علوم و مهندسی آبیاری

(علمی)

ISSN 2588-5952

تابستان ۱۴۰۴ — جلد چهل و هشتم شماره ۲

انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز

انجمن هیدرولیک ایران
Iranian Hydraulic Association

عنوان	نویسندگان	صفحه
بررسی ساختار جریان آشفته و حمل رسوب در اطراف یک پایه مستطیلی دماغه گرد با استفاده از کفبند پایین‌دست	احسان سندگل، منوچهر حیدرپور و رضا محمدپور قلاتی	۱
بررسی تأثیرافزودنی‌های مختلف روی کاهش واگرایی فیزیکی وبهبود ظرفیت باربری خاک غیرچسبنده	سروش فرخنده، حسین بهرامی و جواد احدیان	۲۱
بررسی تابع تقاضا معکوس و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی قیمت محصولات زراعی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین)	سیده مرضیه حسینی و حامد مازندرانی زاده	۳۷
بهینه‌سازی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با استفاده از چارچوب ردپای آب (مطالعه‌ی موردی: شهرستان میناب)	ندا روح الامینی، ام البنین بذرافشان و علیرضا نفرزادگان	۵۱
تحلیل هم‌واژگانی مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱	سعید غفاری، ندا یزدانی خوزانی و مسعود بختیاری	۶۷
عوامل مؤثر بر کارایی مصرف منابع آب در استان‌های ایران با رویکرد پانل دوربین فضایی	سید مهدی حسینی، امیر دادرس مقدم، حسین بدیع برزین و محمد نوروزیان	۸۵
بررسی تأثیر سطوح مختلف بیوچار بقایای بستر قارچ بر برخی خصوصیات شیمیایی زهاب	محمد والی پور، سعید برومند نسب، عبدعلی ناصری، لاله دیوبند هفشجانی و ناصر عالم زاده انصاری	۱۰۱
استفاده از مدل WETSPASS برای بررسی اثرات استفاده از زمین و پوشش گیاهی بر بیلان آبی (مطالعه موردی: منطقه خفر استان فارس)	اسماعیل مظفری، علی صارمی، حسین قربانی زاده خرازی و حسین بابازاده	۱۱۵

علوم و مهندسی آبیاری

(علمی)

جلد چهل و هشتم شماره۲ **تابستان ۱۴۰۴**

مدیر مسؤول: سعید برومندنسب

سردبیر: سیدمحمود کاشفی‌پور

مدیر داخلی: مهدی دریایی

تایپ و صفحه آرایی: ندا یزدانی

ویراستار: ندا یزدانی

هیأت تحریریه :

آخوندعلی، علی‌محمد	استاد	هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
حیدرپور، 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
کاشفی‌پور، سیدمحمود	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
هِنک ریتزما	دانشیار	گروه مدیریت منابع آب، گروه علوم محیط زیست،دانشگاه واگنینگن و پژوهش، هلند

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

کلیه مکاتبات از طریق سردبیر مجله به نشانی اهواز ـ دانشگاه شهید چمران اهواز ـ دانشکده مهندسی آب و محیط زیست ـ 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 ۲۹ /۸۸/۷ برای مجله علوم و مهندسی آبیاری

بسم الله الرحمن الرحيم

اسامی بررسی کنندگان مقالات این شماره

ادیب	آرش
بهمنی	امید
پورحقی	امیر
جوزی	مهدی
چراغی	زهره
خزیمه نژاد	حسین
دحیماوی	عادل
دریایی	مهدی
رمضانی اعتدالی	هادی
سلطانی محمد	امیر
سهیلی	فرامرز
عابدی کوپایی	جهانگیر
قمشی	مهدی
لشکرآرا	بابک
مازندرانی زاده	حامد
منتظر حجت	امیرحسین
میرعباسی	رسول

پیشگفتار

سپاس و ستایش پروردگار متعال که بر ما منت گذاشت تا با همت و پشتکار اعضاء هیأت تحریریه، کارکنان مجله، همکاری داوران و ویراستاران، جلد ۴۸، شماره ۲ 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

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
بررسی ساختار جریان آشفته و حمل رسوب در اطراف یک پایه مستطیلی دماغه گرد با استفاده از کفبند پایین‌دست احسان سندگل، منوچهر حیدرپور و رضا محمدپور قلاتی	۱
بررسی تأثیرافزودنی¬های مختلف روی کاهش واگرایی فیزیکی وبهبود ظرفیت باربری خاک غیرچسبنده سروش فرخنده، حسین بهرامی و جواد احدیان	۲۱
بررسی تابع تقاضا معکوس و شبکه عصبی مصنوعی در پیش¬بینی قیمت محصولات زراعی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین) **سیده مرضیه حسینی و حامد مازندرانی زاده**	۳۷
بهینه‌سازی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با استفاده از چارچوب ردپای آب (مطالعه‌ی موردی: شهرستان میناب) ندا روح الامینی، ام البنین بذرافشان و علیرضا نفرزادگان	۵۱
تحلیل هم‌واژگانی مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ سعید غفاری، ندا یزدانی خوزانی و مسعود بختیاری	۶۷
عوامل مؤثر بر کارایی مصرف منابع آب در استان‌های ایران با رویکرد پانل دوربین فضایی سید مهدی حسینی، امیر دادرس مقدم، حسین بدیع برزین و محمد نوروزیان	۸۵
بررسی تأثیر سطوح مختلف بیوچار بقایای بستر قارچ بر برخی خصوصیات شیمیایی زهاب محمد والی پور، سعید برومند نسب، عبدعلی ناصری، لاله دیوبند هفشجانی و ناصر عالم زاده انصاری	۱۰۱
استفاده از مدل WETSPASS برای بررسی اثرات استفاده از زمین و پوشش گیاهی بر بیلان آبی (مطالعه موردی: منطقه خفر استان فارس) اسماعیل مظفری، علی صارمی، حسین قربانی زاده خرازی و حسین بابازاده	۱۱۵

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 1-19

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of turbulence flow structure and sediment entrainment around a round-nosed rectangular pier using a downstream bed sill

E. Sanadgol [1], M. Heidarpour [2*] and R. Mohammadpour Ghalati [3]

1- Ph.D. Student of Civil Engineering Department, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran.
2- Corresponding Author, Professor, Department of Water Science and Engineering, Isfahan University of Thecnology, Isfahan, Iran. (heidar@iut.ac.ir)*
3- Assistant Professor, Civil Engineering Department, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 05 May 2020
Revised: 24 December 2020
Accepted: 27 December 2020

Keywords:
Bridge pier, Bed sill, Scour, Bursting events, Quadrant analysis.

TO CITE THIS ARTICLE:

Sanadgol, E., Heidarpour, M., Mohammadpour Ghalati, R. (2025). 'Investigation of turbulence flow structure and sediment entrainment around a round-nosed rectangular pier using a downstream bed sill', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 1-19. doi: 10.22055/jise.2020.32989.1916

Introduction

Estimation of scour at bridge piers has always been a challenging problem to the hydraulic engineers and has attracted the interest of many researchers. Bridges are always degradation due to various factors, but many researchers have identified the main cause of bridge failure as local scour around bridge piers (Lagasse and Richardson, 2001; Dey and Barbhuiya, 2004; Khaple et al., 2017b). Although there are numerous studies of local scour, however, the coherent structures in turbulent flow around the bridge pier still remain unknown. Most studies on scour have focused on techniques to control and reduce the local scouring (e.g. Izadinia and Heidarpour, 2012). Since the sediment transport process is very complicated due to the interaction of many parameters, therefore, studies have been carried out to determine the turbulent flow structure, but not enough. Lu and Willmarth (1973) introduced the quadrant analysis for studying the structure of the bursting phenomenon. In fact, the bursting phenomenon consists of four different events outward interaction, ejection, inward interaction, and sweep. Izadinia et al. (2013) and Izadinia and Heidarpour (2019) by measured velocity profiles around the circular pier and using quadrant analysis, they investigated the flow structure around the pier. Given the importance of the flow structure and in particular the bursting events around the bridge piers, it can be stated that still their characteristics have not been investigated in detail. Therefore, since the quadrant analysis is a powerful tool to recognize the structure of the bursting phenomenon and consequently to find the susceptible regions for sediment entrainment and deposition, this technique is considered in present study to investigate the coherent structure of turbulent flow in scouring process around the bridge pier. In addition, since previous studies have focused more on investigating the flow structure at the circular bridge pier, therefore, the main objective of this study is to investigate the flow structure around round-nosed rectangular with bed sill.

Methodology

The experiments were carried out in a rectangular flume with 15 m length, 0.9 m width and 0.6 m height. A round-nosed rectangular pier with the ratio of L/b=2 and the width of 30 mm was installed at the center of the test section 1 m long. The test section was filled with uniform sand particles of 0.72 mm medium diameter and geometric standard deviation of 1.2. The coordinates of the pier location are x=0 and y=0. A 1-cm-thick PVC plate as wide as the channel width and flush with the bed was used as the bed sill at downstream of the pier. The bed sill was attached to back of the pier. The local scour test was carried out under conditions that the ratio of flow velocity to the critical flow velocity was 0.92. The longitudinal, transversal, and vertical velocities in the centerline of the channel were measured using by Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). The velocity fluctuations at each point were measured with a frequency of 200 Hz and a sampling duration of 120 s, such that 24000 data samples were captured for each velocity component. Velocity profiles were measured in 9 different positions at upstream and downstream of the bridge pier. After measuring the velocity fluctuation data, WinADV was used to filter and process the velocity and turbulence data. The velocity data was processed based on two key parameters, signal to noise ratio (SNR) and correlation coefficient (COR). Velocity data with SNR of less than 15 dB and COR of less than 70% was filtered out.

Results and Discussion

Bursting events were analyzed using quadrant analysis. For this purpose, a computer program was written in MATLAB. The occurrence probabilities profiles of each events at upstream and downstream of the pier for H=0 are shown in Fig. (1). The results indicate that at upstream of the pier and near the bed (z/h<0.03), occurrence probabilities outward interaction and inward interaction are dominant. By increasing the distance from the bed due to the velocity reversal phenomenon near the bed, the occurrence probabilities of ejection and sweep become dominant. By averaging of occurrence probabilities at depth in upstream of the pier, it was found that the sweep event has highest occurrence probability than other events, which followed, by ejection, outward interaction and inward interaction events have highest occurrence probabilities. In downstream of the pier, near the bed (Fig. 1b), outward interaction and inward interaction events than ejection and sweep events are highest occurrence probabilities. The occurrence probabilities of outward interaction and inward interaction events become nearly the same in outer region. The other two events, ejection and sweep, have nearly the same occurrence probabilities.

The variations $|S_{i,H}|$ as a function of the hole size H for each quadrant at z/h=0.1 at upstream and downstream of the pier are shown in Fig. (2). The results indicate that ejection (II) and sweep (IV) events are dominant and outward interaction (I) and inward interaction (III) events appear to contribute weakly to the Reynolds shear stress production. In general, the contribution of each events to the Reynolds shear stress production in downstream of the pier due to the presence of bed sill are weaker.

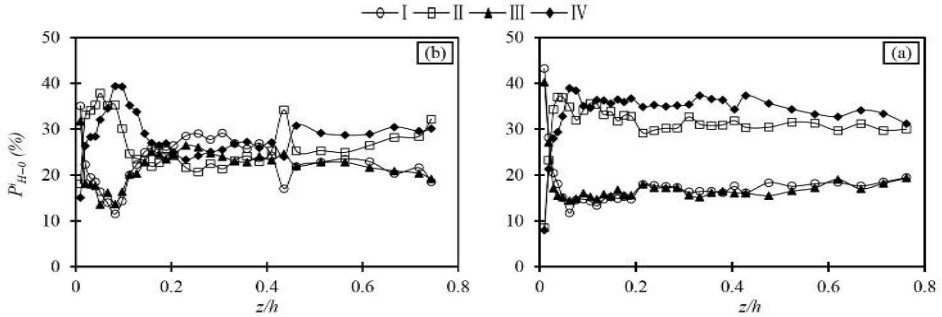


Fig 1- Occurrence probability of bursting event for each quadrant (I, II, III, IV); (a) upstream of the pier, (b) downstream of the pier

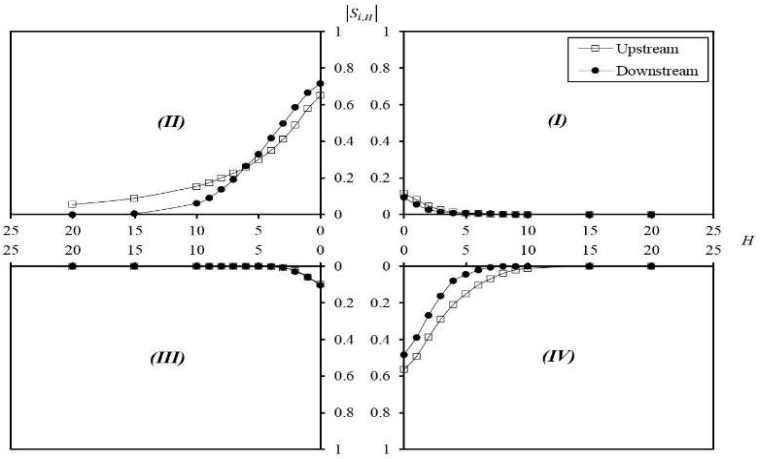


Fig 2- Variation of $|S_{i,H}|$ with H for z/h=0.1 at upstream and downstream of the pier for each quadrant (I, II, III, IV)

Conclusions

At upstream of the pier, it was found that sweep event than ejection, outward interaction and inward interaction events has highest occurrence probabilities. In downstream of the pier, near the bed, outward interaction and inward interaction events are highest occurrence probability. In addition, investigation the variations $|S_{i,H}|$ as a function of the hole size H at z/h=0.1 it shown that the ejection and sweep events are dominant and as well as the contribution of each events to the Reynolds shear stress production in downstream of the pier due to the presence of bed sill are weaker.

Acknowledgment

Hereby, the authors thanks the head of laboratory which accompanied us on this path.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

Authors' Contribution

First Author: Ehsan Sanadgol, Performed the experiments and carried out the analysis of a portion of the data.
Second Author: Manouchehr Heidarpour, Supervised data verification and analysis, and provided guidance in the preparation of the manuscript.
Third Author: Reza Mohammadpour Ghalati, article review

References

1- Dey, S. and Barbhuiya, A.K., 2004. Clear-water scour at abutments in thinly armored beds. *Journal of hydraulic engineering*, *130*(7), pp.622-634.

2- Izadinia, E. and Heidarpour, M., 2012. Simultaneous use of cable and collar to prevent local scouring around bridge pier. *International Journal of Sediment Research*, *27*(3), pp.394-401.

3- Izadinia, E. and Heidarpour, M., 2019. Study of affective phenomena on Sediment transport in local scouring around bridge piers. *Iranian Water Research Journal*, *13*(2), pp.105-116. (In Persian).

4- Izadinia, E., Heidarpour, M. and Schleiss, A.J., 2013. Investigation of turbulence flow and sediment entrainment around a bridge pier. *Stochastic environmental research and risk assessment*, *27*(6), pp.1303-1314.

5- Khaple, S., Hanmaiahgari, P.R., Gaudio, R. and Dey, S., 2017b. Splitter plate as a flow-altering pier scour countermeasure. *Acta Geophysica*, *65*(5), pp.957-975.

6- Lagasse, P.F. and Richardson, E.V., 2001. ASCE compendium of stream stability and bridge scour papers. *Journal of Hydraulic Engineering*, *127*(7), pp.531-533.

7- Lu, S.S. and Willmarth, W.W., 1973. Measurements of the structure of the Reynolds stress in a turbulent boundary layer. *Journal of Fluid Mechanics*, *60*(3), pp.481-511.



© 2025 Shahid Chamran Universiry 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۱۹-۱

بررسی ساختار جریان آشفته و حمل رسوب در اطراف یک پایه مستطیلی دماغه گرد با استفاده از کفبند پایین‌دست

احسان سندگل [۱]، منوچهر حیدرپور [۲*] و رضا محمدپور قلاتی [۳]

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران.

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، heidar@iut.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران.

دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۰۴ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۷

چکیده

تعامل پیچیده بین جریان آشفته و ذرات رسوب در بستر منجر به آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه پل می‌شود. بیشتر مطالعه‌های صورت‌گرفته در زمینه آب‌شستگی است و به بررسی ساختار جریان در اطراف پایه و به خصوص پایه با عامل حفاظتی کمتر توجه شده است. در این مطالعه، به بررسی جریان آشفته در اطراف پایه مستطیلی دماغه گرد با کفبند با اندازه‌گیری پروفیل‌های سرعت پرداخته شده و سهم هر یک از رخدادهای خودانفجار در تنش برشی رینولدز تعیین و مورد بررسی قرار گرفته است. سرعت‌های سه‌بعدی جریان در محور مرکزی کانال با استفاده از یک سرعت سنج صوتی اندازه‌گیری شد. داده‌های سرعت با استفاده از آنالیز کوادرانت برای شناخت مناطق حساس برای حمل و ته‌نشینی رسوب مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که رخداد جاروبی پدیده غالب می‌باشد. رخدادهای جاروبی و پرتابی مکانیسم موثری برای حمل رسوب در اطراف پایه با کفبند را دارند. بررسی تغییرات $|S_{i,H}|$ به ازای H نشان داد که در پایین‌دست پایه سهم هریک از رخدادها در تولید تنش برشی رینولدز به علت وجود کفبند نسبت به بالادست پایه ضعیف‌تر است.

کلید واژه‌ها: پایه پل، کفبند، آب‌شستگی، وقایع خودانفجار، آنالیز کوادرانت.

مقدمه

برآورد آب‌شستگی ناشی از پایه‌های پل همواره مشکل چالش‌برانگیزی برای مهندسان هیدرولیک بوده و علاقه پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است. زمانی‌که جریان رودخانه ازمیان پایه‌های پل جریان می‌یابد، جدایی جریان در اطراف پایه رخ می‌دهد (Khaple et al., 2017b). انسداد جریان توسط پایه پل و هم‌چنین وجود ساختارهای پیچیده جریان اطراف پایه پل موجب تشکیل آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل می‌شود که از مهم‌ترین دلایل تخریب پل‌ها می‌باشد (Khaple et al., 2017a and Keshavarzi et al., 2017). محققان بسیاری علت اصلی خرابی پل‌ها را آب‌شستگی موضعی اطراف پایه‌های پل دانسته‌اند (Lagasse and Richardson, 2001; Dey and Barbhuiya, 2004; Khaple et al., 2017b). لایه مرزی بالادست پایه تحت جدایی جریان سه‌بعدی قرار گرفته و سیستم پیچیده‌ای از گرداب‌ها را در اطراف پایه تشکیل می‌دهد (Zarrati et al., 2004; Zarrati et al., 2010; Heidarpour et al., 2010; Keshavarzi et al., 2017; Khaple et al., 2017b). الگوی آب‌شستگی و مکانیسم جریان در اطراف تک پایه پل به‌صورت شماتیک در شکل (۱) نشان شده است.

علی‌رغم این‌که مطالعه‌های بسیاری روی آب‌شستگی موضعی وجود دارد، اما هم‌چنان عدم درک ساختارهای منسجم در جریان آشفته اطراف پایه پل وجود دارد. با بررسی مطالعه‌های گذشته می‌توان بیان نمود که بیشتر تحقیقات روی روش‌های مقابله با کاهش آب‌شستگی موضعی متمرکز شده است (Zarrati et al., 2004; Masjedi et al., 2010; Zarrati et al., 2010; Mashahir et al., 2010; Heidarpour et al., 2010; Izadinia and Heidarpour, 2012; Moreno et al., 2017; Khaple et al., 2017b). هم‌چنین برخی از مطالعه‌های نیز روی پیش‌بینی حداکثر عمق آب‌شستگی متمرکز شده است (Melville and Coleman, 2000; Dey and Barbhuiya, 2004).

از آنجایی‌که فرایند انتقال رسوب به‌علت تعامل بسیاری از پارامترها از پیچیدگی خاصی برخوردار است، لذا مطالعه‌های زیادی برای تعیین ساختار جریان آشفته انجام شده است، اما ماهیت تصادفی جریان آشفته در اطراف پایه‌های پل به درستی مشخص نشده است (Izadinia et al. 2013, Keshavarzi et al. 2014, Keshavarzi et al. 2017, Dey et al., 2018a; Dey et al., 2018b; Izadinia and Heidarpour, 2019).

پدیده خودانفجار ابزاری برای توصیف انتقال حرکت بین جریان آشفته و آرام است که برای بررسی ساختار آن آنالیز کوادرانت معرفی

DOI: 10.22055/JISE.2020.32989.1916

گردید (Lu and Willmarth, 1973). در حقیقت آن‌ها از آنالیز کوادرانت به‌عنوان ابزاری برای تعیین تفاوت هریک از رخدادهای پدیده خودانفجار که شامل حرکت جاروبی (Sweep)، حرکت پرتابی (Ejection)، برهم‌کنش درونی (Inward interaction) و برهم‌کنش بیرونی (Outward interaction) است، استفاده کردند.

Drake et al. (1988) و Nelson et al. (1995) نشان دادند که انتقال رسوب در نزدیک بستر، به میزان زیادی به چهار رخداد پدیده خودانفجار مرتبط می‌باشد. Nelson et al. (1995) مطرح کردند که رخداد جاروبی تنها رخداد عامل حرکت بار بستر نبوده و رویداد جریان بیرونی نیز در انتقال بار بستر مؤثر است. آن‌ها نشان دادند وقتی که مقدار جریان بیرونی نسبت به سایر رخدادها افزایش یابد، میزان رسوب به مقدار زیاد افزایش یافته، اگرچه مقدار تنش برشی رینولدز کاهش می‌یابد. Grass (1983) نشان داد که سهم حرکت جاروبی در انتقال مومنتوم بیش از حرکت پرتابی است. Thorne et al. (1989) و Keshavarzy و Ball (1995) اذعان نمودند که احتمال حرکت جاروبی و پرتابی در یک تناوب بیش از برهم‌کنش درونی و برهم‌کنش بیرونی است. Williams (1990) و Thorne et al. (1989) بیان کردند قسمت عمده انتقال رسوبات براساس حرکت جاروبی و تا حدی در اثر برهم‌کنش بیرونی اتفاق می‌افتد، درحالی‌که انتقال رسوبات به‌صورت ذرات معلق بیشتر در حرکت پرتابی اتفاق می‌افتد. Keshavarzy و Ball (1995) نشان دادند اندازه تنش برشی لحظه‌ای در حرکت جاروبی بیش از برهم‌کنش درونی و برهم‌کنش بیرونی می‌باشد. Jafari Mianaei و Keshavarzi (2010) با استفاده از آنالیز کوادرانت جریان آشفته و حمل رسوب روی ریپل‌ها را بررسی کردند. Esfahani و Keshavarzi (2011) به مطالعه پدیده خودانفجار برای به‌دست آوردن ساختار توربلانس در کانال‌های انحنادار پرداختند. Keshavarzi و Ball (2011) به بررسی ساختار جریان منسجم در اطراف تک پایه استوانه‌ای پل پرداختند و اثرات آن را بر الگوی آب‌شستگی بستر مورد بررسی قرار دادند. Izadinia et al. (2013) در اطراف پایه استوانه‌ای پروفیل‌های سرعت را برداشت کرده و به بررسی و مطالعه خصوصیات جریان آشفته پرداختند. Keshavarzi et al. (2014) به تجزیه و تحلیل سه‌بعدی از ساختار جریان آشفته منسجم در اطراف پایه پل پرداخته و تأثیر چهار رخداد وقایع خودانفجار را در انتقال رسوبات از بستر مورد بررسی قرار دادند. Izadinia و Heidarpour (2019) پروفیل‌های سرعت در اطراف پایه پل را برداشت کرده و با استفاده از آنالیز کوادرانت به بررسی ساختار جریان در اطراف پایه پرداختند.

علی‌رغم این‌که مطالعه‌های در زمینه ساختار جریان اطراف پایه انجام شده است و با توجه به اهمیت این موضوع و به‌ویژه وقایع خودانفجار در اطراف پایه پل، می‌توان بیان نمود که هنوز خصوصیات آن‌ها با جزییات مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا ازآنجایی‌که آنالیز کوادرانت ابزاری قدرتمند برای شناخت ساختار پدیده خودانفجار و در نتیجه پیدا کردن نواحی حساس برای حمل رسوب و رسوب‌گذاری است، این روش در مطالعه حاضر به‌منظور بررسی ساختارهای جریان آشفته منسجم در فرایند آب‌شستگی اطراف پایه پل در نظر گرفته شده است (Izadinia et al. 2013; Izadinia and Heidarpour, 2019). علاوه‌براین، ازآنجایی‌که مطالعه‌های قبلی روی بررسی ساختار جریان در پایه استوانه‌ای بدون اقدامات حفاظتی متمرکز بوده است، لذا هدف اصلی این مطالعه بررسی ساختار جریان در اطراف پایه مستطیلی دماغه گرد با کفبند است.

مواد و روش‌ها

مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی از جنس پلکسی گلس به طول ۱۵ متر، عرض ۰/۹ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شد (شکل ۲). مقطع آزمایش که پایه و کف‌بند در آن قرار گرفته بود به طول یک متر با یک تورفتگی روی بستر به عمق ۰/۱۸ متر و در ده متری از پایین‌دست ورودی کانال قرار داشت تا بتواند یک جریان کاملاً توسعه‌یافته را تضمین کند. منطقه جریان کاملاً توسعه‌یافته جایی است که پروفیل‌های سرعت در جهت جریان تغییر نکنند. تورفتگی با ذرات یکنواخت با اندازه متوسط d_{50}=۰/۷۲ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی σ_g=۱/۲ پر شده بود. یک پایه مستطیلی دماغه گرد با نسبت L/b=۲ و به عرض ۳۰ میلی‌متر در مرکز مقطع آزمایش نصب گردیده بود. مختصات محل پایه y=۰ و x=۰ است، همان‌طور که در شکل‌های مربوطه نشان داده شده است. موقعیت x=۰ مرکز پایه است و y=۰ نیز محور مرکزی کانال می‌باشد. علاوه‌براین یک صفحه PVC به ضخامت یک سانتی‌متر و هم‌اندازه با عرض کانال و هم‌ارتفاع با عمق مقطع آزمایش به‌عنوان کفبند بستر در نظر گرفته شد و در فاصله D/b=۰ (D فاصله کفبند از پشت پایه و b عرض پایه) از پشت پایه نصب گردید (شکل ۳).

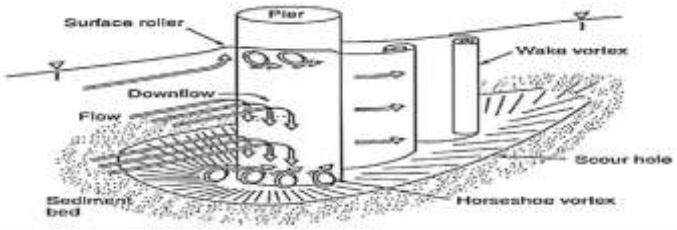


Fig 1- Flow mechanism around a bridge pier (Breusers and Raudkivi, 1991)

شکل ۱- مکانیسم جریان در اطراف پایه پل (Breusers and Raudkivi, 1991)

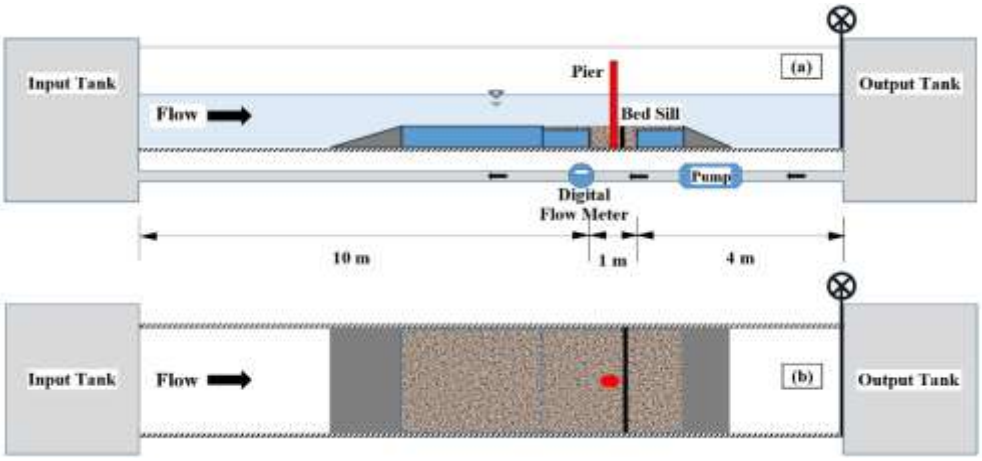


Fig 2- Schematic plan of the experimental flume: (a) side view, (b) plan view
شکل ۲- طرح شماتیکی از فلوم آزمایشگاهی a) نمای جانبی، b) پلان

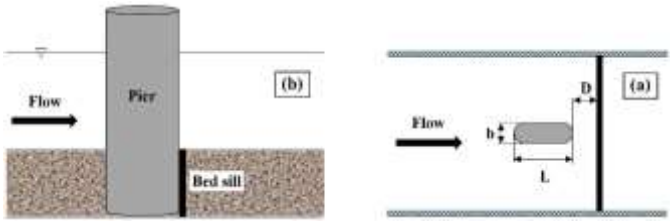


Fig 3- Illustration of a bed sill installed downstream of a rectangular pier: (a) Plan view, (b) side view
شکل ۳- تصویر کفبند نصب‌شده در پایین‌دست پایه مستطیلی a) پلان، b) نمای جانبی

نسبت فاصله محور پایه تا دیواره به عرض پایه مستطیلی برابر ۱۵ بود، به‌طوری‌که طبق معیار Raudkivi و Ettema (1983) اثر دیواره جانبی حذف شد. نسبت قطر پایه (در این‌جا عرض پایه) به اندازه متوسط ذرات رسوب برابر ۴۲ بود، به‌طوری‌که طبق معیار Raudkivi و Ettema (1983) اثر ذرات رسوب حذف شد. براساس Raudkivi و Ettema (1983) برای عدم تشکیل ریپل در رسوبات ($d_{50}\geq$۰/۷mm)، آزمایش‌ها می تواند با شرایط جریان بدون آشفتگی در بستر بالادست توسط جریان نزدیک‌شونده با موفقیت انجام شود. مطابق Chiew و Melville (1987) اگر انحراف معیار هندسی ذرات کمتر از ۱/۳ باشد، تأثیر عدم یکنواختی رسوبات بر عمق گودال آب‌شستگی ناچیز می‌شود. سطح آب در کانال توسط یک دریچه آبگیر در انتهای کانال کنترل می‌شد.

آستانه حرکت مواد بستر با انجام آزمایش قبل از نصب پایه بدین صورت پیدا شد. مقطع آزمایش بدون پایه و با ذرات رسوب پر گردید و پس از تسطیح آن با آب پر شد. پس از برقراری جریان و تنظیم دبی در کانال، عمق جریان به‌تدریج کاهش داده شد تا سرعت جریان افزایش پیدا کند. عمق متناظر با زمانی که ذرات به آرامی شروع به حرکت کردند به‌عنوان آستانه حرکت در نظر گرفته شد و آزمایش‌ها با این عمق انجام گردید. دبی جریان با استفاده از دبی‌سنج کانال تعیین شد. با تعیین دبی و آستانه حرکت مواد بستر شرایط جریان مطابق با جدول (۱) تعیین شد. ازآنجایی‌که حداکثر عمق آب‌شستگی در شرایط آب زلال در آستانه حرکت مواد بستر اتفاق می‌افتد، آزمایش در نظرگرفته‌شده در این مطالعه با این شرایط انجام شده است (Raudkivi, 1990). Vittal et al. (1994) زمانی را به‌عنوان زمان تعادل تعریف کردند که تغییرات عمق آب‌شستگی موضعی در یک دوره شش ساعته کمتر از یک میلی‌متر باشد. بنابراین حداقل مدت زمان انجام آزمایش به‌منظور دست‌یابی به عمق متعادل آب‌شستگی ۱۵ ساعت در نظر گرفته شد.

به‌منظور برداشت پروفیل‌های سرعت در ابتدا پس از برقراری شرایط تعادل، بستر مقطع آزمایش و گودال آب‌شستگی با مخلوط پودرسنگ و سیمان تثبیت گردید. سپس نوسانات سرعت در جریان با دقت ۰/۳ m/s ± و با فرکانس ۲۰۰ هرتز در سه بعد با استفاده از یک دستگاه سرعت سنج صوتی (ADV) نما پایین، توسعه‌یافته توسط شرکت Nortek، اندازه‌گیری شد. در شرایط تعادل پروب ADV (Probe) در فاصله ۵۲ میلی‌متری از بستر قرار گرفت و نوسانات سرعت در یک حجم کنترل واقع شده در ارتفاع ۵/۵ میلی‌متر لایه بالایی بستر اندازه‌گیری شد. مدت زمان نمونه‌برداری در هر نقطه از جریان ۱۲۰ ثانیه بود، به‌طوری‌که ۲۴۰۰۰ نمونه داده برای هر مؤلفه سرعت گرفته شد. پروفیل‌های سرعت در نه نقطه در محور مرکزی کانال اندازه‌گیری شد، همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است. پس از برداشت داده‌های نوسانات سرعت، از برنامه winADV برای فیلتر کردن و پردازش داده‌های سرعت و آشفتگی استفاده شد. برای کنترل درستی داده‌های سرعت، دو پارامتر کلیدی نسبت سیگنال به نویز (SNR) و ضریب همبستگی

DOI: 10.22055/JISE.2020.32989.1916

(COR) باید بررسی شود. برای ارایه داده‌های خوب سرعت باید محدوده‌های SNR و COR به‌ترتیب بیشتر از ۱۵ dB و ۷۰ درصد باشد. بنابراین در این مطالعه، مقادیر SNR و COR در ابتدای آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند و در محدوده قابل قبول یافت شدند. داده‌های برداشت‌شده براساس این محدوده فیلتر گردیدند.

آنالیز کوادرانت

فرایند خودانفجار شامل چهار نوع رخداد است. این فرایندها براساس آنالیز کوادرانت در صفحه u'-w'، بدین صورت طبقه‌بندی می‌شوند: برهم‌کنش بیرونی (u'>۰، w'>۰)، پرتابی (u'<۰، w'>۰)، برهم‌کنش درونی (u'<۰، w'<۰) و جاروبی (u'>۰، w'<۰) (Cellino and Lemmin, 2004; Yue et al., 2007; Maity and Mazumder, 2012, Izadinia et al., 2013; Dey et al., 2018b; Izadinia and Heidarpour, 2019). u' و w' به شرح زیر تعریف می‌شوند:

$$u' = u - \bar{u} \quad (۱)$$

$$w' = w - \bar{w} \quad (۲)$$

درجایی‌که u و w سرعت‌های لحظه‌ای در جهت‌های طولی و عمودی‌اند، $\bar{u}$ و $\bar{w}$ به‌ترتیب سرعت متوسط زمانی در جهت‌های طولی و عمودی هستند. u' و w' نیز به‌ترتیب نوسانات سرعت در جهات طولی و عمودی است. میانگین سرعت زمانی نیز بدین صورت تعیین می‌شود:

$$\bar{u} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} u_i \quad (۳)$$

$$\bar{w} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} w_i \quad (۴)$$

که N تعداد نمونه‌های سرعت لحظه‌ای است. چهار ربع مشخص‌شده برای نوسانات سرعت و رخدادهای خودانفجار وابسته در شکل (۵) نشان داده شده است.

چهار نوع رخداد خودانفجار اثرات متفاوتی بر میزان و مکانسیم‌های حمل رسوب در یک جریان آشفته دارند. رخداد پرتابی توسط حرکت رو به بالا با جریان با سرعت کم مشخص می‌شود، زیرا سرعت لحظه‌ای کمتر از سرعت متوسط زمانی است. با همین تعریف، رخداد جاروبی یک حرکت روبه‌پایین با جریان با سرعت زیاد به طرف بستر است. بنابراین، رخدادهای خودانفجار در این ربع تاثیر قابل‌توجهی در حمل ذرات به داخل آب در حال جریان دارد (Keshavarzy and Ball, 1997)، درحالی‌که انتقال رسوبات معلق اغلب در طی رخدادهای پرتابی رخ می‌دهد.

جدول ۱- شرایط جریان در آزمایش‌های تجربی

Table 1- Flow conditions in the experimental tests

Q (m^3/s)	U (m/s)	y (m)	U/U_c	Fr	Re
0.05	0.292	0.19	0.92	0.214	9809

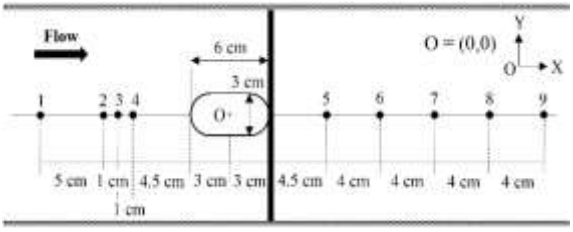


Fig 4- Points of the velocity measurement

شکل ٤- نقاط اندازه‌گیری سرعت

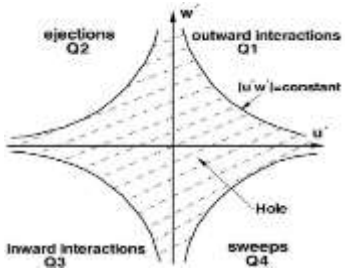


Fig 5- Bursting events and their associated quadrants

شکل ٥- وقایع خودانفجار و ربع‌های وابسته با آن‌ها

یک حد آستانه یا پارامتر اندازه گودال H در صفحه u'-w' برای آنالیز کوادرانت معرفی شده است. منطقه هاشورخورده در شکل (۵)، Hole نامیده می‌شود که توسط منحنی زیر تعیین می‌شود:

$$|u'w'| = H.\sqrt{\overline{u'^2}}.\sqrt{\overline{w'^2}} \quad (۵)$$

که H اندازه گودال است. در آنالیز کوادرانت، رخدادهایی که در ناحیه Hole قرار دارند، حذف شده‌اند. مقدار H=۰ نشان می‌دهد که همه u' و w' در آنالیز گنجانده شده‌اند. با افزایش پارامتر H، رخدادهای ضعیف‌تر از بین می‌روند. بنابراین، شناسایی رخدادهای قوی از ضعیف با پارامتر H امکان‌پذیر است. همان‌طور که توسط Nezu و Nakagawa (1993) اشاره شد، پارامتر H، کمابیش به‌طور دلخواه انتخاب می‌شود. در حقیقت سهم هر ربع در تنش برشی رینولدز به‌عنوان تابعی از حد آستانه H بوده است که توسط Dey و Nath (2010) تعریف شده است.

$$\langle u'w' \rangle_{i,H} = \lim_{t\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T u'(t)w'(t) I_H^i(y,t) dt \quad (۶)$$

که در آن T فواصل زمانی، y عمق جریان، t متغیر زمان و $I_H^i(y,t)$ تابع تعیین علامت بوده و از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$I_H^i(y,t) = \begin{cases} 1 & when \quad |u'w'| \geq H\left|\overline{u'w'}\right| \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۷)$$

سهم کسری $S_{i,H}$ به $-\overline{u'w'}$ از هر رخداد از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{i,H} = \frac{\langle u'w' \rangle_{i,H}}{\left|\overline{u'w'}\right|} \quad (۸)$$

برای H=0، مجموع سهم همه رخدادهای خودانفجار برابر با یک است ($\sum_{i=1}^{i=4} S_{i,0} = 1$). احتمال وقوع برای رخداد نوع i، به‌صورت P_H^i بیان می‌شود و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_H^i = \frac{\sum_{t=0}^{t=T_{MEAS}} I_H^i(y,t)}{\sum_{t=0}^{t=T_{MEAS}} \left[I_{H=0}^{i=1}(y,t) + I_{H=0}^{i=2}(y,t) + I_{H=0}^{i=3}(y,t) + I_{H=0}^{i=4}(y,t)\right]} \quad (۹)$$

که در آن T_{MEAS} طول مدت اندازه‌گیری و I تابع تعیین علامت است که از معادله (۷) به‌دست می‌آید (Cellino and Lemmin, 2004).

نتایج و بحث

این مطالعه به بررسی و تجزیه و تحلیل ساختار جریان در اطراف پایه مستطیلی دماغه گرد با کف‌بند بستر پرداخته است. لذا برای رسیدن به این هدف، آزمایش‌ها روی پایه مستطیلی دماغه گرد با کف‌بند بستر با مشخصات ارایه شده در قبل انجام گردید. خطوط کانتور در اطراف پایه مستطیلی دماغه گرد با کف‌بند بستر و توسعه زمانی آب‌شستگی موضعی در شکل (۶) ارایه شده است. به نظر می‌رسد که در شکل (۶-a) قسمت پایینی گرداب‌های برخاستگی با کفبند در تعامل است و به‌صورت عرضی انحراف می‌یابد. در نتیجه حرکت عرضی گرداب‌های برخاستگی موجب پهن‌تر شدن گودال آب‌شستگی می‌شود. علاوه‌براین انحراف عرضی گرداب‌های برخاستگی دو گودال متقارن در پایین‌دست کفبند ایجاد می‌کند. توسعه زمانی عمق آب‌شستگی در شکل (۶-b) نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است میزان افزایش عمق آب‌شستگی در ابتدای آزمایش بسیار زیاد بوده و با گذشت زمان از شدت آن کاسته می‌شود، به‌طوری‌که به شرایط تعادل نزدیک می‌شود. پس از برقراری شرایط تعادل، بستر آزمایش تثبیت گردید و برای داده‌برداری نوسانات سرعت توسط دستگاه ADV آماده شد. داده‌برداری نوسانات سرعت توسط دستگاه ADV در محور مرکزی کانال و از بالادست پایه تا پایین‌دست پایه انجام گردید. موقعیت نقاط داده‌برداری در محور مرکزی کانال روی پروفیل طولی بستر در شکل (۷) نشان داده شده است. داده‌برداری نوسانات سرعت در بالادست پایه در چهار نقطه و در پایین‌دست پایه در پنج نقطه انجام شده است. هر کدام از نقاط با یک شماره نام‌گذاری شده‌اند که در ادامه از این شماره‌ها برای توصیف و تجزیه و تحلیل نمودارها استفاده خواهد شد.

بررسی ساختار جریان در محور مرکزی کانال

بررسی ساختار جریان در اطراف پایه‌ها با بررسی پروفیل‌های سرعت صورت می‌گیرد. بنابراین، نیمرخ‌های سرعت در اطراف پایه مستطیلی دماغه گرد در محور مرکزی کانال برداشت گردید. در سیستم مختصات کارتزین مولفه‌های سه‌بعدی سرعت به‌صورت (u,v,w) می‌باشد که: u مولفه سرعت در راستای طولی (مستقیم)، v مولفه سرعت در راستای عرضی و w مؤلفه سرعت در راستای قائم می‌باشد. مبدا مختصات در مرکز پایه قرار گرفته و جهت مثبت X در جهت جریان می‌باشد. بنابر قانون دست راست محور خارج‌شده از کف دست جهت مثبت محور Y و محور خارج‌شده از انگشت شصت جهت مثبت محور Z را نشان می‌دهد. پروفیل‌های سرعت در بالادست و پایین‌دست پایه با فرض قرارگیری مرکز پایه در مختصات صفر برداشت گردیدند. شروع گودال آب‌شستگی تقریباً در x = −۱۲ cm می‌باشد (شکل ۷).

DOI: 10.22055/JISE.2020.32989.1916

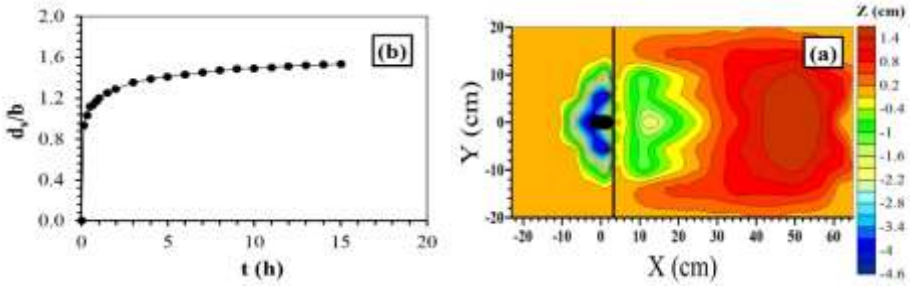


Fig 6- (a) Contour lines of the equilibrium scour hole around the pier and downstream of the bed sill, (b) Temporal development of local scour

شکل ٦- a) خطوط تراز گودال آب‌شستگی متعادل در اطراف پایه و پایین‌دست کف‌بند، b) توسعه زمانی آب‌شستگی موضعی

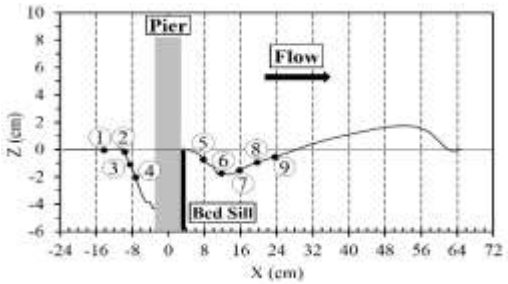


Fig 7- Location of velocity measurement points on the channel centerline on the bed profile

شکل ۷- موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت در خط مرکزی کانال روی پروفیل بستر

مؤلفه‌های طولی، عرضی و قائم سرعت نسبی در بالادست پایه در شکل (۸) نشان داده شده است. با توجه به شکل بالا با ورود به محدوده داخل گودال سرعت‌های طولی کاهش می‌یابند و با نزدیک شدن به پایه نیز سرعت‌های طولی در نزدیک بستر منفی می‌شوند که می‌توان این امر را به گرداب‌های اطراف پایه به‌دلیل جریان‌های رفت و برگشتی در اثر برخورد جریان با پایه نسبت داد. در این‌جا به‌دلیل محدودیت داده‌برداری در نزدیک پایه، سرعت‌های منفی مشاهده نگردید. به طورکلی می‌توان بیان نمود که مولفه‌های طولی سرعت در بالادست پایه غالب بوده و به‌ترتیب بیشتر از مؤلفه‌های قائم و عرضی سرعت می‌باشد.

مؤلفه‌های طولی، عرضی و قائم سرعت نسبی در پایین‌دست پایه در شکل (۹) نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است، سرعت‌های طولی در محدوده درون گودال مقادیر کمتری نسبت به موقعیت‌های دیگر دارد. هم‌چنین به علت کاهش سرعت در خارج از محدوده گودال در پشت پایه، یک جدایی جریان رخ داده است. علاوه‌براین در پشت پایه جریان معکوس به علت محدودیت دستگاه ADV در داده‌برداری اطراف پایه مشاهده نگردید. Sarker (1998) در مطالعه‌های خود در نزدیکی کف حفره جریان معکوس را مشاهده کرده است. با توجه به وجود کفبند در پشت پایه و هم‌چنین براساس شکل (۹) می‌توان بیان نمود که جریان روبه‌پایین قوی‌تری در پشت پایه نسبت به جلوی پایه مشاهده می‌شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شده گرداب‌های برخاستگی در تعامل با کفبند بوده و به‌صورت عرضی منحرف می‌شوند. وجود این دو عامل موجب ایجاد دو گودال متقارن در پشت پایه شده است (شکل ۶-a). جریان با خروج از گودال و حرکت به سمت پایین‌دست به شرایط جریان نرمال نزدیک می‌شود.

پروفیل‌های سرعت

بالادست و پایین‌دست پایه (نقاط چهار و پنج) دو نقطه بحرانی براساس مطالعه‌های قبلی هستند (Izadinia et al. 2013; Izadinia and Heidarpour, 2019). بنابراین این دو نقطه برای بررسی جزییات ساختار جریان برای ادامه در نظر گرفته شده‌اند. نمودارهای مربوط به پروفیل سرعت، قانون لگاریتمی توزیع سرعت، سرعت مطلق و هم‌چنین قانون کولز برای نقطه بالادست و پایین‌دست پایه در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۱۰-a۱) و (۱۰-a۳) برای بالادست پایه نشان داده شده است، در محدوده درون گودال و در نزدیکی پایه سرعت معکوس رخ می‌دهد که به علت محدودیت داده‌برداری در اطراف پایه سرعت معکوس در این نقطه مشاهده نگردید. بنابراین وجود یک گرداب نعل اسبی قوی در بالادست پایه و در درون گودال آب‌شستگی مورد تایید می‌باشد. Dey و Raikar (2007) ویژگی‌های گرداب نعل اسبی در بالادست پایه را در مراحل مختلف در طی پیشرفت فرایند آب‌شستگی بررسی کردند. آن‌ها برای پایه دایره‌ای اظهار داشتند که حداکثر جریان روبه‌پایین بسیار نزدیک به بالادست پایه در گودال آب‌شستگی متعادل اتفاق می‌افتد. شکل (۱۰) نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از بستر مولفه سرعت جریان در گودال آب‌شستگی افزایش می‌یابد و در خارج از گودال آب‌شستگی نیمرخ سرعت یکنواخت می‌شود.

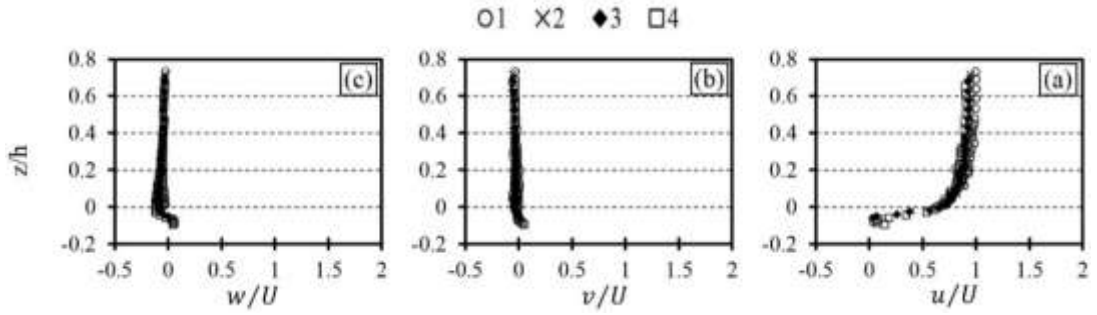


Fig 8- Velocity profiles at upstream of the pier in directions: (a) streamwise, (b) vertical, and (c) transverse

شکل ۸- پروفیل‌های سرعت در بالادست پایه در جهت‌های: a) مستقیم، b) عمودی، و c) عرضی

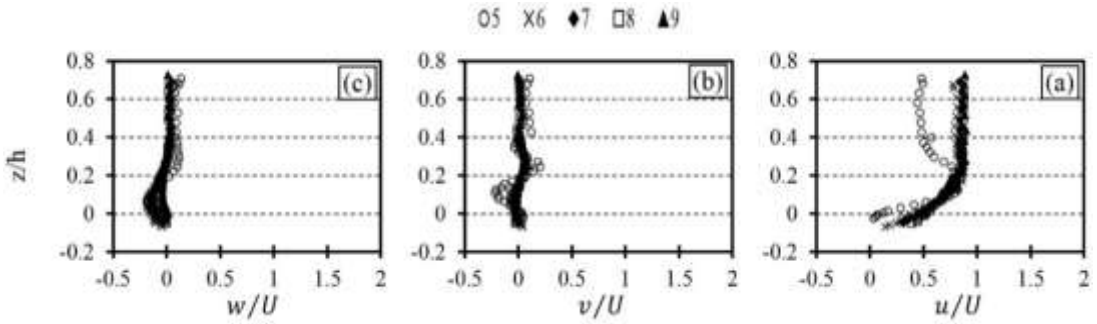


Fig 9- Velocity profiles at downstream of the pier in directions: (a) streamwise, (b) vertical, and (c) transverse

شکل ۹- پروفیل‌های سرعت در پایین‌دست پایه در جهت‌های: a) مستقیم، b) عمودی، و c) عرضی

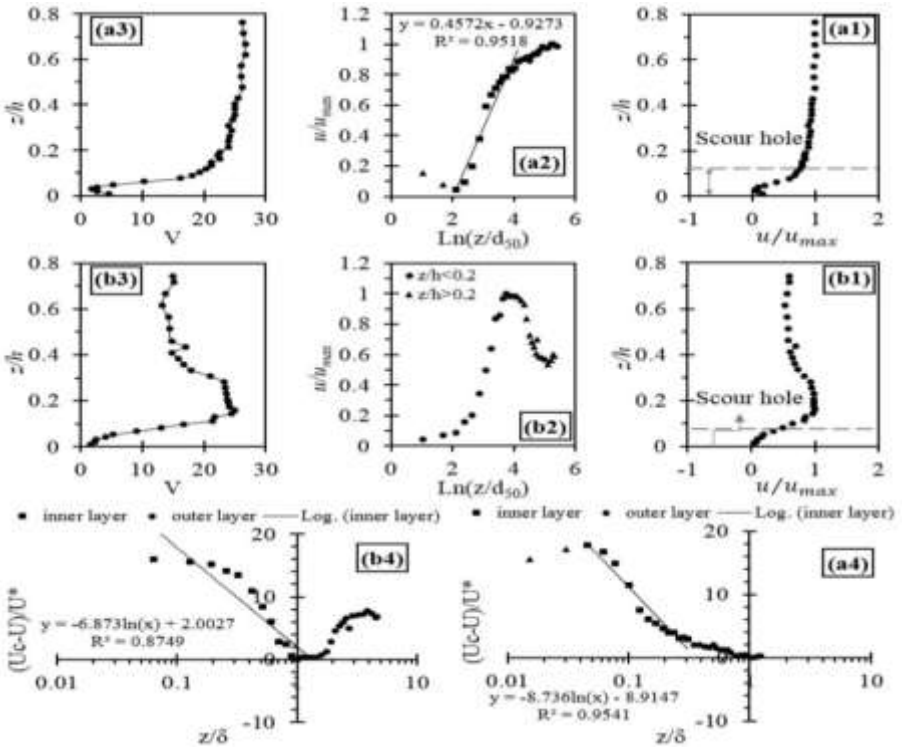


Fig 10- Numbers 1 to 4, respectively, velocity profile, logarithmic law of velocity distribution, absolute velocity and Coles' law for: (a) upstream of the pier, (b) downstream of the pier

شکل ۱۰- شماره‌های ۱ تا ٤ به‌ترتیب پروفیل سرعت، قانون لگاریتمی توزیع سرعت، سرعت مطلق و قانون کولز برای: a) بالادست پایه، b) پایین‌دست پایه

DOI: 10.22055/JISE.2020.32989.1916

برای نسبت عرض فلوم به عمق جریان (نسبت ظاهری) کمتر از پنج، پدیده دیپ (Dip) در نیمرخ‌های سرعت روی بستر هموار توسط Nezu et al. (1989) و روی بستر زبر توسط Kironoto و Graf (1994) مشاهده شده است. Graf و Altinakar (1998) استنباط کردند که جریان‌های ثانویه باعث پدیده دیپ پروفیل‌های سرعت می‌شوند. آن‌ها نشان دادند که برای نسبت ظاهری بیشتر از پنج، حداکثر سرعت جریان در سطح آب رخ می‌دهد و اثر جریان‌های ثانویه را می تواند از بین ببرد. درحالی‌که برای نسبت ظاهری کمتر از پنج، تاثیر جریان ثانویه معنی‌دار بوده و حداکثر سرعت در زیر سطح آب اتفاق می‌افتد. در مطالعه حاضر نسبت ظاهری کمتر از پنج است (W/h = ۴/۷۵). علاوه‌براین وجود پایه در جریان، جریان‌های ثانویه را تشدید می‌کند و موقعیت حداکثر سرعت را به سمت بستر جابه‌جا می‌کند.

در پایین‌دست پایه سرعت افزایش پیدا می‌کند و نزدیک به حداکثر مقدار خود، تقریباً در z/h=۰/۱۵ در بیرون از گودال آب‌شستگی می‌رسد (شکل ۱۰-b۱ و ۱۰-b۳). در این منطقه پدیده وارونگی سرعت در بیرون از گودال و به سمت سطح آب رخ می‌دهد. با مقایسه حداکثر سرعت در بالادست و پایین‌دست پایه، می‌توان نتیجه گرفت که جریان‌های ثانویه در پایین‌دست پایه قابل توجه‌تر هستند، زیرا حداکثر سرعت در نزدیکی بستر در این منطقه رخ می‌دهد.

سرعت مطلق متوسط زمانی $[V=(u^2+v^2+w^2)^{0.5}]$ در بالادست و پایین‌دست پایه در شکل (۱۰-a۳) و (۱۰-b۳) نشان داده شده است. نمودارها وجود یک جریان آشفته پیچیده را در بالادست و پایین‌دست پایه نشان می‌دهد. در محدوده بالای گودال آب‌شستگی در بالادست پایه سرعت مطلق V یکنواخت است و جریان گردابی مشاهده نمی‌شود. با کاهش فاصله از بستر، شدت جریان روبه‌پایین افزایش می‌یابد. جریان معکوس در بالادست پایه (درون گودال آب‌شستگی) به علت محدودیت داده‌برداری با ADV و در پایین‌دست پایه (بالای گودال آب‌شستگی) به علت وجود کفبند و محدودیت داده‌برداری با ADV مشاهده نگردید. Izadinia et al. (2013) جریان معکوس را در این دو منطقه در پایه استوانه‌ای بدون عامل حفاظتی مشاهده کردند.

در جریان‌های یکنواخت، قانون لگاریتمی می‌تواند نیمرخ‌های سرعت را برای لایه داخلی (z/h ≤ ۰/۲) توصیف کند (Graf and Altinakar, 1998).

$$\frac{u(z)}{u_*}=\frac{1}{K}\ln\left(\frac{z}{k_s}\right)+B_R \qquad (۱۰)$$

که u_* سرعت برشی، k_s زبری معادل استاندارد بستر (mm)، ($k_s=d_{50}$=۰/۷۲)، B_R ثابت انتگرال و K ثابت ون کارمن است (K=۰/۴). در بالادست پایه جریان معکوس در نزدیکی بستر رخ می‌دهد. با نزدیک شدن به سطح آب مؤلفه سرعت جریان در گودال آب‌شستگی مثبت است. قانون لگاریتمی عمومی برای این قسمت معتبر است (شکل ۱۰-a۲). نیمرخ سرعت در گودال آب‌شستگی پس از حذف سرعت‌های منفی در لایه داخلی که در منطقه جدایی در نزدیکی بستر رخ می‌دهد، لگاریتمی می‌شود. همان‌طور که در شکل (۱۰-b۲) نشان داده شده است توزیع لگاریتمی در پایین‌دست پایه معتبر نیست.

Coles (1956) به‌دلیل عدم اعتبار قانون لگاریتمی در لایه خارجی و انحراف داده‌ها از این قانون، تابع برخاستگی را برای اصلاح انحراف سرعت از قانون لگاریتمی در لایه خارجی پروفیل سرعت، به قانون لگاریتمی اضافه کرد که تحت عنوان قانون کولز شناخته می‌شود. قانون لگاریتمی با افزودن تابع برخاستگی در رابطه (۱۱) ارایه شده است.

$$\frac{U_c-U}{U_*}=-\frac{1}{K}\ln\frac{z}{\delta}+\frac{2\Pi}{K}\left(\cos\frac{\pi z}{2\delta}\right)^2 \qquad (۱۱)$$

که U_c حداکثر سرعت در پروفیل سرعت، z فاصله هر نقطه از بستر در پروفیل سرعت، δ ضخامت لایه مرزی از بستر تا نقطه‌ای که حداکثر سرعت رخ می‌دهد، Π پارامتر کولز می‌باشند. در شکل‌های (۱۰-a۴) و (۱۰-b۴) قانون کولز به‌ترتیب برای پروفیل‌های سرعت در بالادست و پایین‌دست ارایه‌شده است. برای محاسبه تابع برخاستگی، مقادیر $\frac{U_c-U}{U_*}$ در مقابل $\frac{z}{\delta}$ ترسیم گردید و در مقیاس لگاریتمی خطی بر لایه داخلی برازش داده شد. محل تقاطع امتداد این خط در لایه خارجی با محور عمودی در $\frac{z}{\delta}=1$ برابر با $\frac{2\Pi}{K}$ است که پارامتر کولز Π از طریق آن محاسبه می‌شود (Kironoto, 1993). مقدار پارامتر کولز در بالادست پایه برابر ۱/۷۸۳- و در پایین‌دست پایه برابر ۰/۴۰۱ به‌دست آمد. شکل‌های (۱۰-a۴) و (۱۰-b۴) نشان می‌دهد که استفاده از قانون کولز در بالادست پایه با کفبند مناسب است، درحالی‌که در پایین‌دست استفاده از این قانون مناسب به نظر نمی‌رسد.

شدت آشفتگی

شدت‌های آشفتگی مقادیر نوسانات سرعت (RMS) هستند. پروفیل‌های عمودی شدت‌های آشفتگی در بالادست و پایین‌دست پایه در شکل (۱۱) نشان داده شده است. در بالادست پایه و نزدیک به بستر به علت این‌که جریان معکوس در نزدیکی پایه رخ می‌دهد، RMS(u') تمایل کاهشی دارد. هر سه مولفه شدت‌های آشفتگی تقریباً تا لبه گودال آب‌شستگی افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابند و سرانجام به یک مقدار تقریباً ثابتی نزدیک می‌شوند. می‌توان بیان نمود که در گودال آب‌شستگی و در بالادست پایه، با نزدیک شدن به پایه RMS(v') نسبت به RMS(u') و RMS(w') بزرگتر می‌شود. این نشان می‌دهد که جریان‌های ثانویه در این منطقه غالب هستند. این درحالی است که در بالای گودال آب‌شستگی مقادیر RMS(u') به علت کاهش جریان‌های ثانویه و

یکنواختی پروفیل‌های سرعت نسبت به RMS(v') و RMS(w') بزرگتر هستند.

به‌عنوان یک نتیجه از جدایی جریان می‌توان بیان نمود که بیشترین شدت آشفتگی در پایین‌دست پایه قرار دارد. شدت آشفتگی در بالای لبه گودال با افزایش فاصله از بستر کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد. حداکثر شدت‌های آشفتگی راستای طولی و قائم در لبه گودال آب‌شستگی و حداکثر شدت آشفتگی راستای عرضی در نزدیکی سطح آب رخ می‌دهد. کاهش شدت‌های آشفتگی بعد از لبه گودال را می‌توان به کفبند متصل شده به پشت پایه نسبت داد که موجب کاهش آب‌شستگی شده است. Izadinia et al. (2013) نشان دادند که در بالای لبه گودال آب‌شستگی در پایه بدون اقدامات حفاظتی شدت‌های آشفتگی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابند. در پایین‌دست پایه و روی کل عمق جریان، شدت آشفتگی راستای عرضی به علت جدایی جریان در پایین‌دست پایه و هم‌چنین به علت حاکم بودن گرداب‌های برخاستگی در این ناحیه نسبت به جهت‌های مستقیم و عمودی قوی‌تر است. ازآنجایی‌که RMS(v') در پایین‌دست پایه قوی‌تر است، جریان‌های ثانویه بیشتر در این ناحیه غالب هستند. در نتیجه، در پایین‌دست پایه حداکثر سرعت در موقعیتی رخ می‌دهد که به بستر نزدیک است.

تنش برشی رینولدز

جریان آب نزدیک‌شونده توسط پایه مسدود شده است و منجر به جدایی جریان به شکل جریان روبه‌پایین در وجه بالادست پایه و گردش‌های جانبی در امتداد طرفین پایه می‌شود. تغییر در الگوی جریان آب منجر به افزایش تنش برشی رینولدز و در نتیجه آب‌شستگی اطراف پایه می‌شود. شکل (۱۲) توزیع تنش‌های برشی رینولدز ($-\overline{u'w'}$) و ($-\overline{v'w'}$) را در امتداد عمق جریان برای بالادست و پایین‌دست پایه نشان می‌دهد. به‌طورکلی به علت وجود کفبند در پشت پایه، تنش‌های برشی رینولدز ($-\overline{u'w'}$) و ($-\overline{v'w'}$) در پایین‌دست پایه قوی‌تر از بالادست پایه است. برای تنش برشی رینولدز ($-\overline{u'w'}$)، در نزدیکی بستر در بالادست پایه و میانه عمق جریان در پایین‌دست پایه مقادیر منفی یافت شد. شدت نوسانات تنش‌های برشی رینولدز ($-\overline{u'w'}$) و ($-\overline{v'w'}$) در پایین‌دست پایه به علت گرداب‌های برخاستگی ایجادشده بیشتر از بالادست پایه می‌باشد. برای تنش برشی رینولدز ($-\overline{v'w'}$)، در امتداد عمق جریان در بالادست پایه و در نزدیکی بستر در پایین‌دست پایه مقادیر منفی یافت شد. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر تنش‌های برشی رینولدز ($-\overline{u'w'}$) و ($-\overline{v'w'}$) در نواحی بالای گودال آب‌شستگی در طرف بالادست پایه تقریباً یکنواخت است.

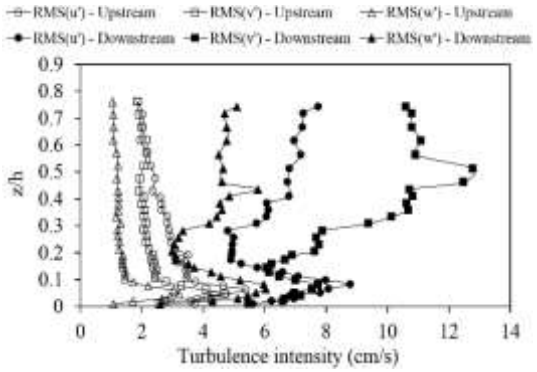


Fig 11- Profiles of turbulence intensities at upstream and downstream of the pier

شکل ۱۱- پروفیل‌های شدت آشفتگی در بالادست و پایین‌دست پایه

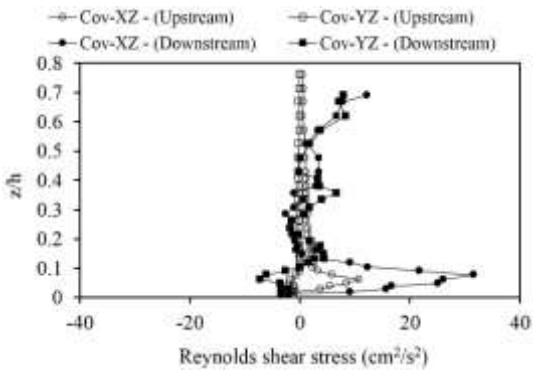


Fig 12- Profiles of Reynolds shear stress at upstream and downstream of the pier

شکل ۱۲- پروفیل‌های تنش برشی رینولدز در بالادست و پایین‌دست پایه

DOI: 10.22055/JISE.2020.32989.1916

آنالیز کوادرانت

به‌منظور استفاده از آنالیز کوادرانت برای تعیین سهم هر ربع تنش برشی رینولدز، یک برنامه رایانه‌ای در متلب نوشته شد. سهم کسری $S_{i,H}$ در تنش برشی رینولدز برای هر ربع با تغییر پارامتر H مشخص شد. چندین مقدار برای H در منابع مورد توجه قرار گرفته است. Mazumder et al. (2009) مقادیر H برابر صفر، دو، پنج، شش، ده و ۱۵ را برای آنالیز کوادرانت انتخاب کرده‌اند. Afzalimehr et al. (2011) مقادیر H برابر صفر، یک، دو و سه را برای بررسی مشخصات جریان آشفته در کانال با پوشش گیاهی متراکم در نظر گرفته‌اند. Izadinia et al. (2013) مقادیر H صفر، ده و ۲۰ را برای بررسی تاثیر H بر $S_{i,H}$ در نظر گرفته‌اند. Izadinia و Heidarpour (2019) مقادیر H برابر صفر، پنج، ده، ۱۵ و ۲۰ را برای ارزیابی تاثیر پارامتر H بر $S_{i,H}$ در ایجاد تنش‌های رینولدز در هر یک از کوادرانت‌ها برای تمام عمق جریان در بالادست پایه در نظر گرفته‌اند. طیف گسترده‌ای از مقادیر H برابر صفر، یک، دو، ...، ده، ۱۵ و ۲۰ به‌منظور تشخیص تفاوت‌های بین رخدادهای ضعیف و قوی در فرایند خودانفجار در نظر گرفته شده است. محاسبات در ابتدا برای تمامی وقایع انجام شده است (H=۰)، و سپس به‌تدریج رخدادهای قوی‌تر انتخاب شده‌اند.

پروفیل احتمالات وقوع در بالادست و پایین‌دست پایه برای H=۰ در شکل (۱۳) نشان داده شده است. در داخل گودال برای z/h<۰/۰۳ بیشترین احتمالات وقوع برای برهم‌کنش‌های بیرونی و برهم‌کنش‌های درونی به جای رخدادهای پرتابی و جاروبی یافت می‌شود (شکل ۱۳-a). بنابراین در گودال آب‌شستگی نزدیک بستر جریان انرژی کافی برای انتقال ذرات را ندارد. از این رو رسوب‌گذاری در این منطقه رخ می‌دهد. از نظر بصری در طول آزمایش نیز مشاهده شد که ذرات موجود در گودال آب‌شستگی در نزدیکی بستر از بستر جدا می‌شوند. با این حال آن‌ها نمی‌توانند در طول جریان حرکت کنند و سرانجام به بستر بر می‌گردند. برای z/h>۰/۰۳ رخدادهای غالب جاروبی و پرتابی هستند. در خارج از گودال آب‌شستگی (z/h>۰/۱) نوسانات همه رخدادها در مقایسه با نوسانات آن‌ها در داخل گودال آب‌شستگی متعادل‌تر است. مقدار میانگین رخدادها در تمام عمق در بالادست پایه نشان می‌دهد که رخداد جاروبی بیشترین احتمالات وقوع را دارند. پس از آن به‌ترتیب رخدادهای پرتابی، برهم‌کنش بیرونی و برهم‌کنش درونی بیشترین احتمالات وقوع را دارا می‌باشند. رخداد جاروبی مهم‌ترین رخداد خودانفجار برای حمل ذرات رسوب است و باعث حرکت ذرات به‌صورت غلتش، لغزش و جهش می‌شود. در نتیجه حداکثر عمق آب‌شستگی در سمت بالادست پایه و انتقال رسوبات در جهت پایین‌دست اتفاق می‌افتد.

