



صفحه	نویسندگان	عنوان
۱	فائزه ولایتی، محمود شفاعی بجستان و سید محمود کاشفی پور	تأثیر دیواره مستغرق ساخته شده با المان‌های شش پایه بر توپوگرافی بستر در قوس ملایم ۹۰ درجه
۱۷	بهزاد زکی، علی محمد آخوندعلی، منوچهر فتحی مقدم و محمدامین مداح	استفاده از داده‌های بازتحلیلی و مدل‌های هوشمند در شبیه‌سازی رابطه بارش رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز بازفت)
۳۱	داود بهبودی و فهمیده قربانی	تبیین موانع نهادی سازگاری سیستم منابع آب با تغییر اقلیم در حوضه قرنقو
۵۳	میلاد شرفی، سینا بشارت و کامران زینال زاده	مطالعه مقایسه‌ای با استفاده از روش داده محور در مقابل رویکرد ترکیبی در جهت برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه در اهواز
۶۹	فائزه جعفری، حمیدرضا مرادی و علی باقری	تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول برنج در آبخیز تجن
۸۷	مهدی رادفر و فرشاد علی پور نصیرمحلله	مدل‌سازی و بررسی روند آلودگی سالیانه نیترات رودخانه تجن با HEC-RAS و QUAL2Kw
۱۰۵	احسان نادر بنی، محمدعلی غلامی سفیدکوهی و محمداسماعیل کمالی پاشاکلابی	ارزیابی بهره‌وری آب آبیاری ذرت شیرین رقم (KSC403) تحت مدیریت آبیاری دقیق
۱۱۹	محدثه صادقی عسکری و مهدی قمشی	بررسی آزمایشگاهی پروفیل سرعت در جریان چگال میان‌گذر

علوم و مهندسی آبیاری
(علمی)

تابستان ۱۴۰۳

جلد چهل و هفتم شماره ۲

مدیر مسؤول: سعید برومندنسب

سر دبیر: سید محمود کاشفی پور

مدیر داخلی: مهدی دریایی

تایپ و صفحه آرایی: ندا یزدانی

ویراستار: ندا یزدانی

هیأت تحریریه:

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

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

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

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

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

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

۲۹/۸۸/۷ برای مجله علوم و مهندسی آبیاری

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

اسامی بررسی کنندگان مقالات این شماره

فرشاد	احمدی
مریم	احمدی
آرش	ادیب
سعید	اسلامیان
امیر	پورحقی
محسن	پوررضا
مهدی	جوزی
میترا	چراغی
یاسر	حسینی
امیر حمزه	حقی آبی
عادل	دحیماوی
مهدی	دریایی
لاله	دیوبند هفشجانی
سید محسن	سجادی
محمد رضا	شریفی
عبدالرسول	شیروانیان
بابک	لشکرآرا
بهزاد	متشفع
امیر	ناصرین
مصطفی	یعقوب زاده

پیشگفتار

سپاس و ستایش پروردگار متعال که بر ما منت گذاشت تا با همت و پشتکار اعضای هیأت تحریریه، کارکنان مجله، همکاری داوران و ویراستاران، جلد ۴۷، شماره 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

صفحه	عنوان
۱	تأثیر دیواره مستغرق ساخته شده با المان‌های شش پایه روی توپوگرافی بستر در قوس ملایم ۹۰ درجه فائزه ولایتی، محمود شفاعی بجستان و سید محمود کاشفی‌پور
۱۷	استفاده از داده‌های بازتحلیلی و مدل‌های هوشمند در شبیه‌سازی رابطه بارش رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز بازفت) بهزاد زکی، علی محمد آخوندعلی، منوچهر فتحی مقدم و محمدمامین مداح
۳۱	تبیین موانع نهادی سازگاری سیستم منابع آب با تغییر اقلیم در حوضه قرنقو داود بهبودی و فهمیده قربانی
۵۳	مطالعه مقایسه‌ای با استفاده از روش داده محور در مقابل رویکرد ترکیبی در جهت برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه در اهواز میلاذ شرفی، سینا بشارت و کامران زینال زاده
۶۹	تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول برنج در آبخیز تجن فائزه جعفری، حمیدرضا مرادی و علی باقری
۸۷	مدل‌سازی و بررسی روند آلودگی سالیانه نیترات رودخانه تجن با HEC-RAS و QUAL2Kw مهدی رادفر و فرشاد علی‌پور نصیرمحلّه
۱۰۵	ارزیابی بهره‌وری آب آبیاری ذرت شیرین رقم (KSC403) تحت مدیریت آبیاری دقیق احسان نادر بنی، محمدعلی غلامی سفیدکوهی و محمداسماعیل کمالی پاشاکلایی
۱۱۹	بررسی آزمایشگاهی پروفیل سرعت در جریان چگال میان‌گذر محدثه صادقی عسکری و مهدی قمشی

EXTENDED ABSTRACT

The Effect of submerged wall constructed by six leg elements on the Bed Topography of the 90-degree mild bend

F. Velayati¹, M. Shafai Bajestan^{2*} and S. M. Kashefipour³

1- Ph.D. Phd student of, Department of Water Structures Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor of Department of Water Structures Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (m-shafaeibajestan@scu.ac.ir).

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

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 30 July 2020

Revised: 19 September 2020

Accepted: 22 September 2020

Keywords:

Secondary Flow, Outer Bank, Scour, deposition.

TO CITE THIS ARTICLE:

Velayati, F., Shafai bajestan, M., Khashefipour, M. (2024). 'The Effect of submerged wall constructed by six leg elements on the Bed Topography of the 90-degree mild bend', Irrigation Sciences and Engineering, 47(2), pp. 1-15. doi: 10.22055/jise.2020.34391.1923.

Introduction

The main causes of scouring and erosion of the river's bed and banks are the interaction of secondary flows and the sediment bed particles. Bank erosion causes disturbance of private and public lands, damages aquatic and riparian ecosystems, and degrades water quality. In addition, the eroded sediments will deposit downstream in front of intakes, flood control and navigation channels and valuable wetland areas (Biedenharn et al, 1997; Julien, 2002).

Numerous studies have been conducted on the pattern of flow, erosion and deposition in bend and in the presence of banks protection structures. One of the structures that has been used in recent years is the use of six-leg concrete elements called A-Jack. In recent years, some studies have been conducted on the use of these components to control the pier and abutment scour bridge. In late 1998 and early 1999, a series of 54 tests of 6-inch model scale A-Jacks was conducted at Colorado State University (CSU) to examine their effectiveness in pier scour applications. This program is described in detail in CSU's test report entitled, "Laboratory Testing of A-Jacks Units for Inland Applications: Pier Scour Protection Testing" (Thornton et al. 1999a and b). So far, no comprehensive research has been done on the effectiveness of these elements as controllers of banks toe erosion. Therefore, the purpose of this study is to investigate the effect of the geometry of the submerged wall constructed by six-leg elements on bed topography of a flume bend.

Methodology

The experiments were conducted in a 90-degree laboratory flume bend of constant width, $b = 70$ cm. The bend is connected to an upstream straight reach 5 m long and a downstream straight reach 3 m long. Also, the ratio of the curvature's radius to the flume's width (r/b) equals 4. The inner and outer radius of the bend are 2.45 and 3.15 meters, respectively. The flume sidewalls were made of

plexiglass. A slide gate was installed at the end of the channel to control the flow depth. Sediments in a layer 20 cm thick are made of sand with mean diameter of $d_{50}=1.5$ mm and a geometric standard deviation equal to 1.22. The experiments were carried out in four different flow discharges 30, 33, 36 and 39 lit/s (corresponding to particle Froude numbers 2.5, 2.75, 3, 3.25) with a constant depth of 11 cm. The six-leg elements used in this research are made of concrete. The wall installed at a distance of 7 cm from the outer bank and the effective height of the elements is 4 cm.

In this study, the topography of the bed without and with the presence of submerged wall made with six-leg elements has been studied and the effect of the number of rows of wall placement (single row, two rows, three rows) as well as the relative length of wall placement (0.5, 0.333 and 0.166) have been investigated.

Conclusion

In all experiments of this study, the scour between the submerged wall and the outer bank was negligible and the wall was able to decrease the scour of the outer bank by about 100% compared to the baseline experiment and has caused the river Thalweg to move away from the outer bank. As the flow conditions and the particle Froude number increase, the maximum scour depth changes to the upper part of the structure and can endanger the stability of the outer bank. However, due to the impact of the wall, it has shifted to the middle of the channel and continued down the wall. As observed, the performance of a submerged wall with a relative length of 0.5, is better than that with a relative length of 0.333. Also, the use of a submerged wall with a relatively short length (0.166) is only justified for particle Froude numbers less than 2.5 and for the protection of a short section of the bend.

A comparison of the number of rows also showed that scouring in the three-row condition has increased compared to single-row and two-row walls, due to the reduction of the flow cross-section area and a further increase in velocity and shear stress on sediments.

Acknowledgement

The present study was financially supported by the second author's research grant with grant number Scu-wh1400.470. The authors would like to thank the Vice-chancellor for research of Shahid Chamran university of Ahvaz, for providing this grant.

References

- 1- Biedenharn, D.S., Elliott, C.M. and Watson, C.C., 1997. *The WES stream investigation and streambank stabilization handbook* (p. 460). Vicksburg, MS: US Army Engineer Waterways Experiment Station.
- 2- Julien, P.y.. 2002. *River Mechanics*. Cambridge university press. pp.434
- 3- Thornton, C.I., C.C. Watson, S.R. Abt, C.M., Lipscomb, and C.M. Ullman.. 1999a. Laboratory Testing of A-Jacks Units for Inland Applications: Pier Scour Protection Testing. *Colorado State University research report for Armortec Inc. February*.
- 4- Thornton, C.I., Abt, S.R. and Watson, C.C., 2001. Field Assessment of A-Jacks Installation, A Case Study of Brush Creek, Kansas City, Missouri, and Powell Creek, Waukegan, Illinois. In *Wetlands Engineering & River Restoration 2001* (pp. 1-8). DOI: 10.1061/40581(2001)58.





تأثیر دیواره مستغرق ساخته شده با المان‌های شش پایه بر توپوگرافی بستر در قوس ملایم ۹۰ درجه

فائزه ولایتی^۱، محمود شفاعی بجهستان^{۲*} و سید محمود کاشفی پور^۳

۱- دانش آموخته‌ی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
m-shafaeibejestan@scu.ac.ir

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

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۱

بازنگری: ۱۳۹۹/۰۶/۲۹

دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۹

چکیده

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی تأثیر دیواره مستغرق ساخته شده با المان‌های شش پایه بر توپوگرافی بستر در کانال قوسی ملایم ۹۰ درجه پرداخته شده است. آزمایش‌های این تحقیق تحت شرایط هیدرولیکی مختلف در اعداد فرود ذره ۲/۵، ۳ و ۳/۲۵ در سه طول نسبی ۰/۵، ۰/۳۳۳ و ۰/۱۶۶ و با سه عرض نسبی ۰/۰۶۴، ۰/۱۱۴ و ۰/۱۶۴ انجام شد. نتایج نشان داد در تمامی آزمایش‌های ارزیابی، دیواره موجب دور شدن خط‌القعر از ساحل بیرونی شده به طوری که مقدار آبشستگی ساحل بیرونی در مقایسه با آزمایش‌های شاهد بین ۹۵ تا ۱۰۰ درصد کاهش یافته است. همچنین، موقعیت حداکثر عمق آبشستگی دور از ساحل بیرونی و در قسمت داخلی دیواره تشکیل شده که این امر به حفاظت ساحل بیرونی افزوده است. نتایج نشان داد که در اعداد فرود ذره ۲/۵ و ۳، و برای یک عرض نسبی ثابت، با افزایش طول نسبی دیواره از ۰/۱۶۶ تا ۰/۵ حداکثر عمق آبشستگی به ترتیب به مقدار ۳۸ و ۳۷ درصد کاهش پیدا می‌کند و برای یک مقدار ثابت طول نسبی، با افزایش عرض نسبی دیواره از ۰/۰۶۴ به ۰/۱۶۴ حداکثر عمق آبشستگی نسبی به ترتیب ۷۰ و ۵۶ درصد افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: جریان حلزونی، الگوی جریان، آبشستگی، جریان ثانویه.

مقدمه

عامل اصلی وقوع آبشستگی در قوس رودخانه‌ها و فرسایش بستر و کناره‌ها، اندرکنش جریان‌های ثانویه و دانه‌بندی رسوبات و جریان‌های طولی می‌باشد. خصوصیات جریان در قوس‌ها می‌تواند الگوی رسوب‌گذاری و فرسایش را به خوبی توضیح دهد. با ورود جریان به قوس، تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز سطح آب در قوس خارجی بالاتر از قوس داخلی قرار می‌گیرد و گرادیان فشار جانبی در داخل مقطع به وجود می‌آید. به دلیل توزیع نامتقارن سرعت، لایه‌های بالایی سطح آب تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز به طرف قوس خارجی و لایه‌های پایین به سمت قوس داخلی حرکت می‌کنند، این الگوی جریان در قوس را جریان ثانویه می‌نامند. در اثر تقابل جریان ثانویه و جریان طولی، جریان حلزونی در قوس‌ها تشکیل می‌شود. فرسایش در محل پاشنه ساحل خارجی به دلیل حرکت رو به پایین جریان در الگوی جریان ثانویه می‌باشد و موجب ناپایداری توده خاک ساحل و تخریب اراضی، پوشش گیاهی و همچنین تاسیسات ساحلی موجود می‌شود.

فرسایش و جابه‌جایی رودخانه‌ها به لحاظ اقتصادی و محیط زیستی عواقب گسترده‌ای دارد، از این رو روش‌های سامان‌دهی رودخانه به منظور جلوگیری از ایجاد تخریب‌ها و عواقب آن انجام می‌گیرد. به این منظور مطالعه‌های بسیاری در زمینه الگوی جریان

و رسوب در قوس و در حضور سازه‌های حفاظت سواحل انجام شده است. جریان ثانویه، اولین بار توسط Boussinesq (1868) بیان گردید و چند سال بعد توسط Thomson (1876) اشاعه پیدا کرد (به نقل از Blanckaert and De Vriend, 2004). Shukry (1950)، برای قوس‌های مختلف تحت شرایط متفاوت جریان در یک مقطع عرضی معین، معیاری را برای قدرت جریان ثانویه در قوس رودخانه‌ها به صورت نسبتی از متوسط انرژی جنبشی جریان جانبی به انرژی جنبشی جریان اصلی تعریف کرد. Bergs و Odgaard (1988)، با مطالعه الگوی جریان و آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه ملایم در شرایط بستر زنده، به این نتیجه رسیدند که در امتداد قوس خارجی دو حفره آبشستگی مشاهده می‌شود که حفره اولی در موقعیت مکانی زاویه ۶۰ درجه از ابتدای قوس رخ می‌دهد و به لحاظ ابعادی از حفره دوم بزرگتر است. محققین بسیاری به بررسی جریان در قوس‌ها پرداخته‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به Rozovskii (1957) Blanckaert و Graf (2001)، Da Silva et al. (2006) و Kashyap et al. (2010) اشاره کرد. مطالعه‌های بسیاری در زمینه الگوی جریان و رسوب در قوس در حضور سازه‌های حفاظت سواحل صورت گرفته است. از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه‌های Vaghefi et al. (2012) در رابطه با

کرد. این المان‌ها هم‌چنین برای کنترل آبستتگی پائین دست سرریزها توسط Rashki Ghaleh Nou et al. (2020) و Khalifehei et al. (2020) استفاده شده است. نتایج این مطالعه‌ها نشان می‌دهد که المان‌ها به‌خوبی توانسته‌اند میزان آبستتگی را بسیار کاهش دهند. در زمینه کاربرد این المان‌ها در کنترل فرسایش پنجه ساحل می‌توان مطالعه Thornton et al. (2001) را نام برد که با قرار دادن این المان‌ها در محل پنجه ساحل در رودخانه‌های واقع در منطقه کانزاس و شهر اوگانگان ایلینویز ملاحظه کردند که ناحیه محافظت‌شده در طول سیل در مقایسه با ناحیه بدون حفاظت، از فرسایش پنجه ساحل به‌خوبی محافظت کرده است.

از جمله مواردی که مطالعه آزمایشگاهی Zolghadr و Shafai Bajestan (2020) نشان داد مقاومت خوب المان‌های شش‌پایه در مقابل فرسایش لبه بود. معمولاً بیشتر تخریب‌های سازه‌ای ساخته‌شده با سنگ (ریپ‌رپ) علیرغم داشتن اندازه سنگ مناسب، توسط فرسایش لبه تخریب شده‌اند. دلیل عمده آن فرو رفتن پایه‌ها در درون بستر ذکر شده است. به‌طوری‌که با قرارگیری این عناصر بر روی بستر رودخانه علاوه بر این که برآمدگی پایه‌ها باعث استهلاک انرژی جنبشی جریان و افزایش مقاومت در برابر نیروهای فرسایشی می‌شوند، این عناصر یا به‌صورت درهم یا یکنواخت کنار هم قرار گرفته شده‌اند و از چهار جهت با عناصر کناری خود قفل می‌شوند و در نتیجه به‌صورت یک پارچه عمل می‌کنند. این قطعات ضمن ایجاد پوشش و افزایش ضریب مانینگ تا حدود ۰/۱ امکان رشد پوشش گیاهی در بین پایه‌ها را فراهم کرده و به حفظ بستر و محل پنجه ساحل رودخانه کمک می‌کنند (Zolghadr et al, 2016). با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در رابطه با کاربرد المان‌های شش‌پایه برای حفاظت ساحل قوس بیرونی رودخانه‌های پیچان‌رودی انجام نشده است، هدف اصلی این تحقیق مطالعه آزمایشگاهی بررسی مشخصات دیواره مستغرق ایجاد شده در فاصله دورتر از ساحل با مصالح المان‌های بتنی شش‌پایه روی توپوگرافی بستر در قوس ملایم ۹۰ درجه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

متغیرهای موثر در پدیده آبستتگی و رسوب‌گذاری اطراف دیواره مستغرق ساخته‌شده با المان‌های شش‌پایه در رابطه (۱) آورده شده است:

$$f\left(\frac{Z_m, S_b, B, R, \delta, T, s, b, h, D, \rho_s}{D_{50}, \sigma_g, \rho, \mu, V, \gamma, g, S}\right) = 0 \quad (1)$$

که در این رابطه، Z_m حداکثر عمق آبستتگی، S_b شیب طولی فلو، B عرض فلو، R شعاع قوس فلو، δ زاویه مرکزی قوس، T تراکم کارگذاری المان‌ها، s طولی از قوس بیرونی که

آبشکن، Jarrhazade و ShafaiBejestan (2011) در رابطه با سرریزهای مستغرق، نصب دیواره‌های افقی در ساحل توسط Rezania et al. (2009)، صفحات مستغرق توسط Pourmansouri et al. (2020)، نصب صفحات مثلثی متصل به ساحل در قوس ملایم ۹۰ درجه توسط Bahrami Yarahmadi و Shafai Bajestan (2016 a,b)، احداث سازه باندا لایک توسط Jarrhazade et al. (2017)، احداث سازه ترکیبی آبشکن نفوذپذیر و صفحات مثلثی توسط Ferro et al. (2019) اشاره کرد. تمامی مطالعه‌های اشاره‌شده از جمله روش‌هایی هستند که تلاش دارند با اصلاحاتی در الگوی جریان، قدرت جریان ثانویه را کاهش یا آن را از ساحل خارجی دور کنند تا عمق آبستتگی پنجه ساحل خارجی کاهش و از تخریب ساحل تا حد زیادی جلوگیری کنند. روش‌های دیگری هم در گذشته به‌وجود آمده‌اند که از جمله می‌توان به احداث دیواره‌های کناری مستغرق، احداث دیواره‌هایی در تمام عرض رودخانه دارای پلان به شکل‌های مختلف U، V و W شکل نام برد (Atashi et al., 2016). این سازه‌ها نیز با متمرکز کردن جریان و انتقال جریان ثانویه به سمت میانه‌های رودخانه باعث کاهش تنش برشی در نزدیک ساحل خارجی و در نتیجه کاهش عمق آبستتگی پنجه ساحل می‌شوند.

استفاده از دیواره‌های مستغرق موازی جریان در فاصله‌ای از ساحل رودخانه، موضوعی است که تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است و هدف این تحقیق می‌باشد. وجود این دیواره می‌تواند لایه برشی بین ساحل خارجی و جریان اصلی ایجاد کند که منجر به جابه‌جایی بخش اصلی جریان رودخانه به میانه رودخانه می‌شود. در نتیجه انتظار این است که منجر به تغییر در توزیع تنش برشی بستر گردد، به‌نحوی که آبستتگی پنجه ساحل به میانه رودخانه منتقل گردد. بدیهی است ساخت این‌گونه دیواره‌ها باید با قطعات سنگی درشت احداث گردد به‌طوری‌که وزن هر قطعه به تنهایی تحمل نیروهای مخرب وارده از طرف جریان‌های سیلابی را دارا باشد. از طرفی وجود چنین قطعات سنگی ممکن است در دسترس نباشد و یا تامین آن از فواصل دور با هزینه زیادی همراه باشد که در نتیجه استفاده از المان‌های بتنی می‌تواند به‌عنوان گزینه مناسبی باشد.

یکی از المان‌های بتنی که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است، قطعات بتنی شش‌پایه با نام تجاری A-Jack می‌باشد. هر یک از این قطعات از دو قطعه بتن T شکل که در وسط به هم متصل هستند، تشکیل شده که در نتیجه دارای شش پایه می‌باشد.

در سال‌های گذشته تحقیقاتی در زمینه استفاده از این قطعات به‌منظور کنترل آبستتگی در پایه پل و تکیه‌گاه پل انجام شده است از آن جمله می‌توان به مطالعه‌های Thornton et al. (1999) و Zilai و Bajestan Shafai (2016)، Zolghadr et al (2016) و Shafai Bajestan و Zolghadr (2020) اشاره

تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در یک کانال قوسی ۹۰ درجه با عرض ۷۰ سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. شعاع داخلی و خارجی قوس به ترتیب ۲/۴۵ و ۳/۱۵ متر می‌باشد، بنابراین نسبت شعاع قوس به عرض آن (R/B) برابر چهار می‌باشد که در گروه قوس‌های ملایم به حساب می‌آید. طول دیواره‌های خارجی و داخلی قوس به ترتیب ۴/۹۵ و ۳/۸۵ متر و طول محوری آن برابر ۴/۴ متر می‌باشد. طول کانال مستقیم در بالادست قوس پنج متر و در پایین دست قوس سه متر است. به منظور کنترل سطح آب از دریچه کشویی در انتهای فلوام استفاده شده است. نمایی از فلوام مورد استفاده در شکل (۱-a) ارائه شده است. رسوبات مورد استفاده در لایه‌ای با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر از جنس ماسه با اندازه متوسط ذرات ۱/۵ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۲۲ می‌باشد.

المان‌های شش پایه مورد استفاده در این تحقیق، از جنس بتن که مخلوطی از سیمان و ماسه بادی با نسبت یک به سه و مقدار مناسب آب است. المان‌ها با مقیاس سک به ۱۲ سازه واقعی توسط نرم‌افزار اتوکد طراحی و قالب آن تهیه شده است (به نقل از Zolghadr et al, 2016).

آزمایش‌ها در چهار دبی متفاوت ۳۰، ۳۳، ۳۶ و ۳۹ لیتر بر ثانیه (اعداد فرود ذره ۲/۵، ۲/۷۵، ۳، ۳/۲۵) با عمق ثابت ۱۱ سانتی‌متر انجام گرفته است. لازم به ذکر است که آزمایش‌ها در شرایط جریان زیر بحرانی انجام شدند. دبی‌های در نظر گرفته شده معادل اعداد فرود به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۴۱، ۰/۴۵ و ۰/۴۷ می‌باشند. در آزمایش‌های شاهد به بررسی توپوگرافی بستر بدون حضور دیواره مستغرق ساخته شده با المان‌های شش پایه و در آزمایش‌های ارزیابی به بررسی تأثیر تعداد ردیف کارگذاری دیواره‌ها (تک ردیفه، دو ردیفه، سه ردیفه) و همچنین طول نسبی قرارگیری دیواره (۰/۵، ۰/۳۳۳ و ۰/۱۶۶) پرداخته شده است.

کارگذاری المان‌ها از فاصله هفت سانتی‌متری از قوس خارجی انجام شده است و ارتفاع مؤثر قرارگیری المان‌ها چهار سانتی‌متر بود. در هر آزمایش پس از تسطیح رسوبات بستر و کارگذاری دیواره و هندسه مشخص مرتبط با هر آزمایش، ابتدا دریچه کنترل پایین دست بسته شده و جریان با دبی کمتر از ۰/۵ لیتر بر ثانیه برقرار گردید. این بده کمترین حرکت را در رسوبات ایجاد می‌نمود. با افزایش تدریجی عمق آب دریچه پایین دست به آرامی باز شده و هم‌زمان بده ورودی به فلوام افزایش یافته و به این ترتیب بده و عمق تنظیم می‌شد. پس از گذشت زمان تعادل از شروع آزمایش (چهار ساعت)، ابتدا دریچه کشویی انتهای فلوام به آرامی پایین آورده شده و سپس شیر کشویی ورودی فلوام بسته می‌شد. پس از زهکشی شدن بستر، توپوگرافی به کمک دستگاه متر لیزری با دقت ($\pm 1/5\text{mm}$) برداشت گردید. در شکل (۱-b) نمایی از قرارگیری یک هندسه مشخص مشاهده می‌شود.

توسط سازه محافظت می‌شود، b عرضی از فلوام که توسط المان‌ها اشغال می‌شود، h ارتفاع المان‌ها، D فاصله کارگذاری المان‌ها از قوس خارجی، ρ_s چگالی ذرات رسوبی، D_{50} قطر متوسط ذرات رسوبی، σ_g انحراف معیار هندسی توزیع ذرات بستر، ρ جرم واحد حجم مایع، μ ضریب لزجت دینامیکی، V سرعت متوسط جریان در بازه مستقیم ورودی، y عمق جریان در بازه مستقیم بالادست قوس، g شتاب ثقل، و S طول ساحل بیرونی تعریف شده است. با استفاده از نظریه باکینگهام می‌توان رابطه (۱) را به صورت رابطه (۲) نوشت:

$$f_1 \left(\frac{Z_m}{y}, \frac{B}{y}, \frac{R}{y}, \frac{h}{y}, \frac{D}{y}, \frac{\rho_s - \rho}{\rho}, \frac{D_{50}}{y}, \frac{s}{y}, \frac{b}{y}, \frac{S}{y}, \frac{\rho V y}{\mu}, \frac{g y}{V^2}, S_b, T, \delta, \sigma_g \right) = 0 \quad (2)$$

در رابطه فوق، عدد بدون بعد یازدهم عدد رینولدز می‌باشد. اعداد فرود در این تحقیق به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۴۱، ۰/۴۵ و ۰/۴۷ می‌باشند، بنابراین آزمایش‌ها در شرایط جریان زیر بحرانی انجام شده است. با ترکیب اعداد بدون بعد دوم، ششم، هفتم و یازدهم، عدد فرود ذره حاصل خواهد شد. دامنه تغییرات عدد رینولدز در این تحقیق بین اعداد ۴۲۸۵۷ تا ۵۵۷۱۴ می‌باشد، که باتوجه به متلاطم بودن جریان از متغیر بی بعد عدد رینولدز صرف‌نظر می‌شود. از طرفی ارتفاع المان‌ها (h)، فاصله قرارگیری دیواره از قوس خارجی (D)، تراکم المان‌ها (T)، انحراف معیار هندسی رسوبات (σ_g)، زاویه مرکزی قوس (δ) در طول آزمایش‌ها ثابت است، لذا از متغیرهای h/y ، D/y ، T ، δ ، σ_g صرف‌نظر می‌شود. در نهایت پس از حذف متغیرهای ثابت و ترکیب متغیرهای بی بعد با یکدیگر، اعداد بدون بعد نهایی به صورت زیر است:

$$\frac{Z_m}{y} = f_2 \left(F_d, \frac{b}{B}, \frac{s}{S} \right) \quad (3)$$

که در این رابطه F_d عدد فرود ذره می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_d = \frac{V}{\left[g D_{50} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) \right]^{1/2}} \quad (4)$$

نسبت b/B نشان‌دهنده درصدی از عرض کانال است که توسط سازه‌ها محدود شده است و s/S نشان‌دهنده درصدی از طول ساحل بیرونی خواهد بود که توسط سازه محافظت می‌شود.

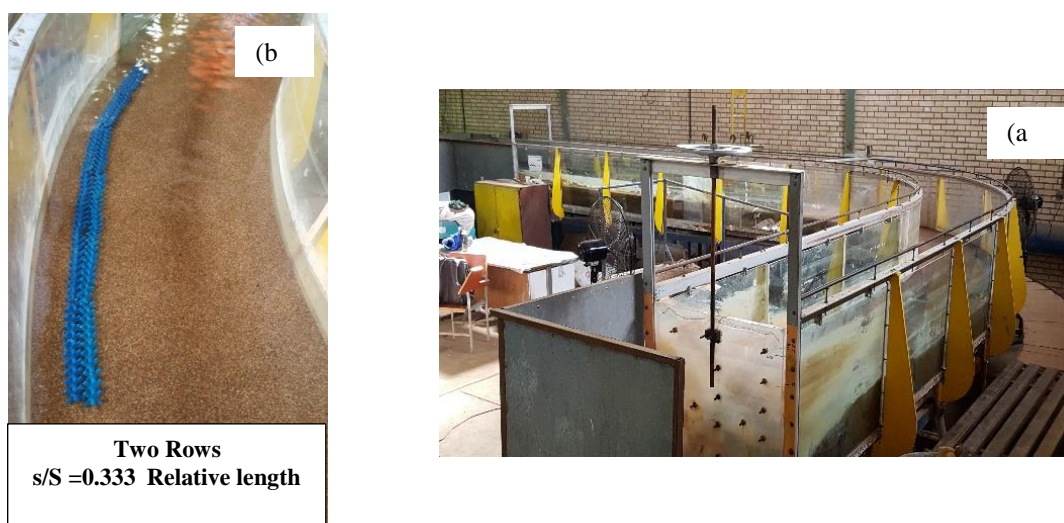


Fig. 1- a) Schematic of laboratory flume b) Schematic of the location of the submerged wall constructed by six leg elements

شکل ۱- (a) نمای از فلوم آزمایشگاهی (b) نمایی از هندسه قرارگیری دیواره ساخته شده با المان‌های شش پایه

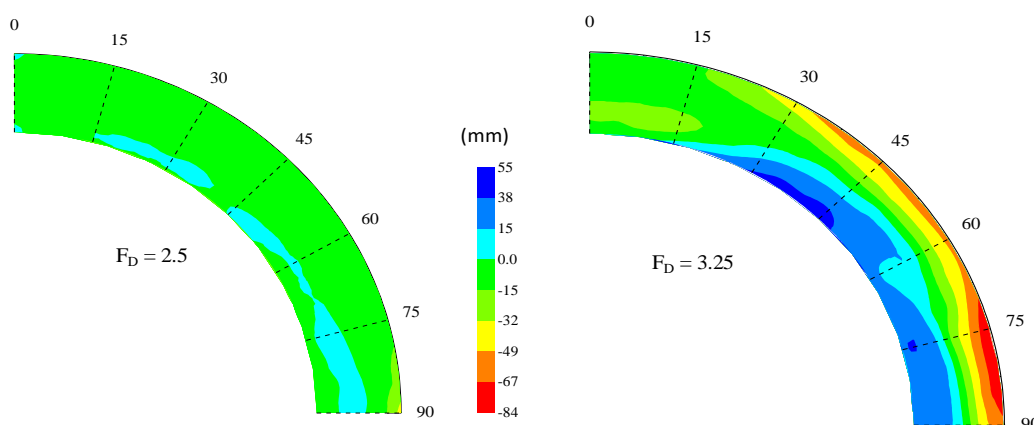


Fig. 2- The variation of the bed topography (mm) in the 90 degree mild bend in baseline experiments

شکل ۲- تغییرات توپوگرافی بستر (میلی‌متر) در قوس ملایم ۹۰ درجه در آزمایش‌های شاهد

و رسوب‌گذاری می‌شود. هم‌چنین روند تغییرات موقعیت خط‌القعر در شرایط هیدرولیکی مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که محل برخورد خط‌القعر با ساحل بیرونی با افزایش عدد فرود ذره از نواحی پایین‌دست قوس به سمت بالادست قوس تغییر پیدا می‌کند. علاوه بر این، ملاحظه می‌شود که در اعداد فرود ذره $2/5$ و $2/75$ ، محل برخورد خط‌القعر با ساحل بیرونی در محدوده دو مقطع عرضی 75 و 90 درجه می‌باشد ولی در اعداد فرود ذره 3 و $3/25$ در حد فاصل مقاطع عرضی 45 تا 60 درجه می‌باشد. به‌عنوان نتیجه کلی، محدوده کلی برخورد خط‌القعر با ساحل بیرونی در آزمایش‌های شاهد این تحقیق در نیمه دوم قوس می‌باشد.

نتایج و بحث

خصوصیات آبستگي و رسوب‌گذاري در آزمایش شاهد

در شکل (۲) تأثیر تغییرات عدد فرود ذره (F_D) بر تغییرات توپوگرافی بستر برای دو عدد فرود ذره نشان داده شده است. مشاهده می‌شود حداکثر آبستگي در حد فاصل دو مقطع 75 تا 90 درجه و نزدیک ساحل بیرونی رخ می‌دهد و حداکثر ارتفاع پشته رسوب‌گذاری در نیمه اول قوس و در فاصل دو مقطع 30 تا 45 درجه و نزدیک ساحل داخلی می‌باشد. با توجه به نمودار شکل (۳) مشخص است که با افزایش عدد فرود ذره مقدار حداکثر عمق آبستگي نسبی و به تبع آن ارتفاع پشته رسوبی افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که با افزایش عدد فرود تنش‌های وارده به ذرات رسوبی بستر افزایش پیدا می‌کند و باعث افزایش آبستگي

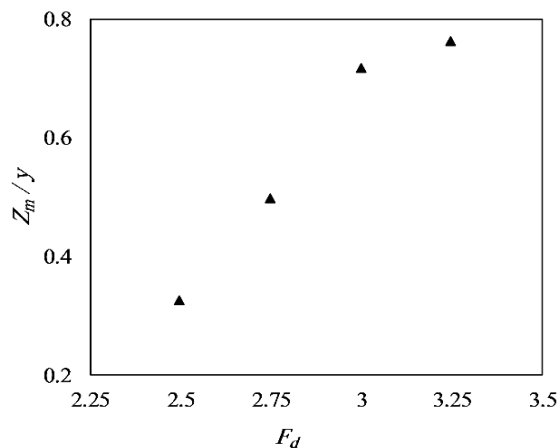


Fig. 3- Changes of the maximum relative scour depth in different hydraulic conditions

شکل 3- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی بدون بعد در شرایط هیدرویکی مختلف

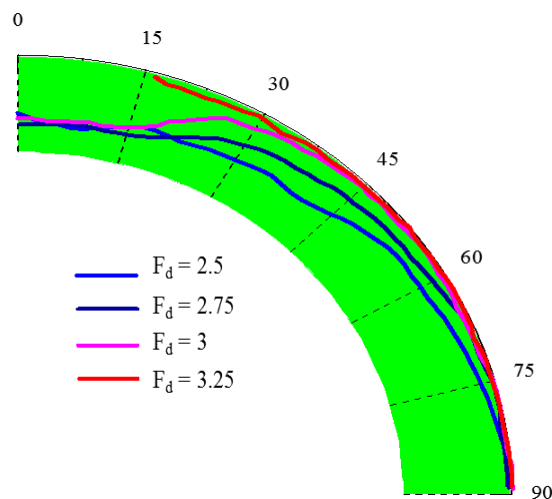


Fig. 4- The changes of the location of Thalweg in 90 Degree mild bend in different hydraulic conditions

شکل 4- تغییرات موقعیت خط القعر در قوس 90 درجه ملایم در شرایط هیدرویکی مختلف

را محافظت کند و موجب دور شدن خط القعر از ساحل بیرونی شده است. در اعداد فرود ذره 2/5، 2/75، 3 و 3/25 باعث کاهش عمق حداکثر آبشستگی به میزان 22، 23، 27 و 22 درصد شده است. با افزایش عدد فرود ذره مشاهده می شود که درجه تأثیر سازه در بالادست و در حد فاصل دو مقطع 30 تا 45 درجه کمتر بوده و آبشستگی در نزدیک ساحل بیرونی رخ داده است. ولی در مقایسه با آزمایش های شاهد به ترتیب برای اعداد فرود ذره 3 و 3/25 حدود 31 و 23 درصد کاهش را نشان می دهد.

طول نسبی s/S=0.333

همان طور که از شکل (c-d, 5) مشاهده می شود دیواره مستغرق توانسته به طور موثری ساحل بیرونی را در حد فاصل دو مقطع 60 تا 90 درجه در مقایسه با آزمایش های شاهد در حدود 100 درصد در مقابل آبشستگی محافظت کند. با افزایش شرایط

خصوصیات آبشستگی و رسوب گذاری در آزمایش های

ارزیابی

آزمایش تک ردیفه

در شکل (5) الگوی فرسایش و رسوبگذاری پیرامون دیواره مستغرق تک ردیفه ($b/B = 0.64$) در سه طول نسبی 0/5، 0/333 و 0/166 به ازای اعداد فرود ذره مختلف 2/5 و 3/25 نشان داده شده است.

