از محیط زیست تایوان با استفاده از داده‌های کیفیت آب (اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی زیستی، مواد جامد معلق و نیتروژن آمونیاکی)، شاخص RPI را محاسبه کرده و از آن برای طبقه‌بندی ایستگاه‌ها و نظارت بر کیفیت آب استفاده می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند مرجع ارزشمندی برای مدیریت آلودگی آب رودخانه باشد (Tien et al., 2020). در این معادله River Pollution Index، شاخص آلودگی رودخانه، S_i نمره شاخص برای طبقه‌بندی آلودگی می‌باشد و با میانگین مقدار " S_i " برای هر چهار پارامتر ارزش شاخص RPI طبق جدول (۵) مشخص می‌شود (Liou et al., 2003, Chen et al., 2019).

$$RPI = \frac{1}{4 \sum_{i=1}^4 S_i} \quad (3)$$

جدول ۵- پارامترها و طبقه‌بندی شاخص آلودگی رودخانه (Aminpour Shiyani et al., 2016)

Table 5- Parameters and classification of River Pollution Index (Aminpour Shiyani et al., 2016)

Parameters	▲	▲	▲	▲
	No pollution	Undeniable pollution	Moderate pollution	High pollution
DO	>6.5	4.6-6.5	2-4.5	<2
BOD	<3	3-4.9	5-15	>15
TDS	<0.5	0.5-0.99	1-3	>3
NH ₄	<20	20-49	50-100	>100
Points of "i" (S _i)	1	3	6	10
RPI	<2	2-3	3.1-6	>6

نتایج و بحث

برای نشان دادن وضعیت کلی کیفیت آب رودخانه کارون بر اساس شاخص‌های کیفی و آلودگی، نقشه‌های پهنه‌بندی ترسیم گردید که دقت و صحت روش درون‌یابی IDW با سنجه RMSE ارزیابی گردید (جدول ۹). بنابراین با توجه به داده‌های به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که روش IDW تخمین صحیحی از داده‌ها داشته است. نتایج پهنه‌بندی صورت گرفته بر اساس شاخص NSFQI، بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه شماره سه یعنی کوت سید سلطان با رنگ زرد و کیفیت متوسط و کمترین مقدار با رنگ نارنجی مربوط به ایستگاه شماره هفت، هشت، نه و ده و کیفیت بد آب رودخانه را نشان می‌دهد. براساس نتایج پهنه‌بندی صورت گرفته بر اساس شاخص Liou بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه شماره پنج و یک یعنی زرگان و ایستگاه پمپاژ آب نیروگاه رامین با رنگ نارنجی، آلودگی متوسط و کمترین مقدار با رنگ قرمز مربوط به ایستگاه شماره سه (کوت سید سلطان) نشان دهنده آلودگی کم آب رودخانه است. براساس نتایج پهنه‌بندی صورت گرفته بر اساس شاخص IRWQIsc بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه شماره سه یعنی کوت سید سلطان با رنگ صورتی کیفیت نسبتاً خوب و کمترین مقدار با رنگ سبز مربوط به ایستگاه شماره چهار (پمپاژ آب نیروگاه رامین)، نشان دهنده کیفیت متوسط آب رودخانه کارون است (شکل ۳).

استفاده از شاخص NSFQI و IRWQIsc از دقت بالایی برخوردار هستند اگرچه این پارامترها به شدت به شاخص‌های آلودگی حساس هستند و با حذف هر یک از پارامترها به دلیل تغییر ضرایب وزنی، نتیجه به‌دست آمده تغییر قابل توجهی می‌کند. در شاخص Liou از یک تابع جمع‌بندی غیروزی برای محاسبه شاخص کلی استفاده می‌شود. از جمله محدودیت‌های این نوع جمع‌بندی در این شاخص، تحت تأثیر قرار گرفتن شاخص کلی با زیر شاخص‌های با ارزش وزنی پایین می‌باشند. به عبارت دیگر زیر شاخص‌های مهم‌تر با شاخص‌ها با اهمیت کمتر در یک سطح قرار می‌گیرند و می‌توانند تحت تأثیر دیگر زیرشاخص‌ها نیز قرار گیرند (Sahoo and Swain, 2020). اما در شاخص NSFQI و IRWQIsc، وزن‌دهی به پارامترها یک مزیت محسوب می‌شود. با توجه به اینکه پارامترهای مورد استفاده در شاخص‌های مختلف از نظر تعداد و وزن با هم متفاوت هستند، لذا اختلاف در نتایج شاخص‌ها امری طبیعی می‌باشد. بنابراین لازم است که با توجه به

با توجه به مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در شکل (۲) مشاهده می‌شود بیشترین مقدار شاخص NSFQI در مرداد ماه و کمترین آن در بهمن ماه است که در رتبه‌بندی متوسط در مرداد ماه و بد در بهمن ماه قرار می‌گیرد که می‌تواند نشان دهنده ورود آلاینده‌هایی به رودخانه و بالا بودن مقدار اکسیژن محلول و کاهش درجه حرارت باشد. با توجه به جدول (۶)، آب رودخانه مناسب برای استفاده در صنعت و آبیاری است ولی برای آشامیدن نامناسب می‌باشد. یکی از مهم‌ترین علت‌های کاهش این شاخص وجود ایستگاه‌های تخلیه پمپاژ آب نیروگاه رامین و نیروگاه یادگار امام به رودخانه است که احتمالاً باعث افزایش آلودگی این ناحیه از رودخانه می‌شود. همچنین کیفیت آب رودخانه کارون با توجه به شاخص IRWQIsc در شهریور ماه کمترین مقدار و از کیفیت متوسط و در مرداد ماه در کیفیت نسبتاً خوب قرار می‌گیرد با توجه به این شاخص اکثر نمونه‌های آب در رده متوسط قرار می‌گیرند. در شاخص کیفی آب ایران، کلی فرم مدفوعی، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی و نیز نیترات دارای بیشترین وزن می‌باشند، از این رو می‌توان کیفیت پایین آب رودخانه را به تأثیر مقادیر اندازه‌گیری شده این پارامترها مرتبط دانست. ایستگاه کوت سید سلطان به دلیل ورود فاضلاب کشاورزی و ایستگاه ویس به دلیل فاضلاب نیروگاه رامین دارای کمترین کیفیت آب هستند. با توجه به جدول (۷) و نتایج این شاخص، آب این محدوده نیز مناسب استفاده در صنعت و آبیاری زمین‌های کشاورزی می‌باشد اما برای شرب، نامناسب است. از دلایل نامناسب بودن آن، می‌توان به وجود نیروگاه رامین و همچنین تخلیه فاضلاب‌های شهرستان ملاتانی به این رودخانه اشاره کرد.

بر اساس نتایج جدول (۸)، شاخص آلودگی Liou نسبت به شاخص NSFQI قابلیت بیشتری در تعیین آلودگی دارد. کمترین میزان شاخص Liou در بهمن و تیر ماه با مقدار ۳/۸ و بیشترین میزان این شاخص، در مهر ماه با مقدار ۵/۱ می‌باشد که دارای آلودگی متوسط می‌باشند که می‌تواند به دلیل وجود فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی به خصوص نیروگاه رامین در طی مسیر رودخانه کارون باشد. لذا آب این محدوده از کیفیت بالایی برای آشامیدن برخوردار نیست و نیاز به تصفیه دارد.

متوسط قرار دارد و برخلاف تفاوت‌های موجود در پارامترهای مورد استفاده و روش محاسبه این دو شاخص، نتایج هر دو روش برای ارزیابی کیفیت آب، هم‌پوشانی دارند.

Hosseini et al. (2013) کیفیت آب رودخانه کارون با شاخص کیفیت آب NSFQI در طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۰ در بازه ایستگاه‌های زرگان تا کوت امیر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که کیفیت آب رودخانه کارون، از رده خوب و متوسط در سال ۱۳۸۶ به رده بد در اسفند ۱۳۹۰ تنزل یافته است و رودخانه در طبقه سه نظام طبقه‌بندی سالانه کیفیت آب می‌باشد و در این بازه خودپالایی رودخانه در حد کم می‌باشد. Shokohi و Bahmani (2021) به ارزیابی کیفی رودخانه‌های استان خوزستان در سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۶ پرداختند. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، کیفیت آب کارون در دو ایستگاه ملاتانی و اهواز با شاخص IRWQI در رده نسبتاً بد و با شاخص NSFQI در رده متوسط قرار می‌گیرد. Kolah Kaj et al. (2016) به منظور بررسی روند تغییرات کیفی آب رودخانه کارون با استفاده از پارامترهای کیفی بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیش‌ترین آلودگی را ایستگاه‌های (گرگر_شوشتر و اهواز_پل پنجم) نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشتند که حاکی از تراکم جمعیتی در این مناطق بوده طوری که فاضلاب‌های شهری بدون هیچ گونه تصفیه‌ای وارد رودخانه می‌شوند. با توجه به اینکه فاضلاب‌های صنعتی و پساب‌های کشاورزی فاکتورهای اثرگذار بر پارامترهای کیفی هستند، پیشنهاد می‌شود که این فاضلاب‌ها پس از تصفیه مناسب اجازه تخلیه به این رودخانه را داشته باشند.

در جمع‌بندی می‌توان ذکر کرد که کیفیت آب رودخانه کارون به دلیل تراکم منابع آلاینده‌های مختلف تحت تأثیر قرار گیرد و کیفیت آب رودخانه را کاهش دهد در مطالعه‌های انجام شده بر روی این رودخانه کیفیت آب معمولاً در رده بد تا متوسط قرار می‌گیرد که معمولاً تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بوده است. کیفیت آب رودخانه کارون بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی در رده متوسط و بر اساس شاخص آلودگی در رده آلودگی متوسط قرار می‌گیرد.

هدف استفاده از اکوسیستم‌های آبی و حساسیت شاخص نسبت به برخی پارامترها، از شاخص مناسب استفاده کرد. به‌عنوان مثال اگر در برنامه‌ریزی برای استفاده از اکوسیستم آبی، پارامتر COD به‌عنوان یک پارامتر مهم و تأثیرگذار باشد، تنها شاخص مورد استفاده در این زمینه، شاخص IRWQIsc می‌باشد زیرا دو شاخص دیگر استفاده شده در این مطالعه، به پارامتر COD توجهی نمی‌کنند.

Shamsaii et al. (2005) نیز با بررسی تطبیقی

شاخص‌های کیفی رودخانه کارون و دز نشان دادند که در شرایطی که نتایج بسیار دقیق و حساس برای پایش کیفیت آب مورد نیاز نیست یا استانداردهای محلی و ملی دارای حساسیت مطلوب می‌باشند، استفاده از شاخص‌های بدون وزن‌دهی نیز می‌تواند مفید واقع شوند.

Hosseinzadeh et al. (2013) بیان کردند در شاخص

NSFWQI برای منظور کردن میزان اثر هر پارامتر به هر یک از آن‌ها یک وزن یا ارزش عددی نسبت داده می‌شود. به‌کار بردن وزنی برای هر پارامتر در ساختار شاخص اصلی و یا زیر شاخص تشکیل دهنده آن باعث افزایش دقت این شاخص می‌شود. این وزن‌دهی‌ها بر اساس درجه اهمیت و میزان اثر هر پارامتر در شاخص اصلی اتخاذ می‌گردند. شاخص NSFQI به دلیل استفاده از روش وزن‌دهی، سادگی، دقت بالا، وسعت کاربرد و در دسترس بودن پارامترهای موردنیاز به عنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی کیفی آب‌های سطحی شناخته شده است.