در پایین‌دست پایه نزدیک بستر شکل (۱۳-b)، رخدادهای برهم‌کنش بیرونی و درونی نسبت به رخدادهای پرتابی و جاروبی بیشترین احتمالات وقوع را دارند. احتمالات وقوع رخدادهای برهم‌کنش بیرونی و درونی در مناطق بیرونی تقریباً یکسان می‌شود. دو رخداد دیگر، پرتابی و جاروبی نیز تقریباً احتمالات وقوع یکسانی دارند. در z/h=۰/۱، احتمالات وقوع رخدادهای پرتابی و جاروبی بیشترین مقدار خود و احتمالات وقوع رخدادهای برهم‌کنش بیرونی و برهم‌کنش درونی کمترین مقدار خود را دارا می‌باشند. به همین علت در پایین‌دست کفبند نیز ذرات فرسایش یافته و موجب ایجاد گودال‌های آب‌شستگی کوچکی می‌شوند. ذرات فرسایش یافته به مناطقی در پایین‌دست انتقال می‌یابند.

تأثیر H بر سهم پارامتر $S_{i,H}$ در تولید تنش برشی رینولدز به ازای مقادیر H برابر صفر، ده و ۲۰ در هر ربع برای کل عمق جریان در بالادست پایه در شکل (۱۴) نشان داده شده است. برای H=۰ (شکل ۱۴-a)، در تمام عمق جریان رخدادهای برهم‌کنش بیرونی و برهم‌کنش درونی غالب هستند. برای z/h>۰/۰۳ برهم‌کنش بیرونی و درونی تقریباً یکسان می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش H سهم هر یک از رخدادها در تولید تنش برشی رینولدز به‌یکدیگر نزدیک می‌شود و نوسانات $S_{i,H}$ در سرتاسر عمق جریان کاهش می‌یابد. در منطقه با z/h<۰/۰۳ با افزایش H نوسانات $S_{i,H}$ در سرتاسر عمق جریان در مقایسه با منطقه با z/h>۰/۰۳ سریعتر از بین می‌رود. بنابراین رخدادهای ضعیف بیشتر در z/h<۰/۰۳ غالب هستند.

سهم هر ربع در تنش برشی رینولدز به ازای H برابر صفر، ده و ۲۰ برای کل عمق جریان در پایین‌دست پایه در شکل (۱۵) نشان داده شده است. در پایین‌دست پایه، صرف‌نظر از اندازه H، هم برهم‌کنش بیرونی ($S_{1,H}$) و هم برهم‌کنش درونی ($S_{3,H}$) به‌طور قابل‌توجهی در تنش برشی رینولدز نقش دارند. Izadinia et al. (2013) و Izadinia و Heidarpour (2019) برای یک پایه استوانه‌ای بدون اقدامات حفاظتی بیان داشتند که در پایین‌دست پایه رخدادهای پرتابی و جاروبی نقش مهمی را در تنش برشی رینولدز ایفا می‌کنند. بنابراین کف‌بند در پشت پایه موجب تغییراتی در عوامل مؤثر بر انتقال رسوبات ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر غالب بودن سهم رخدادهای برهم‌کنش بیرونی و درونی در پشت عامل اصلی کاهش عمق آب‌شستگی در جلوی پایه نسبت به پایه بدون حفاظ می‌باشد. از طرفی در z/h<۰/۱۵ کفبند باعث تقریباً یکسان شدن سهم هر ربع شده است و در منطقه z/h>۰/۱۵ کفبند موجب تقویت سهم برهم‌کنش بیرونی و برهم‌کنش درونی شده است. اگرچه با افزایش اندازه H، تبعیض بین هر یک از رخدادها در منطقه z/h<۰/۱۵ دشوارتر می‌شود، اما در منطقه z/h>۰/۱۵ رخداد غالب برهم‌کنش درونی ($S_{3,H}$) است و به دنبال آن رخداد برهم‌کنش بیرونی ($S_{1,H}$) قرار دارد. در پایین‌دست پایه، نوسانات $S_{i,H}$ در سرتاسر عمق جریان در مقایسه با طرف بالادست پایه قوی‌تر است. می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش اندازه H رخدادهای ضعیف در پایین‌دست پایه برخلاف بالادست پایه کاملاً حذف نمی‌شوند.

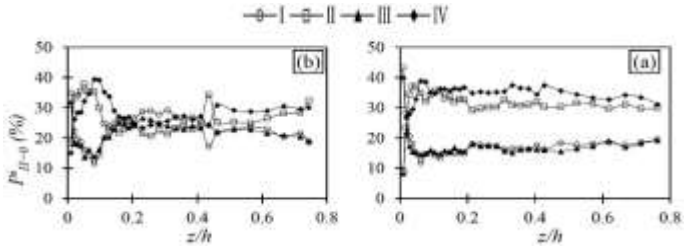


Fig 13- Occurrence probability of bursting event for each quadrant (I, II, III, IV); (a) upstream of the pier, (b) downstream of the pier

شکل ۱۳- احتمال وقوع وقایع خودانفجار برای هر ربع (I، II، III، IV): a) بالادست پایه، b) پایین‌دست پایه

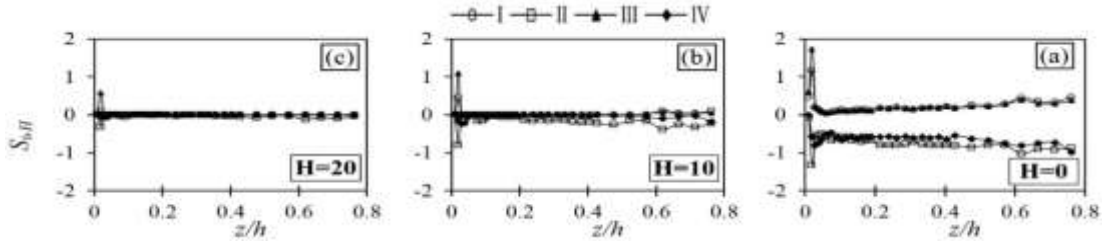


Fig 14- $S_{i,H}$ versus z/h for different values of H upstream of the pier for each quadrant (I, II, III, IV)

شکل ۱۴- $S_{i,H}$ در مقابل z/h برای مقادیر مختلف H در بالادست پایه برای هر ربع (I، II، III، IV)

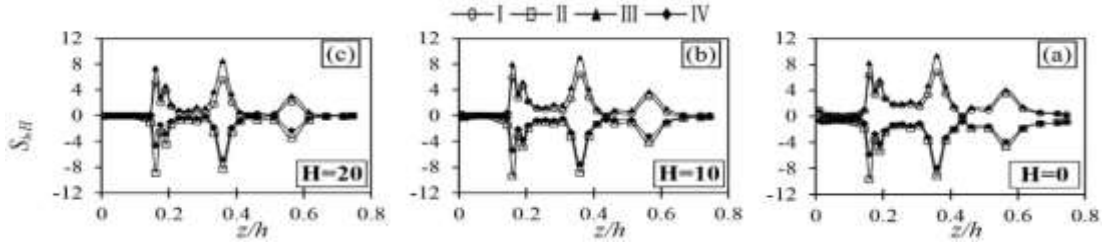


Fig 15- $S_{i,H}$ versus z/h for different values of H downstream of the pier for each quadrant (I, II, III, IV)

شکل ۱۵- $S_{i,H}$ در مقابل z/h برای مقادیر مختلف H در پایین‌دست پایه برای هر ربع (I، II، III، IV)

تغییرات $|S_{i,H}|$ به‌عنوان تابعی از اندازه H برای هر ربع در z/h=۰/۱ (نزدیک لبه گودال آب‌شستگی) در بالادست و پایین‌دست پایه در شکل (۱۶) نشان داده شده است. در z/h=۰/۱ رخدادهای پرتابی (II) و جاروبی (IV) غالب هستند و رخدادهای برهم‌کنش بیرونی (I) و برهم‌کنش درونی (III) به نظر می‌رسد نقش ضعیف‌تری در تولید تنش برشی رینولدز دارند. نتایج به‌دست‌آمده در بالادست پایه روند یکسانی را با مطالعه Izadinia et al. (2013) و Izadinia و Heidarpour (2019) نشان می‌دهد. به‌طورکلی با افزایش اندازه H سهم هر رخداد در تولید تنش برشی رینولدز اندک می‌شود. در بالادست پایه، رخداد پرتابی ($|S_{2,0}| \approx$ ۰/۶۵) رخداد غالب است و به دنبال آن رخداد جاروبی ($|S_{4,0}| \approx$ ۰/۶) رخداد غالب می‌باشد. سهم رخداد جاروبی در تولید تنش برشی رینولدز به ازای H>۹ قابل صرف نظر کردن می‌باشد، درحالی‌که سهم رخداد پرتابی حتی در H>۲۰ قابل توجه است. سهم رخدادهای برهم‌کنش بیرونی و برهم‌کنش درونی در تولید تنش برشی رینولدز ضعیف است و تقریباً به ازای H>۳ از بین می‌روند.

در پایین‌دست پایه روند نتایج به علت وجود کفبند در پشت پایه و تاثیر آن بر عمق آب‌شستگی و پروفیل بستر متفاوت از نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه‌های Izadinia et al. (2013) و Izadinia و Heidarpour (2019) است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که در پشت پایه سهم رخدادها در تولید تنش برشی رینولدز نسبت به جلوی پایه مهم و قابل توجه‌تر است، درحالی‌که در این مطالعه، استفاده از کف‌بند در پشت پایه نه تنها روندی مشابه با پایه شاهد را ایجاد نکرده است بلکه موجب ضعیف‌تر شدن سهم هر یک از رخدادها نیز شده است. در رخداد پرتابی در H<۶ به‌علت تاثیر همه رخدادهای ضعیف و قوی در آنالیز کوادرانت، سهم این رخداد در تولید تنش برشی رینولدز در بالادست نسبت به پایین‌دست پایه قابل توجه‌تر است. در پایین‌دست پایه، سهم رخداد پرتابی غالب است ($|S_{2,0}| \approx$ ۰/۷) و به دنبال آن جاروبی ($|S_{4,0}| \approx$ ۰/۵) رخداد غالب است. سهم رخدادهای برهم‌کنش بیرونی و درونی در تولید تنش برشی رینولدز در پایین‌دست پایه تقریباً برابر با بالادست پایه است.

DOI: 10.22055/JISE.2020.32989.1916

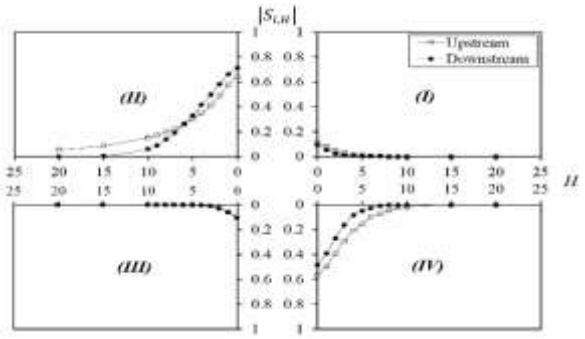


Fig 16- Variation of $|S_{i,H}|$ with H for z/h=0.1 at upstream and downstream of the pier for each quadrant (I, II, III, IV)

شکل ۱۶- تغییرات $|S_{i,H}|$ به ازای H برای z/h=۰/۱ در بالادست و پایین‌دست پایه برای هر ربع (I، II، III، IV)

نتیجه‌گیری

بررسی ساختار جریان آشفته در گودال آب‌شستگی برای درک درست حمل و انتقال ذرات رسوب مهم است. لذا در مطالعه حاضر، ماهیت تصادفی ساختار جریان آشفته در اطراف پایه مستطیلی دماغه گرد پل با کفبند مورد بررسی قرار گرفته است. گرداب‌های برخاستگی به علت جدایی جریان در پایین‌دست پایه ایجاد می‌شوند و به علت تعامل با کفبند به‌صورت عرضی نیز انحراف می‌یابند. انحراف عرضی گرداب‌های برخاستگی موجب عریض‌تر شدن گودال آب‌شستگی شده و هم‌چنین دو گودال متقارن را در پایین‌دست کفبند ایجاد می‌کند. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که در بالادست پایه حداکثر سرعت تقریباً بالای لبه گودال آب‌شستگی رخ می‌دهد. در خارج از گودال آب‌شستگی نیمرخ سرعت تقریباً یکنواخت می‌شود. قانون لگاریتمی سرعت برای نیمرخ عمودی مولفه طولی سرعت در بالادست پایه برقرار می‌باشد. مشخص شد که جریان‌های ثانویه در پایین‌دست پایه به‌علت این‌که حداکثر سرعت نزدیک به بستر رخ می‌دهد، قابل توجه‌تر هستند. به همین ترتیب RMS (v') در این منطقه قوی‌تر است. نتایج آنالیز کوادرانت نشان می‌دهد که در بالادست پایه و در نزدیکی بستر، احتمالات وقوع رخدادهای برهم‌کنش بیرونی و برهم‌کنش درونی غالب هستند. با افزایش فاصله از بستر به‌علت پدیده وارونگی سرعت در نزدیکی بستر، احتمالات وقوع رخدادهای پرتابی و جاروبی غالب می‌شوند. در داخل گودال آب‌شستگی نزدیک بستر، جریان انرژی کافی برای انتقال ذرات را ندارد؛ از این رو در این منطقه ذرات از بستر بلند می‌شوند اما نمی‌توانند در طول جریان حرکت کنند و سرانجام به بستر بر می‌گردند. با میانگین‌گیری از احتمالات وقوع در تمام عمق در بالادست پایه، مشخص گردید که رخداد جاروبی بیشترین احتمال وقوع را نسبت به سایر رخدادها دارد و پس‌ازآن به‌ترتیب رخدادهای پرتابی، برهم‌کنش بیرونی و برهم‌کنش درونی بیشترین احتمالات وقوع را دارا می‌باشند. ازآنجایی‌که رخداد جاروبی پدیده غالب در بالادست پایه می‌باشد، حداکثر عمق آب‌شستگی در این منطقه اتفاق می‌افتد و رسوبات فرسایش‌یافته در جهت پایین‌دست منتقل می‌شوند. نتایج آنالیز کوادرانت نشان داد که با افزایش مقدار H در ناحیه $z/h<۰/۰۳$ نوسانات $S_{i,H}$ سریعتر از ناحیه $z/h>۰/۰۳$ از بین می‌روند. بنابراین رخدادهای ضعیف بیشتر در $z/h<۰/۰۳$ قرار دارند. در پایین‌دست پایه برهم‌کنش بیرونی ($S_{1,H}$) و برهم‌کنش درونی ($S_{3,H}$) به‌علت وجود کف‌بند در این منطقه نقش مهم‌تری را نسبت به پرتابی ($S_{2,H}$) و جاروبی ($S_{4,H}$) در تنش برشی رینولدز ایفا می‌کنند. بررسی تغییرات $|S_{i,H}|$ با H در بالادست و پایین‌دست پایه نشان می‌دهد که به‌طورکلی سهم هر یک از رخدادها در تولید تنش برشی رینولدز در پایین‌دست پایه به علت وجود کفبند ضعیف‌تر است.

تشکر و قدردانی

بدین ترتیب نویسندگان از مسئول آزمایشگاه که ما را در این مسیر همراهی کرد، تشکر می‌کنند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسنده (نویسندگان) هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: احسان سندگل، انجام آزمایشات و تجزیه و تحلیل بخشی از داده ها مقاله

نویسنده دوم: منوچهر حیدرپور، کنترل داده و تجزیه و تحلیل داده ها و راهنمایی نگارش مقاله

نویسنده سوم: رضا محمدپور قلاتی، بررسی مقاله

References

1- Afzalimehr, H., Moghbel, R., Gallichand, J., & Sui, J., 2011. Investigation of turbulence characteristics in channel with dense vegetation. International Journal of Sediment Research, 26(3), 269-282. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(11)60093-0

2- Barbhuiya, A.K., & Dey, S., 2004. Local scour at abutments: A review. Sadhana, 29(5), 449-476.

3- Breusers, H.N.C., & Raudkivi, A.J., 1991. Scouring. IAHR Hydraulic Structures Design Manual 2. AA Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

4- Cellino, M., & Lemmin, U., 2004. Influence of coherent flow structures on the dynamics of suspended sediment transport in open-channel flow. Journal of Hydraulic Engineering, 130(11), 1077-1088. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:11(1077)

5- Chiew, Y.M., & Melville, B.W., 1987. Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Research, 25(1), 15-26. https://doi.org/10.1080/00221688709499285

6- Coles, D., 1956. The law of the wake in the turbulent boundary layer. Journal of Fluid Mechanics, 1(2), 191-226. https://doi.org/10.1017/S0022112056000135.

7- Dey, S., & Barbhuiya, A.K., 2004. Clear-water scour at abutments in thinly armored beds. Journal of Hydraulic Engineering, 130(7), 622-634. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:7(622).

8- Dey, S., & Nath, T.K., 2010. Turbulence characteristics in flows subjected to boundary injection and suction. Journal of Engineering Mechanics, 136(7), 877-888. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000124.

9- Dey, S., & Raikar, R.V., 2007. Characteristics of horseshoe vortex in developing scour holes at piers. Journal of Hydraulic Engineering, 133(4), 399-413. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:4(399).

10- Dey, S., Swargiary, D., Sarkar, S., Fang, H., & Gaudio, R., 2018a. Self-similarity in turbulent wall-wake flow downstream of a wall-mounted vertical cylinder. Journal of Hydraulic Engineering, 144(6), 04018021. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001457

11- Dey, S., Swargiary, D., Sarkar, S., Fang, H. and Gaudio, R., 2018b. Turbulence features in a wall-wake flow downstream of a wall-mounted vertical cylinder. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, *69*, pp.46-61. https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2018.01.003.

12- Drake, T.G., Shreve, R.L., Dietrich, W.E., Whiting, P.J. and Leopold, L.B., 1988. Bedload transport of fine gravel observed by motion-picture photography. *Journal of Fluid Mechanics*, *192*, pp.193-217. https://doi.org/10.1017/S0022112088001831.

13- Esfahani, F.S. and Keshavarzi, A., 2011. Effect of different meander curvatures on spatial variation of coherent turbulent flow structure inside ingoing multi-bend river meanders. *Stochastic Environmental Research And Risk Assessment*, *25*(7), pp.913-928.

14- Graf, W.H. and Altinakar, M.S., 1998. *Fluvial hydraulics: Flow and transport processes in channels of Simple Geometry*.

15- Grass, A.J., 1983. The influence of boundary layer turbulence on the mechanics of sediment transport. *Euromech 156: Mechanics of Sediment Transport, Rotterdam: AA Balkema*.

16- Heidarpour, M., Afzalimehr, H. and Izadinia, E., 2010. Reduction of local scour around bridge pier groups using collars. *International Journal of Sediment Research*, *25*(4), pp.411-422. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(11)60008-5.

17- Izadinia, E. and Heidarpour, M., 2012. Simultaneous use of cable and collar to prevent local scouring around bridge pier. *International Journal of Sediment Research*, *27*(3), pp.394-401. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(12)60044-4.

18- Izadinia, E. and Heidarpour, M., 2019. Study of affective phenomena on sediment transport in local scouring around bridge piers. *Iranian Water Research Journal, 13*(2), pp.105-116. (In Persian).

19- Izadinia, E., Heidarpour, M. and Schleiss, A.J., 2013. Investigation of turbulence flow and sediment entrainment around a bridge pier. *Stochastic Environmental Research And Risk Assessment*, *27*(6), pp.1303-1314.

20- Jafari Mianaei, S. and Keshavarzi, A.R., 2010. Study of near bed stochastic turbulence and sediment entrainment over the ripples at the bed of open channel using image processing technique. *Stochastic Environmental Research And Risk Assessment*, *24*(5), pp.591-598.

21- Keshavarzi, A. and Ball, J., 2011. Transition probability of the coherent turbulent flow around a circular bridge pier. In *World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability* (pp. 2478-2487). https://doi.org/10.1061/41173(414)25.

22- Keshavarzi, A., Melville, B. and Ball, J., 2014. Three-dimensional analysis of coherent turbulent flow structure around a single circular bridge pier. *Environmental Fluid Mechanics*, *14*(4), pp.821-847.

23- Keshavarzi, A., Shrestha, C.K., Zahedani, M.R., Ball, J. and Khabbaz, H., 2017. Experimental study of flow structure around two in-line bridge piers. *Proceedings of The Institution of Civil Engineers-Water Management*, *171*(6), pp.311-327. https://doi.org/10.1680/jwama.16.00104.

24- Keshavarzy, A. and Ball, J.E., 1995. Instantaneous shear stress on the bed in a turbulent open channel flow. In *Proceedings of The Congress-International Association for Hydraulic Research, Local Organizing Committee of the XXV Congress. London.*

25- Keshavarzy, A. and Ball, J.E., 1997. An analysis of the characteristics of rough bed turbulent shear stresses in an open channel. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, *11*(3), pp.193-210.

26- Khaple, S., Hanmaiahgari, P.R., Gaudio, R. and Dey, S., 2017a. Interference of an upstream pier on local scour at downstream piers. *Acta Geophysica*, *65*(1), pp.29-46.

27- Khaple, S., Hanmaiahgari, P.R., Gaudio, R. and Dey, S., 2017b. Splitter plate as a flow-altering pier scour countermeasure. *Acta Geophysica*, *65*(5), pp.957-975.

28- Kironoto, B.A., 1993. Turbulence characteristics of uniform and non-uniform, rough open-channel flow, Thesis, *EPFL*, Lausanne, Switzerland.

29- Kironoto, B.A. and Graf, W.H., 1994. Turbulence characteristics in rough uniform open-channel flow. *Proceedings of The Institution of Civil Engineers-Water Maritime and Energy*, *106*(4), pp.333-344. https://doi.org/10.1680/iwtme.1994.27234.

30- Lagasse, P.F. and Richardson, E.V., 2001. ASCE compendium of stream stability and bridge scour papers. *Journal of Hydraulic Engineering*, *127*(7), pp.531-533. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:7(531).

31- Lu, S.S. and Willmarth, W.W., 1973. Measurements of the structure of the Reynolds stress in a turbulent boundary layer. *Journal of Fluid Mechanics*, *60*(3), pp.481-511. https://doi.org/10.1017/S0022112073000315.

32- Maity, H. and Mazumder, B.S., 2012. Contributions of burst-sweep cycles to Reynolds shear stress over fluvial obstacle marks generated in a laboratory flume. *International Journal of Sediment Research*, 27(3), pp.378-387. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(12)60042-0.

33- Mashahir, M.B., Zarrati, A.R. and Mokallaf, E., 2010. Application of riprap and collar to prevent scouring around rectangular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, *136*(3), pp.183-187. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000145.

34- Masjedi, A., Shafaei-Bejestan, M. and Esfandi, A., 2010. Experimental study on local scour around single oblong pier fitted with a collar in a 180 degree flume bend. *International Journal of Sediment Research*, *25*(3), pp.304-312. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(10)60047-9.

35- Mazumder, B.S., Pal, D.K., Ghoshal, K. and Ojha, S.P., 2009. Turbulence statistics of flow over isolated scalene and isosceles triangular-shaped bedforms. *Journal of Hydraulic Research*, *47*(5), pp.626-637.

36- Melville, B.W. and Coleman, S.E., 2000. *Bridge scour*. Water Resources Publication.

37- Moreno, M., Birjukova, O., Grimaldi, C., Gaudio, R. and Cardoso, A.H., 2017. Experimental study on local scouring at pile-supported piers. *Acta Geophysica*, *65*(3), pp.411-421.

38- Nelson, J.M., Shreve, R.L., McLean, S.R. and Drake, T.G., 1995. Role of near-bed turbulence structure in bed load transport and bed form mechanics. *Water Resources Research*, *31*(8), pp.2071-2086. https://doi.org/10.1029/95WR00976.

39- Nezu, I. and Nakagawa, H., 1993. *Turbulence in Open Channel Flows.* IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam.

40- Nezu, I., Nakagawa, H. and Rodi, W., 1989. Significant difference between secondary currents in closed channels and narrow open channels. In *The 23rd IAHR congress, Ottawa, Canada*.

41- Raudkivi, A.J. and Ettema, R., 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, *109*(3), pp.338-350. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:3(338.

42- Raudkivi, A.J., 1990. *Loose Boundary Hydraulics 3rd Edition*. Technical report, Pergamon Press, Oxford.

43- Sarker, M.A., 1998. Flow measurement around scoured bridge piers using Acoustic-Doppler Velocimeter (ADV). *Flow Measurement And Instrumentation*, *9*(4), pp.217-227. https://doi.org/10.1016/S0955-5986(98)00028-4.

44- Thorne, P.D., Williams, J.J. and Heathershaw, A.D., 1989. In situ acoustic measurements of marine gravel threshold and transport. *Sedimentology*, *36*(1), pp.61-74. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1989.tb00820.x.

45- Vittal, N., Kothyari, U.C. and Haghighat, M., 1994. Clear-water scour around bridge pier group. *Journal of Hydraulic Engineering*, *120*(11), pp.1309-1318. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1994)120:11(1309).

46- Williams, J.J., 1990. Video observations of marine gravel transport. *Geo-Marine Letters*, *10*(3), pp.157-164.

47- Yue, W., Meneveau, C., Parlange, M.B., Zhu, W., Van Hout, R. and Katz, J., 2007. A comparative quadrant analysis of turbulence in a plant canopy. *Water Resources Research*, *43*(5), pp.1-14. https://doi.org/10.1029/2006WR005583.

48- Zarrati, A.R., Chamani, M.R., Shafaie, A. and Latifi, M., 2010. Scour countermeasures for cylindrical piers using riprap and combination of collar and riprap. *International Journal of Sediment Research*, *25*(3), pp.313-322. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(10)60048-0.

49- Zarrati, A.R., Gholami, H. and Mashahir, M.B., 2004. Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, *42*(1), pp.97-103. https://doi.org/10.1080/00221686.2004.9641188.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 21-36

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Various Additives on the Improvement of Physical Dispersive and Load Bearing Capacity of Non-Cohesive Soils

S. Farkhondeh[1], H. Bahrami[2*] and J. Ahadiyan[3]

1- Master of Engineering in Coastal and Marine Industries.
2- Corresponding Author, Assistant Professor of Marine Structures, Faculty of Marine Engineering, Marine Science and Technology University of Khorramshahr (hossein_bahrami1979@kmsu.ac.ir).*
2- Professor, Hydraulic Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 17 July 2019
Revised: 14 October 2021
Accepted: 16 October 2021

Keywords:
Non-Sticky Soils, Pinhole tes, Nano Clay, Cement.

TO CITE THIS ARTICLE:

Farkhondeh, S., Bahrami, H., Ahadiyan, J. (2025). 'Investigating the Effect of Various Additives on the Improvement of Physical Dispersive and Load Bearing Capacity of Non-Sticky Soils', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 21-33. doi: 10.22055/jise.2021.28293.1824.

Introduction

Soil mechanical properties change with increasing humidity and saturation. In some soils, due to increased humidity, certain phenomena sometimes lead to damages in construction projects. These soils are called water-sensitive soils (Askari & Fakher, 1995). One type of these soils is dispersive soil. Dispersive means the separation of fine particles from each other, which leads to soil erosion. Divergence is a phenomenon in which soil particles float due to contact with water and exit the ambiance because of the force generated by water flow. It can be physical-chemical (clay) or physical (fine sand and non-cohesive silt). The erosion of clay particles mainly triggers to overcome repulsive forces between particles. In contrast, the transfer of particles in fine-grained sand is due to their lack of adhesion and small size. This action causes internal erosion in the soil (Rahimi et al., 2004). As a result, a divergence is a progressive event that begins with water flow from one point and gradually expands. Recent experiences have shown that insufficient attention to this phenomenon has caused adverse effects. The scouring of many earth dams, the walls of canals, and even the possible failure of structures, especially in the vicinity of areas bordering water, are examples of such problems (Sarshar, 1992). So far, extensive research has been carried out on the chemical divergence of soils, and therefore, numerous chemical and physical methods have been proposed for their determination. Although most scientists who have studied divergent soils have pointed to the physical divergence of soil, a comprehensive study on how and why divergence of these soils occurs and a basis for their identification and classification have yet to be addressed appropriately.

Methodology

The studied soil samples were collected from sandy banks of Karoon River and classified according to ASTM D 422-87 standard. For further identification, soil density test (ASTM D 854-87), soil moisture test (ASTM D 2216-90), standard density test (ASTM D 698-78), and Atterberg limits test (ASTM D4318-87) have been carried out. Montmorillonite nano-clay was mixed with 1% and 2% of the soil sample. Moreover, the cement and bedding clay were also mixed in a certain percentage with sandy riverbank soils for comparison. The purpose of this soil selection was to compare the effect of clay and nanoparticles. The Crumb test (ASTM-D6572), double hydrometric

(ASTM D4221), Pinhole test (ASTM D4647), and water absorption coefficient test (ASTM C128-97) were performed for each mixture of samples. Also, the California bearing capability (CBR) was used to determine the capacity of loaded soil, according to ASTM D1883-87 standard.

Results and Discussion

The results show the positive effects of all three additives on the reduction of dispersion potential. In the design of mixing 2% nano-clay and 7% cement, the soil samples became non-dispersive. The results of the dispersive percentages chart indicate a positive trend in reducing about 10% of this index in the 7% cement mix design (Fig. 1).

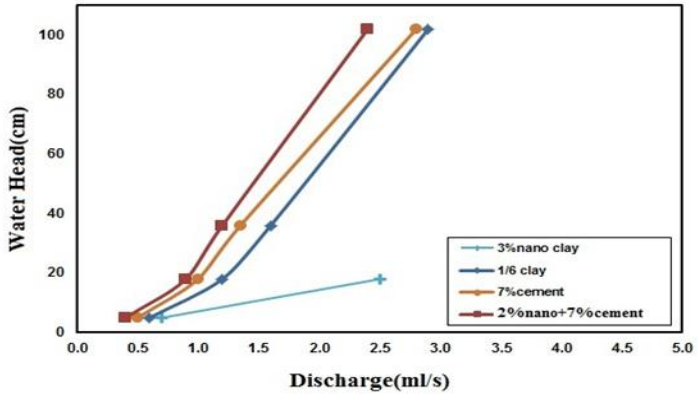


Fig. 1- Comparison of the performance of fixed samples in pinhole test

In Pinhole experiments on soil dispersive correction, the proper performance of all three materials has been shown. The use of nano-clay with 2%, cement with 7%, and clay with a ratio of 1.6 would modify the physical divergence in sandy soils. The factor that stabilizes the sand samples is the bonding of sand particles with sticky materials. Naturally, the specification and amount of fine-grained material will have a definite effect on adhesion and divergence. Based on the plotted diagrams, in nano-clay, water absorption with increasing mixing ratio first decreased and then increased. This factor is reduced for cement, thus would reduce the water absorption by increasing the amount of cement in the soil. In addition, incorporating a higher amount of sticky clay in the soil sample leads to enhancement of water absorption. Maximum water absorption was obtained for 1/3 bedding clay and minimum water absorption for 7% of cement (Fig. 2).

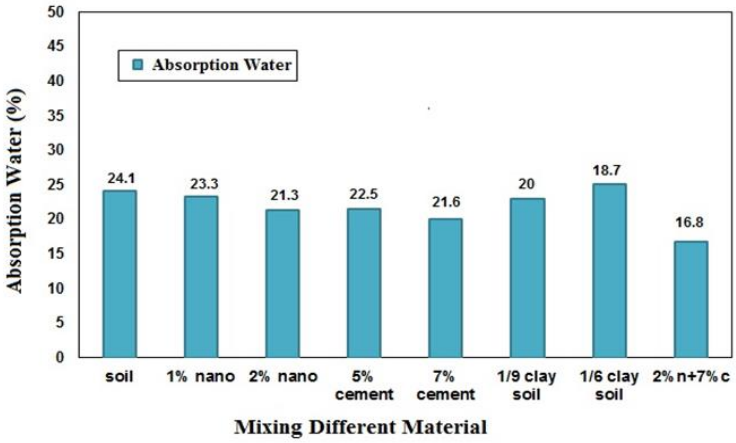


Fig. 2- The Absorption Water in mixing different materials

The results also showed that the range of bearing capacity changes in cement is more than nano-clay. The highest amount of CBR for the 2% nano-clay with 7% cement, while the smallest amount is related to the mixing ratio of 1.6 clay.

Acknowledgment

Thanks to all the dear friends in Khorramshahr University of Marine Sciences and Shahid Chamran University of Ahvaz and other friends in the soil mechanics laboratories of Mashhad and Ahvaz who helped us to prepare this article.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

First Author: Soroush Farkhondeh, Data analysis, initial draft writing.
Second Author: Hossein Bahrami, Data review and extraction of results, review and analysis of results and discussion.
Third Author: Javad Ahadiyan, Development of the methodology plan, design of the geotechnical testing program, grammatical revision of the article, review and analysis of results and discussion.

References

1- Askari, F. and Fakher,A.,1995. *Inflation and Dispersive of Soils in Geotechnical Engineering*. Academic center of education culture and research.

2- ASTM, Standard test methods for determining dispersive characteristics of clayey soils by the Crumb test, *ASTM Designation: D6572-00.*

3- ASTM, Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay by the Pinhole Test, *ASTM Designation: D4647.*

4- Rahimi. H, Davarzani.H, and Abbasi.N, 2004. Physical Dispersivity Phenomenon and its Evaluation Criteria in Cohesionless Soils. *Iranian Journal of Agricultural Science. Vol. 35, No. 3.* (In Persian)**.**

© 2025 Shahid Chamran Universiry 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۳۶-۲۱

بررسی تأثیرافزودنی‌های مختلف روی‌کاهش واگرایی فیزیکی وبهبود ظرفیت باربری خاک غیرچسبنده

سروش فرخنده[۱]، حسین بهرامی[۲*] و جواد احدیان

۱- کارشناس ارشد مهندسی سواحل وسازه های دریایی .دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.

۲*- نویسنده مسئول، استادیار دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر (hossein_bahrami1979@kmsu.ac.ir).

۳- استاد گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۶ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۲۲ پذیرش:۱۴۰۰/۰۷/۲۴

چکیده

در دو دهه اخیر، مسئله واگرایی خاک، در جریان اجرای تعداد قابل ملاحظه‌ای از پروژه‌های عمرانی مخصوصاً پروژه‌های نزدیک به ساحل، رودخانه و کانال‌های انتقال آب مورد بررسی قرار گرفته است. خاک‌های واگرا، خاک‌هایی هستند که در تماس با آب جاری به‌صورت کلوئیدی در آن پراکنده شده و به‌سرعت شسته می‌شوند. خطر این پدیده برای پروژه‌هایی که معمولاً در معرض آب هستند به اندازه‌ای مهم است که ناگزیر باید از ابتدا این مساله بررسی و چاره اندیشی شود. در این پژوهش به بررسی خاک غیرچسبنده با پتانسیل واگرایی فیزیکی در حالت تنها و هم‌چنین در ترکیب با نانو رس، سیمان و خاک رسی چسبنده پرداخته شده است. آزمایش‌های شناسایی خاک شامل دانه‌بندی خاک، اتربرگ، تراکم و آزمایش‌های ارزیابی واگرایی شامل کرامپ، هیدرومتری مضاعف و پین‌هول انجام پذیرفت. در انتها خاصیت جذب آب و ظرفیت باربری این خاک نیز مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده تأثیرهای مثبت هر سه ماده از یک درصد مشخص به بعد در جهت اصلاح واگرایی به‌طوری‌که در طرح اختلاط دو درصد نانو رس و هم‌چنین پنج درصد سیمان به بعد کاهش پتانسیل واگرایی انجام پذیرفته است. هم‌چنین میزان ظرفیت باربری در طرح اختلاط دو درصد نانو رس از ۱۹/۷ به ۳۳/۸ کیلوگرم برسانتی‌مترمکعب و در طرح اختلاط ترکیبی دو درصد نانو رس و پنج درصد سیمان به ۶۳/۷ کیلوگرم بر سانتی‌مترمکعب افزایش می‌یابد. میزان جذب آب در طرح اختلاط ۱/۳رس چسبنده به میزان ۳/۹ درصد افزایش یافته و در حالت طرح اختلاط هفت درصد سیمان به میزان ۲/۵ درصد کاهش می یابد.

کلید واژه‌ها: خاک غیرچسبنده، آزمایش پین هول، نانو رس، سیمان.

مقدمه

خواص مکانیکی خاک‌ها با افزایش رطوبت و اشباع شدن تغییر می‌کند. در برخی از خاک‌ها بر اثر افزایش رطوبت پدیده‌های خاصی بروز می‌کند که بعضاً به خسارت‌های عمده‌ای درطرح‌های عمرانی منجر می‌گردد. این نمونه، خاک‌های حساس در برابر آب نامیده می‌شود (Askari and Fakher,1993). یکی از انواع این نوع خاک‌ها، خاک‌های واگراهستند. واگرایی، به معنای جداشدن ذرات خاک ریزدانه از یکدیگر بوده و نتیجه عملکرد این پدیده فرسایش خاک است. در واقع واگرایی پدیده‌ای است که طی آن خاک در اثر تماس با آب به‌صورت شناور درآن درآمده و توسط نیروی حاصل از جریان آب از محیط خارج می‌گردد. این پدیده می‌تواند ماهیت فیزیکی- شیمیایی (خاک رس) و یا ماهیت فیزیکی (ماسه ریز و سیلت درشت غیر چسبنده) داشته باشد. فرسایش ذرات رسی، بر اثر پدیده واگرایی ناشی از افزایش نیروهای دافعه بین ذرات بر نیروی جاذبه آن‌ها می‌باشد و انتقال ذرات در ماسه‌های ریزدانه بر اثر عدم چسبندگی و ریز بودن آن‌ها صورت می‌گیرد. این عمل باعث ایجاد فرسایش درونی در خاک می‌گردد (Rahimi et al.,2004). شسته شدن خاک‌های واگرا با جریان یافتن آب در ترک‌های انقباضی خاک آغاز می‌شود. آب جاری در خاک‌های واگرا تدریجاً گل‌آلود شده و بر سرعت فرسایش خاک نیز افزوده می‌شود. بدین ترتیب واگرایی یک پدیده پیش‌رونده است که از یک نقطه با تمرکز جریان آب شروع شده و به تدریج گسترش می‌یابد. تجربه‌های اخیر نشان داده است که عدم توجه کافی به این امر عوارض نامطلوبی را به بارآورده است، آبشستگی بسیاری از خاک‌ریزها، سدهای‌خاکی و دیواره‌های کانال‌های خاکی و حتی درمواردی خرابی سازه‌ها به‌خصوص در مجاورت مناطق آبی مانند سواحل و بنادر از جمله این عوارض محسوب می‌شوند (Sarshar, 1992). در مطالعه‌های اولیه، این باور وجود داشت که خاک‌های واگرا صرفاً ویژه مناطق با آب و هوای خشک و نیمه خشک و مناطق با خاک‌های قلیایی است. در مطالعه‌های اخیر ثابت شده است که این نوع خاک‌ها و مسایل فرسایش سطحی، در مناطق مختلف با آب و هوای مرطوب نیز وجود دارند. رنگ خاک‌های واگرا ممکن است قرمز، قهوه‌ای، خاکستری و زرد بوده و یا ترکیبی از این رنگ‌ها باشد. در مقابل، خاک‌های سیاه رنگ حاوی مقدار زیادی از مواد آلی بوده و اصلاً واگرا نیستند (Baibordy, 1994). در مورد واگرایی شیمیایی خاک‌ها تا کنون تحقیقات وسیعی در سطح جهان صورت گرفته و روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای شناسایی آن‌ها ابداع

گردیده است. با اینکه اکثر دانشمندانی که در مورد خاک‌های واگرا تحقیق نموده‌اند به مورد فیزیکی و مکانیکی واگرایی خاک (واگرایی فیزیکی) اشاره داشته‌اند ولی متأسفانه تاکنون مطالعه جامعی در مورد چگونگی و علت واگرایی این خاک‌ها، نحوه طبقه بندی و ارائه معیار مناسب برای شناسایی آن‌ها انجام نشده است (Rahimi et al., 2004). شناسایی کامل و دقیق خاک‌های واگرا در محل و بدون انجام رساندن روش‌های آزمایشگاهی مخصوص عملاً مشکل و تقریباً غیرممکن است. به‌همین دلیل بسیاری از محققان تلاش نموده‌اند تا آزمایش‌های مختلفی را به این منظور ابداع نمایند (Sherard et al., 1976). در شکل (۱) نمونه‌ای از آب‌شستگی سطحی دراثر جریان آب در نمونه خاک واگرا نشان داده شده است.خاک‌های واگرا اولین‌بار توسط کشاورزان در بیش از ۱۰۰ سال پیش شناسایی شدند. آن‌ها متوجه شده بودند که در بعضی موارد پس از عملیات آبیاری، خاک دچار فرسایش شدید شده و یا در آن ترک‌های عمیق و گسترده‌ای ایجاد می‌گردد. اولین بار میدلتون درسال ۱۹۹۳ پدیده واگرایی را یکی از عوامل مؤثر در فرسایش خاک‌های ریزدانه معرفی کرد (Askari and Fakher, 1993). Volk (1935) تا (1938) نیز واگرایی خاک‌ها را دلیل اصلی بسیاری از خرابی‌ها دانست که در سدهای خاکی کوچک و بندها و خاک‌ریزهای طراحی شده در سازمان حفاظت خاک آمریکا مشاهده شده است. این سدها عموماً پس از اولین آبگیری خراب شده بودند (Askari and Fakher, 1993). معمولاً یکی از راه‌های تشخیص این نوع خاک‌ها بررسی خصوصیات تحکیمی و یا تشخیص رفتار مکانیکی در منطقه مورد نظر دارد. برای این منظور محققین مختلفی روابط تجربی و فعالیت‌های آزمایشگاهی مختلفی برای تعیین رفتار مکانیکی این خاک‌ها در مناطق مختلف پیشنهاد داده‌اند.

در چند تحقیق مجزا مشخص گردیده است که اصلاح خاک‌های مساله‌دار اعم از خاک‌های واگرا، تورم پذیر و انحلال پذیر با مواد افزودنی مختلفی نظیر ترمیم کننده میژه بتن، آهک و خاک–سیمان –بنتونیت امکان‌پذیر است ودر مجموع نتایج این تحقیقات نشان داده است که ماده ترمیم کننده ویژه با شرایط بهتری نسبت به آهک و یا سیمان–بنتونیت می‌تواند برای اصلاح خاک‌های واگرا مورد استفاده قرار گیرد (Ahadian et al.2008; Karimi et al. 2010; Daryaei et al. 2010; Ahadian et al. 2012; Ahadian and Behroozi, 2014, 2016; Behroozi and Ahadian 2014; Farzi and Ahadian, 2014).

Ingles Aitchison (1967) نتایج بررسی‌های خود را در زمینه نحوه تأثیر شیمی آب و خاک در پدیده واگرایی و هم‌چنین تأثیر درزها و ترک‌ها در آبشستگی‌های داخلی عرضه کردند و با توجه به این نتایج، حدود مقدار سدیم تبادلی را در خاک‌های واگرا تعیین نمودند. Sherard (1972) با تعیین میزان املاح موجود در خاک (به‌خصوص درصد سدیم) ، تلاش نمودند تا نتایج این آزمایش‌ها را با خرابی‌های مشاهده شده ارتباط دهند. آن‌ها نحوه تأثیر درزها و ترک‌ها را نیز در خرابی‌های مشاهده شده بررسی کرده و نتایج تحقیقات خود را در دو مقاله منتشر نمودند. Shah و Omar (1998)، واگرایی خاک یک پروژه واقع در کاسیمپور هندوستان را بررسی کردند. پس از انجام آزمایش‌های کرامپ و پین‌هول روی این خاک، میزان واگرایی آن شدید تشخیص داده شد. در ادامه این مطالعه‌ها، خاک مذکور به وسیله آهک (با درصدهای یک، ۱/۵، ۲/۵ وسه) تثبیت شد. آزمایش‌های انجام گرفته روی نمونه‌های تثبیت شده نشان دادند که خاک مذکور با افزودن ۲/۵ درصد آهک به خاک غیر واگرا تبدیل می‌شود. Bayer و Abden-Nabi (1993)، روی خاک‌های واگرای چند منطقه مختلف اردن مطالعه‌هایی را انجام دادند. در این تحقیق با استفاده از آزمایش پین هول، تأثیر دانسیته و رطوبت بر رفتار خاک مذکور بررسی شد. این خاک از لحاظ واگرایی در محدوده نیمه واگرا طبقه‌بندی می‌شد و در انتها با افزودن دو درصد آهک، تثبیت و واگرایی آن اصلاح شد. Poursaki et al. (2015) و Ahadiyan et al (2017) نسبت به بررسی تحلیلی و ریاضی تحکیم سه بعدی خاک‌های مساله دار پرداختند و یک روش نوینی با استفاده از تحلیل تابع بسل برای تحلیل میزان نشست پذیری خاک‌ها ارائه دادند. در واقع در تحلیل آن‌ها یک روش نوینی علاوه بر سری فوریه استفاده گردید که برای حل معادلات ریاضی بسیار پیچیده به کار گرفته می‌شود. Toktaş (2001) استفاده از خاکستر بادی نوع c را در تثبیت واگرایی مورد بررسی قرار داد. خاک مورد مطالعه از محل قرضه یک سد واقع در آنکارا تهیه شد و برای تعیین میزان واگرایی آن از آزمایش پین هول استفاده گردید. با انجام آزمایش‌های مذکور نشان داده شدکه می‌توان از این ماده در اصلاح خاک‌های واگرا استفاده کرد. Bolouri-Bazaz و Saghafy (2003)، تأثیر درصد اشباع خاک‌های واگرا را در میزان واگرایی آن‌ها مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد که میزان رطوبت، تأثیری در میزان واگرایی خاک ندارد. در این تحقیق از ماده آلی پلیمری برای اصلاح واگرایی خاک استفاده شد و مشخص شد که افزودن این ماده تأثیر مثبت قابل توجهی بر خصوصیات خاک دارد. Rahimi (1989)، مشکل حادث شده در پروژه آبیاری گتوند را که ناشی از واگرایی بود مورد بررسی و مطالعه قرار داد. بررسی‌ها نشان داد که خاک منطقه از نوع رس سیلتی و سیلت رسی حاوی مقدار زیادی املاح به‌ویژه کلرور سدیم می‌باشد. آزمایش مورد استفاده در این تحقیق پین‌هول بوده و با افزودن سه درصد آهک و ۰/۶ درصد سولفات آلومینیوم، خاک به‌طور کامل اصلاح شده و به حالت غیر واگرا تبدیل شد. Rahimi و Fakur (1995) سیمان و امولسیون قیر را در تثبیت خاک‌های واگرا برای استفاده در پوشش کانال‌ها مقایسه کردند. نتایج تحقیق نشان داد که دوام و کیفیت فنی مخلوط سیمان در شرایط مختلف به مراتب بهتر از مخلوط‌های امولسیون قیر بوده و فرسایش پذیری آن‌ها در مقابل جریان آب در مخازن خاکی در حد قابل قبول است..Rahimi et al (2004) به بررسی پدیده واگرایی فیزیکی در خاک‌های غیرچسبنده و معیارهای ارزیابی آن پرداختند.

DOI: 10.22055/JISE.2021.28293.1824

بدین منظور برای انجام این تحقیق ابتدا نمونه‌های ماسه‌ای مختلفی تهیه شده و مشخصات فیزیکی و پتانسیل واگرایی آن‌ها تعیین گردیدند. این بررسی‌ها نشان داد که هر چه درصد وزنی و خمیرایی بخش ریزدانه خاک بیشتر باشد از درجه واگرایی فیزیکی کاسته می‌شود. بر اساس تأثیر متقابل این دو پارامتر نموداری برای ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی پیشنهاد گردید. Mazarei و Ahadiyan (2018) و همچنین Bakhtiar و Ahadiyan (2018) نسبت به اثرگذاری خاک‌های مساله‌دار بالاخص خاک‌های واگرا بر نوع تحلیل و گوه شکست در دیوارهای حائل پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها میزان واگرایی در توسعه گوه شکست برای خاک پشت دیوارهای حادل با استفاده از روش استوپلاستیک کاملا مشهود است. Bakhtiari et al. (2018) و Bakhtiari et al. (2020) با استفاده از مدل‌سازی عددی نسبت به تثبیت خاک‌های واگرا به روش تراکم دینامیکی پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که برای کلیه شرایط مدل‌سازی با افزایش ارتفاع سقوط و همچنین افزایش وزن کوبه عمق تأثیر برای این نوع خاک‌ها افزایش می‌یابد. Sadeghi و Ahadiyan (2018) و همچنین Ahadiyan et al. (2018, 2022) نسبت به بررسی پایداری دایک‌های ساحلی که به لحاظ پایداری فونداسیون و جداره خاکی دچار اشکال هستند پرداختند. بر اساس بررسی این محققین وجود جریان‌های کم عمق روی خاک‌های مساله‌دار باعث فرسایش بیشتر و در نتیجه آن تخریب سریعتر می‌گردد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که میزان درصد سیلت موجود در خاک که باعث تغییر رفتار در خاک‌های رمبنده و مساله دار می‌شود نیز در رفتار پایداری این نوع خاک‌ریزها اثر مستقیم دارد. Haghdoost et al. (2023, 2024) نسبت به بررسی خاک واگرا در هسته سدهای خاکی اقدام نمودند. در بسیاری از پروژه‌های عمرانی وجود مشکل در تأمین منابع قرضه مشهود بوده و از این رو استفاده از روش‌هایی که بتواند شرایط هیدرولیکی و هندسی هسته سد را بهبود ببخشد مدنظر است. در تحقیق آن‌ها مشخص گردید زاویه پرده آب‌بند، اثرگذاری بسیار زیادی در کنترل رفتار هیدرولیکی و مکانیکی این نوع خاک‌ها دارد. Memarian et al. (2023) رفتار مکانیکی خاک‌های ناپایدار موجود بر روی شیب‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. این محققین برای تثبیت این نوع خاک‌ها که شامل خاک‌های واگرا نیز می‌شود، استفاده از شمع و میکرو شمع بر روی شیب را پیشنهاد دادند. بر اساس نتایج این محققین طول و تعداد شمع‌ها تا عمق برابر با هر لایه مورد استفاده اثرگذاری کمی در افزایش پایداری شیب‌های مستقر روی خاک‌های ناپایدار دارد. Kiyani et al. (2024) در یک تحقیق آزمایشگاهی تثبیت خاک‌های مساله دار پشت دیوارهای حائل را با استفاده از تثبیت کننده ژئوتکستایل بررسی نمود. پارامترهای مورد بررسی در تحقیق آن‌ها شامل تعداد لایه ژئوتکستایل و فواصل بین لایه‌های آن بود. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود لایه‌های ژئوتکستایل، طول خط شکست را تا ۴۱ درصد کاهش داده است. همچنین مقدار زاویه شکست را بهبود بخشیده و تشکیل گوه شکست را در اعماق پایین‌تر تا حداکثر ۱۶ درصد کاهش داده است. حرکت انتقالی دیوار در حالت تحریک، تمایز بیشتری بین نقطه ثابت و ناحیه شکست دارد و لایه‌های تقویت‌کننده نیز در افزایش ظرفیت باربری و پایداری دیوار حائل مؤثر هستند.

با توجه به آنچه که به‌طور مفصل در بخش مقدمه و مروری بر منابع گذشت، در اکثر فعالیت‌های عمرانی و پروژهای وسیع، مشکل خاک مساله‌دار، یک معضل جدی بوده و نیاز است که با توجه به ماهیت رفتار مکانیکی آن‌ها اقدام به اصلاح و یا تثبیت این نوع خاک‌ها نمود. لذا از اهداف این تحقیق، اصلاح واگرایی فیزیکی خاک‌های غیرچسبنده از طریق اضافه نمودن برخی مواد و مقایسه تأثیر آن‌ها و نیز بررسی تغییر مقاومت باربری خاک نیز پس از طرح اختلاط بوده که در ادامه به شرح روش تحقیق و نتایج آن پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

نمونه خاک مورد مطالعه از سواحل رودخانه کارون در اطراف پل هفتم شهر اهواز تهیه شده و پس از انتقال به آزمایشگاه براساس استاندارد ASTM D 422-87 و به‌منظور تعیین طبقه‌بندی خاک مورد آزمایش دانه‌بندی قرار گرفت. همچنین برای بررسی بخش ریزدانه (عبوری از الک شماره ۲۰۰) آزمایش هیدرومتری براساس استاندارد ASTM D 421-58 انجام پذیرفت. با توجه به نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی با الک و هیدرومتری منحنی دانه‌بندی مطابق شکل (۲) رسم گردید.

از روی مقادیر به‌دست آمده برای نمونه خاک و براساس سیستم طبقه‌بندی متحد این خاک در طبقه ماسه لای‌دار (SM) قرار گرفت. به‌منظور شناسایی بیشتر مشخصات خاک آزمایش چگالی خاک براساس استانداردASTM D 854-87 و هم‌چنین آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک براساس استاندارد ASTM D 2216-90 و آزمایش تراکم استاندارد براساس استاندارد ASTM D 698-78 و آزمایش اتربرگ براساس استاندارد ASTM D4318-87 انجام گرفت. نتایج نهایی آزمایش‌های صورت گرفته روی نمونه خاک در جدول (۱) نشان داده شده است.



Fig. 1- Soil surface erosion due to the water flow in the dispersive soils
شکل۱- آب‌شستگی خاک در سطح بر اثر جریان آب در خاک واگرا

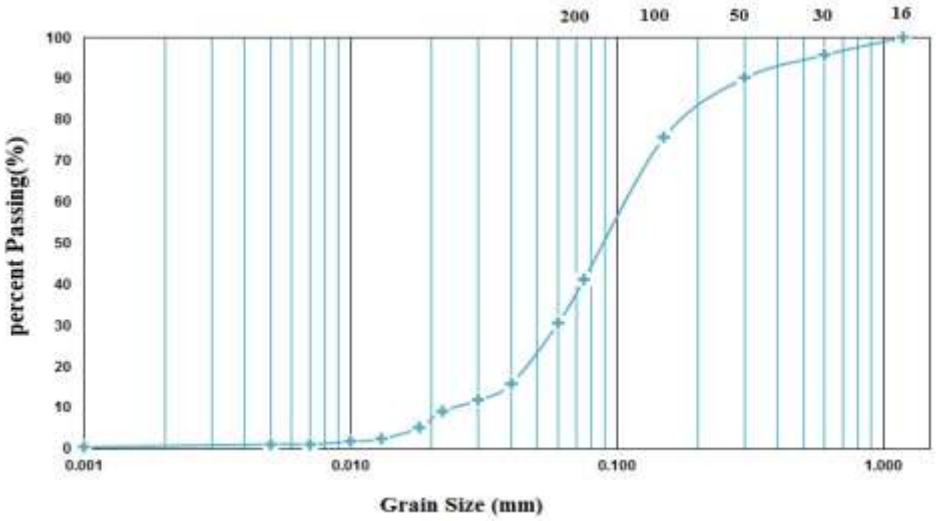


Fig. 2-Grading Diagram of Tested Soil
شکل۲- منحنی دانه‌بندی نمونه خاک مورد آزمایش

جدول۱- مشخصات خاک مورد آزمایش
Table 1- Specifications of Tested Soil

Soil Classification	Moisture Content (%)	Density (Gs)	Plasticity Index (%)	Dry Density ($\frac{gr}{cm^3}$)
SM	11.06	2.6	NP	1.82

نانو رس مورد استفاده در این پروژه از جنس مونت مویلونیت بوده و با درصد اختلاط های یک و دو درصد با نمونه خاک مخلوط گردید. مشخصات این ماده در جدول (۲) نشان داده شده است.

هم‌چنین به‌منظور مقایسه تأثیرات نانو رس، طرح اختلاط سیمان و خاک رس چسبنده نیز در درصدهای مشخص با خاک غیرچسبنده مورد آزمایش قرار گرفت. هدف از انتخاب این خاک مقایسه‌ای بین میزان تأثیرگذاری رس و نانو رس است. نتایج آزمایش‌ها به‌منظور شناسایی اولیه خاک رسی در جدول (۳) نشان داده شده است.

هم‌چنین خاک رسی در نسبت‌های ۱/۹و ۱/۶ در طرح اختلاط مورد استفاده قرار گرفت.

هم‌چنین سیمان تیپ دو پوزولانی با توجه به ضد کلر و ضدسولفات بودن و هم‌چنین کارایی مناسب این سیمان در مناطق گرم، به‌عنوان گزینه مورد استفاده در طرح اختلاط در درصدهای پنج وهفت مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور بررسی تأثیر ترکیبی مواد در بهبود خواص خاک غیرچسبنده طرح اختلاط ترکیبی نانو- سیمان (با نسبت دو درصد نانو و هفت درصد سیمان) انتخاب

DOI: 10.22055/JISE.2021.28293.1824

و مورد آزمایش قرار گرفت. لازم به ذکر است تمامی نسبت‌های انتخابی با استفاده از داده‌های تجربی حاصل از آزمایش‌های اولیه شناسایی و هم‌چنین نتایج تحقیقات گذشته مشخص گردیده است. در ادامه به آزمایش‌های انجام شده به‌منظور ارزیابی پتانسیل واگرایی خاک پرداخته شده است. آزمایش کرامپ (Crumb Test) براساس استاندارد ASTM-D6572 انجام گرفت بدین منظور ابتدا قسمت کوچکی از خاک، در داخل ظرفی حاوی ۱۵۰ سانتی‌متر مکعب آب مقطر قرار گرفت و پس از گذشت پنج تا ۱۰ دقیقه از انجام آزمایش میزان جدا شدن ذرات خاک از نمونه و تشکیل محلول کلوئیدی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. طبق شکل (۳) واکنش ذرات خاک در مقابل آب به یکی از صورت‌های زیر می‌باشد. هم‌چنین نحوه طبقه‌بندی توصیفی خاک در این آزمایش در جدول (۴) نشان داده شده است. در نهایت وضعیت نمونه خاک در آزمایش کرامپ در شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول۲- مشخصات نانو رس مورد استفاده

Table 2- Specifications of Nano clay

Particle size	Specific surface area	The Empty Space between particles	Color	Moisture Content
1-2 nm	220-270(m^2/gr)	60A.	light yellow	1-2%

جدول۳- نتایج آزمایشات اولیه روی خاک رس

Table 3- The results of preliminary experiments on clay

Soil Classification	Moisture Content (%)	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plasticity Index (%)	Dry Density ($\frac{gr}{cm^3}$)
CL	31	44	26	18	**1.75**

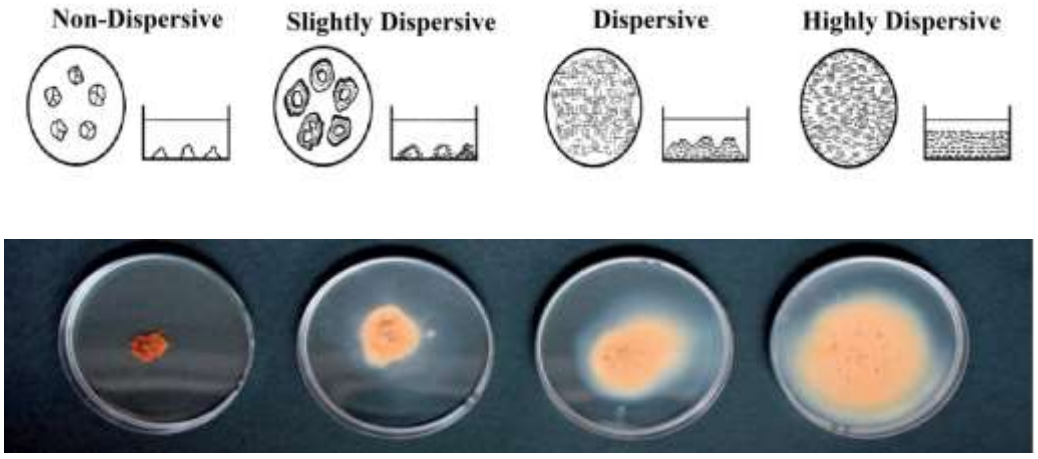


Fig. 3- Interaction of soil particles and water content at crumb test

شکل۳- واکنش ذرات خاک در مقابل آب در آزمایش کرامپ

جدول٤- طبقه‌بندی خاک براساس آزمایش کرامپ

Table 4- Classification of soils based on crumb test

Reaction	Descriptions
No Dispersive	Crumbs may slake, but no sign of cloudiness caused by colloids in suspension
Slight Dispersive	A bare hint of cloudiness in the water at the surface of the crumb.
Moderate Dispersive	Easily recognisable cloud of colloids in suspension, usually spreading out in thin streaks on the bottom of the beaker.
Strong Dispersive	Colloid cloud covers nearly the whole bottom of the beaker, usually as a thick skin.



Fig. 4- The picture of the Crumb test on Dispersive soil
شکل٤- تصویر آزمایش کرامپ برروی نمونه خاک واگرا

جدول٥- طبقه بندی خاک‌های واگرا براساس درصد واگرایی
Table 5- Classification of Dispersive Soils Based on dispersive Percent

Classification	dispersive Percent
No Dispersive	Less 30%
Slight Dispersive	30% -50%
Moderate Dispersive	50% -75%
Strong Dispersive	More 75%



Fig. 5- Double hydrometer test
شکل٥- آزمایش هیدرومتری دوگانه

هم‌چنین آزمایش هیدرومتری مضاعف (Double Hydrometer Test) بر اساس استاندارد ASTM D4221 انجام گرفت. در این آزمایش ابتدا دانه‌بندی خاک به روش استاندارد آزمایش هیدرومتری یعنی با استفاده از همزن مکانیکی و ماده شیمیایی پراکنده‌ساز تعیین گردید، سپس روی نمونه دیگری از همان خاک آزمایش هیدرومتری بدون استفاده از همزن مکانیکی و ماده شیمیایی پراکنده‌ساز انجام گرفت. درصد ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر در هر دو آزمایش تعیین و سپس درصد واگرایی که برابر است با نسبت درصد ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر در آزمایش دوم به درصد همین ذرات در آزمایش اول، محاسبه گردید.

سازمان حفاظت خاک آمریکا نیز بر اساس نتایج تحقیقات Sherard et al. (1976)، معیارهایی را برای طبقه‌بندی خاک‌های واگرا براساس مقدار درصد واگرایی در آزمایش هیدرومتری دوگانه مطابق جدول (۵) ارائه نموده است (Askari and Fakher,1993). درادامه نحوه این آزمایش در شکل (۵) نشان داده شده است.

در آزمایش پین هول (Pinhole Test) که به آزمایش شرارد نیز معروف است و براساس استاندارد ASTM D4647 انجام می‌پذیرد، میزان واگرایی خاک‌های ریزدانه مستقیماً با عبور دادن آب از داخل سوراخی که در نمونه خاک ایجاد می‌گردد اندازه‌گیری می‌شود. آبی که از داخل نمونه‌های خاک‌های واگرا خارج می‌شود کدر و دارای ذرات معلق کلوئیدی است اما در نمونه‌های غیر واگرا آب مذکور زلال و شفاف است مبنای قضاوت در این آزمایش، محلول خارج شده از نمونه، دبی جریان و قطر نهایی سوراخ است. نحوه طبقه‌بندی توصیفی خاک براساس آزمایش پین هول در جدول (۶) نشان داده شده است.

در ادامه شکل کلی دستگاه پین هول به همراه بخش‌های تشکیل دهنده در شکل(۶) و همچنین ابعاد مورد آزمایش به همراه ابعاد مرزی در شکل (۷) نشان داده شده است.

جدول ٦- طبقه بندی خاک براساس آزمایش پین هول
Table 4- Classification of soils based on pinhole test

Classification	Descriptions
Dispersive	It is easy to wash 50 mm with a water bar and remove the colloidal solution
Moderate Dispersive	With a water bar between 50 and 180 mm, it is washed slowly and going out
Non- Dispersive	Water is not washed out by more than 380 to 1020 mm, the water is clear

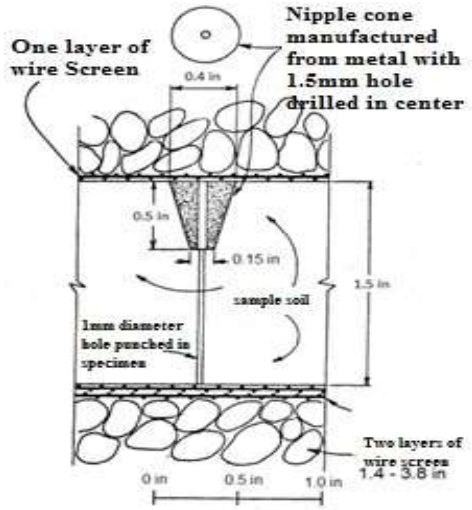


Fig. 7- Dimensions tested on pin hole device
شکل ۷- ابعاد مورد آزمایش در دستگاه پین هول

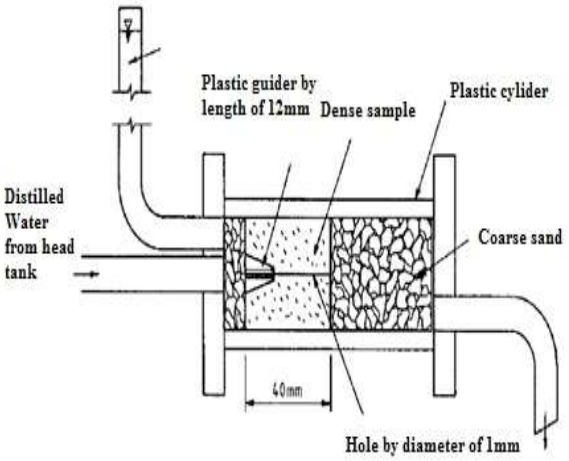


Fig. 6- A schematic picture of the pinhole apparatus
شکل٦- شکل کلی دستگاه پین هول

کنترل قطر نهایی سوراخ در آزمایش پین هول به‌دلیل تخریب کامل نمونه‌ها غیر ممکن می‌نمود و دبی خروجی نیز به‌دلیل اینکه آب خروجی فقط از سوراخ وسط نمونه عبور نمی‌کرد نمی‌توانست معیار مناسبی برای ارزشیابی شدت واگرائی باشد. لذا در این تحقیق، آبشستگی شدید و تخریب کامل نمونه به‌عنوان معیار ارزیابی واگرایی، مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین در انجام آزمایش روی کلیه نمونه‌ها، تنها با مشاهده تغییرات ناگهانی دبی خروجی و شاهده عینی حرکت ذرات درون قالب دستگاه پین هول و نیز مشاهده تخریب نمونه، شدت واگرایی فیزیکی نمونه‌های خاک غیرچسبنده ارزیابی گردید. برای تعیین میزان جذب آب آزمایش ضریب جذب آب براساس استاندارد ASTM C128-97 برای هر یک از طرح اختلاط‌ها انجام گرفت. ضریب جذب آب با تقسیم وزن آب جذب شده بر وزن خشک نمونه محاسبه گردید. و به‌منظور تعیین ظرفیت باربری خاک متراکم شده آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا (CBR) براساس استاندارد ASTM D1883-87 انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش کرامپ در جدول (۷) نشان داده شده است. نتایج این آزمایش نشان دهنده اثرات مثبت هر سه ماده روی کاهش پتانسیل واگرایی می‌باشد. در طرح اختلاط نانو رس با دو درصد از این ماده نمونه خاک ما غیر واگرا می‌شود هم‌چنین با اضافه کردن پنج درصد از سیمان نمونه خاک به حالت غیر واگرا در آمده است روند تأثیر در طرح اختلاط رس چسبنده نسبت به دو ماده دیگر کمتر بوده است.

نتایج نمودار درصد واگرایی درآزمایش هیدرومتری مضاعف در شکل (۸) نشان داده شده است. این نتایج نشان دهنده روند مثبت کاهش درصد واگرایی در طرح اختلاط‌های سیمان می باشد به‌طوری که این روند با اضافه کردن هفت درصد سیمان از ۲۹ درصد درحالت خاک غیرچسبنده (نمونه شاهد) به ۱۹ درصد کاهش یافته است.