طول نسبی s/S=0.5

همان طور که در شکل (a, b- 5) مشاهده می شود در این طول نسبی، چاله آبشستگی از ابتدای دیواره تشکیل و به موازات سازه تا پایین دست ادامه پیدا می کند. در مقایسه با آزمایش های شاهد مشاهده می شود، دیواره توانسته به طور کامل ساحل بیرونی

طول نسبی $s/S=0.166$

همان طور که در شکل (e, f) مشاهده می شود بر خلاف طول های نسبی $0/5$ و $0/333$ ، حداکثر آبخستگی در اعداد فرود ذره بالا در محدوده سازه تشکیل نشده و در بالادست آن رخ داده است که این امر خطر تخریب ساحل بیرونی را بسیار افزایش می دهد. بنابراین دیواره مستغرق با طول کوتاه فقط در شرایط پایین جریان (عدد فرود ذره کمتر از $2/5$) و برای بخش کوتاهی از قوس 90 درجه ملایم می تواند عملکرد محافظتی داشته باشد و در اعداد فرود ذره $2/75$ و 3 در مقایسه با آزمایش شاهد حداکثر عمق آبخستگی کاهش معناداری پیدا نکرده و در عدد فرود ذره $3/25$ در مقایسه با آزمایش شاهد حداکثر عمق آبخستگی افزایش پیدا کرده است.

جریان، تأثیر سازه بر بالادست خود تا حدودی کاهش یافته و آبخستگی از نزدیک ساحل بیرونی شروع شده است ولی در ادامه با نزدیک شدن به سازه، به میانه کانال تغییر مسیر داده و در راستای دیواره به سمت پایین دست ادامه پیدا کرده است. مقدار آبخستگی در بالادست سازه در مقایسه یا آزمایش های شاهد متناظر کمتر بوده به طوری که در اعداد فرود $2/5$ ، 3 و $3/25$ به ترتیب 41 ، 36 و 25 درصد کاهش یافته است. مقایسه حداکثر عمق آبخستگی نشان می دهد که دیواره مستغرق در اعداد فرود ذره $2/5$ ، $2/75$ ، 3 و $3/25$ باعث کاهش حداکثر عمق آبخستگی به میزان 13 ، 20 ، 21 و 15 درصد شده است. همان طور که مشاهده می شود عملکرد دیواره مستغرق با طول نسبی $0/5$ نسبت به دیواره با طول نسبی $0/333$ بهتر می باشد.

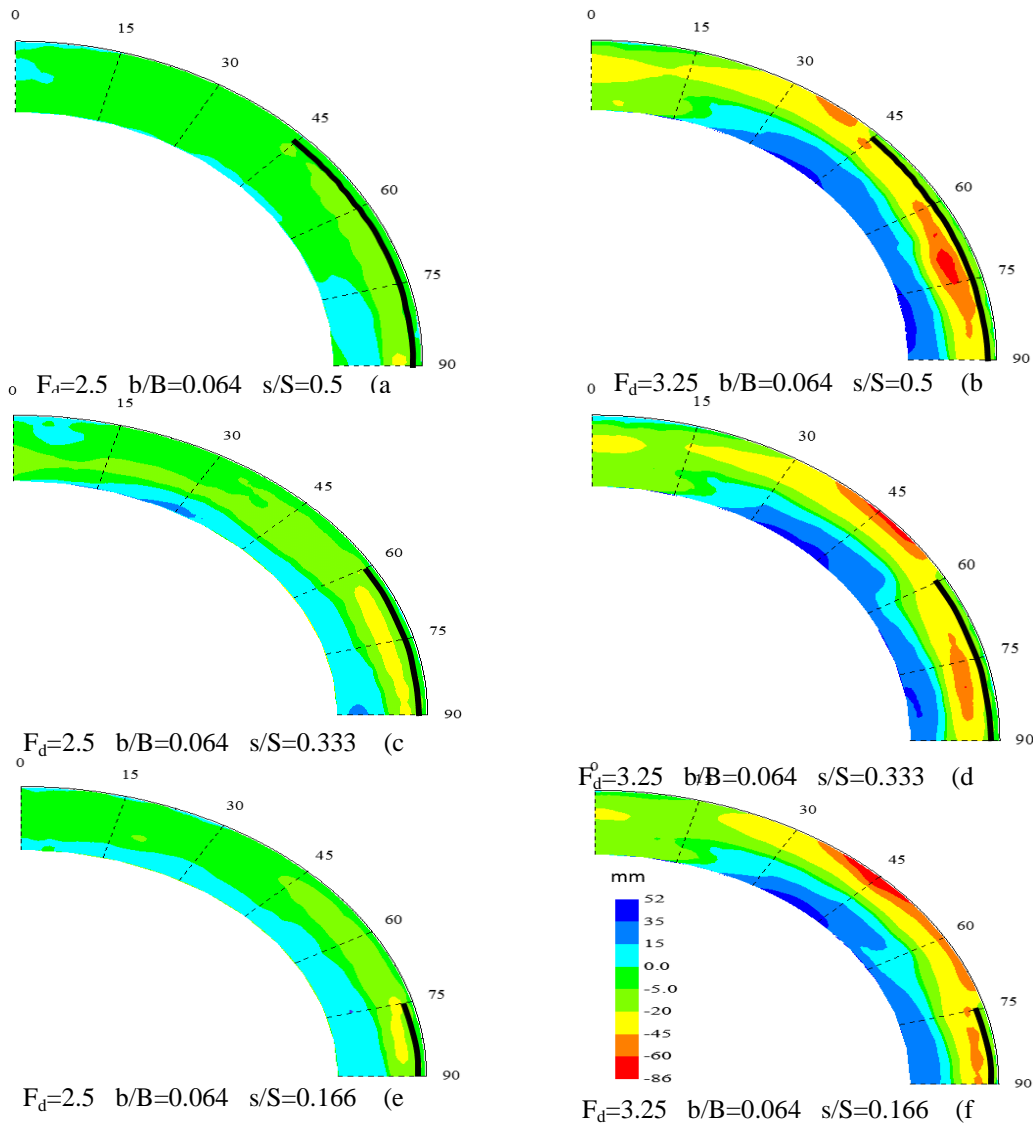


Fig.5- Bed topography changes for one row submerged wall in three different lengths (0.5, 0.333 and 0.166) and particle Froude numbers 2.5 and 3.25

شکل ۵ - تغییرات توپوگرافی بستر برای دیواره های مستغرق تک ردیفه ($b/B=0/064$) در سه طول نسبی مختلف ($0/5$)، $0/333$ و $0/166$) و اعداد فرود ذره $2/5$ و $3/25$

یافته و آبستنگی از نواحی نزدیک به ساحل آغاز شده است ولیکن در مقایسه با آزمایش‌های شاهد مقدار آبستنگی در اعداد فرود سه و $3/25$ به ترتیب ۱۵ و ۱۸ درصد کاهش یافته است. مقایسه بین حداکثر عمق آبستنگی در این آزمایش‌ها نشان می‌دهد دیواره مستغرق به ترتیب در اعداد فرود $2.3/2.75/5$ و $3/25$ باعث کاهش حداکثر عمق آبستنگی به میزان ۱۱، ۴، ۱۵ و ۸ درصد شده است.

طول نسبی $s/S=0.166$

در شکل (۶- e,f) ملاحظه می‌شود در تمامی اعداد فرود دیواره مستغرق توانسته به‌طور موثری آبستنگی بین دیواره و ساحل بیرونی را محافظت کند به طوری که می‌تواند از نقطه نظر کاربردی با اطمینان زیادی مورد استفاده قرار گیرد. در عدد فرود $2/5$ ، آبستنگی در بالادست سازه توسعه پیدا نکرده و عملکرد سازه قابل قبول است ولی با افزایش شرایط جریان تأثیر سازه بر بالادست افزایش می‌یابد. برخلاف طول‌های نسبی $0/5$ و $0/333$ ، حداکثر عمق آبستنگی در محدوده سازه تشکیل نشده است و در بالادست آن رخ داده است. نتایج نشان می‌دهد دیواره مستغرق دوردیفه با طول کوتاه فقط در شرایط پایین جریان (عدد فرود ذره کمتر از $2/5$) می‌تواند بخش کوتاهی از قوس را محافظت کند. مقایسه حداکثر عمق آبستنگی با آزمایش‌های شاهد نشان می‌دهد مقدار آبستنگی کاهش معناداری پیدا نکرده و در عدد فرود $3/25$ حداکثر آبستنگی به میزان ۱۵ درصد افزایش پیدا کرده است.

آزمایش دوردیفه

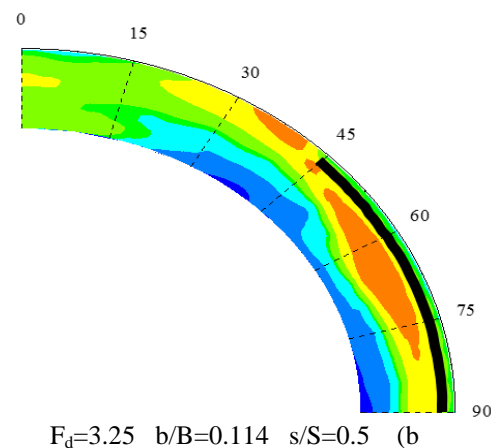
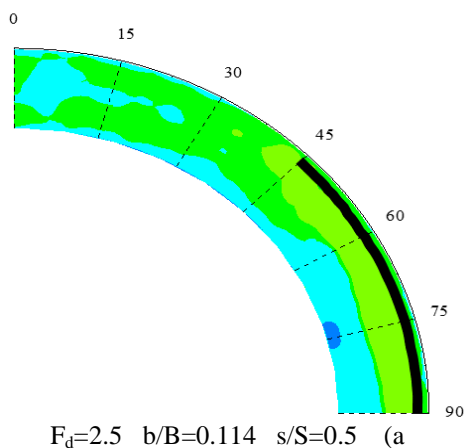
در شکل (۶) الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری پیرامون دیواره مستغرق دوردیفه ($b/B = 0/114$) در سه طول نسبی $0/5$ ، $0/333$ و $0/166$ به ازای اعداد فرود ذره مختلف $2/5$ و $3/25$ نشان داده شده است.

طول نسبی $s/S=0.5$

در شکل (۶- a,b) مشاهده می‌شود در تمامی اعداد فرود ذره، در مقایسه با آزمایش‌های شاهد دیواره مستغرق توانسته باعث کاهش مقدار آبستنگی بین دیواره و ساحل بیرونی بین ۹۵ تا ۱۰۰ درصد شود. در اعداد فرود $2/5$ و $3/25$ ، چاله آبستنگی مشابه آزمایش‌های تک ردیفه از ابتدای دیواره تشکیل شده و به موازات سازه ادامه می‌یابد ولیکن با افزایش عدد فرود ذره به سه و $3/25$ درجه تأثیر سازه در بالادست کمتر بوده و آبستنگی در نزدیک ساحل بیرونی رخ داده است. مقدار آبستنگی در این ناحیه در مقایسه با آزمایش‌های شاهد به ترتیب حدود ۲۱ و ۲۵ درصد کاهش پیدا کرده است. همچنین دیواره مستغرق دوردیفه در اعداد فرود $2/5$ ، $3/25$ ، $3/25$ ، $3/25$ به ترتیب باعث کاهش حداکثر عمق آبستنگی به میزان ۲۰، ۱۰، ۱۱ و ۱۷ درصد شده است.

طول نسبی $s/S=0.333$

همان‌گونه که در شکل (۶- c,d) مشاهده می‌شود، در تمامی اعداد فرود ذره، مقدار آبستنگی بین سازه و ساحل بیرونی بسیار ناچیز بوده و در مقایسه با آزمایش‌های شاهد حدود ۱۰۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد. با افزایش اعداد فرود ذره به مقدار سه و $3/25$ مشاهده می‌شود تأثیر دیواره بر نواحی بالادست کاهش



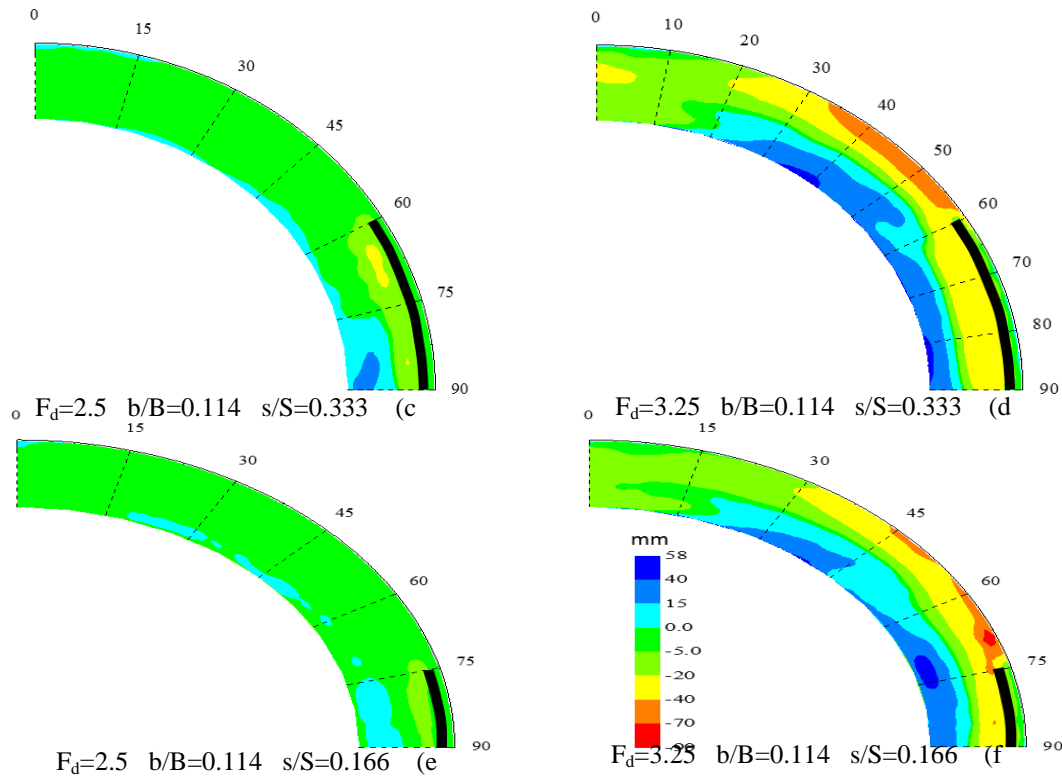


Fig. 6- Bed topography changes for two row submerged wall In three different relative lengths (0.5, 0.333 and 0.166) and particle Fround numbers 2.5 and 3.25

شکل ۶ - تغییرات توپوگرافی بستر برای دیواره‌های مستغرق دو ردیفه ($b/B=0.114$) در سه طول نسبی مختلف (۰/۵)، $۳/۲۵$ و $۲/۵$ و اعداد فرود ذره $۰/۱۶۶$ و $۰/۳۳۳$

طول نسبی $s/S=0.333$

در شکل (c, d) نتایج حاصل از قرارگیری دیواره مستغرق سه ردیفه با طول نسبی $۰/۳۳۳$ نشان می‌دهد به غیر از عدد فرود ذره $۳/۲۵$ فرسایشی که منجر به تخریب ساحل بیرونی شود رخ نداده است و مقدار آبشستگی در این عدد فرود در بالادست سازه در مقایسه با آزمایش شاهد کاهش هفت درصدی داشته است. در مقایسه با آزمایش‌های شاهد، دیواره مستغرق در اعداد فرود $۲/۵$ و $۲/۷۵$ باعث افزایش حداکثر عمق آبشستگی به میزان ۱۹ و ۱۲ درصد شده و در اعداد فرود ۳ و $۳/۲۵$ تغییر معناداری نکرده است.

طول نسبی $s/S=0.166$

آزمایش‌های تک و دو ردیفه در شرایط مختلف جریان نشان دادند که با کاهش طول دیواره عملکرد حفاظتی آن کاهش می‌یابد چرا که خط‌القعر در بالادست سازه با ساحل بیرونی برخورد می‌کند. با توجه به شکل (e, f) ملاحظه می‌شود که در حالت سه‌ردیفه هم عملکرد سازه در این طول نسبی فقط در محدوده بین سازه و ساحل بیرونی موفق بوده و در بالادست آن خط‌القعر به ساحل بیرونی رسیده است. بنابراین چنانچه هدف حفاظت ناحیه کوتاهی از قوس به ویژه در نیمه اول قوس یا اول نیمه دوم قوس باشد، این طول سازه می‌تواند موثر واقع شود.

آزمایش سه ردیفه

در شکل (g) الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری پیرامون دیواره مستغرق سه ردیفه ($b/B=0.166$) در سه طول نسبی $۰/۵$ ، $۰/۳۳۳$ و $۰/۱۶۶$ به ازای اعداد فرود ذره مختلف $۲/۵$ و $۳/۲۵$ نشان داده شده است.

طول نسبی $s/S=0.5$

نتایج شکل (a, b) نشان می‌دهد که در سه عدد فرود ذره $۲/۵$ ، $۲/۷۵$ و سه چاله آبشستگی از ابتدای دیواره تشکیل شده ولیکن در عدد فرود ذره $۳/۲۵$ بخشی از ساحل بیرونی بالادست دچار فرسایش موضعی شده است که در مقایسه با آزمایش شاهد مقدار این آبشستگی ۲۵ درصد کمتر است. همچنین در اعداد فرود ذره $۲/۷۵$ ، $۲/۵$ و ۳ موقعیت حداکثر عمق آبشستگی به ابتدای سازه و حد فاصل ۴۵ و ۶۰ درجه تغییر پیدا کرده است ولی در عدد فرود ذره $۳/۲۵$ کمی پایین‌تر و مابین ۶۰ و ۷۵ درجه است. مقایسه حداکثر عمق آبشستگی با آزمایش‌های شاهد نشان می‌دهد در اعداد فرود ذره $۲/۷۵$ و $۲/۵$ افزایش ۱۳ و ۳ درصدی و در اعداد فرود ذره ۳ و $۳/۲۵$ کاهش ۱۰ درصدی عمق آبشستگی رخ داده است.

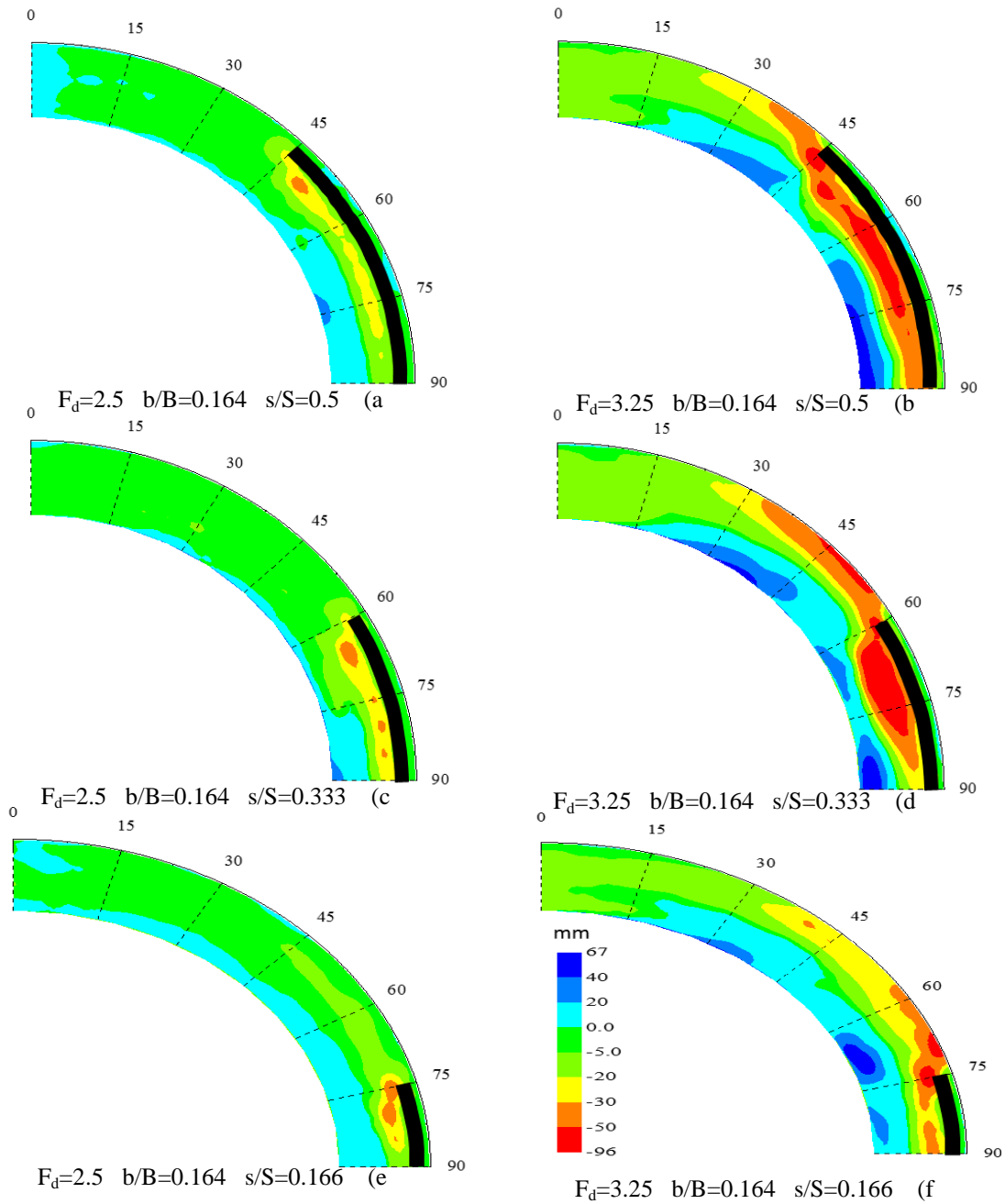


Fig.7- Bed topography changes for three row submerged wall In three different relative lengths (0.5, 0.333 and 0.166) and particle Froud numbers 2.5 and 3.25
 شکل ۷ - تغییرات توپوگرافی بستر برای دیواره‌های مستغرق سه ردیفه در سه طول نسبی مختلف (۰/۱۶۶ و ۰/۳۳۳ و ۰/۵) و اعداد فرود ذره ۲/۵ و ۳/۲۵

دلیل این امر این است با افزایش عرض سازه، سطح مقطع عبور جریان کاهش می‌یابد و منجر به افزایش سرعت جریان و تنش برشی اعمال شده به بستر می‌شود. شکل (۹) نیز نشان می‌دهد برای یک مقدار ثابت از عرض نسبی دیواره، با افزایش طول نسبی دیواره حداکثر عمق آبستگي کاهش پیدا می‌کند. دلیل این امر این است که هر چقدر طول دیواره بیشتر می‌شود، توانایی آن در

با بررسی مقدار حداکثر عمق آبستگي در شرایط مختلف جریان تأثیر تغییرات عرض و طول نسبی دیواره بر حداکثر عمق آبستگي در شکل‌های (۸) و (۹) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که حداکثر عمق آبستگي با افزایش شرایط جریان در همه حالت‌های دیواره مستغرق افزایش می‌یابد. شکل (۸) نشان می‌دهد برای یک مقدار ثابت از طول نسبی، با افزایش عرض نسبی دیواره حداکثر عمق آبستگي نسبی افزایش پیدا می‌کند.

$$\frac{Z_m}{y} = 0.044 \left(\frac{b}{B} \right)^{0.223} \left(\frac{s}{S} \right)^{-0.21} F_d^{2.612} \quad (5)$$

ضریب R^2 معادله فوق برابر ۰/۹۵ محاسبه شد. همچنین درصد متوسط خطای مطلق معادله نیز برابر ۵/۱ درصد محاسبه شد.

شکل (۱۰) مقایسه حداکثر عمق آبستگي نسبی آزمایشگاهی و محاسباتی از معادله (۵) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود تنها چهار داده از مجموع ۳۶ داده خارج از محدوده خطای ۱۵ درصد می‌باشد و نشان‌دهنده دقت معادله می‌باشد.

دور کردن جریان ثانویه اصلی شکل گرفته افزایش پیدا می‌کند و بدین ترتیب باعث کاهش مقدار آبستگي می‌شود.

در بخش آنالیز ابعادی، متغیرهای هیدرولیکی و طراحی تأثیرگذار بر تغییرات حداکثر عمق آبستگي نسبی مورد بررسی قرار گرفت و توسط معادله (۳) بیان شد.

با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و معادله (۳) و با استفاده از نرم افزار SPSS نحوه تأثیر هر کدام از متغیرها تعیین شد و معادله زیر برای محاسبه حداکثر عمق آبستگي در حضور دیواره مستغرق در قوس ۹۰ درجه به دست آمد:

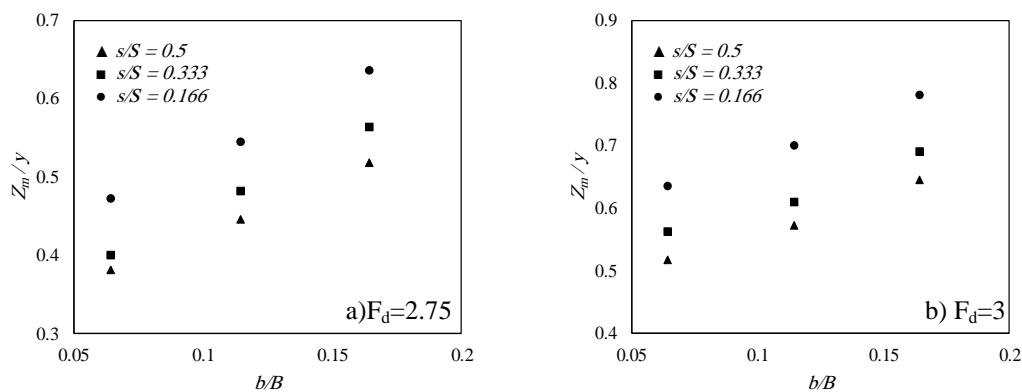


Fig. 8- Changes in the relative width of the submerged wall over the maximum scour depth

شکل ۸- تغییرات عرض نسبی دیواره مستغرق بر حداکثر عمق آبستگي

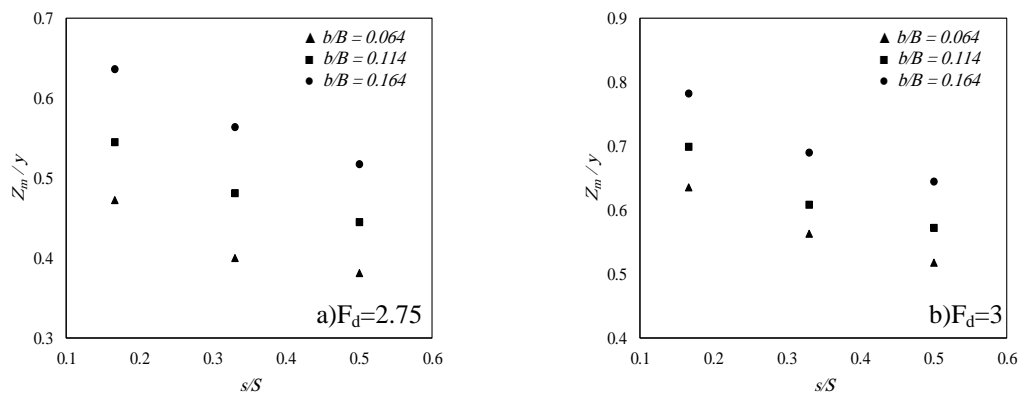


Fig. 9- Changes in the relative length of the submerged wall over the maximum scour depth

شکل ۹- تغییرات طول نسبی مستغرق بر حداکثر عمق آبستگي

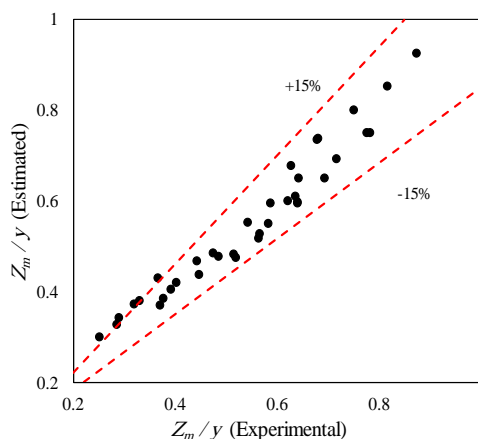


Fig. 10- Comparison of experimental and estimated data

شکل ۱۰- مقایسه داده‌های آزمایشگاهی و محاسباتی

نسبت به ساحل بیرونی فقط برای اعداد فرود ذره کمتر از ۲/۵ و برای حفاظت بخش کوتاهی از قوس توجیه‌پذیر است. مقایسه تعداد ردیف هم نشان داد در مقایسه با دیواره‌های تک ردیفه و دو ردیفه، مقدار آبستگي در حالت سه ردیفه افزایش پیدا کرده است و دلیل آن کاهش سطح مقطع عبوری جریان و در ادامه افزایش سرعت و تنش وارده بر رسوبات است.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر با کمک مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم به شماره Scu-wh1400.470 انجام گردیده است. بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌منظور تأمین هزینه‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری

در تمامی آزمایش‌های ارزیابی این تحقیق، آبستگي بین دیواره مستغرق و ساحل بیرونی ناچیز بوده و دیواره توانسته آبستگي ساحل بیرونی را در مقایسه با آزمایش شاهد حدود ۱۰۰ درصد کاهش دهد و موجب دور شدن خط‌القدر از ساحل بیرونی شده است. با افزایش عدد فرود ذره، موقعیت حداکثر عمق آبستگي به سمت بالادست سازه تغییر کرده و می‌تواند پایداری ساحل بیرونی را به مخاطره بیندازد ولی در ادامه به‌دلیل حضور تأثیر سازه و تأثیر آن، به سمت میانه کانال تغییر مسیر داده و در راستای دیواره به سمت پایین دست ادامه پیدا کرده است. همان‌طور که مشاهده شد عملکرد دیواره مستغرق با طول نسبی ۰/۵ نسبت به دیواره با طول نسبی ۰/۳۳۳ بهتر می‌باشد. هم‌چنین استفاده از دیواره مستغرق با طول نسبی کم (۰/۱۶۶)

References

- 1- Atashi, V., Shafai Bejestan, M. and Golrokh, I., 2016. Experimental study of the effect of W-weir on reduction of scour depth at 90 degree sharp bend. *Journal of Water and Soil, Ferdowsi University of Mashhad*, 30(2), pp.392-404. DOI: 10.22067/JSW.V30I2.39431. (In Persian).
- 2- Bahrami Yarahmadi, M. and Shafai Bejestan, M., 2016a. Sediment management and flow patterns at river bend due to triangular vanes attached to the bank. *Journal of Hydro Enviromental Research*, 10, pp.64-75. DOI: 10.1016/j.jher.2015.10.002.
- 3- Bahrami Yarahmadi, M. and Shafai Bejestan, M., 2016b. Study of the effect of length variations of triangular-shaped vanes on erosion and sedimentation patterns in a 90° mild bend. *Journal of Ferdowsi Civil Engineering*. 27(1), pp.87-100. Doi: 10.22067/civil.v27i1.24565 (In Persian).
- 4- Blanckaert, K. and Graf, W.H., 2001. Mean flow and turbulence in open-channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(10), pp.835-847. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:10(835).
- 5- Blanckaert, K. and De Vriend, H.J., 2004. Secondary flow in sharp open-channel bends. *Journal of Fluid Mechanics*, 498, pp.353-380. DOI: 10.1017/S0022112003006979.
- 6- Blanckaert, K., 2010. Topographic steering flow recirculation, velocity redistribution and bed topography in sharp meander bends. *Water Resources Research*, 46(9), pp. 231-245. DOI: https://doi.org/10.1029/2009WR008303.

- 7- Da Silva, A.M.F., El-Tahawy, T. and Tape, W.D., 2006. Variation of flow pattern with sinuosity in sine-generated meandering streams. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10), pp.1003-1014. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:10(1003).
- 8- Ferro, V., Shokrian Hajibehzad, M., Shafai-Bejestan, M. and Kashefipour, S.M., 2019. Scour around a permeable groin combined with a triangular vane in river bends. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 145 (3). pp.04019003(1-12). DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001380
- 9- Jarrahzade F. and Shafai-Bejestan. M. 2011. Comparison of maximum scour depth in Bank line and nose of submerged weirs in a sharp bend. *Scientific Research and Essays*. 6(5). pp. 1071-1076.
- 10-Jarrahzade, F., Kashefipour, S.M. and Shafai-Bejestan, M. 2017. The effects of permeable, impermeable and bandal-like spur-dike angel on geometric dimensions of scouring in submerged conditions. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, pp.1-14. DOI: 10.22055/jise.2017.13153. (In Persian).
- 11-Kashyap, S., Constantinescu, G., Rennie, C.D., Post, G. and Townsend, R., 2012. Influence of channel aspect ratio and curvature on flow, secondary circulation and bed shear stress in a rectangular channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(12). pp.1045-1059. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000643.
- 12-Khalifehei, K., Aziziyani, Gh.R., Shafai Bejestan, M. and Chau, K.W., 2020. Stability of A-Jack concrete block armors protecting the riverbeds. *Ain Shams Engineering Journal*. DOI: 10.1016/j.asej.2020.04.018
- 13-Odgaard, A.J. and Bergs, M.A., 1988. Flow processes in a curved alluvial channel. *Water Resources Research*, 24(1), pp.45-56. DOI: 10.1029/WR024i001p00045.
- 14-Pourmansouri, R., Shafai Bejestan. M. and Bahrami Yarahmadi, M., 2020. Investigation of the effect of the immersed vanes angle on scouring around the bridge abutment. *Jornal of Water and Soil Conservation*, 26(5). pp. 77-93. DOI: 10.22069/JWSC.2019.16010.3124. (In Persian).
- 15-RashkiGhalehNou, M., Azhdary –Moghaddam, M., Shafai Bajestan, M. and Azmathulla, H.M., 2020. Control of bed scour downstream of ski-jump spillway by combination of six-legged concrete elements and riprap, *Ain Shams Engineering Journal*. pp.1-13. DOI: 10.1016/j.asej.2020.01.009.
- 16-Rezania, A.R., Shafai-Bejestan, M. and Kashefipour, S. M., 2009. Experimental investigation on the effects of horizontal footing on topography of bed in 90 bend. *Journal of Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 3(6). pp.27-38. (In Persian).
- 17-Rozovskiĭ, I.L., 1957. *Flow of water in bends of open channels*. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, *Institute of Hydrology and Hydraulic Engineering*.
- 18-Shukry, A., 1950. Flow around bends in an open flume. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 115(1), pp.751-778. DOI: 10.1061/TACEAT.0006426.
- 19-Thornton, C.I., Watson, C.C., Abt, S.R., Lipscomb, C.M. and Ullman, C.M., 1999. Laboratory testing of A-Jacks units for inland applications: pier scour protection testing. *Colorado State University research report for Armortec Inc. February*.
- 20-Thornton, C.I., Abt, S.R. and Watson, C.C., 2001. Field Assessment of A-Jacks Installation, A Case Study of Brush Creek, Kansas City, Missouri, and Powell Creek, Waukegan, Illinois. In *Wetlands Engineering & River Restoration 2001* (pp. 1-8). DOI: 10.1061/40581(2001)58.
- 21-Vaghefi, M., Ghodsian, M. and Salehi Neyshabouri, S.A.A., 2012. Experimental study on scour around a T-shaped spur dike in a Channel Bend. *Journal of Hydraulic Engineering. American Society of Civil Engineers*, 138(5). pp.471-474. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000536.

-
- 22-Zilai, Z. and Shafai Bajestan, M., 2016. Effects of six-leg elements row quantity on reduction of cubic bridge pier scour depth. *Journal of Water and Soil science*, 26(4.2). pp 187-200. (In Persian).
- 22- Zolghadr, M., Shafai Bajestan, M. and Rezaeianzadeh, M., 2016. Investigating the effect of six-legged element placement density on local scour at wing-wall bridge abutments. *World Environmental and Water Resources Congress. Florida. USA: West Palm Beach*, pp.28-36. DOI: 10.1061/9780784479872.004.
- 23- Zolghadr, M. and Shafai Bajestan, M., 2020. Six legged concrete (SLC) elements as scour countermeasures at wing wall bridge abutments. *International Journal of River Basin Management*. DOI: 10.1080/15715124.2020.1726357.

EXTENDED ABSTRACT

Use of analytical data and intelligent models in runoff precipitation simulation (Case study: Bazoft basin)

B. Zaki¹, A.M. Akhoond-Ali^{2*}, M. Fathi-Moghadam³ and M.A. Maddah⁴

1- Graduated with a PhD, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2* - Corresponding Author, Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (aliakh@scu.ac.ir).

3- Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

4- Assistance Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 5 January 2021

Revised: 1 February 2021

Accepted: 14 February 2021

Keywords:

Artificial Neural Network, ERA-Interim, Morghak station, precipitation time-series, wavelet transform.

TO CITE THIS ARTICLE:

Zaki, B., Akhoond-Ali, A. M., Fathi-Moghadam, M., Maddah, M. A. (2024). 'Use of analytical data and intelligent models in runoff precipitation simulation (Case study: Bazoft basin)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(2), pp. 17-30. doi: 10.22055/jise.2021.36292.1947.

Abstract

Today, the use of intelligent models in simulating runoff has been widely used in water resources management. In this study, in order to predict the daily flow time series of the Morghak hydrometric station in Karun basin, an intelligent model of artificial neural network combined with wavelet analysis has been used. For this purpose, the ERA-INTRIM observational and analytical precipitation time series for 16 years (1378-1382) was decomposed by wavelet transform into frequency subsets, then each subset separately as input data to the artificial neural network model was introduced. The results showed that the analytical data have a high ability to simulate runoff precipitation models and can be a good alternative to observation data of rainfall stations. Also, according to the results of the wavelet transform technique, it can be effective in improving the performance of the simple ANN model for the Bazoft basin by 38% on a daily scale and 72% on a monthly scale.