Kumar et al. (2014) در مطالعه‌ای مشابه به منظور

بررسی کیفیت آب رودخانه ساب رمی به این نتیجه دست یافتند که شاخص NSFQI می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی عالی و کاربردی برای مطالعه کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. Hosseinzadeh et al., (2013) کیفیت آب رودخانه آیدوغموش را با استفاده از شاخص کیفی NSFQI و شاخص آلودگی Liou بررسی نمودند. در این مطالعه پارامترهای کیفی آب از هشت ایستگاه مختلف، طی سال آبی ۱۳۸۹ اندازه‌گیری شد. طبق نتایج این مطالعه بر اساس شاخص NSFQI و Liou کیفیت آب در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در رده

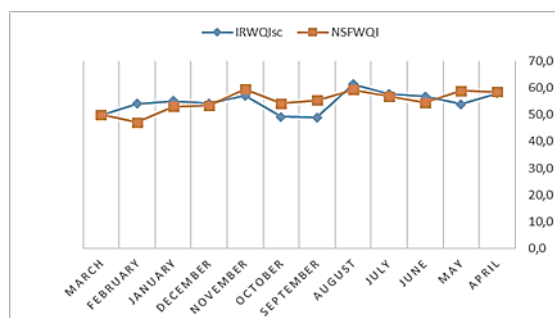


Fig. 2- Monthly chart of water quality change

شکل ۲- نمودار ماهانه تغییرات کیفیت آب

جدول ۶- معادل توصیفی سنجه محاسبه شده (Hernández et al., 2012)
Table 6- Descriptive equivalent of the calculated index (Hernández et al., 2012)

Target	parameters	value
Drink, Industry, Irrigation	Great	0-25
Drink, Industry, Irrigation	Good	26-50
Industry, Irrigation	Medium	51-75
Irrigation	Bad	76-100

جدول ۷- نتایج آنالیز پارامترها
Table 7- Parameter analysis results

Parameters	Apr	May	June	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Des	Jan	Feb	Mar
BOD	1.5± 0.8	2.1±1. 2	2.4±1. 1	1.8±1. 2	1.9±0 .6	1.4±0. 7	0.7±0 .8	2.4±1	1.5±1. 4	2.2±1. 3	2.1±1	2.8±1 .3
COD	11.7 ±6.7	9.9±4. 3	10.2± 3.8	12.9±5 .2	12.5± 2.5	35.8± 41.6	20.3± 8.9	16.4± 7.4	11.2± 3.1	14.4± 6.6	17.5± 2.9	16.3± 5.3
DO (%)	70.8 ±17. 3%	82.7± 23.2%	70.7± 35.2%	70.3±1 0.6%	70.7± 1.1%	62.8± 18.8%	63.6± 19.3	86.8± 20.6%	63.1± 14.1%	56.8± 9.4%	62.5± 6.8%	66.5± 9.9%
EC	166 5.3± 751. 1	1243.1 ±433. 3	1569.7 ±873. 7	2562.7 ±1134. 8	1832. 9±51	4310.2 ±2530 9	4335 ±475 7	2971. 6±140 3	2315. 5±126 7	1613.6 ±416. 6	2270. 8±66 4	1876 ±557 8
FC	93.9 ±55. 3	101.1 ±70.1	116.4 ±74.1	178.3± 69.3	259.1 ±134. 2	251±1 22.5	134± 66.2	184.5 ±75.7	123.9 ±46.3	59.7± 21.8	196.1 ±44	172± 44.2
NH ₄	0.9± 0.5	0.7±0. 2	1.1±0. 7	0.5±0. 2	0.5±0 .1	0.7±0. 4	1.7±1 .4	0.6±0. 2	0.6±0. 2	0.5±0. 1	0.5±0 .1	0.6±0 .2
NO ₃	1.3± 0.9	1.2±0. 9	1.2±0. 6	1.9±0. 8	0.7±0 .6	1.5±0. 4	2.2±0 .4	1.2±0. 8	2.4±0. 8	3.2±1. 4	2±0.3	2.7±0 .3
PO ₄	0.2± 0.1	0.3±0. 1	0.2±0. 1	0.2±0. 3	0.1±0	0.3±0. 1	0.2±0 .1	0.2±0. 1	0.2±0. 1	0.1±0. 1	0.1±0 .3	0.1±0
TH	499. 5±1 55.1	425.5 ±96.5	409.7 ±172. 9	464.5± 116.3	465.9 ±97.7	840.5 ±367	990± 701.4	699±2 20.5	585. 6±170	464.2 ±123. 1	422± 55.3	511.8 ±89
Tur	176. 7±1 82.9	175.6 ±181. 8	38.6± 38.5	23.4±1 3.6	28.5± 20	49.8± 47.4	59.2± 82.1	31.7± 16.5	63.6± 60.1	105.9 ±85.6	62.8± 54.3	175.3 ±40
pH	7.8± 0.4	8.0±0. 6	6.6±2. 7	7.8±0. 5	7.9±0 .2	8±0.3	7.5±0 .2	7.7±1 6.5	8±1.5	7.5±0. 2	7.5±0 .2	7.5±0 .2
TEM	22.5 ±2.2	25±4. 6	28.1± 1.8	25.9±3	28.9± 3.5	25.3± 0.5	27.3± 2.2	22.1± 1.4	19±0. 9	18.8± 8.6	17.4± 1.1	20.5± 2.6
TSS	709. 5±3 37.1	459.5 ±1751	688.1 ±395. 5	939±4 00.9	739.8 ±163. 1	1121.3 ±803. 1	1071. 3±41 2	941.3 ±375. 9	987.3 ±705	744.6 ±335	1043. 2±35	849± 283.9 8

جدول ۸- مقدار عددی شاخص‌ها در رودخانه کارون (از زرگان تا دهستان عنافچه)
Table 8- Numerical value of indices in Karoon river (From Zergan to Anafcheh village)

Index	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sepr	Oct	November	Des	Jan	Feb	Mar
Liou	4.2	4.1	4.3	3.8	4	4.3	5.1	3.9	4.1	4.4	3.9	4.1
IRWQIsc	58	54	56.7	57.7	61.7	48.9	49.2	57	54.2	55.1	54	49.9
NSFWQI	58.5	58.9	54.4	56.7	59.5	55.3	54.1	59.2	53.4	53	47.1	50

جدول ۹- مقدار مجذور مربعات خطا (RMSE) پارامترها
Table-9 Root Mean Squared Error (RMSE) value of parameters

Parameters	NSFWQI	IRWQI	LIQU
RMSE	1.65	1.73	1.66

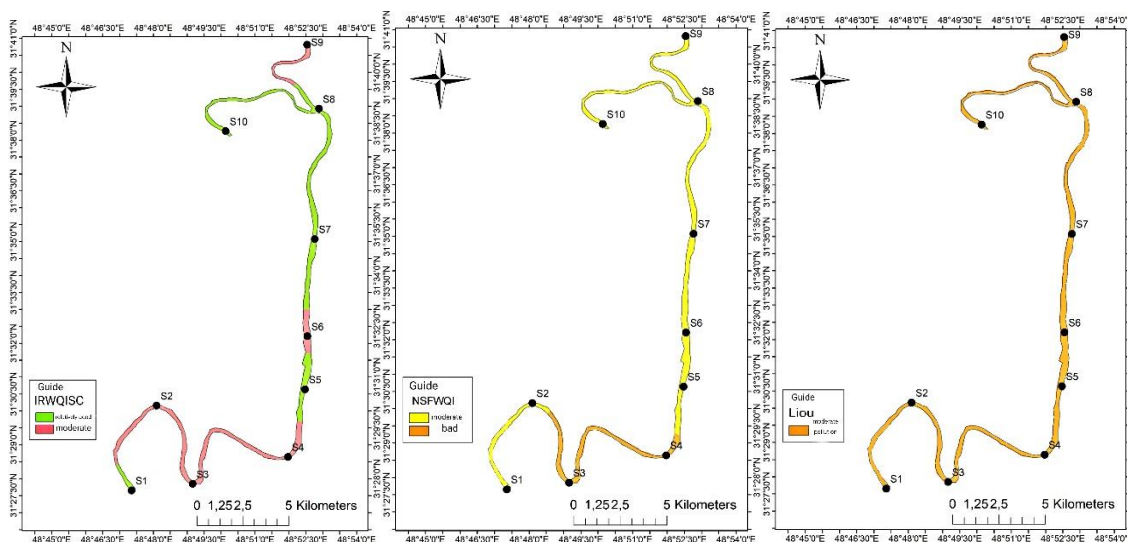


Fig. 3- Zoning of water quality changes based on indicators

شکل ۳- پهنه‌بندی تغییرات کیفیت آب بر اساس شاخص‌ها

طبقه کیفی بد تا متوسط و بر اساس شاخص Liou، در طبقه نسبتاً آلوده قرار دارد. به نظر می‌رسد که شاخص NSFWQI و شاخص Liou سخت‌گیرانه‌تر برخورد می‌کنند اما می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای استفاده و ارزیابی کیفیت آب برای مصارف مختلف باشند. اگر چه مطالعه حاضر و سایر مطالعه‌های مشابه نشان دادند که شاخص NSFWQI دقیق‌ترین و کم انعطاف‌ترین شاخص است اما شاخص IRWQISC انعطاف پذیری بیشتری دارد و قادر است تغییرات زمانی و مکانی رخ داده در کیفیت آب را بهتر توصیف کند. بنابراین استفاده از آن می‌تواند ابزار مفیدی برای مدیران و سیاست‌گذاران داخلی باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود کیفیت آب رودخانه از بالادست به سمت پایین دست کاهش یافته است که از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به تمرکز بالای فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و نیز شهری در این محدوده اشاره کرد. همچنین فرسایش خاک و نیز افزایش رسوب رودخانه‌ها می‌تواند بر کیفیت آب رودخانه کارون تأثیرگذار باشد. از این رو در راستای مدیریت کیفیت آب این رودخانه لازم است که منابع آلاینده رودخانه کارون و سهم هر یک از آن‌ها در کیفیت رودخانه به‌طور دقیق مشخص شود تا سیاست‌های بهتری اتخاذ شود. همچنین با توجه به وجود آلاینده‌های مختلف در منطقه، تلاش برای توسعه شاخصی که ویژگی‌های بدنه آبی مانند شرایط جغرافیایی، هیدرولوژیکی، منابع آلودگی و بارهای آلاینده در

نتیجه‌گیری

بررسی وضعیت کیفی و شناخت عوامل آلودگی رودخانه کارون با توجه به وجود منابع آلاینده عمده این رودخانه از جمله زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و نقش اساسی آن در پیدایش حیات روستایی در حاشیه خود از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از شاخص‌های NSFWQI، IRWQI و Liou و ارائه آن‌ها به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی، به عنوان روش‌های کاربردی برای شناخت اولیه از کیفیت رودخانه‌ها مناسب بوده و برای مدیران و مهندسان برای برنامه‌ریزی حفاظت کیفی قابل استفاده است. پایش منظم رودخانه‌ها به صورت هدفمند و بر اساس برنامه‌ریزی و طراحی مناسب و سپس درجه‌بندی آن با روش شاخص‌های کیفی، امکان دسترسی به تغییرات و تحولات کیفی و پیش‌بینی اقدامات کاهش آلودگی در حوزه آبریز رودخانه را برای مدیران و مسئولان فراهم می‌سازد. در پژوهش حاضر کیفیت آب رودخانه کارون از زرگان تا دهستان عنافچه از فروردین تا اسفند ۱۴۰۲ بر اساس شاخص‌های کیفی و آلودگی آب، به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شد تا در تصمیم‌گیری و اتخاذ راهکارهای مناسب برای مدیریت بهینه این رودخانه مفید واقع شوند. با توجه به جدول (۷)، بر اساس نتایج شاخص IRWQISC، کیفیت رودخانه در رده متوسط تا نسبتاً خوب بوده در حالی که بر اساس شاخص NSFWQI، آب رودخانه در

آب رودخانه کارون با توجه به شاخص‌های کیفی در محدوده ۵۰-۷۰ (متوسط) قرار دارد و با توجه به شاخص آلودگی Liou در محدوده ۳-۶ (نسبتاً آلوده) قرار دارد. همچنین مقدار پارامترهای آمونیم، کدورت و کلی‌فرم مدفوعی در ایستگاه پمپاژ نیروگاه رامین در تمام ماه‌ها بالاتر از استاندارد بوده است که کنترل و پایش پساب‌های خروجی در زمان‌های مختلف ضروری است.