جدول۷- نتایج آزمایش کرامپ

Table 7- crumb test result

Mixing different materials	Crumb test
Non-Sticky Soil	Dispersive
1% Nano clay	Slight Dispersive
2% Nano clay	No Dispersive
5% Cement	No Dispersive
7% Cement	No Dispersive
1/9 clay soil	Slight Dispersive
1/6 clay soil	Slight Dispersive
7% Cement+2% Nano clay	No Dispersive

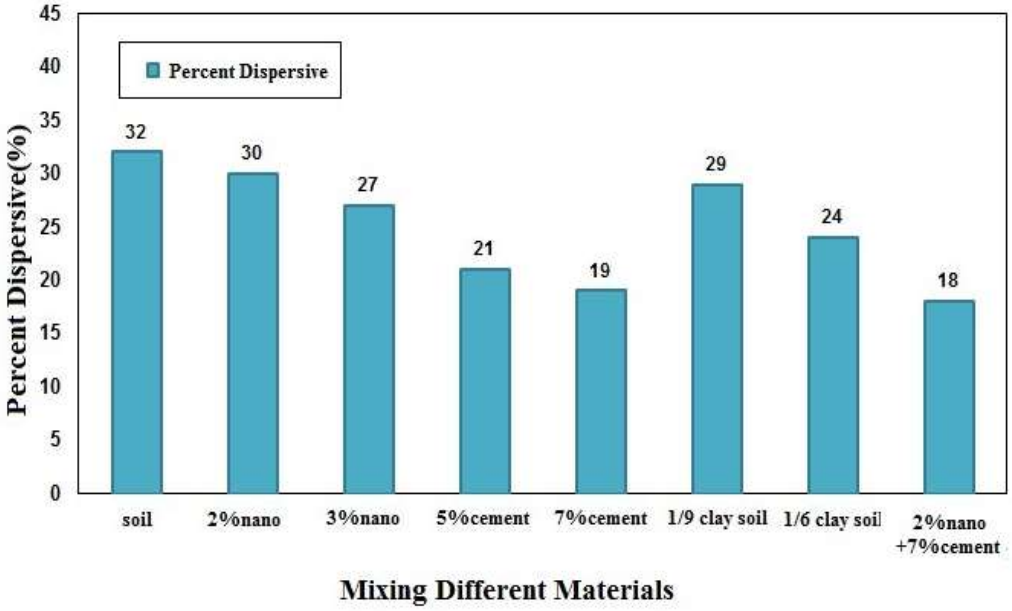


Fig. 8- Diagram of the percent dispersive in the double hydrometer test

شکل۸- نمودار درصد واگرایی آزمایش هیدرومتری مضاعف

هم‌چنین نتایج توصیفی آزمایش هیدرومتری مضاعف در جدول (۸) نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده تأثیر دو درصدی طرح اختلاط نانو رس و تأثیر پنج درصدی سیمان به بعد در غیرواگرا کردن نمونه خاک بوده است.

نمودار تغییرات دبی خروجی از پین هول در بارهای آبی مختلف و برای درصدهای مختلف هر یک از افزودنی‌ها در شکل (۹) و هم‌چنین نتایج توصیفی این آزمایش در جدول (۹) نشان داده شده است. در آزمایش پین هول درمورد اصلاح واگرایی خاک نیز عملکرد مناسب هر سه ماده نشان داده شده است به طوری که در نانو رس با دو درصد و در سیمان با پنج درصد و با خاک رس چسبنده با نسبت ۱/۶ اصلاح واگرایی فیزیکی در خاک غیر چسبنده مشاهده شد. عاملی که باعث تثبیت نمونه‌های خاک غیرچسبنده خواهد شد، ایجاد چسبندگی بین ذرات درخاک ماسه‌ای در اثر اضافه شدن بخش ریزدانه چسبنده می‌باشد و طبیعتاً مشخصات و مقدار بخش ریزدانه بر میزان چسبندگی حاصله و چگونگی مقاومت به واگرایی دارای اثر تعیین کننده خواهد بود.

نتایج آزمایش ضریب جذب آب در شکل (۱۰) نشان داده شده است. ضریب جذب آب به‌طور مستقیم با حجم خلل و فرج نفوذپذیر ارتباط پیدا می‌کند. با افزایش درصد نانو رس و سیمان ابتدا مقدار نفوذپذیری به‌دلیل کاهش خلل و فرج کاهش و بعد از آن روند افزایشی داردکه آن را می‌توان جذب سطحی بالای نانو رس و سیمان نسبت به خاک غیرچسبنده مرتبط دانست. برای طرح اختلاط رس چسبنده به‌دلیل جذب آب بالای خود خاک رسی افزایش جذب آب را از همان ابتدا شاهد هستیم. لازم به ذکر است در طرح اختلاط ۱/۹ ما شاهد کاهش جذب آب هستیم که به‌دلیل کاهش حجم خلل و فرج می‌باشد. هم‌چنین جذب آب برای طرح اختلاط ترکیبی هفت درصد سیمان و دو درصد نانو رس مورد بررسی قرار گرفت، که مقدار جذب آب در این طرح اختلاط ۱۶/۸ درصد حاصل شد.

جدول ۸- نتایج آزمایش هیدرومتری مضاعف

Table 8- Double hydrometer test Results

Mixing different materials	Crumb test
Non-Sticky Soil	Moderate Dispersive
1% Nano clay	Moderate Dispersive
2% Nano clay	No Dispersive
5% Cement	No Dispersive
7% Cement	No Dispersive
1/9 clay soil	Moderate Dispersive
1/6 clay soil	No Dispersive
7% Cement+2% Nano clay	No Dispersive

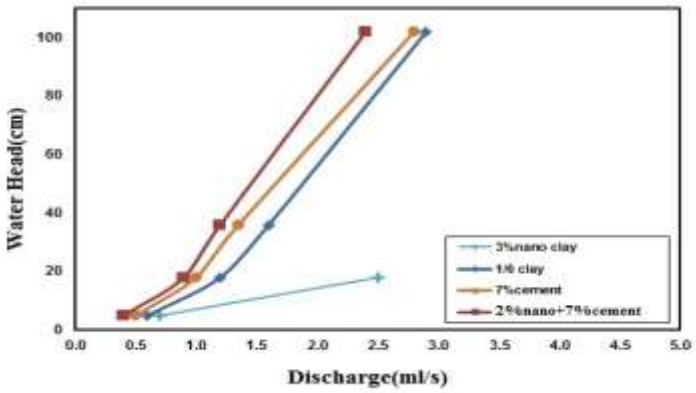


Fig. 9- Comparison of the performance of fixed samples in pinhole test

شکل۹- مقایسه عملکرد نمونه‌های تثبیت شده در آزمایش پین هول.

جدول ۹- نتایج نهایی واگرایی در آزمایش پین هول.

Table 9- pinhole test Results

Mixing different materials	Crumb test
Non-Sticky Soil	Dispersive
2% Nano clay	Moderate Dispersive
5% Cement	No Dispersive
1/9 clay soil	No Dispersive
7% Cement+2% Nano clay	No Dispersive

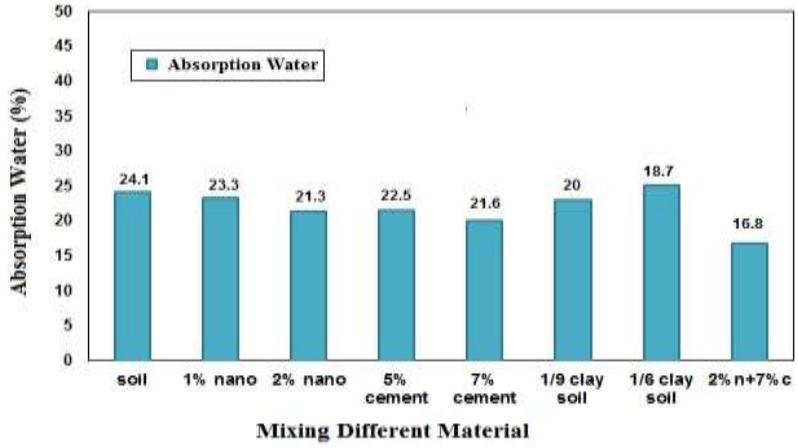


Fig. 10- The Absorption Water

شکل ۱۰- نمودار تغییرات جذب آب

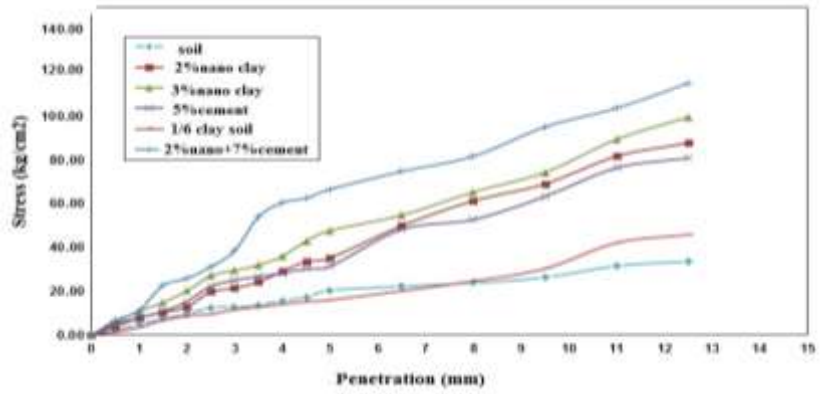


Fig. 11- The California Bearing Ratio test
شکل۱۱- نمودار آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا

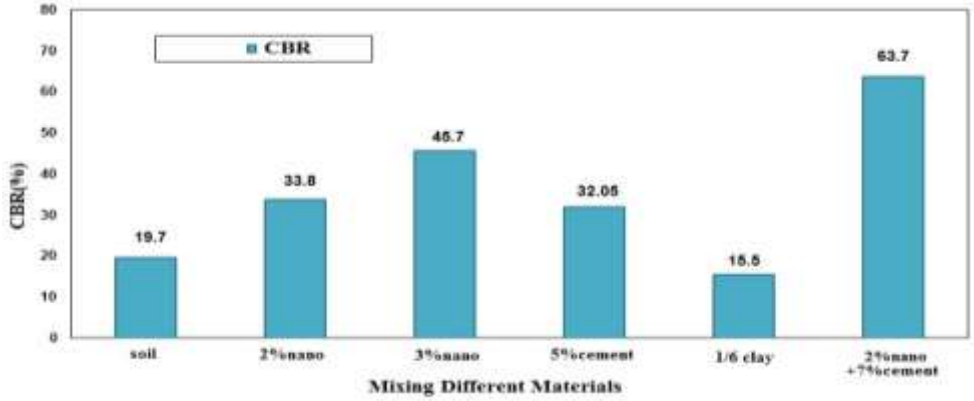


Fig. 12- The California Bearing Ratio change
شکل ۱۲- نمودار تغییراتCBR

نتایج آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا در شکل (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. براساس شکل با افزایش درصد اختلاط نانو رس و سیمان در خاک روند تغییرات نمودار تنش فشاری برحسب نفوذ افزایش می‌یابد و به تبع آن شاهد افزایش ظرفیت باربری در خاک هستیم. هم‌چنین روند تغییرات مقاومت فشاری برحسب نفوذ برای طرح اختلاط‌های مختلف خاک رسی چسبنده نسبت به روند تغییرات طرح اختلاط‌های نانو رس و سیمان کمتر است، بنابراین ظرفیت باربری کمتری را نشان می‌دهد. به‌طورکلی نتایج آزمایش روی طرح اختلاط‌های مختلف نشان دهنده افزایش ظرفیت باربری خاک در طرح اختلاط‌های سیمان و نانو رس و کاهش ظرفیت باربری در طرح اختلاط خاک رسی چسبنده با افزایش مقدار ماده اختلاط می‌باشد. بیشترین مقدار CBR مربوط به ترکیب دو درصد نانو با پنج درصد سیمان و کمترین مقدار مربوط به ۱/۶ خاک رسی چسبنده می‌باشد.

همان‌طور که در نتایج آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا در شکل (۱۲) مشخص است، بین عدد ظرفیت باربری و درصد رس چسبنده موجود در مخلوط، رابطه‌ای غیرخطی معکوس دیده می‌شود به‌طوری که افزایش درصد رس چسبنده و به دنبال آن افزایش شاخص خمیری، مقاومت خاک در برابر نفوذ سنبه کم‌تر و نفوذ آن به درون خاک راحت‌تر می‌شود. بدین ترتیب، عدد ظرفیت باربری کالیفرنیا به‌دست آمده کوچک‌تر می‌شود. هم‌چنین با افزایش درصد سیمان در خاک و انجام هیدراتاسیون شاهد کاهش شاخص خمیرایی و افزایش مقاومت فشاری نفوذ سنبه هستیم، بنابراین ظرفیت باربری افزایش می‌یابد. با مقایسه نتایج ظرفیت باربری به‌دست آمده با جدول رده‌بندی خاک، مشخص می‌شود دامنه تغییرات کیفیت در طرح اختلاط‌های سیمان و نانورس در رده خوب و برای طرح اختلاط خاک رسی چسبنده در رده نسبتاً خوب قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش درصد طرح اختلاط در همه افزودنی‌های مورد استفاده، شدت واگرایی کم یا خاک کاملاً غیرواگرا می‌شود. ضمناً راندمان اصلاح واگرایی در درصدهای کمتر افزودنی‌ها بیشتر بوده و با زیاد شدن مقدار ماده افزودنی، مقدار واگرایی بایک شدت ثابت اصلاح نمی‌شود. در آزمایش ظرفیت باربری، ترکیب سیمان و نانو رس باعث افزایش بسیار زیاد ظرفیت باربری (تا حدود ۶۴ درصد) و رس چسبنده باعث کاهش ظرفیت باربری می‌گردد. بیشترین سهم افزایش مقاومت در این آزمایش مربوط به دو درصد نانو همراه با پنج درصد سیمان می‌باشد.

سپاسگزاری

در انجام مراحل این تحقیق با توجه به انجام فعالیت‌های تحقیقاتی آزمایشگاهی و میدانی از امکانات آزمایشگاه مکانیک خاک و ژئوتکنیک دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز بهره گرفته شد که بدینوسیله نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه‌های علوم و فنون دریایی خرمشهر و دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر می‌نمایند. همچنین از مهندسین و متصدیان عزیز آزمایشگاه‌های مکانیک خاک وزارت راه و ترابری مشهد و اهواز نیز تشکر می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسنده (نویسندگان) هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: سروش فرخند، تجزیه و تحلیل داده‌ها، نگارش اولیه.

نویسنده دوم: حسین بهرامی، بررسی داده ها و استخراج نتایج، بررسی و تحلیل نتایج و بحث.

نویسنده سوم: جواد احدیان، تدوین برنامه روش کار، تدوین برنامه انجام آزمایش‌های ژئوتکنیکی، اصلاح نگارشی مقاله، بررسی و تحلیل نتایج و بحث.

References

1- Ahadian, J., Jalal, R. E., and Mahmoud, S. B. 2008. Determination of soil compression index, Cc, in Ahvaz region. *Journal of Faculty Engineering, 35 (3-51): 75–80.* (In Persian).

2- Ahadian, J., Salemnia, A., Karimi, M. 2012. Effect of compaction test component on development of stress-strain in the clay soil in comparison with sandy-clay soil, *Journal of Water and Soil Resources Conservation, 1(2), 29.* DOR: 20.1001.1.22517480.1390.1.2.3.3 .(In Persian).

3- Ahadian, J., Behroozi, F. 2014. 'Estimate the Compression index, Swelling and Preloading Coefficient in the Presence of Special Restorative of Clay-Gypsum soils, *Advanced Applied Geology*, 4(1), pp. 10-17. (In Persian).

4- Ahadiyan, J. and Behroozi. F. 2016. Application of ANFIS Adaptive System to Estimate the Potential Consolidation of Clay Soils, *Journal of Modeling in Engineering*, 14(45), pp. 17-31. doi: 10.22075/jme.2017.1760. (In Persian).

5- Ahadiyan, J., Poursaki, R., Seraj, M. 2017. Analytical Investigation of Effect of Vertical Drains to Consolidation Settlement Process in Isotropic Soils, *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1-1), pp. 61-72. doi: 10.22055/jise.2017.12957 (In Persian).

6- Ahadiyan, J., Adeli, A., Bahmanpouri, F., & Gualtieri, C. 2018. Numerical Simulation of Flow and Scour in a Laboratory Junction. *Geosciences*, 8(5), 162. https://doi.org/10.3390/geosciences8050162.

7- Ahadiyan, J., Bahmanpouri, F., Adeli, A. Galtieri, C., Khoshkonesh, A. 2022. Riprap Effect on Hydraulic Fracturing Process of Cohesive and Non-cohesive Protective Levees. *Water Resources Management journal*, 36, 625–639 (2022). https://doi.org/10.1007/s11269-021-03044-6.

8- Askari,F. and Fakher,A.,1993. Inflation and Dispersive of Soils in Geotechnical Engineering. *Isfahan University Technology Branch Press and Publishing* (In Persian).

9- ASTM, Standard test methods for determining dispersive characteristics of clayey soils by the Crumb test, *ASTM Designation: D6572-00*, Last updated: May 27, 2021.

10- ASTM, Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay by the Pinhole Test, *ASTM Designation: D4647*, Last Updated: Feb 26, 2020.

11- Baibordy, M., 1994. Soil physics. *Tehran University Press and Publishing* (In Persian).
12- Bakhtiar, M., Ahadiyan, J. 2018. Estimation of Lateral Forces on Retaining Walls Adjacent to Layered Embankments in Saturated and non-Saturated Conditions, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 50(1), pp. 19-30. doi: 10.22060/ceej.2017.11859.5090. (In Persian).

13- Bakhtiari, M., Kamal Pour, A.E., Ahadiyan, J. 2018. Numerical Modeling of soil dynamic compaction using Finite Difference method, *Advanced Applied Geology*, 8(1), pp. 60-68. doi: 10.22055/aag.2018.23603.1769. (In Persian).

14- Bakhtiari, M., Kamal pour asl, E., Ahadiyan, J. 2020. Investigation of the effect of Hammer radius parameters and number of impact on soil improvement by dynamic density method In line with the construction of offshore structures, *Journal of Marine Science and Technology*, 18(4), pp. 75-90. doi: 10.22113/jmst.2018.100314.2060. (In Persian).

15- Bayer, H., Abden-Nabi, H., 1993, Analysis of dispersive phenomenon of some Jordanian soils, *M. S. thesis.*

16- Behroozi, F., Ahadian, J. 2014. 'Effect of Adding Lime to the Consolidation Properties of Clay–Gypsum Soils', *Irrigation Sciences and Engineering*, 37(2), pp. 61-70. Doi: 20.1001.1.25885952.1393.37.2.6.6.

17- Bolouri-Bazaz, J., Saghafy, H. R., 2003, Properties and behavior of dispersive clayey soil treated by PVA, *International Conference on Geotechnical Engineering, Beirut.*

18- Daryaei, M.; Kashefipour, S.M.; Ahadian, J.; Ghobadian, R. 2010. Modeling the compression index of fine soils using an artificial neural network and comparison with other empirical equations. *Journal of Water and Soil. 2010, 5, 312–333.* https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.3885.

19- Farzi, M., and Ahadian, J. 2014. The Effect of Mixing Method on the Permeability Changes of Cement-Bentonite. *European Online Journal of Natural and Social Sciences,* 3(3), pp. 8-16.

20- Haghdoost, M., Lakzian, E., Norouzi, R., Abraham, J., Sajjadi, S. and Ahadiyan, J., 2023. Numerical simulation using the finite element method to investigate the effect of internal cutoff walls on seepage and hydraulic gradients in homogeneous earth dams. *Modeling Earth Systems and Environment*, *9*(4), pp.3851-3864.https://doi.org/10.1007/s40808-023-01755-w.

21- Haghdoost, M., Sajjadi, S. M., Ahadiyan, J., Norouzi, R., & Abraham, J. 2024. The effect of sheet piles' inclination angle, number, and distance on seepage through an earth-fill dam. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(12), 103056. https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103056.

22- Ingles O. G. & G. D. Aitchison. 1967. Soil- Water Disequilibrium as a Cause of Subsidence in Natural Soils and Earth Embankments. *International Symposium on Land Subsidence, Tokyo, AIHS Publication NO.89, VOL.2.*

23- Karimi, M., Salemnia, A. and Ahadiyan, J., 2010. Evaluation of strength parameters of stress-strain development in clay soil and clay-sand soil. *International Journal of Civil & Structural Engineering*, *1*(3), pp.644-660.

24- Kiyani A, Zeinivand M, Ahadiyan J, Falorca I. 2024. Experimental Investigation of Embankment Wedge Failure's Stability under the Effect of the Number and Spacing of Geotextile Layers in the Reinforced Retaining Wall. *Journal of water and soil science,* 2024; 28 (2) :177-194. Doi: 10.47176/jwss.28.2.51162.

25- Mazarei, H., Ahadiyan, J. 2018. Effect of unsaturated soil texture and compaction in experimental Analysis and River retaining wall failure wedge elasto-plasticity, *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(4), pp. 197-212. doi: 10.22055/jise.2018.13431. (In Persian).

26- Memarian, S., Ahadiyan, J., & Reza Karimi, H. 2023. Assessment of vertical pile reinforcement effect on behavior of foundations placed on Slopes: An experimental and numerical study. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(12), 102233. https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102233.

27- Poursaki, R., Ahadian, J., Seraj, M. 2015. 'A 3-D Mathematical Modeling in Solving Analytical Consolidation Equation in a Homogeneous Saturated Soil', *Journal of Advanced Mathematical Modeling*, 5(1), pp. 59-74. doi: 10.22055/jamm.2015.11487. (In Persian).

28- Rahimi.H, Davarzani.H, and Abbasi.N, 2004. Physical Dispersivity Phenomenon and its Evaluation Criteria in Cohesionless Soils. *Iranian Journal of Agricultural Science. Vol. 35, No. 3.* (In Persian).

29- Rahimi H. and Fakour, K., 1995, Comparison of portland cement and asphalt emulsion for stabilization of Dispersive soils, *Iranian Journal of Agricultural Science*.(26)4. (In Persian)**.**

30- Rahimi, H., 1989, "Problems of Water Structures in Salt and Gypsiferous Soils", *The First Geotechnical Assembly in Dam Construction and Water Resources,* (In Persian)**.**

31- Sadeghi H. E., Ahadiyan, J. 2018. Hydraulically Failure Mechanism of non-Cohesive Homogenous Protective Embankments by Overtopping, *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(1), pp. 115-131. doi: 10.22055/jise.2018.13575. (In Persian).

32- Shah, S. S. and Omar, H., 1998, A case study of stabilization of dispersive soil using lime, *International symposium of Problematic Soils, Balkema.*

33- Sarshar, P., 1992. Investigation of the Divergence of Clay Soils in Hydraulic Structures. *Iran University of Science & Technology* (In Persian).

34- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P. and Decker, R.S., 1976. Identification and nature of dispersive soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, *102*(4), pp.287-301. Doi: 10.1061/AJGEB6.0000256.

35- Sherard, J.L., 1972. Hydraulic fracturing in low dams of dispersive clay. In *Proc. of Specialty Conference on Earth and Earth-Supported Structures, 1972* (pp. 653-689). ASCE.

36- Toktaş, F., 2001. Behavior and stabilization of dispersive soils with C-type fly ash (Master's thesis, Middle East Technical University).

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 37-49

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Comparison of the ability of inverse demand function and artificial neural network to predict crop prices (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Network)

S. M. Hosseini[1] and Hamed Mazandarani Zadeh[2*]

1- PhD sudent in Water Resources Engineering, Dept. of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- Corresponding Author, Associated professor, Dept. of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. (mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir).*

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 29 December 2023
Revised: 02 August 2024
Accepted: 05 August 2024

Keywords:
Artificial Neural Network, Equilibrium, Guaranteed purchase, Inverse demand function, Supply.

TO CITE THIS ARTICLE:

Hhosseini, S. M., Mazandarani Zadeh, H. (2025). 'Comparison of the ability of inverse demand function and artificial neural network to predict crop prices (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Network)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 35-47. doi: 10.22055/jise.2024.45614.2109

Interduction

The occurrence of climate change and its impact on water resources such as reduction of surface water flows has led to vulnerability and instability of farmers' livelihoods. Currently, Qazvin plain is one of the regions of Iran that is facing water crisis and severe water shortage. The reduction of water allocated from Taleghan Dam to Qazvin plain has led farmers to take unauthorized harvesting of water from wells in order to provide their livelihoods (Hosseini and Mazandarani Zadeh, 2022). Despite farmers draining groundwater aquifers, most of their livelihoods still face problems due to crop price fluctuations. Therefore, in this study, with the aim of providing livelihood to farmers and preserving groundwater resources, the price of agricultural products has been predicted using inverse demand function, Artificial Neural Network (ANN) and nonlinear regression methods. The inverse demand function and ANN methods were used to predict the price of products without guaranteed purchase price and ANN and nonlinear regression were used to predict the price of products with guaranteed purchase price including wheat, barley, sugar beet and rapeseed.

Materials and Methods

Study area

The irrigation network of Qazvin plain is located 150 kilometers from Tehran. The purpose of this network is to transfer Taleghan water through the dam to the Qazvin plain and cover about 58,000 hectares of land in Qazvin (Hashemi et al., 2020).

Invers demand function

The inverse demand function is a function in which price is expressed as a function of supply quantity and is used to predict the price reaction of products to the amount entering the market. In other words, using the inverse demand function, price changes can be predicted based on the amount entering the market, and it can be used as a policy tool to regulate prices (Salami and Rezaei, 2011).

Artificial Neural Network

Artificial Neural Network are a model for information processing made by mimicking the biological network of the human brain (Raei et al., 2020).

Results

A- Products with guaranteed purchase

The comparison of the ability of the ANN and the exponential function in predicting the guaranteed purchase price indicates the higher ability of the ANN in predicting the price.

B- Products without guaranteed purchase

Price elasticity of demand for fodder corn, tomatoes, alfalfa, chickpeas, pinto beans, potatoes, maize, and lentils was estimated -0.508, -1.111, -0.954, -0.914, -0.374, -0.529, -0.363 and -0.332 and -0.332 respectively. Investigation of inverse demand function ability and ANN indicates greater ability of ANN in price forecasting. In order to ensure that the predicted prices for products that do not have a guaranteed purchase depend on the amount of production, the sensitivity analysis of the inverse demand system and the artificial neural network with the input elimination method was done. Despite the high ability of ANN in price prediction, the prices predicted by this method have little dependence on the amount of production and the main reason for better price forecasting with ANN is good learning of past prices. According to the main purpose of this study, which is to find the relationship between the amount of production and price, using the inverse demand function method is better than ANN.

Discussion

The results show the high ability of ANN to predict the price of products with guaranteed purchase and products without guaranteed purchase. Also, the price predicted by ANN has a small dependence on the amount of production as the most important factor affecting the price compared to the inverse demand function method. Therefore, in economic studies, the predicted prices for agricultural products without guaranteed purchases cannot be relied against by ANN method.

Acknowledgments

The Jihad Agricultural Organization of Qazvin Province, which has cooperated in this research, is thanked and appreciated.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contribution

First Author: Seyed Marzieh Hosseini, Writing the article (40%)

Second Author: Mazandarani Zadeh, Reviewing the results and approving the content (60%).

Reference

1- Hashemi, M., Mazandarani Zadeh, H., Daneshkare Arasteh, P. and Zarghami, M., 2020. Evaluation of management policies to simultaneously maintain groundwater resources and farmers' livelihoods Using the System dynamics and Game Theory. *Iran-Water Resources Research*, *16*(3), pp.1-17. DOR: 20.1001.1.17352347.1399.16.3.1.9. (In Persian).

2- Hosseini, S. M., Mazandarani Zadeh, H., 2022. Optimal Water Allocation among Agricultural Consumers Using Crop Pattern Change Approach to Improve Farmers' Livelihood. Irrigation Sciences and Engineering, 45(3), pp. 47-61. doi: 10.22055/jise.2021.32941.1915. DOI: 10.22055/JISE.2021.32941.1915. (In Persian).

3- Raei, B., Ahmadi, A., Neyshaburi, M.R., Ghorbani, M.A. and Asadzadeh, F., 2020. Evaluating efficiency of some artificial intelligence techniques for modeling soil wind Erodibility in part of eastern land of Urmia Lake. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(1), pp.61-76. DOI: 10.22059/IJSWR.2019.283359.668233. (In Persian).

4- Salami, H. and Rezaei, S., 2011. Forecasting meat prices: An inverse demand approach. Journal of Agricultural Economics and Development, 24(3), pp.298-303. DOI: 10.22067/JEAD2.V1389I3.7727. (In Persian).

© 2025 Shahid Chamran Universiry 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۴۹-۳۷

بررسی تابع تقاضا معکوس و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی قیمت محصولات زراعی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین)

سیده مرضیه حسینی[۱] و حامد مازندرانی زاده[۲*]

۱- دانشجو دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۸ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵

چکیده

کشاورزان به‌عنوان یک فعال اقتصادی، به‌منظور حفظ معیشت خود سعی در افزایش بهره‌وری و کاشت محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر دارند و اگر در این امر موفق نشوند اقدام به تولید محصول بیشتر و مصرف بیشتر منابع آب خواهند نمود. با توجه به فاصله زمانی میان تصمیم تولیدکنندگان به تولید محصول و عرضه آن به بازار، قیمت محصولات کشاورزی ثابت نمانده و بر اساس مقدار عرضه به بازار دستخوش تغییر می‌شود. در این پژوهش به پیش‌بینی قیمت محصولات زراعی در شبکه آبیاری دشت قزوین پرداخته‌شده است. برای پیش‌بینی قیمت محصولاتی که قیمت آن‌ها تابعی از مقدار عرضه است از دو روش سیستم تقاضا معکوس و ANN و برای پیش‌بینی قیمت محصولاتی که از خرید تضمینی برخوردار هستند از روش‌های رگرسیون غیرخطی و ANN استفاده شده است. برای پیش‌بینی قیمت با تابع تقاضا معکوس ابتدا تابع تقاضای هر محصول با استفاده از مقدار تولید، قیمت فروش، قیمت سایر کالاها، نرخ ارز، تورم و میزان صادرات و واردات برآورد شد. مقایسه MAE و MSE تابع تقاضا معکوس و ANN نشان داد هرچند که ANN از MAE و MSE بهتری نسبت به تابع تقاضا معکوس برخوردار است اما نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که MAE ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی، ذرت دانه‌ای و عدس با حذف مقدار تولید در تابع تقاضا معکوس به ترتیب ۱۰۸۹۹، ۲۳۱۸، ۲۱۲۹، ۲۲۲۵، ۶۸۲۱، ۹۹۱۳، ۵۴۷ و ۱۶۶۶۹ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به اهمیت مقدار عرضه در قیمت محصول، استفاده از ANN، علیرغم برتری در شاخص‌ها برای پیش‌بینی قیمت قابل توصیه نیست.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، تعادل، خرید تضمینی، مدیریت منابع آب، عرضه.

مقدمه

رشد جمعیت در سراسر جهان، افزایش تقاضا برای مواد غذایی و نگرانی‌ها در خصوص امنیت غذایی، تغییرات آب و هوا و افزایش ارزش آب در بخش کشاورزی و بخش‌های دیگر، چالش‌هایی را در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته به‌وجود آورده است. این مشکلات، رشد اقتصادی پایدار و رفاه کشاورزان به‌عنوان کسانی‌که بیشترین آسیب را از محدودیت آب می‌بینند به خطر انداخته است (Bashiri et al., 2021). داشتن برنامه الگوی کشت مناسب با شرایط اقلیمی منجر به پایداری تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی می‌شود و با استفاده از پتانسیل هر منطقه علاوه بر افزایش بهره‌وری، منابع طبیعی نیز ماندگار می‌شود (Aminravan et al., 2021).

بروز تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب نظیر کاهش جریان‌های آب سطحی منجر به آسیب‌پذیری و ناپایداری معیشت کشاورزان شده است. کشاورزان برای تأمین معیشت خود ناگزیر به برداشت منابع آب زیرزمینی هستند. به‌گونه‌ای که برداشت بیش از حد از منابع، منجر به افت شدید سطح سفره‌های آب زیرزمینی و به‌وجود آمدن بیلان منفی در بسیاری از نقاط جهان شده است. با توجه به سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی و محدودیت این منبع حیاتی و وجود خشکسالی‌های متناوب در کشور، صرفه‌جویی در مصرف و استفاده بهینه از آب موجود امری ضروری است و در این زمینه انتخاب روش‌های مناسب برای بیشینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف کمتر هر چه آب ضروری است (Asadi and Najafi Alamdarlo, 2019).

یکی از راهکارهای موجود برای حفظ توأمان معیشت کشاورزان و منابع آب زیرزمینی، اصلاح الگوی کشت و الگوی توزیع آب بر اساس پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی است. تاکنون مطالعه‌های زیادی در خصوص پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی انجام‌شده است که در ادامه به مرتبط‌ترین آن‌ها با هدف پژوهش اشاره می‌شود.

Hoseini et al. (2021) در پژوهشی قیمت محصولات دارای خرید تضمینی را با شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network) و قیمت محصولات وابسته به مقدار عرضه را با تابع تقاضای معکوس (Invers demand) پیش‌بینی کردند و سپس به بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت در شبکه آبیاری دشت قزوین با استفاده از الگوریتم ژنتیک

(Genetic algorithm) پرداختند. نتایج نشان داد با بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت درآمد ۱۶۰ درصد نسبت به وضعیت فعلی افزایش می‌یابد و بر اساس خروجی‌های مدل بهترین محصول برای کشت در شبکه آبیاری دشت قزوین گندم است.

پیش‌بینی قیمت یونجه، سیب‌زمینی و گندم در استان کردستان با استفاده از میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه (AutoRegressive Integrated Moving Average)، میانگین متحرک (Moving Average) و خود رگرسیو (Auto Regressive) نشان داد الگوی ARIMA بر اساس جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) و درصد میانگین مطلق خطا (Mean Absolute Percentage Error) میزان خطای کم‌تری و درنتیجه قدرت بالاتری در پیش‌بینی قیمت محصولات منتخب دارد (Ghaderzadeh et al., 2019).

استفاده از الگوی سری زمانی و ANN برای پیش‌بینی قیمت جو و برنج نشان داد ANN از توانایی بیشتری در پیش‌بینی قیمت محصولات مورد مطالعه نسبت به الگوی سری زمانی برخوردار است (Moghadesi and Khaligh, 2013).

پیش‌بینی قیمت عمده‌فروشی برخی محصولات زراعی شامل گوجه‌فرنگی، پیاز و سیب‌زمینی در استان فارس، برای افق زمانی یک، سه و شش ماه آینده با استفاده از روش‌های معمول پیش‌بینی و ANN و بر اساس معیار میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error)، میانگین مربعات خطا (Mean Squared Error) و MAPE نشان داد که ANN دارای خطای پایین‌تری برای پیش‌بینی قیمت محصولات مختلف در افق زمانی یک و سه ماهه است و به‌طور معناداری دقیق‌تر از سایر روش‌ها است؛ اما مقایسه قیمت‌های پیش‌بینی‌شده شش ماه آینده نشان داد که تفاوت معناداری بین روش‌های معمول و ANN وجود ندارد (Najafi et al., 2007).

پیش‌بینی قیمت ماش در هند با استفاده از مدل میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه فصلی (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average) نشان داد مدل ARIMA(1,1,1) (1,0,1) بهترین روش برای پیش‌بینی قیمت است (Kumar, 2019).

پیش‌بینی قیمت ماهانه ذرت با استفاده از ARIMA در گایرو در منطقه موروگوورو، مانیونی در منطقه سینیدا و کیبایگوا در منطقه دودوما نشان داد ARIMA(1,1,4)، ARIMA(2,1,3) و ARIMA(3,2,1) به‌ترتیب مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی ذرت در گایرو، مانیونی و گیبایگوا هستند (Saxena and Mhohelo, 2020).

پیش‌بینی قیمت سیب‌زمینی با روش رگرسیون خطی در ایالت شمالی هند با استفاده از سری‌های زمانی قیمت سیب‌زمینی، سطح زیر کشت، بهره‌وری، مقدار تولید، تعداد سردخانه، مصرف انرژی و جمعیت نشان داد مدل پیشنهادی می‌تواند پیش‌بینی قابل اعتمادی از قیمت سیب‌زمینی ارائه دهد (Mishra et al., 2019).

Kibona و Mbago (2018) به تخمین قیمت ذرت در تانزانیا با استفاده از مدل ARIMA پرداختند. نتایج نشان داد بر اساس معیار AIC (Akaike's Information Criterion) مدل ARIMA(3,1,1) مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی قیمت است.

در حال حاضر دشت قزوین از جمله مناطقی از کشور است که با بحران آب و کمبود شدید آب مواجه است. بررسی الگوی زراعی شبکه آبیاری دشت قزوین نشان از این واقعیت دارد که در ده سال اخیر علی‌رغم کاهش منابع آب سطحی، الگوی کشت و سطح زیرکشت محصولات تغییر نکرده است (Hosseini and Mazandarani Zadeh, 2022). کاهش آب تخصیص یافته از سد طالقان به دشت قزوین سبب شده است که کشاورزان به‌منظور تأمین معیشت خود اقدام به برداشت غیرمجاز آب از چاه‌ها نمایند. وجود بیش از ۲۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز در استان با حجم برداشت ۳۵۰ میلیون مترمکعب، افت مستمر سطح آب زیرزمینی را در پی داشته است (Asaadi et al., 2019). علی‌رغم تخلیه سفره آب‌های زیرزمینی توسط کشاورزان، همچنان معیشت اغلب آن‌ها به‌دلیل نوسانات قیمت محصولات با اشکال مواجه است. بررسی مطالعه‌های انجام شده نشان می‌دهد تاکنون پژوهش‌های زیادی در راستای پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی انجام شده است ولی تاکنون مطالعه‌ای به بررسی میزان وابستگی روش‌های پیش‌بینی قیمت به مقدار عرضه شده نپرداخته است و صرفاً به مقایسه توانایی روش‌های مختلف در پیش‌بینی قیمت پرداختند. ازاین‌رو در این پژوهش با هدف تأمین معیشت کشاورزان و حفظ منابع آب زیرزمینی اقدام به پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی با روش تابع تقاضا معکوس، ANN و رگرسیون غیرخطی شده است. به‌گونه‌ای که از روش تابع تقاضا معکوس و ANN برای پیش‌بینی قیمت محصولات فاقد قیمت خرید تضمینی و از ANN و رگرسیون غیرخطی برای پیش‌بینی قیمت محصولات دارای خرید تضمینی شامل گندم، جو، چغندرقند و کلزا استفاده‌شده است. از آنجا که هدف اصلی از این پژوهش بدست آوردن رابطه میان مقدار عرضه محصول و قیمت آن است پس از بررسی توانایی روش‌های پیش‌بینی قیمت به آنالیز حساسیت روش‌های پیش‌بینی قیمت نسبت به مقدار عرضه در محصولاتی که قیمت آن وابسته به مقدار عرضه است پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری دشت قزوین در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شهر تهران واقع‌شده است (شکل ۱). هدف از این شبکه، انتقال آب از سد انحرافی زیاران به دشت قزوین است و حدود ۵۸ هزار هکتار از اراضی منطقه تحت پوشش این شبکه قرار دارد. دشت قزوین یکی

DOI: 10.22055/JISE.2024.45614.2109

از دشت‌های مستعد کشور برای تولید محصولات کشاورزی است که همانند بسیاری از دشت‌های کشور دارای بیلان منفی آب زیرزمینی است. این منطقه از رتبه مناسبی در تولید محصولات کشاورزی و باغی در کشور برخوردار است. بیش از ۹۳ درصد از مصارف آب این دشت مربوط به بخش کشاورزی است که با توجه به محدودیت منابع آب سطحی، عمده آب آبیاری از منابع آب زیرزمینی استحصال می‌شود که به طور میانگین باعث افت سالانه ۱/۳ متر سطح ایستابی شده است (Hashemi et al., 2020).

رویکرد مطالعه

ماهیت فعالیت کشاورزی متأثر از دو ریسک اساسی شامل ریسک مقدار تولید و ریسک قیمت فروش است. ریسک در قیمت فروش متأثر از فاصله زمانی میان تصمیم کشاورزان به انتخاب محصول جهت کاشت تا عرضه آن به بازار هست که سبب عدم اطمینان خاطر کشاورزان نسبت به درآمدشان می‌شود. به این منظور کشاورزان با افزایش تولید و بالتبع آن تخلیه منابع آب زیرزمینی سعی در حفظ معیشت خود می‌نمایند. از این رو در این پژوهش به ارزیابی روش‌های پیش‌بینی قیمت شامل تابع تقاضا معکوس و ANN پرداخته‌شده است.

روش‌های پیش‌بینی قیمت

الف- تابع تقاضا معکوس

تابع تقاضای معکوس تابعی است که در آن قیمت به‌صورت تابعی از مقدار عرضه بیان می‌شود و برای پیش‌بینی عکس‌العمل و واکنش قیمت محصولات نسبت به مقدار ورودی به بازار به کار می‌رود (Hasan poor, 2001؛ Steen, 2006؛ Dhoubhadel and Stockton, 2010). به‌عبارت‌دیگر با استفاده از تابع تقاضا معکوس می‌توان تغییرات قیمت را بر اساس مقادیر ورودی به بازار، پیش‌بینی و از آن به‌عنوان یک ابزار سیاست‌گذاری برای تنظیم و تعدیل قیمت‌ها استفاده نمود (Salami and Rezaei, 2011).

برای پیش‌بینی قیمت با روش تابع تقاضا معکوس نیاز به برآورد کشش قیمتی تقاضا است. کشش قیمتی تقاضا (ε) برابر با درصد تغییر در مقدار تقاضا ($\frac{dD}{D}$) نسبت به درصد تغییر در قیمت کالا ($\frac{dP}{P}$) هست که به‌صورت رابطه (۱) نمایش داده می‌شود.

$$\varepsilon = \frac{\frac{dD}{D}}{\frac{dP}{P}} \qquad (۱)$$

کشش قیمتی تقاضا با برآورد تابع تقاضا به‌دست می‌آید. توابع تقاضای تک معادله‌ای را می‌توان در حالت‌های مختلف خطی، نمایی و لگاریتمی به کاربرد (Sa'adat Mehr, 2017). در این تحقیق از تابع تقاضا تک معادله‌ای در حالت لگاریتمی استفاده‌شده است. با توجه به لگاریتمی بودن مدل تابع تقاضا، مشتق جزئی مقدار نسبت به قیمت، کشش قیمتی تقاضا را می‌دهد. اگر بین متغیرهای Q، P، X، Y و... رابطه لگاریتمی مانند زیر برقرار باشد:

$$LnD = a + bLnP + cLnX + dLnY + \cdots \qquad (۲)$$

با توجه به این روابط اگر $Ln(a) = K$ باشد می‌توان رابطه لگاریتمی را به شکل رابطه زیر نوشت:

$$D = KP^{b}X^{c}Y^{d} \qquad (۳)$$

از رابطه بالا نسبت به P مشتق گرفته شود:

$$\frac{dD}{dP} = KbP^{b-1}X^{c}Y^{d} \qquad (۴)$$

$$\frac{dD}{dP} = bP^{b-1}(KX^{c}Y^{d}) \qquad (۵)$$

$$\frac{\frac{dD}{D}}{\frac{dP}{P}} = b \qquad (۶)$$

بر اساس تعریف کشش قیمتی (رابطه ۱) و رابطه (۶) می‌توان نتیجه گرفت:

$$\varepsilon = b \qquad (۷)$$

در معادله‌های بالا P: متوسط قیمت سالانه سر جالیز محصول، D: مقدار تولید، a، b، c و d ضرایب ثابت و X,Y متغیرهای دلخواهی نظیر متوسط درآمد سالانه خانوار شهری، هزینه تولید، شاخص تورم، قیمت ارز و ... هستند که البته ضریب همبستگی مناسبی با متغیرهای P و D داشته و باعث دقت رابطه (۲) شوند.

با محاسبه کشش قیمتی تقاضا و قرار دادن قیمت سال گذشته (P_1) و مقدار تولید سال گذشته (D_1)، نسبت تغییرات تولید به تغییرات قیمت $\frac{dD}{dP}$ به‌دست می‌آید. برای به‌دست آوردن تابع تقاضا معکوس نیاز به $\frac{dP}{dD}$ هست که با معکوس کردن مقدار $\frac{dD}{dP}$ به‌دست می‌آید.

$$\frac{dD}{dP} = b \times \frac{D_1}{P_1} \qquad (۸)$$

$$P_2 = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \times \frac{P_1}{b} + P_1 \quad (۹)$$

ب- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی الگویی برای پردازش اطلاعات هستند که با تقلید از شبکه بیولوژیکی مغز انسان ساخته‌شده‌اند. توانایی این شبکه‌ها در کشف روابط غیرخطی میان داده‌های ورودی و همچنین استخراج مدل دینامیک غیرخطی حاکم بر داده‌ها قابل‌ملاحظه هستند و در مقایسه با مدل‌های مرسوم به ورودی‌های کمتر و تلاش محاسباتی کمتری نیاز دارند. در این روش نیازی به اطلاعات قبلی یا فرضیات وجود ندارد و این شبکه‌ها قادر به یادگیری از طریق داده‌های آزمایشگاهی (حتی در صورت وجود نقض و یا بی‌نظمی) هستند. شبکه‌های عصبی انعطاف‌پذیر و سازگار هستند و بنابراین می‌توانند در مدل‌سازی مسائل محیطی مفید واقع گردند. در یک شبکه عصبی مصنوعی، نرون‌ها به‌عنوان کوچک‌ترین واحد پردازشگر داده‌ها، اساس عملکرد شبکه عصبی را تشکیل می‌دهند. یک شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از نرون‌ها است که با قرار گرفتن در لایه‌های مختلف، معماری خاصی را بر مبنای ارتباطات بین نرون‌ها در لایه‌های مختلف تشکیل می‌دهند. یک نرون با استفاده از یک تابع واکنش، مقدار خروجی خاصی را به ازای ورودی‌های مختلف تولید می‌کند. اجرای شبکه عصبی مصنوعی شامل سه بخش است. اولین بخش تعیین تعداد لایه‌های ورودی و خروجی است که تعداد این عوامل ورودی و خروجی با توجه به شرایط حاکم بر مسئله، بانک اطلاعاتی موجود و عوامل مؤثر تعیین می‌شوند. دومین بخش آن تعیین تعداد لایه‌های پنهان است، لایه پنهان نقش عمده‌ای در قدرت شبکه دارد و سومین بخش شبکه عصبی آموزشی و آزمایش شبکه است. منظور از آموزش در شبکه عصبی مصنوعی تنظیم وزن پارامترهای ورودی شبکه است. ارتباط بین هرکدام از نرون‌ها از طریق مقدار وزن است. در فرآیند آموزش ورودی‌های مربوط به بخشی از بانک اطلاعاتی به شبکه ارائه می‌شود، مقادیر خروجی محاسبه‌شده و با مقادیر هدف مقایسه شده و با توجه به مقدار خطا وزن‌ها اصلاح می‌شوند. پس از پایان این مرحله مقادیر وزن‌ها ذخیره‌شده و شبکه برای بخش دیگری از داده‌ها که در مرحله آموزش استفاده نشده‌اند آزمایش می‌شوند (Raei et al., 2020).

معیارهای ارزیابی قدرت پیش‌بینی

به‌منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی و انتخاب بهترین روش پیش‌بینی، از معیارهای MAE (Mean Absolute Error) و MSE (Mean Squared Error) استفاده‌شده است.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|e_i|}{n} \quad (۱۰)$$

$$MSE = \sum_{i=1}^{n}\frac{e_i^2}{n} \quad (۱۱)$$

که در آن e_i تفاضل مقدار مشاهده‌شده و خروجی مدل است.

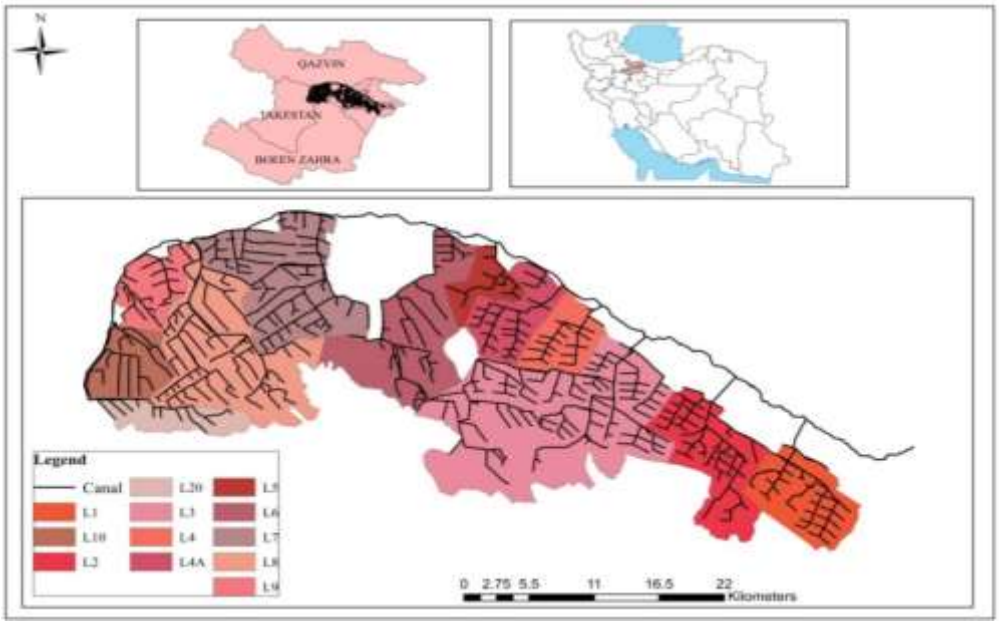


Fig. 1- Area of study

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

DOI: 10.22055/JISE.2024.45614.2109

آنالیز حساسیت

تعدد و تنوع متغیرهای ورودی در مدل‌های کامپیوتری سبب پیچیدگی آن‌ها می‌شود. لذا مسئله ساده‌سازی مدل حائز اهمیت است. این موضوع با شناسایی متغیرهای با اهمیت و کنار گذاشتن متغیرهای بی‌اهمیت و در قالب تحلیل حساسیت بررسی می‌شود. اندازه‌های حساسیت، میزان اهمیت هر یک از متغیرهای ورودی را مشخص می‌کنند. برای بررسی نقش هریک از پارامترهای ورودی به ANN در پیش‌بینی قیمت فروش سر جالیز محصولات از روش حذف پارامترهای ورودی استفاده‌شده است. ملاک تأثیر آنالیز حساسیت، میزان تغییرات ایجادشده در مقدار MAE و MSE نتایج بوده که درنهایت منجر به ارزیابی متغیرها می‌شود. بر این اساس هر پارامتری که حذف آن منجر به افزایش بیشترین مقدار MAE و MSE شود، حساس‌ترین پارامتر است.

داده‌ها و اطلاعات

اطلاعات استفاده شده در این پژوهش شامل سطح زیرکشت، هزینه تولید، نرخ ارز، صادرات، واردات، درصد تورم، ارزش واردات، قیمت برنج، قیمت جهانی ذرت، قیمت گوشت، قیمت شیر، جمعیت است و بر مبنای اطلاعات سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ از مرکز آمار ایران، وزارت جهاد کشاورزی و بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران دریافت شده است.

نتایج و بحث

الف- محصولات دارای خرید تضمینی

در پیش‌بینی قیمت خرید تضمینی گندم، جو و چغندرقند از رگرسیون غیرخطی نمایی، توانی، لگاریتمی و ANN استفاده شده است. ورودی ANN سری زمانی ۳۰ ساله تولید، تورم و قیمت فروش سال گذشته و دو سال گذشته و خروجی قیمت فروش سال جاری انتخاب شد. از ۸۵ درصد داده‌ها برای آموزش ANN و ۱۵ درصد آن برای تست بهره گرفته شد. ANN با استفاده از حداقل یک نرون و حداکثر پانزده نرون و الگوریتم‌های آموزشی مختلف آموزش داده شد و از بهترین آن‌ها برای پیش‌بینی قیمت استفاده شد. در جدول (۱) به مقایسه MAE و MSE روش‌های پیش‌بینی قیمت پرداخته‌شده است. بر اساس این جدول توانایی تابع‌نمایی بیشتر از توابع توانی و لگاریتمی در پیش‌بینی قیمت است. همچنین مقایسه توانایی ANN و تابع‌نمایی در پیش‌بینی قیمت بیانگر بالاتر بودن توانایی ANN در پیش‌بینی قیمت است.

ب- محصولات فاقد خرید تضمینی

برای پیش‌بینی قیمت ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیاچیتی، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس از دو روش ANN و تابع تقاضا معکوس استفاده‌شده است. ورودی ANN سری زمانی ۳۰ ساله تولید، تورم و قیمت سر جالیز سال گذشته و دو سال گذشته انتخاب شد. ANN با استفاده از حداقل یک نرون و حداکثر سی نرون و الگوریتم‌های آموزشی مختلف آموزش داده شد و از ۸۵ درصد داده‌ها برای آموزش ANN و ۱۵ درصد آن برای تست بهره گرفته شد سپس از بهترین آن‌ها برای پیش‌بینی قیمت استفاده شد.

تابع تقاضا محصولات ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیاچیتی، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس با استفاده از روش تابع تقاضا تک معادله‌ای در حالت لگاریتمی با نرم‌افزار EViews مطابق جدول (۲) برآورد شد. در روابط ارائه‌شده در جدول (۲)، A سطح زیرکشت، Cp هزینه تولید، Do نرخ ارز، Ex صادرات، Im واردات، Ip درصد تورم،IV ارزش واردات، Pr قیمت برنج، Pw قیمت جهانی ذرت، Pm قیمت گوشت، Pmi قیمت شیر،Po جمعیت است.

جدول ۱- مقایسه توانایی رگرسیون غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی خرید تضمینی در مرحله واسنجی (ریال)

Table 1- Comparison of the ability of nonlinear regression and artificial neural network in predicting guaranteed purchase in the calibration stage (Rials)

Crop name	MAE				MSE			
	Exponential	Logarithmic	Power	ANN	Exponential	Logarithmic	Power	ANN
wheat	1459.5	6400.2	6662.1	302.5	2694517.7	40966932.9	44383497.3	93858.5
barley	1845.7	5359.9	5624.8	300	3666223.8	29121741.8	31639335.9	130832.5
Sugar beet	686.4	1633.2	1712.4	128.6	478109.7	2672417.2	2935712.1	22742.4
canola	7599.7	12899.3	12899.3	934	577811164.2	164987121.9	169804819.3	954152

جدول ۲- تابع تقاضا ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیاچیتی، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس

Table 2- The demand function of fodder corn, tomatoes, alfalfa, chickpeas, beans, potatoes, maize, and lentils

Crop Name	Demand function	R^2
Fodder corn	$LnD = -0.501LnP + 0.345LnPm + 1.255LnPo + 0.302LnPmi$	0.972
Tomato	$LnD = -1.111LnP + 1.724LnCp - 0.874LnIp$	0.745
Alfalfa	$LnD = -0.954LnP + 17.323LnPo + 0.322LnCp + 0.166LnIp - 221.468$	0.999
chickpeas	$LnD = -0.915LnP + 2.524LnCp - 1.290LnIp - 1.787LnPm$	0.606
beans	$Ln = -0.374LnP - 0.043LnIm - 0.501LnEX + 0.228LnIp + 0.549LnDo + 1.005LnPo$	0.975
Potato	$LnD = -0.529LnP + 1.162LnCp + 1.094LnPo - 0.903LnIp - 2.089LnPr + 0.838LnDo$	0.791
Maize	$LnD = -0.428LnP + 0.303LnPw + 0.297LnIp + 1.546LnPo$	0.632
Lentils	$LnD = -0.332LnP - 0.418LnA - 0.026LnIv + 22.236$	0.627

جدول ۳- مقایسه توانایی تابع تقاضا معکوس و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی قیمت ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیاچیتی، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس در مرحله واسنجی (ریال)

Table 3- Comparison of the ability of the inverse demand function and the artificial neural network in predicting the price of fodder corn, tomatoes, alfalfa, chickpeas, beans, potatoes, maize, and lentils in the calibration stage (Rials)

Crop name	ANN		Inverse demand function	
	MAE	MSE	MAE	MSE
Fodder corn	186.9	43221.2	213.8	74575.1
Tomatoes	385.6	274709	875.5	1056815
Alfalfa	599.7	717125	2365.6	5732421
Chickpeas	4111.2	69849511	7858.7	20542591
Beans	11694.7	136767529	18971.5	262114361
Potatoes	1225.2	1506432	782.7	817923
Maize	561.7	336156.6	8257.2	48469803
Lentils	2662.8	7107378	9229.8	119200903

کشش قیمتی تقاضا ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیاچیتی، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس به ترتیب ۰/۵۰۸-، ۱/۱۱-، ۰/۹۵۴-، ۰/۹۱۴-، ۰/۳۷۴-، ۰/۵۲۹-، ۰/۴۲۸- و ۰/۳۳۲- برآورد شد. همان‌گونه که انتظار می‌رود قیمت اثر منفی بر مقدار تقاضا دارد. کشش قیمتی تقاضا گوجه‌فرنگی دلالت بر این دارد که ۱۰ درصد رشد در قیمت گوجه‌فرنگی باعث افت ۱۱/۱ درصد در مقدار تقاضا گوجه‌فرنگی خواهد شد. در حالی‌که کشش قیمتی تقاضا ذرت‌علوفه‌ای، یونجه، نخود، لوبیاچیتی، سیب‌زمینی، ذرت-دانه‌ای و عدس دلالت بر این دارد که با ۱۰ درصد رشد در قیمت، مقدار تقاضا به‌ترتیب ۵/۰۸، ۹/۵۴، ۹/۱۴، ۳/۷۴، ۵/۲۹، ۴/۲۸ و ۳/۳۲ درصد کاهش می‌یابد. کشش قیمتی برآورد شده بیان‌گر با کشش بودن تقاضا گوجه‌فرنگی و بی‌کشش بودن تقاضا ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیاچیتی، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس است.

در جدول (۳) به‌منظور بررسی توانایی تابع تقاضا معکوس و ANN در پیش‌بینی قیمت از دو شاخص ارزیابی MAE و MSE استفاده‌شده است که نتایج بیانگر توانایی بیشتر ANN در پیش‌بینی قیمت است.

ازآنجاکه قیمت محصولات کشاورزی بر اساس مقدار موجود در بازار تعیین می‌شود در این پژوهش سعی شده است رابطه میان مقدار تولید و قیمت فروش سر جالیز محصولات به‌دست آید تا بر اساس آن بتوان به تأمین معیشت کشاورزان و حفظ منابع آب زیرزمینی با اصلاح الگوی کشت و الگوی توزیع آب پرداخت. مقایسه توانایی سیستم تقاضا معکوس و ANN بیانگر بالاتر بودن توانایی ANN در پیش‌بینی قیمت است. به‌منظور اطمینان از اینکه قیمت پیش‌بینی‌شده برای محصولاتی که خرید تضمینی ندارند وابسته به مقدار تولید است به آنالیز حساسیت مقدار تولید در سیستم تقاضا معکوس و پارامترهای ورودی به ANN به روش حذف ورودی به ترتیب مطابق جدول‌های (۴)، (۵) و (۶) پرداخته‌شده است.

DOI: 10.22055/JISE.2024.45614.2109

جدول ٤- آنالیز حساسیت مقدار تولید در تابع تقاضا معکوس (ریال)

Table 4- Sensitivity analysis of the production amount in the inverse demand function (Rials)

Crop name	MAE	MSE
	Remove production quantity	Remove production quantity
Fodder corn	2541.9	7404207.7
Tomatoes	2905	8717910.3
Alfalfa	7401.7	54861096
Chickpeas	25347.1	652629479.4
Beans	148377.7	22183176220.7
Potatoes	8541.6	72975038.2
Maize	12774.5	192100728.8
Lentils	163083.5	13142836211.4

جدول ٥- آنالیز حساسیت ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی (ریال)

Table 5- Sensitivity analysis of artificial neural network inputs (Rials)

Crop name	MAE			
	Remove production quantity	Removal of the sale price of Sir Jaliz for the past two years	Removal of the sale price of Sir Jaliz last year	Remove inflation
Fodder corn	412.7	1069.9	1829.8	187.2
Tomatoes	918.6	1746.9	765.6	525.6
Alfalfa	676.3	2373.4	5668.3	1336.3
Chickpeas	1.5	20054	10720.5	8151.5
Beans	19753.5	23989.5	28066.5	1812.5
Potatoes	491.3	1255.9	2148.9	500.2
Maize	5196.2	4940.2	4771	5341.2
Lentils	368	36220.5	4539.5	2038.5

جدول ٦- آنالیز حساسیت ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی (ریال)

Table 6- Sensitivity analysis of artificial neural network inputs (Rials)

Crop name	MSE			
	Remove production quantity	Removal of the sale price of Sir Jaliz for the past two years	Removal of the sale price of Sir Jaliz last year	Remove inflation
Fodder corn	185303	1170024	3360872	43434.4
Tomatoes	1140088.45	4951094.85	1159342.93	278362.17
Alfalfa	498502.8	5652911.6	32162676.1	2030935.7
Chickpeas	2.5	472471141	138719126.5	72085202.5
Beans	414156892.5	629247002.5	843551734.5	3489912.5
Potatoes	300133.5	1946584.1	8935016.9	270081
Maize	48493861.6	24448076	23063873.3	53170668.5
Lentils	270848	1318944471	35218566.5	4353062.5

بررسی MAE و MSE حذف مقدار تولید در جدول‌های (۴)، (۵) و (۶) نشان می‌دهد علی‌رغم توانایی بالای ANN در پیش‌بینی قیمت جدول (۲)، قیمت‌های پیش‌بینی‌شده با این روش وابستگی کمی به مقدار تولید دارد و دلیل اصلی پیش‌بینی بهتر قیمت با ANN یادگیری خوب قیمت‌های گذشته است. با توجه به هدف اصلی این پژوهش که یافتن رابطه میان مقدار تولید و قیمت است، استفاده از روش تابع تقاضا معکوس بهتر از ANN است. به‌عبارت‌دیگر نتایج این تحقیق نشان می‌دهد هرچند که ANN از MAE و MSE بهتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است، لیکن ازآنجاکه مدلی جعبه سیاه است و به فیزیک و ماهیت عناصر ورودی و خروجی بی‌ارتباط است لذا قیمت پیش‌بینی‌شده کمترین وابستگی را به میزان تولید به‌عنوان مهم‌ترین عامل اثرگذار بر قیمت داشته است.

نتیجه‌گیری

کاهش حقابه شبکه آبیاری دشت قزوین و عدم‌تغییر الگوی کشت سبب شده است کشاورزان برای تأمین معیشت خود اقدام به برداشت غیر مجاز آب از سفره‌های آب زیرزمینی نمایند؛ که این موضوع سبب افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه شده است. از طرفی وقفه زمانی بین تصمیم‌گیری تولیدکنندگان به تولید و عرضه محصولات به بازار و قابلیت فسادپذیری محصولات کشاورزی شرایطی را به وجود آورده است که الزاماً می‌بایست قیمت این محصولات بر اساس مقدار موجود در بازار و میزان تقاضا تعدیل شود و بازار از این کالاها خالی شود. این امر موجب متضرر شدن کشاورزان شده است. ازاین‌رو در این مطالعه با هدف تأمین معیشت کشاورزان و حفظ منابع آب زیرزمینی اقدام به مقایسه روش‌های پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی شده است تا با استفاده از پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی الگوی کشت و نحوه توزیع آب اصلاح شود. برای پیش‌بینی قیمت، محصولات کشت‌شده در شبکه به دو گروه تقسیم شد گروه اول شامل محصولات ذرت-علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیاچیتی، سیب‌زمینی، ذرت-دانه‌ای و عدس است که قیمت آن‌ها وابسته به مقدار تولید است و با استفاده از سیستم تقاضا معکوس و ANN قیمت آن‌ها پیش‌بینی‌شد و گروه دوم گندم، جو، چغندرقند و کلزا هستند که دارای قیمت خرید تضمینی اعلام‌شده از سوی دولت هستند و برای پیش‌بینی قیمت آن‌ها از رگرسیون غیرخطی و ANN استفاده‌شد. کشش قیمتی تقاضا با برآورد تابع تقاضا با استفاده از اطلاعات میزان تولید، قیمت فروش، قیمت سایر کالاها، تورم، نرخ ارز، مقدار صادرات و واردات برای ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیاچیتی، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس به ترتیب ۰/۵۰۸-، ۱/۱۱-، ۰/۹۵۴-، ۰/۹۱۴-، ۰/۳۷۴-، ۰/۵۲۹-، ۰/۴۲۸- و ۰/۳۳۲- برآورد شد. مقایسه MAE و MSE روش‌های پیش‌بینی قیمت بیانگر توانایی بیشتر ANN در پیش‌بینی قیمت محصولات هر دو گروه است. به‌منظور بررسی اینکه قیمت-های پیش‌بینی‌شده برای محصولاتی که قیمت آن‌ها تابع مقدار موجود در بازار هست به آنالیز حساسیت مقدار تولید در روش تابع تقاضا معکوس و ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی به روش حذف پارامترهای ورودی پرداخته شد، نتایج نشان داد قیمت پیش‌بینی‌شده با ANN وابستگی کمی در مقایسه با روش تابع تقاضا معکوس به مقدار تولید به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر قیمت دارد؛ بنابراین در مطالعات اقتصادی قیمت پیش‌بینی شده برای محصولات کشاورزی فاقد خرید تضمینی با روش ANN قابل‌اتکا نیست.

تشکرو قدردانی

از سازمان جهاد کشاورزی که در راستای انجام این پژوهش همکاری داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: نگارش مقاله (۴۰٪)
نویسنده دوم: بررسی نتایج و تایید مطالب (۶۰٪)

References

1- Aminravan, M., Mojaverian, M., Hosseini-Yekani, S.A., Joolaie, R. and Viaggi, D., 2021. Effect of Income Risk on Optimal Cropping Pattern (Application of Data Envelopment Analysis Model). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *52*(3), pp.631-641. DOI: 10.22059/IJAEDR.2020.292914.668839. (In Persian)

2- Asaadi, M.A., Khalilian, S. and Mousavi, S.H., 2019. Management of irrigation water allocation and cropping pattern with emphasis on deficit irrigation strategy (case study: Qazvin irrigation network). *Iran-Water Resources Research*, *14*(5), pp.1-14. (In Persian)

3- Asadi, M.A. and Najafi Alamdarlo, H., 2019. Economic evaluation of optimum cultivating pattern for reducing the use of groundwater in Dehgolan plain. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *50*(1), pp.29-43. DOI: 10.22059/IJAEDR.2018.249900.668543. (In Persian)

4- Bashiri, H.R., Mousavi, S.N. and Najafi, B., 2021. An analysis of the effects of the policies of water demand management in Marvdasht: an application of the positive mathematical programming (PMP). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *52*(3), pp.441-455. DOI: 10.22059/IJAEDR.2019.287458.668800. (In Persian)

5- Central Bank Of The Islamic Republic Of IRAN. https://www.cbi.ir/. (In Persian)

6- Dhoubhadel, S.P. and Stockton, M.C., 2010. The US Import of Beef: Substitute or Complement for Domestic Beef Production? Paper presented at the Southern Agricultural Economics Association, Annual Meeting, Orlando, Florida.

7- Ghaderzadeh, H., Ahmadzadeh, K. and Ganji, S., 2019. Determine the appropriate model to predict the price of agricultural crops" A case of wheat, Alfa-Alfa and potato crops". *Journal of Agricultural Economics Researches*, *11*(3). DOR: 20.1001.1.20086407.1398.11.43.2.1. (In Persian)

8- Hasan poor, A. 2001. *Price behavior of potato, tomato and onion using the inverse demand system*. In *3th* Conference of Agricultural Economics. Ferdowsi University of Mashhad Iran. (In Persian)

9- Hashemi, M., Mazandarani Zadeh, H., Daneshkare Arasteh, P. and Zarghami, M., 2020. Evaluation of management policies to simultaneously maintain groundwater resources and farmers' livelihoods Using the System dynamics and Game Theory. *Iran-Water Resources Research*, *16*(3), pp.1-17. DOR: 20.1001.1.17352347.1399.16.3.1.9. (In Persian)

10- Hoseini, S. M., Mazandarani zadeh, H. and Nazari, B., 2021. Simultaneously Management of Surface and Groundwater Resources and Increasing Farmers' Resilience to Water Scarcity by Predicting the Price of Agricultural Products and using GA (Case Study of Irrigation and Drainage Network of Qazvin Plain). Iranian Journal of Soil and Water Research, 52(2), pp.563-576. DOI: 10.22059/IJSWR.2021.313809.668805. (In Persian)

11- Hosseini, S. M., Mazandarani Zadeh, H., 2022. Optimal Water Allocation among Agricultural Consumers Using Crop Pattern Change Approach to Improve Farmers' Livelihood. *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(3), pp. 47-61. DOI: 10.22055/JISE.2021.32941.1915. (In Persian)

12- Kumar, A., 2019. Price forecasting tool to support feminization in marketing green gram. *Zenith International Journal of Multidisciplinary Research*, *9*(2), pp. 87-94.

13- Kibona, S. E., and Mbago, M. C., 2018. Forecasting Wholesale Prices of Maize in Tanzania Using Arima Model. *General Letters in Mathematics (GLM)*, *4*(3), pp.131-141. DOI: 10.31559/GLM2018.4.3.6.

14- Mishra, M.K., Sisodia, B.V.S. and Rai, V.N., 2019. Forecasting technique of price of potato of Uttar Pradesh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *8*(3), pp.60-62.