Introduction

Estimation and forecasting of precipitation and its runoff have played effective and critical role in the watershed management and proper utilization of watershed, dams, and reservoirs and finally minimizing the damage caused by floods and drought. Therefore, this subject is the hydrologist's interest. Predicting any event forms the basis of crisis management, and when this goal can be achieved, the predicting model could be accessed. Several methods are used for predicting hydrological events such as precipitation. Using each of these methods is always with some error in results. Accurate prediction of hydrological signals such as precipitation can provide useful information to predict amount of precipitation for water resources and soil management in a basin. In addition, correct prediction of hydrological signals plays an important role in reducing the effects of drought on water resources systems. Hydrological systems are affected by many factors such as climate, land cover, soil infiltration rates, evapotranspiration which is dependent on stochastic components, multitemporal scales, and above-

mentioned nonlinear characteristics. Despite nonlinear relationships, uncertainty, and high lack of precision and variables temporal and spatial characteristics in water circulation system, none of the statistical and conceptual models which are proposed for accurate precipitation and runoff modeling were able to become a superior and capable model. Today, nonlinear networks are widely used as one intelligent system in predicting such a complex phenomenon. One of the methods that have been considered in recent years in the field of hydrology is the application of wavelet transform as new and effective method in signals and time series analysis. Monthly modeling and predicting of river flow D4 structure was used with application of wavelet neural network method and monthly flow data from two stations (Gerdelli Station on Canakdere River and Isakoy Station on Goksudere River) in the Eastern Black Sea, Turkey.

The neuro-wavelet model improved by two methods: combining discrete wavelet transform and multilayer perceptron (MLP) to predict monthly flow, compared with multilayer perceptron models of multilinear regression (MLR) and auto-correlated model (AR). Improvement in the performance of artificial neural networks (ANN) to predict seasonal time series was reviewed. So several structures of proposed artificial neural network are presented to predict seasonal time series. The model for four full time series was tested. The results of proposed neural network had been compared with the results of current statistical models and other structures of neural network. This comparison showed that the proposed model of neural network has less prediction error than other methods (Nourani *et al.*, 2011). Approach improvement based on the precipitation-runoff modeling using a combination of artificial neural network-wavelet is performed, which shows the model that precipitation and discharge data entered as an input outperformed than the model just precipitation was entered as an input. Precipitation-runoff model using a combination of wavelet-neural network model is presented. According to the fitted coefficients (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) concluded that the hybrid model of wavelet neural network is more efficient than the neural network and regression (Nourani and Komasi, 2013).

Materials and Methods

Bazoft basin is one of the sub-basins of big Karun with an area of 2973 square kilometers, which is located in the central part of the basin. This basin is completely mountainous and high, so that 2924 square kilometers are highlands. The minimum height in the basin is 861 meters and the maximum is 4091 meters above sea level in the northern parts. The average altitude in this area is 2115 meters above sea level. The Bazoft River is one of the most important tributaries of the Karun River, which originates from the foothills of the high Turks and Minar Mountains, 80 km southwest of Frieden. The length of this river is 160 km and its catchment area is located in high, snowy and mountainous areas and has a constant flow of water. The long-term average flow of this river at Marghk station is about 69.1 cubic meters per second. Figure (1) shows the location of the Bazoft basin. In this research, the Morghak station has been used to calibrate and validate the prediction models.

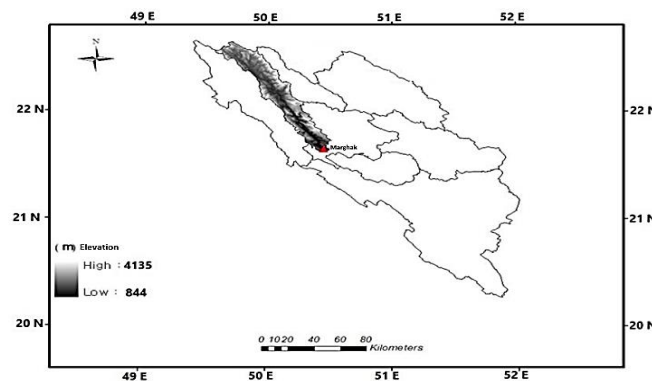


Fig. 1- Location of meteorological and hydrometric station of Morghak in the Bazoft basin

Table 1- Results of ANN model in daily and monthly time scales

Precipitation data	Network structure	Input variables	(R^2)	
			Training	Validation
ERA-Intrim	(2,9,1)	P(t), E(t)	0.782	0.762
Observations	(2,6,1)		0.780	0.784
ERA-Intrim	(4,9,1)		0.776	0.679
Observations	(4,6,1)	P(t), P(t-1), E(t), E(t-1)	0.795	0.789
ERA-Intrim	(6,11,1)		0.785	0.779
Observations	(6,11,1)	P(t), P(t-1), P(t-2), E(t), E(t-1), E(t-2)	0.803	0.793
ERA-Intrim	(8,14,1)	P(t), P(t-1), P(t-2), P(t-3), E(t), E(t-1), E(t-2), E(t-3)	0.794	0.779
Observations	(8,14,1)		0.786	0.790
ERA-Intrim	(10,14,1)	P(t), P(t-1), P(t-2), P(t-3), P(t-4), E(t), E(t-1), E(t-2), E(t-3), E(t-4)	0.789	0.780
Observations	(10,9,1)		0.794	0.788

Results and Discussion

In order to model the rainfall-runoff process of the basin, the Multi-Layer Perceptron (MLP) model with feed-in network structure was used. This type of neural network model with error propagation algorithm is widely used in modeling hydrological parameters (ASCE, 2000). In this study, five input models were used for the neural network model, the results of which are presented in Table (1). Each MLP model was trained with 3-20 hidden neurons in the hidden layer and the Lorentz-Marquadt training algorithm. It has been shown that when the number of hidden layer neurons exceeds the threshold, it does not have a significant effect on model performance (Abrahart and see, 2000). In this modeling based on evaluation criteria, the model did not show good results on a daily time scale, which may be due to the presence of unstable signals in the data. Increasing the time steps to enter the ANN model did not significantly improve the performance of the model, but in general, due to the ease of access to ERA-Intrim data and good performance as well as observational data, its neural network structures were selected as the appropriate model. Also, three time steps were selected as the appropriate input for using the model. In the next step, by combining wavelet analysis and ANN model, the effect of mother wavelet type and analysis level on the performance of WANN model was investigated. In this study, the time series of data were analyzed with Haar mother wavelets (simple mother wavelet) and db-4 (complex mother wavelet) at different levels. Then, the obtained subsets at different levels were considered as the input of ANN model. According to the results, the db-4 mother wavelet performs better than the Haar mother wavelet. It should be noted that the level of decomposition of rainfall and runoff time series was considered the same. The scatter plot and time series of the observational data and the selected model are given in Figures (2) and (3). As shown in the simulated flow dispersion diagram using the hybrid model, this model had an estimated minimum of 18% in the simulated flow rate estimation at discharges above 400 cubic meters per second.

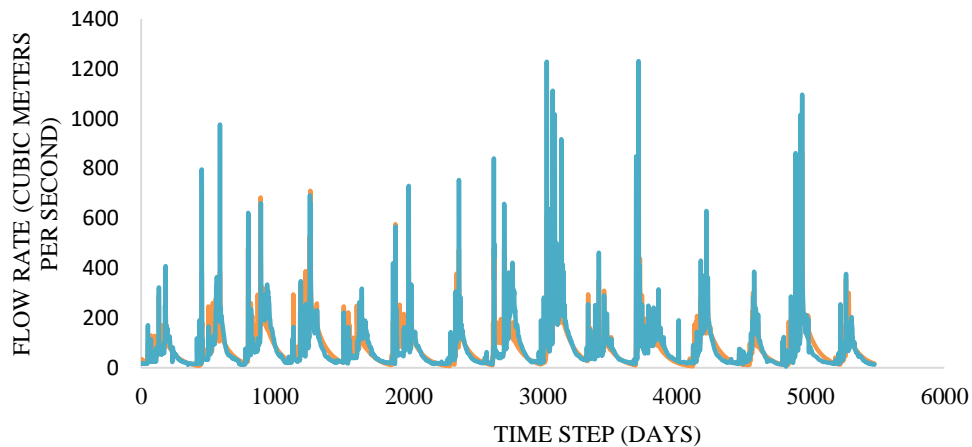


Fig. 2- Selected time series of neural wavelet model for Morghak hydrometric station

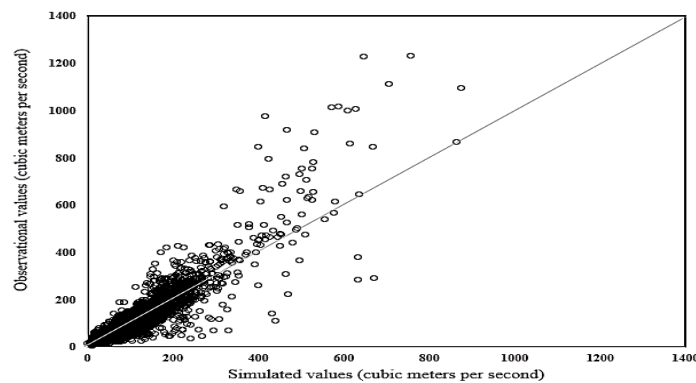


Fig. 3- Dispersion diagram of selected wavelet-neural model for Morghak hydrometric station

Acknowledge

This work was supported by the Research Council of the Shahid Chamran University of Ahvaz (Grant number: SCU.WH99.457). The authors also thank the Khuzestan Water and Power Authority (KWPA) for providing the data, used in this paper.

References

- 1- Abrahart, R.J. and See, L., 2000. Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments. *Hydrological processes*, 14(11-12), pp.2157-2172. DOI:10.1002/1099-1085(20000815/30)14:11/12<2157::AID-HYP57>3.0.CO;2-S
- 2- ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000. Artificial neural networks in hydrology. II: Hydrologic applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), pp.124-137.
- 3- Nourani, V., Kisi, Ö. and Komasi, M., 2011. Two hybrid artificial intelligence approaches for modeling rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 402(1-2), pp.41-59. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.002.
- 4- Nourani V., and Komasi M. 2013. A geomorphology-based ANFIS model for multi-station modeling of rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 490, pp. 41-55. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.03.024.





استفاده از داده‌های باز تحلیلی و مدل‌های هوشمند در شبیه‌سازی رابطه بارش رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز بازفت)

بهزاد زکی^۱، علی محمد آخوندعلی^{۲*}، منوچهر فتحی مقدم^۳ و محمدامین مداح^۴

- ۱- دانش آموخته دکتری، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 ۲- استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. aliakh@scu.ac.ir
 ۳- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 ۴- استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶

بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۳

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶

چکیده

امروزه استفاده از مدل‌های هوشمند در شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب کاربرد زیادی به‌ویژه در مدیریت منابع آب پیدا کرده است. در این مطالعه به‌منظور پیش‌بینی سری زمانی جریان روزانه در ایستگاه هیدرومتری مرغک، واقع در حوضه کارون، از مدل هوشمند شبکه عصبی مصنوعی تلفیق شده با آنالیز موجک استفاده شده است. برای این منظور، سری زمانی بارش مشاهده‌ای و باز تحلیلی ERA-INTRIM به مدت ۱۶ سال (۱۳۸۲-۱۳۹۷) به‌وسیله‌ی تبدیل موجک به زیر سری‌های فرکانسی تجزیه شد، سپس این زیر سری‌ها هر کدام به‌طور جداگانه به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل شبکه عصبی مصنوعی وارد گردید. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که داده‌های باز تحلیلی توانایی بالایی در شبیه‌سازی مدل‌های بارش رواناب دارند و می‌توانند جایگزین خوبی برای داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های بارش باشند. همچنین مطابق نتایج روش تبدیل موجک می‌تواند بر بهبود عملکرد مدل ANN ساده برای حوضه بازفت در مقیاس روزانه برابر ۳۸ درصد و در مقیاس ماهانه برابر ۷۲ درصد مؤثر باشد.

کلید واژه‌ها: تبدیل موجک، سری زمانی بارش، شبکه عصبی مصنوعی، ایستگاه مرغک، ERA-Intrim.

مقدمه

محدودیت پوشش مکانی است. امروزه، با ظهور فناوری‌های پیشرفته در فرآیند دریافت اطلاعات هواشناسی ماهواره‌ای، روش‌های متعددی در زمینه پردازش داده‌ها و برآورد مقادیر بارندگی مطرح شده است. استفاده از داده‌های باز تحلیلی شده به‌عنوان یک ابزار مؤثر، شکاف‌های اندازه‌گیری زمینی را کاهش داده و مشکلات موجود را تا حدودی برطرف می‌نماید. مزیت بررسی بارندگی با استفاده از داده‌های باز تحلیلی، شناخت بهتر پدیده بارش و پارامترهای مؤثر آن در یک گستره مکانی وسیع است. به‌همین دلیل طی دهه‌های اخیر محققان زیادی به تلاش و تحقیق در زمینه‌ی تخمین بارندگی با داده‌های باز تحلیلی پرداخته‌اند.

اولین داده‌های باز تحلیلی شده در سال ۱۹۷۹ تولید شد و در اختیار پژوهشگران این زمینه قرار گرفت. در ادامه با توجه به عملکرد این مدل، ایرادهای آن برطرف شد و خروجی‌های مدل پیوسته بهبود یافت. گرچه اصلاح پیوسته مدل‌ها باعث کاهش خطای داده‌های پیش‌بینی و خطای باز تحلیلی شده اما از طرفی باعث می‌شد که سری‌های زمانی داده‌های باز تحلیلی شده همگنی لازم را در طی زمان از دست بدهند و کارایی لازم برای بررسی تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین را نداشته باشند (Raziei et al., 2011). Bengtsson و Shukla (1988) و Trenberth و Olson (1988) برای حل این موضوع پیشنهاد استفاده از یک

امروزه برآورد رواناب در حوضه‌ها به‌عنوان یک مسأله مهم در مدیریت منابع آب مطرح است و بخش جدا نشدنی مطالعات طرح‌های آبی به‌شمار می‌آید (Nourani and Komasi, 2013). مدل‌های متعددی به‌منظور شبیه‌سازی این فرآیند پیچیده هیدرولوژیک توسعه پیدا کرده است. مدل‌های هوشمند هم‌چون شبکه عصبی مصنوعی Artificial Neural Network (ANN) توانایی نسبتاً خوبی در مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی هیدرولوژیک غیر خطی نشان داده‌اند (Nourani et al., 2009). به‌عنوان مثال، Pourhaghi et al (2018) نشان دادند که شبکه‌های عصبی مصنوعی به خوبی می‌توانند رابطه بین بارندگی و رواناب را مدل‌سازی کنند. در مدل‌های هوش مصنوعی، مهمترین داده ورودی مدل‌های شبیه‌ساز بارش-رواناب، پارامتر بارش است. روش‌های سنتی مورد استفاده برای این پارامتر دارای مشکلاتی از جمله پرهزینه بودن، عدم استقرار ایستگاه اندازه‌گیری در مناطق صعب العبور، پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی است. رادارهای بارندگی برخی از این مسائل را تا حدودی برطرف می‌نماید اما آن‌ها هم دارای مشکلاتی از جمله پرهزینه بودن، داشتن خطاهای معنی‌دار، ناهمگنی جمع‌آوری داده به خاطر پراکنندگی مکانی و خطای تبدیل بازتاب‌پذیری به نرخ بارندگی و

هم متصل شده اند. شبکه عصبی با استفاده از آمار گذشته و شبکه‌ای از گره‌ها یا نرون‌های ساده که به یکدیگر متصل بوده و هر یک عملیات ریاضی ساده‌ای انجام می‌دهند، می‌تواند سیستم‌های پیچیده را شبیه‌سازی کند. تبدیل‌های موجک برای تجزیه و جدا کردن روند از جزئیات داده‌ها به‌کار می‌روند. به‌وسیله این تبدیل‌ها سری‌های زمانی به موجک‌هایی تقسیم می‌شوند که هر یک نسخه‌های جابه‌جا شده و مقیاس شده از موجک مادر هستند. تبدیل موجک به دو صورت گسسته و پیوسته انجام می‌شود. تبدیل موجک پیوسته در تمام مقیاس‌ها می‌تواند عمل کند ولی در عین حال به مقدار زیادی داده و زمان محاسباتی نیاز دارد؛ بنابراین در بیشتر پژوهش‌ها از تبدیل موجک گسسته به دلیل سادگی و سرعت زیاد محاسبات (با توجه به دقت مورد نیاز) استفاده شده است.

در مدل ترکیبی شبکه عصبی-موجک (WANN) زیرسری‌هایی که توسط تبدیل‌های موجک تولید شده‌اند، به عنوان ورودی شبکه عصبی استفاده می‌شوند؛ به این صورت که هر زیرسری به طور جداگانه به همراه بارندگی به شبکه عصبی اعمال شده و شبکه آموزش داده شده و تست می‌شود. در نهایت خروجی شبکه یا همان هیدروگراف آینده در زمان $t+1$ ، با جمع جبری مقادیر متناظر پیش‌بینی شده تمام زیرسری‌ها به دست می‌آید. برای این منظور برنامه ای با نرم‌افزار R2019 MATLAB نوشته شد. شکل (۱) به صورت شماتیک این مدل را نشان می‌دهد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز بازفت یکی از زیرحوضه‌های کارون بزرگ با وسعت ۲۹۷۳ کیلومتر مربع می‌باشد که در قسمت مرکزی حوضه واقع شده است. این حوضه کاملاً کوهستانی و مرتفع بوده به طوری که ۲۹۲۴ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. حداقل ارتفاع در حوضه ۸۶۱ متر و حداکثر آن ۴۰۹۱ متر از سطح دریا مربوط به قسمت‌های شمالی آن می‌باشد. متوسط رقم ارتفاعی در این محدوده معادل ۲۱۱۵ متر از سطح دریا است. آمار ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی موجود در این حوضه در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است. رودخانه بازفت از شاخه‌های مهم رودخانه کارون بوده که از دامنه‌های کوه‌های بلند تورک و منار واقع در ۸۰ کیلومتری جنوب غربی فریدن سرچشمه می‌گیرد. طول این رودخانه ۱۶۰ کیلومتر بوده و حوضه آبریز آن در مناطق مرتفع، برف‌گیر و کوهستانی واقع شده و دارای جریان آب دائمی می‌باشد. دبی متوسط دراز مدت این رودخانه در ایستگاه مرغک حدود ۶۹/۱ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. در شکل (۲) موقعیت حوضه آبریز بازفت نشان داده شده است. در این تحقیق از ایستگاه مرغک به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های پیش‌بینی استفاده شده است.

مدل معین (بدون تغییر در طی زمان) ولی با داده‌های روزآمد را برای تولید داده‌های بازتحلیل شده عرضه دادند. این پیشنهاد سازنده سبب شد تا مراکز تولید داده‌های بازتحلیل شده مانند European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) مدل معینی را برای تولید داده‌های بازتحلیل شده مورد استفاده قرار دهد و داده‌های بازتحلیل شده ۱۵ روزه را عرضه کند که از ۱۹۷۹ تا ۱۵ سال بعد را پوشش می‌داد. مرکز ECMWF بعدها داده‌های ERA-40 را عرضه کرد که نسبت به ERA-15 دقت مکانی و ارتفاعی به مراتب بیشتری داشت. با توجه به بازخورد داده‌های ERA-15 و ERA-40 این مرکز توانست ERA-Intrim را عرضه کند که نسل پیشرفته‌تری از دو نسخه پیشین است (Dee et al., 2011). تحقیقات خوبی در زمینه استفاده از داده‌های ECMWF انجام شده است (Belo-Pereira et al., Rubel and Rudolf, 2001؛ Schiemann et al., 2008؛ Ma et al., 2009؛ 2011؛ Peña-Arancibia et al., 2013؛ Wang et al., 2012؛ Rhodes et al., 2015؛ De Leeuw et al., 2015).

در ایران نیز کم و بیش تحقیقات خوبی در زمینه استفاده از داده‌های پیش‌تحلیل شده انجام شده است (Azizian and Ramezani, 2019؛ Sharghi et al, 2018 Bahroloum et al., 2020). Raziei و Sotoudeh (2017)، به بررسی داده‌های بارش مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) پرداختند. این کار برای مناطق گوناگون اقلیمی ایران انجام شد. نتیجه این بررسی نشان داد که Interim-ERA دقت خوبی در پیش‌بینی بارش بسیاری از نقاط کشور دارد و میزان خطای آن در بیش از ۷۰ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی اندک و قابل چشم‌پوشی است. با توجه به محدودیت اطلاعات مورد نیاز روابط تجربی و دقت بالای مدل‌های هوشمند کاربرد مدل‌های عصبی مصنوعی قابل توصیه است. در این مطالعه برای دستیابی به نتایج مطلوب، واسنجی مدل در طول دوره آموزش استفاده گردید تا از بروز مشکلات بیش‌برازش جلوگیری کرده و عملکرد مدل را بهبود بخشد. با این حال، هنوز محدودیت‌هایی مانند زمان بهینه‌سازی مورد نیاز برای شبیه‌سازی را می‌توان در نظر گرفت. هدف از این مطالعه، مدل‌سازی بارش رواناب با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی حوضه آبریز بازفت است. در این مطالعه از داده‌های پیش‌تحلیل به‌عنوان ورودی مدل استفاده شده است و نتایج آن با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، الهام گرفته شده از فرآیند یادگیری مغز انسان است. یک شبکه عصبی شامل تعداد زیادی نرون مصنوعی است که بر طبق معماری خاص شبکه به

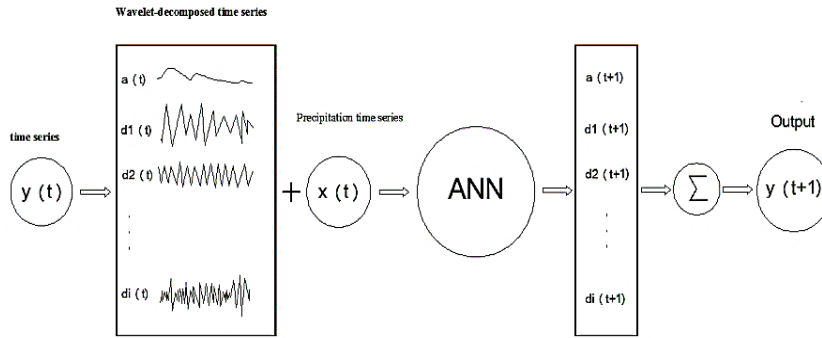


Fig. 1- Structure of proposed WANN model

شکل ۱- ساختار مدل پیشنهادی ترکیبی شبکه عصبی - موجک

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبریز بازفت

Table 1- Details of meteorological stations of Bazoft catchment

Station	Type	Height (m)	Longitude (Degree)	Latitude (Degrees)	Latitude (Degrees)	Station Code
Goshehpol-Baran	Ordinary rain gauge	1712	49.94	32.36	1985	21435
Chaman Goli	Evaporation	1531	50.03	32.21	1996	21150
Chaman Goli	Ordinary rain gauge	1500	50.03	32.2	-	42140
Morghak	Evaporation	949	50.45	31.66	2000	21233

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز بازفت

Table 2- Specifications of Bazoft catchment hydrometric stations

Station	Type	Height (m)	Longitude (Degree)	Latitude (Degrees)	Latitude (Degrees)	Station Code
Goshehpol-Baran	Grade 4 water meter	1716	49.94	32.36	Ab Torke	21435
Tashnavu	Grade 4 water meter	1722	49.90	32.38	Tashnavi	21996
Shahid Khedri Bridge	Grade 1 water meter	1665	49.85	32.39	Bazoft	21060
Mavarz	Grade 1 water meter	1476	50.07	32.17	Bazoft	21476
Booeeneh Shengi	Grade 4 water meter	1675	49.85	32.41	Shengi	21481
Morghak	Grade 1 water meter	913	50.45	31.66	Bazoft	21233

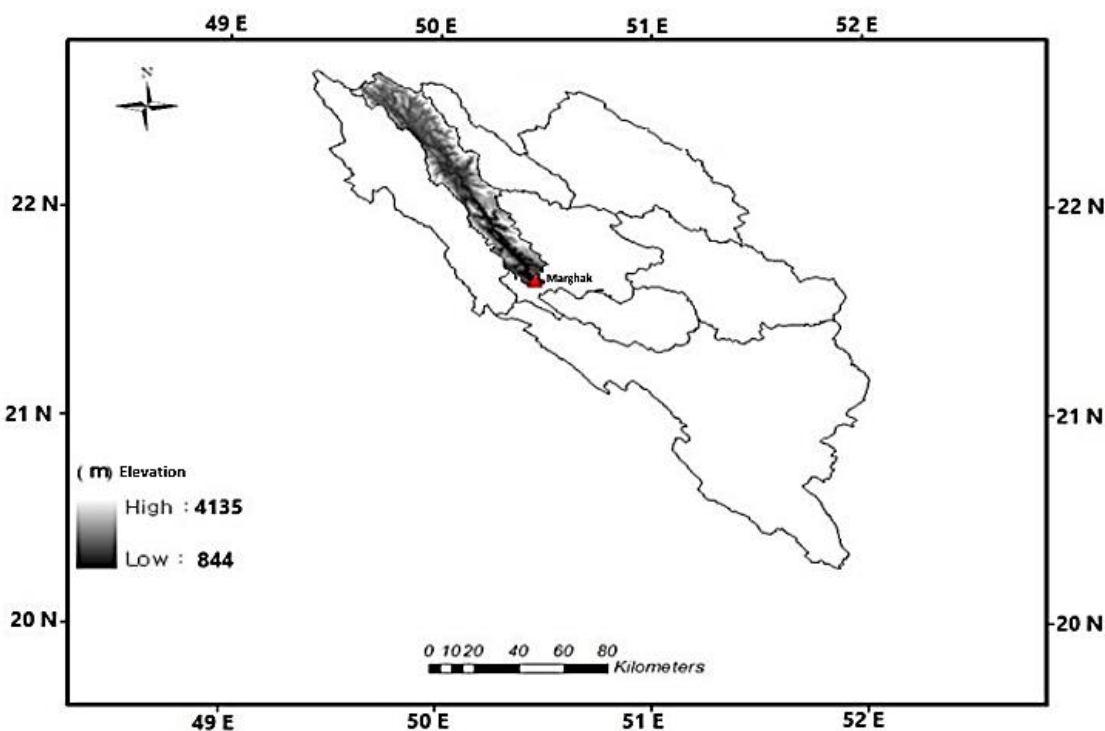


Fig. 2- Overview and location of meteorological and hydrometric stations of Bazoft catchment (Almasi et al, 2017)

شکل ۲- نمای کلی و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضه آبریز بازفت (Almasi et al, 2017)

میانگین حوضه آبریز را نشان دهد. داده‌های باز تحلیل شده علاوه بر حل این مشکلات، به آسانی در دسترس همگان است و برای تمام حوضه‌های آبریز قابل تهیه است. امروزه پایگاه‌های اطلاعات هواشناسی متعددی برای تهیه این اطلاعات وجود دارد. هر یک از پایگاه‌ها از الگوریتم خاصی برای تهیه این آمار استفاده می‌کنند که اهمیت بررسی صحت و عدم قطعیت آنها الزامی است. ERA-Interim آخرین به روزرسانی جو زمین است که توسط مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌برد هوا (ECMWF) ارائه شده است. (Raziei and Sotoudeh, 2017) این داده‌ها پارامترهای زیادی از جمله دما، بارش، تبخیر و تعرق، فشار بخار آب و تابش کل خورشیدی را شامل می‌شود. در این تحقیق، از پایگاه داده ERA-Interim برای تهیه داده‌های بارش و تبخیر استفاده گردید که نمودار آن‌ها در شکل (۴) آورده شده است. خلاصه آمار به‌کار برده شده در جدول (۳) آمده است.

جمع‌آوری اطلاعات و ابزار مورد نیاز

اطلاعات آب‌سنجی

به‌منظور شبیه‌سازی حوضه آبریز بازفت از داده‌های آب‌سنجی ایستگاه مرغک استفاده شد. ایستگاه هیدرومتری مرغک در خروجی حوضه آبریز بازفت قرار داد. داده‌های این ایستگاه به صورت روزانه از سال ۱۳۴۵ تاکنون توسط سازمان آب و برق خوزستان ثبت گردیده و در دسترس می‌باشد. سری زمانی روزانه داده‌های آب‌سنجی ایستگاه مرغک در شکل (۳) آمده است.

اطلاعات هواشناسی ERA-Interim

شبیه‌سازی مدل بارش- رواناب حوضه آبریز بازفت نیازمند داده‌های بارندگی است. این اطلاعات می‌تواند از ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیکی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی تهیه گردد. ایراد این اطلاعات علاوه بر صرف وقت و هزینه زیاد این است که این آمار نماینده یک نقطه روی زمین است و نمی‌تواند

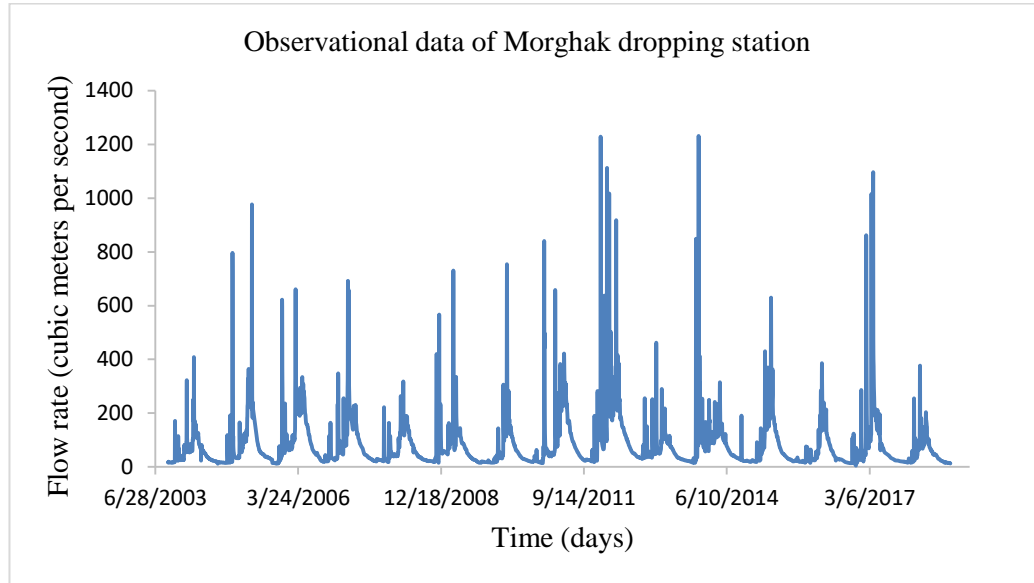


Fig. 3- Daily flow chart of Morghak hydrometric station
 شکل ۳- نمودار آبدهی روزانه ایستگاه هیدرومتری مرغک

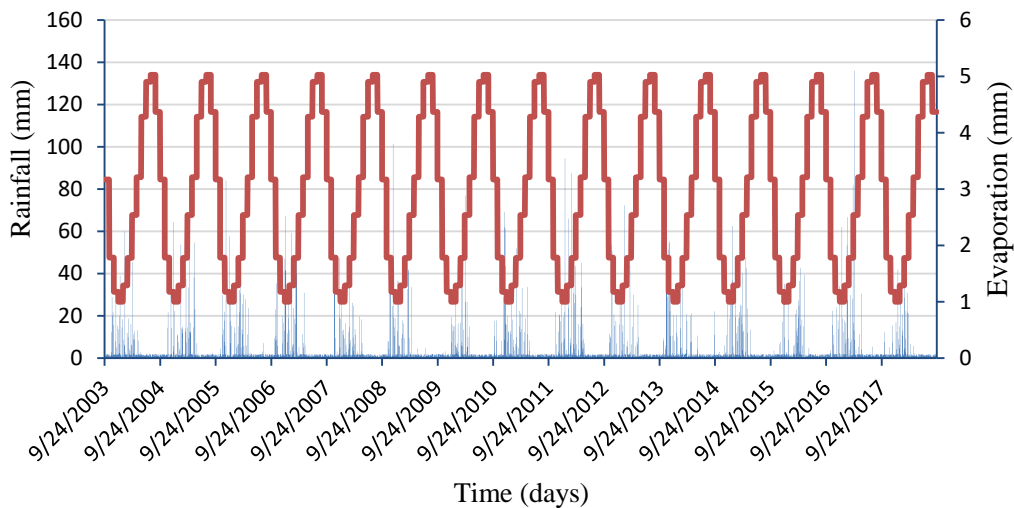


Fig. 4- Graph of average rainfall and daily evaporation of ERA-Intrim database for Bazoft catchment
 شکل ۴- نمودار میانگین بارش و تبخیر روزانه پایگاه اطلاعات داده ERA-Intrim برای حوضه آبریز بازفت

جدول ۳- خلاصه آمار داده‌های آب‌سنجی و هواشناسی مورد استفاده در مطالعه حاضر

Table 3 - Summary of hydrometric and meteorological data used in the present study

Station name	Station type	Average(cms)	Maximum(cms)	Minimum(cms)	Coefficient of Variation
Morghak	Hydrometry	33.41	680	1.97	41.42
ERA-Intrim	Rainfall	1.34	57.55	0	5.31
Observations	Rainfall	2.28	136.79	0	8.14

معیارهای ارزیابی مدل

در این پژوهش، برای ارزیابی مدل‌های مورد نظر از نمایه‌های ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش - ساتکلیف (NS) استفاده شده است. در روابط زیر، Q_i مقدار مشاهده شده در گام i ام، \hat{Q}_i مقدار محاسبه شده در همان زمان، n تعداد داده‌ها و \bar{Q} میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشد (روابط ۱ و ۲). هرچه مقدار ضریب همبستگی بالاتر و RMSE کمتر باشد، نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتر هستند و ضریب NS رابطه (۳) بیانگر دقت قابل قبول مدل خواهد بود.

$$R = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}\right)^{0.5} \quad (1)$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n}\right)^{0.5} \quad (2)$$

$$NS = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}\right) \quad (3)$$

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل ANN و WANN

به منظور مدل‌سازی فرآیند بارش - رواناب حوضه از مدل پرسپترون چندلایه Multi-Layer Perceptron (MLP) با ساختار شبکه پیش‌خور استفاده شد. این نوع مدل شبکه عصبی همراه با الگوریتم پس انتشار خطا در مدل‌سازی پارامترهای هیدرولوژیک کاربرد وسیعی دارد (ASCE, 2000). در این مطالعه، پنج الگوی ورودی جدول (۴) برای مدل شبکه عصبی استفاده شد که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. هر مدل MLP با ۲۰-۳ نرون مخفی در لایه پنهان و الگوریتم آموزش لورنبرگ-مارکوات آموزش دیده شد. ثابت شده است وقتی تعداد نرون‌های لایه مخفی از حد آستانه‌ای بالاتر برود، تأثیر چشم‌گیری روی عملکرد مدل ندارد (Abrahart and See, 2000). در این مدل‌سازی براساس معیارهای ارزیابی، مدل در مقیاس زمانی روزانه نتایج چندان خوبی از خود نشان نداد که این امر ممکن است به دلیل وجود سیگنال‌های نا ایستا در داده‌ها باشد. افزایش

گام‌های زمانی برای ورود به مدل ANN، عملکرد مدل را بهبود چشم‌گیری نداده است اما در کل با توجه به سهولت دسترسی داده‌های ERA-Intrim و عملکرد مناسب هم‌چون داده‌های مشاهده‌ای، ساختارهای شبکه عصبی آن به‌عنوان مدل مناسب انتخاب گردید. هم‌چنین سه گام زمانی به‌عنوان ورودی مناسب برای استفاده از مدل انتخاب شد (جدول ۵).

در مرحله بعد با ترکیب آنالیز موجک و مدل ANN، تأثیر نوع موجک مادر و سطح تجزیه بر عملکرد مدل WANN مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه‌ها نشان می‌دهد موجک‌های مادر Haar، db-4 در مدل‌سازی بارش - رواناب عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند (Nourani, 2011). بنابراین در این مطالعه سری زمانی داده‌ها با موجک‌های مادر Haar (موجک مادر ساده) و db-4 (موجک مادر پیچیده) در سطوح مختلف تجزیه شد. در ادامه، زیرسری‌های به‌دست آمده در سطوح مختلف به‌عنوان ورودی مدل ANN در نظر گرفته شد. در آخر مدل آموزش دیده شده صحت‌سنجی شد که نتایج آن در جدول (۶) آورده شده است. مطابق نتایج، موجک مادر db-4 عملکرد بهتری نسبت به موجک مادر Haar از خود نشان می‌دهد. لازم به ذکر است سطح تجزیه سری‌های زمانی بارش و رواناب یکسان در نظر گرفته شد. نمودار پراکندگی و سری زمانی داده‌های مشاهداتی و مدل منتخب در شکل‌های (۵) و (۶) آورده شده است. همان‌گونه که در نمودار پراکندگی دبی شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل هیبریدی نشان داده شده این مدل در برآورد میزان دبی شبیه‌سازی شده کم تخمینی به مقدار متوسط ۱۸ درصد در دبی‌های بالاتر از ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه داشته است. میزان متوسط سطح تجزیه مناسب با توجه به طول سری داده‌ها از رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Wang and Ding, 2003):

$$L = \text{int}[\log N] \quad (4)$$

که در آن N تعداد داده‌های سری زمانی است. این رابطه بدون در نظر گرفتن تناوب داده‌ها، تنها طول سری داده‌ها را تأثیر داده است که این خود ممکن است باعث ایجاد خطا در پیدا کردن سطح تجزیه بهینه شود. برای رفع این مشکل سطوح مختلف نزدیک به این مقدار در نظر گرفته شد.