تشکر و قدردانی

این مقاله جزئی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان است که نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های انجام شده توسط دانشگاه کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند. همچنین نویسندگان مقاله کمال تشکر و قدردانی را از اداره آب و فاضلاب استان خوزستان برای همکاری و نمونه‌برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی دارند.

منطقه را در نظر بگیرد، برای ثبت وضعیت کیفی واقعی سیستم‌های آبی ضروری است.

با توجه به نتایج می‌توان چنین خلاصه کرد که: سرشاخه‌های رودخانه کارون از طرف شمال عاری از آلودگی و روند افزایش آلودگی از بالادست به پایین‌دست رودخانه مشهود است. به عبارت دیگر، کیفیت رودخانه از بالادست به سمت پایین کاهش پیدا کرده که این کاهش کیفیت آب به علت قرارگرفتن شهر ملاتانی در مسیر رودخانه است که بار آلودگی بیشتری را به پایین دست رودخانه تحمیل می‌کند و همچنین افزایش واحدهای صنعتی و مناطق تفریحی، افزایش روستاهای حاشیه رودخانه و مهم‌تر از همه خروجی پساب نیروگاه رامین در بالادست ایستگاه ویس و افزایش پساب زمین‌های کشاورزی اطراف بار آلودگی را بیشتر می‌کند. آب رودخانه کارون در وضعیت کیفی متوسط قرار دارد که علت اصلی آن ورود فاضلاب‌های شهری، صنعتی نیروگاه رامین و یادگار امام و پساب‌های کشاورزی است.

References

- 1- Aminpour Shiani, S., Mohamadi, M., Khaledian, M. and Mirroshandel, A., 2016. Water Quality Evaluation of Gazroudbar River Using NSFQI and Liou Indices. *Wetland Ecobiology*, 8, 63-74 (In Persian). <http://jweb.iauhvaz.ac.ir/article-1-407-fa.html>.
- 2- Asakereh, H., 2008. Application of Kriging method for precipitation interception. *Geography and Development*, 12, 25-42. (In Persian). doi:10.22059/JPHGR.2019.265389.1007274.
- 3- Azhdari, A. and Rostami, G., 2005. Investigating the pattern of the Karun River in the area of Ahvaz city and its relationship with dynamic terrain. 24th meeting of earth sciences (In Persian).
- 4- Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A. and O'Connor, M.F., 1972. A water quality index—crashing the psychological barrier. In *Indicators of Environmental Quality: Proceedings of a symposium held during the AAAS meeting in Philadelphia, Pennsylvania*, (pp. 173-182). https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2856-8_15.
- 5- Chen, K., Jang, S. and Chou, Y., 2019. Assessment of spatiotemporal variations in river water quality for sustainable environmental and recreational management in the highly urbanized Danshui river basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2), 100- 107. doi:10.1007/s10661-019-7246-1.
- 6- Gholizdeh, M., Heydari, O., 2020. evaluation of the water quality of the Gorgan River based on the surface water quality indicators in the area of Gonbad Kavus city, *Journal of Health and Environment, scientific research quarterly of the Iranian Environmental Health Scientific Association*, 13th volume, 1st issue, pages 33-48. (In Persian). <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6340-en.html>.
- 7- HasaniPak, A., 1998. Earth Geostatistical Stats, Tehran University, *Tehran, Iran*. pp. 314. (In Persian). doi:10.22067/JAG.V12I3.79031
- 8- Hassan Khan, H., A. Khan, S., Ahmed and J. Perrin., 2011. GIS-based impact assessment of land-use changes on groundwater quality: study from a rapidly urbanizing region of South India. *Environmental Earth Sciences* 63(6): 1289-1302 doi:10.1007/s12665-010-0801-2

- 9- Hernández, J., Fernandez, L., Carrasco-Ochoa, J. and Martínez, J., 2012. Immediate water quality assessment in shrimp culture using fuzzy inference systems. *Expert Systems with Applications*. 39(12), 10571-10582. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.141>
- 10-Hosseini, P. Ildrumi, A. and Hosseini, A., 2013. Investigating the water quality of the Karun River using the NSFQI index in the Zargan to Kot Amir area. *Human and Environment Quarterly, No. 25*. (In Persian)
- 11-Hosseinzadeh, A., Khorsandi, H., Rahimi, N., Hosseinzadeh, S. and Alipour, M., 2013 Evaluation of the water quality of Aydogmush river using nsfwqi quality index and liou pollution Index, *Urmia Medical Journal, Volume 24, Number 2, Pages 162-256*. (In Persian). <http://umj.umsu.ac.ir/article-1-1644-en.html>.
- 12-Khalili, R. Parvin Nia, M. and Zali, A, 2020. Evaluation of the water quality of the Garmarood River using the National Health Foundation Water Quality Index (NSFWQI), RPI and Weighted Water Quality Index (WAWQI). *Environment and Water Engineering*, 6(3): 274-284. (In Persian). doi: 10.22034/jewe.2020.238090.1381
- 13-Kolah Kaj, A. Panahpour, E. Gholami, A., 2016. evaluation of the quality change of some water parameters of the Karun River in a period of four years, *Specialized Quarterly Journal of Water Science and Engineering - Islamic Azad University Ahvaz Branch – 7th year, 16th issue*. . (In Persian)
- 14-Kumar, A., Sharma, M.P. and Yadav, N.S., 2014. Assessment of water quality changes at two locations of Chambal River: MP. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 5(6):1781-1785.
- 15-Liou, S. M., Lo, S. L. and Hu, C. Y., 2003. Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation In Taiwan. *Water Research*, 37(6): 1406-1416. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00479-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00479-7)
- 16-Mazlomi, M., Hatami, A., Moridi, A., & Khalili, R., 2023. Sensitivity assessment of the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) and IRan Water Quality Index for Surface Water Resources (IRWQIsc) on the water quality of the Neka River. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (3), 581-592. <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.355941.1059>
- 17-Madadnia, M. Baqranboi.M, Karbasi, A. Rajabzadeh, E manure. M., 2015. Investigation of water quality of Karun river in Ahvaz basin using From the water quality index. *Environmental Science and Technology*, 16(1): 49-60 (In Persian). <https://sid.ir/paper/87628/fa>.
- 18-Mohseni Bandapay, A. Majlisi, M. Kazempour, A., 2014. Investigation of the water quality of the Gol Gol River in Ilam based on NSFQI water quality index, *Health Quarterly in Shahid Beheshti University of Medical Sciences*, No. 4, pp. 45-53 (In Persian) .
- 19-Nezhadafzali, K. Bayatani, F., 2024. Water quality areas of the Karun River based on NSFQI quality index and Using geographic information system. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(2): 8251-8264 (In Persian). doi: 10.22034/jess.2023.371266.1915.
- 20-Radwanc, A. Abdelmoneim, M. Basiony, A and El-Alfy M., 2019. Water pollution monitoring in Idku Lake (Egypt) using phytoplankton and NSFQI. *Egyptian. Journal of Aquatic. Biology and Fisheries (EJABF)*, 23(4), 465-481 doi:10.21608/ejabf.2019.57161.
- 21-Razzaghi Rezaieh, A. Ahmadi. H, Haq Doust, N.A, Hissari, B., 2017. Evaluating the environmental flow of the river with ecohydrology methods (case study: Mahabadcha River). *Water and Soil Conservation Research*, pp. 47-60 (In Persian). doi: 10.22069/JWSC.2019.14563.2939.
- 22-Sahoo, M.M. and Swain, J.B., 2020. Modified heavy metal Pollution index (m-HPI) for surface water Quality in river basins, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), pp.15350-15364.

-
- 23-Saif, A. and Najmi, N., 2013. Changes Detection of the Karun's Meanders by IRS and Landsat Images Satellite. *Geographical Research*, 28(3), pp.213-228.(In Persian).
- 24-Salari, M., Radmanesh, F. and Zarei, H., 2013. Quantitative and qualitative assessment of Karoon River water using NSFQI index and AHP method. *Human & Environment*, 10(23), pp.13-22.
- 25-Shamsaii, A., Avraii Zare, S. and Sarang, A., 2005. Comparative analysis of quality and zoning indicators of Karun and Dez rivers. *Journal of Water and Wastewater*, 16(3):39-48.In Persian).
- 26-Shanmugasundharam. A., Akhina, S.N. Adhithya, R.P. Satheesh. D Herbert Singh, S. Krishnakumar, Water quality index (WQI)., 2023. multivariate statistical and GIS for assessment of surface water quality of Karamana river estuary, west coast of India, *Total Environment Research Themes 6 100031*. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100031>.
- 27-Shokohi. A.R. and Bahmani. O., 2021. A comparative study of NSFQI and IRWQISC indices in the quality assessment of rivers. *Journal of Water and Soil Resources Protection*, 10 (3). 97-104
- 28-Tien, C. J., Wang Z. X. and Chen C. S. 2020. Microplastics in water, sediment and fish from the Fengshan River system: relationship to aquatic factors and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by fish. *Environmental Pollution*, 265(B), 11496. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114962>
- 29-Zamani Ahmad Mahmoudi, R. Fathi, E. Bayati, S., 2019. victim of Dashtaki, Pune. Investigating the water quality of Behesht Abad river using Liou pollution index and main watersheds. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*. 33(3): 417_405 (In Persian) doi: 10.22067/jsw.v0i0.79102.
- 30-Zhang J, Shen Z, Shan W, Chen Z, Mei Z, Lei Y., 2010. Adsorption behavior of phosphate on lanthanum (III) doped mesoporous silicates material. *Journal of Environmental Sciences (China)*,; 22(4): 507-11. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60141-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60141-8).

EXTENDED ABSTRACT

Biological treatment of industrial wastewater (Metal Industries) using anaerobic-aerobic combination method

O. Mohamadi¹, M. Hesam^{2*}, M. Heidarpour³ and M.M. Kohansal⁴

1- PhD student in Water Science and Engineering, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

2* Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (mhesam@gau.ac.ir).

3- Professor, Department of water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology.

4- Master of water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 02 November 2020

Revised: 12 November 2021

Accepted: 15 November 2021

Keywords:

Biological treatment, DO, EC of wastewater, Wastewater, Total Nitrogen, TSS.

TO CITE THIS ARTICLE:

Mohamadi, O., Heidarpour, M., Kohansal, M. M., Hesam, M. (2024). 'Biological treatment of industrial wastewater (Metal Industries) using anaerobic-aerobic combination method', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(3), pp. 123-135. doi: 10.22055/jise.2021.28058.1838.