15- Moghadesi, R. and Khaligh, P., 2013. Prognosis of agricultural prices by means of Artificial Neural Network models and time series. *Agricultural Extension and Education Research, 1*(2), pp.1-11. (In Persian)

16- Najafi, B., Zibaei, M., Sheikhi, M.H. and Tarazkar, M.H., 2007. Forecasting price of some crop products in fars province: application of Artificial Neural Network. Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing, 11(1), pp.501-512. DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.1.39.6. (In Persian)

17- Organization of Agriculture Jahad Qazvin. https://qazvin.maj.ir/.(In Persian)

18- Raei, B., Ahmadi, A., Neyshaburi, M.R., Ghorbani, M.A. and Asadzadeh, F., 2020. Evaluating efficiency of some artificial intelligence techniques for modeling soil wind Erodibility in part of eastern land of Urmia Lake. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(1), pp.61-76. DOI: 10.22059/IJSWR.2019.283359.668233. (In Persian)

19- Sa'adat Mehr, M., 2017. Estimated demand for chicken meat in Iran. *Economic Journal*, *16*(11,12), pp.101-117. (In Persian)

20- Salami, H. and Rezaei, S., 2011. Forecasting meat prices: An inverse demand approach. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *24*(3), pp.298-303. DOI: 10.22067/JEAD2.V1389I3.7727. (In Persian)

21- Saxena, K. K.and Mhohelo, D. R., 2020. Modelling and forecasting retail prices of maize for three agricultural markets in Tanzania. *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*, *5*(4), pp.229-245.

22- Statistical Center of Iran. https://www.amar.org.ir/. (In Persian).

23- Steen, M., 2006. *Flower power at the Dutch Flower Auctions: Application of an Inverse Almost Ideal Demand System (AIDS)*. Paper presented at the International Association of Agricultural Economists, Annual Meeting, Queensland, Australia. DOI: 10.22004/ag.econ.25441.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 51-66

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Optimizing the cultivation area of agricultural products based on water footprint framework framework (case study: Minab county)

N. Rohalamini[1], O. Bazarfshan[2*] and A. R. Nafarzadegan[3]

1-Graduated MSc, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
2- Corresponding Author, Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, bandar Abbas, Iran (O.Bazrafshan@hormozgan.ac.ir)*
3- Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 19 October 2023
Revised: 28 June 2024
Accepted: 01 July 2024

Keywords:
Cultivation Pattern, Virtual water, Blue Water, Green Water, Net Benefit.

TO CITE THIS ARTICLE:

Roholamini, N., Bzrafshan, O., Nafarzadefan, A. (2025). 'Optimizing the cultivation area of agricultural products based on water footprint framework framework (case study: Minab county)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 49-64. doi: 10.22055/jise.2024.45065.2098

Abstract

Considering that agriculture is the largest consumer of water resources in the world, if humanity wants to face the challenges that are ahead of it in the future, it must reduce the amount of water consumption in the agricultural sector to sustainable consumption. Agriculture as the main water consumer in Minab city has attracted a lot of attention. This study was carried out with the aim of estimating the water footprint in the agricultural sector of Minab city to optimize the crop cultivation pattern. so; First, the water footprint was estimated in the introduced components (blue, green and gray) and based on the net benefit and yield, economic value and land value were estimated for each category of agricultural products, and then with the aim of reducing the water footprint and increasing the net benefit Cultivated area of each category of products (legumes, garden, oilseeds, fodder, cereals, jalizi, vegetables) during 1386 to 1400 in two scenarios of optimizing the cultivated area based on benefit maximization and optimizing the cultivated area based on the ratio of footprint to benefit , was optimized. The results showed that by applying the net profit maximization scenario (the first scenario), the cultivated area decreases by 12% and the agricultural production and water footprint increase by 61% and 13%, respectively. A very slight change (5% decrease) can be seen in the net profit, but in the second scenario, with the aim of maximizing the net profit compared to the footprint, the cultivated area decreases by 12%, agricultural production increases by 79%, and the volume of water footprint decreases by 11%. A very minor change (5% decrease) can be seen in the net profit, so the water footprint perspective in the composition of agricultural products in the region has been significantly effective in water security.

Introduction

Todey, many researchers believe that in the future war between countries will be over water (Sullivan, 2002). Iran is located in the arid middle belt of the earth and although it covers 14% of the total area of the earth, it has only 2% of precipitation. Iran ranks 14th in water stress in the world among the 16 countries that have the highest water stress (Reddy et al., 2022). One of the southern provinces of Iran is Hormozgan, where agricultural products are cultivated out off season (Bazrafshan et al., 2019). Minab county is one of the three main agricultural poles in this province. For this purpose, estimating the water footprint plays an important role in optimizing the cultivation of agricultural products. The optimal cropping pattern is a plan that is compiled with the aim of

optimally managing the spatial composition of the product, and considering the extent of the border area of the Iran and the climatic diversity of various regions, reaching a suitable cropping pattern that can create the maximum exploitation of production factors and inputs is an inevitable necessity. This study was carried out with the aim of estimating the water footprint in the agricultural sector of Minab county to optimize the crop cultivation pattern.

Materials and Methods

In this research, the data related to the date of cultivation, type of soil, cultivated area, yield per unit area, amount of production of various types of agricultural products in seven categories of products (leafy vegetables, cucumbers, grains, fodder, oilseeds, horticulture and legumes) prepared from Minab Agricultural Jihad yearbook and Hormozgan province.

Data sources: data used in this research include climatic data (humidity, precipitation, wind speed, temperature, sunshine hours and air pressure), crop data (yield, cultivation area and production, agricultural product prices, plant evapotranspiration, irrigation efficiency, water and irrigation requirement, length of growth period, etc.) and land and surface soil management data, which are collected from Ministry of Jihad Agriculture, Islamic Republic Iran Meteorological Organization (IRIMO) and Planning and Budget Organization of Hormozgan.

In this research, the water footprint framework of Hoekstra et al. (2011) has been used to estimate the water footprint components including blue, green and gray footprints. In order to optimize of cultivated area, the water footprint was estimated in the introduced components and based on net benefit and yield, economic water and land value were estimated for each category of agricultural products, and then with the aim of reducing the water footprint and increasing the net benefit, the crops were optimized in two scenarios: optimization of cultivated area based on benefit maximization and optimization of cultivated area based on the ratio of footprint to benefit, the cultivated area of each category of during the 2016 to 2021.

Results and Discussion

Based on the results, in the first scenario, with the optimization of the cultivated area, which is the only goal of benefit maximization, the changes of production variables, cultivated area, total volume of the footprint and net income were investigated in the current and optima state. Based on the results, the net income was 5% decrease and the total volume of the footprint has increased by 15% and also due to the 10% decrease in the cultivated area, the production has decreased by 35% (Table 1).

Based on the second scenario, in the optimization of the cultivated area with the aim of maximizing the benefit-to-footprint ratio, water and food security can be optimized, because the average footprint in the second scenario has decreased by 91%, the volume of the footprint in the second scenario in legumes 95%, horticulture products 91%, oil products 83%, fodder products 96%, cereals 98%, cucumber 92% has decreased compared to the current situation. According to the results, the amount of net income in the second scenario has decreased by a very small amount (1%) while the net income in fodder and beens products has increased by 97% and 71%, respectively, and leguminous, horticultural, oil products, and Grain has decreased by 75%, 17%, 15% and 97%. Considering that the average cultivated area of agricultural products has not changed in the second scenario, while fodder and cucumber products have increased by 97 and 83 percent, and legumes, horticultural products, oil products and grains have decreased by 77%, 22%, 35% and 97%.

Table 1- Optimization of cultivation area based on studied scenarios

	Group	Production	Area (ha)	VWF (MCM)	Net B(MUSD)
Current situation	Beans	0.94	112.7	0.4	0.5
	Horticulture	92.24	9073.8	133.7	119
	Oil	0.38	78	0.8	0.2
	Fodder	4.4	76	0.5	0.7
	Cereal	0.67	228.6	1.3	0.5
	Cucumber	77.19	2774.1	20.2	26.7
	Total	176.15	12377.3	156.9	147.7
Scenario1	Beans	2.76	300	2	1.4
	Horticulture	105.71	9810.5	171.6	136.4
	Oil	0.32	50	0.8	0.2
	Fodder	1.74	30	0.2	0.3
	Cereal	2.19	750	5.9	1.5
	Cucumber	0.78	30	0.2	0.3
	Total	113.4	10970.5	180	140
Scenario2	Beans	0.4	25	0.5	0.23
	Horticulture	133.7	7057.25	119	76.04
	Oil	0.8	50	0.2	0.32
	Fodder	0.5	150	0.7	8.7
	Cereal	1.3	6	0.5	0.02
	Cucumber	20.2	5079	56.7	132.01
	Total	156.9	12367.3	147.6	217.33

VWF (MCM): Volume of water footprint based on Million m^3 and Net B: Net benefit

Conclusion

The purpose of this research is to optimize the cultivated area of agricultural products based on the water footprint concept. In terms of the performance of agricultural products, the highest yield is related to the category of fodder crops and grains (corn and barley) have the lowest yield**.** The investigation of the total water footprint showed that the category of horticulture products has the highest and the lowest amount of water footprint is related to the category of fodder products. According to the cultivated area and crop production in the category of horticulture and cocumber products, the largest volume of virtual water belongs to these two categories of products. The economic value of water showed that this amount is high in the category of bean products and the least related to oil products. The highest average value of land is related to the category of cereal products and the lowest is related to the category of fodder products. The value of the land is directly affected by the yield and price of the products. As we expected, in the second scenario, in the optimization of the cultivated area with the aim of measuring the profit-to-footprint ratio, water and food security can be optimized, while on average, the average footprint in the second scenario has decreased by 91% and the net income has increased. Is. In the first scenario, the cultivated area has decreased by 10%, the total footprint has increased by 15%, net income has decreased by 5%, and production has decreased by 35%**.**

Acknowledgment

The authors of this research are extremely grateful to the Agricultural Jihad, the Regional Water Organization and the Meteorological Organization of Hormozgan Province for providing the research data.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contribution

First Author: Neda Ruholamini, Data curation, Formal analysis, Writing - original draft.
Second Author: Ommolbanin Bazrafshan, Investigation, Validation, Writing - review & editing.
Third Author: Ali Reza Nafarzadegan, Methodology, Writing - review & editing.

References

1- Hoekstra, A. Y. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge.

2- Bazrafshan, O., Zamani, H., Etedali, H. R., & Dehghanpir, S. 2019. Assessment of citrus water footprint components and impact of climatic and non-climatic factors on them. *Scientia Horticulturae*, 250, 344-351. doi:10.1016/j.scienta.2019.02.069.

3- Sullivan c., 2002. Calculating a water poverty index. World development, 30(7):1195-1210. doi: 10.1016/S0305-750X(02)00035-9 .

4- Reddy, K. S., Maruthi, V., Pankaj, P. K., Kumar, M., Prabhakar, M., Reddy, A. G. K., ... & Koradia, A. K. (2022). Water Footprint Assessment of Rainfed Crops with Critical Irrigation under Different Climate Change Scenarios in SAT Regions. Water, 14(8), 1206. doi:10.3390/w14081206.

© 2025 Shahid Chamran Universiry 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۶۶-۵۱

بهینه‌سازی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با استفاده از چارچوب ردپای آب (مطالعه‌ی موردی: شهرستان میناب)

ندا روح الامینی[۱]، ام البنین بذرافشان[۲*]و علیرضا نفرزادگان[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران (O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir).

۲- دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۷ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱

چکیده

با توجه به اینکه کشاورزی بزرگترین مصرف کننده منابع آب در جهان به‌شمار می‌آید، اگر بشر بخواهد با چالش‌هایی که در آینده پیش رویش قرار دارد مقابله کند، باید میزان مصرف آب در بخش کشاورزی را تا مصرف پایدار کاهش دهد. کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در شهرستان میناب حساسیت زیادی را برانگیخته است. این مطالعه باهدف برآورد ردپای آب در بخش کشاورزی شهرستان میناب به بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات صورت پذیرفت. لذا؛ ابتدا ردپای آب در اجزاء معرفی‌شده (آبی، سبز و خاکستری) براساس دیدگاه اوکسترا برآورد شد و بر اساس سود خالص و میزان عملکرد، ارزش اقتصادی و ارزش زمین برای هر دسته از محصولات کشاورزی برآورد شد و سپس باهدف کم کردن ردپای آب و افزایش سود خالص، سطح زیر کشت هر دسته از محصولات اساس حداکثر کردن سود و بهینه‌سازی سطح زیر کشت بر اساس نسبت ردپا به سود، بهینه گردید. نتایج نشان داد، با اعمال سناریوی حداکثرسازی سود خالص (سناریوی اول)، سطح زیرکشت ۱۲ درصد کاهش و تولیدات کشاورزی و حجم ردپای آب به‌ترتیب ۶۱ درصد و ۱۳ درصد افزایش نشان می‌دهد. در سود خالص تغییربسیار جزئی (۵ درصد کاهش) دیده می‌شود اما در سناریوی دوم با هدف حداکثرسازی سودخالص نسبت به ردپا، سطح زیرکشت ۱۲ درصد کاهش و تولیدات کشاورزی ۷۹ درصد افزایش و حجم ردپای آب ۱۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. در سود خالص تغییربسیار جزئی (۵ درصد کاهش) دیده می‌شود لذا دیدگاه ردپای آب در ترکیب محصولات کشاورزی در منطقه به طور چشمگیری در امنیت آب مؤثر عمل نموده است.

کلید واژه‌ها: الگوی کشت، آب مجازی، آب آبی، آب سبز، سود خالص.

مقدمه

آب لازمه زندگی انسان است و تأمین آب کافی به‌عنوان یک پیش‌نیاز بنیادی برای توسعه‌ی جوامع انسانی‌ست و با توجه به چالش‌هایی که جوامع امروزی به‌خاطر کمبود منابع آبی با آن رو به‌رو است، لذا باید مدیریت منابع آبی بسیار تخصصی انجام گیرد و حصول اهدافی نظیر ریشه‌کنی فقر، حفاظت از محیط‌زیست و نیز توسعه‌ی عادلانه را در پی داشته باشد. لازمه‌ی این امر پرداختن دقیق و چند بعدی به مسائل مدیریت منابع آب است. یکی از شرط-های مهم برای مدیریت منابع آب، دست‌یابی به ارزیابی‌های مناسب از وضعیت منابع آب است (Sullivan, 2002). از طرفی مسئله‌ی خشک‌سالی به‌عنوان یک تهدید با آثار افزایش تقاضای هرچه بیشتر برای آب همراه خواهد بود. در بخش تولیدی یعنی کشاورزی نیز در سال‌های اخیر، برداشت آب از منابع آب‌سطحی و زیرزمینی به‌صورت بی‌رویه افزایش‌یافته است (Shirshahi et al., 2021). از عوامل تشدیدکننده‌ی تنش آبی می‌توان رشد جمعیت، گسترش فعالیت‌های صنعتی، گسترش شهرنشینی و تغییر اقلیم را نام برد. بااین‌حال، کمبود فزاینده‌ی آب، سوءاستفاده و عدم مدیریت صحیح منابع آب در دسترس تهدید اصلی توسعه پایدار در بخش کشاورزی است (Moshizi et al., 2023).

مدیریت آب در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی منابع آب حوزه وسیعی را در برمی‌گیرد و شامل شیوه‌هایی نظیر حفظ رطوبت اراضی ، برداشت بهینه‌ی آب، آبیاری تکمیلی، و روش‌های مختلف توسعه منابع آب است. همه روش‌هایی که در مدیریت آب کشاورزی استفاده می‌شوند اغلب برای غلبه بر محدودیت‌های اصلی برداشت و یا نگهداری منابع آب در نظر گرفته می‌شوند (Nasseri Nejad et al., 2023).

در دهه‌های پیش رو، رشد جمعیت و توسعه اقتصادی در کنار تشدید کمبود آب باعث بالا رفتن هزینه‌های تأمین آب می‌گردد و این موضوع، ضمن تهدید اقتصاد مناطق به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک سبب بروز مناقشات جدی بین کشورها و یا ساکنان محلی خواهد گردید. از طرف دیگر تغییرات اقلیمی نیز سبب

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

تشدید مسائل مربوط به کمبود خواهد شد (Zeinadini et al., 2019).

ایران به‌عنوان کشوری با آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک بیش از ۹۴ درصد منابع آب خود را در بخش کشاورزی به‌کار می‌گیرد. بخش کشاورزی نقش اساسی و حیاتی در اقتصاد ملی و تولید مواد غذایی در کشور دارد، به‌طوری‌که حدود ۲۷ درصد تولید ناخالص ملی و ۲۲ درصد نیروی کار کشور مرتبط با این بخش است. در این میان به‌واسطه پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی و عدم مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب در کشور به‌ویژه در مناطق به سیارکم آب و خشک، مدیریت منابع آب را به‌خصوص در بخش کشاورزی با مشکلات جدی روبرو ساخته است. علاوه برآن در مناطق خشک کشور مانند قسمت‌های جنوب تقریباً۱۰۰ درصد تولیدات کشاورزی از کشت آبی حاصل می‌شود (Babazadeh and Saraei Tabrizi, 2012). مدیریت آب کشاورزی و استفاده از گزینه‌های مناسب و پرظرفیت مدیریتی نیازمند ارزیابی دقیق، شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد (Bazrafshan et al., 2018). لذا ضرورت تخصیص بهینه منابع آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در تولید محصولات کاملاً احساس می‌شود که لازمه آن ارائه الگوی کشت مدیریتی مناسب بر اساس رویکرد ارزش اقتصادی آب و شاخص ردپای آب محصولات مختلف کشاورزی در اقلیم‌های مختلف می‌باشد.

از سال ۲۰۰۲ میلادی که شاخص ردپای آب مطرح شد، تاکنون مطالعه‌های فراوانی برای ارزیابی این شاخص در حوزه‌های مختلف انجام‌شده است (Chapagain and Hoekstra, 2003, Hoekstra, 2003). در ابتدا اکثر مطالعه‌ها برای تخمین هر سه جزء رد پای آب (ردپای آب آبی ، سبز و خاکستری) در مقیاس کل جهان صورت می‌گرفت ولی سپس با توجه به اهمیت روزافزون مدیریت منابع آب در مقیاس کوچک‌تر، ارزیابی این شاخص به‌صورت محلی دارای اهمیت شد (Hoekstra 2011). با توجه به این‌که تعادل بین تقاضای آب و در دسترس بودن منابع آب در بسیاری از مناطق جهان به حد بحرانی رسیده است و تقاضا برای تولید آب و مواد غذایی افزایش یافته است، ارائه یک رویکرد پایدار برای مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی ضروری است. مفهوم مدیریت پایدار منابع آب به روش‌های اشاره دارد که باعث بهبود عملکرد محصول و به حداقل رساندن تلفات غیر مفید آب می‌شوند. مفهوم ردپای آب، مصرف منابع آب شیرین است که نه تنها مصرف مستقیم آب توسط یک تولید کننده یا مصرف کننده را شامل می‌شود بلکه مصرف غیر مستقیم آب را هم شامل می‌شود. بنابراین ردپای آب می‌تواند دیدگاه بهتر و جامع‌تری از چگونگی ارتباط بین یک مصرف کننده یا تولید کننده با مصرف منابع آب شیرین ارائه کند. با توجه به اینکه مفهوم ردپای آب در حال حاضر به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های سنجش بهره‌وری آب در مباحث مختلف موردتوجه پژوهشگران در صنعت آب قرارگرفته است، استفاده از این مفهوم با توجه به شرایط خاص سیاسی و اقلیمی کشور، به‌منظور انتخاب بهترین ترکیب کشت، ضمن خودکفایی نسبی در تولید محصولات کشاورزی، می‌تواند ابزاری بسیاری سودمند در ذخیره آب کشور و رسیدن به امنیت آبی باشد.

الگوی بهینه‌ی کشت برنامه‌ای است که با هدف مدیریت بهینه‌ی ترکیب مکانی محصول تدوین شده و با توجه به گستردگی پهنه‌ی مرزی کشور و تنوع اقلیمی مناطق گوناگون ، رسیدن به الگوی کشت مناسبی که بتواند حداکثر بهره برداری را از عوامل و نهاده های تولید ایجاد نماید، ضرورتی اجتناب ناپذیراست (Ramezani Etedlai et al., 2019). با توج به تعریف فوق، تأمین اهداف مختلف با توجه به محدودیت‌ها و ظرفیت‌های تولید در الگوی کشت هر منطقه، مشخص می‌کند که هدف در نوع محصول زراعی معمولاً به یک موضوع خاص ختم نشده و تصمیم‌ها باید بین نتایج خروجی حاصل ازتصمیم که در تضاد و تقابل هستند، تعادل ایجاد کند (Li et al., 2020). لذا برنامه‌ریزی در شرایطی که چندهدف دنبال می‌شود کار ساده‌ای نیست و نیازمند استفاده از رهیافت‌های ریاضی از جمله برنامه‌ریزی‌های چندهدفه است. در زمینه کاربرد روش‌های ریاضی در تعیین الگوی بهینه کشت و دیدگاه ردپای آب مطالعه‌های متعددی در سطح ایران و دنیا صورت پذیرفته است.

Osman et al. (2017) با بهره‌گیری از روش برنامه‌ریزی خطی اقدام به حداکثر سازی بازده خالص سالانه کشت محصولات زراعی در سه منطقه قدیمی مصر نمودند. براساس نتایج نشان، سطح زیر کشت محصولات غیراستراتژیک مانند پیاز، سیر، جو، کتان، شنبلیله، نخود و عدس کاهش و محصولات استراتژیک مانند گندم، ذرت، شبدر، فرآورده‌های قند و پنبه افزایش یافت.

Mojtabavi et al. (2018) در بهینه‌سازی الگوی کشت در دشت قزوین با تاکید بر حسابداری ردپای آب اذعان نمودند، این دیدگاه قادر است به امنیت آبی در منطقه کمک شایانی کند و در برنامه‌ریزی الگوی کشت مفید واقع گردد.

Ramezani Etedali et al. (2019) در بهینه‌سازی سطح زیرکشت غلات دیم و آبی در سطح کشور از دیدگاه ردپای آب و برنامه‌ریزی خطی استفاده نمودند. براساس نتایج مشخص شد، با بهینه‌سازی می‌توان سالانه ۲۲۱۰ میلیون مترمکعب آب شیرین صرفه‌جویی نمود.

Aligholinia et al. (2021) به بهینه‌سازی الگوی کشت بر مبنای شاخص ردپای آب در اقلیم‌های مختلف ایران با استفاده از پرداختند و بر این اساس الگوی کشت فعلی در بسیاری از مناطق اقلیمی کشور براساس شاخص ردپای آب تغییر قابل ملاحظه‌ای داشت.

Zhang et al. (2022) به بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از شاخص کارایی مصرف آب و ردپای آب با برنامه‌ریزی خطی در غرب چین می‌پردازد. براساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد ردپای آب به میزان قابل توجهی در تعیین کشت بهینه مؤثر است.

Bazrafshan et al. (2022) به اولویت‌بندی کشت گوجه در ایران پرداختند. براساس نتایج، مناطقی که دارای کشت خارج از فصل بودند، دارای بالاترین ارزش آب و زمین و در اولویت اول کشت گوجه در ایران قرار می‌گیرند. یا در تحقیقی دیگر Bazrafshan et al. (2024) به بررسی ارزش اقتصادی و ردپای آب بادام دیم و آبی در ایران پرداختند. نتایج نشان داد، این محصول در دسته‌ی محصولات با ردپای آب و ارزش اقتصادی آب میانه قرار دارد.

Anand et al. (2024) در مطالعه‌ی خود تحت عنوان از قطره تا دلتا، بهینه‌سازی ردپای آب برای امنیت غذایی، این دیدگاه را روشی عملی برای سنجش میزان آب مورد نیاز برای تولید کالاها و خدمات و ارتقای پایداری در تولید صنعتی و غذایی معرفی نمودند و اذعان داشتند استفاده از این ایده می‌تواند منجر به تخصیص داده-های ارزشمندی شود که برای بررسی اثرات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی و پیشبرد گفتگوها در مورد استفاده عادلانه و پایدار آب مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی تحقیقات گذشته نشان می دهد که هرچند مطالعه‌های زیادی روی بهینه‌سازی الگوی کشت صورت گرفته است، لیکن هریک با تعریف تابع هدفی مشخص در پی تأمین و بهینه‌سازی آن برآمده اند. درحالی که بسیاری از توابع هدف بدون در نظر گرفتن ارزش آب و زمین و ردپای آب صورت پذیرفته است. دشت میناب یکی از سه قطب اصلی کشاورزی در استان هرمزگان است که به لحاظ محصولات زراعی و باغی دارای تنوع قابل‌توجهی است، مهم-تر از همه اینکه بخش اعظم تولیدات این منطقه مرکبات، نخیلات و کشت جالیزی است که در حال حاضر اراضی باغی به سرعت در حال تبدیل به اراضی جالیزی است و کشت جالیزی خارج از فصل از ویژگی‌های مهم کشاورزی در این منطقه است که تولید قابل توجهی دارد. لذا برآورد ردپای آب، ارزش آب و زمین در این اراضی نقش مهمی در بهینه‌سازی کشت محصولات کشاورزی در این شهرستان دارد و حائز اهمیت فراوان می‌باشد. لذا این تحقیق درصدد آن است که با استفاده از مفهوم ردپای آب، ارزش آب و زمین به بهینه‌سازی سطح زیر کشت منطقه بپردازد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه و مواد مورداستفاده

شهرستان میناب یکی از شهرستان‌های شرقی استان هرمزگان واقع در جنوب ایران است. شهرستان میناب در سال ۱۳۳۹ تأسیس‌شده و دارای چهار بخش ۱۱دهستان و هفت شهر است. شهرستان میناب در شمال خاوری تنگه هرمز قرار دارد. وسعت آن ۵/۶۸۷۸ کیلومترمربع و ارتفاع از سطح دریا ۱۶ متر است. اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی دومارتن اصلاح شده، دارای اقلیم فراخشک- گرم است، متوسط بارش و دمای منطقه ۲۳۵ میلی‌متر و ۲۷ درجه سانتی‌گراد است (Bazrafshan et al., 2017). شهرستان میناب قطب کشاورزی استان هرمزگان است (شکل ۱). علاوه بر این‌که بیشترین تولید را دارا می‌باشد تنوع محصولات نیز در این شهرستان زیاد است. سطح زیر کشت محصولات زراعی میناب ۳۶۱۶۰ هکتار است که حدود ۴۷ درصد را اراضی باغی و مابقی محصولات زراعی است. مهم‌ترین محصولات کشاورزی آن مرکبات، خرما، صیفی‌جات، غلات، پرتغال ، لیموترش، گوجه‌فرنگی، خیار، هندوانه، پیاز، بادمجان و انبه می‌باشد. کلان‌شهر میناب دومین شهر بزرگ هرمزگان و سرزمینی جلگه‌ای است که به علت داشتن منابع آب شرب به‌ویژه رودخانه میناب، یکی از قطب‌های کشاورزی هرمزگان است. عمده آب شیرین تأمین کننده‌ی کشاورزی در منطقه در درجه‌ی اول آب‌های زیرزمینی و سپس سد میناب است.

متوسط میزان تولید و سطح زیر کشت محصولات اصلی شهرستان میناب و سهم هر محصول طی دوره‌ی آماری ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۰ در جدول (۱) ارائه شده است. محصولات جالیزی ۴۹ درصد از سطح زیرکشت و ۷۶ درصد تولیدات گیاهی را به خود اختصاص داده است و پس از آن حصولت باغی نخیلات و مرکبات ۴۸ درصد از سطح زیرکشت و ۲۳ درصد تولیدات را تشکیل می‌دهد. سایر محصولات در دسته غلات، روغنی و حبوبات درصد کمی از تولیدات و سطح زیرکشت را به خود اختصاص داده است.

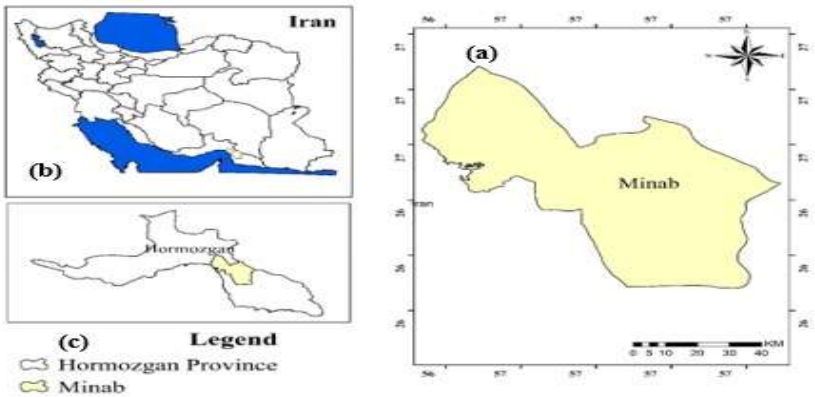


Fig. 1- Location of case study(a) in Iran (b) and Hormozgan province (c)
شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه (الف) در ایران (ب) و استان هرمزگان (پ)

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

جدول ۱- متوسط سطح زیرکشت و تولید محصولات کشاورزی و سهم هر یک از آنها در منطقه‌ی مورد مطالعه
Table 1- Average of cultivated area, production and their shares in the case study area

Products group	Name	Cultivated area (ha)	Share of cultivated area	Production (tons)	Share of production
Beans	Bean	50.64	0.14%	417.14	0.07%
	Green beans	170.00	0.47%	1553.33	0.25%
Horticulture	Citrus	8232.50	22.77%	99916.38	15.80%
	Date palms	9309.81	25.75%	45072.72	7.13%
Oils	Maize	78.00	0.22%	383	0.06%
Fodder	Surghom	67.27	0.19%	4700.07	0.74%
Cereal	Barley	28.46	0.08%	74.7	0.01%
	wheat	348.50	0.96%	908.14	0.14%
Cocumber	Pumpkins	30.00	0.08%	458	0.07%
	Eggplant	3531.79	9.77%	105662.43	16.71%
	Anion	3738.30	10.34%	106224.43	16.79%
	Cucumber	2540.00	7.02%	53020	8.38%
	Pepper	304.29	0.84%	4725.71	0.75%
	Tomato	3667.41	10.14%	124252.13	19.64%
	Watermelon	4063.17	11.24%	85139.71	13.46%
Total	-	36160.14	100%	632507.89	100%

روش کار

در این تحقیق از چهارچوب ردپای آب Hoekstra et al. (2011) استفاده شده است. ردپای آب مربوط به یک محصول، حجم آب شیرینی است که برای تولید آن محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد و در کل زنجیره‌ی تولید آن محصول محاسبه می‌شود. ردپای آب شامل سه جزء (ردپای آب آبی، سبز و خاکستری) می‌باشد. ردپای آب آبی به مصرف منابع آب آبی (آب سطحی و زیرزمینی) در طول فرایند تأمین یک محصول اشاره دارد. ردپای آب سبز به مصرف منابع آب سبز (آب باران) اشاره دارد (Hoekstra and Hung, 2005). ردپای آب خاکستری به حجم آب شیرین مورد نیاز برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها اشاره دارد. روابط (۱) تا (۳) به‌ترتیب ردپای سبز، ردپای آبی و ردپای خاکستری را نشان می‌دهد.

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_c - P_e) * 10}{Y} \quad (۱)$$

$$WF_{Green} = \frac{(P_e) * 10}{Y} \quad (۲)$$

$$WFGrey = \frac{a * NAR}{C_{Max-}C_{Nat}} * \frac{1}{Y} \quad (۳)$$

که در این روابط WF_{Green}، WF_{Blue} و WF_{Gray} به‌ترتیب ردپای سبز، آبی و خاکستری است. P_e: مجموعه بارندگی مؤثر در طول دوره رشد گیاه به میلی‌متر که با استفاده از روش USDA ، ETc: تبخیر و تعرق هرگیاه به میلی‌متر که با استفاده از روش فائو – پنمن – مونتیث محاسبه شد.Y: عملکرد هر محصول بر حسب تن در هکتار، a : درصد تلفات کودهای نیتروژن NAR: نرخ مصرف کود برای هر گیاه به کیلوگرم در هکتار، C_{Max}: غلظت بحرانی نیتروژن به کیلوگرم در مترمکعب، C_{Nat}: غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده به کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد. همچنین به‌دلیل در دسترس نبودن غلظت واقعی نیتروژن در منطقه‌ی مورد مطالعه، طبق توصیه‌ی Chapagain و Hoekstra (2003) مقادیر a در شرایط فاریاب ۱۰ درصد و حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده، صفر در نظر گرفته شد.

ارزش اقتصادی آب از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$WFE_{total} = \frac{NB}{WF_{total}} \quad (۴)$$

در روابط فوق ، WFE_{total} ارزش اقتصادی کل آب برحسب دلار در هر مترمکعب و WFtotal حاصل جمع ردپای اقتصادی اجزای ردپای آب برحسب مترمکعب، NB سود خالص برحسب دلار است. بدلیل عدم دسترسی به اعداد قابل اعتماد به ریال در ایران،

این مقادیر از وب‌سایت فائواستت و نتایج بر حسب دلار محاسبه گردید.

ارزش اقتصادی زمین

از حاصل‌ضرب سود خالص هر هکتار محصول به‌دست‌آمده در عملکرد آن به دست می‌آید.

$$ELP=NB*Y \quad (۵)$$

که NB سود خالص برحسب دلار در هر تن و Y عملکرد محصول برحسب تن در هکتار است. واحد ارزش اقتصادی زمین دلار است.

بهینه‌سازی سطوح کشت

بهینه‌سازی هنر پیدا نمودن بهترین جواب داخل فضای قابل‌قبول (وضعیت‌های ممکن) موجود است و این کار را از طریق حداقل یا حداکثر سازی عملکرد سیستم انجام می‌دهد. در حقیقت یک مسئله بهینه‌سازی را می‌توان به‌عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری مدنظر قرارداد که در آن به‌منظور رسیدن به اهداف موردنظر، بایستی مسئله را به‌صورت یک مدل ریاضی که متغیرهای واردشده در آن، همان متغیرهای تصمیم می‌باشند، فرمول‌بندی نمود. بهترین گزینه‌های ممکن در تصمیم‌گیری، از حل این مدل ریاضی قابل‌دسترسی می‌باشند. در مطالعه حاضر، مدل بهینه‌سازی یک‌بار باهدف کاهش ردپای آب رابطه‌ی (۶) و بار دیگر باهدف افزایش ردپای آب اقتصادی رابطه‌ی (۷) فرمول‌بندی و اجرا خواهد شد. همچنین محدودیت‌های موجود با لحاظ نمودن حداقل و حداکثر آب در دسترس منطقه و حداقل و حداکثر سطح کشت به تفکیک محصولات عمده زراعی در نظر گرفته خواهند شد.

$$MinZ_1 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(WF_{ij} \times X_{ij}\right) \quad (۶)$$
$$i = 1,\dots,n, \quad j = 1,\dots,m$$

$$MaxZ_2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\left(NB_{ij}/WF_{ij}\right) \times X_{ij}\right) \quad (۷)$$
$$i = 1,\dots,n, \quad j = 1,\dots,m$$

که در آن‌ها، WF_{ij}: مجموع ردپای آب محصول i در سال j، NB_{ij}: سود خالص حاصل از کشت محصول i در سال j و X_{ij}: سطح کشت محصول i در سال j برحسب هکتار است. درنهایت نتایج حاصل از این دو مدل بهینه‌سازی از منظر بهره‌وری آب مورد مقایسه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

نتایج و بحث

متغیرهای گیاهی شامل بارش مؤثر، تبخیر–تعرق گیاهی و نیاز آبی محصولات کشاورزی میناب در جدول (۲) ارائه شده است. مقادیر بارش موثر در محصولاتی مانند جو و گوجه فرنگی قابل توجه و در سورگوم و هنداونه صفر است. بیشترین تبخیر–تعرق گیاهی متعلق به درختان باغی است که بالتبع مقادیر بالای نیاز آبی را نیز دارا هستند.

جدول ۲- متغیرهای گیاهی محصولات مورد بررسی

Table 2 – Crop variables of the case study

Product group	Name	P_e(mm)	ET_c(mm)	CWR (mm)	CF(Nitrate) (kg/ha)
	Bean	52	401	349	100
Beans	Green beans	76	232	156	100
	Citrus	84	1129	1045	330
Horticulture	Dates	51	1554	1503	220
Fodder	Surghom	0	459	459	150
	Barley	122	323	201	150
Cereal	Wheat	89	306	217	150
	Pumpkins	69	296	227	100
	Eggplant	84	515	431	200
	Onion	92	496	404	250
Cucumber	Cucumber	31	406	375	250
	Pepper	69	239	170	300
	Tomato	91	493	402	360
	Watermelon	0	417	417	300

CWR: Crop water requirement; CF: Chemical fertilizer

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

اجزاء ردپای آب محصولات کشاورزی در شهرستان میناب در جدول (۳) ارائه شده است. کل حجم ردپای آب در میناب ۱۹۹۵ میلیون مترمکعب است که ۱۱۷۹/۵۳ میلیون مترمکعب آن مربوط به آب آبی ، ۲۴۳/۵۱میلیون مترمکعب مربوط به آب سبز و ۵۵۹/۸۶ میلیون مترمکعب مربوط به آب خاکستری است. که به‌ترتیب ۵۹ درصد مربوط به آب آبی و ۱۲ و ۲۹ به‌ترتیب مربوط به ردپاهای سبز و خاکستری می‌باشند. در طول دوره آماری مورد بررسی، ردپای آب آبی بیشترین سهم ردپای آب را به خود اختصاص داده است و بعد از آن به‌ترتیب ردپای آب خاکستری و آب سبز می‌باشند. نتایج Bazrafshan et al. (2024) در مقایسه ردپای آب در بین ۳۶ محصول کشاورزی در ایران نشان داد، نخیلات در جنوب ایران با بالاترین نیاز آبی، بیشترین سهم ردپای آب آبی را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد که در بین محصولات کشاورزی مورد مطالعه بیشترین مقدار ردپای آب آبی مربوط به محصولات باغی شامل نخیلات با مقدار ۱۷۵۳و مرکبات با مقدار ۱۰۹/۴۱ میلیون مترمکعب و کمترین ردپای آب آبی مربوط به بادمجان با مقدار ۰/۱ و همچنین جو با مقدار ۰/۱۳ میلیون مترمکعب است. براساس شکل (۲) و جدول (۳) سهم ردپای هر محصول نشان می‌دهد، بیشترین سهم ردپای آب مربوط به آب آبی و سپس آب خاکستری است. بیشترین ردپای آب مربوط به گیاهان باغی با سهم آب آبی و خاکستری ۷۸ درصد و ۲۱ درصد است. سهم ردپای سبز در هندوانه و سورگوم صفر است که بدلیل عدم بارش باران در طول دوره‌ی رشد گیاهان مذکور است. Dehghanpir et al. (2023) در بررسی تنش آبی در هرمزگان بیان داشتند، بیش از ۷۰ درصد تنش موجود در بخش کشاورزی مربوط به ردپای آب آبی در این استان است. ایشان سهم ردپای آب در استان هرمزگان را بیش از ۷۹ درصد گزارش دادند.

بالا بودن ردپای آب آبی نسبت به ردپای آب سبز نشان می‌دهد که منابع آب آبی شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی منابع آب قطعی برای تولید محصولات کشاورزی در میناب محسوب می‌شوند (Bazrafshan and Gerkaninezhad Moshizi, 2018) و پائین بودن بارش سبب بالارفتن ردپای آب آبی شده است.

بیشترین سهم آب سبز باتوجه به بالابودن بارش مؤثر در محصول جو نیز قابل توجه است. اگرچه سهم آب سبز در گوجه‌فرنگی نیز بالاست، اما بالابودن عملکرد در واحد سطح محصول گوجه‌فرنگی، سبب کاهش قابل ملاحظه‌ی ردپای سبز در تولید محصول شده است. لذا بالابودن راندمان به‌طورقابل توجهی در کاهش ردپا موثر است. مطالعه‌ی Yahyazade et al. (2021) در برآورد ردپای آب گوجه‌فرنگی در ایران نشان داد، استان هرمزگان و سایر استان‌های جنوبی کشور دارای بالاترین سهم آب سبز در تولید گوجه در ایران هستند، که مهم‌ترین دلیل آن کشت خارج از فصل در مناطق جنوبی ایران است که به قطب تولید گوجه زمستانه در ایران نیز معروف است. لذا با تغییر ژنوتیپ به سوی گونه‌های مقاوم به خشکی و کم آبی و کاهش دوره‌ی رشد می‌توان به توسعه کشت دیم در این مناطق رسید.

به‌طور کلی مقایسه اجزای ردپای آب در همه‌ی گروه محصولات کشاورزی بجز صیفی‌جات نشان می‌دهد، ردپای آب در میناب نسبت به متوسط کشوری بسیار بالاتر است. یکی از مهم‌ترین دلایل بالا بودن ردپای آب نسبت به میانگین کشوری، کم‌بودن عرض جغرافیایی، در نتیجه بالا بودن دمای حداقل، پائین بودن میانگین بارش و بالا بودن میزان تبخیر و تعرق گیاهی و در نتیجه نیاز آبی است که ردپای آب را بالا می‌برد. بالا بودن دمای حداقل سبب افزایش تبخیر و تعرق گیاهی و در نتیجه افزایش نیاز آبی می‌شود (Allen et al., 2011). نیاز آبی در تمام محصولات کشاورزی در استان هرمزگان براساس نتایج Babazadeh و Saraeitabrizi (2012) نیز تائید کننده این مطلب است.

جدول ۲- متوسط اجزای ردپای آب محصولات کشاورزی طی دوره‌ی ۱۳۸۶-۱۴۰۰

Tabel 2- Average of WF component of agricultural products during 2007-2021

Name	Yield (ton/ha)	WF_{Green}(m^3/ton)	WF_{Blue}(m^3/ton)	WF_{Grey}(m^3/ton)	WFT (m^3/ton)	VWF (MCM)
Bean	8.21	65.62	440.39	126.19	623.26	0.25
Green beans	11.33	84.33	173.1	110.96	368.4	0.55
Citrus	12.23	69.03	858.79	164.36	1092.18	109.41
Dates	5	106.38	3134.97	22.32	3929.67	1753.97
Surghom	71.35	0	69.36	22.23	91.59	0.43
Barley	2.85	491.91	810.44	604.81	1907.15	0.13
fhdnWheat	2.78	561.15	1368.19	945.75	3820.84	2.11
Pumpkins	15.27	50.66	124.82	73.42	228.31	0.1
Eggplant	29.68	31.23	160.26	74.37	263.48	24.7
Onion	29.25	34.1	149.73	92.79	272.81	27/23
Cucumber	20.32	17.73	214.49	142.99	375.21	16.66
Pepper	16.15	84.35	207.81	36.67	328.26	0.81
Tomato	33.84	31.17	137.69	123.3	287.01	30.33
Watermelon	22.2	0	223.84	3367.2	13968.65	28.38

VWF=Volume of WF

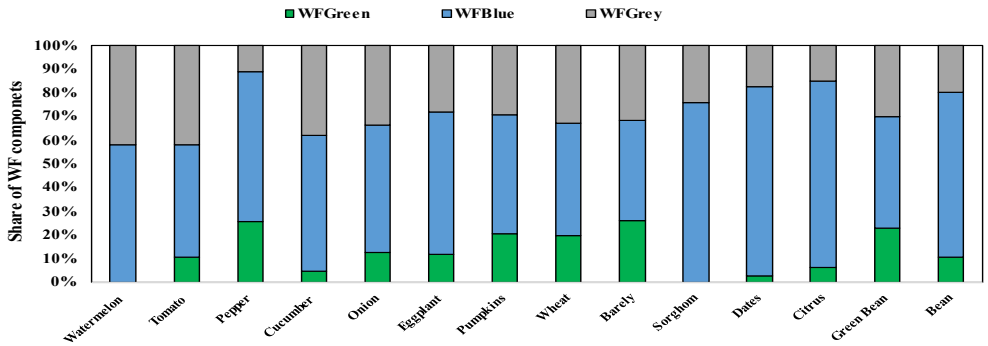


Fig. 2- The share of WF component in agricultural products of Minab

شکل ۲- سهم اجزای ردپای آب در محصولات کشاورزی میناب

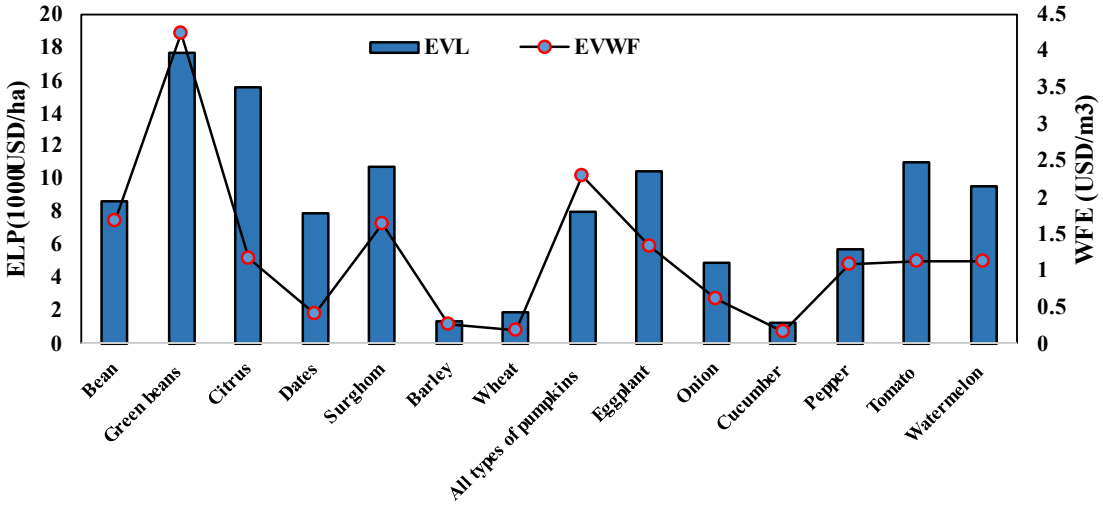


Fig. 3 – Economic value of WF (WFE) (USD/m3), economic value of land (ELP) (USD/ha) in the case study

شکل ۳- ارزش ردپای آب (دلار در هر مترمکعب) و ارزش زمین(دلار در هر هکتار) در منطقه مورد مطالعه

متوسط ارزش اقتصادی آب و ارزش زمین و سود خالص برای محصولات مورد بررسی در شکل (۳) ارائه شده است. براساس نتایج، بیشترین ارزش اقتصادی آب مربوط به گروه حبوبات (باقلاسبز چهار دلار در هر مترمکعب) و گروه جالیزی (کدوها و بادمجان ۲/۵ دلار در هرمترمکعب) و سورگوم (۲دلار در هر مترمعب) و کمترین آن مربوط به گروه گیاهان زراعی (گندم و جو (۰/۲۵ دلار در هر مترمکعب))، خیار (۰/۱۲ دلار در هر مترمکعب) و نخیلات (۰/۴۹ دلار در هر مترمکعب) است. بالابودن ردپای آب و پائین بودن عملکرد و سود خالص سبب کاهش ارزش اقتصادی آب می‌گردد. مطالعه‌ی Bazrafshan et al. (2024) در بررسی ارزش اقتصادی محصولات کشاورزی در ایران نشان داد، در دسته محصولات باغی (شامل بادام، درختان آلویی، گردو، پسته، مرکبات و نخیلات) نخیلات در دسته‌ی خرمای نرم دارای ارزش اقتصادی پائین است. این در حالی‌است که بیشترین تولید و سطح زیرکشت و ردپای آب و کمترین عملکرد و ارزش اقتصادی آب در ایران مربوط به خرمای نرم است (Bazrafshan et al., 2020). خرمای نرم دارای کمترین بازارپسندی، قابلیت نگهداری و در نتیجه ارزش صادراتی هستند (Rastegar et al., 2012). بیش از ۷۰ درصد سطح زیرکشت در میناب مربوط به خرمای نرم است، که در بازار داخلی و یا برای خوراک دام استفاده می‌شود و ارزش صادراتی چندانی ندارد (Mahdavi et al., 2014).

بررسی ارزش زمین نشان می‌دهد، باقلا سبز، مرکبات و بادمجان و گوجه دارای بیشترین ارزش زمین و خیار، گندم و جو دارای کمترین ارزش اقتصادی هستند. بالابودن عملکرد در واحد سطح و سود خالص از مهم‌ترین عوامل بالابردن ارزش زمین در محصولات کشاورزی است (Chouchane et al., 2015). پائین بودن قیمت گندم و جو و عملکرد در واحد سطح نسبت به سایر محصولات ارزش زمین را بسیار کاهش داده است. گزارش FAO (2014) نشان می‌دهد، پائین‌ترین میزان عملکرد گندم و جو در دنیا متعلق به ایران است که مهم‌ترین دلیل آن ناکافی بودن دانش فنی کشاورزان در تولید و سیستم نامناسب در توسعه‌ی کشت استراتژیک است. در جنوب ایران عملکرد گندم و جو بسیار پائین است و نیزا

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

آبی بالایی نسبت به میانگین کشور دارد و عملاً هیچ سودی برای کشاورز ندارد. مجموعه‌ای از عوامل نظیر شوری خاک، عمق سطح ایستابی، شوری آب زیرزمینی، تعداد آبیاری، مدیریت توزیع آب در مزارع وسیع و سایر مدیریت‌های زراعی در این امر دخالت دارند (Heydari and Absalan, 2015). از مهم‌ترین خطراتی که این اراضی را تهدید می‌کند، خطر بیابان‌زایی در دشت میناب است که با شور شدن اراضی و استخراج

بهینه‌سازی سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در شهرستان میناب

در مرحله بهینه‌سازی سطح زیر کشت در تمام دسته محصولات کشاورزی در دشت میناب میزان متوسط همه متغیرها شامل ردپا، سود، میزان تولید، میزان عملکرد و سطح زیر کشت را به‌طور متوسط حداقل و حداکثر براورد و با دو هدف حداکثر سازی سود و حداکثر سازی نسبت سود به ردپا بهینه‌سازی سطح زیرکشت را با استفاده از بهینه‌سازی خطی صورت می‌گیرد.

بهینه‌سازی سطح زیر کشت بر اساس حداکثر کردن سود

نتایج حاصل از بهینه‌سازی سطح زیرکشت برمبنای دو سناریوی مورد نظر در جدول (۴) ارائه شده است. براساس نتایج در سناریوی یک براساس حداکثرسازی سود، میزات تولید محصولات جالیزی ۹۸، سطح زیرکشت ۹۱، حجم آب مجازی ۱۰۰ درصد و میزان سود خالص ۸۸ درصد کاهش می‌یابد در خصوص محصولات علوفه‌ای نیز بطور متوسط تمام متغیرها ۱/۴۷ درصد کاهش می‌یابد. براساس سناریوی حداکثر سازی سود، محصولات روغنی نیز به‌طور متوسط کاهش ۲۵ درصدی در تولید، سطح زیرکشت دیده می‌شود اما تمام متغیرها در حبوبات و محصولات باغی به‌طور متوسط ۴۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. در کل، با اعمال سناریوی حداکثرسازی سود، سطح زیرکشت ۱۲ درصد کاهش و تولیدات کشاورزی ۶۱ درصد افزایش و حجم ردپای آب ۱۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. در سود خالص تغییربسیار جزئی (۵ درصد کاهش) دیده می‌شود (شکل ۴ الف). در این سناریو، با توجه به اینکه هدف افزایش سود بدون در نظر گرفتن امنیت غذایی است، افزایش محصولات باغی نظیر خرما و مرکبات، پیشنهاد شده است. نکته قابل توجه در شرایط حال حاضر در باغات میناب، روند کاهشی آن است که کشاورزان تمایل چندانی به توسعه‌ی آن ندارند. در واقع علاوه بر مشکل دسترسی به آب قابل اطمینان در طول سال برای آبیاری، مشکل مهم بعدی عدم برنامه-ریز صحیح دولت در خرید تضمینی مرکبات بویژه لیموست. سالانه هزاران تن از مرکبات این شهرستان با قیمت بسیار پائین توسط دولت خریداری و بدلیل عدم وجود صنایع تبدیلی در استان، به سایر استان‌ها صادر می‌گردد.

در سناریوی دوم با هدف افزایش نسبت سود به ردپا، سطح زیرکشت همه‌ی محصولات بجز صیفی‌جات (۶۴ درصد افزایش) و محصولات علوفه‌ای (۴۹ درصد افزایش) کاهش می‌یابد و با این الگوی کشت، میزان تولیدات کشاورزی ۸۰ درصد افزایش، میزان حجم ردپای آب ۱۰ درصد کاهش و سود خالص ۱ درصد کاهش می‌یابد. عمده سود خالص به‌دست آمده ناشی از کشت صیف‌جات بوده که سبب افزایش ۸۰ درصدی سود کاشت صیفی‌جات نسبت به وضع موجود می‌گردد. کاهش حجم ردپای آب در سناریوی دوم در کشت غلات تا ۳۷۱ درصد وحبوبات تا ۳۵۱ درصد است. در واقع سناریوی دوم بیشترین تاکید آن بر توسعه‌ی کشت صیفی‌جات و محصولات باغی است. در کل، با اعمال سناریوی دوم، سطح زیرکشت بدون تغییر، تولیدات کشاورزی ۷۹ درصد افزایش و حجم ردپای آب ۱۰ درصد کاهش نشان می‌دهد. در سود خالص تغییربسیار جزئی (۵ درصد کاهش) دیده می‌شود. شاید بتوان گفت، یکی از منطقی‌ترین برنامه بهینه‌سازی سطح زیرکشت با محصولات موجود توسعه‌ی کشت صیفی‌جات در شهرستان میناب است. چرا که باتوجه به خارج از فصل بودن آن نه تنها بخش زیادی از امنیت غذایی کشور را بهمراه سایر استان‌های جنوبی تامین می‌کند، بلکه بدلیل غالب بودن بارش‌ها در این فصل (پاییز و زمستان) سهم بارش مؤثر نیز بالا خواهد بود و به امنیت آبی نیز کمک شایانی خواهد کرد.

شکل (۴) نتایج حاصل از مقایسه‌ی دو سناریوی مورد استفاده نسبت به وضعیت موجود را مقایسه می‌نماید. براساس نتایج، شکل ۳ الف، سطح زیرکشت اولیه در سناریوی اول (حداکثرسازی سود) به نصف کاهش یافته در حالیکه در سناریوی دوم (حداکثرسازی سود نسبت به ردپای آب) سطح زیرکشت تغییر چندانی نیافته است. براساس شکل (۴ب)، ردپای آب در سناریوی اول تقریبا با حالت موجود تغییر چندانی نداشته، در حالیکه در سناریوی دوم به میزان ۱۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. در خصوص تغییرات درامد خالص در سناریوی اول نسبت به وضع موجود، ۵ درصد کاهش و در سناریوی دوم به میزان ۲ درصد کاهش یافته است و در مورد تولیدات کشاورزی شکل (۴ د) سناریوی اول و دوم به‌ترتیب سبب افزایش ۲/۵ و ۴/۹ برابر شده است.

جدول ٤- بهینه‌سازی سطح زیرکشت براساس سناریوهای مورد بررسی

Table 4- Optimization of cultivation area based on studied scenarios

	Group	Production	Area (ha)	VWF (MCM)	Net B(MUSD)
Current situation	Beans	0.94	112.7	0.4	0.5
	Horticulture	92.24	9073.8	133.7	119
	Oil	0.38	78	0.8	0.2
	Fodder	4.4	76	0.5	0.7
	Cereal	0.67	228.6	1.3	0.5
	Cucumber	77.19	2774.1	20.2	26.7
	Total	176.15	12377.3	156.9	147.7
Scenario1	Beans	2.76	300	2	1.4
	Horticulture	105.71	9810.5	171.6	136.4
	Oil	0.32	50	0.8	0.2
	Fodder	1.74	30	0.2	0.3
	Cereal	2.19	750	5.9	1.5
	Cucumber	0.78	30	0.2	0.3
	Total	113.4	10970.5	180	140
Scenario2	Beans	0.4	25	0.5	0.23
	Horticulture	133.7	7057.25	119	76.04
	Oil	0.8	50	0.2	0.32
	Fodder	0.5	150	0.7	8.7
	Cereal	1.3	6	0.5	0.02
	Cucumber	20.2	5079	56.7	132.01
	Total	156.9	12367.3	147.6	217.33

VWF (MCM): Volume of water footprint based on Million m^3 and Net B: Net benefit

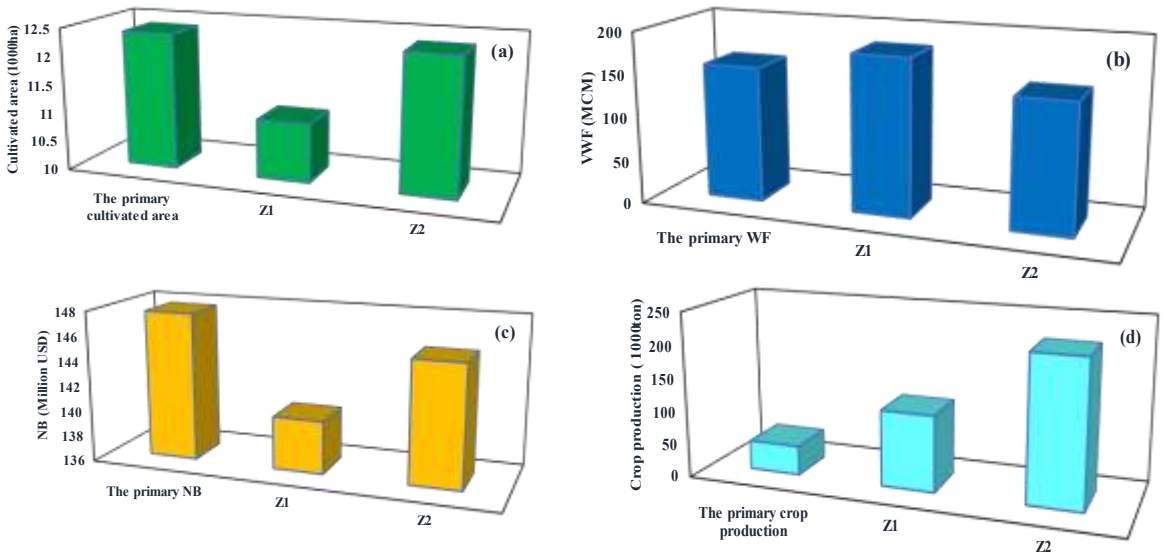


Fig. 4 Results of changes in studied variables optimization scenarios

شکل ٤- نتایج تغییرات متغیرهای مورد بررسی در سناریوهای بهینه‌سازی

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بهینه‌سازی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با رویکرد ردپای آب است. بیشترین عملکرد مربوط به دسته محصولات علوفه‌ای و صیفی‌جات و کمترین عملکرد مربوطه به محصولات زراعی (گندو و جو) است. بالابودن عملکرد محصولات زراعی فارغ از نیاز آبی، تأثیر قابل توجهی در کاهش ردپای آب و افزایش ارزش اقتصادی آب دارد. از طرفی با توجه به دوره‌ی کشت، بیشترین میزان بارش مؤثر مربوط به دسته محصولات محصولات زراعی و کمترین مربوط به دسته محصولات روغنی و علوفه‌ای می باشد، لذا در این گروه‌ها تمام نیاز آبی گیاه توسط آب آبی تأمین می شود و در دوره رشد محصول، تقریباً بارش سبز وجود ندارد. این وضعیت به این دلیل است که دوره رشد این

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

محصولات از تیرماه تا مهر است و عموماً در جنوب ایران در این دوره بارش چندانی وجود ندارد. لذا همین عامل سبب افزایش ردپای آب آبی در این محصولات می‌شود.

نتایج بررسی ردپای کل آب نشان می‌دهد که محصولات باغی بیشترین و محصولات علوفه‌ای کمترین میزان ردپای آب را دارند. با توجه به سطح زیرکشت و تولید بالای محصولات باغی و جالیزی (که سهم عمده‌ای از کشت منطقه میناب را تشکیل می‌دهند)، حجم آب مجازی مصرفی در این گروه‌ها نیز بسیار بالا است. به همین دلیل، به‌کارگیری روش‌های بهینه مدیریت در مراحل کاشت، داشت و برداشت و استفاده از گونه‌های اصلاح‌شده به‌ویژه در نخیلات و مرکبات، می‌تواند به کاهش ردپای آب و بهبود ارزش اقتصادی آن کمک معنی‌داری می‌کند.

مقایسه دو سناریوی بهینه‌سازی نشان داد، در سناریوی اول (حداکثرسازی سود): سطح زیرکشت تا نصف کاهش یافت، ولی ردپای آب تقریباً بدون تغییر ماند و درآمد خالص ۵٪ کاهش یافت. در سناریوی دوم (حداکثرسازی نسبت سود به ردپای آب): سطح زیرکشت تقریباً ثابت ماند، اما ردپای آب ۱۱٪ کاهش و تولید کشاورزی حدود ۴.۹ برابر افزایش یافت. درآمد خالص در این سناریو تنها ۲٪ کاهش نشان داد. این سناریو با افزایش چشمگیر تولید و کاهش قابل توجه ردپای آب به بهبود همزمان امنیت آبی و غذایی منجر می‌شود.

در نهایت پیشنهاد می‌شود، با توجه به محدودیت آب و زمین موجود در منطقه، در کنار سناریوهای مورد استفاده با وارد کردن قیود آب و زمین، تأثیر آن را بر بهینه‌سازی سطح زیرکشت، ردپای آب و سود و تولید سنجید.

سپاسگزاری

نویسندگان این تحقیق از جهاد کشاورزی، سازمان آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان هرمزگان برای فراهم نمودن داده‌های تحقیق، نهایت تشکر و قدردانی را اعلام می‌دارد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند

منابع مالی

نویسنده (نویسندگان) هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: ندا روح‌الامینی: جمع‌آوری داده، نگارش مقاله، تجزیه و تحلیل داده

نویسنده دوم: ام‌البنین بذرافشان: بررسی نتایج، تجزیه و تحلیل نتایج، بازبینی و ویرایش انتقادی مقاله.

نویسنده سوم: علیرضا نفرزادگان: روش تحقیق.

References

1- Aligholinia, T., Ghorbani, K., Rezaie, H., & Ghorbani Nasrabad, G., 2021. Optimization of Crop Pattern Based on Water Footprint Index in Different Climates of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(1), pp66-53. DOI: 10.22059/IJSWR.2020.300709.668574.

2- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A. and Jensen, M.E., 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, *98*(6), pp.899-920. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.12.015.

3- Anand, S., Kaur, K., Kaur, S. and Kataria, P., 2024. From Drop to Delta: Optimizing Water Footprint for Food Security. *Journal of Scientific Research and Reports*, *30*(4), pp.205-217. DOI: 10.9734/JSRR/2024/v30i41906.

4- Babazadeh, H. and Saraei Tabrizi, M., 2012. Assessing the agricultural situation of Hormozgan province from the perspective of virtual water. *Water research in agriculture*, *26*(4), pp.499-485. (In Parsian).

5- Bazarfshan, O., Yahyazadeh, M., Jamshidi, S. and Zamani, H., 2022. Spatial prioritization of tomato cultivation based on water footprint, land productivity, and economic indices. *Irrigation and Drainage*, *71*(5), pp.1363-1378. DOI: 10.1002/ird.2725.

6- Bazrafshan, O., & Gerkaninezhad Moshizi, Z., 2018. The Impacts of Climate Variability on Spatiotemporal Water Footprint of Tomato Production in The Hormozgan. *Water and Soil*, *32*(1), pp29-43. (In Persian). DOI:10.22067/jsw.v32i1.68792.

7- Bazrafshan, O., Chashmberahm, A., & Holisaz, A., 2017. Evaluation of time series models in forecasting pan evaporation in different climates of Hormozgan province. *Watershed Engineering and Management*, *9*(3), pp250-261. DOI:10.22092/ijwmse.2017.112321.

8- Bazrafshan, O., Vafaei, K., Ramezani Etedali, H. Zamani, H., 2024. Economic analysis of water footprint for water management of rain-fed and irrigated almonds in Iran. Irrigation Science, 11(4): pp1-25. DOI: 10.1007/s00271-023-00861-y.

9- Bazrafshan, O., Zamani, H., Etedali, H. R., Moshizi, Z. G., Shamili, M., Ismaelpour, Y., & Gholami, H., 2020. Improving water management in date palms using economic value of water footprint and virtual water trade concepts in Iran. Agricultural Water Management, 229, pp105-141. DOI: 10.1016/J.AGWAT.2019.105941.

10- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y., 2003. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products (Vol. 13). Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE.

11- Chouchane, H., Hoekstra, A. Y., Krol, M. S., & Mekonnen, M. M., 2015. The water footprint of Tunisia from an economic perspective. Ecological indicators, 52, 311-319. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.12.015.

12- Dehghanpir, S., Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Holisaz, A., & Ababaei, B., 2023. Application of the water footprint concept in the assessment of water scarcity and water stress in the agricultural sector in Hormozgan Province. *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(1), pp233-248. DOI: 10.22098/MMWS.2023.12116.1206.

13- FAO., 2014. The State of Food and Agriculture, Innovation in family farming. FAO Press, Rome.

14- Heydari, N., & Absalan, S., 2015. Limitations and Agronomic Approaches for Enhancing Wheat's Water Use Efficiency in the Azadegan Plain of Khuzestan Province. *Water Management in Agriculture*, *1*(2), pp39-54.

15- Hoekstra, A. Y., 2003. Virtual water: An introduction. Virtual water trade, Delpht, Netherland.

16- Hoekstra, A. Y., 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge, London, Washingtion.

17- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. 2005. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. Global environmental change, 15(1), pp45-56. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004.

18- Li, M., Fu, Q., Singh, V.P., Liu, D., Li, T., and Zhou, Y., 2020. Managing agricultural water and land resources with tradeoff between economic, environmental, and social considerations: A multi-objective non-linear optimization model under uncertainty. Agricultural Systems 178: 102685. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.102685.

19- Mahdavi, M., Zarifian, S., Mohammad Rezaei, R., and ShamAbadi, M. A., 2014. Factors affecting the consumption of dates to enter the world market (Study: Hormozgan and Fars provinces). *Commercial Surveys*, *11*(63), 74-84 (In Persian).

20- Mojtabavi, S. A., Shokoohi, A., Ramezani Etedali, H., & Singh, V., 2018. Using regional virtual water trade and water footprint accounting for optimizing crop patterns to mitigate water crises in dry regions. Irrigation and drainage, 67(2), pp295-305. DOI:10.1002/ird.2170.

21- Moshizi, Z. G. N., Bazrafshan, O., Etedali, H. R., Esmaeilpour, Y., & Collins, B., 2023. Application of inclusive multiple model for the prediction of saffron water footprint. *Agricultural Water Management*, *277*, pp108-125. DOI: 10.1016/j.agwat.2022.108125.

22- Nasseri Nejad, H., Akhond Ali, A. M., Sharifi, M. R., & Haghizadeh, A., 2023. Approach evaluation of the role of Dry lands development in water management optimization and planning. *Irrigation Sciences and Engineering*, *45*(4), pp117-130. DOI: 10.22055/JISE.2019.17207.1787.

23- Osman, H., Ammar, M., & El-Said, M., 2017. Optimal scheduling of water network repair crews considering multiple objectives. Journal of Civil Engineering and Management, 23(1), pp28-36. DOI: 10.3846/13923730.2014.948911.

24- Ramezani Etedali, H., Ahmadaali, K., Gorgin, F., & Ababaei, B., 2019. Optimization of the cropping pattern of main cereals and improving water productivity: application of the water footprint concept. Irrigation and Drainage, 68(4), pp765-777. DOI:10.1002/ird.2362.

25- Rastegar, S., Rahemi, M., Baghizadeh, A., & Gholami, M., 2012. Enzyme activity and biochemical changes of three date palm cultivars with different softening pattern during ripening. Food chemistry, 134(3), pp1279-1286. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.208.

26- Shirshahi, F., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N., & Khaledian, M. R., 2021. Optimization of Water Allocation and Optimal Cropping Pattern in Irrigation and Drainage Network of Ghazvin Plain. *Irrigation Sciences and Engineering*, *44*(3), pp103-116. doi: 10.22055/JISE.2019.26934.1788.

27- Sullivan c., 2002. Calculating a water poverty index. *World development*, 30(7): pp1195-1210. DOI: 10.1016/S0305-750X(02)00035-9.

28- Yahyazadeh, M., bazrafshan, O., & Esmaeilpour, Y., 2021. Assessing Spatio-temporal Changes of Ecological Water Footprint and Economic Value of Water in Tomato production at Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(6), pp2047-2059. DOI: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.6.7.

29- Zeinadini, S., Anvari, S., & Zahmatkesh, Z., 2019. Investigation of Water Allocation Conditions in Aharchay Basin under Climate Change Impacts. *Irrigation Sciences and Engineering*, *42*(4), pp195-210. DOI:10.22055/jise.2018.23237.1648.

30- Zhang, D., Li, D., Li, H., Wang, H., Liu, J., Ju, H., ... & Li, Y., 2022. Strategies to reduce crop water footprint in intensive wheat-maize rotations in North China Plain. Agronomy, 12(2), pp357-380. DOI:10.3390/agronomy12020357

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 67-83
Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Vocabulary Collocation in Water Science Articles in Scopus and Web of Science Databases from 2011 To 2021

S. Ghaffari[1*], N. Yazdani Khouzani[2] and M. Bakhtiari[3]

1- Corresponding Author, Associate Professor and Member of the Academic Staff of the Department of Information Science and Epistemology, Payame Noor University Tehran, Iran.(sghaffari@pnu.ac.ir).*
2- Master's degree in Information Science and Epistemology from Payam Noor University of Qom.
3- Assistant professor and Member of the Academic Staff of the Department of Accounting Science, Payame Noor University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 24 December 2023
Revised: 24 February 2024
Accepted: 26 February 2024

Keywords:
Vocabulary collocation, water domain, Scopus database, web of science database.