جدول ۴- الگوهای ورودی مورد استفاده در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه

Table 4- Input structures to model in daily and monthly time series

Template number	Model input pattern	Output
Input pattern 1	P(t), E(t)	Q(t+1)
Input pattern 2	P(t), P(t-1), E(t), E(t-1)	Q(t+1)
Input pattern 3	P(t), P(t-1), P(t-2), E(t), E(t-1), E(t-2)	Q(t+1)
Input pattern 4	P(t), P(t-1), P(t-2), P(t-3), E(t), E(t-1), E(t-2), E(t-3)	Q(t+1)

جدول ۵- نتایج حاصل از مدل ANN در مقیاس روزانه و ماهانه

Table 5- Results of ANN model in daily and monthly time scales

Precipitation data	Network structure	Input variables	(R^2)	
			Training	Validation
ERA-Intrim	(2,9,1)	P(t), E(t)	0.782	0.762
Observations	(2,6,1)		0.780	0.784
ERA-Intrim	(4,9,1)		0.776	0.679
Observations	(4,6,1)	P(t), P(t-1), E(t), E(t-1)	0.795	0.789
ERA-Intrim	(6,11,1)	P(t), P(t-1), P(t-2), E(t), E(t-1), E(t-2)	0.785	0.779
Observations	(6,11,1)		0.803	0.793
ERA-Intrim	(8,14,1)	P(t), P(t-1), P(t-2), P(t-3), E(t), E(t-1), E(t-2), E(t-3)	0.794	0.779
Observations	(8,14,1)		0.786	0.790
ERA-Intrim	(10,14,1)	P(t), P(t-1), P(t-2), P(t-3), P(t-4), E(t), E(t-1), E(t-2), E(t-3), E(t-4)	0.789	0.780
Observations	(10,9,1)		0.794	0.788

جدول ۶- نتایج حاصل از مدل WANN برای الگو ورودی بهینه

Table 6- Results of WANN model for optimal input pattern

Mother wavelet	Decomposition Level $i=j$	Evaluation criteria			
		RMSE	MAE	R^2	NS
Db-4	2	0.031	0.3189	0.80	0.73
Db-4	3	0.028	0.2901	0.81	0.75
<u>Db-4</u>	<u>4</u>	<u>0.025</u>	<u>0.2789</u>	<u>0.83</u>	<u>0.76</u>
Db-4	5	0.025	0.2781	0.83	0.75
Haar	2	0.038	0.3856	0.79	0.71
Haar	3	0.035	0.3528	0.82	0.74
Haar	4	0.032	0.3598	0.82	0.73
Haar	5	0.032	0.3412	0.83	0.73

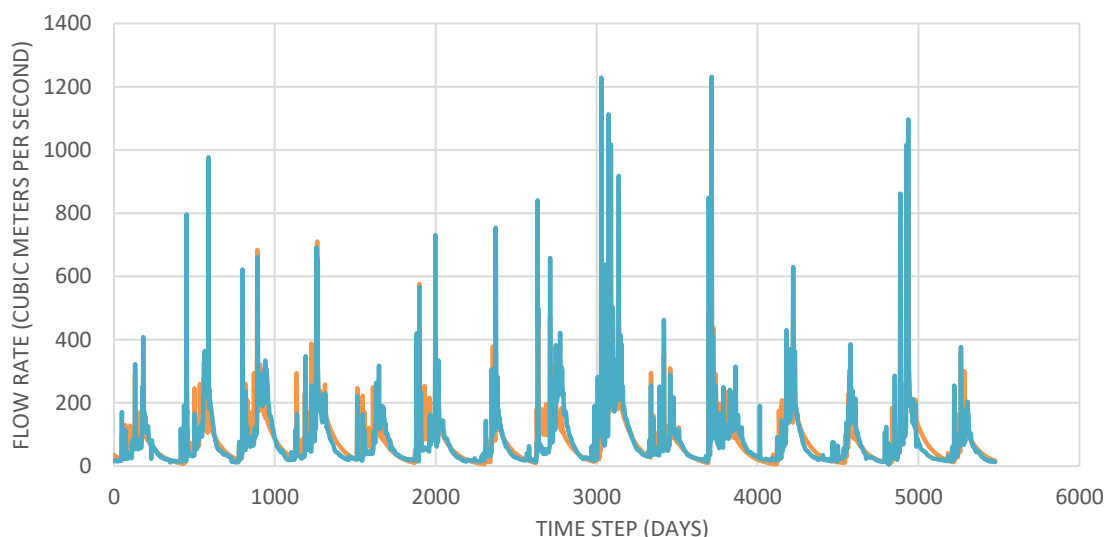


Fig. 5- Selected time series of neural wavelet model for Morghak hydrometric station

شکل ۵- سری زمانی مدل منتخب موجک-عصبی برای ایستگاه هیدرومتری مرغک

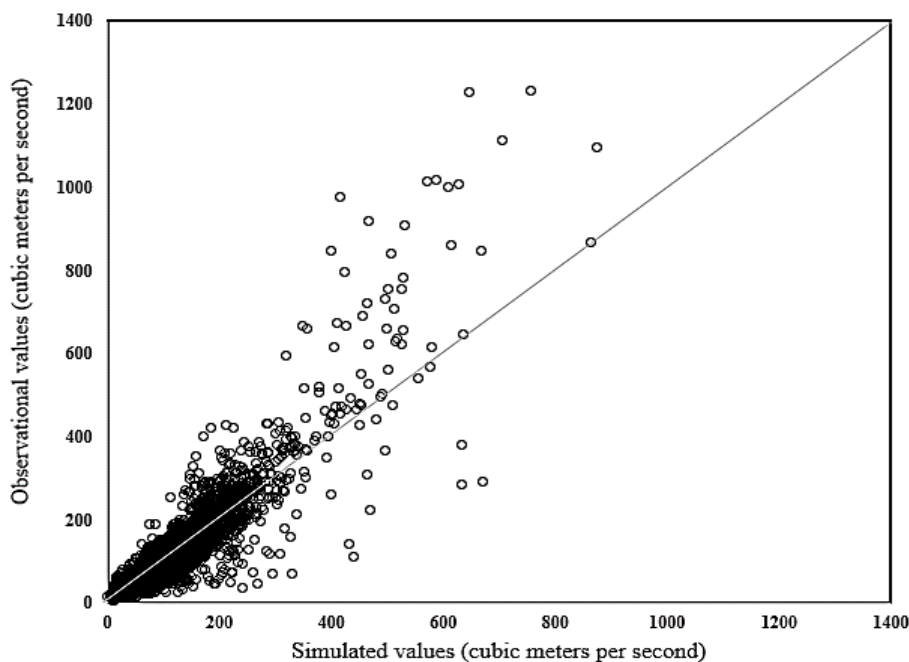


Fig. 6- Dispersion diagram of selected wavelet-neural model for Morghak hydrometric station

شکل ۶- نمودار پراکندگی مدل منتخب موجک-عصبی برای ایستگاه هیدرومتری مرغک

بازفت در مقیاس روزانه برابر ۳۸ درصد و در مقیاس ماهانه برابر ۷۲ درصد بوده است. همچنین تأثیر تبدیل موجک بر بهبود عملکرد مدل Db-4 برای حوضه مذکور در مقیاس روزانه برابر ۸۲ درصد بوده است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد مدل هیبریدی پیشنهادی مطلوب بوده و با کیفیت مدل هیبریدی WANN که به‌عنوان مدلی مطلوب شناخته شده است، برابری می‌نماید.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (SCU.WH99.457) در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد. نویسندگان همچنین از سازمان آب و برق خوزستان برای حمایت و ارائه داده‌های مورد استفاده در این مقاله تشکر می‌کنند.

نتیجه‌گیری

استفاده از مدل‌های بارش-رواناب هم‌چون مدل‌های هوشمند به‌عنوان ابزاری کارآمد در مدیریت حوضه‌های آبریز همواره مورد توجه بوده است. از جمله پارامترهای ورودی این مدل، بارش است. استفاده از داده‌های زمینی بارش دارای مشکلاتی هم‌چون هزینه‌بر بودن، پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی، نبود ایستگاه در مناطق صعب‌العبور است. استفاده از داده‌های باز تحلیلی ERA-Intrim می‌تواند یک راه حل مناسب برای حل این مشکلات باشد. برای این منظور، برآورد و پیش‌بینی آبنمود ایستگاه آب‌سنجی مرغک با استفاده از داده‌های ERA-Intrim مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که داده‌های ERA می‌تواند نماینده خوبی برای بارش حوضه آبریز مورد مطالعه باشد و در مدل‌سازی‌ها جایگزین داده‌های مشاهداتی گردد. تبدیل موجک بر بهبود عملکرد مدل ساده ANN برای حوضه

References

- 1- Abrahart, R.J. and See, L., 2000. Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments. *Hydrological processes*, 14(11-12), pp.2157-2172. DOI: 10.1002/1099-1085(20000815/30)14:11/12<2157::AID-HYP57>3.0.CO;2-S
- 2- Almasi, P. Soltani, S. Goodarzi, M. Modarres, R., 2017. Assessment the Impacts of Climate Change on Surface Runoff in Bazoft Watershed. *JWSS*.; 20 (78) pp:39-52. DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.39.
- 3- ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000. Artificial neural networks in hydrology. II: Hydrologic applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), pp.124-137.

- 4- Azizian, A., Ramezani, H., 2019. Assessing the Accuracy of European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) Reanalysis Datasets for Estimation of Daily and Monthly Precipitation. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50 (4), 777-791. DOI: 10.22059/IJSWR.2018.261613.667962.
- 5- Bahroloum, R., Ramezani, H., Azizian, A. and Ababaei, B., 2020. Use of Gridded Weather Datasets in Simulation of Wheat Yield and Water Requirement (Case Study: Iran's Qazvin Plain). *Iranian journal of Ecohydrology* 7 (3), 691-706. DOI: 10.22059/IJE.2020.303567.1339.
- 6- Belo-Pereira, M., Dutra, E. and Viterbo, P., 2011. Evaluation of global precipitation data sets over the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D20). DOI: 10.1029/2010JD015481.
- 7- Bengtsson, L. and Shukla, J., 1988. Integration of space and in situ observations to study global climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 69(10), pp.1130-1143. DOI: 10.1175/1520-0477(1988)069<1130:IOSAIS>2.0.CO;2.
- 8- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, D.P. and Bechtold, P., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), pp.553-597. DOI: 10.1002/qj.828.
- 9- De Leeuw, J., Methven, J. and Blackburn, M., 2015. Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(688), pp.798-806. DOI: 10.1002/qj.2395.
- 10- Ma, L., Zhang, T., Frauenfeld, O.W., Ye, B., Yang, D. and Qin, D., 2009. Evaluation of precipitation from the ERA-40, NCEP-1, and NCEP-2 Reanalyses and CMAP-1, CMAP-2, and GPCP-2 with ground-based measurements in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D9). DOI: 10.1029/2008JD011178.
- 11- Nourani, V., Alami, M.T. and Aminfar, M.H., 2009. A combined neural-wavelet model for prediction of Ligvanchai watershed precipitation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(3), pp.466-472. DOI: 10.1016/j.engappai.2008.09.003.
- 12- Nourani, V., Kisi, Ö. and Komasi, M., 2011. Two hybrid artificial intelligence approaches for modeling rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 402(1-2), pp.41-59. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.002.
- 13- Nourani V., and Komasi M. 2013. A geomorphology-based ANFIS model for multi-station modeling of rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 490, pp. 41-55. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.03.024.
- 14- Peña-Arancibia, J.L., van Dijk, A.I., Renzullo, L.J. and Mulligan, M., 2013. Evaluation of precipitation estimation accuracy in reanalyses, satellite products, and an ensemble method for regions in Australia and South and East Asia. *Journal of Hydrometeorology*, 14(4), pp.1323-1333. DOI: 10.1175/JHM-D-12-0132.1.
- 15- Pourhaghi, A., Solgi, A., Radmanesh, F., Shehni darabi, M. (2018). 'Hybrid Usage of The Wavelet transform and Intelligent to Simulation River Flow (Case Study: KaKa Reza and Sarab seyed Ali rivers)', *Irrigation and Water Engineering*, 8(4), pp. 1-17. (in Persian).
- 16- Raziei, T., Bordi, I. and Pereira, L.S., 2011. An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran. *Water resources management*, 25(4), pp.1075-1086.
- 17- Raziei, T. and Sotoudeh, F., 2017. Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of the earth and space physics*, 43(1), pp.133-147. (in Persian).

-
- 18-Rhodes, R.I., Shaffrey, L.C. and Gray, S.L., 2015. Can reanalyses represent extreme precipitation over England and Wales?. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(689), pp.1114-1120. DOI: 10.1002/qj.2418.
- 19-Rubel, F. and Rudolf, B., 2001. Global daily precipitation estimates proved over the European Alps. *Meteorologische Zeitschrift*, 10(5), pp.407-418.
- 20-Schiemann, R., Lüthi, D., Vidale, P.L. and Schär, C., 2008. The precipitation climate of Central Asia—intercomparison of observational and numerical data sources in a remote semiarid region. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 28(3), pp.295-314. DOI: 10.1002/joc.1532
- 21-Sharghi E, Nourani V, Najafi H, Molajou A, 2018. Emotional ANN (EANN) and Wavelet-ANN (WANN) approaches for markovian and seasonal based modeling of rainfall-runoff process. *Water Resources Management* 32(10):3441-3456
- 22-Trenberth, E. and Olson, G., 1988. Evaluation of NMC global analyses: 1979-1987.
- 23-Wang W., and Ding S. 2003. Wavelet network model and its application to the predication of hydrology. *Nat. Sci*, 1(1):67–71.
- 24-Wang, A. and Zeng, X., 2012. Evaluation of multireanalysis products with in situ observations over the Tibetan Plateau. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 117(D5) DOI: 10.1029/2011JD016553.

EXTENDED ABSTRACT

Clarifying the institutional barriers to adapting the water resources system to climate change in the Qarrango Basin

D. Behboudi^{1*} and F. Ghorbani²

1 - Corresponding Author, Professor in Economics, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran (dbehbudi@tabrizu.ac.ir)*

2- Ph.D. in Economics, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 3 January 2023

Revised: 27 July 2023

Accepted: 29 July 2023

Keywords:

Adaptive Capacity, Qualitative System Dynamic Approach, Casual Loop Diagram, Intervention Levels Framework,

TO CITE THIS ARTICLE:

Behboudi, D., Ghorbani, F. (2024). 'Clarifying the institutional barriers to adapting the water resources system to climate change in the Qarrango Basin', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(2), pp. 31-51. doi: 10.22055/jise.2023.42594.2049.

Introduction

In recent years, climate change has always been one of the most critical issues and concerns worldwide. The challenges posed by extreme climate-related events in the field of natural resources, including water resources, are many, especially since water resources issues interact with a wide range of environmental, socio-economic, and political sectors. In addition, the main characteristic of climate change is significant and potentially increasing uncertainty and can increase the complexity of decision-making processes in adaptation planning (Toimil et al., 2020). The main goal of adaptation policies is to reduce the vulnerability of human and natural systems to changing climate regimes (Ghorbani et al., 2022). High adaptive capacity requires action at local, national, and international scales and awareness of dominant social, political, and economic power structures that stand in the way of such inclusive governance (Christoplos et al., 2001). Therefore, the institutional structure is the most critical factor determining the capacity of adaptation, which can appear as a barrier to adaptation actions or can act as an incentive and facilitator of these actions. Barriers are known as one of the reasons for low adaptability capacity (Eisenack & Stecker, 2012; Ekstrom et al., 2010) or as a reason for not converting adaptive capacity into action (Adger, 2009). Barriers are factors that reduce the effectiveness and impact of adaptation actions. They may result in missed opportunities or cause higher costs. Humans can overcome, avoid, and reduce them through coordinated action, creative management, changing of practices and mindsets, political will, and re-prioritization of resources, as well as through institutions. Several studies have been conducted in the field of identifying barriers or influential factors in creating the capacity to adapt to climate change (Adger et al., 2009; Goulden et al., 2009; West et al., 2009; Burch, 2010; Ford et al., 2010; Biesbroek et al., 2011; Runhaar et al., 2012). The purpose of this article is to identify the institutional barriers to the water resources system of the Qarrango Basin in adapting to climate change.

Methodology

Since issues related to water resources and adaptation to climate change are complex, systematic approaches like system thinking and system dynamics should be used to analyze these issues. In this study, systems thinking (ST) and qualitative system dynamics (QSD) approach, and causal loop diagram (CLD) tools have been used to analyze the adaptation barriers and relationships between them. The data collection method in this study is semi-structured and in-depth interviews with managers and experts of government organizations related to water resources management. The sampling method is purposeful and snowball. People who have experience, expertise, or executive responsibility in climate change adaptation and water scarcity adaptation programs were selected. For this purpose, 22 in-depth interviews were conducted, and the duration of each interview is 30 minutes on average. The interview file was downloaded in Office Word 2016 and entered into the Maxqda2020 software, then the text of the interviews was coded and analyzed. After identifying the adaptation barriers by coding the text of the interviews, the QSD approach was used to investigate the relationships between them. Finally, VensimPLE 7.3.5 software and CLD diagrams have been used to show the relationships between compatibility barriers.

Results and Discussion

After coding the interviews, institutional barriers to adaptation to climate change were identified. In the next step, to investigate the relationships between adaptation barriers and analyze their accumulated effects on the whole system, the system thinking and Quality system dynamics approach and CLD diagrams have been used. In this article, to identify, draw and analyze the relationships between barriers, three sources have been used: the research background, the body of interviews, and also the researcher's field observations. Figure (1) shows the CLD diagram related to the institutional barriers to adapting to climate change in the Qarango basin.

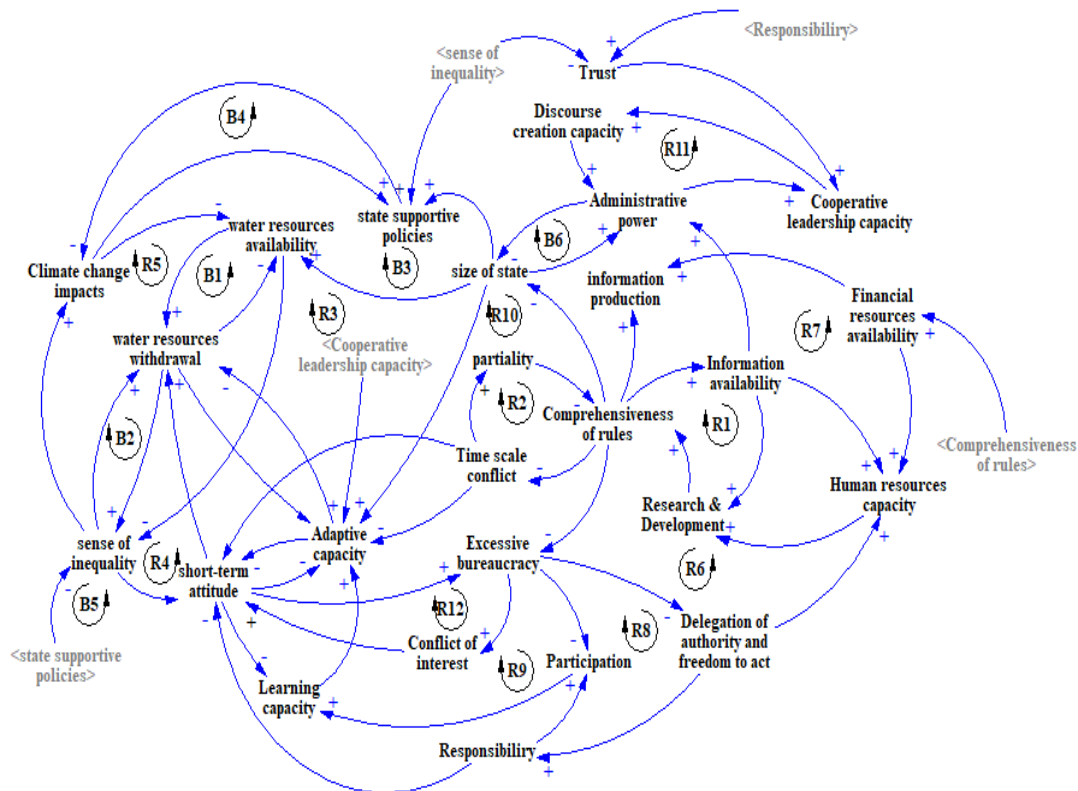


Fig. 1- The Institutional Barriers CLD Diagram

In Figure (1), feedback loops between variables are also specified which R represents reinforcing loops or positive loops, and B represents the balancing loops or negative loops. 26 variables (barriers to adapting to climate change) that are connected through 58 vectors have been identified In Figure (1). Twelve positive loops and four negative loops have been identified from the relationship between these barriers.

The patterns and prototypical are significant in any system as frameworks in which the behavior of system agents is formed in their format. In this article, by analyzing feedback loops, five patterns between adaptation barriers were identified and investigated. The patterns identified in this study include the prototypical comprehensiveness of laws and regulations, adaptive capacity, excessive bureaucracy, symptomatic solution, and responsiveness. Finally, the leverage points and the intervention actions were analyzed in the Intervention Level Framework (ILF).

Conclusions

In the present study, after identifying the adaptation barriers, were drawn and analyzed the causal relationships between these barriers to identify their cumulative effects. Then by examining the institutional barriers in the CLD diagram, five patterns were identified, any of which was analyzed separately. These patterns include comprehensiveness of laws and regulations, adaptive capacity, excessive bureaucracy, partial intervention policies, and accountability. Some of these patterns show the role and importance of law and regulations as the official institution of the water resources governance system in adapting to climate change. The laws and regulations affect the capacity to adapt to climate change in various aspects. Non-Comprehensive and sectoral laws and regulations, excessive bureaucracy, and lack of transparency in defining duties and responsibilities will lead to a lack of accountability. On the other hand, the conditions caused by the incompleteness of laws and regulations lead to a reduction in motivation, capacity, and ability of various actors to participate in affairs. The lack of continuous and active participation has led to a decrease in the learning capacity of the actors and will result in the inflexibility of the system against changes; Therefore, improving the comprehensiveness of the laws and regulations and modifying some of them to adapt to the existing time and place conditions can be presented as a policy proposal to reform this structure.

One of the critical effects of climate change is the reduction of access to water resources, which leads to a sense of inequality among the local users and actors. The feeling of inequality leads to opportunistic behavior and the preference for short-term interests over long-term ones. The short-term perspective of actors at different levels (Local actors, farmers, and operators or government actors) is inconsistent with the long-term nature of climate change and the need to adapt to this phenomenon, and it leads to a reduction in the capacity to adapt. At the same time, government organizations related to water resources management are trying to compensate for the inequality caused by the reduction of access to water resources by adopting temporary support and interventional policies and measures, which leads to an increase in the dependence on farmers and the lack of understanding of the caused problem by them. The short-term views of decision-makers and policy-makers in the water resources governance system lead to the adoption of short-term measures aimed at obtaining early results, which leads to path dependence which leads to the occurrence of more complex problems in the future. Finally, by focusing on the discussed barriers and feedback loops, were constructed some suggestions to remove the institutional barriers to adapt to climate change in the Qarrangu basin, in the ILF framework.

Acknowledgments

This article derived from a Ph.D. thesis at the University of Tabriz and was carried out with the financial support of the first author's grant under number 105/421168. So, the authors acknowledge the financial and spiritual support of Tabriz University and East Azerbaijan Regional Water Company.

References

- 1- Adger, WN., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, DR., Naess, LO., Wolf, J. and Wreford, A., 2009. Are there social limits to adaptation to climate change? *Climate Change*, 93, pp.335–354.
- 2- Burch S., 2010. In pursuit of resilient. Low carbon communities: an examination of barriers to action in three Canadian cities, *Energy Policy*, 38, pp. 7575–7585. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.06.070.
- 3- Biesbroek, R., Klostermann, J., Termeer, C.J.A.M. and Kabat, P., 2011. Barriers to climate change adaptation in the Netherlands. *Climate /law*, 2(2), pp.181-199.
- 4- Christoplos, Lan., Farrington, J., Kidd, A., and Beckman, M., (2001). Extension, Poverty, and Vulnerability in Nicaragua Country study for the Neuchatel initiative, *Collegium for development studies Uppsala University*, Working Paper.
- 5- Eisenack, K. and Stecker, R. A., 2012. Framework for analyzing climate change adaptations as actions, *Mitigation Adaptation Strategy Global Change*, 17, pp. 243–260.
- 6- Ekstrom, JA., Moser, SC. and Torn, M., 2010. Barriers to Adaptation: A Diagnostic Framework, *Final Project Report* (California Energy Commission, Sacramento, CA).
- 7- Ford JD, Berrang-Ford L, King M. and Fugal C., (2010). Vulnerability of Aboriginal health systems in Canada to climate change, *Global Environmental Change*, 20, pp. 668–680. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2010.05.003.
- 8- Ghorbani, Fahmideh., Behboudi, Davood. and Zarghami, Mahdi., 2022. Identification and thematic analysis of barriers to adaptation to climate change (Case study: Qarranqu basin), Iran- Water Resources Research, 18(3), pp. 46-62 (In Persian)
- 9- Goulden, M., Conway, D. and Persechino, A., (2009), Adaptation to climate change in international river basins in Africa: a review, *Hydrological Science Journal*, 54, pp. 805–828. DOI: 10.1623/hysj.54.5.805.
- 10-Runhaar, Hens., Mees, Heleen., Wardekker, Sluijs., Jereen, Van der., and Driessen, Peter P. J., 2012, Adaptation to climate change- related risks in Dutch urban areas: stimuli and barriers, *Regional Environmental Change*, 12, pp. 777-790.
- 11-Toimil, A., Losada, I.J., Nicholls, R.J., Dalrymple, R.A. and Stive, M.J.F., 2020. Addressing the Challenges of Climate Change Risks and Adaptation in Coastal Areas: A Review, *Coastal. Engineering*, 156, 103611. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2019.103611.
- 12-West, DW., Kujbida, GW., Moore, DR., Atherton, P., Burd, NA., Padzik, JP., De Lisio, M., Tang, JE., Parise, G., Rennie, MJ., Baker, SK. and Phillips, SM., 2009. Resistance exercise-induced increases in putative anabolic hormones do not enhance muscle protein synthesis or intracellular signaling in young men. *The Journal of Physiology*, 21(1), pp. 5239-5247.





تبیین موانع نهادی سازگاری سیستم منابع آب با تغییر اقلیم در حوضه قرنقو

داود بهبودی^{۱*} و فهمیده قربانی^۲

*۱- نویسنده مسئول، استاد گروه توسعه اقتصادی و برنامه‌ریزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز (dbehbudi@tabrizu.ac.ir)
 ۲- دانش‌آموخته دکتری اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۷

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۵

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳

چکیده

مطالعه حاضر به منظور شناسایی و تحلیل موانع نهادی سازگاری سیستم منابع آب حوضه قرنقو با تغییر اقلیم انجام شده است. به این منظور ابتدا سازمان‌های دولتی مرتبط با مدیریت منابع آب این حوضه شناسایی و با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند بازیگرانی که در مورد برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم و یا سازگاری با کم‌آبی دارای مسئولیت و یا تخصص بودند انتخاب و ۲۲ مصاحبه در زمستان ۱۴۰۰ انجام شد. با تجزیه و تحلیل و کدگذاری متن مصاحبه‌ها، موانع نهادی سازگاری با تغییر اقلیم شناسایی گردید که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: نبود جامعیت قوانین و مقررات، نبود شرایط تحقیق و توسعه، نبود تولید اطلاعات، نبود دسترسی آزاد به اطلاعات، نبود تخصص‌گرایی، نبود پاسخگویی، نبود مشارکت همه بازیگران کلیدی، تمرکزگرایی و ضعف در ظرفیت یادگیری. در ادامه به منظور بررسی روابط پویای بین موانع از رویکرد پویایی سیستم کیفی و نمودارهای علی بهره گرفته شد. با ترسیم نمودارهای علی و تبیین حلقه‌های بازخوردی بین موانع نهادی سازگاری، به منظور ارائه پیشنهادها و اقدامات سیاستی، پنج الگو شناسایی شد. در نهایت اقدامات مداخله‌ای ارائه شده در قالب چارچوب سطوح مداخله (ILF) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

کلید واژه‌ها: ظرفیت سازگاری، رویکرد پویایی سیستم کیفی، نمودارهای علی، چارچوب سطوح مداخله.

مقدمه

در سال‌های اخیر پدیده تغییر اقلیم همواره یکی از مسائل و نگرانی‌های مهم در سراسر جهان است. به طوری که این پدیده را در صدر موضوعات مورد توجه رویدادهای مهم بین‌المللی همچون اجلاس جهانی آب، کنفرانس ریو و کنفرانس جهانی تغییر اقلیم قرار داده است (Delavar, 2022). علاوه بر این، موقعیت جغرافیایی ایران و قرار گرفتن آن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، پرداختن به موضوع تغییر اقلیم و سازگاری با این پدیده را بسیار ضروری می‌سازد. یکی از چالش‌های اساسی ناشی از تغییر اقلیم، منابع آب است، مسائل مربوط به منابع آب با طیف گسترده‌ای از بخش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی و سیاسی در تعامل است. بر این اساس، اتخاذ تدابیری در جهت سازگاری با پدیده تغییر اقلیم را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد. سازگاری معمولاً به‌عنوان «تعدیل در سیستم‌های طبیعی یا انسانی در پاسخ به محرک‌های اقلیمی واقعی یا مورد انتظار یا اثرات آن‌ها، که آسیب را تعدیل یا از فرصت‌های سودمند بهره‌برداری می‌کند»، تعریف می‌شود (Parry et al., 2007). هدف اصلی سیاست‌های سازگاری، کاهش آسیب‌پذیری سیستم‌های انسانی و طبیعی در برابر تغییر رژیم‌های آب‌وهوایی است (Mohammadi et al., 2019). سازگاری در خلأ اتفاق نمی‌افتد، بلکه به شرایط و بافت نهادی خاص هر منطقه، وابسته است. هیئت بین‌دولت تغییر

اقلیم (IPCC) معتقد است این مخاطرات با کسانی ارتباط دارد که به‌طور مستقیم از آن متأثرند. تحلیل جامعه‌شناختی با تفکر درباره روش‌هایی که جوامع با آن سازمان می‌یابند، ارزش‌ها، دانش، روابط بین افراد، نهادها و دولت آغاز می‌شود (Adger et al., 2009). بنابراین درک اینکه چگونه افراد و خانوارها تحت‌تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند، بدون در نظر گرفتن عواملی همچون عملکرد دولت‌های ملی و محلی، تغییر و تحول در بازارهای کالا، خدمات و نیروی کار و اینکه چگونه ساختارهای اجتماعی در سطح محلی و فراتر از آن در سطح ملی، با افزایش خطرات ناشی از تغییر اقلیم تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند (یا شاید تقویت می‌شوند)، ممکن نیست (Christoplos et al., 2009).

قواعد و هنجارهای نهادی می‌توانند به‌عنوان مانع یا فرصت برای اقدامات سازگاری مطرح باشند. نهادهای رسمی در واقع قوانینی هستند که «ممنوع می‌کنند، مجوز می‌دهند یا نیاز به انجام عمل یا نتیجه‌ای دارند» (Ostrom, 1990). نهادهای غیررسمی، هنجارهای فرهنگی و درک مشترک در مورد اقدام مناسب هستند (DiMaggio and Powell, 1991). یکی از خصوصیات نهادی، نوع حکمرانی در سطح ملی و محلی است. تعاریف گوناگونی از حکمرانی آب ارائه شده است. اشتراک همه آن‌ها عبارت است از: سیستم‌های متعدد سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اجرایی برای توسعه، مدیریت منابع آب و ارائه خدمات

(Adger et al. 2009; Goulden et al., 2009; West et al., 2009; Burch, 2010; Ford et al., 2010; Biesbroek et al., 2011; Runhaar et al., 2012) که ارزیابی‌های متفاوتی از موانع سازگاری انجام داده‌اند، برخی از این مطالعه‌ها موانع را به موانع مالی، فناورانه، شناختی، فرهنگی و نهادی دسته‌بندی کرده‌اند (Eaken and Luers, 2009). در سال‌های اخیر در ایران مطالعه‌هایی در زمینه سازگاری با اثرات تغییر اقلیم انجام شده است که اکثر این مطالعه‌ها به بررسی و ارزیابی ظرفیت سازگاری کشاورزان و موانعی که منجر به کاهش ظرفیت سازگاری آن‌ها می‌شود، پرداخته‌اند (Azizi, Khalkhili et al., 2015; Abdollahzadeh et al., 2018; Jahantigh et al., 2020; Mohammadi and Malekian, 2020; Abbaszadeh et al., 2020).

هدف مطالعه حاضر، شناسایی موانع نهادی سیستم منابع آب حوضه قرنقو در سازگاری با تغییر اقلیم است، به همین منظور قصد بر این است که به بررسی دیدگاه مدیران و کارشناسان سازمان‌های دولتی مرتبط با مدیریت منابع آب، به‌عنوان بازیگران تصمیم‌گیر و سیاست‌گذار، پرداخته شود. همچنین در این مطالعه به‌منظور تجزیه و تحلیل موانع و بررسی روابط بین موانع سازگاری از رویکردهای تفکر سیستمی (System Thinking (ST) و پویایی سیستم کیفی (Qualitative System Dynamic Approach (QSD) و ابزار نمودارهای علی (Casual Loop Diagram (CLD)) بهره گرفته شده است. به این منظور در ادامه ابتدا روش‌شناسی مورد بررسی قرار می‌گیرد، سپس حوضه مورد مطالعه معرفی می‌شود و در نهایت با ارائه یافته‌ها و نتیجه‌گیری، مطالعه به پایان می‌رسد.

روش‌شناسی پژوهش

بررسی موانع سازگاری مستلزم تحلیل تعاملات بین ذی‌نفعان، نهادها و سازمان‌های ذی‌مدخل است. بررسی موانع سازگاری را می‌توان در زمره مسائل پیچیده (Wicked Problem) دانست، مسائل پیچیده معمولاً نه از نظر فنی بلکه از نظر اجتماعی، پیچیده هستند، فاقد راه‌حل واحد بوده و نیازمند همکاری و هماهنگی عوامل چندگانه برای دستیابی به تغییرات در سیستم هستند (Australian Public Service (APSC), 2007) Commission. از همین‌رو، امروزه به‌طور فزاینده‌ای، تفکر سیستمی به‌عنوان رویکردی برای درک و مقابله با مسائل پیچیده مطرح شده است (Durham et al., 2018). رویکردهای متفاوتی به‌منظور کاربرد تفکر سیستمی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در تئوری سیستم‌ها، نقاط اهرمی (Leverage Point) وجود دارد، نقاط اهرمی یا LP ها نقاط قابل تغییر در یک سیستم هستند که در صورت تغییر، می‌توانند به تغییراتی در نحوه عملکرد سیستم منجر شوند (Johnston et al. 2014).

شناسایی نقاط اهرمی برای دستیابی به تغییر معنادار، حیاتی تلقی می‌شود و متخصصان و سیاست‌گذاران باید هدفشان

آب در سطوح مختلف اجتماعی (Rogers and Hall, 2003). در یک تقسیم‌بندی کلی اصول شش‌گانه حکمرانی آب معرفی شده از سوی نهادهای مرجع، حق اظهارنظر و پاسخگویی، ثبات سیاسی و عدم خشونت، اثربخشی دولت، کیفیت مقررات تنظیمی و حاکمیت قانون ذکر شده است (World bank institute, 2021; Kaufmann, 2010; Mahmoudi et al., 2013; UNESCO, 2012). حکمرانی فراگیر به کاهش آسیب‌پذیری از طریق تلاش برای کاهش فقر کمک می‌کند. کاهش آسیب‌پذیری به ظرفیت رهبری مناسب، مشارکت فعال، دسترسی به خدمات (به‌ویژه خدمات مرتبط با اطلاعات، فناوری و مالی) و بسیج یک محیط پویا، بستگی دارد. ظرفیت سازگاری بالا مستلزم اقدام در مقیاس‌های محلی، ملی و بین‌المللی و آگاهی از ساختارهای قدرت اجتماعی، سیاسی و اقتصادی غالب است که بر سر راه چنین حکمرانی فراگیری قرار دارند (Christoplos et al., 2001). بنابراین می‌توان ساختار نهادی را از جمله مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده ظرفیت سازگاری دانست، که هم می‌تواند به‌عنوان مانع در برابر اقدامات سازگاری ظاهر شود و هم می‌تواند به‌عنوان مشوق و تسهیل‌کننده این اقدامات عمل کنند. اما در عمل یا اقدامات برای سازگاری با تغییر اقلیم انجام نمی‌پذیرد و یا به‌رغم مشهود بودن اثرات تغییر اقلیم و انجام اقداماتی برای سازگاری با آن، اجرای این اقدامات، هماهنگ و متناسب با نیاز روزافزون به آن‌ها نبوده و «کسری سازگاری» (Adaptation Deficit) در حال گسترش است. در واقع محققان علت اصلی محقق‌نشدن وضعیت سازگاری را سطح پایین سازگاری مخصوصاً در کشورهای کم‌درآمد می‌دانند (Burton, 2009). کشورهای کم‌درآمد، توانایی کمتری برای مقابله با رویدادهای اقلیمی دارند. زیرا فاقد ظرفیت نهادی، اقتصادی یا مالی برای ایجاد سازگاری مؤثر هستند (Tol et al., 2007, Brooks et al., 2005, Barr et al., 2010, Fankhauser and Mc Dermott, 2014).