Introduction

Due to the limited water resources and the need for optimal use of them, the importance of using treated wastewater in cases where lower water quality is required is determined. (Munoz and Guieysse, 2006) On the other hand, untreated wastewater can lead to many environmental issues. (Kalyuzhngi et al, 2005) The use of low-tech wastewater treatment systems and no energy consumption or low energy consumption help to reduce economic costs and improve the environment. Since biological processes are one of the most common and affordable methods in wastewater treatment and the main purpose of biological treatment is to use microorganisms to convert organic matter into other products, remove or reduce nutrients and other contaminants, so the purpose of this study is to reduce TSS, total nitrogen and nitrate using the combined process of AO in the treatment of industrial wastewater from metal industries. (Zhou and Lisng, 2008; Adam et al 2006).

Methodology

The experiments were carried out in the wastewater treatment plant (using the input wastewater of metal industry) in Najafabad Industrial Zone, located 5th km of traffic police station. The pilot used in this study consisted 5 reservoirs (balancing reservoir, anaerobic pond, aerobic pond, sludge sedimentation and sludge return) in which water flows from the reservoir with higher height to the adjacent reservoir using difference of elevation load. A balancing tank with a volume of 100 liters which is located at the highest elevation compared to aerobic and anaerobic ponds, was used to prevent organic loading, acidic or toxic shocks in most treatment systems. The media used in the anaerobic part is PANPAK type which has a specific surface area of 300 square meters per cubic meter which was used to create a suitable environment for the growth of microorganisms. This

reservoir was used to prevent the shortcut flow, wastewater entry from below and close to the floor and its output from a high altitude and near the water level were used. In the aeration tank, cube-shaped media with a higher specific surface area are used than in the anaerobic tank (800 m² / cubic meter) to create better conditions for the growth of microorganisms. Sedimentation tank was used to the sludge setting and separate the treated wastewater from the sludge. It should be noted that there are control and drain valves in this pilot to adjust the discharge. The diameter of the pipes that connect the tanks is approximately 1.25 cm. Figure (1) shows the pilot plan.

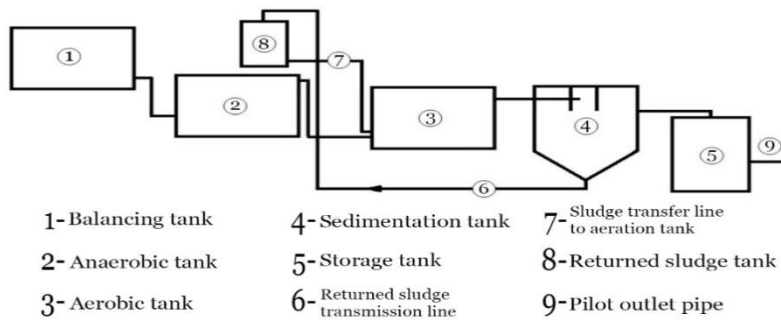


Fig. 1- Schematic diagram of the pilot

Results and Discusspn

According to the experiments performed on the wastewater entering the pilot, interval of changes on the studied parameters was determined. Table (1) shows the range of parameters studied in this study.

Table 1- The interval of changes of the studied parameters in the incoming wastewater

Parameter	The interval of changes	measurement unit
Ph	5/8- 5/6	-
N	300-100	Milligram per liter
NO ₃	20-0	Milligram per liter
TSS	700-200	Milligram per liter

Figure (2) shows the rate of nitrogen removal in the combined aerobic anaerobic method. Figure (3) compares the nitrate concentration of the output wastewater from the pilot using the Iranian environmental standard to discharge to water courses. According to Figure (4), it can be seen that the TSS in wastewater has been significantly reduced using this method. On the other hand, Figure (5) presents the transparency of output wastewater from anaerobic and aerobic units compared to the incoming wastewater.

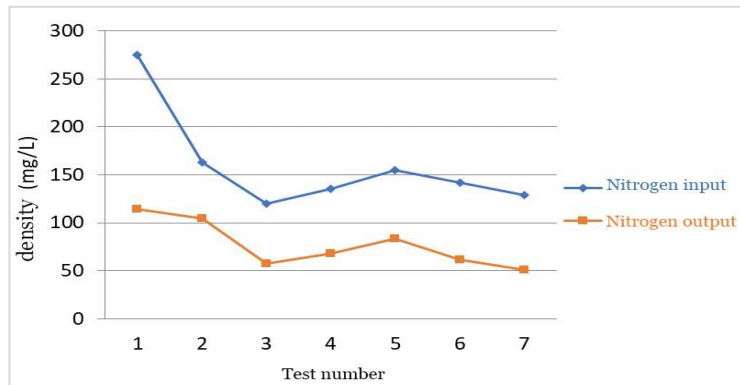


Fig. 2- Nitrogen removal diagram in the pilot during the research

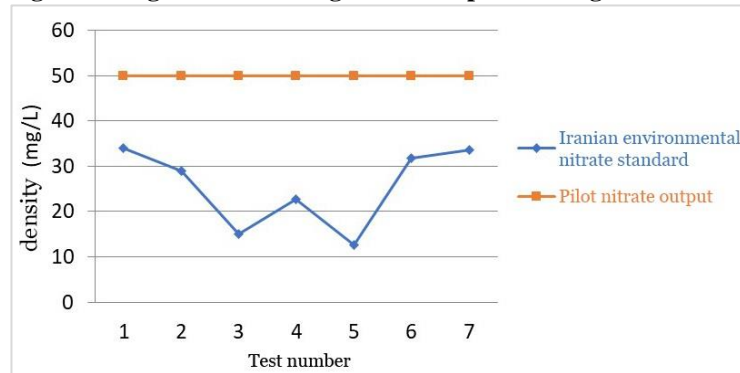


Fig. 3- Nitrate concentration of output wastewater from the pilot

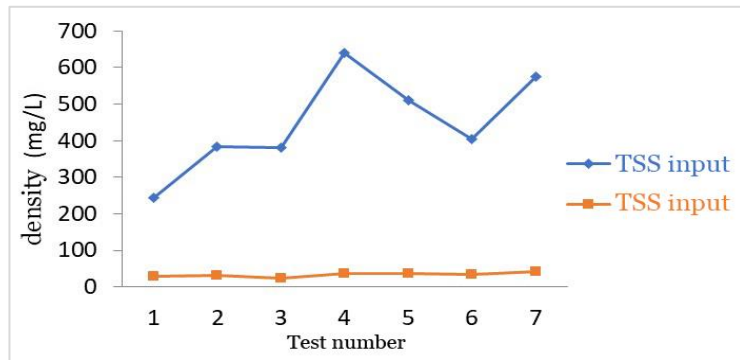


Fig. 4- input and output loads of TSS

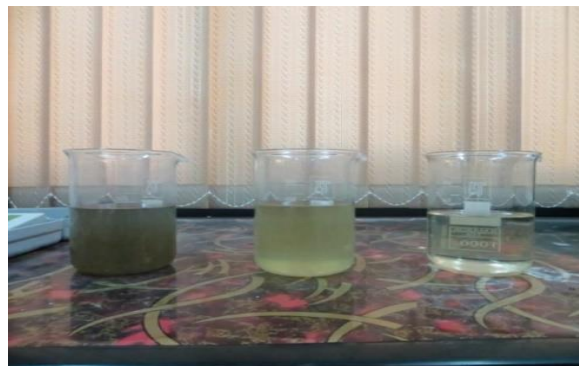


Fig. 5- Left to right input wastewater, anaerobic wastewater and pilot wastewater, respectively

Conclusions

Anaerobic treatment is more effective to digest and remove organic matter due to the presence of anaerobic bacteria. This causes the two purification phases to complement each other, so that the anaerobic phase reduces the organic load to a permissible level for the aerobic phase and in the next stage, it makes the aerobic phase to an acceptable organic load. This treatment method is significantly effective in the removal of organic matter, TSS, nitrogen phosphate and produces much less nitrate than the amount of Iranian environmental standard to discharge to water courses. Anaerobic-aerobic (AO) method can be used as a reliable method for introduced wastewater treatment of metal industries. It should be noted that in all stages of the experiments, the volume index of sludge was in the range of 50 to 150 mg / l, which indicates the appropriate quality of clarifying sludge sedimentation. Other advantages of this pilot include high resistance of the system to hydraulic, organic and toxic shocks. The reason for this is the presence of anaerobic phase at the beginning of the pilot. The results indicate that AO combined treatment method is a suitable option for treatment of industrial wastewater with relatively high organic load. This method can be a good alternative to conventional activated sludge method and anaerobic systems. Reaching concentrations of organic matter below the standard limits to discharge to water courses, use in irrigation of green space, agriculture and injection into groundwater sources, reveals the effective use of the pilot in the treatment of industrial wastewater.

Acknowledgment

Thanks to all friends including Ms. Sara Saadati and Mr. Mostafa Shariat who helped us in this way that we can do a proper research and contribute to the progress of humanity.

References

- 1- Adam. C, R. Gnirb, B. Lesjean, H. Buisson, and M. Kraume. 2006. Enhanced biological phosphorus removal in membrane bioreactors, *Water Science & Technology*, 46: 281–286.
- 2- Kalyuzhngi, S., M. Gladchenko, E. starosita, S. shcherhakou, and B. versprille. 2005. Combined biological and physic –chemical treatment of bakers yeast wastewater incuding removal of coloures and recalcitrant to biodegradation pollutants, *water scinse and technology*, 52: 175-181.
- 3- Munoz P. and Guieysse B. 2006. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants. a review. *Water Res.*, 40, 2799-2815.
- 4- Zhou, Y., Z. Lisng and Y. Wang. 2008. Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminium sulfate. *Desalination*. 225: 1274-1285.





تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صنعتی (صنایع فلزی) با استفاده از روش ترکیبی بی‌هوازی-هوازی

امید محمدی^۱، موسی حسام^{۲*}، منوچهر حیدرپور^۳ و محمد مهدی کهن سال^۴

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. hesamm@gau.ac.ir

۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۴

بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۲۱

دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲

چکیده

به علت توانایی بالقوه فاضلاب‌ها در آلوده‌سازی منابع غذایی و آب‌ها، بر تصفیه فاضلاب‌ها تأکید می‌شود. یکی از مؤثرترین روش‌های بیولوژیکی در تصفیه فاضلاب، استفاده از روش ترکیبی AO می‌باشد. در این پژوهش تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صنعتی حاصل از صنایع فلزی و نقش آن بر نیتروژن کل و مواد معلق موجود در پساب مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش یک مدل زیست‌شناسی نوین بی‌هوازی هوازی (AO) با بستر لجن استفاده شده است. آزمایش‌ها بر اساس آنالیز طراحی و پارامترها با استفاده از روش نمونه‌گیری لحظه‌ای اندازه‌گیری شده‌اند. آزمایش در زمان ماند‌های مختلف و هوادهی بین پنج تا ۱۵ ساعت، مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس آنالیز آماری روی داده‌های برداشت‌شده نتایج نشان داد که کارایی حذف برای نیتروژن کل و TSS به ترتیب برابر با ۵۱/۳۵ و ۹۲/۲۱ درصد بوده و غلظت نیترات خروجی به طور میانگین به ۲۵/۵۴ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده به مراتب کمتر از استانداردهای لازم برای مصارف کشاورزی، تخلیه به منابع سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: اکسیژن محلول، پساب، تصفیه بیولوژیکی، نیتروژن کل، هدایت الکتریکی فاضلاب، TSS.

مقدمه

یکی از لازمه‌های حفظ کیفیت محیط زیست و رشد و توسعه در حوزه‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی داشتن نایب آب با کیفیت (سالم) است. رابطه انسان و محیط زیست در عصر حاضر به دلیل تخریب محیط زیست، و بهره‌برداری‌های نایب‌جا و سودجویانه از محیط زیست با بحران جدی مواجه شده است، به طوری که اثرات نامطلوبی برای انسان و محیط پیرامونش دارد (Tchobanogolous et al., 2003). با توجه به رشد روز افزون جمعیت، افزایش نیاز به مواد غذایی و روند صعودی استفاده از منابع محدود آب با کیفیت و به تبع آن افزایش فاضلاب و ضایعات منجر به معضلاتی نظیر چگونگی دفع فاضلاب‌ها برای بشر در عصر جدید شده است (Munoz and Guieysse, 2006).