TO CITE THIS ARTICLE:

Ghafari, S., Yazdani Khouzani, N., Bakhtiari, M. (2025). 'Vocabulary Collocation in Water Science Articles in Scopus and Web of Science Databases from 2011 To 2021', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 67-83. doi: 10.22055/jise.2024.45625.2111.

Introduction

Currently, one of the criteria for determining the scientific ranking/status of countries and the basis of their development in various fields is the amount of their scientific publications and their application by researchers. One of the traditional methods for measuring and evaluating scientific productions is scientometrics. In a general view, scientometrics can be considered as an essential part for evaluating the scientific productions of any specialized field (Karimpour, 2016). Iran has a very good capacity for agriculture with agricultural lands and suitable weather and climate. Therefore, agriculture in Iran is known as the axis of development, as the axis of agricultural development is water. Water plays a vital role in human societies and is one of the infrastructures for the development of economic sectors, and it is also significant in Iran from various dimensions (Heydari, 2014). The current research aims to analyze the synonyms of water science articles in Scopus and Web of Science databases during the years 2011 to 2021.

Research questions

What is the shape of the keywords of water science articles in Scopus and Web of Science databases in the period from 2011 to 2021? What are the emerging keywords in the field of water science in Scopus and Web of Science databases between 2011 and 2021? What are the core keywords in the field of water science in Scopus and Web of Science databases in the period from 2011 to 2021? What is the network structure of core subjects of water science articles in Scopus and Web of Science databases in the period from 2011 to 2021? What are the subject clusters of water science articles in the Scopus and Web of Science databases in the period from 2011 to 2021? What is the structure of the indexed keywords of articles in the field of water science in the Scopus and Web of Science databases in the period from 2011 to 2021?

Methodology

The method of the present research is co-occurrence analysis of words with a scientific approach. In this method, by analyzing the words used in articles and other scientific texts, it becomes possible

to draw a conceptual map of science in each of the fields of knowledge. This method is based on the idea that the occurrence of words in a document shows that those words are related and that a major part of the content of the document is related to those words. Therefore, if we measure the rate of this co-occurrence, we can draw the concept network of a scientific field. In this method, to measure the degree of connection between entities, indexes are made based on the frequency of co-occurrence, and based on these indexes, entities are clustered in groups and displayed in the form of a network and analyzed. As mentioned, this method is based on the measurement of important and common words and phrases in scientific texts. Based on this, in the present research, first, in order to determine the most important external keywords, the scientific data of the field of water sciences takes the highest frequency of occurrence as a criterion, and in order to analyze the co-occurrence of words in this field, a list of words with the highest frequency of occurrence will be prepared. The data needed for this research were extracted from O Science and Scopus. The reason for choosing OScience and Scopus is its global acceptance in terms of topical and temporal coverage of a wide range of publications around the world, as well as the basic facilities and capabilities of this database in searching, classifying and displaying results.

Research community

The current research community includes 32,849 records of the scientific outputs of researchers in the field of water science indexed in the Web of Science and Scopus during the years 2011 to 2021, which were collected and stored in June 1402.

Fnding

According to Table (1), in this research, in total, 312920 keywords have been assigned to Scopus and Web of Science databases by the authors and the database index, among which two-word compound keywords are the most frequent. After that, there are three-word and simple keywords with a big difference so that 52.13 percent are two-word compound keywords, 20.91 percent are three-word compound words, and only 12.31 percent of keywords are simple words.

Table 1- The shape of the keywords of water related articles in the Scopus and Web of Science databases in terms of simplicity and complexity.

Keyword form	Simple keyword	Compound keyword			Total
		Two words	Three words	More than three words	
Abundance	38589	163177	65500	45652	312920
Percent	12.31	52.13	20.91	15.57	100

Discussion

In this research, the shape of the author's keywords and the indexed keywords of water related articles in the Scopus and Web of Science databases were examined in terms of simple and complex and the number of keywords and it was determined that compound words were used more than simple words in the author and indexed keywords of the Scopus database as well as the author keywords of the Web of Science database. Therefore, in all these cases, more than 80% of the keywords were composed of compound words, among which two and three word expressions were used the most. After that, two four-word phrases and single-word keywords were used the most. Therefore, it can be concluded that the authors and indexer of the Scopus database have found two and three word expressions to be better descriptors for the text content of the articles, and the need to use more words to express the content of the text was not felt. This is despite the fact that the form of the keywords in the keywords indexed in the Web of Sense database is different, and most of the used keywords are simple and then two-word compound. This research is consistent with the research by Karimpour (2016) and Jacobs (2014). The average number of words used in the keyword for the author's keywords of the Scopus database is 2.58 words, the indexed keywords of the Scopus database are 2.39 words,

the keywords of the author of the Web of Science database are 2.59 words and for the keywords indexed by Web of Science database is 1.87 words. In general, it can be concluded that two- and three-word expressions are considered better descriptors for the content of the text.

In the present research, by examining the topics and keywords of the author and indexed in the Scopus and Web of Science databases, the following results were obtained: More than 80% of the keywords assigned to water articles are two-word or three-word compound words. • The average number of the author's keywords in both databases is 60, the average number of indexed keywords in both databases is 15, and the total average of the author's and indexed keywords in both databases is 2.36. The words *heavy metals, gradual analysis (erosion), water structures, wastewater treatment,* and *artificial neural networks* also had the highest degree of centrality, and this means that these words have the least distance in connection and connection with other words in the field of "water" and are directly connected to other nodes with fewer intermediaries. Also, the words *water resources, climate change,* and *water management* had the highest degree of centrality; That is, they have the best position to establish communication with other groups, and in this way, these words are the connecting factor of many words in the synonymy network of the "water" field, and in fact, their absence will cause a disconnection between two or more words.

Acknowledgment

This research has no acknowledgments.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

First Author: Saeid Ghafari, Initial writing of the article, final review of the article.
Second Author: Neda Yazdani, Khouzani, Writing and editing the article, analyzing data, reviewing the results.
Third Author: Masood Bakhtiari, Article writing.

References

1- Heydari, N., 2014. Assessment of agricultural water productivity (WP) in Iran, and the performance of water policies and plans of the government in this regard. *Majlis and Rahbord, 21*(78), pp.177-200.

2- Jacobs, I.M., Pouris, A. and Naidoo, D., 2014. A scientometric examination of the performance of water research in South Africa. *Water SA, 40*(4), pp.631-638. DOI: 10.4314/wsa.v40i4.8

3- Karimpour, Z. 2016. Visualization and synonym analysis of scientific outputs in the field of water engineering and determining the position of Iran in this field, in the Web of Science database. Master's thesis. Information science and epistemology. Faculty of Education and Psychology. *Chamran martyr of Ahvaz University.*

© 2025 Shahid Chamran Universiry 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۸۳-۶۷

تحلیل هم‌واژگانی مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱

سعید غفاری[1*]، ندا یزدانی خوزانی[2] و مسعود بختیاری[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیارعلم اطلاعات ودانش شناسی،دانشگاه پیام نور،تهران،ایران sghaffari@pnu.ac.ir

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد علم اطلاعات ودانش شناسی دانشگاه پیام نور قم.

۳- استادیار،گروه حسابداری،دانشگاه پیام نور،تهران،ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷

چکیده

هدف از انجام پژوهش حاضر تحلیل هم‌واژگانی مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس طی سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ است. پژوهش حاضر از نوع کاربردی است و با استفاده از روش‌های تحلیل هم رخدادی واژگان، و تحلیل شبکه‌های اجتماعی انجام و به تحلیل کلیدواژه‌ها و شناسایی موضوعات پرکاربرد حوزه آب پرداخته است. جامعه پژوهش شامل ۳۲۸۴۹ مقاله موجود در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آو ساینس در حوزه علوم آب در طی سال‌های۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ است. از روش سرشماری استفاده شد و کل جامعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل و آماده‌سازی داده‌ها از نرم‌افزارهای اس.پی.اس.اس، یو سی آی نت، اکسل، و پریمپ استفاده شد. یافته‌ها نشان داد بیش از ۸۰ درصد از کلیدواژه‌های تخصیصی به مقالات حوزه آب کلمات مرکب دوکلمه‌ای یا سه‌کلمه‌ای هستند. نتایج : در نهایت میانگین تعداد کلمات کلیدواژه‌های مؤلف در هر دو پایگاه ۲/۵۸، میانگین تعداد کلمات کلیدواژه‌های نمایه شده در هر دو پایگاه ۲۰۱۳ و میانگین کل کلیدواژه‌های مؤلف و نمایه شده در هر دو پایگاه برابر با ۲/۳۶ است.

کلیدواژه‌ها: هم واژگانی، حوزه آب، پایگاه اسکوپوس، پایگاه وب اوساینس.

مقدمه

امروزه پیدایی آلودگی و انفجار اطلاعات موجب رواج علم سنجی با هدف مدیریت مطلوب انبوه اطلاعات به وجود آمده و در حال افزایش شده است. در این راستا متخصصان علم سنجی به خلق شاخص‌ها و ابزارهای سنجش کمّی و کیفی پرداختند تا زمینه‌ساز رتبه‌بندی بروندادهای علمی دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی شوند. یکی از این روش‌ها ترسیم نقشه علمی بروندادهای یک یا چند حوزه تخصصی است که به ارزیابی بروندادهای علمی هم به لحاظ تاریخی و هم به سبب کشف موضوع‌ها و روابط بین نویسندگان آن‌ها می‌پردازد. از میان حوزه‌های تخصصی مورد توجه در عصر حاضر و خصوصاً در کشور ایران، می‌توان به حوزه علوم آب اشاره کرد (Shokriehzadeh et al., 2017).

در حال حاضر یکی از معیارهای تعیین جایگاه علمی کشورها و اساس توسعه آن‌ها در حیطه‌های مختلف، میزان تولید علم و دانش، توسط پژوهشگران آن‌ها و همچنین استفاده و کاربردی کردن آن علم است. یکی از روش‌های سنتی برای سنجش و ارزیابی تولیدات علمی، علم‌سنجی است. در یک نگاه کلی علم‌سنجی را می‌توان به‌عنوان بخشی ضروری برای ارزیابی تولیدات علمی هر حوزه تخصصی در نظر گرفت (Karimpour, 2016).

کشور ایران، با داشتن اراضی کشاورزی و آب و هوا و اقلیم مناسب، ظرفیت بسیار خوبی برای کشاورزی دارد. از این رو کشاورزی در ایران به‌عنوان محور توسعه شناخته شده است چنان‌که محور توسعه کشاورزی، آب است. آب نقشی حیاتی و محوری در جوامع بشری ایفا می‌کند و از زیرساخت‌های توسعه بخش‌های اقتصادی است و در ایران نیز از ابعاد گوناگون قابل توجه است (Heydari, 2014). از این رو، تحقیق حاضر درصدد است تا به تحلیل هم‌واژگانی مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ بپردازد.

آب دارای اهمیت و جایگاه ویژه‌ای در زندگی انسان می‌باشد و یکی از عوامل اصلی و مهم در توسعه کشور خصوصاً بخش کشاورزی می باشد. ۹۷ درصد آب روی زمین، آب شور و فقط سه درصد آن، آب شیرین است. حجم آب موجود بر روی کره زمین همواره ثابت بوده و هست. زندگی تمامی موجودات زنده مانند انسان‌ها، جانوران و گیاهان به‌طور مستقیم به آب وابسته است. آب نه تنها برای مصارف آشامیدن وکارهای روزمره کاربرد دارد بلکه برای حل مشکلات صنایع وکاربردهای کشاورزی نقش اصلی وعمده را دارد. لفظ آب که معادل عربی آن «ماء» ۶۳ بار در قرآن آمده است، این آیات اشاره دارند که عرش خداوند بر روی آب بوده و حیات همه جان‌داران به آب وابسته است و نیز از نقش‌های گوناگون آن در زمین از احیای زمین، سرسبزی طبیعت، رویش گیاهان رنگارنگ، پیدایش مراتع، مزارع و باغ‌ها با درختان مختلف و انواع گوناگون میوه‌ها، سخن رفته است. به نزول آب بر کوه‌های بلند و تأمین آب گوارای آشامیدنی، ایجاد نهرها و رودهای

بزرگ و تسخیر آب دریاها برای انسان نیز اشاره شده است. با نظر به نقش حیاتی آب در جوامع بشری و به خصوص کشوری نظیر ایران که از جمله مناطق کم آب محسوب می‌شود، صنعت آب را در آن باید در زمره صنایع مادر، و کار پژوهشی در این حوزه را یکی از گام‌های مؤثر در کمک به استفاده بهینه از منابع آب به حساب آورد (Karimpour, 2016).

بنا بر آنچه گفته شد، پژوهش در حیطه‌های مرتبط به علوم آب، هرچند که دارای سهم اندکی باشد، در راستای مصرف بهینه منابع آب و به‌کارگیری آن در مسیر توسعه و آبادانی هر چه بیشتر کشور، یاری‌رسان است. در تعامل کاربران اجتماعی با متون علمی پژوهش‌های تغییرات آب و هوا و استناد به آن، شبکه ای متشکل از دو گروه متن شکل می‌گیرند: متون علمی، که برونداد‌های رسمی پژوهشی در قالب مقاله هستند و به شکل متن کامل، عنوان و چکیده در پایگاه‌های اطلاعاتی بازنمون می‌شوند و متون اجتماعی که در واکنش به این مقاله‌ها تدوین می‌شوند و از طریق خدمات مختلف از جمله آلتمتریک در دسترس قرار می‌گیرند. هر دو گروه دارای محتوا، مفاهیم و اندیشه‌هایی است که با واژگان بیان می‌شوند (Hazeri et al., 2015). نکته مهم این است که دایره واژگان مقاله‌ها پس از نگارش پایان می‌پذیرد، اما می‌تواند در میان برچسب‌ها، نظرات و پست‌هایی که خوانندگان درباره آن‌ها خلق می‌کنند؛ تداوم و پویایی یابد. از این رو، می‌توان دید که چگونه کاربران شبکه‌های اجتماعی واژگان مقاله را برای تبیین اندیشه‌ها، اعلام موضع، خبر پراکنی و جز آن به‌کار می‌بندند و هم از دانش خود در تبیین اندیشه‌ها و نقد و اظهار نظر درباره مقاله استفاده نموده و واژگانی نو را به آن می افزایند (Ahmadi and Osareh, 2017)

تحلیل هم‌واژگانی (Co-Word Analysis) یک روش تحلیل محتوایی است که به ارزیابی مقوله مورد نظر براساس دفعات تکرار واژگان کلیدی اسناد می‌پردازد. از آن‌جا که حجم تولید و نشر مقاله‌های علمی بسیار زیاد است دیگر نمی‌توان به تحلیل محتوای همه مقاله‌ها در زمینه پدیده مورد نظر پرداخت. تحلیل هم‌واژگانی یکی از روش‌های علم سنجی است که در دهه ۱۹۸۰ مطرح شد. این روش بر این فرض استوار است که استفاده از واژه‌های مشترک در دو یا مجموعه‌ای از متون نشان دهنده نزدیکی آن متن‌ها به همدیگر است. تحلیل هم‌واژگانی، با خلاصه‌سازی مدارک در واژه‌هایی قدرتمند و محاسبه رخداد و هم رخدادی، تشخیص دقیق‌تری نسبت به حوزه موضوعی ارائه می‌دهد و در کنار سایر تحلیل‌ها همچون تحلیل هم استنادی و هم نویسندگی، شاخصی مهم در علم‌سنجی است که در مطالعه شبکه مفهومی یا واژگانی یک حوزه، مهم ترین حوزه‌های پژوهشی برای شناسایی الگوهای پنهان و برجسته، روابط درونی و بیرونی مفاهیم، رویدادهای در حال ظهور، و سیاست‌گذاری علم و دانش به‌کار گرفته می‌شود (Sotudeh, 2018).

در تحقیق حاضر تحلیل هم‌واژگانی مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس طی سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ را مورد بررسی قرار داده‌ایم. تحلیل هم آیندی واژگان یک تحلیل هم رخدادی از دو یا بیشتر از دو واژه، در یک مدرک یا در مدارک مختلف است. واژه‌ها ممکن است: ۱- کلیدواژه‌ها یا ۲- واژه‌های متن باشند. تحلیل هم‌رخدادی کلید واژه‌ها معمولاً به معنی بررسی اصطلاحات نمایه می‌باشد که توسط خدمات نمایه‌سازی یا توسط پدیدآورندگان مدرک، به مدرک اختصاص داده شده است. از آنجا که پیشینه‌ای در حوزه علوم آب، با دیدگاه مورد نظر پژوهش حاضر دیده نشد و به عبارت دیگر، در پژوهشی به جایگاه ایران و پژوهشگران ایرانی در این حوزه به‌طور خاص، با روش‌شناسی و جامعه مورد نظر پژوهش حاضر پرداخته نشده بود و جای خالی چنین پژوهشی در کارنامه پژوهشگران ایرانی احساس می‌شود؛ پژوهش حاضر در نظر دارد به تحلیل هم‌واژگانی مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ بپردازد و بدین مسئله اساسی پاسخ دهد که وضعیت تولیدات علمی و مقالات حوزه علوم آب از نظر واژگان و کلیدواژه‌های تخصیص یافته، نوظهور، هسته‌ای و خوشه‌های موضوعی در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ چگونه است؟

امروزه اهمیت دانش در همه جنبه‌های علمی، صنعتی، اجتماعی و تصمیم گیری‌ها، به وضوح مشخص است. همچنین، با بهره‌گیری از ابزارها و وسایل تجزیه و تحلیل داده‌ها با روش علم سنجی امکان تعیین معیارهای رشد و توسعه علوم در سطوح گسترده و تأثیر آن در جوامع بشری فراهم آمده است؛ از سوی دیگر، آب عاملی مهم در حیات بشری است و نقش سرنوشت سازی در رشد اقتصاد و توسعه پایدار ایفا می‌کند. کمبود آب همانند یک بحران رو به گسترش در بیشتر کشورهای در حال توسعه موجب اتخاذ سیاست‌های مناسب آبیاری برای حفظ و نگهداری آن در جهت مصرف عقلانی منابع آب شده است؛ برای موفق شدن در این مسیر باید فنون جدید را آموخت و به‌کار گرفت. تحلیل هم‌واژگانی، ابزار قدرتمندی در ردیابی علوم است که از طریق آن می‌توان ساختار، مفاهیم، و مؤلفه‌های یک حوزه علمی را شناسایی کرد. همچنین پویایی علم و فناوری را به تصویر کشید. در سال‌های اخیر استفاده از این روش به‌عنوان جایگزینی برای مطالعه‌های هم استنادی در داخل و خارج از کشور، به‌طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. انجام پژوهش‌های متعدد با استفاده از این روش نشان از درک اهمیت تحلیل هم‌واژگانی در کشف، ترسیم روابط میان مفاهیم، جریان دانش و شکل‌گیری و ظهور حوزه‌های موضوعی جدید دارد. (Ahmadi et al., 2013). همچنین مقاله علمی به‌عنوان دستاورد پژوهشی از مقام و مرتبه‌ی مهمی برخوردار بوده و یکی از پر اهمیت‌ترین، بزرگترین و پیشترین راه‌های آگاهی، شناسایی و به روزترین پژوهش‌ها و تحقیقات هر حوزه

DOI: 10.22055/JISE.2024.45625.2111

علمی در پایگاه‌های اطلاعاتی هستند. از سویی دیگر، کلید واژه‌ها فشرده‌ترین اصطلاحاتی هستند که بیشترین ارتباط را با محتوای مقاله دارند و طبقه‌بندی کلید واژه امکان تجزیه و تحلیل روند تحقیق از موضوع و شناسایی پتانسیل‌ها را فراهم می‌آورد؛ در نتیجه انتخاب کلید واژه، یک معیار حیاتی از یک سیستم اطلاعاتی است. از این رو این تحقیق می تواند خوانندگان را در انتخاب کلید واژه‌های مناسب در حوزه علوم آب راهنمایی کند.

پرسش های پژوهش

- ✓ شکل کلیدواژه‌های مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱چگونه است؟
- ✓ کلید واژه‌های نوظهور در حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ کدامند؟
- ✓ کلیدواژه‌های هسته در حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی۲۰۱۱ تا۲۰۲۱ کدامند؟
- ✓ ساختار شبکه موضوعات هسته مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ چگونه است؟
- ✓ خوشه‌های موضوعی مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ کدامند؟
- ✓ ساختار کلیدواژه‌های نمایه شده مقالات در حوزه علوم آب در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آوساینس در بازه زمانی۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ چگونه است؟

Jacobs (2014) با هدف «بررسی علم سنجی از عملکرد تحقیقات آب در آفریقای جنوبی، با استفاده از شاخص‌های کتاب سنجی و ثبت اختراع تحقیقات و پروانه‌های ثبت اختراع در «حوزه منابع آب در آفریقای جنوبی را در پایگاه وب او ساینس» مورد بررسی قرار دادند. پژوهشگران دریافتند که سهم آفریقای جنوبی به سهم جهانی از مقالات مربوط به آب که در نشریات ISI نمایه شده است بیش از سه برابر رتبه دیگر رشته‌ها در این کشور است و اینکه آفریقای جنوبی در این حوزه در جهان رتبه ۱۹ را داشته است.

Ravikumar er al., (2015) پژوهشی با عنوان «نقشه برداری ساختار ذهنی علم سنجی تحلیل هم واژگانی مجله علم سنجی» با هدف نشان دادن موضوعات در حال ظهور، به‌منظور ترسیم نقشه ساختار فکری مقاله‌های منتشر شده در مجله علم سنجی بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰، انجام دادند. در مجموع ۹۵۹ مقاله از مجله علم سنجی از پایگاه اطلاعاتی اشپرینگر گردآوری شد. از این تعداد ۴۴ مقاله نامرتبط از مطالعه حذف و در نهایت ۹۱۵ مقاله برای تجزیه و تحلیل هم رخدادی واژگان باقی ماند. تجزیه و تحلیل داده‌ها در دوره ۲۰۰۷ – ۲۰۰۵ نشان داد که بیشتر پژوهش‌ها بر موضوعاتی از قبیل فرامتن فراپیوند تحلیل استنادی، تجزیه و تحلیل شبکه و تجزیه و تحلیل وب متمرکزند و برخی از موضوعات مانند تجزیه و تحلیل کلمات کلیدی و منابع وب در حاشیه قرار داشته و از سوی پژوهشگران کمتر مورد توجه واقع شدند.

Shen et al., (2017) پژوهشی باعنوان «وضعیت پژوهشی، نقاط قوت و روند پژوهشی رفتار اطلاعاتی در چین با استفاده از تحلیل کتاب سنجی و تحلیل هم واژگانی» انجام دادند. هدف این پژوهش تحلیل وضعیت و خروجی پژوهش رفتار اطلاعاتی در کشور چین به‌منظور نمایش الگوهای پژوهشی و روند پژوهش‌های رفتار اطلاعاتی چین است. نویسندگان به گردآوری مدارک مرتبط در ۲۹ سال گذشته ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ میلادی از پایگاه انتشاراتی شبکه نشریات دانشگاهی چین پرداخته و در مجموع ۳۸۷۳ مقاله بازیابی نمودند که پس از حذف برخی مقاله‌های نامرتبط در مجموع ۳۶۰۲ مقاله برای بررسی باقی ماند. از مقاله‌های مورد نظر ۱۳۳ کلیدواژه ای که بیش از ۱۰ بار فراوانی داشتند استخراج شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که بیشترین تولیدات علمی در حوزه رفتار اطلاعاتی در چین در سال ۲۰۱۵ میلادی با ۳۱۴ مقاله بوده و اولین مقاله در حوزه رفتار اطلاعاتی در این کشور مربوط به سال ۱۹۸۷ میلادی بوده است تعداد مقاله‌های حوزه رفتار اطلاعاتی از سال ۱۹۸۷ میلادی به بعد روند صعودی داشته و شبکه همکاری بین نویسندگان از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ میلادی رو به افزایش گذاشته است.

Kulak (2019) پژوهشی با هدف «بررسی مقاله‌های پژوهشی و مروری منتشر شده طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۷ با موضوع استرس آب و اسانس روغن به روش کتاب سنجی» انجام دادند. تعداد ۱۲۹ نشریه معتبر طی ۲۵ سال گذشته در پایگاه اسکوپوس شناسایی و مقاله‌های بازیابی شده با استفاده از نرم‌افزار ووس ویور (VOSviewer) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. براساس تعداد یافته‌ها، ایران در زمینه انتشار مقاله‌های این حوزه فعال‌ترین کشور بوده و پس از آن کشورهای و ایالات متحده قرار دارند. توزیع فراوانی نویسندگان و تعداد انتشارات آن‌ها با قانون لوتکا مطابقت داشت. نتایج بیشتر نشان داد که خانواده گونه‌های ریحان و مریم گلی بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

Karimpour (2016) در پژوهش خود به «بررسی دیداری سازی اطلاعات برون دادهای علمی حوزه مهندسی آب نمایه شده در وب علوم به‌منظور قابل درک ساختن ساختار دانش آن طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵» پرداخت. یافته‌های پژوهش او نشان داد که میانگین متوسط نرخ رشد برون دادهای علمی حوزه مهندسی آب سیر صعودی داشته و برابر با ۷۵/۱۳ درصد است و بیشترین تعداد برون دادهای علمی مورد بررسی مربوط به نه سال پایانی، یعنی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ بوده است. نقشه هم واژگانی حوزه مهندسی آب با کمک نرم‌افزار

ووس ویور (VOSviewer) نشان داد که واژگان این قلمرو از چهار خوشه موضوعی تشکیل شده اند و در هر یک از خوشه‌ها به‌ترتیب تعداد ۴۴۳، ۳۸۷، ۲۶۶ و ۱۷۷ واژه قرار دارد و در مجموع شامل ۱۲۷۳ واژه است. این خوشه‌ها در چهار موضوع به نام‌های هیدرولوژی و هواشناسی، منابع آب، آب و محیط زیست و آبیاری و زهکشی قرار گرفتند که از موضوعات مهم این قلمرو هستند و هنوز رشد آن‌ها متوقف نشده است. هم چنین واژه‌های منابع آب تغییرات آب و هوا، و مدیریت آب، از برترین واژگان مطرح هستند.

Mansour Kiyaei et al. (2018) با هدف «ارزیابی میزان اشاعه مقالات علمی پژوهشگران علم اطلاعات و دانش شناسی جهان در شبکه‌های اجتماعی مختلف چون گوگل پلاس ویکی پدیا، وبلاگ فیس‌بوک، سایت یولایک، توییتر، آکادمیا، مندلی و ریسرچ گیت»، دریافتند که شبکه‌های اجتماعی پیوسته قادر به ایفای نقش به‌عنوان اشاعه دهندگان اطلاعات علمی بوده و دشواری‌های اشاعه اطلاعات به شیوه سنتی را ندارند. بیشترین میزان اشاعه مقالات در شبکه‌های اجتماعی مربوط به شبکه اجتماعی علمی ریسرچ گیت است.

Rahimi (2019) در پژوهشی به مطالعه «تحلیل نفوذ علم در جامعه با استفاده از شاخص‌های دگرسنجی و تحلیل هم‌واژگانی: مطالعه موردی پژوهش‌های تغییرات آب و هوا» پرداخت. یافته‌ها نشان داد که شدت نفوذ اصطلاحات از متون علمی به متون اجتماعی، در سطح متوسط و مقدار میانگین نفوذ برابر با ۲۷ درصد می‌باشد. به لحاظ میزان نفوذ اصطلاحات از متون علمی به متون اجتماعی، اسناد سیاست‌گذاری، ویکی پدیای انگلیسی و وبلاگ‌ها رتبه‌های اول تا سوم را دارا هستند. در مجموع یافته‌ها نشان داد که اصطلاحات و مفاهیم متون علمی، در وبلاگ‌ها و اسناد سیاست گذاری بیش از سایر متون اجتماعی دیده می شوند.

Araghizadeh و Kameli (2023) در مقاله‌ای به «ترسیم قلمرو و خوشه‌بندی پژوهش‌های بین‌المللی در حوزه حفاظت از زیر ساخت‌های حیاتی بر اساس تحلیل هم واژگانی مقالات نمایه شده در پایگاه وب آو ساینس پرداختند. یافته‌های پژوهش حاضر حاکی از آن بود که موضوع حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی به‌عنوان علمی میان رشته‌ای و نسبتاً جدید، حوزه‌های بسیار متنوعی از موضوعات را ذیل خود قرار می‌دهد. اما مهمترین موضوعاتی که در حال حاضر پژوهش‌های بین‌المللی روی آن‌ها صورت می‌پذیرد موضوعاتی چون «منابع و محصولات کلیدی»، «فضای سایبر و بانکداری»، «اثرات آبشاری»، «سامانه‌های کنترل صنعتی»، «اسکادا»، «حملات سایبری»، «تروریسم» و «امنیت منابع آب و غذا» می باشد.

Makkizadeh و Rohani Marvasti (2022) در مطالعه ای به «تحلیل هم واژگانی قلمرو مطالعاتی سلامت زنان» پرداخت. نتایج تحلیل نمودار راهبردی نشان داد که «خوشه‌های «رفتار سلامت»، «یائسگی (هورمون درمانی)»، «رفتارجنسی و ایدز»، «سلامت روان مادران» و «سیاست‌گذاری ارتقاء سلامت» جزو خوشه‌های در حال ظهور یا زوال می‌باشند. خوشه‌های «عوامل مؤثر در بروز بیماری‌های زنان»، «عوامل اقتصادی– اجتماعی و وضعیت سلامت»، «عوارض و مراقبت‌های دوران بارداری» و «خدمات بهداشتی» جزء خوشه های مرکزی بوده، لکن توسعه نیافته است. همچنین برخی موضوعات مرتبط و مهم با سلامت زنان مانند سلامت اجتماعی، سلامت معنوی، زنان شاغل، ناباروری و سقط جنین تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته اند.

روش تحقیق

روش پژوهش حاضر، تحلیل هم رخدادی واژگان با رویکرد علم سنجی است. در این روش با تحلیل واژگان به‌کار رفته در مقالات و سایر متون علمی، ترسیم نقشه مفهومی علم در هر یک از حوزه‌های دانش میسر می‌شود. این روش بر پایه این ایده استوار است که با هم آمدن واژگان در یک مدرک نشان می‌دهد که آن واژه‌ها با هم ارتباط داشته و بخش عمده‌ای از محتوای مدرک با آن واژه‌ها مرتبط است. لذا اگر میزان این هم رخدادی را اندازه گیری کنیم، می توانیم شبکه مفاهیم یک زمینه علمی را ترسیم کنیم. در این روش برای اندازه‌گیری میزان ارتباط میان موجودیت‌ها نمایه‌هایی بر اساس بسامد هم‌رخدادی ساخته می‌شود و براساس این نمایه‌ها، موجودیت‌ها در گروه‌هایی خوشه‌بندی و به شکل شبکه نمایش داده می‌شوند و مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

همان‌طور که اشاره شد این روش بر پایه اندازه‌گیری واژگان و عبارات مهم و مشترک در متون علمی استوار است. بر این اساس در پژوهش حاضر ابتدا به‌منظور تعیین مهمترین کلیدواژه‌های برون داده‌های علمی حوزه علوم آب، بیشترین بسامد رخداد به‌عنوان معیار در نظر گرفته و به‌منظور تحلیل هم رخدادی واژگان این حوزه، فهرست مورد نظر از واژگان دارای بیشترین بسامد رخداد تهیه خواهد شد. داده‌های مورد نیاز این پژوهش از پایگاه وب او ساینس و اسکوپوس استخراج شدند. علت انتخاب پایگاه وب او ساینس و اسکوپوس مقبولیت جهانی آن از لحاظ پوشش موضوعی و زمانی بخش گسترده‌ای از انتشارات سراسر دنیا و نیز امکانات و قابلیت‌های اساسی این پایگاه در جست و جو، طبقه‌بندی و نمایش نتایج است.

جامعه پژوهش

جامعه پژوهش حاضر، شامل ۳۲۸۴۹ رکورد از برون دادهای علمی پژوهشگران حوزه علوم آب نمایه شده در پایگاه وب او ساینس و اسکوپوس طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ است که در خرداد ماه ۱۴۰۲ بازیابی گردآوری و ذخیره شدند.

DOI: 10.22055/JISE.2024.45625.2111

روش و ابزار گردآوری داده‌ها

مجموعه داده‌های این پژوهش از طریق پایگاه اطلاعاتی وب او ساینس و اسکوپوس جمع آوری می‌شوند. به طوری که ابتدا به‌منظور گردآوری داده‌ها (Data Set) پس از ورود به درگاه این پایگاه‌های اطلاعاتی، در فیلد جست‌وجوی موضوع (Topic) برای بازیابی پیشینه‌های حوزه علوم آب، از طریق جستجوی ترکیبی اصطلاحات (منابع آب، اکوسیستم آبی و علوم آب) و اعمال محدوده‌ی زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ جست وجو انجام و در فایل‌های ۵۰۰ رکوردی به‌صورت متن ساده استخراج و بر روی رایانه شخصی ذخیره خواهند شد. به‌علت محدودیت بخش تحلیل پایگاه وب او ساینس و اسکوپوس که هر بار تنها امکان استخراج رکورد وجود دارد، فایل‌ها به‌صورت ۵۰۰ رکوردی ذخیره و سپس ادغام می‌گردند.

در ادامه داده‌ها به‌منظور استخراج کلید واژگان و نیز دست‌یابی به بسامد هم‌رخدادی آن‌ها، وارد نرم‌افزار شده و با آزمون و خطاهای صورت گرفته در نهایت برای دست‌یابی به تعداد مناسب واژگان به‌منظور تحلیل دقیق شبکه بسامد هم‌رخدادی واژگان در نظر گرفته خواهد شد.

تجزیه و تحلیل یافته ها براساس سوالات پژوهش

– وضعیت کلیدواژه‌های مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی۲۰۱۱ تا۲۰۲۱چگونه است؟

– سوال اول پژوهش: شکل کلیدواژه‌های مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱چگونه است؟

در این سؤال شکل کلیدواژه از لحاظ ساده و مرکب بودن مورد بررسی قرار گرفت.

پایگاه Scopus

الف. کلیدواژه‌های نویسنده

با توجه به مطالعه‌های انجام شده در جدول (۱) مشخص شده است، نویسندگان در مجموع ۵۹۹۹۱ کلیدواژه به مدارک حوزه آب اختصاص داده‌اند. در کلیدواژه‌های نویسنده از پایگاه اسکوپوس، کلیدواژه‌های مرکب دو کلمه‌ای و سه کلمه‌ای به‌ترتیب با فراوانی ۲۵۱۹۷ و ۱۲۶۳۲ بیشترین تعداد کلیدواژه یعنی ۴۱/۸۸ و ۲۱/۲۸ درصد کلیدواژه‌ها را تشکیل داده‌اند. پس از آن کلیدواژه به صورت ساده و تک کلمه‌ای با فراوانی ۹۴۶۳ بیشترین کاربرد را داشته است و سهم ۳۳/۰۲ درصدی از کلیدواژه ها را به خود اختصاص داده است. بنابراین در کلیدواژه‌های نویسنده پایگاه اسکوپوس به‌صورت کلی کلمات مرکب کاربرد بیشتری داشته‌اند.

ب. کلیدواژه های نمایه شده

با توجه به مطالعه‌های انجام شده در جدول (۲) در مجموع ۱۳۰۶۴۲ کلید واژه نمایه شده به مدارک اختصاص داده است. در کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه اسکوپوس، همانند کلیدواژه‌های نویسنده، کلیدواژه‌های مرکب دو–کلمه‌ای با فراوانی ۱۰۷۹۰۳ بیشتر از سایر کلمات استفاده شده‌اند. به‌طوری که ۵۹/۷۳ درصد از کلید واژه‌های استفاده شده، مرکب دو–کلمه‌ای هستند. پس از آن کلیدواژه‌های سه کلمه‌ای و چهار کلمه‌ای و سپس کلید واژه‌های ساده قرار دارند.

پایگاه Web of Science

الف. کلیدواژه های نویسنده

با توجه به مطالعه‌های انجام شده در جدول (۳)، نویسندگان در مجموع ۵۲۴۲۹ کلیدواژه به مدرک حوزه آب اختصاص داده‌اند. در کلیدواژه‌های نویسنده پایگاه وب آو ساینس، کلیدواژه‌های مرکب دوکلمه‌ای و سه‌کلمه‌ای و پس از آن با اختلاف زیادی کلیدواژه‌های مرکب چهار کلمه‌ای و ساده بیشترین فراوانی را دارند. به‌طوری که ۴۳/۲۳ درصد از کلیدواژه‌ها را، کلمات مرکب دوکلمه‌ای، ۲۳/۳۵ درصد را کلمات مرکب سه کلمه‌ای و تنها ۱۳/۸ درصد از کلیدواژه‌ها را کلمات ساده تشکیل می‌دهند.

ب. کلیدواژه های نمایه شده

با توجه به مطالعه‌های انجام شده در جدول (۴) در این پژوهش در مجموع ۱۹۱۵۲ کلید واژه نمایه شده به مدرک اختصاص داده است. در پایگاه وب آو ساینس کلیدواژه‌های ساده و پس از آن کلیدواژه‌های مرکب دوکلمه‌ای بیشترین فراوانی را دارند. به طوری که ۴۲/۰۶ درصد از کلید واژه‌ها را، کلیدواژه‌های ساده و ۳۷/۱۰ درصد را کلمات مرکب دو کلمه‌ای تشکیل می‌دهند. وکلمات ساده در کلید واژه های نمایه شده پایگاه وب آو ساینس بیشترین کاربرد را دارند.

مجموع پایگاه‌ها

با توجه به جدول (۵) در این تحقیق در مجموع، ۳۱۲۹۲۰ کلیدواژه به مدرک دو پایگاه اسکوپوس و وب آو ساینس از طرف نویسندگان و نمایه پایگاه اختصاص یافته‌است که در این بین کلیدواژه‌های مرکب دوکلمه‌ای بیشترین فراوانی را دارند. پس از آن با اختلاف زیادی کلیدواژه‌های مرکب سه‌کلمه‌ای و ساده قرار دارند. به طوری که ۵۲/۱۳ درصد را کلیدواژه‌ها مرکب دوکلمه‌ای، ۲۰/۹۱ درصد را کلمات مرکب سه کلمه‌ای و تنها ۱۲/۳۱ درصد از کلیدواژه‌ها را کلمات ساده تشکیل می‌دهند.

جدول ۱- شکل کلیدواژه‌های نویسنده مقالات حوزه منابع آب در پایگاه اسکوپوس از لحاظ ساده و مرکب

Table- The shape of the keywords of the author of articles in the field of water resources in the Scopus database in simple and compound terms

Keyword form	Simple keyword	Compound keyword			Total
		Two words	Three words	More than three words	
Abundance	9463	25197	12632	12673	59991
Percent	15.71	41.88	21.28	21.05	100

جدول ۲- شکل کلید واژه‌های نمایه شده مقالات حوزه منابع آب در پایگاه اسکوپوس از لحاظ ساده و مرکب

Table 2- The shape of indexed keywords of articles in the field of water resources in the Scopus database in simple and compound terms

Keyword form	Simple keyword	Compound keyword			Total
		Two words	Three words	More than three words	
Abundance	14082	107903	37917	10732	130642
Percent	7.78	59.73	30.96	11.45	100

جدول ۳- شکل کلیدواژه‌های نویسنده مقالات حوزه آب در پایگاه وب آو ساینس از لحاظ ساده و مرکب بودن

Table 3- The shape of the keywords of the authors of the water related articles in the Web of Science database in terms of simplicity and complexity

Keyword form	Simple keyword	Compound keyword			Total
		Two words	Three words	More than three words	
Abundance	6936	29889	12320	10732	52429
Percent	13.8	43.23	23.35	20.26	100

جدول ٤- شکل کلیدواژه‌های نمایه شده مقالات حوزه آب در پایگاه وب آو ساینس از لحاظ مرکب و ساده

Table 4- The shape of indexed keywords of water related articles in the Web of Science database in terms of compound and simple

Keyword form	Simple keyword	Compound keyword			Total
		Two words	Three words	More than three words	
Abundance	8059	7110	2412	1521	19152
Percent	42.06	37.10	12.58	8.18	100

جدول ۵- شکل کلیدواژه های مقالات حوزه آب در پایگاه اسکوپوس و وب آو ساینس از لحاظ ساده و مرکب بودن

Table 5- The shape of the keywords of water related articles in the Scopus and Web of Science databases in terms of simplicity and complexity.

Keyword form	Simple keyword	Compound keyword			Total
		Two words	Three words	More than three words	
Abundance	38589	163177	65500	45652	312920
Percent	12.31	52.13	20.91	15.57	100

کلید واژه‌های نوظهور در حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ کدامند؟

پایگاه اسکوپوس

الف. کلیدواژه‌های نویسنده

در جدول (۶)، هشت مورد از کلیدواژه‌های دارای بیشترین فراوانی آمده است. نویسنده CHEN X با ۹۳۴ بیشترین میزان فراوانی را دارد.

ب. کلیدواژه های نمایه شده

DOI: 10.22055/JISE.2024.45625.2111

در جدول (۷) کلیدواژه Resource، دارای بیشترین میزان فراوانی (۱۵۲۷) در بین موضوعات نوظهور است.

پایگاه وب آو ساینس

الف. کلیدواژه های نویسنده

در بخش کلیدواژه‌های نویسنده، ۶۹ کلیدواژه نوظهور شناسایی شدند. ۲۰ مورد از این کلیدواژه‌ها به ترتیب بر اساس بیشترین فراوانی در جدول (۸) آمده است. در این جدول Resource با فراوانی ۸۱۳، دارای بیشترین میزان فراوانی در بین موضوعات نوظهور است. پس از این، دو کلیدواژه climate change و Precipitation به‌ترتیب با فراوانی ۵۶۴ و ۳۷۲ و در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

ب. کلیدواژه‌های نمایه شده

در جدول شماره (۹) بخش کلیدواژه‌های نویسنده پایگاه وب آو ساینس، ۲۷ کلیدواژه نوظهور شناسایی شدند. ۲۰ مورد از این کلید واژه‌ها به‌ترتیب بر اساس بیشترین فراوانی در جدول (۹) آمده است.

با توجه به داده‌های جدول (۹)، کلیدواژه Precipitation با فراوانی ۷۹۵، دارای بیشترین میزان فراوانی در بین موضوعات نوظهور است.

جدول ٦- فهرست هشت کلیدواژه نویسنده نوظهور دارای بیشترین فراوانی در حوزه آب در پایگاه اسکوپوس

Table 6- The list of eight emerging author keywords with the highest frequency in the field of water in the Scopus database

Row	Author	Scales
1	CHEN X	934
2	Hung Y	688
3	Singh VP	587
4	Karamouz M.	492
5	Shao QX	454
6	Xu CY	380
7	Singh A.	361
8	Hanasaki N.	360

جدول ۷- فهرست بیست کلیدواژه نمایه شده نوظهور دارای بیشترین فراوانی در حوزه آب در پایگاه اسکوپوس

Table 7- The list of twenty newly indexed keywords with the highest frequency in the field of water in the Scopus database

Row	Keyword	Abundance	Row	Keyword	Abundance
1	Resource	1527	11	Runoff	643
2	climate change	1154	12	Country	642
3	Precipitation	903	13	Uncertainty	630
4	Increase	875	14	Rainfall	592
5	Soil	844	15	Production	570
6	Irrigation	838	16	Season	565
7	Trend	825	17	Crop	560
8	Temperature	762	18	Simulation	561
9	Groundwater	727	19	Drought	549
10	Concentration	648	20	discharge	545

جدول ۸- فهرست بیست کلیدواژه نویسنده نوظهور دارای بیشترین فراوانی در حوزه آب در پایگاه وب آو ساینس

Table 8- The list of twenty emerging author keywords with the highest frequency in the field of water in the Web of Science database

Row	Keyword	Abundance	Row	Keyword	Abundance
1	Resource	813	11	Runoff	206
2	climate change	564	12	Country	186
3	Precipitation	372	13	Uncertainty	169
4	Increase	372	14	Rainfall	160
5	Soil	341	15	Production	152
6	Irrigation	337	16	Season	138
7	Trend	323	17	Crop	125
8	Temperature	268	18	Simulation	121
9	Groundwater	253	19	Drought	112
10	Concentration	214	20	discharge	108

جدول ۹- فهرست بیست کلیدواژه نمایه شده نوظهور دارای بیشترین فراوانی در حوزه آب در پایگاه وب آو ساینس

Table 9- The list of twenty newly indexed keywords with the highest frequency in the field of water in the Web of Science database

Row	Keyword	Abundance	Row	Keyword	Abundance
1	Precipitation	795	11	Runoff	96
2	climate change	427	12	Country	90
3	Resource	364	13	Uncertainty	87
4	Increase	305	14	Rainfall	87
5	Soil	266	15	Production	77
6	Irrigation	198	16	Season	75
7	Trend	149	17	Crop	74
8	Temperature	149	18	Simulation	65
9	Groundwater	109	19	Drought	64
10	Concentration	96	20	discharge	60

جدول ۱۰- فهرست بیست کلیدواژه نویسنده نوظهور دارای بیشترین فراوانی در حوزه آب در مجموع پایگاه‌های اسکوپوس و وب آو ساینس

Table 10- The list of twenty emerging author keywords with the highest frequency in the field of water in Scopus and Web of Science databases

Row	Author	scales
1	CHEN X	1747
2	Hung Y	1252
3	Singh VP	911
4	Karamouz M.	833
5	Shao QX	752
6	Xu CY	733
7	.Singh A	707
8	Hanasaki N.	697

مجموع پایگاه ها

الف. کلیدواژه‌های نویسنده

در مجموع کلیدواژه‌های نویسنده دو پایگاه اسکوپوس و وب آو ساینس، ۱۱۷ کلید واژه نوظهور شناسایی شدند. ۲۰ مورد از این کلیدواژه‌ها به‌ترتیب بر اساس بیشترین فراوانی در جدول (۱۰) آمده است.

ب. کلیدواژه‌های نمایه شده

در مجموع کلیدواژه‌های نمایه شده دو پایگاه اسکوپوس و وب آو ساینس، ۳۷۲ کلیدواژه نوظهور شناسایی شدند. ۲۰ مورد از این کلیدواژه‌ها به‌ترتیب بر اساس بیشترین فراوانی در جدول (۱۱) آمده است.

با توجه به داده‌های جدول (۱۱)، کلیدواژه Resource با فراوانی ۱۵۸۱، دارای بیشترین میزان فراوانی در بین موضوعات نوظهور است.

کلیدواژه‌های هسته در حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی۲۰۱۱ تا۲۰۲۱ کدامند؟

پایگاه اسکوپوس

الف. کلیدواژه های نویسنده

در جدول (۱۲) هشت مورد از کلیدواژه‌های هسته براساس بیشترین فراوانی آورده شده‌اند. CHEN X با ۹۳۴ دارای بیشترین میزان فراوانی است . در جدول (۱۳) فهرست بیست کلیدواژه نمایه شده هسته دارای بیشترین فراوانی در حوزه آب در پایگاه اسکوپوس نویسنده Resource با ۱۵۲۷ کلید واژه بیشترین فراوانی را دارد

پایگاه وب آو ساینس

الف. کلیدواژه های نویسنده

در جدول (۱۴)، ۲۰ مورد از کلیدواژه‌های هسته بر اساس بیشترین فراوانی آورده شده‌اند. Resource با ۸۱۳ دارای بیشترین میزان فراوانی است .

 DOI: 10.22055/JISE.2024.45625.2111

جدول ۱۱- فهرست بیست کلیدواژه نمایه شده نوظهور دارای بیشترین فراوانی در حوزه آب در پایگاه اسکوپوس

Table 11- The list of twenty newly indexed keywords with the highest frequency in the field of water in the Scopus database

Row	Keyword	Abundance	Row	Keyword	Abundance
1	Resource	1581	11	Runoff	727
2	climate change	1527	12	Country	748
3	Precipitation	1125	13	Uncertainty	643
4	Increase	903	14	Rainfall	642
5	Soil	875	15	Production	630
6	Irrigation	866	16	Season	615
7	Trend	844	17	Crop	589
8	Temperature	838	18	Simulation	570
9	Groundwater	815	19	Drought	565
10	Concentration	762	20	discharge	561

جدول ۱۲- فهرست بیست کلیدواژه نویسنده هسته دارای بیشترین فراوانی در حوزه آب در پایگاه اسکوپوس

Table 12- The list of twenty keywords of the core author with the highest frequency in the field of water in the Scopus database

Row	Author	scales	Row	Author	Scales
1	CHEN X	934	5	Shao QX	454
2	Hung Y	687	6	Xu CY	380
3	Singh VP	587	7	Singh A.	361
4	Karamouz M.	492	8	Hanasaki N.	360

جدول ۱۳- فهرست بیست کلیدواژه نمایه شده هسته دارای بیشترین فراوانی در حوزه آب در پایگاه اسکوپوس

Table 13- The list of twenty indexed core keywords with the highest frequency in the field of water in the Scopus database

Row	Author	Scales	Row	Author	Scales
1	Resource	1527	11	Runoff	643
2	climate change	1154	12	Country	641
3	Precipitation	908	13	Uncertainty	630
4	Increase	675	14	Rainfall	592
5	Soil	844	15	Production	570
6	Irrigation	838	16	Season	565
7	Trend	825	17	Crop	560
8	Temperature	762	18	Simulation	561
9	Groundwater	727	19	Drought	549
10	Concentration	648	20	discharge	540

جدول ١٤- فهرست بیست کلیدواژه نویسنده هسته دارای بیشترین فراوانی در حوزه اب در پایگاه وب آو ساینس

Table 14- The list of twenty keywords of the author of the core with the highest frequency in the field of water in the Web of Science database

Row	Author	scales	Row	Author	Scales
1	Resource	813	11	Runoff	206
2	climate change	564	12	Country	186
3	Precipitation	372	13	Uncertainty	119
4	Increase	372	14	Rainfall	164
5	Soil	341	15	Production	160
6	Irrigation	327	16	Season	157
7	Trend	323	17	Crop	138
8	Temperature	268	18	Simulation	125
9	Groundwater	253	19	Drought	121
10	Concentration	214	20	discharge	113

جدول ۱۵- شاخص‌های انسجام شبکه موضوعات هسته در کلیدواژه‌های نویسنده حوزه آب در پایگاه اسکوپوس

Table 15-Cohesion indicators of the network of core topics in the keywords of the author of the water domain in the Scopus database

Density Network	Clustering coefficient	Network diameter	Compactness Network
0.424	0	3	0.711

جدول ۱۶- شاخص‌های انسجام شبکه موضوعات هسته در کلیدواژه‌های نمایه شده حوزه آب در پایگاه اسکوپوس

Table 14-. Cohesion indicators of the network of core topics in the indexed keywords of the water domain in Scopus database

Density Network	Clustering coefficient	Network diameter	Compactness Network
0.884	0	2	0.941

ساختار شبکه موضوعات هسته مقالات حوزه علوم آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ چگونه است؟

از آنجایی که شاخص‌هایی مانند چگالی، ضریب خوشه‌بندی و قطر شبکه نشان‌دهنده انسجام شبکه می‌باشند. این مقادیر برای شبکه موضوعات هسته در کلیدواژه های نویسنده پایگاه اسکوپوس محاسبه شده‌اند. با توجه به اینکه در این شبکه چگالی شبکه برابر با ۰/۴۲۴ و تراکم شبکه برابر با ۰/۷۱۱ است، این شبکه بسیار منسجم می‌باشد (جدول ۱۵). قطر این شبکه با مقدار سه بیانگر آن است که دو کلید واژه در این شبکه با بیشترین فاصله از هم، از طریق سه واسطه به یکدیگر متصل شده اند (جدول ۱۶).

پایگاه وب آو ساینس

الف. کلیدواژه‌های نویسنده

با توجه به داده‌های جدول (۱۷)، در این شبکه چگالی شبکه برابر با ۰/۶۲۰ و تراکم شبکه برابر با ۰/۸۰۹ است، از آنجایی که این مقادیر نزدیک به یک و همچنین ضریب خوشه‌بندی برابر با صفر هستند بیانگر آن است که این شبکه از انسجام بالایی برخوردار است. قطر این شبکه با مقدار سه بیانگر آن است که دو کلیدواژه در این شبکه با بیشترین فاصله از هم، از طریق سه واسطه به یکدیگر متصل شده اند.

با توجه به جدول (۱۸) در این شبکه چگالی شبکه برابر با ۰/۳۳۱ است، از آنجایی که این مقدار کمتر از ۰/۵ و نزدیک به صفر است، نشان می‌دهد که این شبکه از انسجام بالایی برخوردار نیست. قطر این شبکه با مقدار سه بیانگر آن است که دو کلیدواژه در این شبکه با بیشترین فاصله از هم، از طریق سه واسطه به یکدیگر متصل شده اند.

ساختار کلیدواژه های نمایه شده مقالات در حوزه علوم آب در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آوساینس در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ چگونه است؟

در این بخش در ابتدا تعداد مقالات دارای کلیدواژه نمایه شده در اسکوپوس و وب آو ساینس بررسی و فراوانی آن‌ها طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ مشخص می شود و سپس تعداد و شکل کلیدواژه‌های نمایه شده در این دو پایگاه مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

پایگاه اسکوپوس

همان‌طور که جدول (۱۹) نشان می‌دهد تقریباً ۹۰ درصد مقالات از میان ۵۱۴۰ مقاله دارای کلیدواژه نمایه شده در اسکوپوس هستند.

با توجه به جدول (۲۰)، در مجموع ۵۱۸۶۰ کلیدواژه نمایه شده به مدارک اختصاص داده است. در کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه اسکوپوس، همانند کلیدواژه‌های نویسنده، کلیدواژه‌های مرکب دوکلمه‌ای با فراوانی ۳۲۹۶۷ بیشتر از سایر کلمات استفاده شده‌اند. به‌طوری که ۶۳/۵۴ درصد از کلیدواژه‌های استفاده شده، مرکب دوکلمه‌ای هستند. پس از آن کلیدواژه‌های سه‌کلمه‌ای و ساده و سپس کلیدواژه‌های بیشتر از سه‌کلمه قرار دارند.

پایگاه وب او ساینس

جدول (۲۱) تعداد و درصد مقالات دارای کلیدواژه نمایه شده در وب آو ساینس را نشان می‌دهد.

همان‌طور که از جدول (۲۱) مشخص است تقریباً ۵۵ درصد مقالات از میان ۵۱۸۰ مقاله دارای کلیدواژه نمایه شده در وب آو ساینس هستند. در ادامه جدول (۲۱) مقالات دارای کلیدواژه نمایه شده را در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ نشان می‌دهد.

 DOI: 10.22055/JISE.2024.45625.2111

جدول ۱۷- شاخص‌های انسجام شبکه موضوعات هسته در کلیدواژه‌های نمایه شده حوزه اب در پایگاه اسکوپوس

Table 16-Cohesion indicators of the network of core topics in the indexed keywords of the water domain in the Scopus database

Density Network	Clustering coefficient	Network diameter	Compactness Network
0.620	0	3	0.809

جدول شماره ۱۸- شاخص‌های انسجام شبکه موضوعات هسته در کلیدواژه‌های نمایه شده حوزه آب در پایگاه اسکوپوس

Table No. 17-Cohesion indicators of the network of core topics in the indexed keywords of the water domain in the Scopus database

Density Network	Clustering coefficient	Network diameter	Compactness Network
0.331	0	3	0.663

جدول ۱۹- تعداد و درصد مقالات دارای کلیدواژه نمایه شده در اسکوپوس

Table 18- The number and percentage of articles with keywords indexed in Scopus

Total number of articles	Number of articles with keywords indexed in Scopus	Percentage of indexed keyword articles
5140	4649	89.73

جدول۲۰- کل کلیدواژه های نمایه شده مقالات حوزه آب در پایگاه اسکوپوس از لحاظ ساده و مرکب بودن

Table 19- Total keywords indexed in water related articles in the Scopus database in terms of simplicity and complexity

Keyword form	Simple keyword	Compound keyword			Total
		Two words	Three words	More than three words	
Abundance	4334	32967	11161	3403	51860
Percent	8.34	63.54	21.50	6.54	100

جدول شماره ۲۱- تعداد و درصد مقالات دارای کلیدواژه نمایه شده در وب آو ساینس

Table 20- Number and percentage of articles with keywords indexed in Web of Science

Total number of articles	The number of articles with indexed keywords	Percentage of indexed keyword articles
5180	2858	55.16

جدول ۲۲- شکل کلیدواژه های نمایه شده مقالات حوزه آب در پایگاه وب آو ساینس از لحاظ ساده و مرکب بودن

Table 21- The shape of indexed keywords of water related articles in the Web of Science database in terms of simplicity and complexity

Keyword form	Simple keyword	Compound keyword			Total
		Two words	Three words	More than three words	
Abundance	2700	2675	1027	104	6502
Percent	41.50	41.05	15.78	1.59	100

با توجه به جدول (۲۲)، در مجموع ۶۵۰۲ کلیدواژه نمایه شده به مدارک اختصاص داده است. در کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه وب آو ساینس، کلیدواژه ساده و کلیدواژه مرکب دوکلمه‌ای از لحاظ استفاده بسیار نزدیک به هم هستند و درصدی حدود ۴۱ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. پس از آن کلید واژه سه کلمه‌ای و بیشتر از سه‌کلمه‌ای در جایگاه‌های بعدی از لحاظ فراوانی قرار دارند.

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش شکل کلید واژه‌های نویسنده و کلید واژه‌های نمایه شده مقالات حوزه آب در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس و وب آو ساینس از لحاظ ساده و مرکب بودن و تعداد کلمات کلید واژه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که در کلیدواژه‌های نویسنده و نمایه شده پایگاه اسکوپوس و همچنین کلیدواژه‌های نویسنده پایگاه وب آو ساینس از کلمات مرکب بیشتر از کلمات ساده استفاده شده است. به‌طوری که در تمامی این موارد بیش از ۸۰ درصد از کلیدواژه‌ها را کلمات مرکب تشکیل داده‌اند، که در این بین عبارات دو و سه کلمه‌ای به‌ترتیب بیشترین کاربرد را داشته‌اند. پس از آن دو عبارات چهار کلمه‌ای و کلیدواژه‌های تک کلمه دارای بیشترین کاربرد بوده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نویسندگان و نمایه‌ساز پایگاه اسکوپوس عبارات دو و سه کلمه‌ای را توصیف‌گر بهتری برای محتوای متن مقالات یافته‌اند و نیاز برای به‌کار بردن کلمات بیشتر برای بیان محتوای متن احساس نشده است. این در حالی است که شکل کلیدواژه‌ها در کلیدواژه‌های نمایه شده در پایگاه وب آو سانس متفاوت است، و بیشترین کلیدواژه به کار رفته به‌صورت ساده و پس از آن به صورت مرکب دو کلمه‌ای بوده‌اند.

میانگین تعداد کلمات به‌کار رفته در کلیدواژه برای کلیدواژه‌های نویسنده پایگاه اسکوپوس ۲/۵۸ کلمه، کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه اسکوپوس ۲/۳۹ کلمه، کلیدواژه‌های نویسنده پایگاه وب آو سانس ۲/۵۹ کلمه و برای کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه وب آو ساینس ۱/۸۷ کلمه می‌باشد. در کل می‌توان نتیجه گرفت عبارات دو و سه کلمه‌ای توصیفگر بهتری برای محتوای متن در نظر گرفته شده‌اند.

در کلیدواژه‌های نویسنده هر دو پایگاه اکثر مقالات دارای سه یا چهار کلید واژه هستند. اما با توجه به نتایج به‌دست آمده کلیدواژه نمایه شده در دو پایگاه در دو سوی کاملاً متفاوت قرار دارند، در پایگاه اسکوپوس بیشتر مقالات دارای نه، ده و یازده کلیدواژه هستند. در حالی که در پایگاه وب آو ساینس کمترین فراوانی مربوط به مقالات دارای ده کلیدواژه هستند و بیشترین فراوانی را مقالات تک کلید واژه دارند. این مسئله می‌تواند به‌دلیل تفاوت در دیدگاه و سیاست جستجو و بازیابی مقالات در این دو پایگاه باشد.

برای تعیین کلیدواژه‌های هسته، پژوهش حاضر نشان داد قاعده برادفورد با برازش 2R برابر با ۰/۹۹۵۴ بر کلیدواژه‌های نویسنده و ۰/۹۹۴ بر کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه اسکوپوس و همچنین با مقدار ۰/۹۹۷۶ و ۰/۹۹۴ به‌ترتیب بر کلیدواژه‌های نویسنده و نمایه شده پایگاه وب آو ساینس مطابقت دارد. این مقدار برای اجماع این چهار دسته کلیدواژه برابر با یک بوده است که نشان دهنده برازش کامل قاعده برادفورد بر مجموع کلیدواژه‌ها می‌باشد. بر همین اساس تعداد کلید واژه‌های هسته برای کلید واژه‌های نویسنده و نمایه شده پایگاه اسکوپوس به‌ترتیب ۱۸۱ و ۱۸۰ کلید واژه و برای کلیدواژه‌های نویسنده و نمایه شده پایگاه وب آو ساینس به‌ترتیب ۲۳۴ و ۵۳ کلید واژه بود.

بر اساس کلیدواژه‌های هسته به‌دست آمده در چهار بخش کلیدواژه‌های نویسنده و نمایه شده در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آو ساینس، شبکه موضوعات هسته بر اساس ماتریس همبستگی این موضوعات ترسیم شد. بالاترین میزان انسجام شبکه مربوط به شبکه موضوعات هسته در بخش کلید واژه‌های نمایه شده پایگاه اسکوپوس به‌دلیل بالا بودن چگالی و پایین بودن قطر شبکه و کمترین میزان انسجام شبکه مربوط به شبکه موضوعات هسته در بخش کلید واژه‌های نمایه شده پایگاه وب آو ساینس به‌دلیل پایین بودن چگالی شبکه قابل مشاهده است.

با بررسی تعداد مقالات فاقد کلید واژه نویسنده در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آو ساینس، سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰ به‌ترتیب بیشترین تعداد و درصد مقالات در حوزه آب را به خود اختصاص دادند و ۴۹۱ مقاله فاقد کلید واژه نویسنده در پایگاه اسکوپوس و وب آو ساینس شناسایی شد.

حدود ۹۰ درصد مقالات اسکوپوس دارای کلید واژه نمایه شده هستند. در کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه اسکوپوس، همانند کلیدواژه‌های نویسنده، کلیدواژه‌های مرکب دو کلمه‌ای بیشتر از سایر کلمات استفاده شده‌اند تقریباً ۵۵ درصد مقالات وب آو ساینس حوزه آب دارای کلید واژه نمایه شده هستند. در کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه وب آو ساینس، کلیدواژه ساده و مرکب دو کلمه از لحاظ استفاده بسیار نزدیک به هم هستند.

در پژوهش حاضر با بررسی موضوعات و کلیدواژه‌های مؤلف و نمایه شده در پایگاه‌های اسکوپوس و وب آو ساینس نتایج زیر حاصل شد:

- بیش از ۸۰ درصد از کلیدواژه‌های تخصیصی به مقالات حوزه آب، کلمات مرکب دو کلمه‌ای یا سه کلمه‌ای هستند.
- میانگین تعداد کلمات کلیدواژه‌های مؤلف در هر دو پایگاه ۶۰ میانگین تعداد کلمات کلید واژه‌های نمایه شده در هر دو پایگاه ۱۵ و میانگین کل کلید واژه‌های مؤلف و نمایه شده در هر دو پایگاه برابر با ۲/۳۶ است.
- واژه‌های فلزهای سنگین، تحلیلِ تدریجی (فرسایش)، سازه‌های آبی، تصفیه فاضلاب، و شبکه‌های عصبی مصنوعی، نیز بالاترین میزان مرکزیت را دارند و این بدین معنا است که این واژگان از کم‌ترین فاصله در ارتباط و پیوند با سایر واژگان حوزه‌ی "آب" برخوردار هستند و به‌طور مستقیم و با واسطه‌های کم‌تری به سایر گره‌ها پیوند خورده‌اند. هم‌چنین، واژه‌های منابع آب، تغییر آب و هوا، و مدیریت آب بالاترین میزان مرکزیت را داشته‌اند؛ یعنی بهترین موقعیت برای ایجاد ارتباط با سایر گروه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند و بدین ترتیب این واژه‌ها عامل اتصال بسیاری از واژگان شبکه‌ی

DOI: 10.22055/JISE.2024.45625.2111

هم‌واژگانی حوزه‌ی " آب" هستند و در حقیقت نبودن آن‌ها سبب قطع ارتباط بین دو یا چند واژه خواهد شد.

واژه‌های منابع آب، تغییر آب و هوا، و مدیریت آب در مرکزیت بردار ویژه، بیش‌ترین پیوند و ارتباط را با گروه‌های دارای میزان مرکزیت بالاتر داشته‌اند، بنابراین از بالاترین میزان مرکزیت بردار ویژه برخوردار هستند. بنا بر مطالب ذکر شده، واژه‌های منابع آب، تغییر آب و هوا، و مدیریت آب، به‌دلیل این‌که در سه مرکزیت درجه، بینابینی، و بردار ویژه در صدر قرار داشته و در مجموع بالاترین میزان مرکزیت در کل شبکه‌ی هم‌رخدادی واژگان حوزه‌ی " آب" را دارند، دارای نقش کلیدی بوده و از موقعیت مطلوب و مرکزی در این نقشه برخوردار هستند.

- فراوانی مقالات فاقد کلیدواژه مؤلف پایگاه اسکوپوس ۵۸۴ و پایگاه وب آو ساینس ۵۸۸ است این فراوانی بسیار نزدیک به‌هم است از میان ۵۱۸۰ مقاله مشابه در پایگاه اسکوپوس و وب آوساینس ۴۹۱ مقالات فاقد کلیدواژه مؤلف هستند.
- فراوانی مقالات فاقد کلیدواژه نمایه شده پایگاه اسکوپوس ۵۳۵ و پایگاه وب آو ساینس ۲۳۲۱ است و کل مقالات فاقد کلید واژه نمایه شده در هر دو پایگاه ۲۸۱ مقاله است.
- تعداد مقالات دارای کلیدواژه نمایه شده در طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ روندی صعودی دارد. سال ۲۰۲۱ جایگاه اول را از لحاظ تعداد و درصد مقالات دارای کلید واژه نمایه شده دارد.
- در کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه اسکوپوس، همانند کلید واژه‌های نویسنده، کلید واژه‌های مرکب دو–کلمه‌ای با فراوانی ۳۲۹۶۷ بیشتر از سایر کلمات استفاده شده‌اند.
- در کلیدواژه‌های نمایه شده پایگاه وب آو ساینس، کلیدواژه ساده و کلیدواژه مرکب دو کلمه‌ای از لحاظ استفاده بسیار نزدیک به هم هستند و حدود ۴۱ درصد را به خود اختصاص داده‌اند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش پیشنهاد می‌شود:

✓ پژوهشگران در انتخاب کلید واژه‌های مقالات، از کلیدواژه‌های مرکب دو یا سه کلمه‌ای استفاده کنند.

✓ با توجه به فراوانی قابل توجه مقالات دارای چهار و پنج کلید واژه در این پژوهش از نظر تعداد کلید واژه‌های تخصیصی به یک مدرک، تبعیت از این الگوی رفتاری به پژوهشگران این حوزه پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

این پژوهش فاقد تقدیر و تشکر است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: سعید غفاری، نگارش اولیه مقاله، بررسی نهایی مقاله.

نویسنده دوم: ندا یزدانی خوزانی، نگارش و ویراستاری مقاله، تجزیه و تحلیل داده‌ها، بررسی نتایج.

نویسنده سوم: مسعود بختیاری، نگارش مقاله.

References

1- Ahmadi, H. and Osareh, F., 2017. Co-word analysis concept, definition and application. *Librarianship and Information Organization Studies*, *28*(1), pp.125-145.(in persain).

2- Ahmadi, H., Salimi, A. and Zangishe, E., 2013. Scientometrics, clustering and knowledge map of scientific productions of comparative literature in Iran. *Journal of Research in Comparative Literature*, *3*(11), pp.1-28.

3- Aleixandre-Benavent, R., Aleixandre-Tudó, J.L., Castelló-Cogollos, L. and Aleixandre, J.L., 2017. Trends in scientific research on climate change in agriculture and forestry subject areas (2005–2014). *Journal of cleaner production*, *147*, pp.406-418. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.112

4- Araghizadeh, M. and Kameli, B., 2023. Mapping and Clustering of International Researches on critical infrastructure protection (CIP) Based on Co-Word Analysis of Articles Indexed in Web of Science (WoS) Database. *Emergency Management*, *11*(2), pp.1-18. (in persain).

5- Hazeri, A., Tavakolizadeh Ravari, M. and Ebrahimi, V., 2015. A study of subject overlap between the main categories of knowledge management within the web of science. *Iranian Journal of Information Processing and Management*, *30*(4), pp.997-1023.doi: 10.35050/JIPM010.2015.017. (in persain).

6- Heydari, N., 2014. Assessment of agricultural water productivity (WP) in Iran, and the performance of water policies and plans of the government in this regard. *Majlis and Rahbord*, *21*(78), pp.177-200.