مطابق آنچه گفته شد، بسیاری از متخصصان، سیاست‌گذاران و محققان علل نبود تحقق ظرفیت سازگاری را در موانعی می‌دانند که اقدامات سازگاری را کند و یا غیرممکن می‌سازند و اذعان دارند در روند سازگاری با تغییر اقلیم با موانع بسیاری در برنامه‌ریزی و اجرای سیاست‌ها مواجه هستند. موانع به‌عنوان دلیلی برای تبدیل‌نشدن ظرفیت سازگاری به کنش (Adger et al., 2009)، یا به‌عنوان یکی از دلایل ظرفیت سازگاری پایین شناخته می‌شوند (Eisenack and Stecker, 2012; Ekstrom et al., 2010). موانع عواملی هستند که کارایی و تأثیر اقدامات سازگاری را کاهش می‌دهند یا ممکن است منجر به ازبین‌رفتن فرصت‌ها یا ایجاد هزینه‌های بالاتر شوند که می‌توان با اقدام فردی یا جمعی با تلاش هماهنگ، مدیریت خلاق، تغییر شیوه‌های تفکر، اراده سیاسی و اولویت‌بندی مجدد منابع، کاربری‌ها و نیز با استفاده از نهادها بر آن‌ها غلبه کرد، از آن‌ها اجتناب کرد یا آن‌ها را کاهش داد. مطالعه‌های متعددی در زمینه شناسایی موانع یا عوامل مؤثر در ایجاد ظرفیت سازگاری با تغییر اقلیم، انجام شده است،

تجمیع شده و کلی‌تر است و به‌منظور کاربرد گسترده دوازده سطح مداخله مدوز، چارچوب سطح مداخله با تجمیع این نقاط در پنج سطح عملیاتی مطرح شده است. این پنج سطح مداخله به ترتیب از کمترین تا بیشترین ظرفیت تأثیرگذاری بر سیستم، عبارت‌اند از: عناصر ساختاری، بازخورد و تأخیر، ساختار سیستم، اهداف و پارادایم (Johnston et al., 2014). پنج سطح ILF در شکل (۱) ارائه شده است.

چارچوب سطح مداخله، ابزاری مبتنی بر تفکر سیستمی است که می‌تواند در تحلیل اثربخشی بالقوه سیاست‌ها و ابتکارات برنامه کمک کند (Malhi et al., 2009). در این مطالعه نیز از این چارچوب به‌منظور بررسی و تحلیل سیاست‌های مداخله‌ای استفاده شده است. با حرکت به سمت بالای هرم چارچوب ILF میزان تأثیرگذاری اقدام مداخله‌ای افزایش و قدرت اجرایی آن کاهش می‌یابد. در جدول (۲) سطوح پنج‌گانه چارچوب ILF به‌تفصیل بیان شده است.

شناسایی و اصلاح این نقاط در سیستم‌های خود باشد. با این حال، حرکت از تئوری به عمل چالش‌برانگیز است. برای عبور از این بن‌بست، محققان ابزارهایی را برای تسهیل تفکر گسترده‌تر در مورد اقدامات درون سیستم‌های پیچیده پیشنهاد کرده‌اند (Meadows and Wright, 2008; Senge, 1990). این ابزارها شامل دوازده سطح مداخله ارائه شده توسط Meadows و Wright (2008)، چارچوب سطح مداخله (Intervention Level Framework (ILF)) ارائه شده توسط Malhi et al. (2009)، مدل مقیاس اقدام (Action Scales Model (ASM)) ارائه شده توسط Nobles et al. (2021) و نظریه کوه یخ (Iceberg Theory) شده توسط Senge (1990) است. تفاوت عمده‌ای که بین این سه چارچوب وجود دارد، نوع دسته‌بندی سطوح مداخله توسط آن‌ها است (جدول ۱). در چارچوب ارائه شده توسط Meadows و Wright (2008) دسته‌بندی سطوح مداخله جزئی‌تر است درحالی‌که سطوح مداخله چارچوب ILF

جدول ۱- بررسی مقایسه‌ای چارچوب‌های سطح مداخله (Nobles et al., 2021)

Table 1- Comparative checking between intervention level frameworks (Nobles et al., 2021)

Meadow's 12 Point to Intervene	Intervention Level Framework	Iceberg Model	ASM
Power to transcend paradigms	Paradigm	Mental models	Beliefs
The paradigm that the system arises out of	Goals		Goals
Goals of the system			
Power to add, change, evolve, or self-organize system structure	System structures	System structures	Structures
Rules of the System			
Structure of information flow			
Gain around driving positive feedback loops	Feedback loops and delays	Patterns	
Length of delays			
Structure of material stocks and flows			
	Structural elements	Events	Events
Size of buffers and other stabilizing stocks			
Constant, parameters, and numbers			

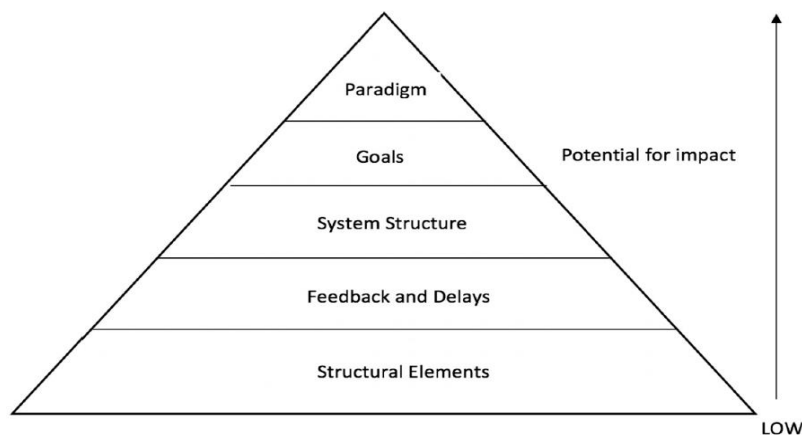


Fig. 1- Intervention level framework (Johnston et al., 2014)
شکل ۱- چارچوب سطح مداخله (ILF) (Johnston et al., 2014)

این روش یک همکار پژوهشی متن مصاحبه‌ها را مجدد کدگذاری کرده و نتایج حاصل با هم مقایسه می‌شود. در صورتی که میزان توافق بیش از ۶۰ درصد باشد، پایایی نتایج تأیید می‌شود (رابطه ۱). بعد از شناسایی موانع سازگاری با استفاده از کدگذاری متن مصاحبه‌ها، به منظور بررسی روابط بین موانع سازگاری از رویکرد پویایی سیستم کیفی استفاده شد. در نهایت به منظور نمایش روابط بین موانع سازگاری از نرم‌افزار VensimPLE7.3.5 و ترسیم نمودارهای علی (CLD) بهره گرفته شده است. در این مطالعه به منظور شناسایی، ترسیم و تجزیه و تحلیل روابط بین موانع از سه منبع: بررسی پیشینه پژوهش، متن مصاحبه‌های انجام شده و همچنین مشاهدات میدانی محقق استفاده شده است.

$$Agreement\% = \frac{N(Agreements) \times 2}{TCodes} \times 100 \quad (1)$$

روش جمع‌آوری اطلاعات، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و عمیق با مدیران و کارشناسان سازمان‌های دولتی مرتبط با منابع آب است. در واقع، به منظور بررسی دیدگاه‌ها و نظرات کارکنان سازمان‌های دولتی در خصوص موانع سازگاری، افرادی که در رابطه با برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم و سازگاری با کم‌آبی در این سازمان‌ها دارای مسئولیت، تجربه و یا تخصص بودند از طریق نمونه‌گیری هدفمند (Purposive Sampling) و گلوله‌برفی (Snowball Sampling) انتخاب شدند. مدت زمان هر مصاحبه به‌طور متوسط ۳۰ دقیقه و در زمستان ۱۴۰۰ انجام شده است. فایل مصاحبه‌ها در محیط نرم‌افزار Office Word 2016 پیاده شده و وارد نرم‌افزار Maxqda2020 گردید، سپس متن مصاحبه‌ها کدگذاری شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. روایی سؤالات مصاحبه توسط دو نفر از اساتید دانشگاه تأیید شد، به منظور بررسی پایایی نتایج حاصل از کدگذاری نیز از روش توافق درون موضوعی بهره گرفته شده است (جدول ۳)، در

جدول ۲- چارچوب پنج سطحی مداخله (Malhi et al., 2009)

Table 3- The 5-level intervention framework (Malhi et al., 2009)

Level	Description
Paradigm	- Unstated assumption under which a system operates - A system's deepest belief and the source of system goals, information flow, feedback
Goals	- It is very difficult to intervene at this level, but it can be very effective - What the system is trying to achieve- the drivers of the system, with everything below working towards their achievement
System structure	- Activities at this level focus on or change the aim of the system - Enhancing connections across most of the system as a whole - Activities at this level will shift the system structure by changing system linkages or incorporating novel elements
Knowledge, feedback, and delays	- All of the elements that make up the system as a whole including the various subsystems, actors, and their interactivities - Includes the "rules of the game" that governs the system and controls information flows
Structural elements	- Allows the system to regulate itself by providing information about the outcome of different activities back to the source of the activities - Can be simple and direct or involve multiple variables - Can include monitoring and evaluation - Affect subsystems, actors, and the physical structure of the system - The easiest level at which to intervene - Many activities at this level are usually required to create system-wide change

جدول ۳- ارزیابی پایایی نتایج

Table 2- Evaluate the reliability of the results

	Interview title	Number of data	Number of agreements	Result (%)
1	Water organization 1	42	18	85
2	Agricultural organization 2	37	11	70
3	Natural resources organization 3	22	9	59
4	Environmental protection 1	30	12	60
Total		131	50	68.5

منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه در این پژوهش حوضه آبریز رودخانه قرنقو، یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه قزل‌اوزن می‌باشد که در جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۲). در این حوضه هشت رودخانه جاری است که رودخانه قرنقو، به‌عنوان رودخانه اصلی، در جهت شرقی-غربی و به طول ۱۲۰ کیلومتر، دارای میانگین آبدهی ۱۴۹ میلیون متر مکعب در سال است. (Golfam and Ashofteh, 2018). متوسط بارندگی سالانه کل حوضه ۴۰۳/۷ میلی‌متر بوده که از این مقدار به‌طور متوسط ۳۳۲/۶ میلی‌متر تبخیر می‌شود. با در نظر گرفتن میزان تبخیر و بارش، حجم آب خروجی از حوضه ۲۵۰/۴ میلیون مترمکعب برآورد شده است. اغلب اهالی حوضه، کشاورز و فعالیت‌های کشاورزی عمدتاً به‌صورت دیم رواج دارد (Heydari and Moghimi, 2017). مطابق اطلاعات منتشر شده در سند آمایش استان آذربایجان شرقی، در چند دهه گذشته این استان در زمره استان‌های مهاجرفرست کشور قرار دارد (The Spatial Planning document of East Azerbaijan Province, 2021). ناتوانی جوامع روستایی به‌دلایل مختلف از جمله ویژگی‌های سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی خاص کشور، موجب نبود توانایی آن‌ها در سازگاری با عوامل طبیعی از جمله خشکسالی، سیل، زلزله، کمبود آب و فرسایش خاک گردیده و در نهایت، مغلوب شرایط و عوامل نامساعد طبیعی گشته و مجبور به مهاجرت و رها کردن سکونتگاه خود شده‌اند که در نتیجه، چنین روستاهایی به مناطقی غیرمسکونی و خالی از جمعیت تبدیل شده‌اند (Ghorbani et al., 2022a).

نمودارهای CLD، ابزار مدل‌سازی پویایی سیستم هستند که برای نمایش روابط علت و معلولی بین متغیرها کاربرد دارد (Sterman, 2000). هر جفت از متغیرها در مدل پویایی سیستم کیفی، دارای رابطه علت-معلولی است، به این مفهوم که تغییرات متغیرها می‌تواند در جهت مخالف هم باشد که با علامت (-) و می‌تواند در یک جهت باشد که با علامت (+) به نمایش گذاشته می‌شود. روابط علی ساختار سیستم را براساس این سؤال که «اگر یک تغییر رخ دهد چه اتفاقی خواهد افتاد؟» توصیف می‌کنند و رفتار متغیرها را نشان نمی‌دهند (Sterman, 2000). حلقه بازخوردی بخشی از یک سیستم است که در آن برخی از (یا تمام) خروجی سیستم به عنوان ورودی برای عملکرد آینده استفاده می‌شود. حلقه‌های بازخوردی می‌توانند تغییراتی که در یک سیستم اتفاق می‌افتد را تقویت و یا تضعیف کنند؛ بنابراین حلقه بازخوردی به مکانیزمی اشاره دارد که در آن خروجی یک سیستم به‌عنوان ورودی سیستم برای تقویت یک تغییر (حلقه بازخورد مثبت یا Reinforcing Loop) یا برای سرکوب آن (حلقه بازخورد منفی یا Balancing Loop) عمل (بازخورد) می‌کند. این حلقه‌ها با حروف R و B قابل مشاهده هستند. حلقه‌های بازخوردی R نشان‌دهنده حلقه‌های تقویت‌کننده یا حلقه‌های مثبت و حلقه‌های بازخوردی B نشان‌دهنده حلقه‌های متعادل‌کننده یا حلقه‌های منفی هستند. علاوه بر این بر روی برخی فلش‌ها یا روابط بین متغیرها دو خط مورب (//) درج شده است که نشان‌دهنده تأخیر زمانی است، به این معنی که اثر تغییر در یک متغیر با تأخیر بر متغیر دیگر ظاهر می‌شود (شکل ۱). جدول (۴) آمار توصیفی نمونه مورد بررسی در این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴- آمار توصیفی نمونه مورد مطالعه**Table 4- Descriptive statistics of the sample**

Title	Number	The age range of interviewees	Education range of interviewees
Regional Water Company	5	35-65	Bachelor - Master
Agricultural Organization	6	45-65	Bachelor - Master
Organization of environment	3	40-55	Bachelor - Ph.D.
Natural resources organization	3	29-45	Ph.D.
Management and Planning Organization	2	45-57	Ph.D.
Provincial government	1	63	Ph.D.
Experts	2	55-65	Master - Ph.D.
Total	22		

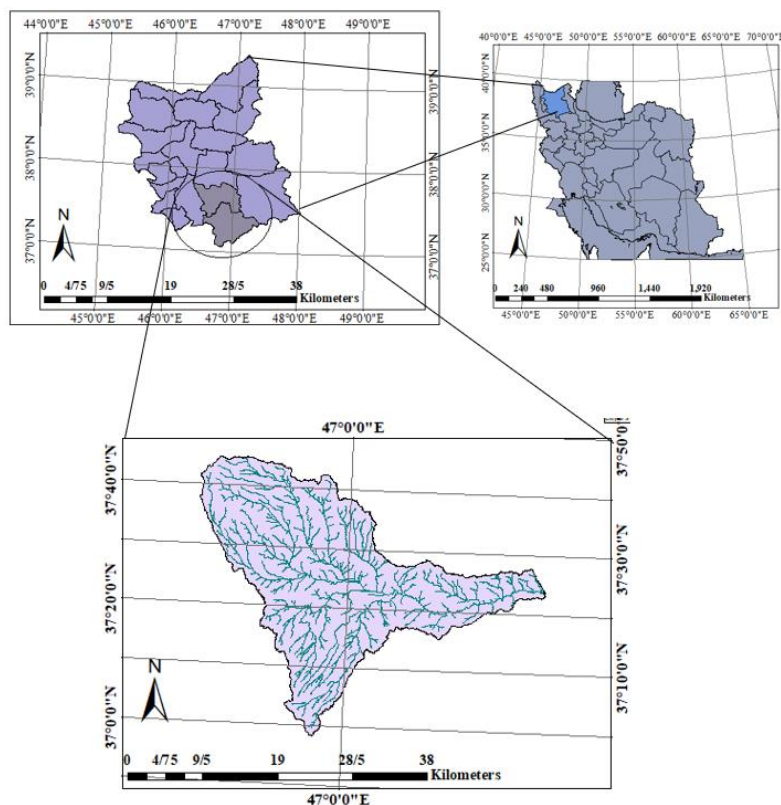


Fig. 2- The geographical location of the Qarranqu basin
شکل ۲- موقعیت جغرافیایی حوضه قرنقو

در شکل (۳) حلقه‌های بازخوردی بین متغیرها نیز مشخص شده‌اند، همان‌طور که در بخش روش‌شناسی اشاره شد، حلقه‌های بازخوردی R نشان‌دهنده حلقه‌های مثبت و حلقه‌های بازخوردی B نشان‌دهنده حلقه‌های منفی هستند. در نمودار CLD شکل (۳)، تعداد ۲۶ متغیر (مانع سازگاری با تغییر اقلیم) مشخص شده که به وسیله ۵۸ بردار با یکدیگر در ارتباط هستند. از ارتباط این موانع ۱۲ حلقه مثبت و چهار حلقه منفی شناسایی شده است.

الگوهای موجود در هر سیستم به‌عنوان چارچوب‌هایی که رفتار عوامل سیستم توسط و در قالب آن‌ها شکل می‌گیرد، بسیار حائز اهمیت هستند. براساس این خوانش، پاسخ به این سؤال که چه چیزی موجب سازگاری و چه چیزی مانع سازگاری می‌شود، مشروط است؛ مشروط به اهداف، ارزش‌ها، مخاطرات و انتخاب اجتماعی. سازگاری با تغییر اقلیم ابعاد چندگانه، ذهنی و اجتماعی دارد، به‌همین علت Adger et al. (2009) معتقد است این موضوع که چگونه سازگاری با تغییرات اقلیم ایجاد می‌شود، بیشتر از اینکه پرسشی باشد، جنبه و اهمیت پژوهشی دارد که چگونه الگوها کشف می‌شوند. بنابراین شناسایی الگوهای سیستم در جهت اعمال اقداماتی به‌منظور اصلاح آن‌ها، راهکار اصلی در تغییر و اصلاح رفتار کل سیستم است. در مطالعه حاضر با بررسی حلقه‌های بازخوردی، پنج الگو بین موانع سازگاری شناسایی و بررسی شد.

مطابق مفاد سند آمایش استان آذربایجان شرقی، در حوضه قرنقو که شامل شهرستان‌های هشترود و چارواوماق است به ترتیب ۴۴ و ۳۷ روستای خالی از سکنه وجود دارد. براساس آمار دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی استان، عمده اراضی کشاورزی دیم و زراعی استان در قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی استان و در محدوده این شهرستان‌ها قرار دارد. کشاورزی دیم در مقایسه با کشاورزی آبی، آسیب‌پذیری بیشتری در مقابل تغییرات اقلیم دارد. وابستگی اقتصاد ساکنان منطقه به کشاورزی و به‌تبع آن به منابع آب، نیازمند اقدامات بلندمدت به‌منظور کاهش این وابستگی از طرق مختلف از جمله کاهش بار توسعه و اشتغال منطقه از دوش بخش کشاورزی و ایجاد فرصت‌های مناسب اقتصادی و اشتغال در سایر بخش‌های اقتصادی است (Ghorbani et al., 2022a).

یافته‌های پژوهش

همان‌طور که در روش پژوهش نیز اشاره شد، بعد از کدگذاری متن مصاحبه‌ها، نمودار CLD موانع نهادی ترسیم شده است. شکل (۳) نمودار CLD مربوط به موانع نهادی سازگاری با تغییر اقلیم حوضه قرنقو را به نمایش گذاشته است.

متغیرهایی که در شکل (۳) قابل مشاهده است، متغیرهایی هستند که از کدگذاری متن مصاحبه‌ها استخراج شده و از نظر کارشناسان و مدیران سازمان‌های دولتی، موانع نهادی سازگاری سیستم منابع آب حوضه قرنقو در برابر تغییر اقلیم هستند.

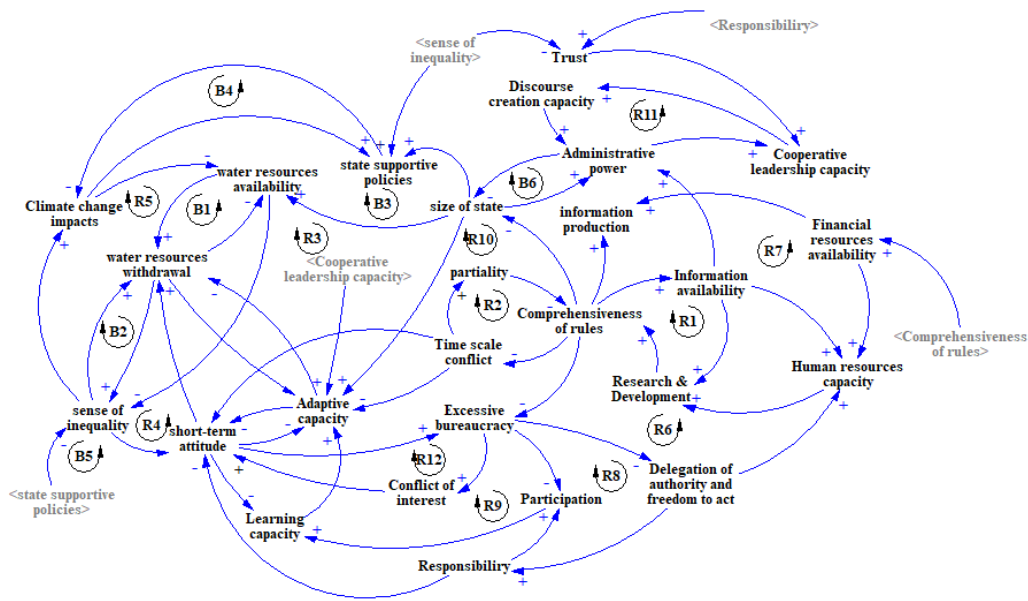


Fig. 3- The institutional barriers CLD diagram

شکل ۳- نمودار CLD موانع نهادی

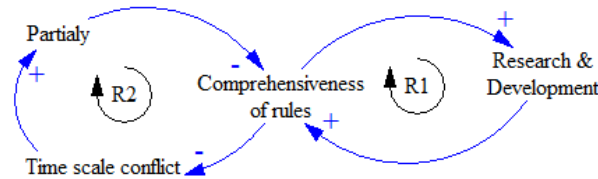


Fig. 4- The prototypical comprehensiveness of laws and regulations

شکل ۴- الگوی جامعیت قوانین و مقررات

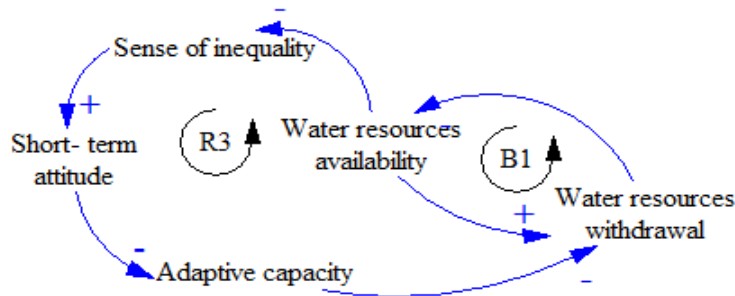


Fig. 5- The prototypical adaptive capacity

شکل ۵- الگوی ظرفیت سازگاری

با کیفیت منجر به تولید اطلاعات و گزارش‌های علمی با کیفیت خواهد شد و در مقابل اطلاعات و گزارش‌های با کیفیتی که توسط سیاست‌گذاران مورد استفاده قرار می‌گیرد منجر به تهیه و تصویب قوانین و مقررات با کیفیت و جامع می‌گردد.

تحقیق و توسعه نقش مؤثری در ظرفیت سازگاری سیستم منابع آب دارد که می‌توان آن را به‌عنوان مانع و یا فرصتی برای ارتقای ظرفیت سازگاری دانست. تحقیق و توسعه از طریق تولید

الگوی جامعیت قوانین و مقررات، شامل دو حلقه مثبت است، این الگو که در شکل (۴) قابل‌مشاهده است، نشان‌دهنده اهمیت کیفیت قوانین و مقررات در ظرفیت سازگاری سیستم منابع آب در برابر تغییر اقلیم است. یکی از آثار مهم جامعیت قوانین و مقررات تأثیر آن بر کیفیت تولید و جریان اطلاعات است که ماده اولیه تحقیق و توسعه است. از طرف دیگر کیفیت تحقیق و توسعه نیز بر جامعیت قوانین و مقررات بسیار تأثیرگذار است، تحقیق و توسعه

شود. تولید اطلاعات در زمینه آثار و پیامدهای تغییر اقلیم بسیار ضعیف و تقریباً هیچ اطلاعاتی در خصوص گزینه‌های ممکن برای سازگاری و پیامدهای اقدامات احتمالی وجود ندارد. علاوه بر این، اندک اطلاعات تولید شده نیز مختص سازمان‌های دولتی بوده و در اغلب موارد محرمانه قلمداد می‌شوند و هیچ جریان اطلاعاتی به سمت بخش غیردولتی شامل مردم محلی و کشاورزان و سمن‌ها وجود ندارد.

با این حال، گاهی حتی در صورت وجود امکانات سخت‌افزاری، اطلاعات و دسترسی آزاد به اطلاعات با کیفیت و شفاف، سیستم ظرفیت و توانایی بهره‌برداری از این اطلاعات را به‌منظور افزایش ظرفیت سازگاری ندارد، در واقع عامل دیگری که در انجام تحقیق و توسعه اثربخش، بسیار حائز اهمیت است، ظرفیت بالای نیروی انسانی است. نیروی انسانی و پژوهشگرانی که با دانش و تلاش خود می‌توانند امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری را به خدمت گرفته و این امر یکی از عواملی است که می‌تواند منجر به افزایش ظرفیت سازگاری گردد. در حوضه مورد بررسی ضعف نیروی انسانی متخصص به عنوان یکی از موانع سازگاری با تغییر اقلیم مطرح است؛ در این رابطه یکی از مدیران میانی اظهار می‌دارد: «به لحاظ عنوان و پست سازمانی و در ظاهر، در جایگاهشان متخصص هستند، یعنی براساس پستی که دارند، آری، مرتبط هستند ولی از لحاظ اینکه خودشان متخصص باشند، خیر؛ برخی می‌توانند برنامه‌ریزی کنند، اما برخی برای اینکه بخواهند برنامه‌ریزی کنند یا برنامه‌های طراحی شده را اجرایی کنند، در واقع عملاً یا توانایی ندارند یا میل و انگیزه ندارند».

قوانین و مقررات از طریق تعیین میزان و نوع دسترسی به اطلاعات، میزان منابع مالی اختصاص یافته به تأمین عوامل زیرساختی و تکنولوژی و همچنین میزان منابع مورد نیاز به‌منظور ظرفیت‌سازی در منابع انسانی، بر کمیت و کیفیت تحقیق و توسعه در سیستم منابع آب تأثیرگذار است. قوانین و مقررات با کیفیت و جامع با ایجاد آزادی دسترسی به اطلاعات، تحقیق و توسعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وقتی اطلاعات در زمینه‌های مختلف و به‌صورت آزادانه در اختیار محققان و پژوهشگران قرار داشته باشد، می‌توان انتظار داشت کیفیت و جامعیت مطالعات نیز افزایش یابد. در طرف مقابل، مطالعه‌های جامع و باکیفیت بالا منجر به ارتقای شفافیت، کیفیت و جامعیت قوانین و مقررات می‌گردد. در واقع با استفاده از نتایج این مطالعه‌ها در بررسی گزینه‌های سیاستی مختلف، توسط قانون‌گذار، می‌توان انتظار افزایش کیفیت و جامعیت قوانین و مقررات را داشت. نبود انجام تحقیق و توسعه جامع منجر به تولید آمار، اطلاعات و گزارش‌هایی می‌گردد که به مسائل به‌صورت یک‌جانبه می‌پردازند. همین امر منجر به وقوع پدیده بخشی‌نگری در تدوین قوانین و مقررات می‌گردد.

مطابق نتایج حاصل، تحقیق و توسعه باکیفیت پایین و یک‌جانبه، آمار، داده و اطلاعات غیرشفاف و نبود جریان آزاد اطلاعات و در نهایت نبود دیدگاه بلندمدت و همه‌جانبه در تدوین

اطلاعات در خصوص وضعیت منابع آب، آثار و نشانه‌های تغییر اقلیم، شناسایی گزینه‌های سازگاری با تغییر اقلیم و پیامدهای اجرای آن‌ها، مهم‌ترین نقش خود را در یک سیستم حکمرانی منابع آب ایفا می‌کند. در واقع مزیت اصلی تحقیق و توسعه، آگاهی‌بخشی به بازیگران مختلف سیستم منابع آب از طریق تولید اطلاعات است، افزایش آگاهی، منجر به افزایش دانش و درک از ریسک تغییر اقلیم شده، تمایل به تغییر را در بازیگران سطوح مختلف تحریک می‌کند، تمایل به تغییر منجر به اقدام در جهت افزایش ظرفیت سازگاری می‌شود. تحقیق و توسعه با تولید آمار و اطلاعات و گزارش‌های باکیفیت و شفاف در زمینه‌های مختلف و به‌کارگیری آن‌ها در سطوح اجرایی می‌تواند منجر به ارتقای عملکرد سازمان‌های مربوطه شده و از این طریق و در بلندمدت بر قدرت اجرایی سیستم بیفزاید. همچنین تحقیق و توسعه با فراهم کردن زمینه ایجاد نوآوری و تفکر خلاق تأثیر به‌سزایی در تغییر و اصلاح روندهای معیوب گذشته دارد. عوامل و زمینه‌های متعددی بر کمیت و کیفیت تحقیق و توسعه تأثیرگذار هستند. بخشی از این عوامل، عوامل سخت‌افزاری و زیرساختی هست که امکان انجام پژوهش در حوزه‌های مختلف را برای پژوهشگران فراهم می‌آورد؛ مثلاً وجود ابزارهای پژوهشی از قبیل دستگاه‌ها و آزمایشگاه‌های پیشرفته، تجهیزات اندازه‌گیری و امکانات شبکه‌ای و رایانه‌ای از جمله این منابع سخت‌افزاری محسوب می‌شوند. علاوه بر امکانات و تجهیزات سخت‌افزاری، دسترسی به اطلاعات نیز یکی دیگر از زمینه‌های موردنیاز برای انجام تحقیق و توسعه باکیفیت و جامع است. در واقع شاید بتوان بیان کرد اطلاعات، ماده اولیه و شرط لازم انجام تحقیق و توسعه است.

مشاهدات و نتایج حاصل از مصاحبه‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد اغلب به‌خاطر این تصور که تغییر اقلیم در آینده‌ای دور اتفاق خواهد افتاد و یا این تصور که تغییر اقلیم یک مسئله جهانی است و غیرقابل اجتناب، تولید اطلاعات در زمینه آثار و پیامدهای آن بسیار ضعیف و تقریباً هیچ اطلاعاتی در خصوص گزینه‌های ممکن جهت سازگاری و پیامدهای اقدامات احتمالی وجود ندارد (Ghorbani et al., 2022b). به‌عنوان نمونه دو مصاحبه که به این مسئله پرداخته شده است در این بخش مطرح می‌شود، «اولین مسئله این است که ما هنوز باور جدی به تغییر اقلیم نداریم، برای اینکه منابع طبیعی همیشه به‌وفور در اختیار داشته‌ایم، همین در منطقه خودمان اگر در سال‌های اخیر بحث خشک‌شدن دریاچه ارومیه را اگر نداشتیم یا خشک‌شدن زاینده‌رود را اگر نداشتیم، هنوز باور جدی به وقوع اتفاق نداریم. وقتی چیزی را هم باور نکنیم هم به دنبال راه‌حلی برای آن نخواهیم بود» و یا در مصاحبه دیگری «من به این نتیجه رسیده‌ام که تغییر اقلیم اتفاق افتادن و نیفتادنش زیاد به حال ما فرقی ندارد. اصلاً در هیچ‌کدام از برنامه‌هایمان نمی‌بینیمش، اصلاً انگار وجود ندارد مثل اینکه اصلاً همچنین چیزی وجود ندارد. درحالی‌که تغییر اقلیم بر همه چیز تأثیرگذار است، حتی در معماری و شهرسازی باید به آن توجه

سازمان جهاد کشاورزی، ایجاد سد و مهار آب‌های سطحی و انتقال آن به مزارع را راه‌حل مسئله دانسته و هم‌اکنون چندین سد کوچک و دو سد بزرگ سه‌پند و آیدوغموش در این حوضه فعال هستند. احداث سد و انتقال آب به اراضی پایاب سد منجر به بهره‌مندی بخشی از کشاورزان و نبود بهره‌مندی بخشی دیگر می‌گردد (Ghorbani et al., 2022a) و همین امر منجر به ایجاد احساس نابرابری و بروز پیامدهای منفی این امر می‌شود. با احداث سد و کاهش دسترسی کشاورزان پایین‌دست به منابع آب، فقر و در نهایت مهاجرت اجباری آن‌ها، منجر به ایجاد حس نابرابری و بی‌عدالتی و کاهش اعتماد و سرمایه اجتماعی می‌گردد. در حوضه مورد مطالعه نیز این شرایط در مناطق پایین‌دست سدهای احداث شده مشهود است. به‌عنوان نمونه در پایاب سد سه‌پند، پنج فاز به‌منظور انتقال آب سد در نظر گرفته شده است، تاکنون و با گذشت چندین سال از بهره‌برداری سد، فقط فازهای یک و دو به بهره‌برداری رسیده و آب‌رسانی به فازهای سه، چهار و پنج به دلایل مختلف به تعویق افتاده است. انتقال تیفان آب به فازهای سه، چهار و پنج، منجر به ایجاد نارضایتی و احساس بی‌عدالتی در اهالی آن مناطق گردیده است. حس نابرابری و بی‌عدالتی منجر به شکل‌گیری رفتارهای فرصت‌طلبانه در بین کشاورزان و بهره‌برداران از منابع آب شده و برداشت بی‌رویه از منابع آب گسترش می‌یابد، استفاده از فن‌آوری پمپ و برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی و کاهش حلقه زیست‌محیطی رودخانه قرنقو در پایین‌دست سد را می‌توان نمونه‌ای از این موارد دانست. در این شرایط کشاورزان نه تنها برداشت بی‌رویه از منابع آب را حق خود می‌دانند؛ بلکه آن را تنها بخشی از سهم خود از منابع کشور تلقی می‌کنند (Ghorbani et al., 2022a). بنابراین بروز دیدگاه کوتاه‌مدت ناشی از احساس نابرابری منجر به افزایش اقدامات فرصت‌طلبانه و کاهش ظرفیت سازگاری با تغییر اقلیم می‌گردد، کاهش ظرفیت سازگاری منجر به افزایش برداشت از منابع آب شده و خود به یکی از دلایل کاهش دسترسی به منابع آب و تداوم مهاجرت از منطقه تبدیل می‌شود.

شکل (۶)، الگوی بروکرسی زائد با سه حلقه بازخوردی مثبت را به نمایش می‌گذارد. خصوصیت اصلی سیستم حکمرانی کلان کشور، سیستم حکمرانی منابع آب کشور و به‌تبع آن‌ها حکمرانی منابع آب حوضه قرنقو، تمرکزگرایی و نبود مشارکت بازیگران مختلف در امور مربوط به حکمرانی است (Mirnezami et al., 2017). نظام حکمرانی سلسله مراتبی، متمرکز و از بالا به پایین و بروکرسی زائد با افزایش زمان رسیدگی به امور، منجر به کاهش کارایی می‌گردد، علاوه بر این، منجر به کاهش انگیزه خلاقیت و نوآوری در بازیگران سطوح پایین سلسله مراتب حکمرانی شده و انگیزه خودآمادگی در جهت افزایش ظرفیت سازگاری با تغییر اقلیم کاهش می‌یابد.

قوانین و مقررات موانع بزرگی در سازگاری سیستم منابع آب با تغییر اقلیم در سطح کشور و به‌تبع آن در حوضه قرنقو محسوب می‌شوند. قوانین و مقررات بخشی‌نگر منجر به بروز پدیده تضاد زمانی می‌گردد. موانع ناشی از تضاد مقیاس زمانی، به متناسب نبودن بازه زمانی برنامه‌ها و اقدامات با آثار و نشانه‌های تغییر اقلیم که ماهیت بلندمدتی دارد، اشاره می‌کند.

نبود تناسب و تضاد اشاره شده به دلایل متفاوتی می‌تواند وجود داشته باشد، هر کدام از بازیگران بخش خصوصی دارای چرخه‌های تجاری خاصی هستند که انتظار می‌رود نتایجی برای آن‌ها داشته باشد. سیاستمداران همچنین دارای چرخه‌های سیاسی (انتخابات و غیره) هستند که بر زمانی تأثیر می‌گذارند که نتایج باید برای افرادی که آنها را نمایندگی می‌کنند، قابل مشاهده باشد (Ekstrom and Moser, 2014). علاوه بر این، در خصوص مقامات محلی، بخش‌های مختلف براساس چرخه‌های مدیریتی خود که یک تا پنج سال است، کار می‌کنند. بنابراین برنامه‌هایی تدوین و اجرا می‌شود که در عمر کوتاه مسئولیت آن‌ها نتایجی هر چند کوتاه‌مدت داشته باشد (Ghorbani et al., 2022b). بررسی اظهارات مصاحبه‌شوندگان نیز وجود موانع ناشی از تضاد در مقیاس زمانی و تعارض منافع را تأیید می‌کند. چرا که اغلب پست‌های سازمانی مرتبط با مدیریت منابع آب، در سطح محلی و یا در سطح ملی، تابع تغییر و تحولات سیاسی در سطح ملی که حداکثر براساس افق زمانی چهار تا هشت سال تعریف می‌شوند، قرار دارد؛ بنابراین تضاد زمانی خود می‌تواند یکی از علل افزایش دیدگاه بخشی‌نگر در امور مختلف از جمله تدوین قوانین و مقررات باشد.