امروزه در کشور ما در بیشتر تصفیه‌خانه‌های صنعتی از روش ترکیبی بی‌هوازی هوازی استفاده می‌شود. این روش برای تصفیه فاضلاب‌های خانگی نیز کاربرد دارد. در بسیاری از شهرک‌های صنعتی، در تصفیه فاضلاب‌های مختلف استفاده از روش AO (Anaerobic-aerobic) پرکاربرد بوده و پساب‌هایی با کیفیت نسبتاً بالا را در اختیار کشاورزی، آبیاری فضای سبز،

خنک‌سازی و دیگر بخش‌های صنعت قرار داده‌است (Mousavi 2010; Monzavi 2005; Abrishamchi et al 2005). سیستم‌های بیولوژیکی از نظر محیط بیوشیمیایی به سه دسته اصلی هوازی، بی‌هوازی و ترکیبی (بی‌هوازی و هوازی) و از لحاظ نوع رشد به سه گروه معلق، چسبیده و ترکیبی تقسیم می‌شوند. فرایند AO یک روش تصفیه ترکیبی است. در این روش دو فرایند هوازی و بی‌هوازی به صورت متوالی صورت می‌گیرند. استفاده از روش هوازی در تصفیه پساب همراه با مشکلاتی مانند افزایش حجم لجن، عدم امکان استفاده در COD (Chemical Oxygen Demand) و BOD (Biological Oxygen Demand) زیاد و همچنین هزینه‌ی زیاد انجام فرایند می‌باشد. همچنین باکتری‌های بی‌هوازی توانایی بیشتری در هضم مواد آلی دارند و میزان لجن تولیدی نسبت به هوازی کمتر است. در عین حال وجود مواد بازدارنده در حین فرایند از جمله مواد فنولی در سیستم، سبب کاهش سرعت فرایند می‌شود و این خود یکی از مشکلات فرایند بی‌هوازی است (Bortone et al., 1999; Adam et al., 2006; Zhou et al., 2008) در مطالعه‌ای از منعقدکننده سولفات آلومینیم در یک ستون ته‌نشینی برای حذف رنگ و بار آلی پساب استفاده کردند. COD پساب در حدود ۲۰۰

همواره از گزینه‌های مؤثر و پرکاربرد در تصفیه فاضلاب صنایع هستند. در این تحقیق کارایی حذف COD به میزان ۸۷ درصد و همچنین کاهش TSS (Total Solved Solids) نیز از ۴۳ گرم بر لیتر به هشت گرم بر لیتر مشاهده گردید. Amini (2012) در مطالعه‌ای درصد حذف مؤثر کربن و فسفر در رآکتور UASB با تغییر در مدت زمان هوادهی و شدت جریان مواد مغذی را مورد بررسی قرار دادند. ورودی شرایط بهینه در مدت زمان هفت دقیقه در دوره‌های ۱۵ دقیقه‌ای و شدت جریان ۷۰۰۰۰ مترمکعب در ساعت در زمان هیدرولیکی شش ساعت نسبت مواد غذایی به میکروارگانیسم ۴۵۰۰ کیلوگرم غلظت مایع مخلوط جامدات معلق فرار (Mixed Liguor Volatile Suspended) MLVSS (Solid) بر کیلوگرم COD و شدت بارگذاری ۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب بر ساعت برای حذف مواد مغذی از فاضلاب در بیورآکتور هوازی بی‌هوازی مطلوب بودند. در این تحقیق حذف کربن ۸۶ درصد و کاهش مؤثر فسفر ۹۷/۵ درصد مشاهده گردید. با توجه به محدودیت منابع آب و ضرورت استفاده بهینه از این منابع، اهمیت استفاده از پساب‌های تصفیه شده در مواردی که به کیفیت پایین‌تری از آب نیاز است، مشخص می‌گردد. از طرف دیگر فاضلاب تصفیه نشده می‌تواند مشکلات عدیده زیست محیطی به دنبال داشته باشد. استفاده از سیستم‌های تصفیه فاضلاب با تکنولوژی پایین و عدم مصرف انرژی یا کم مصرف علاوه بر کاهش هزینه‌های اقتصادی به اصلاح محیط زیست هم کمک می‌نماید. از آنجایی که فرایندهای بیولوژیکی یکی از روش‌های متداول و به صرفه در تصفیه فاضلاب است و هدف عمده از تصفیه بیولوژیکی، استفاده از میکروارگانیسم‌ها برای تبدیل مواد آلی به محصولات دیگر، حذف یا کاهش مواد مغذی و سایر آلاینده‌هاست، از این رو هدف از انجام این تحقیق کاهش TSS، نیترژن کل و نیترات با استفاده از فرآیند ترکیبی AO در تصفیه فاضلاب صنعتی حاصل از صنایع فلز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در تصفیه‌خانه فاضلاب (با فاضلاب ورودی صنایع فلز) شهرک صنعتی یک نجف‌آباد واقع در پنج کیلومتری پلیس‌راه این شهر انجام شد. در این تصفیه‌خانه از روش ترکیبی بی‌هوازی-هوازی (AO) استفاده شده، به طوری که برای اجرای فاز بی‌هوازی از بیوفیلتر با جریان رو به بالا استفاده شده و بسته مورد استفاده در این تصفیه‌خانه از نوع لانه زنبوری با سطح ویژه ۲۴۰ مترمربع بر مترمکعب بود، از طرفی فاز هوازی از نوع لجن فعال تلفیقی مدیای معلق با سطح ویژه ۳۰۰ مترمربع بر متر مکعب می‌باشد. مدل مورد استفاده در این تحقیق شامل پنج مخزن (مخزن متعادل‌ساز، حوضچه بی‌هوازی، حوضچه هوازی، ته‌نشینی لجن و برگشت لجن) بوده که با استفاده از اختلاف بار ارتفاعی، آب از مخزن با ارتفاع بالاتر به مخزن مجاور جریان می‌یابد. بطوری که از مخزن متعادل‌ساز دارای حجم مخزن ۱۰۰ لیتری که در بالاترین ارتفاع

تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. مطالعه‌ها روی پساب خروجی از واحد ترکیبی AO انجام شد. در بهترین حالت در pH برابر با هشت و مقدار بهینه آلوم ۴/۵ میل‌گرم بر لیتر راندمان حذف رنگ و COD به ترتیب ۸۹ و ۶۸ درصد به دست آمد. Chandler (2010) به بررسی و راه‌اندازی تصفیه فاضلاب با بار بالا در رآکتورهای تصفیه فاضلاب با استفاده از رشد تلفیقی MBBR (Moving Bed Bioreactor) پرداختند. آن‌ها به بررسی فازهای ترکیبی بی‌هوازی، انوکسیک و هوازی با استفاده از رشد تلفیقی پرداخته و نتایج حاصل از این بررسی را در قالب جدولی ارائه نمودند. به عنوان مثال مقدار COD را از ۴۸۰۰ به کمتر از ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر رسانده و به راندمان ۹۷ درصدی حذف مواد آلی بر پایه کربن دست پیدا کردند. ژیدونگ و همکاران از یک رآکتور MBR (Moving Bed Bioreactor) مستغرق برای تصفیه پساب پالایشگاه نفت دالیان چین استفاده نمودند. رآکتور از فرآیند ترکیبی AO مورد استفاده قرار گرفت. قسمت بی‌هوازی و هوازی آن به ترتیب دارای حجم‌های ۵۰۰ و ۲۲۰۰ لیتر بود که در قسمت هوازی از غشاء استفاده شد. راندمان‌های حذف منتج در تحقیق برای COD، BOD₅، کورت و فنل به ترتیب ۹۲، ۸۷، ۷۵، ۹۹ درصد به دست آمد (Zhidong et al., 2009). Dulekgurgen et al (2003) در سیستم SBR (Sequence Batch Reactor) شاخص حجمی لجن را کمتر از ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. در این حالت درصد حذف کربن، نیترژن و فسفر به ترتیب ۹۵، ۷۱ و ۹۹/۶ درصد بودند. نتایج حاصل نشان داد که با کاهش مقدار SVI (Sludge Volume Index) ساختار توده‌های لجن فعال از اجزاء جدا از هم به حالت گرانوله تبدیل می‌شود. بنابراین حداقل مقدار SVI در نسبت COD بر نیترژن و زمان هوادهی بالا موجب گرانول‌سازی می‌شود.

Qoli Kandy et al (2012) در یک تحقیق تأثیر استفاده از هیدرولیز شیمیایی را بر حفظ پایداری فرآیند در رآکتور بی‌هوازی بافل‌دار بررسی نمودند. مطابق بررسی‌های انجام‌شده در بشره‌های آزمایشگاهی یک لیتری حاوی فاضلاب شهری و لجن بی‌هوازی، تحت شرایط کنترل شده و ناپیوسته جریان، در مدت زمان دو تا سه ساعت و با ولتاژ هشت تا ۱۲ ولت بازده حذف جامدات محلول به ۳۰ تا ۴۰ درصد ارتقاء یافت. در این شرایط pH بدون افزایش مواد شیمیایی از ۵/۵ و ۶/۵ به ترتیب به ۷/۵ و هشت افزایش یافت. در شرایط مذکور سیستم با عملکردی ۱۰ درصد بهتر از متوسط کارایی رآکتور بافل‌دار بی‌هوازی، COD را به ۸۲ و TSS را به ۷۲ میلی‌گرم بر لیتر رساند. Golbabaei (2012) مطالعه‌ای را بر روی سیستم‌های بی‌هوازی با نرخ بالا (high rate) نظیر فیلترهای بی‌هوازی و رآکتور بی‌هوازی لجن با جریان رو به بالا (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) انجام دادند. فاضلاب مورد بررسی، فاضلاب خروجی از صنایع غذایی بود. بررسی آن‌ها نشان داد سیستم‌های بی‌هوازی با نرخ بالا به دلیل برخورداری از قابلیت پذیرش و هضم و غلظت بالای مواد آلی،

از دو فاز هوازی و بی‌هوازی است که این دو فاز نقش مکمل همدیگر را ایفا می‌کنند. فاز بی‌هوازی مقدار قابل توجهی از بار آلی را گرفته و در ادامه فاز هوازی یا همان لجن‌فعال با کاهش بار آلی و دیگر پارامترهای آلودگی کیفیت پساب خروجی را در حد قابل‌قبولی بهبود می‌بخشد. در پایان دو فاز، نیاز به یک حوضچه ته‌نشینی می‌باشد. فاضلاب خروجی از هوادهی حاوی مقدار زیادی مواد معلق بیولوژیکی می‌باشد و برای بهبود کیفیت پساب و زلال‌سازی آب خروجی باید این مواد در حوضچه، ته‌نشین شده و مجدداً به حوضچه هوادهی انتقال یابند. در صورت کم شدن غلظت میکروارگانیسم‌ها در حوضچه هوادهی، راندمان تصفیه نیز ممکن است به همان نسبت کاهش یابد. TSS، MLSS و MLVSS به‌عنوان معرف میزان مواد معلق به‌صورت هفتگی گزارش می‌شدند. برای اندازه‌گیری TSS یک نمونه پساب خام و یک نمونه پساب گذرانده شده از صافی با حجم مشخص و یکسان برای خشک شدن به مدت ۹۹۹ دقیقه درون آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. با تقسیم اختلاف جرم مواد باقی‌مانده در دو ظرف بر حجم مشخص نمونه، مقدار TSS محاسبه گردید. MLSS نیز مشابه روش TSS اندازه‌گیری گردید با این تفاوت که نمونه از مخزن هوادهی گرفته می‌شود. پس از اندازه‌گیری MLSS، نمونه‌های صاف و خام حرارت داده شده مرحله قبل، یک بار دیگر در دمای ۵۵۰ درجه به مدت یک ساعت حرارت داده شد. مقدار TSS از رابطه (۱) و مقدار MLSS از رابطه (۲) محاسبه گردید. آزمایش‌ها فوق با روش محاسبه وزن خشک مطابق با دستورالعمل‌های استاندارد مندرج در منابع معتبر انجام می‌گرفت. در طی آزمایشات از مواد و دستگاه‌هایی نظیر کوره، ترازو، آون، بوته چینی، کاغذ صافی و دسیکاتور استفاده شد که در جدول (۱) مشخصات آن‌ها درج گردیده‌است.