7- Jacobs, I.M., Pouris, A. and Naidoo, D., 2014. A scientometric examination of the performance of water research in South Africa. *Water SA*, *40*(4), pp.631-638. DOI: 10.4314/wsa.v40i4.8

8- Karimpour, Z. 2016. Visualization and synonym analysis of scientific outputs in the field of water engineering and determining the position of Iran in this field, in the Web of Science database. Master's thesis. Information science and epistemology. Faculty of Education and Psychology. *Chamran martyr of Ahvaz University*

9- Kulak, M., Ozkan, A. and Bindak, R., 2019. A bibliometric analysis of the essential oil-bearing plants exposed to the water stress: How long way we have come and how much further?. *Scientia horticulturae*, *246*, pp.418-436. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.031.

10- Makkizadeh, F. and Rohani Marvasti, M., 2022. Co-word Analysis of Women's Health Field of Study. *Health Research Journal*, *7*(3), pp.210-220.

11- Mansour Kiyaei, R., Babolhavaeji, F., Nooshinfard, F. and Soheili, F., 2018. Evaluating dissemination of knowledege and information science papers in social networks. *Scientometrics Research Journal*, *4*(1, spring & summer)), pp.161-178. DOI: 10.22070/RSCI.2017.535.

12- Rahimi, F. 2019 Analyzing the influence of science in society using differentiometric indices and co-lexical analysis: a case study of climate change research. Master's thesis.

13- Ravikumar, S., Agrahari, A. and Singh, S.N., 2015. Mapping the intellectual structure of scientometrics: A co-word analysis of the journal Scientometrics (2005–2010). *Scientometrics*, *102*(1), pp.929-955.

14- Shen, L., Xiong, B. and Hu, J., 2017. Research status, hotspots and trends for information behavior in China using bibliometric and co-word analysis. *Journal of Documentation*, *73*(4), pp.618-633. https://doi.org/10.1108/JD-10-2016-0125.

15- Shokriehzadeh, P., Zalzadeh, E. and Soheili, F., 2017. Drawing the Structure of Scientific Domains Using Co-word Method: A Case Study of Kermanshah Province Agricultural Studies. *Scientometrics Research Journal*, *3*(1, spring & summer)), pp.85-96.doi: 10.22070/rsci.2017.795

16- Sotudeh, H., Ravaei, M. and Mirzabegi, M., 2018. Comparing the opportunities provided by altmetrics and citation analysis for research evaluation. *Iranian journal of information processing and management*, *34*(1), pp.113-138. doi: 10.35050/JIPM010.2018.005.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 85-100

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Effective Factors Water Resources Efficiency in Provinces of Iran a with Spatial econometric Approach

S. M. Hosseini[1*], A. Dadras Moghadam[2], H. Badi Barzin[3] and M. Norozian [4]

1- Corresponding author, Associate Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, (shseyedmahdi46@gmail.com).*
2- Assistant Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan.
3- Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan.
4- Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 27 December 2023
Revised: 04 October 2024
Accepted: 06 October 2024

Keywords:
Exploitation of water resources, water consumption, spatial autocorrelation, research and development.

TO CITE THIS ARTICLE:

Hosseini, S. M., Dadras Moghadam, A., Badih Barzin, H., Norozian, M. (2025). 'Effective Factors Water Resources Efficiency in Provinces of Iran a with Spatial econometric Approach', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 85-100. doi: 10.22055/jise.2024.45383.2104.

Introduction

With an average rainfall of 260 mm per year, Iran is one of the dry countries in the world with limited water resources, which factors such as population growth, the need for more food, the need to improve the level of health and social welfare, industrial development and ecosystem protection. increases the water demand for these limited resources day by day (Taghizadeh et al., 2013). Also, considering the recent droughts, the importance of water as a vital input becomes clearer. Today, humanity is facing many problems for water supply in the rapid development process. This situation in dry climates with low rainfall, where the ecosystems involved in water supply are more fragile, with the occurrence of droughts and indiscriminate harvesting of water reserves, has made the planners face more critical conditions. The rapid growth of the population and the need for more production has caused the agricultural sector to have a greater demand for consumption than other sectors that consume water, so the most important challenges of the agricultural sector of these regions in the current situation is how to produce more food with less water (Saghafi et al., 2018).

Considering the limitation of available water resources in the country and the increasing demand for various uses of water in all its aspects and as a result reaching the critical limit of using renewable water resources, demand management is the basis of consumption control and water resources management. In order to ensure water security, written laws will be created based on this to create a balance between water consumption and supply. Managers' awareness of available water resources and, in general, all relevant layers of different methods of demand management decision, and especially the determination of its influencing factors, is considered one of the most necessary things in water management (Ansari et al., 2017).

The fact is that in the empirical studies of spatial models of technology distribution and efficiency, one region cannot be considered independent from other regions, because according to Tobler's first geographical law, each place is dependent on another place and the places that are closer to each other They have the greatest effect on each other compared to distant places. In the

econometric literature, the lack of spatial dimension in statistical and econometric experimental modeling leads to estimation errors and incorrect statistical conclusions (Seyef and Hamidi Razi, 2016). In this research, the effective factors on the efficiency of Iran's water resources have been investigated with regard to the effects of spatial overflow and using a spatial Durbin model, which is novel from this point of view compared to domestic studies.

Materials and Methods:

In this research, the SDM spatial durbin model is specified as follows:

$$\begin{aligned} \ln Y_i = {} & \tau Y_{i.t-1} + \rho W \ln Y_{it} + \beta_1 \ln Cwat_{it} + \beta_2 \ln Ewat_{it} + \beta_3 Ln\ GDPC_{it} + \beta_4 \ln IndS_{it} + \beta_5 LnGC_{it} \\ & + \beta_6 \ln Tech_{it} + \beta_7 \ln Deco_{it} + \beta_8 Ln\ Agrwat_{it} + \beta_9 \ln Driwat\ C_{it} \\ & + \beta_{10} Ln\ Totwat_{it} + DX_{it}\theta + \alpha_i + \gamma_t + u_{it} \end{aligned}$$

where lnYi, lnCwat, lnEwat, LnGDPC, LnIndS, LnGC, LnTech, LnDeco, LnAgrwat, LnDriwat, and LnTotwat respectively indicate the efficiency of water resource consumption in each province, the logarithm of water resources per capita, the logarithm of water resources utilization, the logarithm of GDP per capita , the logarithm of industrial structure, the logarithm of grain products per capita, the logarithm of research and development, the logarithm of the degree of openness of the economy of each province, the logarithm of agricultural water consumption, the logarithm of daily drinking water consumption and the logarithm of total water consumption.
In order to reach logical results and observe the spatial effects of water resources consumption efficiency and the factors affecting it, the spatial Durbin panel method has been used for 31 provinces of Iran during the period of 2015-2020. Economic and spatial variables were collected from the Ministry of Jihad Agriculture, Meteorological Organization and Regional Water Organization and models were estimated using STATA 15 software. In this research, in addition to the agricultural, drinking and total water consumption variables, the rest of the research variables are calculated based on the following table (1):

Table 1- How to calculate research variables

Variables	How to measure
Efficiency of water resource consumption	The ratio of total water consumption to GDP
Water resources per capita	Ratio of total water resources to total population
Exploitation of water resources	The ratio of total water consumption to total water resources
GDP per capita	The ratio of GDP to population
Per capita investment in fixed assets (industrial structure)	The ratio of investment in fixed assets to population
Cereal products per capita	Ratio of total cereal crops to population
Research and Development	R&D value ratio to GDP
The degree of openness of the economy of each province	The ratio of the value of exports to imports

Source: Research Finding

Results and discussion:

Table (2) shows the direct, indirect and total effect (spatial overflow) in the short and long term. The results of the spatial Durbin model show that in the short term, the indirect and total changes of GDP per capita, grain per capita and research and development on the efficiency of water resource consumption have been negative and significant, as well as indirect and total for the degree of openness of each economy. The province is positive and significant on the efficiency of water resources consumption, that is, with the increase of GDP per capita, grain per capita and research and development, the efficiency of water resources consumption will decrease in the short term, or in other words, it will decrease in the short term. The growth of GDP per capita, the growth of grain and the development of research and increasing the efficiency of water resources use

The results of the spatial Durbin model in the long-term show that the direct effects of the per capita GDP variable on the efficiency of water resource consumption were positive and significant,

while the indirect and total effects of the per capita GDP on the efficiency of water resource consumption were negative and

The results of this research are consistent with the study of Zhao et al (2017) and also the effects of direct, indirect and all other variables on the efficiency of water resources consumption in the long term were not significant. The results of direct, indirect and total effects in long-term conditions are somewhat different from short-term effects, because as the theories of microeconomics confirm, short-term elasticities are smaller than long-term elasticities and the opportunity to react to various shocks for economic factors in the long-term is greater than in the short-term. and in this regard, the elasticity of the effect of the total degree of openness of the economy of each province is positive and significant in the short and long term, and its elasticity will be 1.54 in the short term and 1.84 in the long term, or in other words, the elasticity of the degree The openness of the economy is greater in the long term than in the short term.

Table 2- Direct and indirect (spillover) spatial effects resulting from the estimation of the model with the help of the specifications of the spatial Durbin model

		Indirect effect	direct effect	Total effect
	The main variable	coefficient (probability)	coefficient (probability)	coefficient (probability)
Short Term effects	lnCwat	0.02(0.39)	-0.08(0.28)	0.01(0.53)
	lnEwat	0.92(0.33)	0.1(0.48)	1.02(0.25)
	LnGDPC	-1.41(0.05)	0.82(0.02)	-1.34(0.05)
	LnIndS	0.009(0.66)	0.02(0.42)	-0.01(0.55)
	LnGC	-0.09(0.06)	-0.1(0.9)	-0.09(0.05)
	LnTech	-0.07(0.07)	-0.02(0.63)	-0.07(0.05)
	LnDeco	1.37(0.06)	0.17(0.4)	1.54(0.03)
	LnAgrwat	0.03(0.77)	0.004(0.68)	0.08(0.47)
	LnDriwat	-0.02(0.55)	0.05(0.68)	-0.02(0.56)
	LnTotwat	0.02(0.44)	0.02(0.53)	0.02(0.38)
Long Term effects	lnCwat	0.03(0.78)	-0.01(0.98)	0.02(0.54)
	lnEwat	0.92(0.57)	0.23(0.98)	1.02(0.26)
	LnGDPC	-1.81(0.05)	0.21(0.05)	-1.34(0.06)
	LnIndS	0.01(0.79)	0.02(0.92)	0.01(0.55)
	LnGC	-0.01(0.6)	-0.03(0.9)	-0.01(0.06)
	LnTech	-0.086(0.61)	-0.06(0.94)	-0.08(0.06)
	LnDeco	1.67(0.48)	0.01(0.9)	1.84(0.04)
	LnAgrwat	0.03(0.77)	0.006(0.84)	0.09(0.48)
	LnDriwat	-0.04(0.55)	0.07(0.92)	-0.03(0.56)
	LnTotwat	0.02(0.44)	0.01(0.91)	0.02(0.38)
	R^2	0.78	Hausman test	34.21

Source: Research Finding

Acknowledgement
The authors are grateful for the support and assistance of the University of Sistan and Baluchestan.

Conflict of Interest
The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding
The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

First author: Seyed Mehdi, Hosseini 30% of the entire article, including data collection, analysis of results, and writing the article.

Second author: Amir Dadras Moghadam, 30% of the entire article, including research methodology, analysis of results, and conclusion.

Third author: Hossein Badi Barzin, 20% of the entire article, including writing the article and research methodology

Fourth author: Mohammad Norozian, 20% of the entire article, including data analysis and introduction.

References

1- Ansari, H., Boostani, A., Tabatabaee, A., and Forouzesh, M. 2017. Investigation of Consumption Management and Estimation of the Drinking Water Demand in the Vision 1420 for the City of Mashhad. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), pp125-132. Doi: 10.22067/jwsd.v4i1.50409

2- Saghafi, A., Einy, N., & Issazadeh, M. 2018. Analysis and evaluation of factors affecting the sustainable management of water resources in agriculture.

3- Seyef, A.M. Hamidi Razi, D. 2017. Identification of Factors that Influence Iran's Provincial Energy Intensity Index: A Spatial Dynamic Panel Data Approach. *QEER*; 13 (53) :pp61-10 URL: http://iiesj.ir/article-1-774-en.html

4- Taghizadeh, S., Navid, H., Fellegari, R., & Fakheri Fard, A. 2013. Changing of optimum cropping pattern analysis considering risk factor and new limitations of kurdistan regional water company (Case study: 200 Hectares of Farm Area in Dehgolan Field. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(1),pp 71-84.

5- Zhao, L. Sun, C., and Liu, F. 2017. Interprovincial two-stage water resource utilization efficiency under environmental constraint and spatial spillover effects in China, *Journal of Cleaner Production*. 164: pp715-725. Doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.252

© 2025 Shahid Chamran Universiry 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۱۰۰-۸۵

عوامل مؤثر بر کارایی مصرف منابع آب در استان‌های ایران با رویکرد پانل دوربین فضایی

سید مهدی حسینی[۱]، امیر دادرس مقدم[۲]، حسین بدیع برزین[۳] و محمد نوروزیان[۴]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان، shseyedmahdi46@gmail.com.

۲- استادیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۳- گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۴- گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان.

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۳ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

چکیده

ایران جزء کشورهای خشک و دارای منابع آب محدود است. محدودیت و تقاضای روز افزون منابع آب در کشور همچنین رشد جمعیت، امنیت غذایی، ارتقاء سطح بهداشت، توسعه صنعتی و حفظ محیط زیست ایجاب می‌کند که با مدیریت تقاضا، کنترل مصرف، در دستور کار قرار گرفته، تا کارایی این منابع، با تعیین عوامل اقتصادی اثرگذار، ارتقاء یابد. در این پژوهش با استفاده از مدل پانل دوربین فضایی به بررسی عوامل اقتصادی مؤثر بر کارایی مصرف منابع آب در ۳۱ استان ایران در طی دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۸۹ پرداخته شده است. نتایج مدل دوربین فضایی نشان می‌دهد که متغیرهای بهره‌برداری از منابع آب، درجه باز بودن اقتصاد هر استان و مصرف آب کشاورزی به ترتیب به میزان ۰/۰۲، ۰/۳۱ و ۰/۰۴ بر میزان کارایی مصرف منابع آب تأثیر مثبت و معناداری داشته، در حالی‌که متغیرهای منابع آب سرانه و تحقیق و توسعه در استان به‌ترتیب به اندازه ۰/۰۵ و ۰/۰۹ بر میزان کارایی مصرف منابع آب استان تأثیر منفی و معناداری گذاشته است و متغیر λ دارای تاثیر مثبت و معنادار بر کارایی مصرف منابع آب می‌باشد که حاکی از تأثیرپذیری مثبت هر استان از استان مجاور است. اثرات کل سرریز فضایی کوتاه‌مدت و بلندمدت درجه باز بودن اقتصاد هر استان بر کارایی مصرف منابع آب مثبت و معنادار می‌باشد و کشش آن در کوتاه‌مدت از بلندمدت کمتر است. با توجه به نتایج به سیاست‌گذاران پیشنهاد می‌شود که با تنوع بخشی در بهره‌برداری از منابع آب، فراهم کردن بستر و زیرساخت‌های لازم حمل و نقل بین استان‌ها در جهت تسهیل صادرات و واردات و استفاده از روش‌های نوین آبیاری در بخش کشاورزی و با فرهنگ‌سازی در دوره ترسالی سعی در صرفه‌جویی و استفاده صحیح از منابع آب داشته تا کشور در سال‌های خشکسالی کمتر دچار تنش آبی شود.

کلیدواژه‌ها: بهره‌برداری از منابع آب، مصرف آب، خودهمبستگی فضایی، تحقیق و توسعه.

مقدمه

ایران با متوسط نزولات جوی ۲۶۰ میلی‌متر در سال از کشورهای خشک جهان و دارای منابع آب محدود به شمار می‌رود که عواملی همچون رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر، ضرورت ارتقای سطح بهداشت و رفاه اجتماعی، توسعه صنعتی و حفاظت اکوسیستم‌ها، تقاضای آب را برای این منابع محدود روز به روز بیشتر می‌کند (Taghizadeh et al., 2013). با در نظر گرفتن خشکسالی‌های اخیر، اهمیت آب به‌عنوان یک نهاده حیاتی بیش از پیش مشخص می‌شود. امروزه بشر در جریان شتابان توسعه برای تأمین آب، با مشکلات زیادی رو برو است. این وضعیت در اقلیم‌های خشک کم بارش که اکوسیستم‌های دخیل در تأمین آب شکننده‌تر است، با وقوع خشکسالی‌ها و برداشت بی‌رویه از ذخایر آب، برنامه‌ریزان را با شرایط بحرانی‌تر رو به‌رو ساخته است. رشد سریع جمعیت و نیاز به تولید بیشتر سبب شده است که بخش کشاورزی نسبت به سایر بخش‌های مصرف‌کننده آب، تقاضای بیشتری برای مصرف داشته باشد، در شرایط فعلی، مهم‌ترین چالش این بخش، تولید غذای بیشتر از منابع آبی کمتراست (Saghafi et al., 2018). با توجه به محدویت منابع آب قابل دسترس در کشور و افزایش روز افزون تقاضا برای مصارف مختلف آب در کلیه جنبه‌های آن و در نتیجه رسیدن به مرز بحرانی استفاده از منابع آب تجدیدپذیر ایجاب می‌کند که مدیریت تقاضا، مبنای کنترل مصرف و مدیریت منابع آب قرار گیرد تا ضمن تأمین امنیت آبی، قوانین بر این مبنا به‌منظور ایجاد تعادل بین مصرف و تأمین آب تدوین شود. شیوه‌های مختلف مدیریت تصمیم گیری و تعیین عوامل تأثیرگذار در مدیریت منابع آب، مورد اهتمام کلیه مدیران، همچنین سایر ذینفعان، بوده است (Ansari et al., 2017).

در سال‌های اخیر، مطالعه‌های تجربی زیادی در رابطه با بررسی عوامل مؤثر بر شدت مصرف آب در بین بخش‌های اقتصادی مناطق یک کشور و بین کشوری صورت گرفته است. بسیاری از محققان، کارایی و راندمان مصرف آب ایران و عوامل مؤثر بر آن را با روش‌های مختلفی از جمله کارایی مرزی تصادفی (Stochastic frontier analysis)، تجزیه و تحلیل پوشش داده

DOI: 10.22055/jise.2024.45383.2104

(Data Envelopment Analysis) ، مدل اندازه‌گیری مبتنی بر متغیر کمبود (Slack-Based Measure)، مدل نامطلوب و متا مرزی (Meta-Frontier Model) و غیره مورد سنجش قرار داده‌اند که در این پژوهش‌ها ارزش مطلق یا نسبی بهره‌وری مصرف آب را در استان‌های کشور تخمین زده‌اند و عوامل مؤثر بر آن شامل بهره‌وری منابع آب، ساختار مصرف آب، ساختار صنعتی، پیشرفت فنی، سطح توسعه اقتصادی و غیره را مورد تاکید قرار داده‌اند. با این حال، موضوع کارایی و راندمان مصرف آب با توجه به عوامل مؤثر در مناطق مختلف، متفاوت است. مطالعه‌های قبلی، به ندرت از تعامل فضایی کارایی و بهره‌وری مصرف آب و عوامل تأثیرگذار بر آن برخوردار بوده. اکثر این مطالعه‌ها، اثرات مکانی و جغرافیایی (فضایی) را مورد توجه قرار نداده‌اند.

یکی از متغیرهای مهمی که به تازگی در مطالعه‌های تجربی اقتصاد آب بـه آن توجـه شـده، بعـد فضـا و موقعیـت جغرافیـایی کشورها و مناطق می‌باشد. در حقیقت، کارایی مصرف آب در یک استان خاص ممکن است نه تنها با شاخص‌های اجتماعی- اقتصادی و محیط زیستی آن، بلکه با کارایی مصرف آب در استان‌های مجاور، ارتباط داشته، این شرایط ممکن است تحت تأثیر شرایط استان‌های همجوار قرار گیرد. در ادامه به برخی از پژوهش‌ها در مورد این موضوع اشاره شده است: Ma et al (2016) به بررسی کارایی استفاده از آب در چین با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که کارایی استفاده از آب در چین در بین استان‌ها و مناطق متفاوت است. به‌عنوان مثال، کارایی استفاده از آب در استان‌های ساحلی شرقی به‌طور قابل توجهی بالاتر از استان‌های داخلی است. عواملی که به کارایی استفاده از آب کمک می‌کنند شامل توسعه اقتصادی، پیشرفت فنآوری و درجه باز بودن اقتصاد هر استان است و عوامل منفی مؤثر بر کارایی استفاده از آب از ساختار صنعتی، مداخلات دولتی و موجودی منابع آب ناشی می‌شود. برای افزایش کارایی استفاده از منابع آب، چین باید بر تغییر ساختار صنعتی خود، پیشرفت توسعه فناوری، درجه باز بودن اقتصاد هر استان و تشویق نوآوری‌های کارآفرینی تمرکز کند. Zhao et al (2017) به بررسی کارایی زیست محیطی منابع آبی تحت محدودیت زیست محیطی و اثرات سرریز فضایی در چین با استفاده از مدل DEA-SBM پرداخته و نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که کارایی کل بهره‌برداری از منابع آب دارای اثرات سرریز فضایی است و کارایی مناطق، تحت تأثیر مناطق مجاور قرار دارد. اثرات مستقیم و غیرمستقیم حاکی از آن است که مصرف آب، درجه باز بودن اقتصاد و ساختار صنعتی از عوامل مؤثر بر کارایی منابع آب می‌باشد. به‌منظور بهبود کارایی بهره‌برداری از منابع آب، دولت و شهروندان باید روی راه‌حل‌هایی مانند کاهش آلودگی، صرفه‌جویی در مصرف آب و تغییر ساختار صنعتی تمرکز کنند.

Seyef و Hamidirazi (2017) به بررسی عوامل مؤثر بر شاخص شدت مصرف انرژی استان‌های کشور با رهیافت پانل پویای فضایی در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۷۹پرداخته و نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که کشش خودرگرسیون فضایی شدت مصرف انرژی در بین استان‌های کشور ۰/۵۵ درصد بوده و بنابراین برای کاهش شدت مصرف انرژی در استان‌های کشور باید تصمیمات برای مناطق مختلف متفاوت باشد. Molaei et al (2017) به بررسی برآورد کارایی زیست محیطی نهاده - محور محصولات کشاورزی و تأثیر پیشرفت فنّاوری و تغییرات کارایی بر رشد بهره‌وری بخش کشاورزی ایران به تفکیک استان‌های کشور پرداختند. بدین منظور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و مدل مالم‌کوئیست، اثرات تغییرات کارایی و فنّاوری بر رشد بهره‌وری در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۸۳ بررسی شده است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که تغییرات کارایی بر رشد بهره‌وری نقش غالب داشته و سهم تغییرات فنّاوری اندک بوده و همچنین اثر تغییرات نیروی کار بر رشد بهره‌وری مثبت بوده و تغییرات سرمایه اثر اندک بر بهره‌وری عوامل تولید داشته است. کارایی عوامل تولید (به‌ویژه نهاده آب) عامل تعیین‌کننده مهمی در میزان سوددهی بنگاه می‌باشد. Xilong et al (2018) به ارزیابی کارایی شاخص کارایی کل عوامل آب سبز(GTFWE) در چین با مدل DEA-SBM پرداختند. همچنین این شاخص با کارایی مدیریتی کل عوامل سبز (GTFWME) و کارایی زیست محیطی کل عوامل سبز (GTFWEE) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که شاخص کارایی کل عوامل آب سبز در صنایع پایین می‌باشد و کارایی زیست محیطی بر شاخص کارایی کل عوامل آب سبز تأثیر معنی‌داری دارد و کارایی مدیریتی عوامل سبز روند کاهشی داشته است. Chen et al (2021) به محاسبه کارایی مصرف آب صنعتی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در ۳۱ استان چین طی سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ پرداختند. همچنین برای بررسی عوامل مؤثر بر کارایی آب صنعتی مدل توبیت فضایی استفاده شده است. نتایج نشان داد که مقادیر راندمان مصرف آب صنعتی در تمامی استانها در طول دوره مورد مطالعه کمتر از یک بوده و بیان‌گر آن است که مصرف آب صنعتی به وضعیت مطلوب نرسیده است و بایستی آن را بهبود بخشید. استان‌های با راندمان مصرف آب صنعتی بالا در مناطق شرقی و ساحلی تمرکز داشته‌اند، درحالی‌که استان‌هایی با راندمان مصرف آب صنعتی پایین در مناطق غربی تمرکز داشته‌اند. نتایج نشان داد که سرانه مصرف آب، میزان تحقیق و توسعه و مقررات زیست محیطی بر کارایی منابع آب تأثیر منفی دارد. درحالی‌که تولید ناخالص داخلی سرانه، ساختار صنعتی و میزان سرمایه‌گذاری خارجی بر کارایی منابع آب تأثیر مثبت دارد.

Modhej و Dahimavi (2021) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی ۳۳ نظام بهره‌برداری از آب کشاورزی استان خوزستان طی فصل زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ پرداختند. نتایج نشان داد که تمام شرکت‌های زیرمجموعه نظام بهره‌برداری از منابع آب کشاورزی شرکت‌های خصوصی کارا می‌باشند. همچنین نظام بهره‌برداری مارون از شرکت‌های بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی و نظام بهره‌برداری کشتگران از تعاونی‌های تولید پایین‌ترین سطح کارایی را داشته‌اند.

Song et al (2022) با تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها و اقتصاد سنجی فضایی به اندازه‌گیری راندمان استفاده از منابع آب در ۲۸۶ شهر چین طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ پرداختند. نتایج نشان داد که کارایی به‌طور قابل توجهی در مناطق شمالی تا جنوبی متفاوت است. علاوه بر این، توسعه اقتصادی، سرمایه‌گذاری خارجی، سطوح توسعه صنعتی، شدت کنترل محیطی دولت، تراکم جمعیت و ساختار مصرف آب تأثیرات قابل توجه بر کارایی مصرف آب داشته است.

Norozian et al. (2022) به عوامل مؤثر بر کارایی زیست محیطی کلزاکاران در استان‌های ایران با رهیافت اقتصاد سنجی فضایی پرداختند و دریافتند که پیشرفت فناوری در بخش کشاورزی و ساختار صنعتی بر کارایی زیست محیطی کلزاکاران تاثیر معنی‌داری دارد. اثرات فضایی نشان داد که مصرف آب کل داخلی و ساختار صنعتی تأثیر معناداری بر کارایی زیست‌محیطی دارد.

واقعیت آن است که در پژوهش‌های تجربی مدل‌های مکانی توزیع تکنولوژی و کارایی، نمی‌توان یک منطقه را مستقل از مناطق دیگر در نظر گرفت، زیرا بر اساس قانون جغرافیایی اول توبلر هر مکانی به مکانی دیگر وابسته است و مکان‌هایی که به هم نزدیکترند بیشترین تأثیر را نسبت به مکان‌های دورتر، بر همدیگر دارند. در ادبیات اقتصادسنجی نیز عدم لحاظ بعد فضا در مدل‌سازی‌های تجربی آماری و اقتصادسنجی، منجر به خطای تخمین و استنتاج غلط آماری می‌شود (Seyef and Hamidirazi, 2017). در این پژوهش به بررسی عوامل مؤثر بر کارایی منابع آب ایران با توجه به اثرات سرریز فضایی و با استفاده از مدل دوربین فضایی پرداخته شده است که از این منظر نسبت به مطالعات داخلی انجام گرفته، بدیع می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا کارایی منابع آب استان‌ها برآورد شده و سپس با استفاده از روش دوربین فضایی (SDM) تأثیر عوامل مؤثر اقتصادی و مصرف نهاده آب در بخش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

محاسبه کارایی از دیدگاه عملی مستلزم تخمین توابع مرزی تولید و یا هزینه است. برای این منظور روش‌های مختلفی مطرح شده که بر حسب ویژگی‌هایشان به دو روش کلی و متمایز طبقه‌بندی شده‌اند. روش اول تحت عنوان روش ناپارامتری و روش دوم تحت عنوان روش پارامتری می‌باشد. روش اندازه‌گیری ناپارامتری مبتنی بر روش برنامه‌ریزی ریاضی است و از آن جهت ناپارامتری نامیده می‌شود که برای محاسبه مرز تولید (هزینه) و اندازه‌گیری کارایی در چارچوب آن، الزامی به تخمین هیچ نوع تابع خاصی نیست. متداول‌ترین شیوه محاسباتی که در چارچوب روش مذکور مطرح می‌باشد، روش تحلیل فراگیر داده‌ها (DEA) است. کارایی یک معیار اساسی است و به صورت نسبتی از سبد نهاده بهینه به سبد ستانده واقعی تعریف شده است. البته مفهوم بهینه به واحد اتخاذ کننده تصمیم (DMU) بستگی دارد. برای مثال هدف DMU می‌تواند مینیمم‌سازی استفاده از نهاده باشد یا ماکزیمم کردن ستانده باشد و یا حداقل‌کردن هزینه باشد (Zhao et al., 2017).

در اقتصادسنجی فضایی، اثرات فضایی در نظر گرفته شده و این اثرات به مکان استقرار متغیرها مربوط می‌شود و می‌توان آن‌ها را تحت عناوین وابستگی فضایی یا خود همبستگی فضایی و ناهمسانی فضایی یا ساختار فضایی توضیح داد. این شاخه از اقتصادسنجی از یک جهت شباهت‌هایی با آمار جغرافیایی و آمار فضایی دارد، اما تفاوت اقتصادسنجی فضایی با آن‌ها درست مانند تفاوت اقتصادسنجی با آمار است (Anselin, 1995). در داده‌های دارای خودهمبستگی فضایی، استفاده از مدل رگرسیون پانل عمومی، ممکن است منجر به اریب در نتایج آماری شود. در روش‌شناسی اقتصادسنجی فضایی بسته به اینکه متغیر وابسته، متغیرهای توضیحی و یا جمله خطا وابستگی فضایی داشته باشند، مدل‌های فضایی متفاوتی مطرح می‌شود (Zhao et al., 2017). به طور کلی، مدل‌های خودرگرسیون فضایی شامل مدل عمومی خودرگرسیون فضایی (SAC)، مدل فضایی خودرگرسیون توأم (SAR)، مدل خودرگرسیونی با خودهمبستگی فضایی در جمله اخلال(SEM) و مدل فضایی دوربین (SDM) می‌باشند (Salami and Nemati, 2014).

کامل‌ترین مدل خودرگرسیونی فضایی، الگوی عمومی خودرگرسیونی فضایی (SAR) است که سایر مدل‌ها به نوعی در این مدل قرار می‌گیرند به‌طوری‌که با وارد کردن محدودیت‌هایی بر روی پارامترهای این مدل می‌توان سایر مدل‌های خودرگرسیونی فضایی را به‌دست آورد. شکل کلی این مدل به‌صورت زیر نشان داده شده است:

$$(\lambda = \theta = 0) \rightarrow y_i = \tau Y_{i.t-1} + \rho W Y_{it} + \beta X_{it} + \alpha_i + \gamma_t + u_{it} \quad (۱)$$

که در آن i مقطع و t دوره زمانی را نشان می‌دهد. Y برداری از متغیر وابسته، X نمایان‌گر متغیرهای توضیحی و W ماتریس وزن‌های فضایی هستند. β نشان‌دهنده برداری از پارامترها است. ρ نشان‌دهنده ضریب خودهمبستگی فضایی است و در نهایت λ ضریب خودهمبستگی فضایی در جملات خطا است. این مدل به‌صورت هم‌زمان وقفه فضایی و همبستگی فضایی جمله خطا را دارا است (Monjazeb and Nosrati, 2017).

مدل دوربین فضایی (SDM) تغییرات متغیر وابسته را به‌صورت ترکیب خطی از استان‌های همسایه توضیح می‌دهد. در مدل دوربین فضایی، وقفه فضایی متغیر وابسته و متغیر مستقل به مدل اضافه می‌شود. شکل کلی این مدل در رابطه (۲) نشان داده شده است. در این مدل علاوه بر متغیرهای توضیحی، وقفه فضایی متغیرهای توضیحی نیز وارد مدل شده است (Salami and Nemati, 2014).

DOI: 10.22055/jise.2024.45383.2104

$$(\lambda = 0) \rightarrow Y_i = \tau Y_{i.t-1} + \rho W Y_{it} + X_{it}\beta + DX_{it}\theta + \alpha_i + \gamma_t + u_{it} \quad (۲)$$

اگر در مدل (۲) پارامتر ρ برابر با صفر قرار داده شود، الگوی خودرگرسیونی با همبستگی در جملات اخلال (SEM) به‌دست می‌آید. این مدل بیان‌گر آن است که همبستگی فضایی مستقیم بین استان‌های مختلف وجود ندارد، بلکه همبستگی از طریق جملات اخلال در مناطق همسایه صورت می‌گیرد (Monjazeb and Nosrati, 2017).

$$(\rho = \theta = \tau = 0) \rightarrow Y_i = X_{it}\beta + \alpha_i + \gamma_t + v_{it} \qquad v_{it} = \lambda E v_{it} + u_{it} \quad (۳)$$

مدل فضایی عمومی (SAC) شامل هر دو مدل مختلط رگرسیونی و خطای فضایی است و به‌صورت زیر است:

$$(\theta = \tau = 0) \rightarrow Y_i = \tau Y_{i.t-1} + \rho W Y_{it} + X_{it}\beta + \alpha_i + \gamma_t + v_{it} \qquad v_{it} = \lambda E v_{it} + u_{it} \quad (۴)$$

زمانی مدل‌های خودرگرسیون فضایی و دوربین فضایی استاندارد به‌دست می‌آیند که مدل‌های تصریحی ایستا باشند= (τ 0). ضریب خودرگرسیون فضایی(ρ) نشان می‌دهد که متغیر وابسته در یک استان چقدر از طریق متغیر وابسته استان‌های مجاور تحت تأثیر قرار می‌گیرد و همچنین در صورت وابستگی فضایی اجزای اخلال، یک شوک خارجی در یک منطقه به تغییرات متوسط در متغیر وابسته مناطق مجاور منجر می‌شود و ضریب خطای فضایی (λ) اندازه آن را نشان می‌دهد (Shahbazi & Rezaei, 2015). از میان مدل‌های اقتصادسنجی فضایی، مدل خطای فضایی (SEM) امکان سنجش اثرات سریز منطقه‌ای را ندارد (Vega and Elhorst, 2013). مدل دوربین فضایی و مدل عمومی نتایج اثرات اثرات مستقیم و غیرمستقیم سرریز (فضایی) را بهتر نشان می‌دهند (Zarra Nezhad & Mansouri2015).

قبل از تخمین مدل فضایی، برای تشخیص درجه انباشتگی متغیرها از آزمون ریشه واحد استفاده می‌شود تا با حصول اطمینان از ایستایی متغیرها دیگر نیازی به انجام آزمون هم‌انباشتگی پانلی و هراس از کاذب بودن رگرسیون وجود ندارد. اساس آزمون ریشه واحد بر این منطق استوار است که وقتی ρ=1 مورد پذیرش قرار گیرد یعنی متغیر مورد نظر ناایستا است و در صورت رد این فرضیه متغیر مورد نظر ایستا می‌باشد (Akbari et al, 2017). از میان آزمون‌های مختلف ریشه واحد مربوط به داده‌های ترکیبی، آزمونی که توسط Levin et al (2002) انجام شده، رایج‌تر بوده و این آزمون، مدل تصریح شده دیکی فولر را مبنا قرار می‌دهد (Samati et al, 2014). مدل کلی آزمون لوین، لین و چو به شرح ذیل است:

$$\Delta Y_{it} = a_i y_{it-1} + \sum_{j=1}^{pi} \beta ij \Delta y_{it-1} + x_{it}\delta + u_{1it} \quad (۵)$$

که در آن i مقطع و t دوره زمانی را نشان می‌دهد. pi تعداد وقفه‌های انتخابی برای انجام آزمون ADF و xit بردار متغیرهای برون‌زای مدل را بازنمایی می‌کنند. در آزمون LLC فرض می‌شود که ضریب در بین همه مقاطع یکسان است.

بعد از انجام آزمون ریشه واحد بایستی ماتریس وزنی فضایی تخمین زده شود و از آنجایی که امکان تخمین ماتریس‌های وزنی فضایی در مدل‌سازی فضایی وجود ندارد. در بیشتر مطالعه‌ها از دو روش مجاورت و فاصله مکانی به‌منظور ایجاد ماتریس وزنی فضایی استفاده می‌شود؛ در ماتریس مبتنی بر مجاورت، اثرات فضایی فقط به مناطق همسایه (مناطقی که از لحاظ جغرافیایی نقاط هم‌مرز داشته باشند) محدود می‌شوند اما در ماتریس مبتنی بر فاصله به نوعی تمام مکان‌ها با هم همسایه تلقی می‌شوند که در این پژوهش از روش فاصله مکانی استفاده شده است (Taleblou et al, 2017).

در مدل برآورد شده لازم است وابستگی فضایی و وجود خود همبستگی بین جملات اخلال مورد آزمون قرار گیرد. برای بررسی و آزمون ضریب خودهمبستگی فضایی و معنی‌داری آن می‌توان از آماره‌های مختلف همچون آماره موران (Moran)، گری (Geary)، گتیس (Getis) و LM استفاده نمود. در مطالعه‌های تجربی، عموماً از آماره موران در تحلیل خودهمبستگی فضایی استفاده می‌شود. فرض وجود خودهمبستگی فضایی میان مشاهدات توسط آزمون LM صورت می‌گیرد و W وزن ماتریس فضایی است آزمون موران فرض وجود خودهمبستگی فضایی میان جملات اخلال را مورد بررسی قرار می‌دهد. W_{ij}وزن فضایی بین عارضه i و j می باشد، n تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در منطقه مورد مطالعه، xi و xj به ترتیب مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر در منطقه i و j است و $\bar{x}$ میانگین مقادیر مشاهده شده می باشد.مقادیر نزدیک ۱+ نشان دهنده الگوی خوشه‌ای و مقادیر ۱− نشان‌دهنده یک الگوی پراکنده است. سرانجام، مقادیر نزدیک صفر نشان دهنده عدم وجود الگوی فضایی هستند (Zhao et al., 2017). به‌صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} W_{ij}(x_{it}-\bar{x_t})}{\sum_{j=1}^{n} w_{jti}} = \frac{e^{t} W e}{e^{t} e} \quad (۶)$$

بعد از بررسی آزمون‌های تشخیصی بایستی اقدامات زیر برای تعیین مدل بهینه فضایی صورت گیرد:

در ابتدا دو مدل SAC و SEM برآورد شده و بر اساس آزمون معنی‌داری متغیرها، میزان ضریب تعیین و ضریب همبستگی در جملات خطا مقایسه می‌شوند و سپس دو مدل SEM و SAR

برآورد شده و بر اساس دو آزمون LM(lag) و LM (error) مقایسه می‌شوند و در نهایت با مقایسه مدل SDM با سایر مدل‌ها، بهترین مدل انتخاب می‌شود (Taleblou et al, 2017). در این پژوهش مدل دوربین فضایی(SDM) به‌صورت ذیل تصریح می‌شود(Zhao, et al., 2017):

$$\begin{aligned}\ln Y_i = {} & \tau Y_{i.t-1} + \rho W \ln Y_{it} + \beta_1 \ln Cwat_{it} + \\ & \beta_2 \ln Ewat_{it} + \beta_3 Ln\ GDPC_{it} + \beta_4 \ln IndS_{it} + \\ & \beta_5 LnGC_{it} + \beta_6 \ln Tech_{it} + \beta_7 \ln Deco_{it} + \\ & \beta_8 Ln\ Agrwat_{it} + \beta_9 \ln Driwat\ C_{it} + \\ & \beta_{10} Ln\ Totwat_{it} + DX_{it}\theta + \alpha_i + \gamma_t + u_{it}\end{aligned} \quad (۷)$$

که در آن lnYi، lnEwat، lnCwat، LnGDPC، LnIndS، LnGC، LnTech، LnDeco، LnAgrwat، LnDriwat و LnTotwat به‌ترتیب نشان‌دهنده کارایی مصرف منابع آب در هر استان، لگاریتم منابع آب سرانه، لگاریتم بهره‌برداری از منابع آب، لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه، لگاریتم ساختار صنعتی، لگاریتم محصولات غله سرانه، لگاریتم تحقیق و توسعه، لگاریتم درجه باز بودن اقتصاد هر استان، لگاریتم مصرف آب کشاورزی، لگاریتم مصرف آب شرب روزانه و لگاریتم مصرف کل آب است.

برای رسیدن به نتایج منطقی و مشاهده اثرات فضایی کارایی مصرف منابع آب و عوامل مؤثر بر آن از روش پانل دوربین فضایی برای ۳۱ استان ایران در طی دوره زمانی ۱۳۸۹-۱۳۹۹ استفاده شده است. متغیرهای اقتصادی و مکانی از وزارت جهاد کشاورزی (https://www.maj.ir/)، سازمان هواشناسی کشور (https://www.irimo.ir) و وزارت نیرو (https://www.moe.gov.ir)، مرکز آمار ایران (https://www.amar.org.ir) جمع‌آوری شده و با استفاده از نرم‌افزار STATA 15 مدل‌ها تخمین زده شده است. در این پژوهش علاوه بر متغیرهای آب مصرفی کشاورزی، شرب و کل، بقیه متغیرهای پژوهش بر اساس جدول (۱) محاسبه می‌شوند.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی مانایی متغیرها از آزمون‌های ریشه واحد داده‌های ترکیبی استفاده شد. نتایج جدول (۲)، آزمون ریشه واحد برای تمام متغیرها را نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر ناایستایی متغیرها رد می‌شود، یعنی کلیه متغیرهای مدل در سطح ایستا بوده و با حصول اطمینان از ایستایی متغیرها دیگر نیازی به انجام آزمون هم‌انباشتگی پانلی و هراس از کاذب بودن رگرسیون وجود ندارد.

جدول۱- نحوه محاسبه متغیرهای پژوهش

Table 1- how to calculate research variables

Variables	How to measure
Efficiency of water resource consumption	The ratio of total water consumption to GDP
Water resources per capita	Ratio of total water resources to total population
Exploitation of water resources	The ratio of total water consumption to total water resources
GDP per capita	The ratio of GDP to population
Per capita investment in fixed assets (industrial structure)	The ratio of investment in fixed assets to population
Cereal products per capita	Ratio of total cereal crops to population
Research and Development	R&D value ratio to GDP
The degree of openness of the economy of each province	The ratio of the value of exports to imports

Source: Research Finding

DOI: 10.22055/jise.2024.45383.2104

جدول ۲- نتایج آزمون متغیرهای تأثیرگذار بر کارایی مصرف منابع آب (Levin, et al., 2002)

Table 2 - Test results for variables affecting water use efficiency (Levin, et al., 2002)

Variables	LLC	Probability of variables at the level	Statioary
Water resources per capita (Cwat)	-5.43	0.00	I(0)
Exploitation of water resources (Ewat)	-3.51	0.00	I(0)
GDP per capita (GDPC)	-1.36	0.00	I(0)
Industrial structure (IndS)	-0.35	0.00	I(0)
grain per capita (GC)	-4.65	0.00	I(0)
Research and development of each province (Tech)	-0.66	0.00	I(0)
The degree of openness of the economy of each province (Deco)	-1.43	0.00	I(0)
Agricultural water consumption (Agrwat)	-1.32	0.03	I(0)
Drinking water consumption (Driwat)	2.21	0.00	I(0)
Total water consumption in the province (Totwat)	2.76	0.1	I(0)
Efficiency of water resource consumption (Y)	-0.54	0.04	I(0)

Source: Research Finding.

جدول ۳- آزمون‌های تشخیصی موران و ضریب لاگرانژ برای مدل پانل فضایی

Table 3- Moran diagnostic tests and Lagrangian coefficient for spatial panel model

Model	Moran	Geary	Getis	LR	Lmerror	Lmlag	Lmerror -robust	Lmlag-robust
SDM	0.16	0.91	-0.16	19.69	41.24	7.6	2.62	6.35
probability	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01

Source: Research Findings

در روش پانل فضایی، بعد از ساخت ماتریس مسافت بین استان‌ها از آزمون‌های موران، ضریب لاگرانژ، LMerror_robust و LMlag_robust برای تشخیص رابطه فضایی بین استان‌ها کمک گرفته شده است که فرضیه صفر این آزمون‌ها، عدم وابستگی فضایی در اجزای اخلال می‌باشد. با توجه به نتایج جدول (۳) فرضیه صفر مبنی بر عدم وابستگی فضایی رد شده و در نتیجه می‌توان از روش اقتصادسنجی فضایی استفاده کرد. مقدار مثبت و معنادار ضریب خودرگرسیون فضایی نشان می‌دهد که بخشی از بالا بودن کارایی مصرف منابع آب هر استان به واسطه اثر فاصله (یا مجاورت) بوده است. بر این اساس، مدل‌های خودرگرسیون فضایی، خطای فضایی، مدل دوربین فضایی و مدل فضایی عمومی تخمین زده شده و در نهایت بر اساس متدولوژی الهورست برای انتخاب الگوی فضایی مناسب، مدل SDM به‌عنوان بهترین مدل فضایی انتخاب شد. (Elhorst, 2013).

به‌منظور برآورد عوامل مؤثر بر کارایی مصرف منابع آب در استان‌های ایران از مدل دوربین فضایی استفاده شده است. بر اساس نتایج مدل دوربین فضایی در جدول (۴) متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، ساختار صنعتی، تولید سرانه غلات، مصرف آب شرب و مصرف کل آب بر میزان کارایی مصرف منابع آب تأثیر معناداری نداشته است اما متغیرهای بهره‌برداری از منابع آب و درجه باز بودن اقتصاد هر استان و مصرف آب کشاورزی در سطح استان‌ها تأثیر مثبت و معناداری بر میزان کارایی مصرف منابع آب داشته است، یعنی با یک درصد افزایش در متغیرهای بهره‌برداری از منابع آب و

درجه باز بودن اقتصاد هر استان و مصرف آب کشاورزی، کارایی مصرف منابع آب در استان به‌ترتیب به‌میزان ۰/۰۲، ۰/۳۱ و ۰/۰۴ درصد افزایش خواهد یافت یعنی هر چه بهره‌برداری از منابع آب در استان بیشتر باشد و یا استان صادرات بیشتری به استان‌های دیگر داشته باشد و یا مصرف آب کشاورزی در استان افزایش یابد در این صورت کارایی مصرف منابع آب افزایش یافته و استفاده صحیحی‌تری از منابع آب در استان صورت می‌گیرد. در حالی که متغیرهای منابع آب سرانه و تحقیق و توسعه در استان تأثیر منفی و معناداری بر میزان کارایی مصرف منابع آب استان گذاشته است یعنی با یک درصد افزایش منابع آب سرانه و تحقیق و توسعه به ترتیب به اندازه ۰/۰۵ و ۰/۰۹ درصد از کارایی مصرف منابع آب کاسته می‌شود. دلیل آن این است که با افزایش منابع آب در استان، به استفاده صحیح از این منابع کمتر توجه می‌شود تا زمانی که شرایط بحرانی شود یعنی تا زمانی که منابع آب فراوان است مدیریت صحیحی در زمینه استفاده از منابع آب وجود ندارد و همچنین از آنجایی که تحقیق و توسعه در کشور ما در استفاده از منابع آب مغفول مانده است و یا از این تحقیقات کمتر در زمینه افزایش کارایی مصرف منابع آب استفاده شده است به همین خاطر تحقیقات تأثیر زیادی در افزایش کارایی مصرف منابع آب نداشته و یا تأثیر عکس داشته‌اند و در نهایت متغیر λ دارای تأثیر مثبت و معنادار بر کارایی مصرف منابع آب می‌باشد که حاکی از تأثیرپذیری مثبت هر استان از استان مجاور است.

در جدول (۵) دو مدل مختلف، اثرات ثابت و تصادفی فضایی برآورد گردیده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، این دو مدل تفاوت اندکی با یکدیگر دارند، اما وجود اثرات فضایی در متغیر مستقل و وابسته و خطا تائید می‌شود. بر این اساس، در مدل اثرات ثابت فضایی این نتایج به قدرت تائید شده است، اما در مدل اثرات تصادفی فضایی می‌توان با انجام آزمون‌های Robust به این نتیجه دست یافت. بر طبق نتایج جدول (۵) متغیر بهره‌برداری از منابع آب دارای اثرات ثابت و تصادفی مثبت و معنادار بر کارایی مصرف منابع آب در استان‌های ایران می‌باشد یعنی به ازاء یک درصد افزایش در بهره‌برداری از منابع آب کارایی مصرف منابع آب در اثرات ثابت و تصادفی به‌ترتیب به میزان ۰/۲ و ۰/۰۷ افزایش خواهد یافت یا به عبارت دیگر با افزایش مصرف آب به کل منابع آب، کارایی در مصرف منابع آب افزایش یافته و مدیریت بهتری در زمینه این منبع ارزشمند صورت می‌گیرد. اثرات ثابت و تصادفی درجه باز بودن اقتصاد هر استان بر کارایی مصرف منابع آب مثبت و معنادار به‌ترتیب به اندازه ۰/۳۱ و ۰/۴۹ می باشد که گویای این مطلب می باشد که هر چه صادرات یک استان نسبت به واردات آن استان بیشتر باشد کارایی مصرف منابع آب افزایش یافته و مدیریت صحیحتری در استفاده از منابع آب انجام خواهد شد. اثرات ثابت منابع آب سرانه بر کارایی مصرف منابع آب منفی و معنادار بوده یعنی با یک درصد افزایش در منابع آب سرانه، کارایی مصرف منابع آب به اندازه ۰/۰۵ درصد کاهش خواهد یافت که نشان‌دهنده این مطلب است که با رشد منابع آب سرانه، صرفه‌جویی کمتری در منابع آب از طرف شهروندان صورت گرفته که در نتیجه آن کارایی مصرف منابع آب کاهش خواهد یافت. اثرات تصادفی ساختار صنعتی بر کارایی مصرف منابع آب دارای تأثیر مثبت و معنادار بوده است به گونه‌ای که با یک درصد افزایش در ساختار صنعتی، کارایی مصرف منابع آب به اندازه ۰/۹۵ درصد افزایش خواهد یافت یا به عبارت دیگر زمانی که سرمایه گذاری‌ها به سمت دارایی‌های ثابت سوق داده می‌شود، مدیریت مصرف منابع آب بهبود یافته و از منابع آبی استفاده مناسبتری به عمل خواهد آمد. اثرات ثابت تحقیق و توسعه بر کارایی مصرف منابع آب منفی و معنادار بوده به‌طوری که با افزایش یک درصد در تحقیق و توسعه کارایی مصرف منابع آب به میزان ۰/۰۰۹ کاهش خواهد یافت که می‌تواند دلیل آن این باشد که از این تحقیقات کمتر در راستای استفاده مؤثرتر از منابع آب بهره‌برداری شده است و در نهایت اثرات ثابت مصرف آب کشاورزی بر کارایی مصرف منابع آب به میزان ۰/۰۴ مثبت و معنادار بوده است که دلیل آن به خاطر استفاده از روش‌های نوین آبیاری در کشاورزی در سال‌های اخیر می‌باشد.

جدول ٤- نتایج برآورد عوامل مؤثر بر کارایی مصرف منابع آب با مدل دوربین فضایی

Table 4- The results of estimating factors affecting the efficiency of water resource consumption with a spatial panel model

Variable	Coefficient	standard deviation	Variable	Coefficient	standard deviation
lnCwat	-0.05**	0.02	LnTech	***-0.09	0.03
lnEwat	**0.02	0.1	LnDeco	***0.31	0.85
LnGDPC	-0.06	0.12	LnAgrwat	***0.04	0.01
LnIndS	0.03	0.02	LnDriwat	0.02	0.04
LnGC	-0.01	0.07	LnTotwat	0.04	0.03
Spatial	1.76***	0.56	λ	***0.06	0.01

Source: Research Findings(** and *** are significant at the level of 10% and 5%, respectively)

 DOI: 10.22055/jise.2024.45383.2104

جدول ۵- تخمین وجود اثرات مختلف فضایی به کمک تصریحات مختلف مدل‌های دوربین فضایی

Table 5- Estimation of the presence of different spatial effects with the help of different specifications of spatial Durbin models

	spatial model with fixed effects	spatial model Random-effects		spatial model with fixed effects	spatial model Random-effects
The main variable	Coefficient	Coefficient	Spatial variable	Coefficient	Coefficient
lnCwat	***-0.05	-0.32	W*lnCwat	0.004	0.0002
lnEwat	***0.02	0.07***	W*lnEwat	2.003	0.14
LnGDPC	-0.06	-0.27	W*LnGDPC	-3.31***	-1.95
LnIndS	0.03	0.95***	W*LnIndS	0.02	0.01
LnGC	-0.011	-0.31***	W*LnGC	-0.02***	-0.06
LnTech	***-0.009	0.07	W*LnTech	-0.02***	-0.09
LnDeco	0.031***	0.49***	W*LnDeco	3.61***	1.63
LnAgrwat	***0.04	0.007	W*LnAgrwat	0.01	-0.05
LnDriwat	0.002	0.1	W*LnDriwat	-0.07	-0.01
LnTotwat	0.1	0.06	W*LnTotwat	0.005	0.23***
R^2	0.65	0.83	Llog	0.5	0.76

Source: Research Findings (** and *** are significant at the level of 10% and 5%, respectively)

جدول ٦- آزمون‌های اثرات مشترک (زمان و فاصله)

Table 6- Joint effects tests (time and distance)

joint effects	H0	LR	probability level
Spatial fixed effects	There are no spatial joint effects	1.45	0.00
Time fixed effects	There are no joint time effects	0.02	0.00

Source: Research Findings

آزمون‌های اثرات مشترک در جدول (۶) نشان می‌دهد که این اثرات در مدل وجود داشته و در صورت وجود این اثرات، می‌توان اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت متغیرها را از یکدیگر تفکیک نمود.

برای تعیین اثرات غیرمستقیم یا سرریز، مدل دوربین فضایی مبنا قرار گرفته و اثرات سرریز متغیر کارایی مصرف منابع آب در استان‌های ایران برآورد شده است. جدول (۷) اثرات مستقیم، غیرمستقیم و اثر کل (سرریزهای فضایی) را در کوتاه‌مدت و بلندمدت نشان می‌دهد. نتایج مدل دوربین فضایی نشان می‌دهد که در کوتاه‌مدت اثرات غیرمستقیم و کل متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، غله سرانه و تحقیق و توسعه بر کارایی مصرف منابع آب منفی و معنادار بوده است و همچنین اثرات غیرمستقیم و کل برای متغیر درجه باز بودن اقتصاد هر استان بر کارایی مصرف منابع آب مثبت و معنادار بوده است یعنی اینکه با افزایش متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، غله سرانه و تحقیق و توسعه، کارایی مصرف منابع آب در کوتاه‌مدت کاهش می‌یابد و یا به عبارت دیگر در کوتاه‌مدت با رشد تولید ناخالص داخلی سرانه، رشد تولید غله و گسترش تحقیق و توسعه شاهد کاهش کارایی مصرف منابع آب بوده و مدیریت صحیح و مناسبی از این ماده ارزشمند و حیاتی صورت نگرفته است اما درجه باز بودن اقتصاد هر استان در کوتاه‌مدت بر کارایی مصرف منابع آب تأثیر مثبت داشته و استان‌ها با توجه به مزیت نسبی صادراتی اقدام به تولید کالاها نموده که در نتیجه آن کارایی مصرف منابع آب بهبود یافته است و در نهایت اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کل سایر متغیرها بر کارایی مصرف منابع آب معنادار نبوده‌اند.

نتایج مدل دوربین فضایی در بلندمدت نشان می‌دهد که اثرات مستقیم در متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه بر کارایی مصرف منابع آب مثبت و معنادار بوده است در حالی که اثرات غیرمستقیم و کل در تولید ناخالص داخلی سرانه بر کارایی مصرف منابع آب منفی و معنادار بوده است و همچنین اثرات کل دو متغیرغله سرانه و تحقیق و توسعه بر کارایی مصرف منابع آب منفی و معنادار بوده است و در نهایت اثرات کل درجه باز بودن اقتصاد هر استان بر کارایی مصرف منابع آب مثبت و معنادار بوده است یعنی اینکه اثر کل افزایش متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، غله سرانه و تحقیق و توسعه بر کارایی مصرف منابع آب در بلندمدت کاهشی بوده و بیان‌گر آن است که در تمام مناطق کشور باید رشد تولید ناخالص داخلی بیشتر باشد و همچنین تولید سرانه غله در ایران باید کاهش یابد و یا به صورت مؤثرتر و کاراتر تولید غلات در استان‌های ایران انجام شود چون با کارایی مصرف منابع آب در ایران رابطه منفی داشته است اما اثرات کل درجه باز بودن اقتصاد هر استان در بلندمدت بر کارایی مصرف منابع آب تأثیر مثبت داشته و استان‌ها با توجه به مزیت

نسبی صادراتی اقدام به تولید کالاها نموده که در نتیجه آن کارایی مصرف منابع آب بهبود یافته است که نتایج این پژوهش با مطالعه Zhao et al (2017) مطابقت دارد و همچنین اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کل سایر متغیرها بر کارایی مصرف منابع آب در بلند مدت معنادار نبوده‌اند. نتایج اثرات مستقیم، غیرمستقیم و اثر کل در شرایط بلندمدت قدری متفاوت از اثرات کوتاه‌مدت است، زیرا همان‌طور که تئوری‌های اقتصاد خرد آن را تأیید می‌کند، کشش‌های کوتاه‌مدت کوچک‌تر از کشش‌های بلند مدت بوده و فرصت واکنش به شوک‌های مختلف برای عوامل اقتصادی در بلندمدت بزرگتر از کوتاه‌مدت است و در این راستا کشش اثر کل درجه باز بودن اقتصاد هر استان در کوتاه‌مدت و بلندمدت مثبت و معنادار بوده و کشش آن در کوتاه‌مدت به اندازه ۱/۵۴ و در بلندمدت به اندازه ۱/۸۴ خواهد بود یا به عبارت دیگر کشش درجه باز بودن اقتصاد در بلندمدت بزرگتر از کوتاه‌مدت است.

جدول ۷- اثرات مستقیم و غیرمستقیم (سرریز) فضایی حاصل از تخمین مدل به کمک تصریحات مدل دوربین فضایی
Table 7- Direct and indirect (spillover) spatial effects resulting from the estimation of the model with the help of the specifications of the spatial Durbin model

		Indirect effect	direct effect	Total effect
	The main variable	coefficient (probability)	coefficient (probability)	coefficient (probability)
Short Term effects	lnCwat	0.02(0.39)	-0.08(0.28)	0.01(0.53)
	lnEwat	0.92(0.33)	0.1(0.48)	1.02(0.25)
	LnGDPC	-1.41(0.05)	0.82(0.02)	-1.34(0.05)
	LnIndS	0.009(0.66)	0.02(0.42)	-0.01(0.55)
	LnGC	-0.09(0.06)	-0.1(0.9)	-0.09(0.05)
	LnTech	-0.07(0.07)	-0.02(0.63)	-0.07(0.05)
	LnDeco	1.37(0.06)	0.17(0.4)	1.54(0.03)
	LnAgrwat	0.03(0.77)	0.004(0.68)	0.08(0.47)
	LnDriwat	-0.02(0.55)	0.05(0.68)	-0.02(0.56)
	LnTotwat	0.02(0.44)	0.02(0.53)	0.02(0.38)
Long Term effects	lnCwat	0.03(0.78)	-0.01(0.98)	0.02(0.54)
	lnEwat	0.92(0.57)	0.23(0.98)	1.02(0.26)
	LnGDPC	-1.81(0.05)	0.21(0.05)	-1.34(0.06)
	LnIndS	0.01(0.79)	0.02(0.92)	0.01(0.55)
	LnGC	-0.01(0.6)	-0.03(0.9)	-0.01(0.06)
	LnTech	-0.086(0.61)	-0.06(0.94)	-0.08(0.06)
	LnDeco	1.67(0.48)	0.01(0.9)	1.84(0.04)
	LnAgrwat	0.03(0.77)	0.006(0.84)	0.09(0.48)
	LnDriwat	-0.04(0.55)	0.07(0.92)	-0.03(0.56)
	LnTotwat	0.02(0.44)	0.01(0.91)	0.02(0.38)
	R^2	0.78	Hausman test	34.21

Source: Research Finding

نتیجه‌گیری

با توجه به اقلیم خشک و شکننده کشور و با در نظر گرفتن خشکسالی‌های اخیر اهمیت آب به‌عنوان یک نهاده حیاتی بیش از پیش مشخص می‌شود. به‌منظور بررسی عوامل اثرگذار بر کارایی مصرف منابع آب کشور و با توجه به اثرات سرریز فضایی از مدل اقتصادسنجی دوربین فضایی استفاده شده و برای بررسی عوامل مؤثر بر کارایی مصرف منابع آب (به‌منظور تشخیص اثرات مجاورت و همسایگی) اثرات مستقیم و غیرمستقیم برآورد شده است. آزمون ریشه واحد برای تمام متغیرها نشان می‌دهد که کلیه متغیرهای مدل در سطح ایستا می‌باشند. در روش پانل فضایی، بعد از ساخت ماتریس فضایی، با استفاده از آزمون‌های موران، ضریب لاگرانژ، LMerror_robust و LMlag_robust فرضیه صفر مبنی بر عدم وابستگی فضایی رد شده و در نتیجه می‌توان از روش اقتصادسنجی فضایی استفاده کرد و مقدار مثبت و معنادار ضریب خودرگرسیون فضایی نشان می‌دهد که بخشی از بالا بودن کارایی مصرف منابع آب هر استان به واسطه اثر فاصله (یا مجاورت) بوده است. بر این اساس، مدل‌های خودرگرسیون فضایی تخمین زده شده و در نهایت بر اساس متدولوژی الهورست، مدل SDM به‌عنوان بهترین مدل فضایی انتخاب شد.

نتایج مدل دوربین فضایی نشان می‌دهد متغیرهای بهره‌برداری از منابع آب و درجه باز بودن اقتصاد هر استان و مصرف آب کشاورزی در سطح استان‌ها تأثیر مثبت و معناداری بر میزان کارایی

DOI: 10.22055/jise.2024.45383.2104

مصرف منابع آب داشته است، یعنی با یک درصد افزایش در متغیرهای بهره‌برداری از منابع آب و درجه باز بودن اقتصاد هر استان و مصرف آب کشاورزی، کارایی مصرف منابع آب در استان به‌ترتیب به میزان ۰/۰۲، ۰/۳۱ و ۰/۰۴ درصد افزایش خواهد یافت یعنی هر چه بهره‌برداری از منابع آب در استان بیشتر باشد و یا استان صادرات بیشتری به استان‌های دیگر داشته باشد و یا مصرف آب کشاورزی در استان افزایش یابد در این صورت کارایی مصرف منابع آب افزایش یافته و استفاده صحیحی‌تری از منابع آب در استان صورت می‌گیرد. در حالی که متغیرهای منابع آب سرانه و تحقیق و توسعه در استان تأثیر منفی و معناداری بر میزان کارایی مصرف منابع آب استان گذاشته است یعنی با یک درصد افزایش منابع آب سرانه و تحقیق و توسعه به‌ترتیب به اندازه ۰/۰۵ و ۰/۰۹ درصد از کارایی مصرف منابع آب کاسته می‌شود. دلیل آن این است که با افزایش منابع آب در استان، به استفاده صحیح از این منابع کمتر توجه می‌شود تا زمانی که شرایط بحرانی شود یعنی تا زمانی که منابع آب فراوان است مدیریت صحیحی در زمینه استفاده از منابع آب وجود ندارد و همچنین از آنجایی که تحقیق و توسعه در کشور ما در استفاده از منابع آب مغفول مانده است و یا از این تحقیقات کمتر در زمینه افزایش کارایی مصرف منابع آب استفاده شده است به همین خاطر تحقیقات تأثیر زیادی در افزایش کارایی مصرف منابع آب نداشته و یا تأثیر عکس داشته‌اند و در نهایت متغیر λ دارای تأثیر مثبت و معنادار بر کارایی مصرف منابع آب می‌باشد که حاکی از تأثیرپذیری مثبت هر استان از استان مجاور است.

نتایج آزمون‌های اثرات مشترک نشان می‌دهد که این اثرات در مدل وجود داشته و در صورت وجود این اثرات، می‌توان اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کل را برای دو دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت متغیرها از یکدیگر تفکیک نمود. نتایج مدل دوربین فضایی در کوتاه‌مدت نشان می‌دهد که اثرات غیرمستقیم و کل در تولید ناخالص داخلی سرانه، غله سرانه و تحقیق و توسعه بر کارایی مصرف منابع آب منفی و معنادار بوده است و همچنین اثرات غیرمستقیم و کل برای متغیر درجه باز بودن اقتصاد هر استان بر کارایی مصرف منابع آب مثبت و معنادار بوده است یعنی اینکه با افزایش متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، غله سرانه و تحقیق و توسعه، کارایی مصرف منابع آب در کوتاه‌مدت کاهش می‌یابد و اما درجه باز بودن اقتصاد هر استان بر کارایی مصرف منابع آب تأثیر مثبت داشته و استان‌ها با توجه به مزیت نسبی صادراتی اقدام به تولید کالاها نموده‌اند که در نتیجه آن کارایی مصرف منابع آب بهبود یافته است. نتایج مدل دوربین فضایی در بلندمدت نشان می‌دهد که اثرات مستقیم تولید ناخالص داخلی سرانه بر کارایی مصرف منابع آب مثبت و معنادار بوده است در حالی که، اثرات غیرمستقیم و کل در متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه بر کارایی مصرف منابع آب منفی و معنادار بوده است و همچنین اثرات کل دو متغیر غله سرانه و تحقیق و توسعه بر کارایی مصرف منابع آب منفی و معنادار بوده است و در نهایت اثرات کل درجه باز بودن اقتصاد هر استان بر کارایی مصرف منابع آب مثبت و معنادار بوده است که با پژوهش Zhao al et (2017) هم خوانی دارد. همچنین تولید سرانه غله در ایران باید کاهش یابد و یا به صورت مؤثرتر و کاراتر تولید غلات در استان‌های ایران انجام شود چون با کارایی مصرف منابع آب در ایران رابطه منفی داشته است اما اثرات کل درجه باز بودن اقتصاد هر استان در بلند مدت بر کارایی مصرف منابع آب تأثیر مثبت داشته است. نتایج اثرات مستقیم، غیرمستقیم و اثر کل در شرایط بلندمدت با کوتاه‌مدت متفاوت بوده، زیرا کشش‌های کوتاه‌مدت کوچک‌تر از کشش‌های بلندمدت بوده و در این راستا کشش اثر کل درجه باز بودن اقتصاد هر استان در کوتاه‌مدت و بلندمدت مثبت و معنادار بوده و کشش آن در کوتاه‌مدت از بلندمدت کمتر خواهد بود که با مطالعه Chen et al (2021) مطابقت دارد که نتایج آن‌ها نیز نشان داد که سرانه مصرف آب، میزان تحقیق و توسعه بر کارایی منابع آب تأثیر منفی دارد در حالی‌که تولید ناخالص داخلی سرانه بر کارایی منابع آب تأثیر مثبت دارد. با توجه به نتایج به متولیان بخش آب کشور با همکاری سایر ارگان‌ها و سازمان‌ها پیشنهاد می‌شود که با تنوع بخشی در بهره‌برداری از منابع آب، فراهم کردن بستر و زیرساخت‌های لازم حمل و نقل بین استان‌ها در جهت تسهیل صادرات و واردات بین استانی و حرکت به سمت استفاده از روش‌های نوین آبیاری در بخش کشاورزی، کارایی مصرف منابع آب را بهبود بخشید و همچنین با افزایش منابع آب در سال‌های پربارش با فرهنگ‌سازی سعی در صرفه‌جویی و استفاده صحیح و مناسب از منابع آب داشته تا کشور در سال‌های خشکسالی کمتر دچار تنش آبی شود.

در نهایت از آنجایی که در تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر کارایی منابع آب در استان‌های ایران، همبستگی مثبت فضایی وجود دارد. توسعه سیاست‌های آبی بایستی به‌صورت منطقه‌ای و بر اساس شرایط محلی و هماهنگ با سیاست حفاظت از منابع آب صورت گیرد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از حمایت و کمک دانشگاه سیستان و بلوچستان کمال تشکر را دارند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

اسامی نویسندگان به ترتیب نوشته و میزان مشارکت هر کدام در نگارش مقاله مشخص شود.

نویسنده اول: سید مهدی حسینی، ۳۰ درصد از کل مقاله شامل جمع‌آوری داده ها و تجزیه و تحلیل نتایج و نگارش مقاله

نویسنده دوم: امیر دادرس مقدم ۳۰ درصد از کل مقاله شامل روش تحقیق و تجزیه وتحلیل نتایج و نتیجه گیری

نویسنده سوم: حسین بدیع برزین، ۲۰ درصد از مقاله شامل نگارش مقاله و روش تحقیق

نویسنده چهارم: محمد نوروزیان، ۲۰ درصد از کل مقاله شامل تجزیه وتحلیل داده ها و مقدمه

References

1- Akbari, S. M. R., dadras Moghaddam, A., and Hazarh , A. 2017. Investigation of financial ratios with stock prices of agricultural related industries in Iranian Stock Exchange. *Journal of Agricultural Economics Research*, 9(33), pp165-176.(In Persian) Dor:20.1001.1.20086407.1396.9.33.9.4

2- Ansari, H., Boostani, A., Tabatabaee, A., and Forouzesh, M. 2017. Investigation of Consumption Management and Estimation of the Drinking Water Demand in the Vision 1420 for the City of Mashhad. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), pp125-132. Doi: 10.22067/jwsd.v4i1.50409

3- Anselin, L. 1995. Local indicators of spatial association-LISA. Geogr. Anal. 27 (2), pp93-116. Doi:10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x

4- Chen, Y., Yin, G., & Liu, K. 2021. Regional differences in the industrial water use efficiency of China: The spatial spillover effect and relevant factors. Resources, *Conservation and Recycling*, 167, 105239. Doi:10.1016/j.resconrec.2020.105239

5- Elhorst P. 2013. Spatial Panel Data Models. Handbook of applied spatial analysis. Edited by Fisher, M.M.