شکل (۵) نشان‌دهنده الگوی ظرفیت سازگاری مستخرج از نمودار CLD موانع نهادی سازگاری سیستم منابع آب حوضه قرنقو در برابر تغییر اقلیم است که شامل یک حلقه بازخوردی مثبت و یک حلقه بازخوردی منفی است. تفاوت در دسترسی به منابع آب منجر به شکل‌گیری احساس نابرابری در کشاورزان و بهره‌برداران محلی می‌گردد، عواملی که منجر به این تفاوت در دسترسی

می‌شوند طیف وسیعی از عوامل طبیعی و انسانی را شامل می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل طبیعی تأثیرگذار بر میزان دسترسی به منابع آب، تغییر اقلیم است که اجتناب‌ناپذیر است (Jafari Azad et al., 2022). از عوامل انسانی مؤثر بر میزان دسترسی به منابع آب مخصوصاً در حوضه مورد مطالعه، مهار آب‌های سطحی و سدسازی است. همان‌طور که اشاره شد، عمده منابع آب حوضه قرنقو را آب‌های سطحی تشکیل می‌دهد، در سال‌های اخیر با بروز پدیده خشکسالی و نبود امکان ادامه فعالیت کشاورزی، بسیاری از روستاهای حوضه خالی از سکنه شده است. سازمان‌های مسئول و مرتبط با مدیریت منابع آب حوضه از جمله شرکت آب منطقه‌ای و

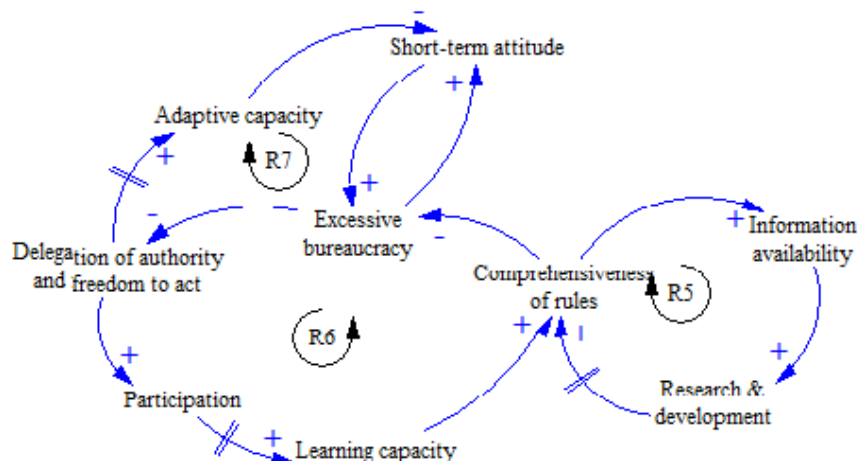


Fig. 6- The prototypical of excessive bureaucracy

شکل ۶- الگوی بوروکراسی زائد

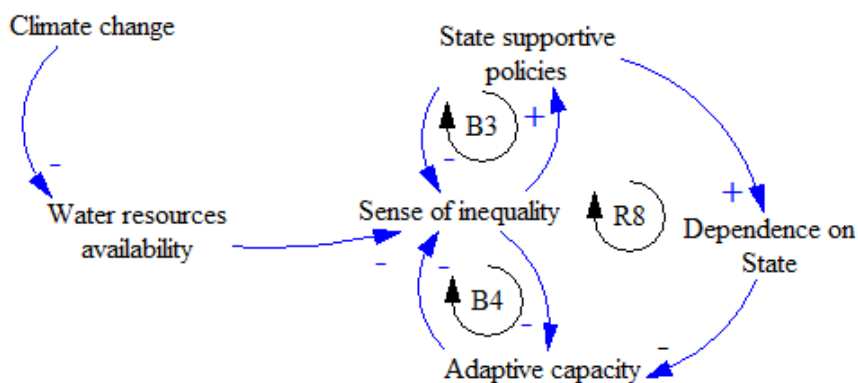


Fig. 7- The prototypical of symptomatic solution

شکل ۷- الگوی مداخله‌ای نشانه محور

احساس نابرابری در بهره‌برداران از منابع آب منجر به شکل‌گیری رفتارهای فرصت‌طلبانه، بروز مسائل اجتماعی و مهاجرت و تخلیه روستاها می‌گردد. از طرف دیگر، در ایران آب یک موضوع دولتی است و این بدان معناست که دولت قدرت و نقش اصلی را در تدوین و اجرای سیاست‌ها و قوانین آب دارد و بروکراسی زائد و از بالا به پایین منجر به اتخاذ تصمیمات و سیاست‌ها در سطوح بالای سلسله مراتب حکمرانی می‌گردد. سیستم حکمرانی منابع آب نیز از این امر مستثنی نبوده و تصمیمات و سیاست‌گذاری‌ها در حوزه آب نیز در سطح کلان اتخاذ و به سطوح پایین (سطح محلی و منطقه‌ای) ابلاغ می‌گردد. این امر منجر به اتخاذ تصمیماتی مبنی بر افزایش سیاست‌های حمایتی در جهت جبران کاهش دسترسی به منابع آب ناشی از وقوع تغییر اقلیم می‌گردد. افزایش سیاست‌های حمایتی شامل خرید تضمینی محصولات، عرضه آب و سایر نهاده‌های تولید کشاورزی با قیمت یارانه‌ای و فراهم کردن امکانات زیرساختی مانند سد، منجر به وابستگی بیشتر کشاورزان به دولت می‌گردد. احساس ناشی از نتایج مقطعی راه‌حل‌های

از طرف دیگر، نظام سلسله مراتبی و بروکراسی زائد منجر به کاهش تفویض اختیار و آزادی عمل در سطوح مختلف سیستم حکمرانی می‌شود. کاهش آزادی عمل و تفویض اختیار، مشارکت بازیگران مختلف در سیستم حکمرانی را کاهش داده و ظرفیت یادگیری کاهش می‌یابد، چرا که یادگیری در خلال مشارکت بازیگران در امور مختلف شکل می‌گیرد. با کاهش ظرفیت یادگیری و نبود اصلاح روندهای مخرب گذشته، قوانین و مقررات مصوب نیز جامعیت کافی را نداشته و این منجر به افزایش تمرکزگرایی و بروکراسی زائد می‌گردد.

شکل (۷) الگوی اقدامات مداخله‌ای نشانه محور (معرف اقدامات مداخله‌ای است که براساس نشانه‌های مشکل و نه براساس ریشه‌ها و علل آن اتخاذ می‌شوند) شامل دو حلقه بازخوردی منفی و یک حلقه بازخوردی مثبت را نشان می‌دهد. همان‌طور که اشاره شد، یکی از مهم‌ترین نشانه‌های وقوع پدیده تغییر اقلیم، بروز آثار و نشانه‌های آن در حوزه منابع آب و کاهش دسترسی به آن است. کاهش دسترسی به منابع آب از طریق ایجاد

نیست بعداً از شما بپرسد. آدم در یک فرصت موقت، استفاده موقت می‌کند». نبود تخصص‌گرایی در بلندمدت منجر به کاهش ظرفیت نیروی انسانی در سیستم می‌گردد. چرا که در این شرایط تقاضایی برای نیروی انسانی متخصص و باظرفیت وجود نخواهد داشت، نبود تقاضا برای نیروهای متخصص منجر به خالی شدن سیستم از نیروهای باظرفیت و متخصص می‌گردد؛ بنابراین، نبود پاسخگویی منجر به فراهم شدن شرایط برای بروز تعارض منافع و اتخاذ اقدامات کوتاه‌مدت در جهت منافع شخصی می‌شود. این رویکرد در مسائل حوزه آب نیز به خوبی مشهود است، احداث سد و یا اجرای پروژه‌های انتقال آب بدون بررسی پیامدهای آن‌ها و صرفاً به منظور کسب منافع شخصی و جلب رضایت عموم و رأی بیشتر، نمونه‌ای از تعارض منافع شکل‌گرفته در نتیجه نبود پاسخگویی است.

نبود الزام افراد به پاسخگویی در قبال عملکردشان منجر به غلبه دیدگاه کوتاه‌مدت و اتخاذ اقداماتی در جهت دستیابی به منافع شخصی و کوتاه‌مدت می‌شود. این امر با به تأخیر انداختن پرداختن به مسائل و مشکلات، منجر به انباشت و حواله آن‌ها به آینده می‌شود. انباشت مسائل و مشکلات در بلندمدت منجر به شدیدتر شدن آثار و پیامدهای آن‌ها شده و مسائلی با ابعاد وسیع‌تر را به وجود می‌آورند. ناکارآمدی سیستم حکمرانی و نبود پاسخگویی به مسائل و مشکلات به وجود آمده، منجر به گسترش نارضایتی‌ها و کاهش اعتماد مردم به سیستم حکمرانی می‌گردد. کاهش ظرفیت گفتمان‌سازی ناشی از نبود پاسخگویی و کاهش اعتماد، در نهایت منجر به پیچیدگی بیشتر و امنیتی شدن مسائل و مشکلات خواهد شد، که در این شرایط پرداختن به آن‌ها و جستجوی راه‌حل بسیار مشکل و در برخی موارد ناممکن می‌شود.

در این بخش قصد بر این است اقدامات مداخله‌ای متناسب با الگوهای شناسایی شده ارائه و تحلیل گردد. همان‌طور که اشاره شد مدوز سطوح دوازده‌گانه مداخله در جهت به‌کارگیری تفکر سیستمی و حل مسائل پیچیده، پیشنهاد کرده است. در این بخش به منظور پیشنهاد اقدامات مداخله‌ای به منظور رفع موانع سازگاری از چارچوب ILF استفاده شده است. اقدامات مداخله‌ای پیشنهادی در این بخش براساس الگوهای شناسایی شده از نمودار CLD مطرح شده است.

کوتاه‌مدت، باعث افزایش این راه‌حل‌ها شده، از سوی دیگر صرف انرژی و هزینه زیاد برای راه‌حل‌های مقطعی، باعث غفلت از راه‌حل‌های اساسی شده تا جایی که برآیند آن باعث اتکای شدید سیستم به راه‌حل‌های کوتاه‌مدت می‌گردد (Farzaneh et al., 2016). از طرف دیگر، اتخاذ و اجرای مداوم سیاست‌های حمایتی توسط دولت و اتکای جوامع محلی بر آن‌ها، اقدام به‌منظور ایجاد ظرفیت‌سازی توسط جوامع محلی غیرعقلانی قلمداد شده و هیچ انگیزه‌ای در جهت خودآمدگی در برابر آثار تغییر اقلیم نخواهند داشت.

مطابق الگوی پاسخگویی که در شکل (۸) ارائه شده است، نبود جامعیت قوانین و مقررات منجر به شکل‌گیری بروکراسی زائد و پیچیدگی در انجام امور مختلف و زمان‌بر شدن فرایندها در سیستم حکمرانی (از جمله سیستم حکمرانی منابع آب) می‌گردد. بروکراسی زائد از طرق مختلف منجر به کاهش کارایی در سیستم حکمرانی می‌شود. بروکراسی زائد ناشی از قوانین و مقررات غیراستاندارد، از طریق کاهش انعطاف‌پذیری و آزادی عمل در سطوح پایین سلسله مراتب سیستم حکمرانی، بر تفکیک و تعریف وظایف و مسئولیت‌ها تأثیرگذار است و منجر به کاهش شفافیت در تعریف دقیق وظایف می‌گردد و از این طریق منجر به کاهش پاسخگویی می‌شود. نبود پاسخگویی در قبال عملکرد، منجر به بروز مسائل متفاوتی در سیستم حکمرانی می‌شود. یکی از پیامدهای نبود پاسخگویی، نبود تخصص‌گرایی و تحقیق و پژوهش باکیفیت است (شکل ۸)، مطابق اظهارات یکی از کارشناسان «اگر نیاز نیست که پاسخگو باشید و عملکرد و مسئولیتی هم بپذیرید، نیاز به تخصصی هم ندارید. فرق نمی‌کند که آدم بی‌سواد آنجا بگذارد و مسئولیتی بپذیرد یا نه. سواد و تخصص و تحقیق و پژوهش، همه این‌ها به‌تبع این به وجود می‌آید که قرار باشد پاسخی بدهید. در غیر این صورت یک آدم ضعیف می‌گذارید، در چهار سال، یک بخش را از بین می‌برد. یک آدم قوی می‌گذارید که خیلی هم خوب عمل می‌کند. وقتی این‌ها در پاسخگویی فرقی باهم نمی‌کنند، پس بهتر است از دوران موقت مسئولیت، در چند صبحی که هستید، استفاده کنید تا دوروبری‌ها به نان و نوبی برسند. قرار نیست که شق‌القمر کنند، قرار نیست مسئله‌ای از منابع آب، از اشتغال، از سلامت حل کنید. قرار نیست تحولی در آنجا ایجاد کنید. چند صبحی هست، کسی هم قرار

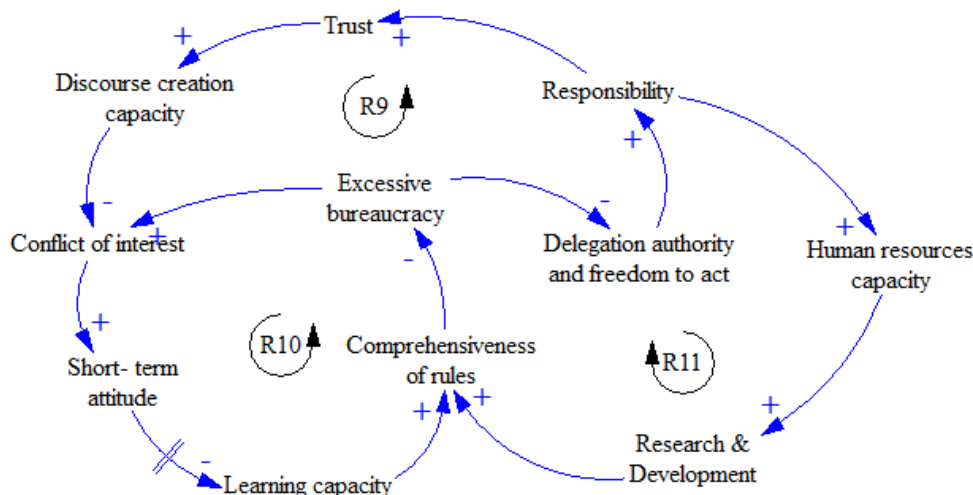


Fig. 8- The prototypical responsiveness

شکل ۸- الگوی پاسخگویی

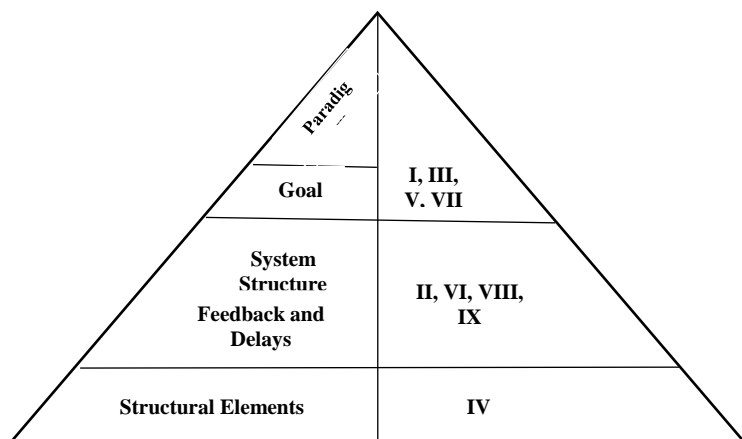


Fig. 9- Intervention measures identified in the framework of ILF

شکل ۹- اقدامات مداخله‌ای شناسایی شده در چارچوب ILF

تغییر در پارادایم‌ها و اهداف سیستم است. اقدامات مداخله‌ای تدوین معیار ارزیابی عملکرد مستقل از زمان، خصوصی‌سازی بیمه کشاورزی، تعریف شفاف و دقیق وظایف و مسئولیت‌ها و افزایش ظرفیت گفتمان‌سازی با سطوح مداخله ساختار سیستم و بازخوردها و تأخیرها در ارتباط هستند. به عبارت دیگر اجرای این اقدامات نیازمند ایجاد تغییراتی در سیستم، تعریف برخی قواعد و همچنین ایجاد دسترسی به جریان اطلاعات است. اقدام مداخله‌ای افزایش مشارکت بازیگران نیز با سطح مداخله عناصر سیستم در ارتباط بوده و به منظور افزایش مشارکت بازیگران، اعمال تغییراتی در عناصر و پارامترهای سیستم (سوسپید، مالیات و...) ضروری است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه قصد بر این بود که موانع نهادی سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه قرنقو شناسایی و تحلیل شود. با بررسی پیشینه پژوهش مشخص گردید بروز پدیده تغییر اقلیم و آثار و

در واقع با بررسی هر کدام از الگوهای استخراج شده متغیری که تغییر در آن منجر به بهبود عملکرد سیستم می‌گردد، شناسایی و به‌عنوان اقدام مداخله‌ای مطرح شد. این اقدامات عبارت‌اند از اصلاح قوانین و مقررات (I)، تدوین معیار ارزیابی عملکرد مستقل از زمان (II)، افزایش ظرفیت سازگاری (III)، افزایش مشارکت بازیگران (IV)، تفویض اختیار و آزادی عمل (V)، خصوصی‌سازی بیمه کشاورزی (VI)، کاهش وابستگی به دولت (VII)، تعریف شفاف و دقیق وظایف و مسئولیت‌ها (VIII) و افزایش ظرفیت گفتمان‌سازی (IX). اقدامات مداخله‌ای شناسایی شده در این مطالعه در قالب چارچوب ILF در شکل (۹) قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل (۹) قابل مشاهده است، اقدامات مداخله‌ای اصلاح قوانین و مقررات، افزایش ظرفیت سازگاری، تفویض اختیار و آزادی عمل و کاهش وابستگی به دولت به سطوح مداخله پارادایم و اهداف سیستم مرتبط هستند و از طریق تغییر در آنها اجرایی می‌شوند، به عبارت دیگر اجرای این اقدامات نیازمند ایجاد

ملی انجام شده است که به برخی از آن‌ها در این بخش اشاره شد. در اکثر این مطالعه‌ها موانع نهادی به‌عنوان مهم‌ترین مانع برای سازگاری با تغییر اقلیم شناسایی شده است. موانع شناسایی شده در این مطالعه‌ها که تحت عنوان موانع نهادی مورد بررسی قرار گرفته است با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. موانعی مانند نبود اطلاعات و عدم دسترسی آزاد به اطلاعات، بروکراسی زائد و انعطاف‌ناپذیری فرایندهای حکمرانی، نبود باور به سازگاری و عدم درک وقوع تغییر اقلیم از موارد مشترکی هستند که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد.

در مطالعه حاضر بعد از شناسایی موانع سازگاری که از طریق، روابط علی بین این موانع نیز به‌منظور شناسایی اثرات انباشته آن‌ها ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس با بررسی نمودار CLD موانع نهادی، پنج الگو شناسایی شد که هر کدام به‌طور مجزا بررسی گردید. الگوهای شماره یک، سه و پنج نشان‌دهنده نقش و اهمیت قوانین و مقررات به‌عنوان نهاد رسمی سیستم حکمرانی منابع آب، در سازگاری با تغییر اقلیم است. قوانین و مقررات از جنبه‌های مختلفی بر ظرفیت سازگاری با تغییر اقلیم تأثیرگذار است. قوانین و مقررات غیراستاندارد و بخشی‌نگر، بروکراسی زائد و نبود شفافیت در تعریف وظایف و مسئولیت‌ها، نبود پاسخگویی را به دنبال خواهد داشت. نبود پاسخگویی منجر به بروز تعارض منافع و کاهش تخصص‌گرایی می‌شود که خود را به‌صورت کاهش ظرفیت نیروی انسانی (در سطوح مختلف سیستم حکمرانی) نشان می‌دهد. نبود پاسخگویی افراد در قبال عملکرد و نتایج و پیامدهای اقداماتشان منجر به انباشت مسائل و بروز مشکلات حادث‌تر شده و اعتماد عمومی را به سیستم کاهش می‌دهد، کاهش اعتماد، کاهش ظرفیت گفت‌وگو سازی و گسست اجتماعی را به دنبال خواهد داشت. از طرف دیگر، شرایط ناشی از نبود جامعیت قوانین و مقررات، منجر به کاهش ظرفیت، توانایی و انگیزه بازیگران مختلف برای مشارکت در امور می‌گردد. نبود مشارکت مستمر و فعال، منجر به کاهش ظرفیت یادگیری بازیگران شده و نبود انعطاف‌پذیری سیستم در برابر تغییرات را به دنبال خواهد داشت؛ بنابراین ارتقای جامعیت قوانین و مقررات و اصلاح برخی از آن‌ها در جهت تطبیق قوانین با شرایط زمانی و مکانی موجود را می‌توان به‌عنوان پیشنهاد سیاستی به‌منظور اصلاح این ساختار ارائه کرد.

شکل (۵) به اهمیت ظرفیت سازگاری سیستم در برابر تغییر اشاره دارد، از آثار مهم تغییر اقلیم، کاهش دسترسی به منابع آب است، کاهش دسترسی به منابع آب منجر به ایجاد حس نابرابری در بهره‌برداران و بازیگران محلی می‌شود. احساس نابرابری منجر به بروز رفتارهای فرصت‌طلبانه و ترجیح منافع کوتاه‌مدت بر بلندمدت می‌شود. دیدگاه کوتاه‌مدت بازیگران در سطوح مختلف (بازیگران محلی، کشاورزان و بهره‌برداران و یا بازیگران دولتی) با ماهیت بلندمدت تغییر اقلیم و لزوم سازگاری با این پدیده

نشانه‌های آن یکی از دغدغه‌های اصلی پژوهشگران در علوم مختلف است. Panditharatne (2016) موانع نهادی سازگاری با تغییر اقلیم در سریلانکا را شناسایی کرده است. در این مطالعه عدم تناسب تشکیلات نهادی برای سازگاری با تغییر اقلیم در سریلانکا را ناشی از مقید بودن سیستم‌های نهادها به سنت‌ها و روال‌های گذشته، انعطاف‌پذیری پایین و نبود مکانیسم‌های یادگیری و نبود مکانیسم‌های به‌منظور توانمندسازی بازیگران سیستم حکمرانی می‌داند. Biesbroek et al. (2013) در مطالعه‌ای به‌منظور شناسایی موانع نهادی سازگاری با تغییر اقلیم این موانع را شامل نااطمینانی ذاتی و پراکندگی‌های تغییر اقلیم، شکاف نهادی، دیدگاه کوتاه‌مدت سیاست‌گذاران و نبود انگیزه و تمایل به ایجاد سازگاری می‌دانند. Zea-Reyes et al. (2021) در مطالعه خود موانع سازگاری با تغییر اقلیم را شامل موارد زیر می‌داند: نبود یک بخش اختصاصی که در آن اطلاعات مربوط به خطرات تغییر اقلیم جمع‌آوری شده و با سایر بخش‌ها به اشتراک گذاشته می‌شود، دانش و درک علمی محدود، و همچنین چارچوب‌ها یا چشم‌اندازهای تحریف‌شده، که در آن تغییرات اقلیم با موضوعات دیگر نامرتبط در نظر گرفته می‌شوند که به این مسئله باید در سطوح بالاتر دولت رسیدگی شود. Azizi Khalkhili et al. (2015) نیز با بررسی دیدگاه‌های کشاورزان، موانع سازگاری با تغییر اقلیم را در دو دسته‌بندی موانع فردی و نهادی دسته‌بندی کرده‌اند. موانع نهادی در این مطالعه، کمبود دانش و اطلاعات در مورد راه‌های سازگاری با تغییر اقلیم و در مورد نشانه‌های بروز تغییر اقلیمی، توزیع ناعادلانه امکانات و اعتبارات دولتی، نبود نهاد و سازمان تأمین اعتبارات موردنیاز، بروکراسی زائد، عدم دسترسی به تکنولوژی مناسب، نبود تشکل‌های منسجم در بخش کشاورزی، مشکلات بیمه محصولات و پرداختن حق بیمه، نبود بازار مناسب محصولات و وجود واسطه‌گری و دلال‌بازی، قطعه قطعه بودن اراضی شناسایی شده‌اند. Jahantigh et al. (2022) موانع سازگاری با تغییر اقلیم در کشاورزان را در چهار دسته موانع هنجاری، موانع نهادی، موانع فناوری و اطلاعات و موانع شناختی شناسایی کردند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد کشاورزان با موانعی چون بی‌تفاوتی به اثرات تغییر اقلیم، ناتوانی و تعصبات شناختی در مورد روند تغییرات اقلیم، عدم کسب اطلاعات به موقع مربوط به تغییرات اقلیم، عدم کسب اطلاعات دقیق مربوط به تغییرات اقلیم، شیوه نامناسب سازگاری، عدم تمایل به استفاده از اقدامات پیشگیرانه از قبل، تمایل به استفاده از روش‌های تولید سنتی و ناکارآمد، عدم دسترسی به یارانه‌های کشاورزی و حمایت و مشوق‌های دولتی، عدم تبلیغات در روند سازگاری با تغییر اقلیم و عدم استفاده از راهنمایی نخبگان روستایی، مواجه هستند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود مطالعه‌های زیادی در خصوص موانع سازگاری با تغییر اقلیم در سطح جهان و همچنین در سطح

با تمرکز بر موانع و حلقه‌های بازخوردی مورد بحث، پیشنهادهایی برای رفع موانع نهادی سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه قرقو، در قالب چارچوب ILF مطرح گردید.

تشکر و قدردانی

این پژوهش مستخرج از رساله دکتری در دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه تبریز بوده و با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده اول به شماره ۱۰۵/۴۲۱۱۶۸ انجام شده است. به این وسیله از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه تبریز و شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی تشکر و قدردانی می‌شود.

همخوانی نداشته و منجر به کاهش ظرفیت سازگاری می‌گردد. این در حالی است که مطابق آنچه در شکل (۷) و الگوی سیاست‌های مداخله‌ای نشانه محور قابل مشاهده است، سازمان‌های دولتی مرتبط با مدیریت منابع آب، با اتخاذ اقدامات و سیاست‌های حمایتی سعی در جبران نابرابری ناشی از کاهش دسترسی به منابع آب دارند، این امر منجر به افزایش وابستگی کشاورزان به دولت و عدم درک مشکل توسط آن‌ها می‌گردد. دیدگاه‌های کوتاه‌مدت تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران در سیستم حکمرانی منابع آب منجر به اتخاذ اقدامات کوتاه‌مدت با هدف کسب نتایج زود هنگام منجر وابستگی به مسیر می‌شود که به بروز مشکلات بزرگتر و پیچیده‌تر در آینده منجر خواهد شد. در خاتمه

References

- 1- Abbaszadeh, B., Layeghhaghighi, M., Azimi, R. and Hadi, N., 2020. Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops & Products*, 144, 111893. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111893. (In Persian).
- 2- Abdollahzadeh, G., Azhdarpour, A. and Sharifzadeh, M.S., 2018. Investigating Rural People Perceptions of Climate Changes and Adaptation Strategies in Zabol County. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 28(4), pp. 85-106. DOI: 10.22108/GEP.2018.103703.1041. (In Persian).
- 3- Adger, W.N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D.R., Naess, L.O., Wolf, J. and Wreford, A., 2009. Are there social limits to adaptation to climate change?. *Climate Change*, 93, pp.335-354.
- 4- Australian Public Service Commission., 2007. Tackling wicked problems: A public policy perspective. *Canberra Australian Public Service Commission*.
- 5- Azizi Khalkhili, T., Zamani, G. and Karami, E., 2015. Adaptation of agriculture to the fluctuations of climate change, *Journal of Agricultural Economics and Development*, 3, pp. 148-159. (In Persian).
- 6- Barr, R., Fankhauser, S. and Hamilton, K., 2010. The Allocation of Adaptation Funding, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. *Centre for climate change economics and policy Grantham research institute on climate change and the environment*, Policy paper.
- 7- Biesbroek, R., Klostermann, J., Termeer, C.J.A.M. and Kabat, P., 2011. Barriers to climate change adaptation in the Netherlands. *Climate /law*, 2(2), pp.181-199.
- 8- Biesbroek, R., Termeer, C.J.A.M., Klostermann, J. and Kabat, P., 2013. Analytical lenses on barriers in the governance of climate change adaptation, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(7), pp. 1-22.
- 9- Brooks, N., Adger, N.W. and Mick Kelly, P., 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation, *Global Environmental Change*, 15, pp.151-163. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006.
- 10- Burch S., 2010. In pursuit of resilient. Low carbon communities: an examination of barriers to action in three Canadian cities, *Energy Policy*, 38, pp. 7575-7585. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.06.070.
- 11- Burton I., 2009. Climate change and the adaptation deficit. Earth scan Reader on Adaptation to Climate Change, eds Schipper ELF, Burton I (Earthscan, Sterling, VA), pp. 89-95.

- 12-Christoplos, Lan., Anderson, Simon., Arnold, Margaret., Galaz, Victor., Hedger, Merylyn., Klein, Richard J.T. and Le Goulven, Katell., 2009. The human dimension of climate adaptation (the importance of local and institutional issues, *Commission on climate change and development and Stockholm Environment Institute*.
- 13-Christoplos, Lan., Farrington, J., Kidd, A., and Beckman, M., (2001). Extension, Poverty, and Vulnerability in Nicaragua Country study for the Neuchatel initiative, *Collegium for development studies Uppsala University*, Working Paper.
- 14-Delavar, Majid., (2022). The requirements of the optimal approach in climate change adaptation policies in the water and agriculture sector, Islamic Parliament Research Center, *Water Group Social Studies Office*, Report 25018399. (In Persian).
- 15-DiMaggio, P. J., and W. W. Powell., 1991. The new institutionalism in organizational analysis, Introduction, Powell and P. J. DiMaggio, editors, *The University of Chicago Press*, Chicago, Illinois, USA.
- 16-Durham, J., Schubert, L., Vaughan, L. and Willis, CD., 2018. Using systems thinking and the Intervention Level Framework to analyze public health planning for complex problems: Otitis Media in Aboriginal and Torres Strait Islander Children. *PLoS ONE*, 13(3): e0194275.
- 17-Eaken, H., and Luers, Amy Lynd., 2009. Assessing the Vulnerability of Social-Environmental System, *Annual Review of Environmental and Resources*, 31(1), pp.365-394. DOI: 10.1146/annurev.energy.30.050504.144352.
- 18-Eisenack, K., and Stecker, R. A., 2012. Framework for analyzing climate change adaptations as actions, *Mitigation Adaptation Strategies for Global Change*, 17, pp. 243–260.
- 19-Ekstrom, J. A., and Moser S. C., 2014. Identifying and overcoming barriers in urban climate change adaptation: Case study findings from the San Francisco Bay Area. California, USA, *Urban Climate*, 9, pp.54-74. DOI: 10.1016/j.uclim.2014.06.002..
- 20-Ekstrom, JA., Moser, SC., and Torn, M., 2010. Barriers to Adaptation: A Diagnostic Framework. *Final Project Report* (California Energy Commission, Sacramento, CA).
- 21-Fankhauser, S. and McDermott, Thomas K.J., 2014. Understanding the adaptation deficit: Why are poor countries more vulnerable to climate events than rich countries? *Global Environmental Change*, 27, pp. 9-18. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.014.
- 22-Farzaneh, Mohammadreza., Bagheri, Ali. and Momeni, Farshad., 2016. Analysis of the institutional base of the underground water resources system in the Rafsanjan area by system dynamics approach, *Iran water resources research*, 12(2), pp. 67-82. (In Persian).
- 23-Ford JD, Berrang-Ford L, King M. and Fugal C., (2010). Vulnerability of aboriginal health systems in Canada to climate change, *Global Environmental Change*, 20, pp. 668–680. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2010.05.003.
- 24-Ghorbani, Fahmideh., Behboudi, Davood. and Zarghami, Mahdi., 2022a. Participatory Water Resources Management Strategy: Institutional Analysis and Collective Action Approach (Sahand Dam Downstream), *Journal of Water and Irrigation Management*, 12(1), pp.121-137. (In Persian).
- 25-Ghorbani, Fahmideh., Behboudi, Davood. and Zarghami, Mahdi., 2022b. Identification and thematic analysis of barriers to adaptation to climate change (Case study: Qarranqu basin), *Iran-Water Resources Research*, 18(3). (In Persian).
- 26-Golfam, Parvin. and Ashofteh, Parisa-Sadat., 2018. Development of gray approach in water resource management using risk indicators. *Iran- Water Resources Research*, 15(3), pp.120-132. DOR: 20.1001.1.17352347.1398.15.3.9.0. (In Persian).

- 27-Goulden, M., Conway, D. and Persechino, A (2009), Adaptation to climate change in international river basins in Africa: a review, *Hydrological Sciences Journal*, 54, pp. 805–828. DOI: 10.1623/hysj.54.5.805.
- 28-Heydari, Asadollah. and Moghimi, Ebrahim., 2017. Geomorphology and systemic management of the river (case study: Qarranqu Basin to Sahand Dam (Hashtrud)). *Geography journal*. 5(14), pp.119-137. (In Persian).
- 29-Jafari Azad, Amir., Mirzaei, Khalil. and Seyfollah, Seyfollahi., (2022). Social consequences of water transfer projects with an emphasis on the concept of citizenship, *Social Research Journal*, 14(4), pp. 15-42. (In Persian).
- 30-Jahantigh, Hossein., Bakhshi, Amir. and Ghorbani. S, Rezvan., 2022. Barriers and requirements for adaptation of farmers in mountainous areas to climate change, a case study: Papi section of Khorram Abad city. *Applied Research of Geographical Sciences journal*, 22(67), pp. 281-300. DOI: 10.52547/jgs.22.67.281. (In Persian).
- 31-Jahantigh, M., Samadi, K., Esmaealzadeh Dizaj, R. and Salari, Saeed., 2020. Antimicrobial resistance and prevalence of tetracycline resistance genes in *Escherichia coli* isolated from lesions of colibacillosis in broiler chickens in Sistan, Iran, *BMC Veterinary Research*, 267(16), pp.1-6. (In Persian).
- 32-Johnston, LM., Matteson, CL. and Finegood, DT., 2014. Systems science and obesity policy: a novel framework for analyzing and rethinking population-level planning. *Am J Public Health*;104(7), pp.1270–1278.
- 33-Kaufmann, D., 2010. The Worldwide Governance Indicators Methodology and Analytical Issues. Policy Research Working Paper WPS 5430. *The World Bank Development Research Group Macroeconomics and Growth Team*.
- 34-Mahmoudi, H., Renn, O., Vanclay, F., Hoffmann, V. and Karami, E., 2013. Framework for combining social impact assessment and risk assessment, *Environmental Impact Assessment Review*, pp. 43:1-8.
- 35-Malhi, L., Karanfil, O. and Merth, T., 2009. Places to intervene to make complex food systems healthier, green, fair, and affordable. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 4(3–4), pp. 466–476. DOI: 10.1080/19320240903346448.
- 36-Meadows, D. and Wright, D., 2008. Thinking in systems: a primer. Hartford, VT: *Chelsea Green Publishing*.
- 37-Mirnezami, S.Jalaleddin. and Bagheri, Ali., 2017. Evaluation of the water governance system in the process of protecting Iran's underground water resources, *Iran -Water Resources Research*, 13(2), pp.32-55. (In Persian).
- 38-Mohammadi, Parvin. and Malekian, Arash., 2020. Evaluation and Analyses of Adaptation Capacity of Local Communities to Climate Hazards (Study Area: Sefidbarg and Bivandsofla Villages, Javanroud County), *Environmental Hazards Management*, 7(1), pp. 39-54 DOI: 10.22059/JHSCI.2020.299401.549. (In Persian).
- 39-Mohammadi, Parviz., Malekian, Arash., Ghorbani, Mahdi. and Nazari. S Aliakbar., 2019. Investigating the Relationship between the Vulnerability of Communities and Climate Changes in Kermanshah Province, *Geography and Sustainability of Environment*, 32, pp. 33-47. DOI: 10.22126/GES.2019.3873.1994. (In Persian).
- 40-Nobles, James D., Radley, Duncan. and Mytton, Oliver T., 2021. The Action scales model: A conceptual tool to identify key points for action within complex adaptive systems, *Perspectives in Public Health*, ISSN 1757-9139, DOI: 10.1177/175791392110067.