نسبت به حوضچه‌های هوازی و بی‌هوازی قرار دارد و به‌منظور جلوگیری از ایجاد شوک‌های بار آلی، اسیدی و یا سمی در اغلب سیستم‌های تصفیه استفاده شد. مدیای مورد استفاده در قسمت بی‌هوازی از نوع پن پک (PANPAK) بوده که دارای سطح ویژه ۳۰۰ مترمربع بر مترمکعب می‌باشد که برای ایجاد بستری مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌ها استفاده شد. از این مخزن به منظور جلوگیری از جریان میانبر، ورود فاضلاب، از پایین و نزدیک به کف و خروجی آن از ارتفاع بالا و نزدیک سطح آب استفاده شد. در مخزن هوادهی از مدهای مکعبی شکل با سطح ویژه بیشتر نسبت به مخزن بی‌هوازی (۸۰۰ مترمربع در مترمکعب) استفاده شده تا شرایط بهتری را برای رشد میکروارگانیسم‌ها ایجاد کند. از مخزن ته‌نشینی به‌منظور ته‌نشینی لجن و جداسازی پساب تصفیه‌شده از لجن استفاده شد. لازم به ذکر است که در این مدل شیرهای کنترلی و تخلیه‌ای نیز برای تنظیم میزان دبی وجود دارند. قطر لوله‌هایی که مخازن را به هم ارتباط می‌دهند تقریباً ۱/۲۵ سانتی‌متری می‌باشد. شکل (۱) پلان پایلوت را نشان می‌دهد.

پس از مستقر نمودن پایلوت در محل، پایدار سازی قسمت بی‌هوازی برای رسیدن رشد توده میکروبی به مقدار مورد نیاز برای تصفیه در مدتی سه ماهه انجام شد. پس از پایدارسازی نسبی برای سرعت بخشیدن به رشد میکروارگانیسم‌ها در قسمت هوادهی، لجن فعال به صورت مصنوعی به سیستم تزریق شد. در طی این مدت آزمایش‌ها کنترلی نیز انجام گرفت. بعد از حدود یک ماه از شروع بارگذاری، آزمایشات COD به صورت هفتگی انجام گرفت. در طول این مدت تشکیل بیوفیلم روی مدیا به وضوح مشاهده می‌شد. در این پژوهش از سیستم ترکیبی فاضلاب AO با راهبری پیوسته استفاده شده‌است. تصفیه ترکیبی AO ترکیبی

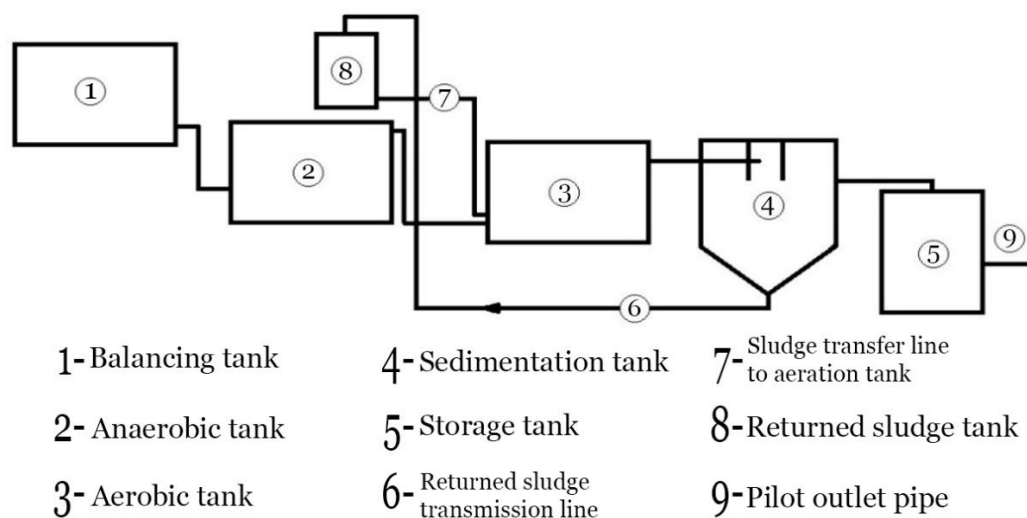


Fig. 1- Schematic diagram of the pilot
 شکل ۱- شماتیک ساده از پایلوت مورد استفاده

جدول ۱- دستگاه‌های اندازه‌گیری آزمایش‌ها TSS، MLSS، MLVSS، نیتروژن و نیترات

Table 1-TSS, MLSS, MLVSS, nitrogen and nitrate test measuring devices

Devices used	Models and features
Chinese plant	With a volume of 25 cc
Filter paper	Model Wattman 42 with a size of 125 mm
Furnace oven	Model C.P.I.G
Desiccator	Model Feter electronic-U630
Scales	In order to protect plants and papers from moisture
NO3-N measuring vial	ADAM digital scales with an accuracy of 0.001 g
Nitrogen measuring vial stage one	Range of 0-30 mg / l Made by German Aqualtic Company
Nitrogen measuring vial stage two	Range of 0-25 mg / l Made by German Aqualtic Company

$$TSS \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{\text{وزن ظرف} - \text{وزن ذرات خشک همراه باظرف}}{\text{حجم مشخص نمونه}} \quad (1)$$

$$MLSS = \frac{\text{وزن خشک نمونه در 550 درجه سانتی‌گراد} - \text{وزن تر نمونه (مخزن هوادهی)}}{\text{حجم مشخص نمونه}} \quad (2)$$

$$SVI \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{SSV * 1000}{MLSS} \quad (3)$$

جدول ۲- بازه تغییرات پارامترهای مورد مطالعه در فاضلاب ورودی

Table 2- The interval of changes of the studied parameters in the incoming wastewater

Parameter	The interval of changes	measurement unit
pH	6/5- 8/5	-
N	100-300	(mg/L)
NO3	0-20	(mg/L)
TSS	200-700	(mg/L)

ورودی، خروجی بی‌هوازی و خروجی ته‌نشینی گزارش می‌شود. این پارامتر برای کنترل اسیدیته در بازه متعارف بین ۶/۵ تا ۸/۵ می‌باشد. برای اندازه‌گیری pH از pH سنج مدل AL20 ساخت شرکت آکوالتیک آلمان استفاده شد. کنترل دما از آن لحاظ مهم است که میکرو ارگانیسم‌ها در دماهای پایین فعالیتشان کم می‌شود و بیشترین فعالیت را در دمای حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد دارند. از طرفی هم برای انجام برخی واکنش‌های شیمیایی از جمله نیتریفیکاسیون و دینیتریفیکاسیون برای حذف نیتروژن دما تأثیرگذار است. برای اندازه‌گیری دما نیز از pH سنج استفاده شد. این دستگاه هم دما و هم اسیدیته را اندازه می‌گیرد. EC نیز از پارامترهای کنترلی می‌باشد که میزان هدایت الکتریکی پساب را بیان می‌کند. این پارامتر به‌صورت روزانه و با استفاده از دستگاه EC سنج مدل AL20 con ساخت شرکت آکوالتیک آلمان اندازه‌گیری شد. در انتها نتایج با نرم‌افزار SAS (ver. 9.0) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودار مربوط به هر یک از صفات با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

توصیف ویژگی‌های لجن از نظر کمی می‌تواند معیار سنجش مناسبی در میزان رسیدن به پایداری سیستم‌های بیولوژیکی باشد. از این رو پارامتر اندیس حجمی لجن (SVI) می‌تواند رسیدن زمان رسیدن به پایداری نسبی را مشخص کند. این پارامتر تابعی از ته‌نشینی نیم ساعته (SSV) و MLSS است که از رابطه (۳) محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری نیترات و نیتروژن نیز از روش نورسنجی و از دستگاه MultiDirect استفاده شد. برای آزمایش‌ها نیترات و نیتروژن از ویال دستگاه استفاده نشده و لازم است از ویال‌های مخصوص هر آزمایش استفاده شود. در جدول (۱) مشخصات ویال‌های استفاده شده ذکر گردیده است و نمونه‌گیری‌ها به‌منظور اندازه‌گیری نیتروژن و نیترات از ورودی و خروجی مدل صورت گرفته است. اکسیژن محلول با استفاده از DO متر مدل AL200xi ساخت شرکت آکوالتیک آلمان اندازه‌گیری شد. به‌منظور جلوگیری از ورود اکسیژن هوا به درون نمونه، بلافاصله بعد از نمونه‌گیری، سنسور DO متر در ظرف نمونه قرار داده شده و عدد مربوطه از روی دستگاه قرائت می‌گردد. pH جزء پارامترهای کنترلی است که به‌صورت روزانه اندازه‌گیری می‌شود. این پارامتر از سه منطقه نمونه‌گیری یعنی