6- https:// www.amar.org.ir

7- https://www.irimo.ir

8- https://www.maj.ir

9- https://www.moe.gov.ir

10- Levin, A., C.-F. Lin, and C.-S. J. Chu. 2002. Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics* 108: 1–24d Doi:10.1016/S0304-4076(01)00098-7.

11- Ma, H.L. Shi, C.L. and Chou, N.T. 2016. China's water utilization efficiency: an analysis with environmental considerations. *Sustainability*. 8 (6), pp516-531. Doi:10.3390/su8060516

12- Modhej, D., & Dahimavi, A. 2021. Application of data envelopment analysis in efficiency evaluation of agricultural water exploitation systems in Khozestan province.*Agricultural economic*, 15(1):29-53. Doi:10.22034/iaes.2021.527188.1832

13- Molaei, M., Hesari, N., & Javanbakht, O. 2017. The estimation of input-oriented environmental efficiency of agricultural products (case study: environmental efficiency of rice production). *Agricultural Economics*, 11(2), pp157-172. Doi: 10.22034/iaes.2022.1971035.1954

14- Monjazeb, M.R. and Nosrati, R. 2017. Basics of Econometrics along with Eviews and Stata, Mehraban Publications.

15- Norozian, M., Hoseini, S. M., Akbarei, A., and Dadrasmoghadam, A. 2022. Effective Factors on Environmental Efficiency Rapeseed Cultivation in Provinces of Iran (Approch Spatial econometric). *Agricultural Economics Research*, 13(4), pp60-77.Doi: 10.30495/jae.2021.21934.2043

16- Saghafi, A., Einy, N., & Issazadeh, M. 2018. Analysis and evaluation of factors affecting the sustainable management of water resources in agriculture.

17- Salami, H., and Nemati, M. 2014. Exploring systematic yield risk and its strengthening factors for apple product in Iran: application of spatial autoregressive models. *Journal of agricultural economics and development,* 27(4), pp288-299.Dor: 20.1001.1.20084722.1392.27.4.3.3

18- Samati, M., Samati, M., and Mollaasili Dehshiri, H. 2014. Analyzing the Role of Legal Structure and Security of Property Rights in Attracting Foreign Direct Investment (P-VAR): The Case of Petroleum Exporting Countries. *Economic Policy Making*, 6(12),pp 155-177. (In Persian)

19- Seyef, A.M. Hamidi Razi, D. 2017. Identification of Factors that Influence Iran's Provincial Energy Intensity Index: A Spatial Dynamic Panel Data Approach. *QEER*; 13 (53) :pp61-10 URL: http://iiesj.ir/article-1-774-en.html

20- Shahbazi, K., and Rezaei, E. 2015. Investigating the economic convergence of member countries of economic cooperation organization (ECO): Spatial panel econometrics. *Iranian Journal of Trade Studies*, 19(74), pp155-196. Dor:20.1001.1.17350794.1394.19.74.7.1

21- Song, M., Tao, W., Shang, Y., & Zhao, X. 2022. Spatiotemporal characteristics and influencing factors of China's urban water resource utilization efficiency from the perspective of sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 338, 130649. Doi:10.1016/j.jclepro.2022.130649

22- Sun, C.Z. Zhao, L.S. and Zou, W. 2014. The interprovincial water resources global environmental technology efficiency measurement in China and its spatial effect. *J. Nat. Resour*. 4 (29), pp553-563. Doi: 10.11849/zrzyxb.2014.04.001

23- Taghizadeh, S., Navid, H., Fellegari, R., & Fakheri Fard, A. 2013. Changing of optimum cropping pattern analysis considering risk factor and new limitations of kurdistan regional water company (Case study: 200 Hectares of Farm Area in Dehgolan Field. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(1),pp 71-84.

24- Taleblou, R., Mohammadi, T., and Pirdayeh, H. 2017. Analysis of Spatial Diffusion of Housing Price Changes in Iranian Provinces; Spatial Econometrics Approach. *Economics Research*, 17(66), pp55-95. Doi:10.22054/joer.2017.8202

25- Vega, S. H. and Elhorst, J. P. 2013. On spatial econometric models, spillover effects, and W, Paper presented at the 53rd ERSA Congrss, Palermo, Italy.

26- Xilong, Y. Wei, F. Xiaoling, Z, Wenxi, W. Chentao, Z. and Shaqiu, Y, 2018. Measurement and decomposition of industrial green total factor water efficiency in China, *Journal of Cleaner Production,* (198): pp144-1156. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.138

27- Zarra Nezhad, M., and Mansouri, S. A. 2015. The Impact of Spatial Interaction Effects Neighboring on Fluctuations of Trade: Spatial Panel data Econometric Method and Wavelet Smoothing. *Journal of Economic Research*, 50(4), 835-859. Doi:10.22059/jte.2015.56148

28- Zhao, L. Sun, C., and Liu, F. 2017. Interprovincial two-stage water resource utilization efficiency under environmental constraint and spatial spillover effects in China, *Journal of Cleaner Production*. 164: pp715-725. Doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.252

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 101-114

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the effect of different biochar levels of mushroom bed residues on some chemical properties of Drainage water

M. Valipour[1], S. Boroomand Nasab[2*], A. A. Naseri[3], L. Divband Hafshejani[4] and N. Alemzadeh Ansari[5]

1- *PhD Candidate, Department of Irrigation and Drainage, College of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.*
2*- *Corresponding Author,Professor, Department of Irrigation and Drainage, College of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (Boroomand@Scu.ac.ir).*
3- *Professor, Department of Irrigation and Drainage, College of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz*
4- *Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, College of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.*
5- *Associate Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz*

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 03 September 2023
Revised: 16 December 2024
Accepted: 18 December 2024

Keywords:
Sodium, Calcium, Magnesium, Nitrate, Acidity, Electrical.

TO CITE THIS ARTICLE:

Valipour, M., Boroomand Nasab, S., Naseri, A. A., Divband Hafshejani, L., Alemzadeh Ansari, N. (2025). 'Investigating the effect of different biochar levels of mushroom bed residues on some chemical properties of Drainage water', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 101-114. doi: 10.22055/jise.2023.44681.2093.

Introduction

Most of the soils of arid and semi-arid regions of Iran have less than 1% of organic matter, which causes a decrease in the quality of some physical characteristics of the soil, including a decrease in the stability of soil grains, destruction of the soil structure, and a decrease in saturated hydraulic conductivity (Gholami J, Emami, H., 2021). This has caused excessive use of chemical fertilizers, especially nitrogen fertilizers, and non-use of organic fertilizers in recent years (Diacono and Montemurro, 2011). One solution to increase the amount of organic matter in agricultural soils is the use of organic fertilizers. Every year, a large amount of plant residues are produced in the country, and farmers are often concerned about how to manage them (Amiri and Alinia, 2010). Another useful way to use plant residues is to convert them into biochar. Biochar is a type of charcoal prepared from plant biomass and agricultural waste, which are burned in the presence of low amounts of oxygen or its absence (Masto et al., 2013).Research has shown that the mineralization process of biochar takes place slowly due to its high stability (Salmani et al., 2014). In a research, the effect of adding biochar and a superabsorbent (independently of each other) on some physical properties of two types of sandy loam soil and clay loam soil was investigated. The results showed that the use of superabsorbent and biochar in the studied soils had the greatest effect on Ks and θpwp (Zare Abyaneh, H., et al, 2022). The production of biochar from the spent mushroom substrate stabilizes and preserves the nutrients of the spent mushroom substrate, and by increasing the pore volume of biochar compared to the mushroom substrate, it increases the water retention capacity and also reduces the pollution of underground water resources (Lou et al. 2017). The review of various studies has shown that factors such as the raw material of biochar, the temperature of biochar processing, as well as soil

characteristics, plant type and irrigation type are directly related to biochar performance (Shi et al., 2020).Therefore, this research was conducted with the aim of investigating the use of biochar produced from spent mushroom bed in the soil and its effect on the concentration of some elements, acidity and electrical conductivity in the effluent of lettuce cultivation.

Methodology

This study was carried out as a completely randomized design with six replications, with the aim of investigating the effect of different levels of biochar of mushroom litter on some chemical properties of the wastewater. In this research, biochar produced from the remains of the mushroom bed prepared at 300 degrees Celsius without the presence of oxygen was used. The cultivated plant, lettuce with the scientific name Lactuca Sativa is an annual plant from the chicory family and is cultivated as a vegetable. It is found that it is mainly consumed raw. Lettuce cultivation was carried out in pots with a height of 22 cm and a diameter of 21 cm. The mass of soil required to fill the pots was determined based on the apparent specific gravity of the field soil and the volume of the pot.So that 11 kg of soil with loam-sand texture was poured into each pot. The amount of biochar for zero (control), 10, 15, and 20 grams of biochar per kilogram of soil was calculated and uniformly mixed with the soil. These treatments were shown as B1, B2, B3, and B4, respectively.

Results and discussion

Based on the measured amounts of sand, clay and silt particles, this soil has a sandy-loamy texture is The amount of organic matter in the soil is less than one percent, which indicates the poverty of organic matter in this soil is According to the results of Table (1), treatments B2, B3, and B4 respectively increased the acidity by 0.4, 0.66, and 0.93% compared to the control. One of the reasons for increasing the acidity of water is the inherent properties of biochar. During the process of biochar production, oxygen and hydrogen are removed and basic elements remain in the structure of the biochar material (Sigua et al., 2015).In addition, the lowest amount of electrical conductivity of water was measured in B4 treatment with 1.92 decisiemens barmeter and the highest in B1 treatment with 2.33 decisiemens barmeter. With the increase in the concentration of elements in the soil solution due to the presence of biochar, the concentration of elements in the drainage decreased, which seems to have caused a decrease in the electrical conductivity of the drainage. The highest amount of nitrate was measured in the effluent from treatment B1. The main factor in maintaining anions such as nitrate can be considered the effect of biochar interaction with soil organic matter, and in the case of nitrate, the effects of biochar on the biological cycle of soil nitrogen. Also, the use of sugarcane bagasse biochar with an amount of 10 grams per kilogram of soil caused the greatest reduction of nitrate concentration in the washed water (Divband Hafshejani et al, 2017). Based on the results of comparing the averages, the greatest effect in reducing calcium leaching was obtained in B4 treatment.Studies show that biochar has the potential to reduce nutrient loss and improve water quality through its absorption properties (Libutti et al., 2019). In addition, according to the average comparison table. B4 treatment has the greatest effect on reducing sodium waste in the soil. At the end of the results of table number 1, it was shown that in treatments B2, B3, and B4, there was a decrease of 6.3, 16.6, and 19.2 percent in potassium leaching, respectively.

Table 1- The means comparison of different biochar treatments on some chemical characteristics of Drainage water

Treatment	K (mg/lit)	Na (mg/lit)	Ca (mg/lit)	NO_3^- (mg/lit)	EC (ds/m)	pH
B_1	31.86 [a]	158.56 [a]	173.15 [a]	315.58 [a]	2.33 [a]	7.55 [d]
B_2	29.84 [b]	147.92 [b]	148.65 [b]	230.36 [b]	2.20 [a,b]	7.58 [c]
B_3	26.59 [c]	137.27 [c]	132.95 [c]	194.11 [c]	2.07 [b]	7.60 [b]

B_4	25.74 ^{c}	131.95 ^{d}	123.48 ^{d}	180.03 ^{d}	1.92 ^{c}	7.62 ^{a}

Numbers with dissimilar letters in a column show a significant difference at the 1% level in the Duncan test.

Conclusion

The results of this research showed that the use of this type of biochar can have a positive effect on maintaining nutrients in the soil and prevent them from entering the drainage.The application of mushroom bed biochar at the rate of 20 grams per kilogram of soil (equivalent to two percent) caused a 43 percent reduction in nitrogen loss, 28.7 percent calcium, 19.2 percent potassium, and 16.8 percent sodium. Increasing this amount of biochar to the soil increased the electrical conductivity of the drainage by 36.84% and increased its acidity by 13.47%.

Acknowledgements

Thanks to the honorable vice president for research and technology of Shahid Chamran University, Ahvaz, in terms of providing the research validity of this research in the form of a doctoral thesis, and also thanks to the respected personnel of the laboratories of the Faculty of Water and Environmental Engineering of Shahid Chamran University Ahvaz for his great help and assistance in conducting this research.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation

Funding

The financial support of this research has been provided by Grant number SCU.WI1402.399.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contribution

First Author: Mohammad Valipour, Writing - Original Draft, Formal analysis, Visualization.
Second Author: Saeid Boroomand Nasab, Funding, Methodology.
Third Author: Abd Ali Naseri, Software, Project administration.
Fourth Author: Laleh Divband Hafshejani, Writing - review and editing, Supervision.
Fifth Author: Naser Alemzadeh Ansari, Writing - review and editing, Project administration.

Refrences

1- Amiri, Z. , Alinia, M ,2010. Plant Residue Management. *Barzgar Journal*, No. 1044, Section A. Alefband, (In Persian).

2- Diacono, M. and Montemurro, F., 2011. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *Sustainable agriculture volume 2*, pp.761-786.

3- Divband Hafshejani, L., Naseri, A. A., Hooshmand, A., Abbasi, F., Soltani Mohammadi, A. (2017). 'Effect of Sugarcane Bagasse Biochar Application on Chemical Properties a Sandy Loam Soil', *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), pp. 63-72. Doi: 10.22055/jise.2017.12667 (In Persian).

4- Gholami Jami, S. and Emami, H., 2021. Effect of organic matter and potassium chloride on soil structure stability indices. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *11*(1), pp.83-100. Doi: 10.22069/EJSMS.2021.18280.1969. (In Persian).

5- Libutti, A., Cammerino, A.R.B., Francavilla, M. and Monteleone, M., 2019. Soil amendment with biochar affects water drainage and nutrient losses by leaching: Experimental evidence under field-grown conditions. *Agronomy*, *9*(11), p.758. doi: 10.3390/agronomy9110758.

6- Lou, Z., Sun, Y., Bian, S., Baig, S.A., Hu, B. and Xu, X., 2017. Nutrient conservation during spent mushroom compost application using spent mushroom substrate derived biochar. *Chemosphere*, *169*, pp.23-31. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.044.

7- Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J. and Ram, L.C., 2013. Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. *Catena*, *111*, pp.64-71. Doi: 10.1016/j.catena.2013.06.025.

8- Salmani, M.S., Khorsandi, F., Yasrebi, J. and Karimian, N., 2014. Biochar effects on copper availability and uptake by sunflower in a copper contaminated calcareous soil. *International journal of plant, Animal and Environmental Sciences*, *4*(3), pp.389-394.

9- Shi, W., Ju, Y., Bian, R., Li, L., Joseph, S., Mitchell, D.R., Munroe, P., Taherymoosavi, S. and Pan, G., 2020. Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. Science of the Total Environment, 701, p.134424.

10- Sigua, G.C., Stone, K.C., Hunt, P.G., Cantrell, K.B. and Novak, J.M., 2015. Increasing biomass of winter wheat using sorghum biochars. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, pp.739-748.

11- Zare Abyaneh, H., Khodabandehlo, Z., Bayat, H. and Jovzi, M., 2022. The effect of a superabsorbent and biochar on some physical and hydraulic properties of two arable sandy loam and clay loam soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(2), pp.2557-2569.

© 2025 Shahid Chamran Universiry 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۱۱۴-۱۰۱

بررسی تأثیر سطوح مختلف بیوچار بقایای بستر قارچ بر برخی خصوصیات شیمیایی زهاب

محمد والی پور[۱]، سعید برومند نسب[۲*]، عبدعلی ناصری[۳]، لاله دیوبند هفشجانی[۴] و ناصر عالم زاده انصاری[۵]

۱- دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز. Boroomand@Scu.ac.ir

۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۵- دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷

چکیده

فقر مواد آلی در خاک‌های ایران موجب مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و به دنبال آن افزایش آبشویی عناصر غذایی و آلودگی منابع آبی گردیده است. بنابراین استفاده از بهبود دهنده‌های طبیعی خاک مانند بیوچار در سال‌های اخیر اهمیت زیادی پیدا کرده است. در همین راستا با توجه به صنعت رو به رشد تولید قارچ و بستر باقی‌مانده ناشی از آن، در این تحقیق به بررسی تأثیر کاربرد بیوچار بقایای بستر قارچ بر کاهش میزان آبشویی برخی عناصر شیمیایی در زهاب و در نتیجه افزایش عناصر غذایی در دسترس گیاه کاهو، رقم اهوازی پرداخته شد. طرح آزمایشی نیز به‌صورت کامل تصادفی با چهار تیمار و شش تکرار و به‌صورت گلدانی اجرا شد. سطوح مختلف تیمار، صفر، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم بیوچار به ازای یک کیلوگرم خاک به‌ترتیب با نام B_1 , B_2, B_3, B_4 نامگذاری شده‌اند. اندازه گیری‌ها شامل، اندازه‌گیری میزان نیترات، سدیم، کلسیم و پتاسیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته زهاب در هشت مرحله زمانی از کشت به فواصل یک هفته‌ای انجام شد. نتایج نشان داد تیمار B_4 در سطح یک درصد ارتباط معناداری با تغییرات غلظت نیترات، کلسیم، سدیم، پتاسیم، EC و pH در زهاب داشت. تیمار B_4 موجب بیشترین تأثیر کاهشی شامل ۴۳، ۱۶/۸، ۲۸/۷، ۱۹/۲ و ۱۸ درصد به‌ترتیب در میزان نیترات، سدیم، کلسیم، پتاسیم، هدایت الکتریکی و افزایش ۰/۹۳ درصدی اسیدیته زهاب خروجی نسبت به تیمار شاهد شد. در حالی که بیشترین میزان اندازه‌گیری مقادیر نیترات، سدیم، کلسیم، پتاسیم، EC و کمترین مقدار pH زهاب، در تیمار B_1 بود.

کلید واژه‌ها: سدیم، کلسیم، منزیم: نیترات: اسیدیته، هدایت الکتریکی.

مقدمه

آب شیرین به‌عنوان یک منبع طبیعی، نقشی حیاتی و اساسی در توسعه هر کشور دارد. کمبود آب شیرین نه فقط ناشی از کمبود حجم آب در دسترس بلکه ناشی از مدیریت نادرست استفاده از کودهای شیمیایی و ایجاد آلودگی منابع آبی است (Mishra, 2023).

کشور ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته است و از منابع رطوبتی بسیار دور است(Raziei, 2015) . اکثر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران دارای کمتر از یک درصد ماده آلی هستند که این مسئله سبب کاهش کیفیت برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک ازجمله کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها، تخریب ساختمان خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع می‌شود (Gholami Jami and Emami, 2021). این امر موجب مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و به‌خصوص کودهای ازته و عدم استفاده از کودهای آلی در چند سال اخیر شده است (Diacono and Montemurro, 2011). با توجه به اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه تولیدات صنعتی از جمله کودهای شیمیایی روز به روز بر اهمیت توجه به کشاورزی پایدار افزوده می‌شود (Chaitra et al., 2021).

یک راه حل برای افزایش مقدار ماده آلی خاک‌های کشاورزی، استفاده از کودهای آلی می‌باشد. سالانه در کشور مقدار زیادی بقایای گیاهی تولید می‌شود که کشاورزان اغلب در چگونگی مدیریت آن‌ها دغدغه دارند (Amiri and Alinia, 2010). بنابراین استفاده از روش‌های کم‌هزینه برای تبدیل بقایای کشاورزی به اصلاح کننده‌های آلی با ارزش، از اهمیت زیادی برخوردار است.

تولید قارچ خوراکی در کشور، در سال‌های اخیر توسعه یافته و به‌خصوص در مناطق شهری و پر جمعیت مصرف آن زیاد شده است. تولیدکنندگان قارچ خوراکی از کمپوست به‌عنوان محیط کشت برای

DOI: 10.22055/JISE.2023.44681.2093

تولید قارچ استفاده می‌کنند. بعد از چرخه برداشت قارچ خوراکی، حاصل‌خیزی بستر کاهش می‌یابد. به‌طور معمول، این بستر استفاده شده بعد از استفاده به‌عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود، اگر چه از آن می‌توان در موارد دیگر استفاده نمود. باقی‌مانده بستر قارچ پس از مصرف شدن دارای مقادیر قابل توجهی هوموس و عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین دامنه گسترده‌ای از عناصر غذایی کم مصرف می‌باشد (Shahsavan Markadeh and Chamani 2015).

یکی دیگر از راه‌کارهای مفید استفاده از بقایای گیاهی، تبدیل آن‌ها به بیوچار است. بیوچار نوعی زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور مقادیر کم اکسیژن یا عدم حضور آن انجام می‌شود (Masto et al., 2013). بیوچار به‌عنوان ماده‌ای که توانایی بهبود پدیده گرمایش زمین را دارد، توجه زیادی به خود جلب کرده است؛ زیرا این ماده ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی مدت در خاک ذخیره کند. همچنین بیوچار دارای شکل‌های پایدار کربن آلی می‌باشد که به‌دلیل کند بودن سرعت تجزیه، حتی در شرایط محیطی و بیولوژیکی مناسب به‌صورت دی اکسید کربن در محیط آزاد نمی‌شود. از این جهت گزینه مناسبی برای ترسیب کربن در خاک است. تحقیقات نشان داده است که فرآیند معدنی شدن بیوچار به‌علت پایداری بالای آن، به کندی صورت می‌گیرد (Salmani et al., 2014). در تحقیقی اثر افزودن بیوچار و یک سوپرجاذب (به صورت مستقل از یکدیگر) بر برخی از خصوصیات فیزیکی دو نوع خاک لومی شنی و خاک لومی رسی مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از ۱۰ گرم سوپرجاذب و ۲۰ گرم بیوچار به ازای هر کیلوگرم خاک بیشترین تأثیر را بر خصوصیات فیزیکی هر دو خاک مورد آزمایش داشت. افزودن ۲۰ گرم بیوچار به ازای هر کیلوگرم خاک لوم رسی، پارامترهای K_s، θ_s و θ_{pwp} را به ترتیب به میزان ۳۳/۳ و ۱۰/۹ و۲۳/۱ درصد افزایش داد و تأثیر معنی داری بر سایر خواص این خاک و خاک لوم شنی نداشت. کاربرد سوپرجاذب و بیوچار در خاک های مورد مطالعه بیشترین تأثیر را بر K_s و θ_{pwp} داشت (Zare Abyaneh et al., 2022).

تحقیقات نشان داده که بیوچار ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی را در خاک افزایش می‌دهد .علاوه بر این تهویه و فعالیت میکروبی خاک را کنترل می‌کند. در همین راستا با توجه به صنعت رو به رشد تولید قارچ و بستر باقی‌مانده ناشی از آن و مزایای بیوچار در بخش کشاورزی، می‌توان اقدام به تهیه بیوچار و استفاده از آن در کشاورزی نمود. در بررسی استفاده از بستر قارچ مصرف شده برای کشت گوجه‌فرنگی، نتیجه گرفتند که استفاده از این بستر باعث افزایش سرعت جوانه زنی گیاه و افزایش تولید نشاء و نیز تولید محصول می‌گردد (Collela et al., 2019). تولید بیوچار از بستر مصرف شده قارچ باعث تثبیت و حفظ مواد مغذی بستر مصرف شده قارچ شده و با افزایش حجم منافذ بیوچار نسبت به بستر قارچ، باعث افزایش قدرت نگهداشت آب و نیز کاهش الودگی منابع آب زیرزمینی می‌گردد (Lou et al . 2017). در تحقیقی دیگر با بررسی اثر کمپوست مصرف شده قارچ و بیوچار آن بر عملکرد گیاه جعفری تحت تنش شوری نشان داده شد که کاربرد بیوچار در مقایسه با نمونه کمپوست و شاهد باعث جذب بهتر عناصر غذایی و همچنین مؤلفه‌های رشدی گردید. ضمناً نتایج این آزمایش حاکی از توانایی کمپوست و ذغال زیستی در کاهش اثرات تنش شوری و به تبع آن تنش خشکی است که علت آن را می‌توان در قابلیت نگهداشت آب توسط کمپوست و بیوچار دانست (Karami Niya et. al,2019). بررسی تأثیر بیوچار پوسته شلتوک برنج بر آبشویی نیترات در یک خاک رسی، نشان می‌دهد که میزان آبشویی نیترات در سه ماه اول روندی به شدت کاهشی و در دوماه آخر روندی افزایشی داشت (Ghorbani. et al. 2016).

بررسی مطالعه‌های مختلف نشان داده است فاکتورهایی مانند ماده اولیه سازنده بیوچار، دمای فرآوری بیوچار و نیز خصوصیات خاک، نوع گیاه و نوع آبیاری ارتباط مستقیمی به عملکرد بیوچار دارد (Shi et al., 2020). نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که تأثیر بیوچار بر توزیع اندازه منافذ و منحنی حفظ آب خاک بسته به نوع خاک و محتوای بیوچار متفاوت است. در خاک‌های ریزدانه، افزودن هشت درصد بیوچار بیشترین کاهش را در اندازه و درصد مزوپور داشت، در حالی که در خاک‌های با دانه متوسط، شش درصد بیوچار بیشترین تأثیر را داشت و در خاک‌های درشت دانه، درصد بیوچار بهینه دو درصد بود. در حالت‌های مکش کم، افزودن هشت و دو درصد بیوچار به‌ترتیب حفظ آب خاک‌های ریزدانه و متوسط را بهبود بخشید، اما تأثیر کمی بر خاک‌های درشت دانه داشت. به‌طور کلی، اثر بیوچار بر ویژگی‌های خاک–آب غیریکنواخت بود و به اندازه‌های نسبی بیوچار و ذرات خاک بستگی داشت (Chen et al., 2023). در تحقیقی استفاده از سوبسترای قارچ مصرف شده و باکتری‌های محرک رشد گیاه را روی رشد، عملکرد و پاسخ بیوشیمیایی گل کلم را در شرایط گلخانه با استفاده از شش تیمار کنترل، باکتری‌های محرک رشد گیاه، بیوچار و ترکیبی از این دو مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل بیوچار تولید شده از پیرولیز آهسته خواص ساختاری، عملکردی و مورفولوژیکی مفیدی را برای استفاده کشاورزی نشان داد. افزودن بیوچار و باکتری به‌طور قابل توجهی رشد، عملکرد و پارامترهای بیوشیمیایی گل کلم را بهبود بخشید، به‌طوری که بالاترین مقادیر مشاهده شده در تیمار ترکیب ۱۰ گرم بر کیلوگرم بیوچار و باکتری مشاهده شد (Širić et al.,2022). بررسی منابع و مقالات فوق بیانگر تأثیرهای مختلف بیوچار بر خاک، گیاه و خصوصیات زه آب خروجی بوده است و این

تفاوت به خصوصیات بیوچار و نوع خاک و گیاه کشت شده مرتبط است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی استفاده از بیوچار تولیدی از بستر مصرف شده قارچ در خاک و تأثیر آن بر غلظت برخی عناصر و اسیدیته و هدایت الکتریکی در زهاب خروجی کشت کاهو انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت طرح کاملاً تصادفی (شش تکرار) با هدف بررسی اثر سطوح مختلف بیوچار بقایای بسترقارچ (صفر، ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک) بر خصوصیات شیمیایی زهاب شامل (اسیدیته، هدایت الکتریکی، نیترات، کلسیم، سدیم و پتاسیم) انجام گردید.

خاک مورد استفاده

نمونه‌های خاک از عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری مزرعه آزمایشی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز با بافت سبک تهیه شد. دلیل انتخاب خاک نسبتاً سبک، درشت بودن منافذ این خاک‌ها و پایین بودن ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی در آن است. نمونه‌های خاک در هوا خشک شده تا به وزن ثابتی برسند. خاک‌های خشک شده با چکش پلاستیکی خرد شده و به‌منظور ایجاد یکنواختی از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند (O'Flynn et al, 2013 ؛ Marín-Benito et al., 2013). سپس خصوصیات خاک از جمله بافت خاک (روش هیدرومتری)، جرم مخصوص حقیقی خاک (روش پیکنومتر)، جرم مخصوص ظاهری خاک (استوانه)، تخلخل خاک، کربن آلی و ماده آلی خاک (روش والکلی بلک)، فسفر کل (اولسن)، ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی با روش جایگزینی $NaNO_3$ به جای HCl و KCl، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک (عصاره اشباع)، ازت کل خاک (روش کجلدال) اندازه‌گیری شد.

بیوچار بستر قارچ

در این پژوهش، از بیوچار تولیدی از بقایای بستر قارچ تهیه شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و بدون حضور اکسیژن استفاده گردید. دمای مطلوب برای تهیه بیوچار بستگی به خواص مورد نظر بیوچار و کاربرد مورد نظر آن دارد. نتایج تحقیقی نشان داد که بیوچارهای تولیدی در محدوده‌ی دمایی ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد (دمای پایین)، شاخص بهره‌وری مواد آلی و مواد مغذی بالاتری دارند (Divband Hafshejani et al., 2017). علاوه بر آن بیوچار تولید شده در دماهای پایین‌تر (۳۰۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) به‌دلیل وجود گروه‌های عملکردی مختلف، ویژگی‌های آلی متنوع‌تری را نشان می دهد (Tomczyk et al., 2020). قابل ذکر است که هدف این است که در این تحقیق بیوچار مواد مغذی خود را به‌صورت یک کود آهسته رهش در اختیار خاک و گیاه قرار دهد.

گیاه مورد استفاده

گیاه کاهو رقم اهوازی با نام علمی Lactuca Sativa گیاهی یک ساله از خانواده کاسنیان است و به‌عنوان سبزی پرورش می‌یابد که عمدتاً به‌صورت خام مصرف می‌شود. کاهو منبع خوبی برای ویتامین A و پتاسیم و سایر ویتامین‌ها و منابع معدنی است. کاهو برای رشد به دمای پایین از ۲۴ درجه سانتی‌گراد و بیشتر از هفت درجه سانتی‌گراد نیاز دارد. لذا بهترین درجه حرارت ۱۶ تا ۱۸ درجه سانتی گراد می باشد. زمان مناسب کشت آن در اهواز اوایل پاییز و دی ماه زمان برداشت محصول می باشد.

آماده‌سازی گلدان‌ها

در این پژوهش کشت کاهو درون گلدان‌هایی به ارتفاع ۲۲ و قطر ۲۱ سانتی‌متر انجام پذیرفت. جرم خاک مورد نیاز برای پر کردن گلدان‌ها براساس وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه و حجم گلدان تعیین شد. به‌طوری که در هر گلدان ۱۱ کیلوگرم خاک ریخته شد. مقدار بیوچار برای تیمارهای صفر (شاهد)، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم بیوچار به ازای هر کیلوگرم خاک محاسبه و به‌صورت یکنواخت با خاک مخلوط گردید ین تیمارها به‌ترتیب با نام B_1، B_2، B_3، B_4 نمایش داده شدند. برای تولید نشاهای کاهو در این مطالعه از بذر گیاه کاهو اهوازی استفاده شد. ابتدا بذرها به‌مدت ۲۴ ساعت خیس شدند و سپس به داخل سینی‌های نشا که با پرلیت پر شده بود (پرلیت‌ها، قبل از استفاده با قارچ‌کش ضدعفونی شدند)، منتقل گردیدند. این سینی‌ها در اتاقک رشد نگهداری و پس از ۲۰ روز به گلدان‌های اصلی در محیط گلخانه منتقل شدند. آبیاری گلدان‌ها در طی دوره رشد به‌صورت قطره‌ای و براساس نیاز آبی کاهو صورت پذیرفت. میزان نیاز آبی توسط روش تشت تبخیر کلاس A اندازه‌گیری شد. در محاسبات نیاز آبی، ضریب تشت تبخیر ۰/۷ و ضریب گیاهی در مراحل اول و دوم رشد ۰/۹ و در مراحل سوم و چهارم به‌ترتیب ۰/۹۵و ۰/۹ منظور گردید. بر این اساس نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد ۴۸۶ میلی‌متر به ازاء هر گیاه به‌دست آمد. فواصل آبیاری سه روز و آبیاری به روش قطره‌ای توسط قطره چکان‌های با دبی چهار لیتر در ساعت انجام پذیرفت. قبل از کاربرد قطره‌چکان‌ها آزمایش ضریب یکنواختی دبی قطره‌چکان‌ها انجام شد. به‌دلیل کیفیت مناسب آب آبیاری از فیلتر در سیستم استفاده نشد. فشار مورد نیاز سیستم نیز توسط یک پمپ ۰/۵ اسب تأمین و برای اندازه‌گیری دبی با توجه به تعداد گلدان‌های موجود در هر ردیف کشت، از کنتور برای اندازه‌گیری دبی در هر لترال استفاده شد. طول دوره رشد ۷۰ روز بود. بذرها ابتدا در اتاقک رشد کشت و پس از ۲۰ روز به گلدان‌ها منتقل شدند. در هر گلدان تنها یک نشاء کاهو کشت شد. به‌منظور تعیین

DOI: 10.22055/JISE.2023.44681.2093

کاربرد سطوح مختلف بیوچار بر نگهداشت عناصر در خاک، زهاب خروجی از گلدان‌ها در هر هفته یک بار پس از آبیاری، جمع آوری و میزان نیترات، سدیم، کلسیم و پتاسیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی در آن‌ها در شش مرحله اندازه‌گیری‌ها انجام شد.

اندازه‌گیری پارامترهای زهاب

برای اندازه‌گیری میزان نیترات از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR-5000 شرکت HACH مطابق با استاندارد متد ۱۰۰۴۹ با طول موج ۲۷۵ mm استفاده گردید. هدایت الکتریکی نمونه‌های آزمایش به‌وسیله دستگاه EC سنج مدل WTW InoLab اندازه‌گیری شد. میزان pH نیز بوسیله دستگاه pHسنج مدل InoLab تعیین گردید. برای اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم وکلسیم از دستگاه فلیم فوتومتر شعله‌ای Flame photometer مدل M410 استفاده گردید. پس از تهیه نمونه‌های زهاب از زیر گلدان ابتدا نسبت به عبور آن‌ها از صافی اقدام و برای اندازه‌گیری در ظروف دربسته نگهداری و همان روز قرائت‌ها انجام پذیرفت. قبل از شروع قرائت توسط دستگاه‌ها کالیبراسیون انجام پذیرفت. ضمناً با توجه به غلظت بالای نمونه‌ها قرائت پس از رقیق سازی انجام گرفت. لذا در هنگام ثبت داده‌ها در دفتر دو اصلاحیه کالیبراسیون و رقیق‌سازی بر ارقام نهایی تأثیر داده و ارقام به‌دست آمده اصلاح گردید.

نتایج و بحث

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه گردیده است. بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده ذرات شن، رس و سیلت، این خاک دارای بافت شنی- لومی می‌باشد. وجود کلسیم بالای خاک می‌تواند نشانه‌ای از قدرت بالای بافری خاک باشد. همچنین مقدار ماده آلی خاک نیز کمتر از یک درصد می‌باشد که بیان‌گر فقر ماده آلی در این خاک می‌باشد. پایین بودن ماده آلی در این خاک‌ها بر ساختار (تجمع)، زهکشی، هوادهی (خواص تبادل گاز)، ظرفیت نگهداری آب، pH، تراکم و رشد کلی گیاه تأثیر نامطلوب می‌گذارد (Diacono and Montemurro., 2011).

نتایج خصوصیات بیوچار تولید شده از بقایای بستر قارچ مصرف شده در جدول (۲) نمایش داده شده است. در تولید بیوچار تغییر در دمای تجزیه در اثر حرارت و نوع ماده‌ی خام، می‌تواند منجر به محصولاتی با طیف وسیعی از مقادیر pH، سطح ویژه، حجم منافذ، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد فرار، خاکستر و محتوای کربن شود (Tomczyk et al., 2020). مقدار pH بیوچار در محدوده قلیایی است و این می‌تواند ناشی از خروج گازهای اکسیژن و هیدروژن در طی فرآیند تولید بیوچار باشد. قابل ذکر است که این گازها جزء اصلی ترکیبات اسیدی هستند. ذغال‌های زیستی که از مواد غیر چوبی مانند کودها و بقایای گیاهی تولید می‌شوند دارای pH بیشتر و کربن پایدار کمتری نسبت به ذغال زیستی چوبی می‌باشند (Sigua et al, 2015).

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1– Soil physical and chemical characteristics

Parameter	Value	Parameter	Value
Clay (٪)	9	ρb (g/cm^3)	1.43
Silt (٪)	34	n (٪)	46
Sand (٪)	57	N (٪)	0.05
Soil Texture	Loamy sand	Na (mg/kg)	16.2
ECe (dS/m)	2.8	Ca (mg/ kg)	182.8
pH (no units)	7.60	K (mg/ kg)	63.3
Organic Matter(٪)	0.73	CEC (cmol/kg)	7.23
FC (%)	19	AEC (cmol/kg)	1.42
PWP (%)	8		

جدول۲- برخی خصوصیات بیوچار باقی مانده بستر قارچ

Table 2– Biochar physical and chemical characteristics

Parameter	AEC	CEC	P	O	S	H	C	N	EC	pH
Unit	(cmol/kg)	(cmol/kg)	(mg/kg)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(dS/m)	-
Value	9.41	13.73	0.61	11.4	0.74	1.7	28.5	2.1	6.91	7.7

ذغال زیستی تولید شده از باقی مانده بستر قارچ دارای عناصر غذایی زیادی در خود است که این مسئله برای رشد گیاه و بهبود حاصل‌خیزی خاک بسیار مهم است. علاوه بر این تولید ذغال زیستی از این بستر باعث افزایش غلظت عناصر موجود در آن شده است. علت این موضوع را می‌توان ناشی از فرار عناصر از مواد آلی و تجمع آن‌ها در خاکستر باقی مانده دانست. بیوچار تولید شده در دمای پایین دارای مواد فرار بیشتر و کربن تثبیت شده و محتوای خاکستری کمتری نسبت به بیوچار تولیدی در دمای بالا است (Rafiq et al., 2016). علت بالا بودن هدایت الکتریکی در بیوچار را می‌توان به افزایش غلظت عناصر موجود در بیوچار نسبت به ماده خام دانست. در برخی از پژوهش ها افزودن بیوچار به خاک باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شده است (Hamzei et al, 2012).

بررسی تأثیر سطوح بیوچار بر برخی از خصوصیات شیمیایی زهاب

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۳) نشان داد که افزودن بیوچار تأثیر معنی‌داری بر اسیدیته زهاب خروجی در سطح یک درصد دارد. تیمارهای B_2، B_3، B_4 به‌ترتیب اسیدیته را ۰/۴، ۰/۶۶ و ۰/۹۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴). یکی از دلایل افزایش اسیدیته زهاب، خواص ذاتی بیوچار است. در طی فرآیند تولید بیوچار، اکسیژن و هیدروژن خارج شده و عناصر بازی در ساختار ماده بیوچار باقی می‌مانند (Sigua et al., 2015). دلیل دیگر به توانایی بیوچار در جذب فلزاتی مانند آلومینیوم (Al)، آهن (Fe)، کبالت (Co)، کادیوم (Cd)، نیکل (Ni) و روی (Zn) مربوط است. با جذب این فلزات توسط بیوچار، حضور آن‌ها در آب کاهش یافته و به دنبال آن pH افزایش می‌یابد (Kinnunen et al.,2021). قابل ذکر است که بیوچار تولیدی از مواد غیرچوبی مانند بقایای گیاهی و کودها دارای اسیدیته بیشتر و کربن کمتری نسبت به بیوچارهای تولیدی از ماده اولیه چوبی هستند (Sigua et al., 2015).

نتایج این تحقیق نشان داد که تأثیر سطوح بیوچار بر کاهش هدایت الکتریکی زهاب در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول۳). کمترین میزان هدایت الکتریکی زهاب در تیمار B_4 با ۱/۹۲ دسی‌زیمنس‌برمتر و بیشترین آن در تیمار B_1 به‌میزان ۲/۳۳ دسی‌زیمنس‌برمتر اندازه‌گیری شد. با مقایسه میانگین تیمارها در جدول (۴)، تأثیر تیمارهای B_1 و B_2 در یک سطح و تیمارهای B_2 و B_3 نیز در یک سطح معناداری قرار داشتند ولیکن بیشترین تأثیر کاهشی بیوچار در تیمار B_4 با سطح متفات معناداری از سایر تیمارها اتفاق افتاد. کاهش هدایت الکتریکی زهاب، بر اثر بیوچار را می‌توان مربوط به حضور نمک‌های محلول در بیوچار و بالاتر بودن آن نسبت به هدایت الکتریکی خاک دانست (Chintala et al . 2013). بررسی نتیجه تحقیقات نشان داده است که تاکنون مطالعه جامعی روی تاثیر بیوچار بر هدایت الکتریکی خروجی از کشت‌های مختلف انجام نشده و بیشتر تحقیقات مربوط به هدایت الکتریکی بیوچار تولید شده در دماهای مختلف است (Gabhi., et al., 2020). نتایج تحقیقات مختلف به‌طور کلی نشان داده است که تأثیر بیوچار بر خاک و زه‌آب خروجی به عواملی مانند منبع بیوچار، دمای تجزیه در اثر حرارت و نوع خاک بستگی دارد. در این تحقیق کاربرد بیوچار باعث کاهش هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی شد. از طرفی بیوچار بستر قارچ باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک گردیده است. شاید بتوان این رابطه دو طرفه (افزایش هدایت الکتریکی در خاک و کاهش آن در زه‌آب) را دلیل این فرآیند قلمداد کرد. از طرفی کاهش برخی پارامترهای تشکیل دهنده هدایت الکتریکی (آنیون‌ها و کاتیون‌ها) نیز در زه‌آب پیش از این نیز در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش غلظت عناصر در محلول خاک به‌واسطه حضور بیوچار، میزان غلظت عناصر درون زهاب کاهش یافته که به نظر می‌رسد این امر باعث کاهش هدایت الکتریکی زهاب شده است.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بیوچار بر برخی خصوصیات شیمیایی زهاب

Table 3- Analysis of Variance of the effect of different biochar treatments on some chemical characteristics of Drainage water

References	Df	Mean of Squares					
		Ca	Na	K	NO_3^-	EC	pH
Treatment	3	2827.02 **	835.67 **	48.64 **	22219 **	0.187 **	0.005 **
Error	20	4.435	4.181	1.267	56.759	0.015	0.000
Total	23						

Significant at 1%: ** Significant at 5%: * Not significant: ns

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بیوچار بر برخی خصوصیات شیمیایی زهاب

Table 4- The means comparison of different biochar treatments on some chemical characteristics of Drainage water

Treatment	K (mg/lit)	Na (mg/lit)	Ca (mg/lit)	NO_3^- (mg/lit)	EC (ds/m)	pH
B1	31.86 [a]	158.56 [a]	173.15 [a]	315.58 [a]	2.33 [a]	7.55 [d]
B2	29.84 [b]	147.92 [b]	148.65 [b]	230.36 [b]	2.20 [a,b]	7.58 [c]
B3	26.59 [c]	137.27 [c]	132.95 [c]	194.11 [c]	2.07 [b]	7.60 [b]
B4	25.74 [c]	131.95 [d]	123.48 [d]	180.03 [d]	1.92 [c]	7.62 [a]

Numbers with dissimilar letters in a column show a significant difference at the 1% level in the Duncan test.

بیشترین مقدار نیترات در زهاب خروجی از تیمار B_1 اندازه‌گیری گردید که نشان دهنده پایین بودن قدرت جذب خاک لومی–شنی در جذب نیترات و در نتیجه بالا بودن غلظت نیترات آبشویی شده از تیمار شاهد است. در صورتی‌که کاهش ۲۷، ۳۸/۵ و ۴۳ درصدی غلظت نیترات به‌ترتیب در زه‌آب تیمارهای B_4،B_3،B_2 حاصل گردید. عامل اصلی نگهداشت آنیون‌هایی همچون نیترات را می‌توان تأثیر برهم–کنش بیوچار با مواد آلی خاک و در مورد نیترات، اثرات بیوچار بر چرخه زیستی نیتروژن خاک دانست. از دیگر دلایل کاهش آبشویی عناصر غذایی می‌توان به مسئله ظرفیت تبادل کاتیونی بالای بیوچار اشاره کرد (Singh et al , 2010a). بیوچار تولیدی در دمای پایین، خواستار تثبیت و تحریک عناصر می‌باشد. این فرآیند می‌تواند منبع موضعی نیتروژن آلی را ایجاد کند که تمایل به کاهش پتانسیل آبشویی نیتروژن معدنی در خاک به‌شدت آبشویی شده را داراست (Steiner et al , 2008). علاوه بر آن اضافه کردن بیوچار باعث افزایش فعالیت زیست توده میکروبی و آنزیمی در خاک شد و ترکیب جامعه‌ی باکتری‌ها را تغییر داد، که نشان‌دهنده افزایش نیاز زیست توده میکروبی به نیتروژن و تحریک چرخه‌ی نیتروژن در خاک شامل فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون بود این پاسخ‌های میکروبی در پاسخ به افزایش بیوچار منجر به افزایش بیشتر نگهداری نیترات و کاهش آبشویی آن شد (Chen et al., 2021). نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد به‌طوری که در کاربرد زغال زیستی بامبو تلفات تجمعی نیتروژن آمونیومی از راه آبشویی در عمق ۲۰ سانتی‌متری ۱۵/۲درصد کاهش یافت. یعنی از تحرک آن در اعماق مختلف و هدر رفت آن‌ها جلوگیری نمود (Ding et al , 2010). همچنین کاربرد بیوچار باگاس نیشکر با مقدار ۱۰گرم بر کیلوگرم خاک موجب بیشترین کاهش غلظت نیترات در آب آبشویی شده گردید (Divband Hafshejani et al., 2017).

براساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت بین غلظت کلسیم در زهاب در تمامی تیمارها در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در تیمارهای B_2، B_3، B_4 به ترتیب کاهش ۱۴/۲، ۳۲/۲ و ۲۸/۷ درصدی کلسیم نسبت به تیمار مشاهده شد. بنابراین بیشترین تأثیر در کاهش آبشویی کلسیم را در تیمار B_4 نسبت به‌دست آمد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیوچار پتانسیل کاهش تلفات مواد مغذی و بهبود کیفیت آب را از طریق ویژگی‌های جذب خود دارد (Libutti et al., 2019).

کاهش آبشویی عناصر غذایی در اثر کاربرد بیوچار در خاک در آزمایش‌های گلدانی متعددی گزارش شده است به‌طوری که کاهش آبشویی کلسیم به هنگام کاربرد بیوچار به ظرفیت تبادل کاتیونی بالای این ماده نسبت داده شد (Lehmann et al., 2003 ، Laird et al., 2010 ، Novak., et al.2009 ، Major et al.2010 ، Singh et al., 2010b). بیوچار مواد غذایی موجود در منطقه ریشه را حفظ می‌کند. علاوه بر این، پژوهش‌ها نشان داده است که آبشویی عناصر غذایی در نیم‌رخ خاک کاهش خواهد یافت. مطالعه‌های گلدانی نشان داده است هنگامی که بیوچار به خاک اضافه شد، آبشویی عناصر غذایی کاهش یافت (Verheijen et al.2010).

نتایج جدول تجزیه واریانس جدول (۳) نشان داد که افزودن بیوچار به خاک بر کاهش سدیم اندازه‌گیری شده در زهاب تأثیر معنادری در سطح یک درصد دارد. با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها جدول (۴). این کاهش در تیمارهای B_2، B_3، B_4 به‌ترتیب ۶/۷، ۱۳/۴و ۱۶/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. بنابراین تیمار B_4 بیشترین تأثیر را بر کاهش هدر روی سدیم خاک را داراست. برای این تأثیر می‌توان بیان داشت که مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار ارتباط نزدیکی با غلظت گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار دارد که در فرآیند جذب کاتیون-های مختلف از جمله سدیم نقش دارند (Wagner et al., 2023). Sun et al (2017)، اعلام کردند که بیوچار با جذب نمک‌های مانند سدیم به‌صورت جذب سطحی و به دام انداختن فیزیکی یون سدیم در منافذ خود می‌تواند در اثرات منفی آن در خاک موثر باشد.

نتایج تجزیه واریانس جدول (۳) نشان داد که تأثیر کاربرد بیوچار بقایای بستر قارچ بر کاهش غلظت پتاسیم در تمامی تیمارها نسبت به شاهد در سطح یک درصد معنادار بود ولی بین تیمارهای B_3 و B_4 تفاوت معناداری در کاهش آبشویی پتاسیم دیده نشد (جدول ۴). قابل ذکر است براساس نتایج به‌دست آمده تیمارهای B_2، B_3، B_4 به‌ترتیب

کاهش ۶/۳، ۱۶/۶ و ۱۹/۲ درصدی در آبشویی پتاسیم رخ داد. نتایج آزمایش‌ها روی بیوچارهای تولید شده از لجن فاضلاب در دماهای بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز نشان داد که اضافه‌کردن بیوچار باعث کاهش ۷/۹- ۲۳/۴ درصدی در آبشویی پتاسیم از خاک شده است (Yuan et al., 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از این نوع بیوچار می‌تواند موجب تأثیر مثبت بر نگهداشت عناصر غذایی در خاک و جلوگیری از ورود آن‌ها به زهاب گردد.کاربرد بیوچار بستر قارچ به میزان ۲۰ گرم در هر کیلو گرم خاک (معادل دو درصد) موجب کاهش ۴۳ درصدی تلفات نیتروژن، ۲۸/۷ درصدی کلسیم، ۱۹/۲ درصدی پتاسیم و ۱۶/۸ درصدی سدیم گردید. افزایش این مقدار بیوچار به خاک باعث افزایش ۳۶/۸۴ درصدی هدایت الکتریکی زهاب و افزایش ۱۳/۴۷ درصدی اسیدیته آن شد.

تقدیر و تشکر

با تشکر از معاونت محترم پژوهشی و فنآوری دانشگاه شهید چمران اهواز به لحاظ فراهم نمودن اعتبار پژوهشی این تحقیق در قالب پایان نامه دکتری و نیز با سپاس از پرسنل محترم آزمایشگاه‌های دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز به دلیل کمک‌ها و مساعدت‌های فراوان در انجام این تحقیق.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

حمایت‌های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی به شماره پژوهانه SCU.WI1402.399 صورت گرفته است.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: محمد والی‌پور، نوشتن- پیش نویس اصلی، تحلیل، تصویرسازی

نویسنده دوم: سعید برومندنسب، جذب بودجه، روش شناسی.

نویسنده سوم: عبدعلی ناصری، استفاده از نرم‌افزار، مدیریت پروژه.

نویسنده چهارم: لاله دیوبند هفشجانی، نوشتن – بررسی و ویرایش، نظارت.

نویسنده پنجم: ناصر عالم زاده انصاری، نوشتن – بررسی و ویرایش، مدیریت پروژه.

Refrences

1- Amiri, Z. , Alinia, M ,2010. Plant Residue Management. *Barzgar Journal*, No. 1044, Section A. Alefband, (In Persian).

2- Chaitra, A.K.P., Ahuja, R., Sidhu, S.P.K. and Sikka, R., 2021. Importance of Nano Fertilizers in Sustainable Agriculture. *Environ. Sci. Ecol. Curr. Res.(ESECR)*, *5*, p.1029.

3- Chen, P., Liu, Y., Mo, C., Jiang, Z., Yang, J. and Lin, J., 2021. Microbial mechanism of biochar addition on nitrogen leaching and retention in tea soils from different plantation ages. *Science of The Total Environment*, *757*, p.143817. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143817.

4- Chen, X., Li, L., Li, X., Kang, J., Xiang, X., Shi, H., & Ren, X. (2023). Effect of Biochar on Soil-Water Characteristics of Soils: *A Pore-Scale Study. Water*, 15(10), 1909. Doi: /10.3390/w15101909.

5- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T.E., Papiernik, S.K., Malo, D.D., Clay, D.E., Kumar, S. and Gulbrandson, D.W., 2013. Nitrate sorption and desorption in biochars from fast pyrolysis. *Microporous and Mesoporous Materials*, *179*, pp.250-257. Doi: 10.1016/j.micromeso.2013.05.023.

6- Collela, C.F., Costa, L.M.A.S., Moraes, T.S.J.D., Zied, D.C., Rinker, D.L. and Dias, E.S., 2019. Potential utilization of spent Agaricus bisporus mushroom substrate for seedling production and organic fertilizer in tomato cultivation. Ciência e Agrotecnologia, 43. Doi: 10.1590/1413-7054201943017119.

7- Diacono, M. and Montemurro, F., 2011. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *Sustainable agriculture volume 2*, pp.761-786.

8- Ding, Y., Liu, Y.X., Wu, W.X., Shi, D.Z., Yang, M. and Zhong, Z.K., 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water, Air, & Soil Pollution*, *213*, pp.47-55.

9- Divband Hafshejani, L., Naseri, A. A., Hooshmand, A., Abbasi, F., Soltani Mohammadi, A. (2017). 'Effect of Sugarcane Bagasse Biochar Application on Chemical Properties a Sandy Loam Soil', *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), pp. 63-72. Doi: 10.22055/jise.2017.12667 (In Persian).

10- Gabhi, R., Basile, L., Kirk, D.W., Giorcelli, M., Tagliaferro, A. and Jia, C.Q., 2020. Electrical conductivity of wood biochar monoliths and its dependence on pyrolysis temperature. *Biochar*, *2*, pp.369-378.

11- Gholami Jami, S. and Emami, H., 2021. Effect of organic matter and potassium chloride on soil structure stability indices. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *11*(1), pp.83-100. Doi: 10.22069/EJSMS.2021.18280.1969. (In Persian).

11- Ghorbani, M., Asadi, H. and Abrishamkesh, S., 2016. Effect of rice husk biochar on nitrate leaching in a clayey soil. *Iranian Journal of Soil Research*, *29*(4), pp.127-434. Doi: 10.22092/IJSR.2016.105902. (In Persian).

12- Hamzei, A., Lakziyan, A., Astarai, A. and Fotovvat, E., 2012. Effect of biochar and waste water on cadmium uptake by mungbean. In *3 rd National Conference on Water Resource Management*.

13- Karami Niya, F., Rang Zan, N., Nadian Ghomsheh, H. and Lotfi Jalal Abadi, A., 2019. The Effect of spent mushroom compost and its biochar on parsley yield under salinity stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(6), pp.1453-1465. Doi: 10.22059/ ijswr. 2019.269268.668052. (In Persian).

14- Kinnunen, N., Laurén, A., Pumpanen, J., Nieminen, T.M. and Palviainen, M., 2021. Biochar capacity to mitigate acidity and adsorb metals—Laboratory tests for acid sulfate soil drainage water. *Water, Air, & Soil Pollution*, *232*, pp.1-14.

15- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. and Karlen, D., 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, *158*(3-4), pp.436-442.

16- Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B., 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, *249*, pp.343-357.

17- Libutti, A., Cammerino, A.R.B., Francavilla, M. and Monteleone, M., 2019. Soil amendment with biochar affects water drainage and nutrient losses by leaching: Experimental evidence under field-grown conditions. *Agronomy*, *9*(11), p.758. doi: 10.3390/agronomy9110758.

18- Lou, Z., Sun, Y., Bian, S., Baig, S.A., Hu, B. and Xu, X., 2017. Nutrient conservation during spent mushroom compost application using spent mushroom substrate derived biochar. *Chemosphere*, *169*, pp.23-31. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.044.

19- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J. and Lehmann, J., 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*, *333*, pp.117-128.

20- Marín-Benito, J.M., Brown, C.D., Herrero-Hernández, E., Arienzo, M., Sánchez-Martín, M.J. and Rodríguez-Cruz, M.S., 2013. Use of raw or incubated organic wastes as amendments in reducing pesticide leaching through soil columns. Science of the total environment, 463, pp.589-599. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.051.

21- Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J. and Ram, L.C., 2013. Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. *Catena*, *111*, pp.64-71. Doi: 10.1016/j.catena.2013.06.025.

23- Mishra, R.K., 2023. Fresh water availability and its global challenge. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, *4*(3), pp.1-78. Doi: /10.37745/bjmas.2022.0208.

22- Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrah, D., Watts, D.W., Busscher, W.J. and Schomberg, H., 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Annals of environmental science.

23- O'Flynn, C.J., Healy, M.G., Lanigan, G.J., Troy, S.M., Somers, C. and Fenton, O., 2013. Impact of chemically amended pig slurry on greenhouse gas emissions, soil properties and leachate. Journal of Environmental Management, 128, pp.690-698. Doi: 10.1016/j.jenvman.2013.06.020.

24- Rafiq, M. K., Bachmann, R. T., Rafiq, M. T., Shang, Z., Joseph, S. and Long, R. 2016. Influence of pyrolysis temperature on hysico-chemical properties of corn stover (Zea mays L.) biochar and feasibility for carbon capture and energy balance. PLoS One 11, e0156894.

24- Raziei, T., 2015. Investigation of drought characteristics in arid and semi-arid regions of of Iran. *Watershed Engineering and Management*, *7*(4), pp.363-378. Doi: 10.22092/ijwmse.2015.103082.

25- Salmani, M.S., Khorsandi, F., Yasrebi, J. and Karimian, N., 2014. Biochar effects on copper availability and uptake by sunflower in a copper contaminated calcareous soil. *International journal of plant, Animal and Environmental Sciences*, *4*(3), pp.389-394.

26- Shahsavan Markadeh, M. and Chamani, E., 2015. Effect of Various Mixtures of Substrate with Spent Mushroom Compost Residue on Growth and Flowering Characteristics of Cut. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *24*(4.1), pp.123-139. (In Persian).

27- Shi, W., Ju, Y., Bian, R., Li, L., Joseph, S., Mitchell, D.R., Munroe, P., Taherymoosavi, S. and Pan, G., 2020. Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. Science of the Total Environment, 701, p.134424.

28- Sigua, G.C., Stone, K.C., Hunt, P.G., Cantrell, K.B. and Novak, J.M., 2015. Increasing biomass of winter wheat using sorghum biochars. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, pp.739-748.

29- Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A.L. and Kathuria, A., 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of environmental quality*, *39*(4), pp.1224-1235. Doi: 10.2134/jeq2009.0138.

30- Singh, B., Singh, B.P. and Cowie, A.L., 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Research*, *48*(7), pp.516-525. Doi: 10.1071/SR10058.

31- Širić, I., Eid, E.M., Taher, M.A., El-Morsy, M.H., Osman, H.E., Kumar, P., Adelodun, B., Abou Fayssal, S., Mioč, B., Andabaka, Ž. and Goala, M., 2022. Combined use of spent mushroom substrate biochar and PGPR improves growth, yield, and biochemical response of cauliflower (Brassica oleracea var. botrytis): a preliminary study on greenhouse cultivation. *Horticulturae*, *8*(9), p.830. Doi: 10.3390/horticulturae8090830.

32- Steiner, C., Glaser, B., Geraldes Teixeira, W., Lehmann, J., Blum, W.E. and Zech, W., 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of plant nutrition and soil science*, *171*(6), pp.893-899. Doi: 10.1002/jpln.200625199.

33- Sun, H., Lu, H., Chu, L., Shao, H. and Shi, W., 2017. Biochar applied with appropriate rates can reduce N leaching, keep N retention and not increase NH3 volatilization in a coastal saline soil. *Science of the Total Environment*, *575*, pp.820-825. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.137

34- Tomczyk, A., Sokołowska, Z. and Boguta, P., 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 19, pp.191-215.

35- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van der Velde, M. and Diafas, I., 2010. Biochar application to soils. *A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR*, *24099*(162), pp.2183-2207.

36- Wagner, B., Salisbury, A. and Midgley, M.G., 2023. Top dressed biochar increases tree seedling growth and decreases sodium leaching. *bioRxiv*, pp.2023-08. Doi: 10.1101/2023.08.03.551785.

37- Yuan, H., Lu, T., Wang, Y., Chen, Y. and Lei, T., 2016. Sewage sludge biochar: Nutrient composition and its effect on the leaching of soil nutrients. *Geoderma*, *267*, pp.17-23. Doi: 10.1016/j.geoderma.2015.12.020

38- Zare Abyaneh, H., Khodabandehlo, Z., Bayat, H. and Jovzi, M., 2022. The effect of a superabsorbent and biochar on some physical and hydraulic properties of two arable sandy loam and clay loam soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(2), pp.2557-2569.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 115-133

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

WetSpass to investigate the effects of land use and plant cover on water balance (Case study: Khafr region of Fars province)

E. Mozafari[1], A. Saremi[2*], H. Ghorbanizadeh Kharazi[2*]and H. Babazadeh[3]

1- Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Corresponding authors: Assistant Professor Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (a-saremi@srbiau.ac.ir,).*
3- Assistant Professor Department of Civil engineering-water resources management, shoushtar branch, Islamic Azad University, shoushtar, Iran.
4- Professor Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 24 January 2024
Revised: 12 August 2024
Accepted: 14 August 2024

Keywords:
arid and semi-arid areas, evapotranspiration, GIS, runoff, water sources.

TO CITE THIS ARTICLE:

Mozafari, E., Saremi, A., Ghorbanizadeh Kharazi, H., Babazadeh, H. (2025). 'WetSpass to investigate the effects of land use and plant cover on water balance)Case study: Khafr region of Fars province(', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 115-133. doi: 10.22055/jise.2024.45894.2115.

Abstract

To present efficient methods for suitable use of water sources in the arid and semi-arid areas, it is essential to investigate water balance affected by different parameters. In the present research, to investigate the effects of land use and plant cover on water balance in the Khafr region of Fars province, WetSpass model integrating the effective variables on water balance in the GIS, was used for a 10-year period (2009-2017). Different layers of climate (potential evapotranspiration), groundwater level, topography, slope and soil properties were used to prepare the digitized maps by GIS. The final maps of evapotranspiration, and long-term recharging of ground water as well as the maps of land use and plant cover were produced. The highest amount of run-off with the average of 37.7 mm per year was observed in the bared areas, along with the average yearly evapotranspiration of 352 mm and the recharge of 1 and 99% in the warm and cold seasons, respectively. WetSpass was able to stimulate the components of water balance favorably. The results of present research can be used for the estimation of water balance components in the Khafr region of Fars province and the similar regions in the world, for the suitable use of water sources to decrease the effects of water stress on the recharge of ground water and subsequent yield production, with respect to the process of global warming. To enhance rainfall efficiency, it is recommendable to avoid the conversion of forests to agricultural lands, and building construction in the region.

Introduction

Water is among the most important parameters for life on the earth fulfilling different human necessities for agriculture, drinking, and industry through the hydrological cycle. The important point about using water is the suitable supply and optimized use. In the arid and semi-arid areas, with 60-100% dependency, groundwater is the most important water source in the hydrologic cycle to supply water for different

purposes. The sources of ground water used for surface irrigation, include 40% of the world food and 97% of drinking water for the use of human on the earth (Ghafari et al. 2018).

Materials and Methods

With respect to the following, and for the establishment of the WetSpass model (the water and energy transfer among soil, plants, and atmosphere) for groundwater, the Khafr region in the large watershed of Mand in the province of Fars was selected for the present research. 1) The accessibility of temporal data, rainfall, and other parameters, 2) the accessibility of spatial data, 3) flow rate and the level of water in the wells of the region, and 4) the clearness of the region boundaries. The Khafr region with an area of 1108.05 Km^2 is managed by the Regional Water Company of Fars and is located at the longitude of E52^{o}42’ to 53^{o}30’ and latitude of N28^{o}51’ to 29^{o}9’.

Results

In the present research the correlation among the water balance parameters including runoff, evapotranspiration, and discharge of water ground (fluctuations of water ground) for the Khafr region for the time period of September 2009 to 2018 was investigated using remote sensing and WetSpass model. The processing of the images determined five different types of land use including forest, rangeland, agriculture, rainfed and not-cultivated land, irrigated agriculture, and civilian areas in the region. The WetSpass model was used to change the images to digitized maps for the investigated time period. The tested model was able to predict the components of hydrological cycle in the Khafr region with high precision.

Discussion and Conclusion

For the optimized use of water sources in each region, the correlation among land use and plant cover with the variables of water balance including runoff, evapotranspiration, and discharge of water ground (fluctuations of water ground) must be investigated. Different parameters affect water balance in the watersheds, among which land use and pant cover are among the most important ones (Daniel et al. 2022). In the present research, using the WetSpass model the components of water balance (rainfall, evapotranspiration, and runoff) as affected by land use and plant cover were investigated in a 10-year period in the Khafr region of Fars province. The WetSpass model on the basis of GIS, used to investigate the components of water balance in the Khafr region of Fars province, precisely simulated the components of water balance for the proper handling of water sources. According to the results, and with respect to the recent droughts, the region has faced water stress, due to the reduction of ground water discharge, as the most important water source. Water evapotranspiration is the most important factor for the reduction of water in the region, and in the bare areas (without plant cover) runoff is the second most important parameter, which reduce water discharge of the region. It is recommendable to maintain plant cover in the region and avoid the conversion of forest lands for agricultural and construction purposes. The use of efficient irrigating methods can also be useful to enhance water use efficiency in the region for crop planting.

Acknowledgment

This research has no acknowledgments.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

First Author: Esmael Mozafari**.** conducted the experiments and analysed data
Second Author: Ali Saremi, supervised the research and wrote the first draft
Third and Fourth Authors: Hossain Ghorbanizadeh Kharazi and Hossain Babazadeh, co-supervised the research and analysed data

References

1- Ghafari, H., Rasoulzadeh, A., Raoof, M., Esmeali, A. 2018 Estimation of natural groundwater recharge using WTF method (case study: Ardabil Plain aquifer). *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(90), pp.43-52. https://doi.org/10.22034/ceej.2018.7576.

2- Daniel, D., Ayenew, T., Fletcher, C.G., Duraisamy, R., Jothimani, M. 2022. Numerical groundwater flow modelling under changing climate in Abaya–Chamo lakes basin, Rift Valley, Southern Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment* 8, pp. 3985-3999. https://doi.org/10.1007/s40808-021-01342-x



© 2025 Shahid Chamran Universiry 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٨، شماره‌ی۲، تابستان ١٤٠٤، مقاله پژوهشی، ص. ۱۳۳-۱۱۵

استفاده از مدل WetSpass برای بررسی اثرات استفاده از زمین و پوشش گیاهی بر بیلان آبی (مطالعه موردی: منطقه خفر استان فارس)

اسماعیل مظفری[۱]، علی صارمی[۲*]، حسین قربانی زاده خرازی[۲]و حسین بابازاده[۳]

۱- دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیارگروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. a-saremi@srbiau.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران و مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر

۴- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۴ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴

چکیده

برای ارائه روش‌های کارا برای استفاده مناسب از منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بررسی بیلان آبی تحت‌تأثیر عوامل مختلف ضروری است. در این تحقیق، به‌منظور بررسی اثرات استفاده از زمین و پوشش گیاهی بر بیلان آبی منطقه خفر استان فارس از مدل WetSpass که متغیرهای مؤثر بر بیلان آبی را در محیط GIS ادغام می‌نماید، در دوره زمانی ۱۳۸۸-۱۳۹۶ استفاده گردید. بدین منظور لایه‌های پارامترهای مختلف شامل اقلیم (تبخیر- تعرق پتانسیل)، سطح آب زیرزمینی، توپوگرافی، شیب و خصوصیات خاک در GIS تهیه شد. نقشه‌های نهایی شامل تبخیر- تعرق و تغذیه بلندمدت آب زیرزمینی و همچنین نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی تهیه گردید. بیشترین میزان متوسط رواناب (۳۷/۷ میلی‌متر در سال) در مناطق بدون پوشش بود، میزان متوسط تبخیر- تعرق سالیانه برابر با ۳۵۲ میلی‌متر در سال، تغذیه فصل گرم ۱درصد و تغذیه فصل سرد ۹۹درصد از کل تغذیه آبهای زیرزمینی را تشکیل دادند. استفاده از مدل WetSpass به‌خوبی اجزای بیلان آبی در منطقه را شبیه‌سازی نمود. با استفاده از مدل WetSpass، تخمین اجزاء بیلان آبی در منطقه خفر استان فارس و مناطق با ویژگی‌های مشابه امکان‌پذیر می‌گردد که برای بهینه‌سازی منابع آبی و کاهش اثرات تنش آب بر تغذیه آب زیرزمینی و در نتیجه تولید محصول، با توجه به فرآیند گرم شدن زمین قابل استفاده است. توصیه می‌گردد، برای استفاده بهینه از بارندگی، تبدیل جنگل‌ها به زمینهای کشاورزی و ساختمان‌سازی در منطقه به حداقل کاهش یابد.

کلیدواژه‌ها تبخیر- تعرق، رواناب، منابع آبی، مناطق گرم و خشک، GIS.