- 41-Ostrom, E., 1990. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 42-Panditharatne, Chandani., 2016. Institutional barriers in adapting to climate change: A case study in Sri Lanka, *Ocean and Coastal Management*, 130, pp. 73-78. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2016.06.003.
- 43-Parry, ML., Canziani, OF., Palutikof, JP., van der Linden, PJ. And Hanson, CE., 2007. Climate change: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Cambridge University Press*.
- 44-Rogers, P. and Hall, A.W., 2003. Effective water governance, Stockholm: *Global water partnership*, 7.
- 45-Runhaar, Hens., Mees, Heleen., Wardekker, Sluijs., Jereen, Van der., and Driessen, Peter P. J., 2012, Adaptation to climate change- related risks in Dutch urban areas: stimuli and barriers, *Regional Environmental Change*, 12, pp.777-790.
- 46-Senge PM., 1990. *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*. New York: *Doubleday/Currency*.
- 47-Sterman, J. D., 2000. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Irwin: *McGraw-Hill*.
- 48-The Spatial Planning document of East Azerbaijan province., 2021. *Management and Planning Organization*. (In Persian).
- 49-Tol, Richard S.J. and Yole, Gray W., 2007. The weakest link hypothesis for adaptive capacity: An empirical test, *Global Environmental Change*, 17, pp. 218-227. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.08.001.
- 50-UNESCO World Water Assessment Programme., 2012. The United Nations World Water development report 4: managing water under uncertainty and risk, *executive summary*, 24p.
- 51-West, DW., Kujbida, GW., Moore, DR., Atherton, P., Burd, NA., Padzik, JP., De Lisio, M., Tang, JE., Parise, G., Rennie, MJ., Baker, SK. and Phillips, SM., 2009. Resistance exercise-induced increases in putative anabolic hormones do not enhance muscle protein synthesis or intracellular signaling in young men. *J Physiol*, 21(1), pp.5239-5247.
- 52-www.worldbank.org
- 53-Zea-Reyes, Leonardo., Olivotto, Veronica. and Bergh, L. Sylvia., 2021. Understanding institutional barriers in the climate change adaptation planning process of the city of Beirut: Vicious cycles and opportunities, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 26, pp.1-24.

EXTENDED ABSTRACT

A comparative study using a data-driven method versus a hybrid approach to estimate daily reference evapotranspiration in Ahvaz

M. Sharafi^{1*}, S. Besharat² and K. Zeinalzadeh³

*1** - Corresponding Author, PhD student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. (st_m.sharafi@urmia.ac.ir)

2 - Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

3 - Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 18 April 2023

Revised: 26 June 2023

Accepted: 28 June 2023

Keywords:

Prediction, Optimization, Fruit fly Algorithm, Support Vector Regression, Ahvaz.

TO CITE THIS ARTICLE:

Sharafi, M., Besharat, S., Zeinalzadeh, K. (2024). 'A comparative study using a data-driven method versus a hybrid approach to estimate daily reference evapotranspiration in Ahvaz', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(2), pp. -. doi: 10.22055/jise.2023.43524.2065.

Introduction

Evapotranspiration is considered one of the most essential parameters in meteorology and water resources (Sun et al., 2021). Therefore, accurate estimation of reference evapotranspiration is one of the most important tasks that lead to better management of water resources and solving many water engineering challenges (Wanniarachchi and Sarukkalgige, 2022). Various meteorological variables, such as solar radiation, air temperature, relative humidity, and wind speed, can interactively affect the reference evapotranspiration component (Yan et al., 2019). Therefore, the development of various improved methods to predict this very important variable is of particular importance for researchers (Ghumman et al., 2021). Due to the complexity of hydrological systems, complete modeling of hydrological systems is very complicated (Eslamian and Eslamian, 2022). In addition, the existence of uncertainty in future climate changes makes it important to model and achieve possible future changes. In such a situation, it is beneficial to use modeling based on mathematical relationships and data-based models (Kisi et al., 2016). One of the available models is Support Vector Regression (SVR), which has been used in various studies (El Bilali et al., 2023; Shabani et al., 2020). The fruit fly optimization algorithm (FOA) is used as one of the innovative algorithms for optimization, and due to its high accuracy in various optimization applications, such as global continuous optimization problems, it has been able to attract a lot of attention (Wu et al., 2020). The aim of this research is to evaluate the performance of SVR optimized with FOA in estimating daily reference evapotranspiration of Ahvaz station located in Khuzestan province. Due to the hot and semi-desert climate of Ahvaz and the growing shortage of water resources, accurate forecasting of daily reference evapotranspiration becomes more important in this station. It is noteworthy that the SVR-FOA hybrid model is used for the first time in this research to predict daily reference evapotranspiration values. The review of previous studies has shown that the SVR-FOA model has not been used to estimate daily reference evapotranspiration.

Methodology

Study area

In the current research, daily reference evapotranspiration values were considered during the statistical period of 22 years in 2000-2022 at Ahvaz station. This city is located in the geographical position of 31° 30' N and 48° 65' E, in the plains of Khuzestan and with a height of 12 m above sea level, in the southwest of Iran and the center of Khuzestan province.

Table (1) shows the different scenarios considered as input and output of the models. Parameters of average temperature (T_{avg}), minimum temperature (T_{min}), maximum temperature (T_{max}), average relative humidity (RH_{avg}), minimum relative humidity (RH_{min}), maximum relative humidity (RH_{max}), wind speed (U), and sunshine hours (SSH) as input parameters and daily reference evapotranspiration (E) as the target parameter. The way of choosing different input compounds to estimate daily reference evapotranspiration in the studied models is based on having a higher correlation than other compounds.

Table 1- Different input combinations to estimate the amount of daily evapotranspiration in the studied models

Scenario	parameters Input							Output
1	T_{avg}							E
2	T_{avg}	T_{min}	T_{max}					E
3	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	RH_{avg}				E
4	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	RH_{avg}	RH_{min}	RH_{max}		E
5	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	RH_{avg}	RH_{min}	RH_{max}	U2	E
6	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	RH_{avg}	RH_{min}	RH_{max}	U2 SSH	E

Support Vector Regression (SVR)

SVR is used to classify and analyze regression problems. This method was proposed by Vapnik and Chervonenkis (1974). SVR is based on the dual classification in the desired feature space and is widely used in prediction problems (Jha and Hayashi, 2014; Yoon et al., 2011).

Fruit fly optimization algorithm (FOA)

Pan (2012) presented the fruit fly optimization algorithm (FOA) for the first time. This simple and fluent algorithm has solved part of the challenges related to the difficulties of previous algorithms. This algorithm is similar to many other meta-heuristic algorithms that are designed based on the inspiration of nature, based on the natural behavior of organisms. The fruit fly approaches the location of the fruit after smelling the fruit in the air. This insect finds the exact position of the fruit by using its sense of sight (Poluru and Kumar R, 2021).

In this research, the statistical parameters of correlation coefficient (R), root mean square error ($RMSE$), Nash-Satcliff coefficient (NS), and Willmott's index of agreement (WI) were used to evaluate the performance of different scenarios defined for the studied methods.

Findings

The evaluation of the results according to Table (2) showed that the third scenario of the SVR model with $R=0.71$, $RMSE= 1.45$ mm/day, $NS=0.33$, and $WI=0.82$ has the lowest error compared to other SVR combinations. The high accuracy of this model shows the high importance of the relative humidity parameter in increasing the prediction accuracy of the reference evapotranspiration parameter. Among the combined SVR-FOA models, the sixth scenario with $R=0.71$, $RMSE=1.24$ mm/day, $NS=0.51$, and $WI=0.82$ has the highest accuracy compared to all scenarios. The reason for this is the addition of the sunshine hour's parameter to the model inputs. Because the city of Ahvaz has a semi-desert climate due to long sunshine hours, and as a result, sunshine hours have an effective role in predicting the accuracy of the daily reference evapotranspiration parameter.

Table 2- Evaluation parameters of the studied models in the test period

Model	Evaluation criteria			
	R	RMSE (mm/day)	NS	WI
SVR-1	0.65	1.53	0.25	0.78
SVR-2	0.64	1.60	0.18	0.77
SVR-3	0.71	1.45	0.33	0.82
SVR-4	0.69	1.52	0.26	0.81
SVR-5	0.70	1.56	0.22	0.81
SVR-6	0.69	1.52	0.26	0.82
SVR-FOA-1	0.61	1.39	0.38	0.73
SVR-FOA-2	0.62	1.39	0.38	0.73
SVR-FOA-3	0.68	1.32	0.44	0.79
SVR-FOA-4	0.72	1.30	0.46	0.81
SVR-FOA-5	0.72	1.25	0.50	0.81
SVR-FOA-6	0.71	1.24	0.51	0.82

Conclusion

Forecasting reference evapotranspiration is of particular importance for researchers, therefore researchers have provided various methods to improve the performance of forecasting models. In this research, using SVR and SVR-FOA methods, daily reference evapotranspiration values were estimated in Ahvaz station during the statistical period of 2000-2022. The obtained results were compared using statistical parameters and it was found that the sixth scenario of the SVR-FOA model provided the best performance with the lowest error (1.24 mm/day) compared to all models. Among the scenarios of the SVR model, the third scenario of the SVR model showed the lowest error (1.45 mm/day) compared to other SVR combinations. In the general situation of the sixth scenario, the combined SVR-FOA model provided good results in predicting daily reference evapotranspiration values and was suggested for daily reference evapotranspiration prediction.

Acknowledgments

The authors of the article express their gratitude to the Meteorological Organization of Iran for receiving accurate statistics and information.

References

- 1- El Bilali, A., Abdeslam, T., Ayoub, N., Lamane, H., Ezzaouini, M.A., Elbeltagi, A., 2023. An interpretable machine learning approach based on DNN, SVR, Extra Tree, and XGBoost models for predicting daily pan evaporation. *Journal of Environmental Management*, 327, pp.116-890. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116890.
- 2- Eslamian, S. and Eslamian, F., 2022. Handbook of HydroInformatics: Volume I: Classic *Soft-Computing Techniques*. Elsevier.
- 3- Ghumman, A.R., Jamaan, M., Ahmad, A., Shafiquzzaman, M., Haider, H., Al Salamah, I.S., Ghazaw, Y.M., 2021. Simulation of pan-evaporation using penman and hamon equations and artificial intelligence techniques. *Water*, 13, pp.793-809. DOI: 10.3390/w13060793.
- 4- Jha, S.K. and Hayashi, K., 2014. A novel odor filtering and sensing system combined with regression analysis for chemical vapor quantification. *Sensors and Actuators*, 200, pp.269-287. DOI: 10.1016/j.snb.2014.04.022.
- 5- Kisi, O., Genc, O., Dinc, S., Zounemat-Kermani, M., 2016. Daily pan evaporation modeling using chi-squared automatic interaction detector, neural networks, classification and regression tree. *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, pp.112-117. DOI: 10.1016/j.compag.2016.01.026.

- 6- Pan, W.-T., 2012. A new fruit fly optimization algorithm: taking the financial distress model as an example. *Knowledge-Based Systems* 26, pp.69-74. DOI: 10.1016/j.knosys.2011.07.001.
- 7- Poluru, R.K. and Kumar R, L., 2021. An Improved Fruit Fly Optimization (IFFOA) based Cluster Head Selection Algorithm for Internet of Things. *International Journal of Computers and Applications*, 43, pp.623-631. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108512.
- 8- Shabani, S., Samadianfard, S., Sattari, M.T., Mosavi, A., Shamshirband, S., Kmet, T., Várkonyi-Kóczy, A.R., 2020. Modeling pan evaporation using Gaussian process regression K-nearest neighbors random forest and support vector machines; comparative analysis. *Atmosphere*, 11, pp.66-78. DOI: 10.3390/atmos11010066.
- 9- Sun, Z., Zhu, G., Zhang, Z., Xu, Y., Yong, L., Wan, Q., Ma, H., Sang, L., Liu, Y., 2021. Identifying surface water evaporation loss of inland river basin based on evaporation enrichment model. *Hydrological Processes*, 35, 14093. DOI: 10.1002/hyp.14093.
- 10- Vapnik, V. and Chervonenkis, A., 1974. Theory of pattern recognition. Nauka, Moscow.
- 11- Wanniarachchi, S. and Sarukkalige, R., 2022. A review on evapotranspiration estimation in agricultural water management: Past, present, and future. *Hydrology*, 9, pp.123-137. DOI: 10.3390/hydrology9070123.
- 12- Wu, J., Wang, Y.-G., Burrage, K., Tian, Y.-C., Lawson, B., Ding, Z., 2020. An improved firefly algorithm for global continuous optimization problems. *Expert Systems with Applications*, 149, 113340. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.113340.
- 13- Yan, Z., Wang, S., Ma, D., Liu, B., Lin, H., Li, S., 2019. Meteorological factors affecting pan evaporation in the Haihe River Basin, China. *Water*, 11, pp.317-330. DOI: 10.3390/w11020317.
- 14- Yoon, H., Jun, S.-C., Hyun, Y., Bae, G.-O., Lee, K.-K., 2011. A comparative study of artificial neural networks and support vector machines for predicting groundwater levels in a coastal aquifer. *Journal of Hydrology*, 396, pp.128-138.





مطالعه مقایسه‌ای با استفاده از روش داده‌محور در مقابل رویکرد ترکیبی در جهت برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه در اهواز

میلاذ شرفی^{۱*}، سینا بشارت^۲ و کامران زینال زاده^۳

* نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، st_m.sharafi@urmia.ac.ir

۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵

دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹

چکیده

پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع روزانه یک ابزار تعیین‌کننده و مفید در کشاورزی پایدار و مسائل هیدرولوژیک، به‌ویژه در طراحی و مدیریت سیستم‌های منابع آب می‌باشد. استفاده از مدل‌های هیبریدی با کمک عوامل اقلیمی روشی مؤثر در فرآیند پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع روزانه است. بنابراین، در این مطالعه توانایی مدل رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) و مدل ترکیبی رگرسیون بردار پشتیبان با الگوریتم مگس میوه (SVR-FOA) در برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه در ایستگاه اهواز، طی دوره ۲۰۲۲-۲۰۰۰ با استفاده از چهار معیار آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. ورودی‌های مورد استفاده شامل پارامترهای میانگین دما، حداقل دما، حداکثر دما، متوسط رطوبت نسبی، حداقل رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی بود. آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون نیز نشان داد که در میان پارامترهای ورودی، پارامتر ساعات آفتابی و رطوبت نسبی از مؤلفه‌های مؤثر بر پیش‌بینی تبخیر بودند به طوری که تاثیر مستقیمی روی مقدار تبخیر روزانه داشته و باعث کاهش خطا در تمام مدل‌ها گردیدند. نتایج به دست آمده نشان داد که سناریو ششم مدل SVR-FOA بهترین عملکرد را با کمترین خطا ($1/24 \text{ mm/day}$) نسبت به تمامی مدل‌ها ارائه داد. در بین سناریوهای مدل SVR نیز سناریو سوم مدل SVR کمترین خطا را ($1/45 \text{ mm/day}$)، نسبت به سایر ترکیبات SVR از خود نشان داد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که سناریو ششم مدل SVR-FOA بهترین عملکرد را داشته و نیز الگوریتم هیبریدی مگس میوه باعث بهبود عملکرد رگرسیون بردار پشتیبان در برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه گردید.

کلید واژه‌ها: پیش‌بینی، بهینه‌سازی، الگوریتم مگس میوه، رگرسیون بردار پشتیبان، اهواز.

مقدمه

لذا، توسعه روش‌های مختلف بهبود یافته برای پیش‌بینی این متغیر بسیار مهم برای محققان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Ghumman et al., 2021). تخمین تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از مدل‌سازی، در مطالعه‌های پیشین به کار رفته و نتایج مناسبی را ارائه کرده است (Allawi et al., 2019). به عبارت دیگر، تخمین دقیق تبخیر-تعرق مرجع به بسیاری از جنبه‌ها از جمله مسائل آبیاری و زهکشی، به‌ویژه در مناطق خشک کمک می‌کند (Huang et al., 2019).

با توجه به پیچیدگی سیستم‌های هیدرولوژیک، مدل‌سازی کامل سیستم‌های هیدرولوژیک بسیار پیچیده است (Eslamian and Eslamian, 2022; Mashaly and Fernald, 2020). علاوه بر این، وجود عدم قطعیت در تغییرات اقلیمی آبی، مدل‌سازی و دست‌یابی به تغییرات احتمالی آینده را مهم می‌سازد. در چنین شرایطی، استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر روابط ریاضی و مدل‌های مبتنی بر داده سودمند است (Kisi et al., 2016). یکی از مدل‌های قابل دسترس، رگرسیون بردار پشتیبان (Support vector regresion) است که در مطالعه‌های مختلفی استفاده شده است (El Bilali et al., 2023;)

تبخیر-تعرق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها در علم هواشناسی و منابع آب محسوب می‌شود (Sun et al., 2021b). نرخ تبخیر-تعرق مرجع یک معیار اساسی است که می‌تواند برای استخراج پارامترهای مختلف هواشناسی مورد استفاده قرار گیرد (Allen et al., 2011). بنابراین برآورد دقیق تبخیر-تعرق مرجع یکی از مهم‌ترین کارهایی است که منجر به مدیریت بهتر منابع آب و رفع بسیاری از چالش‌های مهندسی آب می‌شود (Wanniarachchi and Sarukkalige, 2022). با توجه به اهمیت تبخیر-تعرق مرجع و میزان تأثیرگذاری زیاد آن بر منابع آب شیرین کشور و تغییرات اقلیمی که سبب افزایش گرما و در نهایت موجب افزایش تبخیر-تعرق مرجع شده و کاهش منابع آب شیرین اعم از ذخایر زیرزمینی و سطحی را به دنبال داشته است، پیش‌بینی دقیق میزان تبخیر-تعرق مرجع امری ضروری به نظر می‌رسد. متغیرهای مختلف هواشناسی، مانند تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد، می‌توانند به طور تعاملی بر مؤلفه تبخیر-تعرق مرجع تأثیر بگذارند (Yan et al., 2019).

(Whale optimization algorithm) در ایستگاه‌های هواشناسی الجزایر و تلمسان واقع در شمال الجزایر پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل ترکیبی به کار رفته کمترین میزان خطا را داشته و با داشتن عملکرد مناسب در شمال الجزایر به عنوان کارآمدترین مدل شناخته شد. Mirzania et al. (2023) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از الگوریتم ترکیبی مدل رگرسیون برداری نوآورانه پشتیبانی توپچی (Innovative gunner) ترکیب شده با رگرسیون بردار پشتیبان در دو شرایط اقلیمی مرطوب و خشک در استرالیا پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل ترکیبی با داشتن ضریب همبستگی ۰/۹ پیش‌بینی‌های دقیقی را در هر دو ایستگاه ارائه کرد.

الگوریتم بهینه‌سازی مگس میوه (Fruit fly) به عنوان یکی از الگوریتم‌های ابداعی برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود و به دلیل دقت بالا در کاربردهای مختلف بهینه‌سازی، مانند مسائل بهینه‌سازی پیوسته جهانی، توانسته است توجه بسیاری را به خود جلب کند (Wu et al., 2020). در مطالعه‌ای برای ارزیابی دقت SVR بهینه‌شده با FOA در پیش‌بینی جریان رودخانه در دو ایستگاه حوضه دریاچه ارومیه، SVR-FOA به عنوان روشی دقیق برای تخمین جریان رودخانه پیشنهاد شد (Samadianfard et al., 2019). در مطالعه دیگری، FOA برای بهینه‌سازی پیش‌بینی‌های داده‌های هواشناسی در جبهه النصره انجام شد و نتایج نشان داد که مدل‌های پیشنهادی در فصول مختلف با دقت بالایی انجام می‌شوند و به خوبی با شرایط اقلیمی پیچیده سازگار هستند (Ruiming and Shijie, 2020). لذا، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی به جهت دقت بالای آن‌ها برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع بیش از پیش ضرورت می‌یابد. زیرا تبخیر-تعرق مرجع یکی از اصلی‌ترین پارامترهای هواشناسی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است و بنابراین پیش‌بینی دقیق آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

هدف این تحقیق ارزیابی عملکرد SVR بهینه شده با FOA در برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه ایستگاه اهواز واقع در استان خوزستان می‌باشد. با توجه به اقلیم گرم و نیمه‌بیابانی اهواز و کمبود روزافزون منابع آبی پیش‌بینی دقیق تبخیر-تعرق مرجع روزانه در این ایستگاه بیش از پیش اهمیت پیدا می‌کند. نکته قابل توجه اینست که مدل هیبریدی SVR-FOA برای اولین بار در این تحقیق برای پیش‌بینی مقادیر تبخیر-تعرق مرجع روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی مطالعه مطالعه‌های پیشین نشان داده که مدل SVR-FOA تاکنون برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع روزانه استفاده نشده است. همچنین از محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به عدم دسترسی به داده‌های دمایی نقطه شبنم برای به‌کارگیری در ورودی مدل‌ها اشاره کرد.

(Shabani et al., 2020). در مطالعه‌ای (Chen et al., 2019) ، به برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از ماشین بردار پشتیبان در منطقه‌ای در چین پرداختند، نتایج نشان داد که روش SVR جایگزینی امیدوارکننده، برای رویکردهای سنتی در برآورد تبخیر-تعرق از متغیرهای اندازه‌گیری‌شده هواشناسی خواهد بود. Baydaroglu و Koçak (2014) در تحقیقی به پیش‌بینی تبخیر-تعرق با استفاده از رویکردهای مبتنی بر داده پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که مدل SVR به دلیل قابلیت تعمیم خوب و با ضرایب تعیین بالا به ترتیب ۸۳ و ۹۷ درصد برای پیش‌بینی مقادیر تبخیر-تعرق انتخاب شد. Guan et al. (2020) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل رگرسیون بردار پشتیبان ترکیب شده با الگوریتم گله کریل (Krill Herd) به پیش‌بینی تبخیر-تعرق روزانه در مناطق ساحلی ایران پرداختند. برای انجام این مطالعه داده‌های هواشناسی از سه ایستگاه ساحلی در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۷ جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد مدل‌های SVR و SVR-KHA (با داشتن ضریب تعیین به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۸۴ در ایستگاه بندرعباس و ۰/۸۸ و ۰/۹ در ایستگاه رودسر) در ایستگاه‌های بندرعباس و رودسر مشابه یکدیگر بودند. Singh و Kumar (2022) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی هفتگی تبخیر مرجع با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و روش‌های مبتنی بر درخت برای ایستگاه Ranichauri واقع در منطقه هیمالیا، هند پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین مقدار ضریب تعیین به میزان ۰/۹ برای مدل SVR برای دوره آزمون بوده و لذا مدل SVR بهترین پیش‌بینی تبخیر مرجع را برای منطقه Ranichauri ارائه داد.

در سال‌های اخیر الگوریتم‌های هیبریدی به‌علت داشتن دقت بالا در مطالعه‌های متعددی بکار برده شده‌اند. Arya Azar et al. (2021) در تحقیقی به پیش‌بینی تبخیر ماهانه از مخازن سد درودزن واقع در استان فارس با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان حداقل مربعات و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی بهینه‌سازی شده با الگوریتم هریس‌هاکس (Harris hawk) پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که الگوریتم هیبریدی با داشتن مقدار خطای ۲/۳۵ میلی‌متر برترین عملکرد را نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. Malik et al. (2021) در مطالعه‌ای تبخیر-تعرق روزانه را در مناطق مختلف زراعی واقع در شمال هند با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان بهینه‌سازی شده توسط الگوریتم ازدحام سالپ (Salp swarm algorithm) با آزمون گاما پیش‌بینی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل هیبریدی با داشتن مقدار خطای ۱/۱۲ میلی‌متر به عنوان مدلی قابل اعتماد برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق روزانه در شمال هند انتخاب شد. Tikhamarine et al. (2020) در تحقیقی به تخمین تبخیر-تعرق مرجع ماهانه با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان ترکیب شده با الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر مقادیر تبخیر-تعرق مرجع روزانه در طی دوره آماری ۲۲ ساله در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۲۲ در ایستگاه اهواز در نظر گرفته شد. این ایستگاه در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا، در جنوب غربی کشور و مرکز استان خوزستان واقع شده است. میانگین بارش سالانه در این شهرستان حدود ۲۳۰ میلی‌متر است (Asadifard and Masoudi, 2018). با در نظر گرفتن میانگین بارش سالانه، با توجه به روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اهواز در گروه رژیم بارانی نیمه‌بیابانی یا نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. در حالی که افزایش بارندگی و سیل، خسارت‌های فراوان در پی دارد، اما این کاهش بارندگی و خشکسالی است که بحران خوانده می‌شود و بیش از خسارت‌های سیل، نگاه‌ها را به خود معطوف می‌کند تا جایی که در سال جاری، کم‌آبی خوزستان که میزبان بزرگ‌ترین رودخانه‌های ایران است، به موضوعی ملی تبدیل شد تا به تصمیم‌گیری‌های کلان بینجامد. این در حالی است که در خوزستان به روش‌های آبخیزداری نیز چندان توجهی نشده و همین امر، پتانسیل لازم را برای مدیریت کم‌آبی ایجاد

نکرده است. لذا پیش‌بینی صحیح تبخیر-تعرق مرجع باعث بهبود مدیریت بر منابع و کشاورزی خواهد گردید. شکل (۱) نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه اهواز را نشان می‌دهد.

در این مطالعه برای ایجاد مدل‌هایی برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق، از ۷۰ درصد داده‌ها (۱۳۸۰ داده) برای آموزش و ۳۰ درصد از آن‌ها (۵۶۷ داده) برای مرحله آزمون به‌طور تصادفی استفاده گردید. همچنین داده‌های پرت نیز به‌علت ایجاد خطا در صحت نتایج، از مجموع داده‌های مورد استفاده حذف گردید. جدول (۱) پارامترهای آماری روزانه داده‌های آموزش و آزمون مورد استفاده در طی دوره آماری را نشان می‌دهد. همچنین جدول (۲) نیز سناریوهای مختلفی را که به‌عنوان ورودی و خروجی مدل‌ها در نظر گرفته شده‌اند، نشان می‌دهد. پارامترهای میانگین دما (T_{avg})، حداقل دما (T_{min})، حداکثر دما (T_{max})، رطوبت نسبی متوسط (RH_{avg})، حداقل رطوبت نسبی (RH_{min})، حداکثر رطوبت نسبی (RH_{max})، سرعت باد (U)، ساعات آفتابی (SSH) به‌عنوان پارامترهای ورودی و تبخیر-تعرق مرجع روزانه (E) به‌عنوان پارامتر هدف می‌باشند. نحوه انتخاب ترکیبات مختلف ورودی، برای تخمین مقدار تبخیر-تعرق مرجع روزانه در مدل‌های مورد مطالعه براساس داشتن همبستگی بالاتر نسبت به سایر ترکیبات، صورت گرفته است.

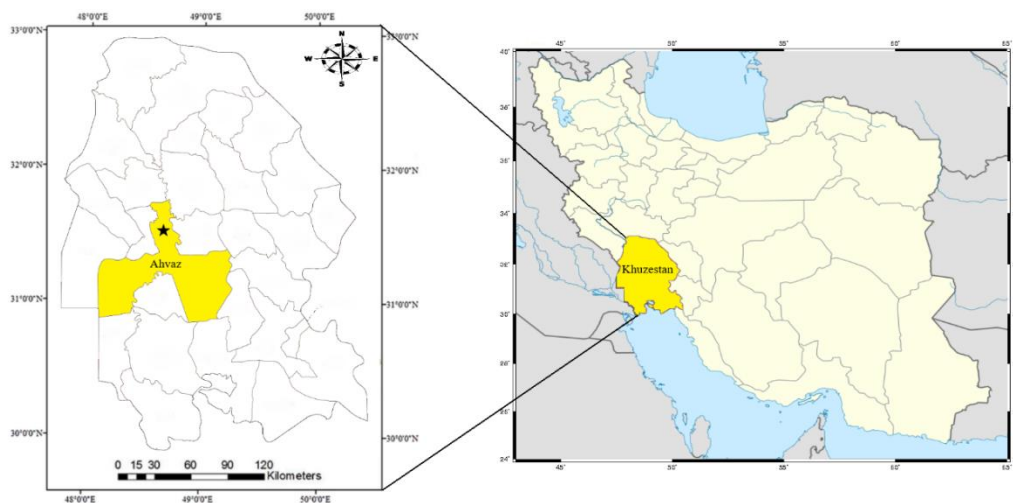


Fig. 1- Map of the geographical location of Ahvaz station (black star)

شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه اهواز (ستاره سیاه رنگ)

جدول ۱- پارامترهای آماری روزانه داده‌های مورد استفاده در دوره آزمون

Table 1- Daily statistical parameters of the data used in the test period

Parameter	U2	SSH	RH	T_{avg}	E
Unit	(m/s)	(hr)	(%)	(°C)	(mm)
Average	1.99	7.18	54.81	17.07	3.54
Minimum	0.25	0	19	5.3	0.2
Maximum	6.5	11.4	91.25	29.7	10.8
Standard deviation	0.97	3.29	13.51	4.01	1.76

جدول ۲- ترکیب‌های مختلف ورودی، برای تخمین مقدار تبخیر-تعرق مرجع روزانه در مدل‌های مورد مطالعه
 Table 2- Different input combinations to estimate the amount of daily evaporation in the studied models

Scenario	parameters Input							Output
1	T_{avg}							E
2	T_{avg}	T_{min}	T_{max}					E
3	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	RH_{avg}				E
4	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	RH_{avg}	RH_{min}	RH_{max}		E
5	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	RH_{avg}	RH_{min}	RH_{max}	U2	E
6	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	RH_{avg}	RH_{min}	RH_{max}	U2 SSH	E

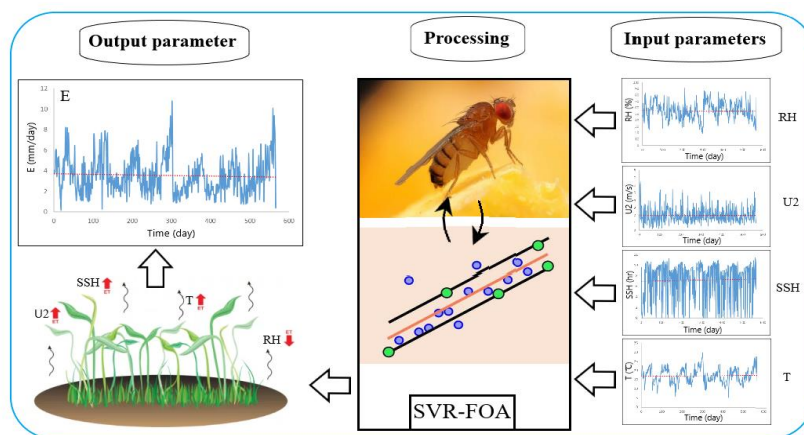


Fig. 2- Schematic of the research

شکل ۲- نمای کلی تحقیق

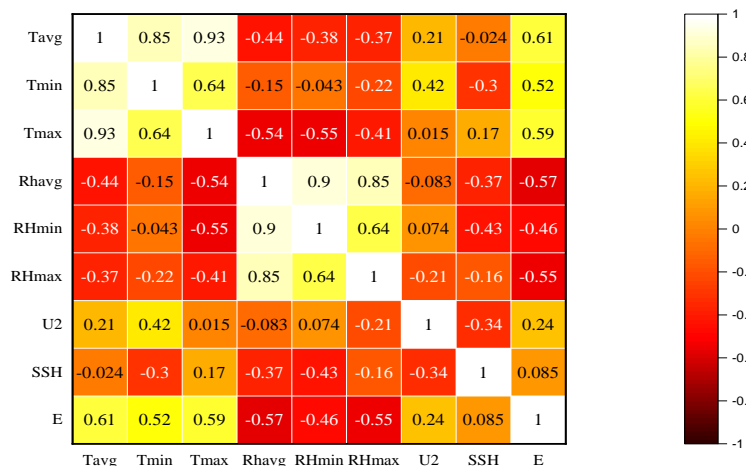


Fig 3- The heat map of the used parameters

شکل ۳- نقشه گرمایی پارامترهای مورد استفاده

شکل (۳) نقشه گرمایی پارامترهای مورد استفاده را بر اساس ضریب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳) سفیدتر شدن رنگ نقشه نشان از همبستگی بالای پارامترها بوده و سیاه‌تر شدن رنگ نقشه نشان‌دهنده کاهش همبستگی پارامترها می‌باشد. مقایسه همبستگی بین پارامترهای ورودی نشان می‌دهد که پارامتر دما بیش‌ترین همبستگی را با مقدار تبخیر-تعرق مرجع روزانه داشته است. به طوری که پارامتر T_{ave} مقدار 0.61 همبستگی را با مقدار تبخیر-تعرق مرجع روزانه داشته است.

آنالیز حساسیت با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای مورد استفاده به‌عنوان یکی از روش‌های تعیین همبستگی پارامترها نسبت به یکدیگر بوده و در مطالعه‌های مختلفی بکار برده شده است (Ahmadi et al., 2020; Saltelli et al., 2019). شکل (۲) نمای کلی مطالعه حاضر را بر اساس پارامترهای ورودی و خروجی نشان می‌دهد. خط نقطه چین قرمز رنگ نیز نشانگر میانگین هر پارامتر می‌باشد.

رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)

SVR برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل مشکلات رگرسیون استفاده شود. این روش توسط Vapnik و Chervonenkis (1974) ارائه شد. SVR بر اساس طبقه‌بندی مضاعف در فضای ویژگی‌های مورد نظر استفاده می‌شود و به‌طور گسترده در مسائل پیش‌بینی استفاده می‌شود (Jha and Hayashi, 2014; Yoon et al., 2011). روش SVR می‌تواند مقادیر را با توجه به مجموعه داده‌های داده شده $(x_i, y_i) \times n$ پیش‌بینی کند، جایی که x_i نشان‌دهنده داده‌های ورودی، y_i نشان‌دهنده مقدار خروجی (تبخیر-تعرق)، و n مقدار کل داده‌های مورد استفاده بود. معادله رگرسیون خطی به صورت زیر است:

$$y(x) = w^T \varphi(x) + c \quad (۱)$$

که در آن w مقدار وزن، c ضریب قابل محاسبه از داده‌های خام و T پارامتر جابه‌جایی است. معادله غیرخطی $\varphi(x)$ است و در فضای ویژگی نگاشت می‌شود. با نگاشت غیرخطی، رگرسیون تابع خطی شده در دامنه مشخصه ابعادی بالاتر انجام می‌شود (Aljanabi et al., 2018). پارامترهای w و c با کاهش مقدار ریسک در قسمت اولیه رابطه (۲) و عبارت پیچیدگی در قسمت دوم رابطه (۳) محاسبه شدند:

$$R(C) = C \left(\sum_{a=1}^u (X_a + X_a^*) + \frac{1}{2} \|E\|^2 \right) \quad (۲)$$

$$\begin{cases} d_i - w\phi(y_a) - l_a \leq X + X_a, & a = 1, 2, 3, \dots, u \\ w\phi(y_a) + l_a - r_a \leq X + X_a^*, & a = 1, 2, 3, \dots, u \\ X + X_a^* \geq 0, & a = 1, 2, 3, \dots, u \end{cases} \quad (۳)$$

که در آن C, L ، و $\|E\|^2$ یک ثابت مثبت، تابع کاهش غیرحساس و عبارت منظم‌سازی هستند که به ترتیب تابع اقلیدسی را نشان می‌دهند. در فرمول رگرسیون غیرخطی فرض می‌شود که مدل رفته رفته وابستگی خود به رابطه (۲) را کاهش می‌دهد و به رابطه (۳) وابسته است.

الگوریتم بهینه‌سازی مگس میوه (FOA)

Pan (2012) برای اولین بار الگوریتم بهینه‌سازی مگس میوه (FOA) را ارائه نمود. این الگوریتم ساده و روان، بخشی از چالش‌های مرتبط با دشواری‌های الگوریتم‌های پیشین را برطرف نموده است. این الگوریتم مشابه بسیاری از الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر که بر اساس الهام از طبیعت طراحی شده‌اند، مبتنی بر رفتار طبیعی موجودات است. مگس میوه پس از اینکه بوی میوه را در هوا احساس کرد به موقعیت میوه نزدیک می‌شود. این حشره با استفاده از حس بینایی خود، موقعیت دقیق میوه را می‌یابد. (Poluru and Kumar R, 2021). این الگوریتم از چندین مرحله تشکیل شده که در زیر به شرح آن پرداخته می‌شود (Pan, 2012; Shan et al., 2013).

الف- فرض می‌شود که موقعیت مگس میوه به صورت تصادفی مقداردهی می‌شود.

ب- جهت تصادفی و مسافتی برای جستجوی غذا با استفاده از حس بویایی مگس تعریف می‌شود:

$$X_1 = X_{axis} + \text{Random value} \quad (۴)$$

$$Y_1 = Y_{axis} + \text{Random value} \quad (۵)$$

ج- فاصله تا مبدأ ($Dist$) و شدت بو (S) محاسبه شده، به طوری که این دو مقدار نسبت عکس با هم دارند.

$$Dist = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \quad (۶)$$

$$S_i = \frac{1}{Dist} \quad (۷)$$

د- مقدار شدت بو در تابع برازندگی جایگزین گردیده و سپس شدت بوی موقعیت موجود ($Smell_i$) به دست می‌آید.

$$Smell_i = \text{Function}(S_i) \quad (۸)$$

ه- یافتن مگس میوه با بیش‌ترین شدت بو (یافتن بیش‌ترین مقدار) صورت می‌پذیرد.

$$(bestSmell \ bestIndex) = \max(Smell) \quad (۹)$$

و- اگر شدت بو در هر تکرار بیشتر از مقدار کنونی باشد (رابطه ۱۰)، آنگاه بیش‌ترین مقدار شدت بو و مختصات مگس میوه‌ای که آن شدت بو را حس کرده است ($bestIndex$) نگه داشته شده و در این زمان است که حشره می‌تواند با توجه به قدرت بینایی خود به سمت میوه حرکت کند (روابط ۱۱ و ۱۲).

$$Smell_{best} = bestSmell \quad (۱۰)$$

$$X_{axis} = X(bestIndex) \quad (۱۱)$$

$$Y_{axis} = Y(bestIndex) \quad (۱۲)$$

ز- مراحل "ب" تا "و" از بهینه‌سازی تا رسیدن به شرط توقف تکرار می‌شود.