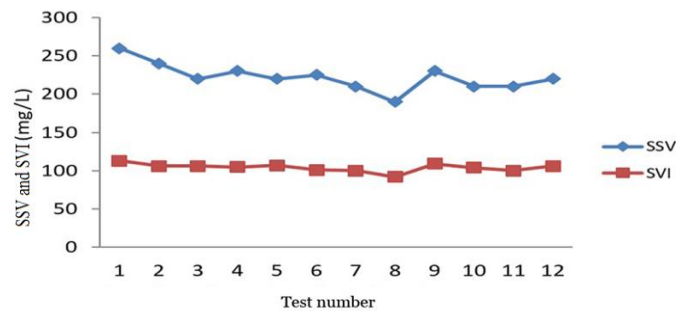


Fig. 2- Trend of SSV and SVI changes in stabilization phase experiments

شکل ۲- روند تغییرات SSV و SVI در آزمایش‌ها مرحله پایدارسازی

ساعت کار پمپ‌های هوادهی، بین پنج تا ۱۵ ساعت در روز انجام می‌گرفت. از نکات قابل توجه در طول این پژوهش این بود که مدل مذکور با اکسیژن محلول بیشتر از چهار نیز عملکرد مطلوبی داشت. از طرفی در طول تحقیق دما روند نزولی را طی می‌کرد به طوری که در ابتدای آزمایش‌ها دمای پساب ورودی حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد اما دمای پساب ورودی به تدریج به کمتر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسید. با افزایش تدریجی درجه حرارت سرعت واکنش افزایش می‌یافت و این به نوبه خود سبب افزایش بازده و کاهش زمان لازم برای ماندن فاضلاب در مدل می‌گردید. به طوری که در روزهایی که دمای هوا افزایش می‌یافت پساب خروجی دارای زلالت بیشتری بوده و راندمان حذف مواد آلی از روزهای سرد بیشتر بود. در طول تحقیق به صورت روزانه pH نیز در سه نقطه ورودی، خروجی بی‌هوازی و خروجی پایلوت (برای اطمینان از اینکه pH در بازه مطلوب ۶/۵ تا ۸/۵ باشد)، کنترل شد. در تمام دوره آزمایش‌ها، pH ورودی به سمت خروجی دارای افزایش ناچیزی بود. به این ترتیب که میانگین pH های ورودی، خروجی بی‌هوازی و خروجی مدل به ترتیب برابر ۷/۶، ۷/۹۲ و ۸/۰۲۵ بودند. به این ترتیب در طول عبور فاضلاب از ورودی به خروجی پایلوت، اسیدیته پساب به سمت قلیایی شدن میل می‌کند. این ارقام نشان‌گر این است که اسیدیته پساب در دامنه استاندارد ۶/۵ تا ۸/۵ بوده است. این امر منجر به تعادل بین باکتری‌های تولیدکننده متان و تولیدکننده اسید در قسمت بی‌هوازی شده و باعث عملکرد مطلوب این فاز شده است. زمانی که pH کمتر از ۶/۵ باشد تولید متان توسط باکتری‌های متان‌زا با ممانعت مواجه خواهد شد. در pH پایین‌تر از ۶/۲، شرایط اسیدی محیط، سمیت حادی را نسبت به این باکتری‌ها نشان می‌دهد. به همین دلیل نباید اجازه داده شود pH برای مدت زیادی، کمتر از این مقدار افت نماید. مقدار EC پساب خروجی از پایلوت به طور میانگین ۲۴۶۴ میکروزیمنس بر متر بود (Amini, 2012). روند تغییرات EC در شکل (۳) نشان داده شده است. از آنجایی که یکی از خوراکی‌های اصلی باکتری‌های تولیدکننده متان اسیداستیک می‌باشد، هر گونه تغییر ناگهانی در محیط معمولاً سبب تغییرات pH می‌شود که اگر در حال تعادل است، باکتری‌های مولد متان با همان سرعتی که باکتری‌های استات‌زا اسید تولید می‌کنند، اسید را

نتایج و بحث

با توجه به آزمایش‌ها انجام شده روی فاضلاب ورودی به پایلوت، بازه تغییرات پارامترهای مورد مطالعه مشخص شد. جدول (۲) حدود پارامترهای مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

کنترل اندیس حجمی لجن (SVI) برای پایدارسازی

اندیس حجمی لجن که با توجه به پارامترهای MLSS و SSV به دست می‌آید شاخصی برای دستیابی به پایداری فاز هوادهی می‌باشد. در شکل (۲) نیز روند تغییرات پارامترهای SSV و SVI در طول دوره پایدارسازی مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است هر چهار روز یک بار نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری پارامترهای فوق انجام گردید. مقدار اندیس حجمی لجن باید بین ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر باشد. مقادیر خارج از این دامنه گواهی نقص در سیستم می‌باشند. اگر SVI کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد مرگ یا سپتیک لجن را نشان می‌دهد و اگر این عدد بیش از ۱۵۰ میلی‌گرم باشد، بالکینگ یا همان رشته‌ای و حجیم شدن لجن اتفاق خواهد افتاد. با توجه به قرار گرفتن پارامتر SVI در بازه ۵۰ تا ۱۵۰ پایلوت به پایداری نسبی خوبی رسیده است (Bortone et al., 1999; Adam et al., 2006). نمودار فوق بیان‌گر این است که پارامتر SVI در دامنه‌ای مطلوب، با میانگین ۱۰۴/۰۸ قرار داشته و در نتیجه سیستم پایدار شده و دارای لجن فعال با کارایی مناسب می‌باشد.

اکسیژن محلول، دما، هدایت الکتریکی و اسیدیته

در طول دوره نمونه‌برداری میزان اکسیژن محلول از ۲/۵ تا ۴/۵ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود. کنترل متناوب اکسیژن محلول در مخزن هوادهی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. در صورتی که میزان متوسط اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در یک روز خارج از محدوده ۱/۵ تا سه میلی‌گرم بر لیتر باشد باعث محدودیت فعالیت بیولوژیکی می‌گردد. به همین دلیل مواقعی که میزان اکسیژن از ۳/۵ بیشتر می‌شد اقدام به خاموش کردن و در مواقعی که این مقدار کمتر از ۲/۵ می‌گردید مجدداً اقدام به روشن نمودن پمپ هوادهی می‌شد. کنترل اکسیژن محلول با استفاده از تنظیم

کنترل متناوب اکسیژن محلول در مخزن هوادهی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. در صورتی که میزان متوسط اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در یک روز کمتر از ۱/۵ تا سه میلی‌گرم در لیتر شود باعث محدودیت فعالیت بیولوژیکی می‌گردد (Mohamadi et al 2019).

– نیتروژن، نیترات و TSS

در شکل (۴) که بیانگر میزان حذف نیتروژن در روش ترکیبی بی‌هوای هوای است، با توجه به موازی بودن تقریبی دو منحنی برای غلظت‌های ورودی و خروجی، می‌توان دریافت که غلظت خروجی تابع غلظت ورودی می‌باشد. از این رو برای غلظت‌های بیشتر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نباید انتظار خروجی زیر ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را در تمامی شرایط داشت. در هر حال این روش توانست برای نیتروژن به طور میانگین غلظت را از ۱۶۰ به ۷۷ میلی‌گرم بر لیتر کاهش داده و ۵۱/۳۵ درصد از نیتروژن موجود در فاضلاب را حذف کند که نتایج حاصل تا حد قابل قبولی مطلوب می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که برای فاضلاب‌های با غلظت نیتروژن زیاد و در حدود بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باید تمهیداتی مضاعف اندیشیده شده و یا اقدام به ارتقاء سیستم شود. شکل (۵) میزان غلظت نیترات پساب خروجی از پایلوت را با استاندارد محیط زیست ایران برای تخلیه به منابع پذیرنده مقایسه نموده‌است. همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است در تمامی آزمایش‌ها غلظت نیترات پساب خروجی کم‌تر از استاندارد محیط زیست ایران برای تخلیه به منابع پذیرنده است. میانگین غلظت نیترات پساب خروجی ۲۵/۵ میلی‌گرم بر لیتر، یعنی در حدود نصف غلظت مجاز می‌باشد. با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود که میزان TSS فاضلاب با این روش به طور قابل توجهی کاهش یافته است. این پایلوت به‌طور میانگین غلظت TSS را از ۴۴۸/۳ به ۳۳/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر رسانده و ۹۲/۲ درصد از غلظت TSS را کاهش داده‌است. لازم به‌ذکر است مقدار TSS مجاز استاندارد محیط‌زیست ایران برای تخلیه به منابع پذیرنده ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. از طرفی شکل (۷) زلالیت پساب خروجی از واحد بی‌هوای و هوای را نسبت به فاضلاب ورودی نشان می‌دهد.

مورد مصرف قرار می‌دهند و متان تولید می‌کنند. حال اگر باکتری‌های تولیدکننده متان با غلظت مناسب وجود نداشته باشند و یا توسط عوامل ناخواسته مانعتی برایشان به‌وجود آید، این باکتری‌ها اسیدها را با همان سرعتی که تولید می‌شوند نمی‌توانند به مصرف برسانند در نتیجه این امر موجب افزایش غلظت اسید خواهدشد. بنابراین افزایش غلظت اسید نشان‌دهنده آن است که باکتری‌های تولیدکننده متان، در تعادل با باکتری‌های تولیدکننده اسید نیستند (Mousavi 2010). لازم به ذکر است هر شماره آزمایش در روزهای مختلف و بازه زمانی حدود سه روزه و از ابتدا تا انتهای بازه پژوهش انجام شده‌است.

با افزایش تدریجی درجه حرارت در سیستم‌های تصفیه بی‌هوای سرعت واکنش افزایش یافته و این به نوبه خود سبب افزایش بازه و کاهش زمان لازم برای حضور فاضلاب در داخل رآکتور می‌گردد. به‌طور کلی درجه حرارت ۳۵ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد برای رشد و فعالیت باکتری‌های متان‌زا مناسب می‌باشد و بالاتر از آن حالت فعالیت آن‌ها را تا حدودی مختل می‌کند که در صورت بالا رفتن دما باید بلافاصله سیستم دما را پایین آورد و سپس با برگشت جریان فاضلاب از واحد هوای دما را به سرعت کنترل نمود (Abrishamchi et al 2005). کنترل متناوب اکسیژن محلول در مخزن هوادهی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. در صورتی که میزان متوسط اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در یک روز کمتر از ۱/۵ تا سه میلی‌گرم در لیتر شود باعث محدودیت فعالیت بیولوژیکی می‌گردد. اصولاً هوادهی به دو منظور انجام می‌شود. اول آنکه اکسیژن محلول در مخزن هوادهی باید در حدی باشد که میکروارگانیسم‌ها فعال باشند. همچنین اختلاط کامل فاضلاب ورودی با ارگانیزم‌های چسبیده و معلق وجود داشته‌باشد. اگر هوادهی بیش از حد زیاد باشد علاوه بر اتلاف انرژی ایجاد تلاطم شدید شده و امکان رشد مطلوب ارگانیزم‌ها روی سطح مدیا وجود ندارد و سطح مدیا را رها خواهندکرد. این امر مشکلاتی را در ته‌نشینی ثانویه ایجاد می‌کند و نیز اگر میزان هوادهی کم باشد ارگانیزم‌های رشد کرده بر روی مدیا از عمق بی‌هوای می‌شوند و سطح مدیا را رها خواهندکرد. ضمن اینکه رشد فراوان باکتری‌های رشته‌ای در چنین شرایطی امکان اتصال لخته‌های بیولوژیکی به سطح مدیا و به یکدیگر را مختل می‌سازند. بنابراین

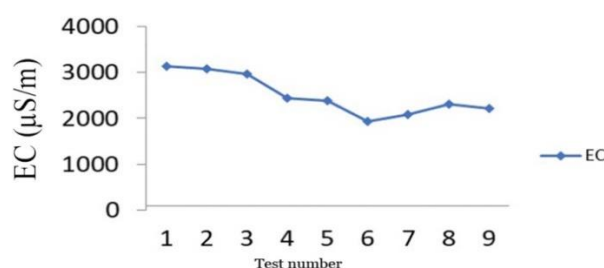


Fig. 3- Trend of changes EC of the pilot output during the research

شکل ۳- روند تغییرات EC خروجی پایلوت در طول تحقیق

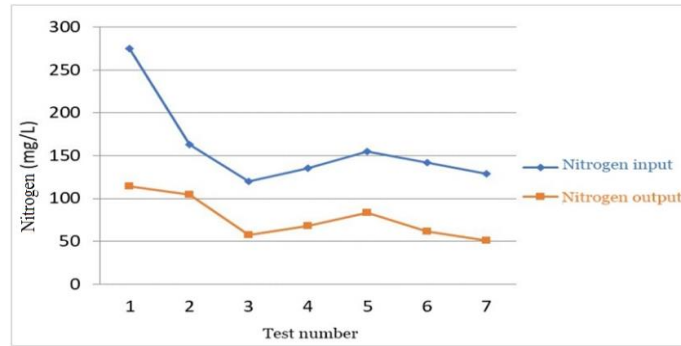


Fig. 4- Nitrogen removal diagram in the pilot during the research
 شکل ۴- نمودار حذف نیتروژن در پایلوت در طول تحقیق