مقدمه

آب جزو مهم‌ترین عوامل برای زندگی بر روی کره زمین است و نیازهای بشر را برای مصارف مختلف کشاورزی، شرب و صنعت با حرکت در چرخه هیدرولوژی برآورده می‌نماید. نکته مهم در مورد استفاده از آب، تأمین مناسب و استفاده بهینه از آن است. با توجه به ۶۰ تا ۱۰۰ درصد وابستگی، منابع آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مهمترین منبع در چرخه هیدرولوژی برای تأمین آب لازم در مناطق خشک و نیمه‌خشک، قابل استفاده هستند. منابع آب‌های زیرزمینی که برای کشاورزی فاریاب استفاده می‌شوند، منبع تولید ۴۰ درصد از منابع غذایی جهانی و ۹۷ درصد آب شرب برای استفاده ساکنین کره زمین هستند (Daneshvar Vousoughi et al., 2011 ، Ghafari et al., 2018).

توزیع مکانی و زمانی آب تجدیدشونده بسیار متغیر است و با توزیع جمعیت و نیازهای آبی جوامع بشر متناسب نیست. به‌عنوان‌مثال قاره آسیا با ۶۰ درصد از کل جمعیت دنیا، فقط ۳۶ درصد از کل آب کره زمین را دریافت می کند، در صورتی‌که حوضه آبریز رودخانه آمازون با ۰/۴ درصد کل جمعیت کره زمین دارای ۱۴درصد از منابع آبی تجدید شونده است (Gude, 2017). با توجه به رشد روزافزون جمعیت دنیا، منابع آبی به‌صورت پیوسته در حال کاهش هستند. به‌عنوان مثال، سطح آب آبخوان‌ها که عمدتاً برای مصرف آبیاری استفاده می گردند، در سال‌های اخیر به میزان یک تا سه متر درایران کاهش یافته است (Shaabani et al. 2023). بنابراین بررسی بیلان آبی در نتیجه استفاده‌های مختلف از زمین و پوشش گیاهی در هر منطقه برای مدیریت صحیح منابع آب و تأمین نیازهای بشر حائز اهمیت فراوان می‌باشد (Aznar-Sánchez et al., 2018).

برخی از مؤثرترین پارامترهای مهم و مؤثر بر چرخه هیدرولوژی و به عبارتی بر بیلان آبی نحوه استفاده از زمین و پوشش گیاهی است. کاربری‌های مختلف زمین موجب تغییراتی در سطح زمین و همچنین در میزان منابع آب موجود می‌گردد (Mohammadi et al., 2015). نکته قابل‌توجه در این زمینه نحوه پیش‌بینی نتایج برای ارائه راهکارهای لازم برای استفاده مناسب و افزایش راندمان منابع آبی است. به همین دلیل استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی روش مناسبی برای بررسی و پیش‌بینی نحوه تولید و انتقال آب در حوضه است (Pandi et al., 2021).

باتوجه به جزئیات بالا، تغذیه آب‌های زیرزمینی، توسط بارش باران و برف، برای تجدید این منابع آب بسیار حائز اهمیت است. قسمتی از بارش حاصل از باران و برف به‌صورت رواناب سطحی و بخشی نیز به‌صورت زیرسطحی به سمت خروجی حوضه حرکت می‌نماید (Qi et al., 2023). تغذیه منابع آبی زیرزمینی تابع شرایط اقلیمی، ساختار زمین‌شناسی و نحوه استفاده از زمین و پوشش گیاهی است. رواناب و تبخیر- تعرق، مهم‌ترین عواملی هستند که سبب کاهش این منابع آبی می‌شوند (Derafshi et al. 2016). نظر به اینکه برای تعیین مناطق تغذیه و حرکت آب‌های زیرزمینی برداشت نمونه از کلیه قسمت‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد، استفاده از مدل‌های مبتنی بر GIS و سنجش‌ازدور (همچون مدل توزیعی WetsPass) رایج گردیده است (Mozafari et al., 2023).

برخی خصوصیات مهم که بر تخمین رواناب، تغذیه و تبخیر- تعرق مؤثرند عبارت‌اند از: نحوه استفاده از زمین، سطح آب زیرزمینی، شرایط هیدرومتئورولوژیکی، خصوصیات خاک، شیب زمین و توپوگرافی. به‌همین علت توسعه مدل‌های جدید بر مبنای استفاده از این پارامترها به‌عنوان ورودی ضروری است. به همین دلیل، استفاده از GIS روش مناسبی برای پشتیبانی از چنین مدل‌های هیدرولوژیکی است. با استفاده از برخی از ابزارها همچون سنجش از دور می‌توان نحوه تغییرات کاربری اراضی و نوع پوشش گیاهی را در سطح حوضه و برای دوره زمانی مشخص بررسی نمود. در نتیجه، با استفاده از نقشه های نحوه استفاده از زمین و پوشش گیاهی، خصوصیات اقلیمی، ویژگی‌های خاک و توپوگرافی، می‌توان بیلان آبی منطقه شامل میزان رواناب حاصل از بارندگی، تبخیر- تعرق و میزان تغذیه آب زیرزمینی را محاسبه نمود که به‌عنوان هدف این تحقیق توسط مدل توزیعی - مکانی WetSpass بررسی گردیده است. در نتیجه می‌توان با استناد به نتایج کسب شده این تحقیق روش‌های مناسب و کارا برای استفاده بهتر از منابع موجود در منطقه و در نتیجه کاهش اثرات نامطلوب حاصل از خشکسالی را ارائه نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد تحقیق

در این مطالعه، باتوجه به نکات لازم ذیل و برای ایجاد مدل توزیعی – تجمعی بیلان آب و تغذیه مکانی و زمانی آب زیرزمینی، منطقه خفر شکل (۱) در آبریز بزرگ مند در استان فارس انتخاب گردید. دلائل انتخاب این منطقه شامل موارد زیر است: ۱) دست‌یابی به داده‌های زمانی دما، بارش و سایر متغیرهای لازم، ۲) دست‌یابی به داده‌های مکانی، ۳) میزان دبی رودخانه و سطح آب چاه‌های منطقه و ۴) مشخص‌بودن محدوده‌های منطقه. این منطقه با سطح ۱۱۰۸/۰۵ کیلومترمربع، تحت نظارت شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس است و بین طول جغرافیایی شرقی ۵۲ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی شمالی ۲۸ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۹ دقیقه واقع گردیده است (شکل ۲). بازدیدهای میدانی و بررسی‌های نقشه‌ها مشخص نمود که تقریباً تمامی مسیل‌ها در این حوضه موقت بوده‌اند و دبی مسیل‌ها در فصل تابستان در حدود صفر است، درصورتی‌که رودخانه‌ای که از منطقه می‌گذرد با عبور از پست‌ترین رقوم ارتفاعی تقریباً در همه ایام سال دارای آب بوده و آب منطقه را زهکشی می‌نماید. سبزینگی منطقه شامل جنگل، زراعت، باغ‌ها و درختان نیز در اطراف همین رودخانه است. در این تحقیق نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی با استفاده از سنجش ازدور با استفاده از ماهواره لندست و نرم‌افزار ENVI در محیط ArcGIS تهیه گردید (شکل ۳).

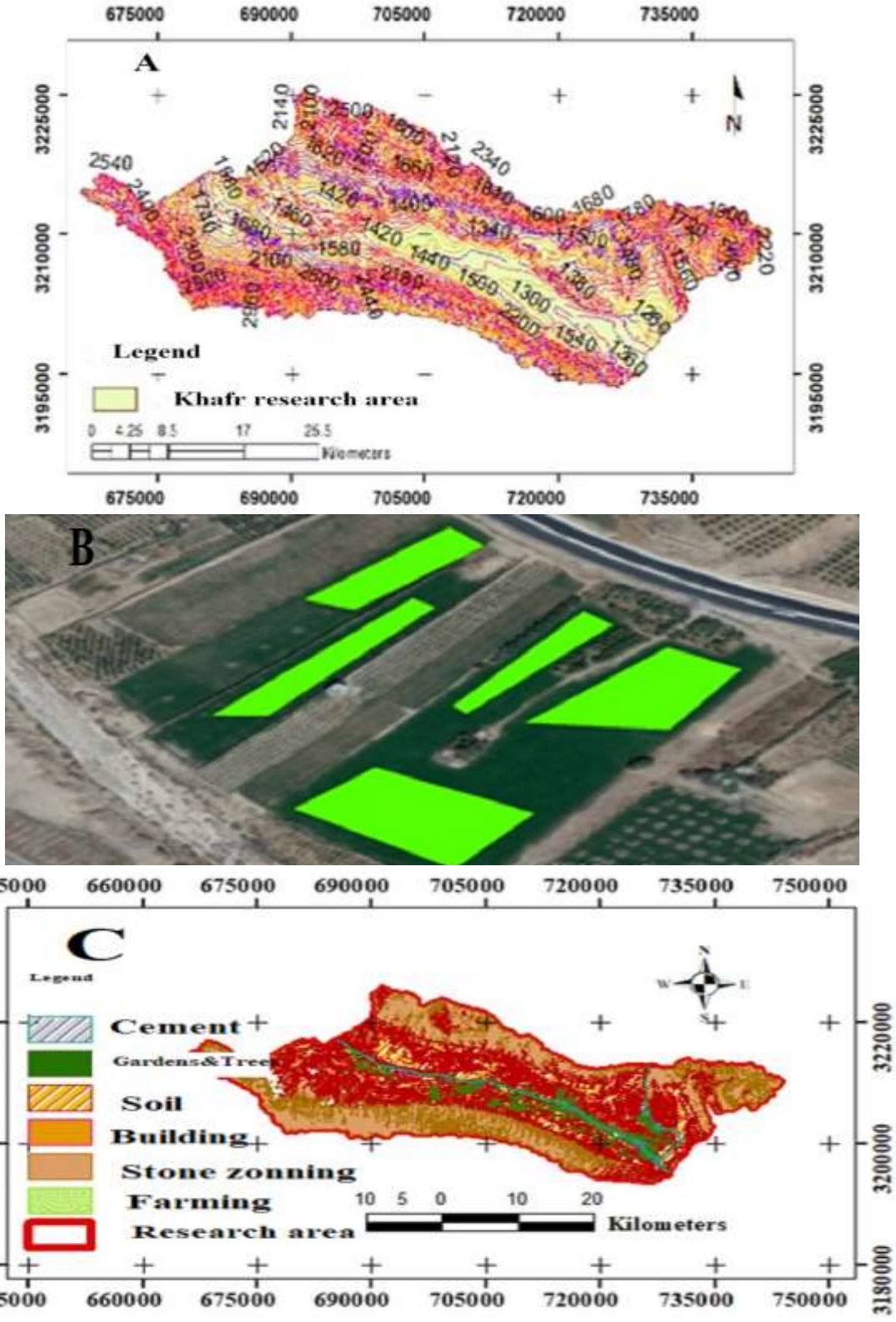
DOI: 10.22055/JISE.2024.45894.2115



Fig. 1- The geoghraphical map of Khafr region
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه خفر



Fig. 2-The boundaries of Mand watershed
شکل ۲- محدوده حوضه آبریز مند


A
675000
690000
705000
720000
735000
3225000
3210000
3195000
N
Legend
Khafr research area
0 4.25 8.5 17 25.5
Kilometers
B
C
Legend
Cement
Gardens&Trees
Soil
Building
Stone zonning
Farming
Research area
10 5 0 10 20
Kilometers
645000
660000
675000
690000
705000
720000
735000
750000
3220000
3200000
3180000

DOI: 10.22055/JISE.2024.45894.2115



Fig. 3- A) The contour maps, B) Sampling and making polygons for evaluating land use, C and D) Land use map (2018), including the location of fields and gardens in the Khafr region

شکل ۳- الف) نقشه خطوط کنتور، ب) تهیه نمونه و ایجاد پلیگون های مورد نظر برای بررسی استفاده های مختلف از زمین، ج و د) نقشه استفاده از زمین سال (۱۳۹۷) شامل موقعیت مزارع و باغات در منطقه خفر

اقلیم و شرایط آب وهوایی منطقه

منطقه خفر به‌دلیل قرارگرفتن در حاشیه ارتفاعات و به‌دلیل عبور رودخانه از میانه دشت، منطقه‌ای سرسبز با آب و هوای چهارفصل است. آب‌وهوای منطقه در زمستان تحت‌تأثیر ورود آب‌وهوای مدیترانه‌ای و سرد قطبی از شمال و شمال غرب و غرب کشور همراه با سرما و ریزش‌های جوی به‌صورت برف و باران است، و در تابستان تحت‌تأثیر ورود هوای حاره‌ای (تروپیکال) شرقی و جنوبی است. با استفاده از آمار بلندمدت ایستگاه‌های هواشناسی (اداره هواشناسی فارس)، که به‌وفور در داخل و اطراف محدوده حوضه، و به تعداد پنج ایستگاه در منطقه خفر موجود است جدول (۱)، تغییرات آب‌وهوایی و اقلیم منطقه شامل دما جدول (۲)، بارش و میزان تبخیر– تعرق جدول(۳)، بررسی گردید. مطابق با جدول (۳) میزان تبخیر و تعرق تابع شاخص درجه حرارت سالانه است که از شاخص درجه حرارت ماهانه محاسبه می‌گردد.

با استفاده از آمار تهیه گردیده، رابطه گرادیان دما – ارتفاع به‌صورت T=-0.006H+27.94 با همبستگی ۹۳ درصد برای دشت و ارتفاعات مشخص گردید، که T درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) و H ارتفاع (متر) از سطح دریا می‌باشد. متوسط مقادیر ماهانه و سالانه دما (درجه سانتی‌گراد) برای نقاط مختصاتی هر ایستگاه هواشناسی برای درون یابی به GIS وارد گردید. بنابراین تست روش های مختلف مشخص نمود که کریجینگ مناسب‌ترین روش برای درون یابی است و در نتیجه نقشه هم دمای منطقه تهیه گردید (Mozafari et al., 2023). میزان دبی منطقه برای ماه‌های مختلف نیز در یک دوره ۴۶ ساله در جدول (۴) ارائه گردیده است.

بارش

با استفاده از آمار باران‌سنجی ایستگاه علی‌آباد خفر، گرادیان بارندگی منطقه محاسبه و با استفاده از درون‌یابی و GIS و بر طبق نقشه توپوگرافی و با استفاده از گرادیان بارش–ارتفاع – 438H. P= 256.5 نقشه هم باران منطقه را تهیه نمودیم که نشان‌دهنده خطوط هم باران در محدوده ۳۰۰ الی ۶۰۰ میلی‌متر است (Mozafari et al., 2023).

رقوم ارتفاعی و شیب منطقه

ارتفاع منطقه از عوامل مؤثر بر دما و بارش است که کاهش دما در مناطق مرتفع جدول (۲) موجب افزایش بارش می‌گردد. حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه با استفاده از لایه رقومی منطقه مطالعاتی به ترتیب ۳۱۶۲ و ۱۱۷۳ متر مشخص گردید. وسعت ارتفاعات منطقه برابر با ۹۱۹/۵ و دشت‌های منطقه برابر با ۱۸۸/۳کیلومتر مربع می‌باشد. با استفاده از خطوط کنتور می‌توان تقاوت بین ارتفاع‌ها را به لایه شیب تبدیل نمود، که مشخص می‌نماید بیشترین ارتفاع مربوط به مرزهای حوضه و کمترین ارتفاع مربوط به مناطق میانی می‌باشد شکل (۳) و در نتیجه جهت رواناب نیز از مناطق مرتقع به سمت مناطق میانی دشت است.

تبخیر- تعرق پتانسیل

در این مطالعه، تبخیر– تعرق پتانسیل با استفاده از روش تورنث – وایت محاسبه گردید (Thornthwaite and Mather 1951)

$$ETp = 16\left(\frac{10tn}{I}\right)^{a} \qquad (۱)$$

$$a = (6.75\times10^{-7})I^{3} - (7.71\times10^{-5})I^{2} + (1.792\times10^{-2})I + 0.492 \qquad (۲)$$

$$1 = \sum_{n=1}^{12} in \qquad (۳)$$

$$in = \left(\frac{tn}{5}\right)^{1.51} \quad (۴)$$

در این فرمول‌ها، Etp تبخیر – تعرق پتانسیل ماهانه (بر حسب میلی‌متر) است، tn درجه حرارت متوسط ماهانه (برحسب درجه سانتی‌گراد)، I شاخص حرارتی سالانه که مجموع شاخص‌های حرارتی ماهانه است. in عبارت است از شاخص حرارتی ماهانه که بر طبق درجه حرارت ماهانه محاسبه می‌شود. A نیز ضریبی است تابع شاخص حرارتی سالانه و از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت است (جدول ۳).

مدل توزیعی WetSpass

در سال ۲۰۰۱، مدلی با نام WetSpass توسط Batelaan و de Smedt (2001) برای توزیع مکانی و تحت شرایط تعادل آب توسعه یافت، که نمایانگر سیستم انتقال آب و انرژی بین خاک گیاه و اتمسفر می‌باشد و مخفف Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere under quasi Steady State است. این مدل قادر به شبیه سازی بلند مدت رواناب سطحی، تبخیر– و تعرق واقعی و تغذیه آب های زیرزمینی به‌عنوان تابعی از خصوصیات خاک، کاربری اراضی ، شیب و شرایط اقلیمی است، و برای بررسی اثرات بلند مدت استفاده از زمین بر نوسانات میزان آب در حوضه آبریز نیز قابل استفاده می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در منطقه مورد تحقیق

Table 1- The selected synoptic stations of the study area

	Station	Altitude (m)
1	Ali Abad	1370
2	Khadamat	1263
3	Asmangard	1220
4	Girogarzin	820
5	Jahrom	1420
6	Firouz Abad	1370
7	Band Bahman	2020
8	Fesa	1384
9	Shiraz	1780
10	Estahban	2177

جدول ۲- توزیع ماهانه دما در ارتفاعات و دشت محدوده مطالعاتی خفر (درجه سانتی‌گراد)

Table 2- The monthly distribution of temperature in the mountains and plains of Khafr region (ºC)

position	Month												annual
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	average
Mountains	19.1	13.3	8.5	6.1	6.3	9.2	13.1	18.7	23.7	26.7	27.2	24.2	16.3
Plains	22.2	16.2	10.5	7.9	8.5	12.1	15.7	21.9	27	29.7	29.4	27	19

Table 3- The monthly evapotranspiration of the plains and mountains area in Khafr watershed

جدول -.Error! No text of specified style in document مقدار تبخیر-تعرق ماهانه در دشت و ارتفاعات

position	Parameter	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Yearly
Plain	Temp	22.2	16.2	10.5	7.9	8.5	12.1	15.7	21.9	27.0	29.7	29.4	27.0	19.0
	Temp index	9.5	5.9	3.1	2.0	2.2	3.8	5.6	9.3	12.8	14.7	14.5	12.8	96.2
	ET	91.1	42.6	16.9	9.5	10.7	26.7	48.4	106.6	164.2	205.8	191.4	144.5	1058.5
Mountains	Temp.	19.1	13.3	8.5	6.1	6.3	9.2	13.1	18.7	23.7	26.7	27.2	24.2	16.3
	Temp index	7.6	4.4	2.2	1.4	1.4	2.5	4.3	7.3	10.5	12.5	12.9	10.8	77.8
	ET	47.7	36.1	16.4	9.4	9.6	22	24.7	86.7	129.7	163.7	160.6	118.4	870.1
	C.V.	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	-

ET: evapotranspiration, C.V.: coefficient of variation

DOI: 10.22055/JISE.2024.45894.2115

Table 4- The monthly river discharge (m3 S^{-1}) in the Aliabad station of Khafr region
جدول٤ – سری زمانی دبی ماهانه (مترمکعب برثانیه) ایستگاه علی‌آباد خفر

year	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
1972	0.23	0.19	0.85	2.33	13.6	41	79.3	18.6	6.33	2.98	1.21	1.49
1973	1.25	1.56	3.2	5.52	4.69	7.44	4.78	1.17	0.52	0.34	0.35	0.38
1974	0.4	0.66	0.47	4.35	10.6	28.16	15.4	2.81	0.23	0.69	0.38	0.68
1975	0.7	0.65	6.25	11.7	12.8	14.9	8.25	9.03	5.15	1.98	0.56	0.03
1976	0.76	0.9	2.2	5.51	40	63.8	55.2	13.19	5.13	3.48	7.04	2.92
1977	1.24	1.74	2.17	8.89	8.2	6.53	7.54	2.55	0.77	0.58	0.84	1.28
1978	0.91	5.69	4.8	84.8	23.5	23.5	13.5	4.01	0.85	0.84	0.55	0.68
1979	0.74	1.2	13.2	7.78	17.3	9.7	13.2	3.96	0.81	0.63	0.83	0.63
1980	1.03	1.33	17.5	0.87	1.73	10.6	23.8	6.89	2.03	0.93	1.3	1.24
1981	0.5	1.63	7.87	15.39	23.45	23.14	17.89	4.3	1.21	0.58	0.56	0.48
1982	1.34	1.64	1.59	2.84	15.6	46.2	32.78	7.84	2.76	0.92	0.84	1.05
1983	1.42	14.04	11.8	10.6	14.7	29.2	20.1	6.27	1.84	0.79	0.89	1.04
1984	1.1	1.77	1.66	1.77	1.23	0.73	14.6	7.1	0.68	0.16	0.06	0.14
1985	0.3	1.49	3.17	19.4	39.1	8.99	2.33	0.56	0.26	0.12	0.14	0.18
1986	0.47	0.65	3.48	8.92	3.92	4.9	3.96	0.63	0.09	0.08	0.08	0.1
1987	0.17	0.66	69	8.78	9.07	19.9	17.5	3.68	1	0.56	1.94	1.45
1988	0.52	0.48	0.48	13.7	25.2	53.3	20.1	8.54	0.28	0.09	0.07	0.05
1989	0.09	0.22	1.47	26.1	5.88	6.84	4.82	0.1	0.06	0.46	0.03	0.09
1990	0.19	0.23	8.78	11.1	59.9	25.4	8.11	0.4	0.11	0.08	0.06	0.23
1991	0.42	0.38	0.34	4.25	51.9	40.1	15.8	0.99	0.06	0.05	0.05	0.05
1992	0.29	0.4	14.6	19.6	25.6	37	26.4	11.3	6.25	0.54	0.31	0.67
1993	1.31	0.83	3.14	69.6	63.3	114.9	48.7	10.5	5.03	2.12	1.76	1.77
1994	1.54	2.3	1.39	1.42	2.45	7.14	4.38	2.47	0.61	0.23	0.08	0.16
1995	0.66	17.3	29	19	106	21.3	22.2	10.3	0.97	0.42	0.62	0.26
1996	0.08	2.46	30.64	19.6	52.8	84.6	87.7	24	5.41	3.94	2.84	2.63
1997	2.46	2.57	2.5	3.46	6.32	2.93	14.2	2.17	0.33	0.1	0.06	0.11
1998	0.34	0.96	5.19	44.3	104	38.1	56.2	8.83	1.39	0.39	0.24	0.17
1999	0.38	0.7	0.64	3.03	30.6	99.8	15	1.13	0.24	0.24	0.15	0.15
2000	0.48	0.91	0.41	2.26	16.8	3.64	0.65	0.19	0.16	0.07	0.05	0.05
2001	0.07	0.21	3.01	1.62	0.81	0.6	0.07	0.06	0.05	0.03	0.02	0.02
2002	0.02	0.02	17.4	67.93	8.39	10.88	19.31	3.29	0.07	0.07	0.05	0.03
2003	0.02	0.03	0.04	0.55	26.4	43.7	31.6	3.47	0.41	0.01	0	0
2004	0	0	5.25	71.3	26.2	9.7	8.18	1.79	0.53	0.3	0.1	0.03
2005	0.05	0.28	59.9	48.8	80.4	44.2	21.3	2.87	1.36	0.99	0.84	0.69
2006	0.6	5.2	5.17	20.8	27.1	11.1	4.02	1.35	0.45	0.26	0.25	0.25
2007	0.28	0.28	1.92	3.52	10.6	8.39	30.9	4.95	0.7	0.15	0.13	0.12
2008	0.09	0.12	0.33	0.59	1.29	0.94	0.38	0.16	0.08	0.04	0.05	0.1
2009	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.16	0.12	0.05	0.01	0	0
2010	0	0	0.37	0.24	0.54	0.26	0.13	0.05	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	7.23	2.69	0.02	0.01	0	0	0
2012	0	0	0	1.12	54.3	23.2	6.78	0.36	0.02	0.02	0.03	0.02
2013	0.02	0.03	12.3	31.4	24.7	2.3	10.3	1.42	0.08	0.02	0.02	0
2014	0	0	0.09	0.05	3.37	4.76	4.88	0.15	0	0	0	0
2015	0	0	0.22	0.07	0.09	0.15	9.8	0.1	0	0	0	0
2016	0	1.57	0.09	7.47	0.76	0.18	0.13	0.02	0	0	0	0
2017	0.21	0.55	4.13	16.93	17.32	3.22	12.24	1.84	0.11	0.8	0.06	0.3
2018	0.15	0.32	6.12	12.43	14.75	7.42	8.16	2.26	0.09	0.3	0.01	0.12

مدل WetSpass در GIS ArcView با قابلیت تنظیم انعطاف‌پذیر اجزا ادغام می‌گردد، و می‌توان با استفاده از آن اثرات استفاده از زمین بر تغذیه آب زیرزمینی که از مرحله وقوع بارش تا مرحله تغذیه آبخوان را شامل می‌گردد، مطالعه نمود. با استفاده از مدل می‌توان میزان تغذیه آب زیرزمینی، به‌صورت باقی‌مانده تعادل آب (بیلان آب) مطابق با معادله ذیل را محاسبه نمود:

$$R_v=P-S_v-ET_v-I \quad (۵)$$

که در این معادله، P عبارت است از میانگین بارش فصلی $[LT^{-1}]$، Et_v تبخیر- تعرق واقعی به‌صورت مجموع تعرق است، S_v رواناب سطحی زیرپوشش گیاهی $[LT^{-1}]$، T_v تبخیر واقعی از سطح خاک میان گیاهان $[LT^{-1}]$، R_v تغذیه آب زیرزمینی $[LT^{-1}]$، و I، باران‌گیرش توسط گیاهان $[LT^{-1}]$ است. در این مطالعه از مدل WetSpass که بر پایه تعادل (توازن) آب بنا گردیده، برای تخمین روان آب سطحی، تبخیر- تعرق، باران‌گیرش و میزان تغذیه آب زیرزمینی استفاده گردید. ورودی‌های مدل عبارت‌اند از اقلیم، مشخصات خاک، ضریب رواناب، متغیرهای استفاده از زمین، شیب، و توپوگرافی. از نرم‌افزار Arc View ۲/۳ برای آماده‌سازی پارامترهای ورودی به مدل استفاده گردید. از نقشه شبکه‌بندی توپوگرافیک، سری‌های زمانی متغیرهای دمایی، بارش و باد (اداره هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای) برای بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ استفاده گردید. پس از اجرای مدل، خروجی‌های متنوع مدل همچون رواناب، تبخیر- تعرق، باران‌گیرش (یا برگاب عبارتست از آب دریافتی توسط شاخ و برگ گیاه قبل از رسیدن به زمین) و تغذیه قابل‌استفاده هستند. با استفاده از سنجش از دور که با GIS ترکیب گردید، کاربری اراضی و پوشش اراضی در منطقه مشخص گردید که شامل جنگل، مرتع، کشاورزی دیم و بایر، کشاورزی آبی و مناطق مسکونی است. بعد از مطالعه تصاویر استفاده از زمین حاصل از ماهواره لند ست با استفاده از نرم‌افزار ENVI در محیط ArcGIS، این تصاویر به نقشه‌های رقومی قابل‌استفاده در WetSpass تبدیل گردید. نتایج تحقیق حاضر که بر مبنای روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال می‌باشد بهترین روش برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در درک عوارض مختلف کاربری اراضی می باشد. فایل‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم حداکثر درست‌نمایی با فرمت evf. می‌باشد که تبدیل به شیپ‌فایل‌هایی قابل استفاده در نرم‌افزار ArcGIS شد. نهایتاً بر اساس نقشه LULC به‌دست آمده، میزان سطوح مختلف کاربری اراضی تعیین گردید. پس از اجرای الگوریتم حداکثر درست‌نمایی، خروجی مورد نظر، تهیه وبرای استفاده از تصاویر کاربری اراضی، ازآزمون صحت نتایج برای بررسی خروجی حاصل از الگوریتم‌های پردازش تصویر استفاده گردید. با استفاده از نمونه‌های تعلیمی، ضرایب ارزیابی صحت طبقه‌بندی به روش نقاط کنترل زمینی (ground truth) محاسبه شد و نتایج بررسی ماتریس خطا نشان داد که آماره ضریب کاپا ۸۹ درصد و آماره دقت کلی، ۹۴ درصد می‌باشد که بیان‌گر دقت الگوریتم و روش طبقه‌بندی مورد استفاده است. با توجه به اشکال ارائه گردیده می‌توان دریافت که روش مورد استفاده در تولید تصاویر LULC، دارای نتایج بسیار خوبی بوده و اختلاف تصاویر NDVI و نقشه نهایی تهیه شده در ArcGIS، به سبب رنگ‌بندی واصلاحات پس از طبقه‌بندی مانند افزایش کنتراست تصویر می‌باشد. پس از ورود تصاویر خام لندست به نرم‌افزار، و انجام پیش‌پردازش‌های لازم شامل بررسی مختصات تصویر (ژئومتریک) و اصلاحات رادیومتریک، منطقه مورد مطالعه، الگوریتم تفکیک پیکسل‌ها بر اساس روش MLC و با کمک نمونه‌های تعلیمی تهیه گردیده از منطقه، اجرا گردید.

نتایج

در این مطالعه، ارتباط بین متغیرهای بیلان آبی شامل رواناب، تبخیر- تعرق و تغذیه آب‌های زیرزمینی (تغییرات آب‌های زیرزمینی) برای دشت خفر برای بازه زمانی شهریور ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ با استفاده از روش سنجش از راه دور و مدل WetSpass بررسی گردیده است. با پردازش و تحلیل تصاویر پنج استفاده مختلف از زمین شامل جنگل، مرتع، کشاورزی دیمی و بایر، کشاورزی آبی و مناطق مسکونی در منطقه مشخص گردید. با استفاده از مدل WetSpass تصاویر مورد بررسی به نقشه‌های رقومی برای سال‌های مورد نظر تبدیل گردید. اگرچه در همه ایستگاه های مورد مطالعه، مقادیر دما و بارندگی، دارای روند منفی یا مثبت هستند و با توجه به روند غیر معنی‌دار مطابق با آزمون من-کندال در بیشتر ایستگاه‌ها، می‌توان گفت که منطقه مورد نظر دارای تغییرات اقلیمی نمی‌باشد. با بررسی میزان دبی در مدت زمان مورد نظر جدول (۳) مشخص گردید، میزان دبی در این مدت زمان به‌صورت معنی‌دار کاهش یافته است. در شکل (۳) نقشه خطوط کنتور، نحوه تهیه نمونه و ایجاد پلیگون‌های مورد نظر برای بررسی استفاده‌های مختلف از زمین، و نقشه استفاده از زمین در سال۱۳۹۷ شامل موقعیت مزارع و باغات در منطقه خفر ارائه گردیده است. در شکل (۴) نیز نقشه کوهستان و دشت، و نقشه پوشش سنگ و کوهستان در منطقه خفردر سال ۱۳۹۷ مشخص گردیده است. در شکل (۵) نیز تصویر آبراهه‌ها، ساختار زمین‌شناسی، نقشه تغذیه سالانه (۱۳۹۲) و نقشه تبخیر-تعرق دوره گرم سال ۱۳۹۲ در منطقه مطالعاتی ارائه گردیده است. شکل (۶) نیز نقشه تعرق از پوشش گیاهی (مقیاس سالانه۱۳۹۲)، نقشه باران‌گیرش (دوره سرد سال ۱۳۸۸) ، نقشه تبخیر از خاک (دوره گرم سال۱۳۸۸) و نقشه تغذیه دوره سرد سال ۱۳۹۰ را شامل می‌گردد.

DOI: 10.22055/JISE.2024.45894.2115

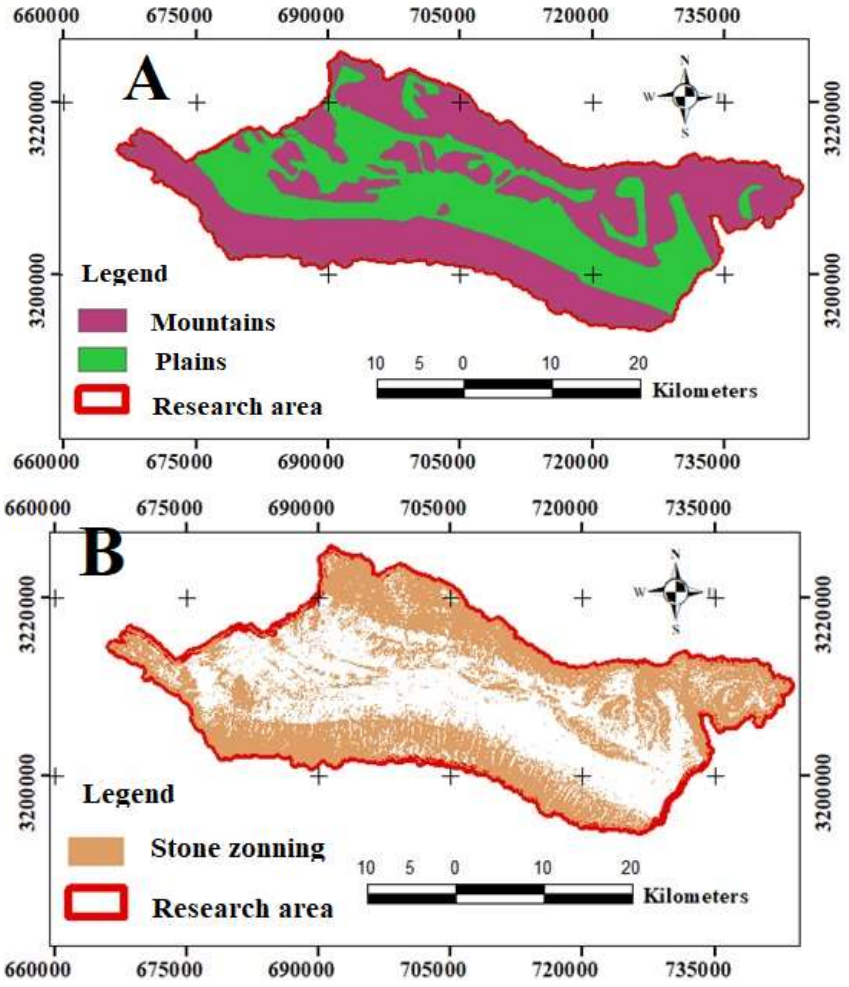


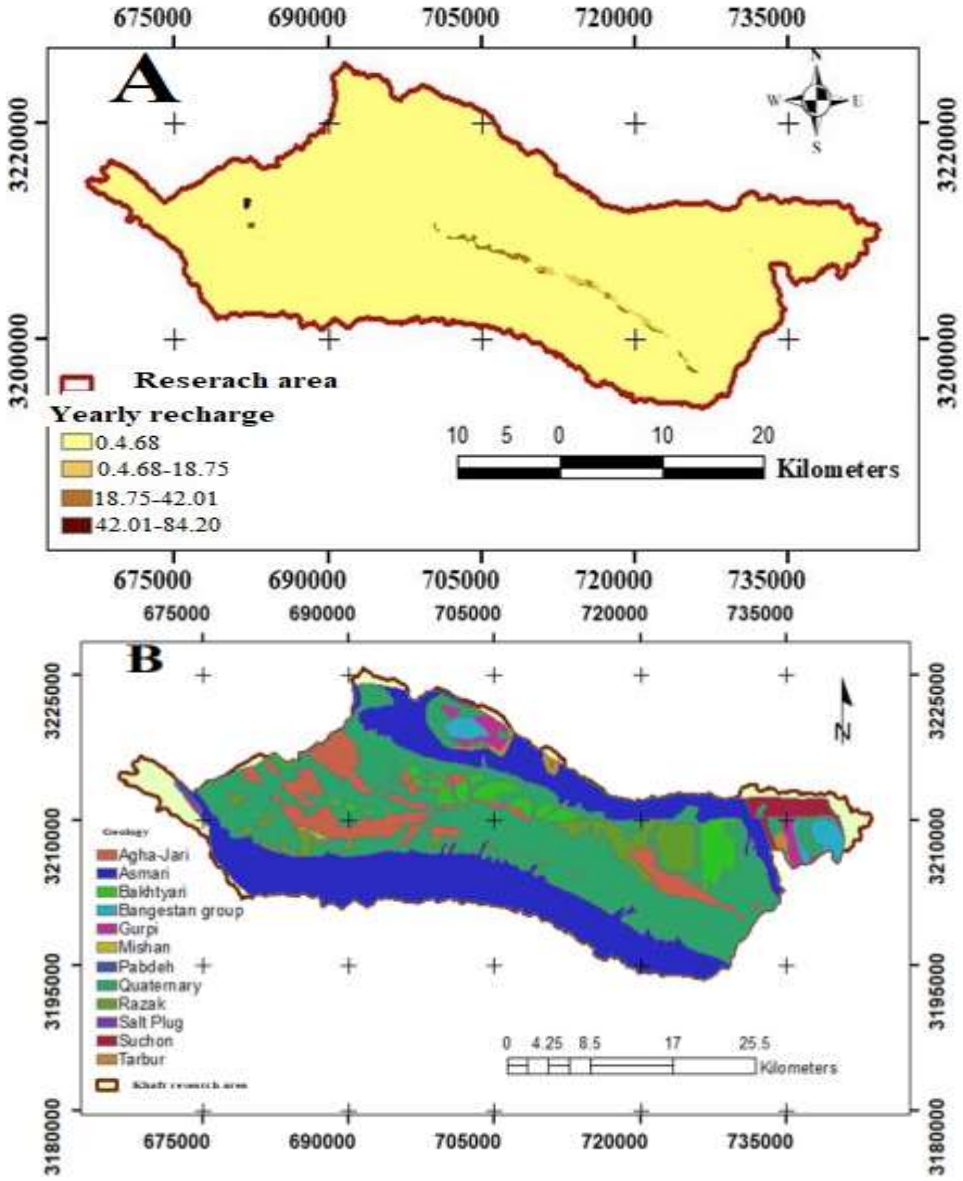
Fig. 4- A) The map of mountains and plains, B) The map of stone cover and mountains in the Khafr region (2018)

شکل ٤- نقشه کوهستان و دشت (الف)، و نقشه پوشش سنگ و کوهستان (ب) در منطقه خفر (۱۳۹۷)

مطابق با نقشه کاربری اراضی مشخص می‌گردد که بخش اعظمی از مساحت منطقه مورد مطالعه را پهنه‌ای از سنگ، کوه و مناطق کوهستانی دربرگرفته است، و به‌جز در مناطقی که مسیل‌های موقت و رودخانه‌های فصلی موجب تأمین رطوبت گردیده است، در سایر مناطق هیچ نوع پوشش گیاهی ملاحظه نمی‌گردد. نقشه سنگ‌ها و کوه در منطقه نحوه گسترش نواحی بدون پوشش در منطقه را مشخص می‌نماید. بنابراین، مشخص می‌گردد، که نقاط مرتفع کوهستانی در حاشیه و نقاط دارای ارتفاع کمتر فقط در میانه دشت (مساحت دشت در منطقه ۴۵۸ کیلومتر مربع) منطقه خفر واقع گردیده‌اند و در نتیجه به علت وجود خاک امکان تولید محصول و ایجاد پوشش گیاهی میسر گردیده است.

مطابق با نقشه مشخص می‌گردد که مسیل‌های فرعی از نقاط مرتفع منشأ گرفته و به مسیل اصلی در میانه دشت منتهی می‌شوند. با بررسی پهنه آبی سال ۲۰۱۸ مشخص می‌گردد، که مساحت اراضی با پوشش آبی (مساحت رودخانه اصلی) در حدود ۲۱/۵ کیلومتر مربع می‌باشد، که در فصول بارندگی این مساحت افزایش می‌یابد. کلاس‌های استفاده از زمین در منطقه در سال ۱۳۹۷ با مجموع ۱۱۰۸ کیلومتر مربع شامل پهنه سنگی و کوهستانی (۶۴۴/۵۶)، پهنه زراعی (۵۹/۱۳)، پهنه باغی و درخت (۳۹/۶۷)، پیکره آبی (۲۹/۶۸)، زمین‌های بایر (ساختمانی، راه و خاک) (۳۳۱/۲۰)، و سایر (ناشناخته) (۳/۷۶) می گردد. با توجه به نقشه شیب و رواناب مشخص می گردد، که رواناب در مناطق مرتفع (شمال و جنوب منطقه) تولید و همچون رودخانه به سمت میانه دشت حرکت می‌نماید. به‌همین صورت حاشیه شمال و جنوب دارای بیشترین بارندگی و در نتیجه رواناب و میانه دشت دارای کمترین رواناب می‌باشد. نقشه تغذیه نیز مشخص می‌نماید، که بیشترین میزان تغذیه در دوره سرد سال انجام گردیده

است. بنابراین، تغذیه در مناطقی انجام می‌گردد، که شیب ناچیز بوده و در نتیجه رواناب به سبب توقف نفوذ قابلیت ورود به آب زیرزمینی را خواهد داشت. دردوره گرم سال به دلیل عدم بارش میزان آب آبخوان کاهش می‌یابد. بیشترین تغذیه در دوره سرد سال، در میانه دشت در اطراف رودخانه و به میزان ۱۱۴ میلی‌متر ملاحظه گردید. بیشترین میزان تبخیر- تعرق در دوره گرم سال و به میزان ۵۴۱ میلی‌متر ملاحظه گردید، که عمدتاً مربوط به مناطق با رطوبت بیشتر (مناطق مستعد تولید رواناب) و با پوشش گیاهی بیشتر می‌باشد. از مزایای مدل WetSpass تولید نقشه‌های باران گیرش یعنی میزان آب دریافت گردیده توسط پوشش گیاهی می‌باشد، که درنتیجه موجب کاهش باران خالص (جذب گردیده توسط زمین)، و کاهش رواناب می گردد. میزان سالانه ۱۲۳ میلی‌متر بیشترین باران گیرش در منطقه جنگلی بود. تبخیر در مناطق گرم و خشک علاوه بر کاهش رطوبت خاک موجب شوری زمین نیز می‌گردد. بیشترین میزان تبخیر که مطابق با توضیحات مدل در بالا محاسبه گردید در دوره سرد و گرم سال برابر با به‌ترتیب ۲۸ و ۴۲۱ میلی‌متر ملاحظه گردید. بیشترین میزان رواناب منطقه برابر با ۶۴۱ میلی‌متر ملاحظه گردید. (شکل‌های ۵ و ۶). اگرچه مدل WetsSpass برای تعیین توزیع مکانی بلند مدت تغذیه حوضه استفاده می‌گردد، اما برای محاسبه سایر پارامترها همچون تبخیر و تعرق مطابق با جزییات ذکر گردیده در "مواد و روش‌ها" نیز قابل استفاده است.



DOI: 10.22055/JISE.2024.45894.2115

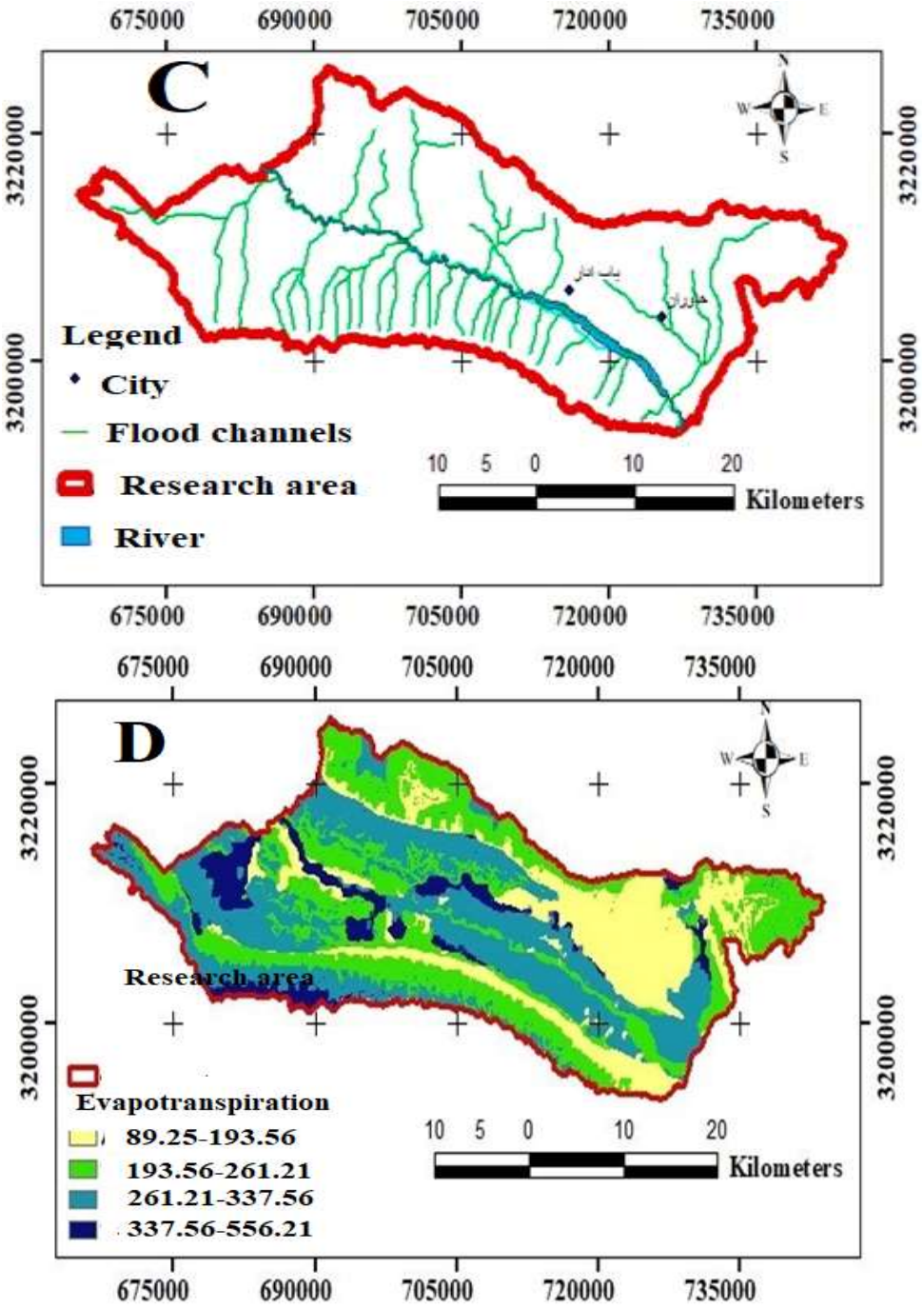
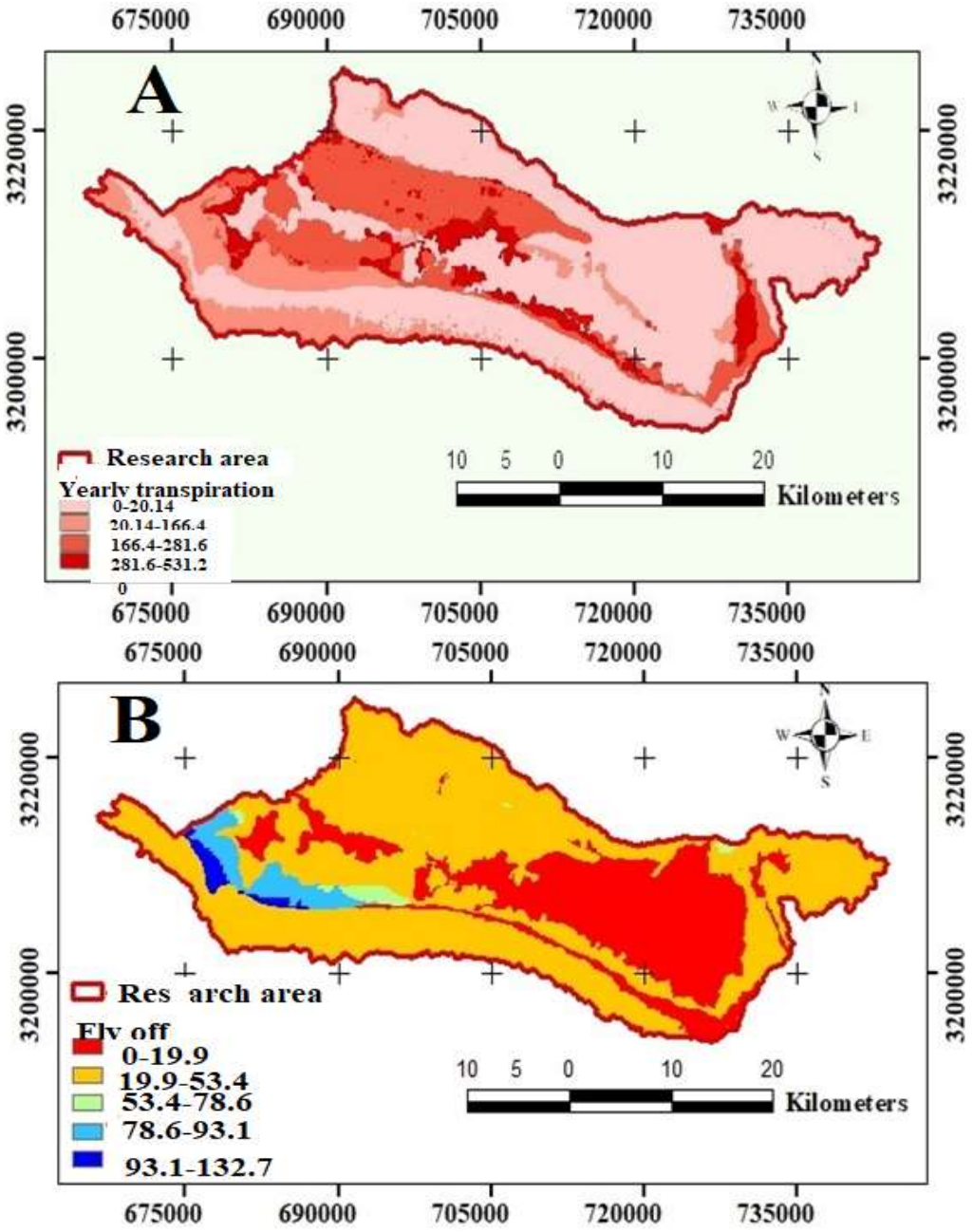


Fig. 5- A) The map of annual recharge (2013), B) the structure of the earth, C), The map of waterways, and D) the map of evapotranspiration (warm period, 2013), in the Khafr region

شکل ۵- الف) نقشه تغذیه سالانه (۱۳۹۲) – ب) ساختار زمین‌شناسی (ج)، تصویر آبراهه‌ها، و (د)، نقشه تبخیر-تعرق (دوره گرم سال) (۱۳۹۲) (د) در محدوده مطالعاتی خفر


A
675000
690000
705000
720000
735000
3220000
3200000
Research area
Yearly transpiration
0-20.14
20.14-166.4
166.4-281.6
281.6-531.2
10 5 0 10 20
Kilometers
B
Res arch area
Elv off
0-19.9
19.9-53.4
53.4-78.6
78.6-93.1
93.1-132.7

DOI: 10.22055/JISE.2024.45894.2115

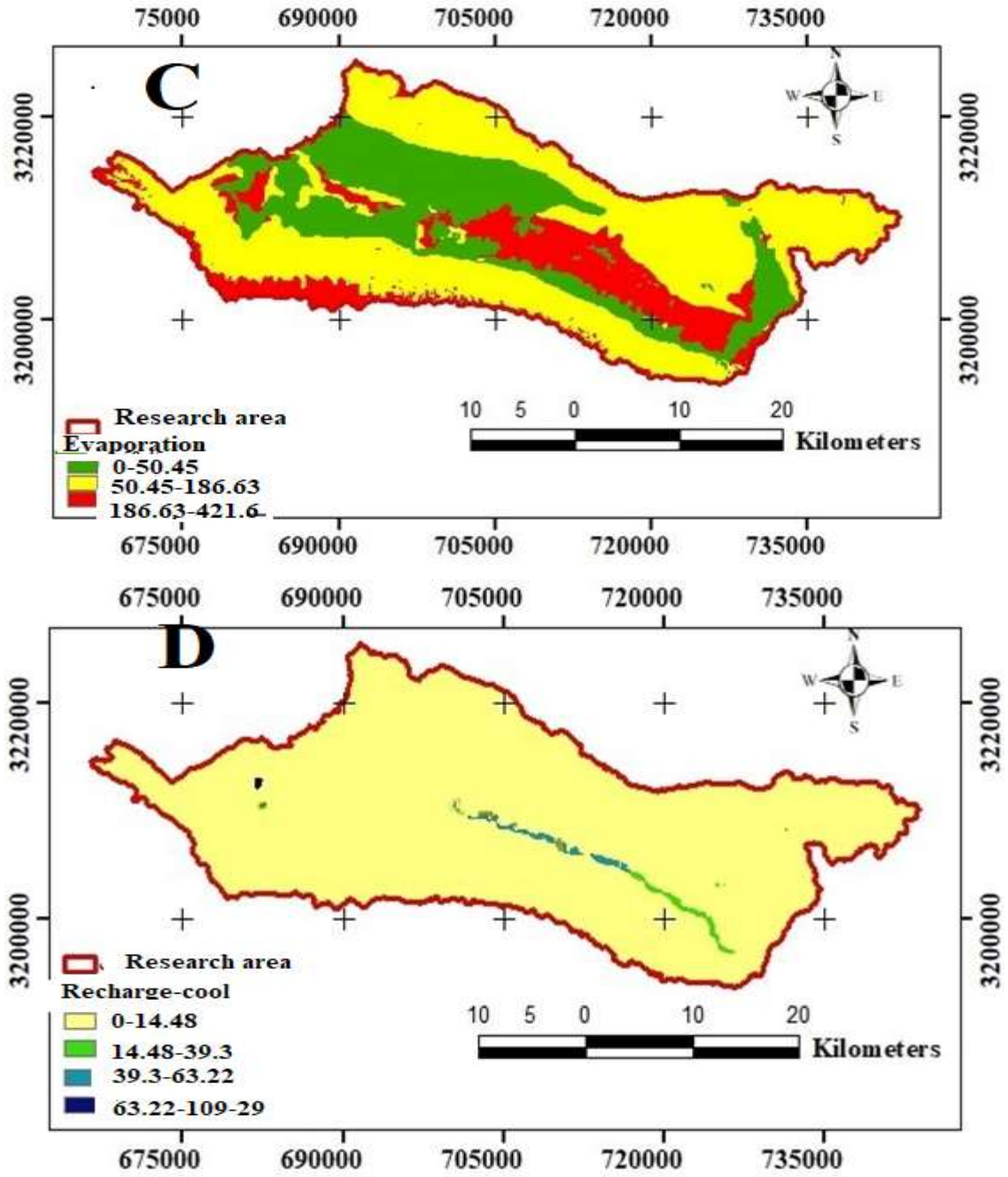


Fig. 6- A) The map of transpiration (yearly scale, 1392), B) the map of flyoff (cold period, 2009), C) the map of soil evaporation, and D) the map of recharge (cold period, 1390)

شکل ٦- (الف) نقشه تعرق از پوشش گیاهی (مقیاس سالانه) (۱۳۹۲)، (ب) نقشه باران‌گیرش (دوره سرد سال) (۱۳۸۸)، (ج) نقشه تبخیر از خاک (دوره گرم سال) (۱۳۸۸)، (د) نقشه تغذیه دوره سرد (۱۳۹۰)

بحث

برای استفاده بهینه از منابع آب در هر منطقه، بایستی ارتباط بین اثرات استفاده از زمین و پوشش گیاهی با متغیرهای بیلان آبی شامل رواناب، تبخیر و تعرق و تغذیه آب‌های زیرزمینی (نوسانات آب‌های زیرزمینی) بررسی گردد. پارامترهای مختلف بر بیلان آبی در حوضه‌های آبخیز مؤثرند که در بین آنها استفاده از زمین و پوشش گیاهی جزو مهم‌ترین هستند. در این تحقیق با استفاده از مدل WetSpassاجزاء بیلان آبی شامل، بارش، تبخیر- تعرق و رواناب،

در یک دوره ده‌ساله تحت‌تأثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی در منطقه خفر استان فارس بررسی گردید. باتوجه‌به مکان محور بودن عوامل مؤثر بر بیلان آبی، استفاده از GIS روش مناسبی برای تهیه نقشه‌های مرتبط برای آنالیز و تحلیل دقیق پارامترهای مؤثر در مقایسه با روش‌های سنتی است. در این تحقیق با توجه‌به دست یابی به داده‌های سنجش از دور و وجود منابع کامپیوتر با سرعت زیاد استفاده از مدل توزیعی WetSpass برای بررسی چرخه هیدرولوژی در منطقه تحقیق امکان پذیر گردید. اگرچه برای استفاده از چنین مدلی حجم وسیعی از داده‌های منطقه مورد بررسی همچون خصوصیات توپوگرافی، پوشش گیاهی، شیب زمین و غیره استفاده گردید (Daniel et al., 2022، Hanifehlou et al., 2023)، اما نتایج کسب گردیده امکان ارائه روش‌های مناسب برای استفاده بهینه از منابع آب موجود در منطقه را محقق نمود.

با استفاده از بررسی جزئیات بیلان آب در یک منطقه می‌توان دریافت که آیا منطقه موردنظر از لحاظ تغذیه آب در شرایط تنش یا غیر تنش است. میزان بارندگی منطقه به‌صورت رواناب، تبخیر و تعرق و تغذیه آب زیرزمینی دریافت می‌گردد. مدل WetSpass بررسی گردیده در این تحقیق مشخص نمود که باتوجه‌به پارامترهای بیلان آبی، منطقه خفر استان فارس از نظر تغذیه در شرایط تنش است که علت مهم این شرایط خشکسالی‌های سالیانه و همچنین برداشت بیش از اندازه از چاه‌های منطقه است (Melki et al., 2022). نتایج مشخص نمود که به‌علت شرایط اقلیمی منطقه (به‌ویژه افزایش دما و کمبود رطوبت در فصول بهار و تابستان)، پارامتر تبخیر و تعرق بیشترین کاهش بارندگی دریافتی در منطقه را موجب می‌گردد. مدل WetSpass بر پایه GIS به‌صورت دقیق میزان پارامترهای بیلان آبی را مشخص نمود که منفی بودن بیلان آب منفی نمایان گر شرایط تنش تغذیه در منطقه ویا به عبارتی کمبود منابع آبی لازم برای فعالیت‌های مختلف در منطقه است (Wossenyeleh et al., 2022). استفاده‌های مختلف از زمین و بالاخص تبدیل جنگل‌ها (کاهش پوشش گیاهی) و زمین‌های بایر به زمین‌های کشاورزی و استفاده برای ساختمان‌سازی دو پارامتر بسیار مهم برای ایجاد شرایط تنش تغذیه در منطقه هستند (Zhang et al., 2023). توصیه می‌گردد با ارائه روش‌های مناسب برای اداره منابع آبی در منطقه همچون استفاده از سد و روش‌های کارای آبیاری (قطره‌ای و بارانی) سبب افزایش راندمان استفاده از منابع آبی و در نتیجه تغذیه بیشتر آب‌های زیرزمینی گردید.

میزان رواناب تولید شده در طول دوره گرم سال با دوره سرد سال بسیار متفاوت بود. زیرا در دوره گرم سال باران‌گیرش، تبخیر و میزان بارندگی محدود ایجاد رواناب ناچیز نمود. برخی از عوامل مؤثر بر رواناب، عدم پوشش گیاهی، تبخیر، زراعت و ساختمان‌سازی است (Jaberzadeh et al., 2024). باتوجه‌به گسترش خشکسالی در قسمت‌های مختلف کره زمین، منطقه موردمطالعه نیز از این مسئله مستثنی نبوده است، و در سال‌های اخیر دچار بحران خشکسالی گردیده است. به‌همین دلیل مدیریت مناسب منابع آب در منطقه حائز اهمیت فراوان است. مطابق با نتایج این تحقیق تقابل میان پارامترهای ذکر شده (آب‌وهوا، ژئولوژی، مورفولوژی، شرایط خاک و پوشش گیاهی)، تعیین‌کننده پروسه و روند تغذیه در آب زیرزمینی است (Mitiku et al., 2023). بنابراین با استناد به نتایج این تحقیق می توان تغییرات چرخه هیدرولوژی را در منطقه با دقت لازم بررسی نموده و با اتخاذ تصمیم های استراتژی های صحیح ضمن افزایش راندمان استفاده از آب موجب افزایش تولید درمنطقه گردید.

نتیجه گیری

با استفاده از مدل WetSpass بر پایه GIS اجزای بیلان آبی در منطقه خفر استان فارس برای اداره مناسب منابع آبی در منطقه با دقت مناسب شبیه‌سازی گردید. نتایج مشخص نمود که با توجه به خشکسالی‌های اخیر، منطقه دچار تنش آبی به علت کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع آبی گردیده است. تبخیر و تعرق مهم‌ترین پارامترهای کاهش آب در منطقه هستند، و در مناطق بدون پوشش گیاهی رواناب دومین پارامتر مهم کاهش تغذیه آب در منطقه است. کاربری‌های مختلف زمین، به‌ویژه تبدیل مناطق جنگلی و دارای پوشش گیاهی به زمین‌های کشاورزی و برای استفاده ساختمان‌سازی، از عوامل مهم دیگر مؤثر بر کاهش منابع آبی در منطقه هستند. توصیه می‌گردد که با استفاده از روش‌های مناسب آبیاری (قطره‌ای و بارانی) و حفظ مناطق بکر منطقه با پوشش گیاهی مناسب، موجب افزایش منابع آبی در منطقه گردید. از نتایج این تحقیق می‌توان برای ارائه توصیه‌های مناسب برای افزایش راندمان استفاده از منابع آبی در مناطق مشابه دنیا نیز می‌توان استفاده نمود. توصیه می‌گردد که برای تحقیقات آینده اثرات روش‌هایی همچون احداث سد، و کاشت گیاهان مقاوم به خشکی بر اجزای بیلان آب در منطقه بررسی گردد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش فاقد تقدیر و تشکر است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند

DOI: 10.22055/JISE.2024.45894.2115

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: اسماعیل مظفری، آزمایش ها را به انجام رسانید و نتایج را تجزیه و تحلیل نمود.

نویسنده دوم: علی صارمی، استاد راهنمای رساله بود و پیش نویس مقاله را تهیه نمود.

نویسنده‌های سوم و چهارم: حسین قربان زاده خرازی و حسین بابازاده، استاد مشاور رساله بودند و در تجزیه و تحلیل نتایج کمک نمودند .

References

1- Aznar-Sánchez, J.A., Belmonte-Ureña, L.J., Velasco-Muñoz, J.F., Manzano-Agugliaro, F. 2018. Economic analysis of sustainable water use: A review of worldwide research. *Journal of Cleaner Production*, 198, pp. 1120-1132. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.066

2- Batelaan, O., de Smedt, F.L.O.R.I.M.O.N.D. 2001. WetSpass: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modelling. *IAHS PUBLICATION*, pp.11-18.

3- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y., Aalami, M. 2011. 'Effect of Drought on Groundwater Level in the Past Two Decades (Case study: Ardebil Plain)', *Water and Soil Science*, 21(4), pp. 165-179.

4- Daniel, D., Ayenew, T., Fletcher, C.G., Duraisamy, R., Jothimani, M. 2022. Numerical groundwater flow modelling under changing climate in Abaya–Chamo lakes basin, Rift Valley, Southern Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment* 8, pp. 3985-3999. https://doi.org/10.1007/s40808-021-01342-x

5- Derafshi, K., Khaledi, S., Shaebaninia, H., Mehrjoonezhad, A. 2106. 'The land use changes study and precipitation-runoff modelling using HEC-HMS, Case Study: Babolrood basin', *Environmental Erosion Research*, 5(4), pp. 30-44. https://20.1001.1.22517812.1394.5.4.1.3

6- Ghafari, H., Rasoulzadeh, A., Raoof, M., Esmeali, A. 2018 Estimation of natural groundwater recharge using WTF method (case study: Ardabil Plain aquifer). *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(90), pp.43-52. https://doi.org/10.22034/ceej.2018.7576.

7- Gude, V.G. 2017. Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 16, pp. 591-609. https://doi.org/10.1007/s11157-017-9449-7

8- Hanifehlou, A., Hoseini, S.A., Javadi, S., Sharafati, A. 2023. Prediction of climate and land use changes effects on temporal and spatial fluctuation of groundwater recharge using WetSpass-M distributed model (Case study: Hashtgerd Aquifer, Iran). *Water and Irrigation Management* 13, pp. 43-62 (In Persian). https://doi.org/10.22059/jwim.2023.350426.1026

9- Jaberzadeh, M., Saremi, A., Ghorbanizadeh Kharazi, H., Babazadeh, H. 2024. SWAT and IHACRES models for the simulation of rainfall-runoff of Dez watershed. *Climate Dynamics* in press. https://doi.org/10.1007/s00382-022-06215-2

10- Melki, A., Khelifi, F., Gad, M.F., Abida, H. 2022. Prospective assessment of the water balance of the Northern Gafsa Aquifer, South-western Tunisia. *Environment, Development and Sustainability* 24, pp. 1359-1375. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01500-2

11- Mitiku, A.B., Meresa, G.A., Mulu, T., Woldemichael, A.T. 2023. Examining the impacts of climate variabilities and land use change on hydrological responses of Awash River basin, Ethiopia. *HydroResearch* 6, pp. 16-28. https://doi.org/10.1016/j.hydres.2022.12.002.

12- Mohammadi, M., Sheikh, V.B., Sadoddin, A. 2015. 'Modeling the effects of land use changes on flood hydrograph (A case study: Ja'farabad watershed, Golestan Province)', *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(5), pp. 171-185.

13- Mozafari, E., Saremi, A., Kharazi, H.G., Babazadeh, H. 2023. WetSpass to model the components of hydrologic cycle in the big watershed of Khafr affected by land use. *Theoretical and Applied Climatology* 152, pp. 337-345. https://doi.org/10.1007/s00704-023-04391-7

14- Pandi, D., Kothandaraman, S., Kuppusamy, M. 2021. Hydrological models: a review. *International Journal of Hydrology Science and Technology* 12, pp. 223-242. https://doi.org/10.1504/IJHST.2021.117540

15- Qi, S., Feng, Q., Shu, H., Liu, W., Zhu, M., Zhang, C., Yang, L., Yin, Z., 2023. Redistribution effect of irrigation on shallow groundwater recharge source contributions in an arid agricultural region. Science of the Total Environment 865, pp.161106. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161106

16- Shaabani, M.K., Abedi Koupai, J., Eslamian, S.S., Gohari, A., 2023.The effect of changing the cultivation pattern and improving the efficiency of irrigation systems on reducing the withdrawal of groundwater resources under climate change scenarios (Case study: Kavar Plain). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 46, pp. 47-63. https://doi.org/ 10.22055/JISE.2022.38791.1994

17- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1951. The role of evapotranspiration in climate. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 3, pp.16-39.

18- Wossenyeleh, B.K., Kasa, A.S., Verbeiren, B., Huysmans, M. 2022. Drought propagation in the hydrological cycle in a semiarid region: a case study in the Bilate catchment, Ethiopia. *Hydrogeology Journal* 30, pp. 751-766. https://doi.org/10.1007/s10040-022-02459-8

19- Zhang, G., Chen, X., Zhou, Y., Zhao, H., Jin, Y., Luo, Y., Chen, S., Wu, X., Pan, Z., An, P. 2023. Land use/cover changes and subsequent water budget imbalance exacerbate soil aridification in the farming-pastoral ecotone of northern China. *Journal of Hydrology* 624, pp. 129939. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129939.

In The Name of God

Irrigation Sciences and Engineering

(Scientific)

Vol. 48 (2) **Summer 2025**

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, Maliysia**
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.

Journal of
Irrigation Sciences and Engineering(JISE)
(Scientific)
ISSN 2588-5952
Iranian Hydraulic Association
Shahid Chamran University of Ahvaz
Faculty of Water Sciences Engineering
Vol. 48 (2) Summer 2025

Contents

Title	Authors	Page
Investigation of turbulence flow structure and sediment entrainment around a round-nosed rectangular pier using a downstream bed sill	E. Sanadgol, M. Heidarpour and R. Mohammadpour Ghalati	**1**
Effect of Various Additives on the Improvement of Physical Dispersive and Load Bearing Capacity of Non-Cohesive Soils	S. Farkhondeh, H. Bahrami and J. Ahadiyan	**21**
Comparison of the ability of inverse demand function and artificial neural network to predict crop prices (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Network)	S. M. Hosseini and Hamed Mazandarani Zadeh	**37**
Optimizing the cultivation area of agricultural products based on water footprint framework framework (case study: Minab county)	N. Rohalamini, O. Bazarfshan and A. R. Nafarzadegan3	**51**
Vocabulary Collocation in Water Science Articles in Scopus and Web of Science Databases from 2011 To 2021	S. Ghaffari, N. Yazdani Khouzani and M. Bakhtiari	**67**
Effective Factors Water Resources Efficiency in Provinces of Iran a with Spatial econometric Approach	S. M. Hosseini, A. Dadras Moghadam, H. Badi Barzin and M. Norozian	**85**
Investigating the effect of different biochar levels of mushroom bed residues on some chemical properties of Drainage water	M. Valipour, S. Boroomand Nasab, A. A. Naseri, L. Divband Hojaghani and N. Alimzadeh Ansari	**101**
WetSpass to investigate the effects of land use and plant cover on water balance (Case study: Khafr region of Fars province)	E. Mozafari, A. Saremi, H. Ghorbanizadeh Kharazi and H. Babazadeh	**115**