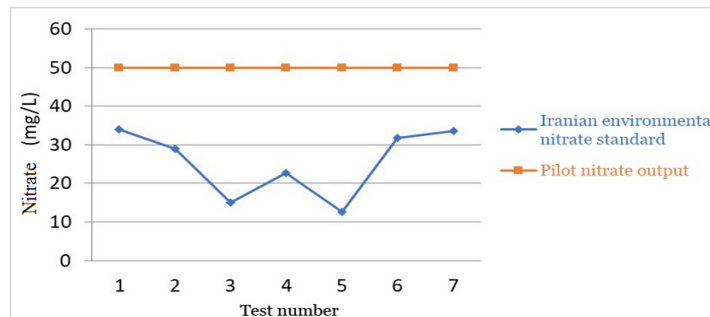


Fig. 5- Nitrate concentration of output wastewater from the pilot
 شکل ۵- میزان غلظت نیترات پساب خروجی از پایلوت

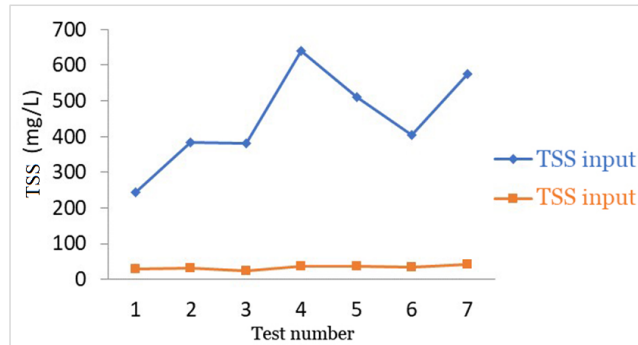


Fig. 6- Input and output loads of TSS
 شکل ۶- میزان ورودی و خروجی پایلوت

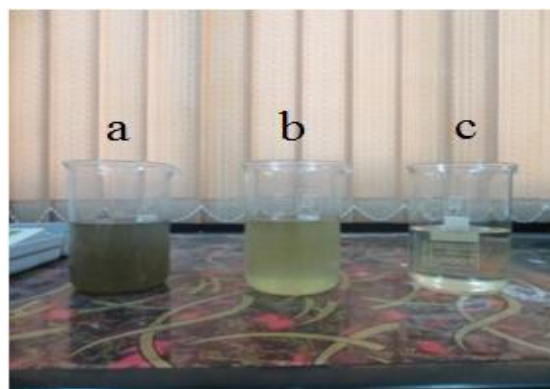


Fig. 7- a) Input wastewater, b) anaerobic wastewater and c) output pilot wastewater
 شکل ۷- (a) فاضلاب ورودی، (b) پساب خروجی قسمت بی‌هوازی و (c) پساب خروجی پایلوت

نتیجه گیری

تصفیه بی‌هوازی به دلیل وجود باکتری‌های بی‌هوازی قدرت بیشتری در هضم و حذف مواد آلی دارد. همین امر سبب می‌شد که این فاز تصفیه مکمل یکدیگر باشند، بدین صورت که فاز بی‌هوازی بار آلی را به حد قابل تصفیه برای فاز هوازی پایین می‌آورد و در مرحله بعد، فاز هوازی بار آلی را به حد قابل قبول می‌رساند. این روش تصفیه به‌طور قابل ملاحظه‌ای در حذف مواد آلی، TSS، نیتروژن فسفات مؤثر بوده و میزان نیتراتی به مراتب کمتر از مقدار استاندارد محیط زیست ایران برای تخلیه به منابع پذیرنده تولید می‌کند می‌توان روش بی‌هوازی-هوازی (AO) را به‌عنوان روشی مطمئن برای تصفیه فاضلاب‌های صنایع فلز معرفی کرد. لازم به ذکر است در تمام مراحل انجام آزمایش‌ها میزان شاخص حجمی لجن در محدوده ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر قرار داشت که این محدوده نشانگر کیفیت مناسب ته‌نشینی لجن زلال‌ساز می‌باشد. از مزیت‌های دیگر این مدل می‌توان به مقاومت بالای سیستم نسبت به شوک‌های هیدرولیکی، آلی و

سمی اشاره کرد (Mohamadi et al 2019). دلیل این امر وجود فاز بی‌هوازی در ابتدای مدل است. نتایج حاصل حاکی از آن است که روش تصفیه ترکیبی AO گزینه‌ای مناسب برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی با بار آلی نسبتاً زیاد می‌باشد. این روش می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش لجن فعال متداول و سیستم‌های بی‌هوازی باشد. رسیدن غلظت مواد آلی به زیر حدود استاندارد برای تخلیه به منابع پذیرنده، استفاده برای آبیاری فضای سبز، کشاورزی و تزریق به منابع آب زیرزمینی، کاربرد مؤثر پایلوت در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی را آشکار می‌سازد.

تقدیر و تشکر

با سپاس از تمامی عزیزان از جمله خانم مهندس سیده سارا سعادتی و آقای مهندس مصطفی شریعت که ما را در این راه یاری کردند تا بتوانیم پژوهشی درخور انجام داده و کمکی هر چند اندک به پیشرفت بشریت کنیم.

References

- 1- Abrishamchi. A., Afshar. A. and Jamshid. B.. 2005. Microbiology of Wastewater Treatment Process. *Payam Khojasteh Publisher*. (In Persian).
- 2- Adam. C., Gnirb. M., Lesjean. B., Buisson. H. and Kraume. M.. 2006. Enhanced biological phosphorus removal in membrane bioreactors. *Water Science & Technology*. 46: 281–286. Doi: doi.org/10.2166/wst.2002.0606.
- 3- Amini. M.. 2012. Investigation of Wastewater Treatment of Two Combined Bioreactors Aerobic and Anaerobic Containing Granular Sludge with the Effect of Aeration Time and Nutrient Flow Intensity. *First National Conference on Strategies for Access to Sustainable Development*.
- 4- Bortone, G., Libelli, S.M., Tilche, A. and Wanner, J., 1999. Anoxic phosphate uptake in the DEPHANOX process. *Water science and technology*, 40(4-5), pp.177-185. doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00500-4. https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00500-4.
- 5- Chandler. H.. 2010. Moving beb biofilm reactor technologi – a full- scale installation for treatment of pharmaceutical wastewater. 64:163–177.
- 6- Dulekgurgen, E., Ovez, S., Artan, N. and Orhon, D., 2003. Enhanced biological phosphate removal by granular sludge in a sequencing batch reactor. *Biotechnology letters*, 25, pp.687-693.
- 7- Golbabaie. F.. 2012. Wastewater Treatment of Canned Fish Factory Using UASB Anaerobic Reactors, *the Second Conference on Environmental Planning and Management*. (In Persian)
- 8- Mohamadi. A.. 2013. Investigation of Organic Matter Removal Efficiency by Combined Anaerobic-Aerobic (AO) Treatment on Wastewater of Metal Industries. *Master Thesis. School of Agriculture. Isfahan University of Technology*. (In Persian).
- 9- Mohamadi, O., Heidarpour, M. and Jamali, S., 2019. Evaluation of COD and BOD5 Removal Efficiency by Combined Treatment Aerobic-Anaerobic (AO) on Sewage of Metal Industries. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 23(3), pp.275-287. Doi: 10.47176/jwss.23.3.38111.

-
- 10-Monzavi. M. T.. 2005. Municipal Wastewater Treatment, Volume 2, Tenth Edition, *University of Tehran Press*. (In Persian).
 - 11-Mousavi. S. N.. 2010. Biological Analysis of Phenolic Compounds by Reactive Anaerobic Reactor with the Help of Activated Sludge, Master Thesis in Environment, Faculty of Civil Engineering, *Noshirvani University of Technology, Babol*. (In Persian).
 - 12-Muñoz, R. and Guieysse, B., 2006. Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. *Water research*, 40(15), pp.2799-2815. Doi: doi.org/10.1016/j.watres.2006.06.011.
 - 13-Qoli Kandy. G., Jamshidi. S.H. and Valipour. A.. 2012. The Use of Electrolysis in Improving the Operation of Anaerobic Reactors. *Environmental Science*. 38. No. 4.
 - 14-Tchobanogolous. G., Burton. F.L. and Stensel. H.D.. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Metcalf & Eddy (Ed.). *McGraw-Hill Science/Engineering/Math. Third Edition*.
 - 15-Zhidong. L., Na. L., Honglin. Z. and Dan. L.. 2009. Study of AO submerged Membrane Bioreactor for Oil Refinery wastewater treatment. *Petroleum Science and Technology*. 27:1274-1285. Doi: 10.1080/10916460802455228.
 - 16-Zhou, Y., Liang, Z. and Wang, Y., 2008. Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate. *Desalination*, 225(1-3), pp.301-311.

In The Name of God

Irrigation Sciences and Engineering

(Scientific)

Vol. 47 (3)

Fall 2024

Board of Editors

AkhondAli, A. M.	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Ghomeshi, M	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Heydarpour, M.	Professor	Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology
Kashefipour, S. M.	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Liaghat, A. M.	Professor	Faculty of Agriculture, University of Tehran
Hosseinzadeh Dalir, A.	Professor	Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
Naseri, A. A.	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Zand Parsa, Sh.	Professor	Faculty of Agriculture, Shiraz University of Technology
Pagliara, Stefano.	Professor	Department of Civil Engineering, University of Pisa, Italy
Sai Hin, L.	Associate Professor	Department Of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, Malaysia
Ahmadian, R.	Professor	Department of Civil Engineering, School of Engineering, Cardiff University, UK
Ritzema, H.	Associate Professor	Water Resources Management Group, Environmental Sciences Group, Wageningen University & Research, Netherland

Published by: Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Sciences Engineering, Ahvaz, Iran.

Director: BoromandNasab, S.

Editor-in-Chief: Kashefipour, S.M.

Editorial Manager: Yazdani, N

Type Setting: Yazdani, N.

E-mail: JISE.Water@Scu.ac.ir
JISE.Water@yahoo.com

Publication license of the Ministry of Culture and Islamic Guidance No. 10362/124 on 29/12/1998 and license of the Journal Review Office of the Ministry of Science, Research and Technology No. 11/3/1264 on 21/10/2009 for the Journal of Irrigation Sciences and Engineering.

Contents

Title	Authors	Page
Numerical Study of the Effect of Gradual Parabolic Inlet Transition of the Elliptical LOPAC Gate on the Hydraulic Conditions of the Flow	M. Shafai-Bajestan, K. Kazemi Hassanvand and M. Zeinivand	1
Performance evaluation of ANN-WOA and ANN-BWO simulation-optimization methods in predicting daily runoff (case study: Jelogir station in Karkheh watershed)	E. Merufinia, A. Sharafati, H. Abghari and Y. Hassanzadeh	19
Investigating the management of distribution and allocation of irrigation water in two optimal and traditional modes,Case Study: Irrigation and drainage networks of Marun	L. Amanat behbahani, A. Saki and M. Esmaeili	37
Comparison of availability and uptake of phosphorus and potassium in sugarcane under subsurface drip irrigation and furrow irrigation	A. Karimi, E. Zanganeh-Yusefabadi and S. Safirzadeh	57
Investigating the effects of compost and biochar on Maize in different irrigation regimes and drip irrigation system in Khoramabad region	M. Saeidi Nia, S. H. Mousavi and S. Rahimi Moghadam	69
Development of system dynamics model for sustainable management of water resources by python approach in Tajan catchment	S.F. Hashemi, A. Shanazari ² , R. Mustafavi Eshkelak, S. Sadeghi	87
Comparative evaluation of Karoon river status based on water quality and pollution indices (case study: Bavi county)	K. Hamidi, M. Cheraghi and K. Almasieh	107
Biological treatment of industrial wastewater (Metal Industries) using anaerobic-aerobic combination method	O. Mohamadi, M. Hesam, M. Heidarpour and M.M. Kohansal	123