شکل (۴)، فلوجارت مدل ترکیبی SVR-FOA را نشان می‌دهد. در شکل (۴) پارامتر LR نشانگر ازدحام اولیه مگس میوه، پارامتر FR نشان‌دهنده محدوده پرواز تصادفی هر مگس میوه، maxgen حداکثر تعداد مگس میوه و sizepop بیانگر اندازه جمعیت مگس میوه می‌باشد. در این فلوجارت برای بهینه‌سازی بهتر مقادیر LR بین ۰ تا ۱۰، مقادیر FR بین ۱- تا ۱، مقدار

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \quad (14)$$

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (15)$$

$$WI = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (16)$$

در روابط (۱۳) الی (۱۶)، پارامترهای P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی و مشاهداتی می‌باشند.

نتایج و بحث

در این مطالعه، شش ترکیب مختلف از متغیرهای پیش‌بینی کننده پارامترهای میانگین دما (T_{avg})، حداقل دما (T_{min})، حداکثر دما (T_{max})، رطوبت نسبی متوسط (RH_{avg})، حداقل رطوبت نسبی (RH_{min})، حداکثر رطوبت نسبی (RH_{max})، سرعت باد (U_2) و ساعات آفتابی (SSH)، به عنوان ورودی مدل‌ها در جدول (۲) در نظر گرفته شد. در این بخش، الگوریتم های SVR و SVR-FOA روی شش مجموعه داده برای پیش‌بینی مقادیر تبخیر-تعرق مرجع روزانه استفاده شده است. تطابق بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده تبخیر-تعرق مرجع در جدول (۳) از نظر ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا، ضریب نش‌ساتکلیف و شاخص توافق ویلموت، طی مراحل اعتبارسنجی گزارش شده است.

maxgen برابر ۱۰۰ و مقدار sizepop برابر ۲۰ بر اساس آزمون و خطا در نظر گرفته شدند.

روش‌های محاسباتی، از جمله توسعه مدل‌های SVR و SVR-FOA در محیط MATLAB (The MathWorks، در محیط SVR-FOA (2018، پیاده‌سازی شدند و پارامترهای تابع هسته از طریق آزمون و خطا بهینه‌سازی شدند.

معیارهای ارزیابی مدل

در این پژوهش برای ارزیابی عملکرد سناریوهای مختلف تعریف شده برای روش‌های مورد مطالعه از پارامترهای آماری ضریب همبستگی (Correlation coefficient)، جذر میانگین مربعات خطا (Root mean squared error)، ضریب نش‌ساتکلیف (Nash-Sutcliffe coefficient) و شاخص توافق ویلموت (Willmott's index of agreement) استفاده شده است. مقدار ضریب همبستگی از بازه ۱ تا -۱ بوده و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده بالا بودن دقت مدل می‌باشد. مقدار شاخص جذر میانگین مربعات خطا نیز هر چه کمتر باشد نشان از خطای کم مدل و در نتیجه دقت بالای آن می‌باشد. مقدار شاخص‌های ضریب نش‌ساتکلیف و شاخص توافق ویلموت نیز بین یک تا صفر بوده و هرچه به یک نزدیک‌تر باشند نشان از دقت بالای مدل خواهد بود.

$$R = \frac{(\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}) - \frac{1}{N} (P_i - \bar{P}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}} \quad (13)$$

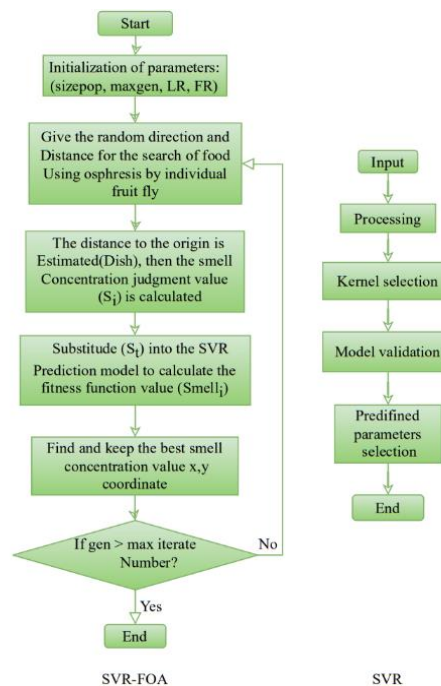


Fig 4- Flowchart used model
شکل ۴- فلوچارت مدل‌های مورد استفاده

SVR، دقت بیش‌تری را نسبت به سایر ترکیبات این مدل در برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه را ارائه کرد. در میان مدل‌های ترکیبی SVR-FOA نیز سناریو ششم با داشتن ضریب همبستگی $0/71$ ، جذر میانگین مربعات خطا $1/24$ میلی‌متر در روز، ضریب نش‌ساتکلیف $0/51$ و شاخص توافقی ویلموت $0/82$ بالاترین دقت را نسبت به سایر ترکیبات SVR-FOA و تمام سناریوها داراست. علت این امر اضافه‌شدن پارامتر ساعات آفتابی به ورودی‌های مدل می‌باشد. زیرا شهر اهواز به‌علت ساعات آفتابی زیاد و شدت تابش بالا دارای اقلیم نیمه‌بیابانی بوده و در نتیجه ساعات آفتابی نقشی مؤثر در دقت پیش‌بینی پارامتر تبخیر-تعرق مرجع روزانه دارد. سناریو پنجم مدل SVR-FOA نیز با ضریب همبستگی $0/72$ ، جذر میانگین مربعات خطا $1/25$ میلی‌متر در روز، ضریب نش‌ساتکلیف $0/5$ و شاخص توافقی ویلموت $0/81$ پس از سناریو ششم مدل SVR-FOA، دقت بیش‌تری را نسبت به سایر ترکیبات این مدل در برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه ارائه کرد.

در نهایت نتایج این تحقیق با نتایج Sattari et al. (2021) که به برآورد بارندگی ماهانه و فصلی با استفاده از روش‌های داده‌محور و ترکیبی پرداخته و نشان دادند که مدل SVR-FOA با داشتن جذر میانگین مربعات خطا $13/58$ میلی‌متر در طول تخمین بارش ماهانه و با داشتن جذر میانگین مربعات خطا $6/37$ میلی‌متر در طول بارش فصلی قادر به تخمین دقیق بارش در منطقه مورد مطالعه است، همچنین نتایج این مطالعه با نتایج Sun et al. (2021a) که با استفاده از مدل ترکیبی رگرسیون بردار پشتیبان و الگوریتم بهینه‌سازی مگس میوه به پیش‌بینی هندسه آب‌سستگی سرریز پرداختند و نشان دادند که مدل SVR-FOA با داشتن ضریب همبستگی $0/99$ به‌طور قابل‌توجهی نتایج رگرسیون بردار پشتیبان را بهبود بخشیده و دقت بالایی را از خود نشان داد، مطابقت دارد.

نمودارهای تیلور و پراکنش مقادیر تبخیر-تعرق مرجع روزانه در شکل (۵) که برای بهترین سناریو برای هر مدل رسم شده است. در نمودار تیلور مقایسه بین دو مدل نشان می‌دهد که مدل SVR-3 ضریب همبستگی یکسانی را با مدل SVR-FOA-6 داشته اما مدل SVR-FOA-6 انحراف از معیار کمتری نسبت به مدل SVR-3 داشته و لذا دارای دقت بیشتری است. همچنین مقایسه مدل‌ها در نمودار پراکنش نیز نشان می‌دهد که هر دو مدل منفرد و هیبریدی مقدار پراکندگی تقریباً یکسانی را داشته‌اند و ضریب تعیین بین مدل‌ها دارای تغییرات معنی‌دار نمی‌باشد.

مقایسه بین مدل‌های SVR-1 و SVR-FOA-1 (سناریو اول هر مدل) نشان می‌دهد با اینکه مقدار شاخص‌های R ، NS و WI در مدل هیبریدی کاهش یافته است اما مقدار شاخص $RMSE$ به میزان 10% درصد کاهش یافته است. همچنین مقایسه بین سناریوهای دوم هر دو مدل حاکی از آنست که مقدار معیار NS از $0/18$ به $0/38$ افزایش یافته است در حالی که سایر معیارها کاهش یافته‌اند. مقایسه بین میزان خطای سناریوهای اول و دوم نشان داد که با افزوده شدن پارامتر T_{min} و T_{max} به ورودی‌ها، در مدل منفرد این پارامتر نه‌تنها باعث کاهش خطا نشده بلکه سبب افزایش میزان خطا نیز گردید و در مدل هیبریدی نیز میزان خطا ثابت ماند. ارزیابی مدل‌ها در سناریو سوم نیز نشان داد که معیار خطا به میزان $9/4\%$ درصد در مدل ترکیبی نسبت به مدل منفرد کاهش یافته است. همچنین ارزیابی بین سناریو دوم و سوم نشان می‌دهد که در هر دو مدل مقدار شاخص خطا کاهش یافته و لذا افزودن پارامتر RH_{avg} سبب افزایش دقت مدل‌ها شده است. برای سناریو چهارم با اینکه مقدار شاخص‌های R و WI تغییر محسوسی نداشتند اما شاخص NS به مقدار $55/6\%$ درصد افزایش و شاخص $RMSE$ به مقدار $15/6\%$ درصد کاهش یافته‌اند. مقایسه بین سناریو سوم و چهارم نیز نشان داد که با افزودن پارامتر RH_{min} و RH_{max} در مدل منفرد میزان خطا از $1/45$ به $1/52$ افزایش و در مدل هیبریدی از $1/32$ به $1/3$ کاهش یافته است. در سناریو پنجم نیز همانند سناریو چهارم مقدار شاخص‌های R و WI تغییر محسوسی نداشتند اما شاخص از $0/22$ در مدل منفرد به $0/5$ در مدل ترکیبی افزایش یافته و شاخص $RMSE$ از $1/56$ به $1/25$ کاهش یافته است. ارزیابی بین سناریوهای چهارم و پنجم نیز نشان داد که افزودن پارامتر $U2$ سبب افزایش جزئی در میزان خطا مدل منفرد شده و سبب کاهش جزئی خطا در مدل ترکیبی گردید. در نهایت در سناریو ششم مقدار خطا مدل هیبریدی به میزان $20/3\%$ درصد نسبت به مدل منفرد کاهش یافته و افزودن پارامتر SSH سبب کاهش مقدار خطا در هر دو مدل گردید.

ارزیابی نتایج نشان داد که سناریو سوم مدل SVR با ضریب همبستگی $0/71$ ، جذر میانگین مربعات خطا $1/45$ میلی‌متر، ضریب نش‌ساتکلیف $0/33$ و شاخص توافقی ویلموت $0/82$ کمترین خطا را نسبت به سایر ترکیبات SVR داراست. دقت بالای این مدل نشان از اهمیت بالای پارامتر رطوبت نسبی در افزایش دقت پیش‌بینی پارامتر تبخیر-تعرق مرجع است. با این حال، سناریو ششم مدل SVR با ضریب همبستگی $0/69$ ، جذر میانگین مربعات خطا $1/52$ میلی‌متر در روز، ضریب نش‌ساتکلیف $0/26$ و شاخص توافقی ویلموت $0/82$ پس از سناریو سوم مدل

جدول ۳- پارامترهای ارزیابی مدل‌های مورد مطالعه در دوره آزمون
Table 3- Evaluation parameters of the studied models in the test period

Model	Evaluation criteria			
	R	RMSE (mm/day)	NS	WI
SVR-1	0.65	1.53	0.25	0.78
SVR-2	0.64	1.60	0.18	0.77
SVR-3	0.71	1.45	0.33	0.82
SVR-4	0.69	1.52	0.26	0.81
SVR-5	0.70	1.56	0.22	0.81
SVR-6	0.69	1.52	0.26	0.82
SVR-FOA-1	0.61	1.39	0.38	0.73
SVR-FOA-2	0.62	1.39	0.38	0.73
SVR-FOA-3	0.68	1.32	0.44	0.79
SVR-FOA-4	0.72	1.30	0.46	0.81
SVR-FOA-5	0.72	1.25	0.50	0.81
SVR-FOA-6	0.71	1.24	0.51	0.82

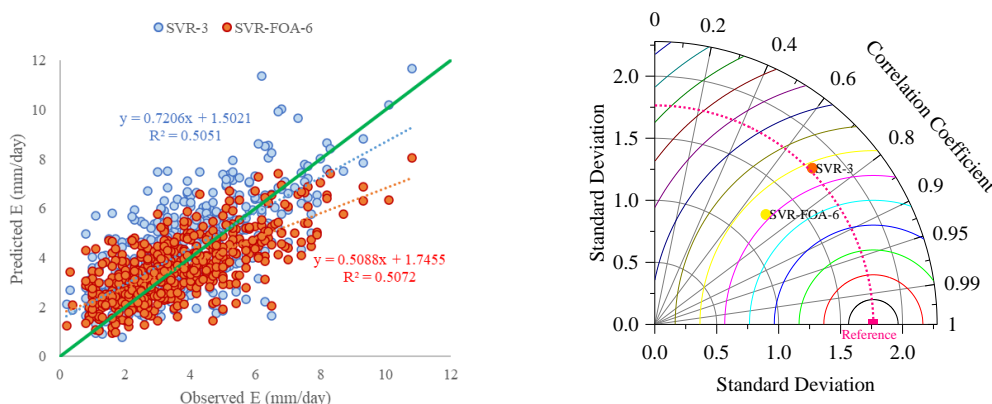


Fig. 5- Taylor diagrams and scatter plots of daily evaporation values for the best scenario in each model

شکل ۵- نمودارهای تیلور و پراکنش مقادیر تبخیر-تعرق مرجع روزانه برای بهترین سناریو در هر مدل

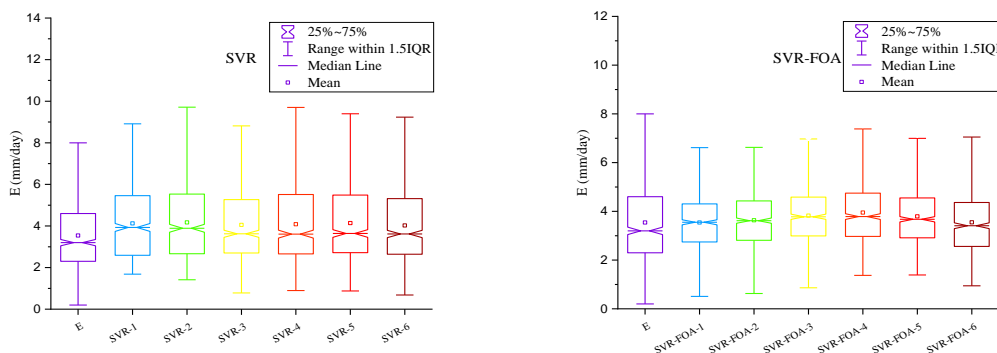


Fig 6- Box plot diagrams of daily evaporation during the test period

شکل ۶- نمودارهای جعبه‌ای تبخیر-تعرق مرجع روزانه در دوره آزمون

سوم بوده و لذا سناریو سوم دقت بالاتری را نسبت به سایر سناریوها داشته است. در مدل SVR-FOA نیز ارزیابی سناریوها نشان می‌دهد که سناریوهای پنجم و ششم عملکرد بهتری نسبت به سایر سناریوها داشته‌اند اما سناریو پنجم دارای بازه کوچک‌تری نسبت به سناریو ششم بوده و لذا سناریو ششم بالاترین دقت را نسبت به سایر سناریوها داشته است.

شکل (۶) نمودارهای جعبه‌ای را برای هر دو مدل SVR و SVR-FOA در تمام سناریوها را نشان می‌دهد. در مدل SVR سناریوهای سوم و ششم، میانگین و بازه مشابه‌تری را نسبت به مقدار واقعی تبخیر-تعرق مرجع در مقایسه با سایر سناریوها داشته‌اند. همچنین مقایسه بین سناریو سوم و ششم نیز نشان داد با اینکه هر دو سناریو دارای بیش برآزش نسبت به مقدار مشاهداتی بودند اما سناریو ششم دارای بیش برآزش بیشتری نسبت به سناریو

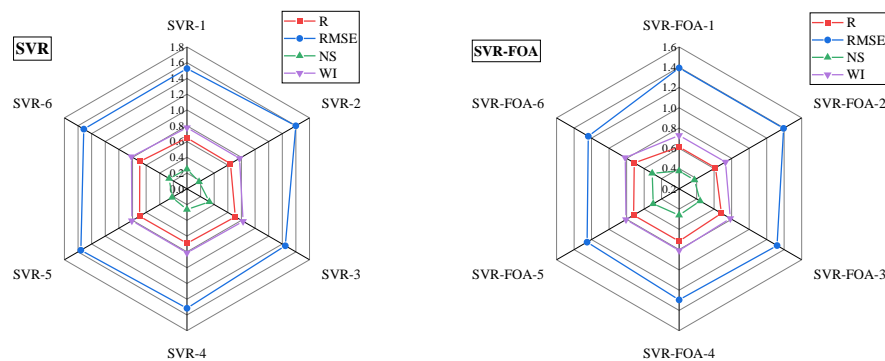


Fig 7- Radar charts of the studied models
 شکل ۷- نمودارهای راداری مدل‌های مورد مطالعه

الگوریتم‌های ترکیبی مانند SVR-FOA انجام شده است. این موضوع در مناطق با نرخ تبخیر-تعرق مرجع بالایی مانند اهواز بیش از پیش اهمیت پیدا می‌کند. در این پژوهش با استفاده از روش‌های SVR و SVR-FOA، در ایستگاه اهواز مقادیر تبخیر-تعرق مرجع روزانه در طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۲ برآورد گردید. نتایج به دست آمده با استفاده از پارامترهای آماری مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص شد که سناریو ششم مدل SVR-FOA بهترین عملکرد را با کمترین خطا ($1/24$ mm/day) نسبت به تمامی مدل‌ها ارائه داد. در بین سناریوهای مدل SVR نیز سناریو سوم مدل SVR کمترین خطا را ($1/45$ mm/day)، نسبت به سایر ترکیبات SVR از خود نشان داد. در حالت کلی سناریو ششم مدل ترکیبی SVR-FOA در پیش‌بینی مقادیر تبخیر-تعرق مرجع روزانه نتایج مناسبی را ارائه داد و برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع روزانه پیشنهاد گردید.

تشکر و قدردانی

به این وسیله نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از سازمان هواشناسی کشور در دریافت آمار و اطلاعات دقیق ابراز می‌نمایند.

شکل (۷) نمودارهای راداری مدل‌های SVR و SVR-FOA را در دوره آزمون نشان می‌دهد. برای مدل SVR-3 شاخص‌های R و WI بیشترین مقدار را نسبت به سایر سناریوها دارند در حالیکه شاخص RMSE مقدار کمتری را داشته و در نهایت شاخص NS نیز تقریباً بدون تغییر باقی مانده است. همچنین کمترین مقدار شاخص NS نیز مربوط به SVR-2 می‌باشد که نشان می‌دهد این سناریو عملکرد مطلوبی را نداشته است. برای مدل SVR-FOA نیز مقدار معیارهای R، NS و WI در سناریو ششم به بیشترین مقدار رسیده است و معیار خطا نیز کاهش جزیی نسبت به سایر سناریوها داشته است. در مقابل سناریوهای اول و دوم مدل هیبریدی بیشترین مقدار خطا را نسبت به سایر سناریوها داشته و عملکرد ضعیف‌تری را از خود نشان دادند.

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع برای محققان از اهمیت خاصی برخوردار است، از این رو محققان روش‌های مختلفی برای بهبود عملکرد مدل‌های پیش‌بینی ارائه نموده‌اند. برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق، علی‌رغم اهمیت فراوان این مؤلفه در درک تعادل آب در حوزه‌های آبخیز، متأسفانه مطالعه‌های کمی در مورد استفاده از

References

- 1- Ahmadi, M., Sharifi, A., Dorosti, S., Ghoushchi, S.J., Ghanbari, N., 2020. Investigation of effective climatology parameters on COVID-19 outbreak in Iran. *Science of the total environment*, 729, pp. 138705. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138705.
- 2- Aljanabi, Q., Chik, Z., Allawi, M.F., El-Shafie, A.H., Ahmed, A.N., El-Shafie, A., 2018. Support vector regression-based model for prediction of behavior stone column parameters in soft clay under highway embankment. *Neural Computing and Applications*, 30, pp. 2459-2469.
- 3- Allawi, M.F., Binti Othman, F., Afan, H.A., Ahmed, A.N., Hossain, M.S., Fai, C.M., El-Shafie, A., 2019. Reservoir evaporation prediction modeling based on artificial intelligence methods. *Water*, 11(6), pp. 1226. DOI: 10.3390/w11061226.

- 4- Allen, R.G.,Pereira, L.S.,Howell, T.A., Jensen, M.E., 2011. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. *Agricultural Water Management*, 98(6), pp. 921-929. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.12.016.
- 5- Arya Azar, N.,Ghordoyee Milan, S., Kayhomayoon, Z., 2021. Predicting monthly evaporation from dam reservoirs using LS-SVR and ANFIS optimized by Harris hawks optimization algorithm. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, pp. 1-14.
- 6- Asadifard, E. and Masoudi, M., 2018. Status and prediction of carbon monoxide as an air pollutant in Ahvaz City, Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(3), pp. 203-23. DOI: 10.22124/cjes.2018.3061.
- 7- Baydaroglu, Ö. and Koçak, K., 2014. SVR-based prediction of evaporation combined with chaotic approach. *Journal of Hydrology*, 508, pp. 356-363. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.11.008.
- 8- Chen, J.-L.,Yang, H.,Lv, M.-Q.,Xiao, Z.-L., Wu, S.J., 2019. Estimation of monthly pan evaporation using support vector machine in Three Gorges Reservoir Area, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(1), pp. 1095-1107.
- 9- El Bilali, A.,Abdeslam, T.,Ayoub, N.,Lamane, H.,Ezzaouini, M.A., Elbeltagi, A., 2023. An interpretable machine learning approach based on DNN, SVR, Extra Tree, and XGBoost models for predicting daily pan evaporation. *Journal of Environmental Management*, 327, pp. 116890. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116890.
- 10-Eslamian, S. and Eslamian, F., 2022. Handbook of HydroInformatics: Volume I: Classic Soft-Computing Techniques. Elsevier .
- 11-Ghumman, A.R.,Jamaan, M.,Ahmad, A.,Shafiquzzaman, M.,Haider, H.,Al Salamah, I.S., Ghazaw, Y.M., 2021. Simulation of pan-evaporation using penman and hamon equations and artificial intelligence techniques. *Water*, 13(6), 793. DOI: 10.3390/w13060793.
- 12-Guan, Y.,Mohammadi, B.,Pham, Q.B.,Adarsh, S.,Balkhair, K.S.,Rahman, K.U.,Linh, N.T.T., Tri, D.Q., 2020. A novel approach for predicting daily pan evaporation in the coastal regions of Iran using support vector regression coupled with krill herd algorithm model. *Theoretical and Applied Climatology*, 142, pp. 349-367.
- 13-Huang, G.,Wu, L.,Ma, X.,Zhang, W.,Fan, J.,Yu, X.,Zeng, W., Zhou, H., 2019. Evaluation of CatBoost method for prediction of reference evapotranspiration in humid regions. *Journal of Hydrology*, 574, pp. 1029-1041. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.04.085.
- 14-Jha, S.K. and Hayashi, K., 2014. A novel odor filtering and sensing system combined with regression analysis for chemical vapor quantification. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 200, pp. 269-287. DOI: 10.1016/j.snb.2014.04.022.
- 15-Kisi, O.,Genc, O.,Dinc, S., Zounemat-Kermani, M., 2016. Daily pan evaporation modeling using chi-squared automatic interaction detector, neural networks, classification and regression tree. *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, pp. 112-117. DOI: 10.1016/j.compag.2016.01.026.
- 16-Kumar, P. and Singh, A.K., 2022. A comparison between MLR, MARS, SVR and RF techniques: hydrological time-series modeling. *Journal of Human, Earth, and Future*, 3(1), pp. 90-98. DOI: 10.28991/HEF-2022-03-01-07.
- 17-Malik, A.,Tikhamarine, Y.,Al-Ansari, N.,Shahid, S.,Sekhon, H.S.,Pal, R.K.,Rai, P.,Pandey, K.,Singh, P., Elbeltagi, A., 2021. Daily pan-evaporation estimation in different agro-climatic zones using novel hybrid support vector regression optimized by Salp swarm algorithm in conjunction with gamma test. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 15(1), pp. 1075-1094. DOI: 10.1080/19942060.2021.1942990.

- 18-Mashaly, A.F. and Fernald, A.G., 2020. Identifying capabilities and potentials of system dynamics in hydrology and water resources as a promising modeling approach for water management. *Water*, 12(5), pp. 1432. DOI: 10.3390/w12051432.
- 19-Mirzania, E., Vishwakarma, D.K., Bui, Q.-A.T., Band, S.S., Dehghani, R., 2023. A novel hybrid AIG-SVR model for estimating daily reference evapotranspiration. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(5), pp. 1-14.
- 20-Pan, W.-T., 2012. A new fruit fly optimization algorithm: taking the financial distress model as an example. *Knowledge-Based Systems*, 26, pp. 69-74. DOI: 10.1016/j.knosys.2011.07.001.
- 21-Poluru, R.K. and Kumar R, L., 2021. An Improved Fruit Fly Optimization (IFFOA) based Cluster Head Selection Algorithm for Internet of Things. *International Journal of Computers and Applications*, 43(7), pp. 623-631. DOI: 10.1080/1206212X.2019.1600831.
- 22-Ruiming, F. and Shijie, S., 2020. Daily reference evapotranspiration prediction of Tieguanyin tea plants based on mathematical morphology clustering and improved generalized regression neural network. *Agricultural Water Management*, 236, pp. 106177. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106177.
- 23-Saltelli, A., Aleksankina, K., Becker, W., Fennell, P., Ferretti, F., Holst, N., Li, S., Wu, Q., 2019. Why so many published sensitivity analyses are false: A systematic review of sensitivity analysis practices. *Environmental modelling & software*, 114, pp. 29-39. DOI: 10.1016/j.envsoft.2019.01.012.
- 24-Samadianfard, S., Jarhan, S., Salwana, E., Mosavi, A., Shamshirband, S., Akib, S., 2019. Support vector regression integrated with fruit fly optimization algorithm for river flow forecasting in Lake Urmia Basin. *Water*, 11(9), pp. 1934. DOI: 10.3390/w11091934.
- 25-Sattari, M.T., Feizi, H., Samadianfard, S., Falsafian, K., Salwana, E., 2021. Estimation of monthly and seasonal precipitation: A comparative study using data-driven methods versus hybrid approach. *Measurement*, 173, pp. 108512. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108512.
- 26-Shabani, S., Samadianfard, S., Sattari, M.T., Mosavi, A., Shamshirband, S., Kmet, T., Várkonyi-Kóczy, A.R., 2020. Modeling pan evaporation using Gaussian process regression K-nearest neighbors random forest and support vector machines; comparative analysis. *Atmosphere*, 11(1), pp. 66. DOI: 10.3390/atmos11010066.
- 27-Shan, D., Cao, G., Dong, H., 2013. LGMS-FOA: an improved fruit fly optimization algorithm for solving optimization problems. *Mathematical problems in engineering*, 2013, pp. . DOI: 10.1155/2013/108768
- 28-Sun, X., Bi, Y., Karami, H., Naini, S., Band, S.S., Mosavi, A., 2021a. Hybrid model of support vector regression and fruitfly optimization algorithm for predicting ski-jump spillway scour geometry. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 15(1), pp. 272-291. DOI: 10.1080/19942060.2020.1869102
- 29- Sun, Z., Zhu, G., Zhang, Z., Xu, Y., Yong, L., Wan, Q., Ma, H., Sang, L., Liu, Y., 2021b. Identifying surface water evaporation loss of inland river basin based on evaporation enrichment model. *Hydrological Processes*, 35(3), pp. e14093. DOI: 10.1002/hyp.14093.
- 30- Tikhmarine, Y., Malik, A., Pandey, K., Sammen, S.S., Souag-Gamane, D., Heddam, S., Kisi, O., 2020. Monthly evapotranspiration estimation using optimal climatic parameters: efficacy of hybrid support vector regression integrated with whale optimization algorithm. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, pp. 1-19.
- 31- Vapnik, V. and Chervonenkis, A., 1974. Theory of pattern recognition. Nauka, Moscow, pp .
- 32- Wanniarachchi, S. and Sarukkalgige, R., 2022. A review on evapotranspiration estimation in agricultural water management: Past, present, and future. *Hydrology*, 9(7), pp. 123. DOI: 10.3390/hydrology9070123.

-
- 33- Wu, J., Wang, Y.-G., Burrage, K., Tian, Y.-C., Lawson, B., Ding, Z., 2020. An improved firefly algorithm for global continuous optimization problems. *Expert Systems with Applications*, 149, pp. 113340. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.113340.
- 34- Yan, Z., Wang, S., Ma, D., Liu, B., Lin, H., Li, S., 2019. Meteorological factors affecting pan evaporation in the Haihe River Basin, China. *Water*, 11(2), pp. 317. DOI: 10.3390/w11020317.
- 35- Yoon, H., Jun, S.-C., Hyun, Y., Bae, G.-O., Lee, K.-K., 2011. A comparative study of artificial neural networks and support vector machines for predicting groundwater levels in a coastal aquifer. *Journal of hydrology*, 396(1-2), pp. 128-138. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.11.002.

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Climate Change on Water Requirement of Rice Crop in the Tajan Watershed

F. Jafari¹, H. R. Moradi^{2*} and A. Bagheri³

1. PhD Student in Watershed Management, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

2*. Corresponding Author, Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. (harmoradi@modares.ac.ir)

3. Associate Professor, Department of Water Management and Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 05 February 2023

Revised: 10 September 2023

Accepted: 13 September 2023

TO CITE THIS ARTICLE:

Jafari, F., Moradi, H. R., Bagheri, A. (2024). 'Effect of Climate Change on Water Requirement of Rice Crop in the Tajan Watershed', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(2), pp. 69-86. doi: 10.22055/jise.2023.42970.2057.

Keywords:

Climate Scenarios, Effective Rainfall, CROPWAT, Lars-WG.

Introduction

Climate change has greatly challenged the management of water resources due to its impact on water requirements of crops. In this research, the effect of climate change on water requirement of Rice crop was simulated in the study area of the Tajan watershed and its changes until 2060 were studied. To investigate climate change, Lars-WG software and HadGEM2 model outputs under (RCP 2.6) and (RCP 8.5) climate scenarios have been used. To evaluate the impact of climate change in the next 40 years on water requirement, using CROPWAT 8.0 software, potential and actual evapotranspiration and effective rainfall were calculated for the future period and crop water requirement was determined and compared with the water requirement of the current period. The results showed that the mean water requirement of Rice crop in the RCP 2.6 scenario were predicted in 2040-2021 and 2041-2060 periods is equal to 658.27 and 658.46 mm, respectively, and in the RCP 8.5 scenario in 2040-2021 and 2041-2060 periods were predicted to be equal to 672.93 and 673 mm, respectively. Therefore, according to both climate scenarios, the water requirement has increased in all time periods compared to the current period, which is about 648 mm.

Mazandaran is a province based on agricultural production and it has long been one of the centers of Rice cultivation as the second strategic product of the country. planting Rice is very vital and important for the economy of the whole region. Therefore, it is necessary to study the evaluation of changes in the water requirement of Products in response to climate change conditions.

Various researchers investigated the effects of climate change on water requirement, some of which are mentioned below.

Casolani et al. (2020) in a study investigated the effect of climate change on water requirement of crops. The results showed that the water requirement in the periods of 2011-2040, 2041-2070, and

2071-2100 will increase by 6, 19, and 24 percent, respectively, compared to the current period. Jia et al. (2021) investigated the changes in the water requirement of crops under climate change conditions. The results showed that the effective rainfall increases by 0.98 mm per year and the water requirement decreases by 2.27 mm per year.

Methodology

Considering the direct relationship between the climatic variables of temperature and precipitation and plant evapotranspiration, it is first necessary to evaluate different climatic scenarios, and then to evaluate this information to estimate the water requirement of plants. In the present study, in order to investigate the effects of climate change on the water requirement of Rice crop in the future, it was necessary to simulate the climatic parameters of this period. In this research, the outputs of one of atmospheric-oceanic general circulation models named HadGEM2 have been used to investigate rainfall and temperature changes under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios as optimistic and pessimistic scenarios in the study area of the Tajan watershed. Lars-WG software was used for Downscaling during three stages of data calibration, data evaluation, and meteorological data generation for the future period. Daily values of rainfall, maximum and minimum temperature, and sunshine hours for the next 40 years (2021-2060) were produced and simulated.

CROPWAT 8.0 software was used to estimate water requirements. This model is a simple water balance model and enables the simulation of moisture stress on the plant and calculation of the yield reduction based on the established methods of estimating evapotranspiration and the reaction of the plant to water stress. The steps for calculating water requirements are explained below.

-Calculation of evapotranspiration:

In order to determine the potential evapotranspiration, the FAO- Penman -Monteith method, which is approved by the international commission on irrigation and drainage (ICID), food and agricultural organization (FAO) and american society of civil engineers (ASCE), was used by CROPWAT 8.0 software. This method provides the most up-to-date, accurate, comprehensive analysis related to the process of evapotranspiration and enables the quantification of this criterion through mathematical equations (Gkatsopoulos, 2017).

-Calculation of effective rainfall:

The amount of effective rainfall has been calculated using monthly rainfall statistics and the method of united states department of agriculture (USDA) by CROPWAT 8.0 software. Finally, to calculate the water requirement, equation (1) was used by CROPWAT 8.0 software (Ramezani Etedali et al., 2019).

$$CWR= 10.(ET_c - P_{eff}) \quad (1)$$

where: ET_c : is the evapotranspiration in (mm), P_{eff} : is the mean monthly effective rainfall (mm), and CWR: is the water requirement (cubic meters per hectare).

Results and Discussion

The results showed that the mean monthly minimum and maximum temperature in all months of the future period will increase in both scenarios compared to the current period. The mean monthly rainfall in the future period in both scenarios does not have a constant trend compared to the current period and is various in different months. The amount of potential evapotranspiration in both scenarios has increased in all periods compared to the current period, which is equal to 2.84 mm. Also, the water requirement of Rice has increased according to both scenarios in all periods compared to the current period, which is equal to 6481 cubic meters per hectare. The results of the prediction mean potential evapotranspiration, effective rainfall and water requirement of Rice crop under climate change conditions under two scenarios in the time period (2021-2040) and (2041-2060) and the amount of these parameters in the current period. shows that the rate of potential

evapotranspiration decreases during these two periods. The amount of effective rainfall also decreases during these two periods. The water requirement increases in the period (2041-2060) compared to the period (2021-2040) in both scenarios. The mean water requirement in RCP 2.6 scenario in period (2040-2021) and (2041-2060) is equal to 6582 and 6584 cubic meters per hectare, and in RCP 8.5 scenario in period (2040-2021) and (2041-2060) it is equal to 6729 and 6730 cubic meters per hectare, respectively. Therefore, according to both scenarios water requirement has increased in all time periods compared to the current period, which is equal to 6481 cubic meters per hectare.

Conclusions

Knowing the growth period, effective rainfall and water requirement for planning agricultural operations is a significant help in order to optimally use limited water resources. The general results obtained in this research are as follows:

- Climate change causes an increase in crop water requirement in both climate scenarios in the future period compared to the current period.
- The increase in water requirement in the distant future period (2041-2060) is higher compared to the near future time period (2021-2040)

The results of this research show that it will be possible to use the model used in this research to predict climate change and its effects on the water requirement of crops with good accuracy. The results of this research can be a useful tool for managers, planners and policymakers of the water sector in order to properly and sustainably manage water resources in line with the sustainable development of agriculture. It is suggested that in future research, in order to more accurately evaluate the changes in the water requirement under the impact of climate change, the output results of different atmospheric-oceanic general circulation models should be compared.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Regional Water Company of Mazandaran to allow to access the base data.

References

- 1- Casolani, N., Cartone, A., Postiglione, P. and Liberatore, L., 2020. Climate variability in agriculture and crop water requirement: Spatial analysis of Italian provinces. *Journal of Cleaner Production*, 262, pp. 121331. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121331.
- 2- Gkatsopoulos, P., 2017. A Methodology for Calculating Cooling from Vegetation Evapotranspiration for Use in Urban Space Microclimate Simulations. *Procedia Environmental Sciences*, 38, pp. 477 – 484. DOI: 10.1016/j.proenv.2017.03.139.
- 3- Jia, K., Yang, Y., Dong, G., Zhang, C. and Lang, T., 2021. Variation and determining factor of winter wheat water requirements under climate change. *Agricultural Water Management*, 254, pp. 106967. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106967.
- 4- Ramezani Etedali, H., Ahmadaali, K., Gorgin, F. and Collins, 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), pp. 765-777. DOI: 10.1002/ird.2362.



تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول برنج در آبخیز تجن

فائزه جعفری^۱، حمیدرضا مرادی^{۲*} و علی باقری^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
 ۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
 hrmoradi@modares.ac.ir
 ۳- دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

چکیده

تغییر اقلیم به واسطه اثرگذاری بر نیاز آبی محصولات زراعی، مدیریت منابع آبی را به شدت با چالش مواجه کرده است. در این پژوهش به شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول برنج در محدوده مطالعاتی آبخیز تجن پرداخته و روند تغییرات آن تا سال ۲۰۶۰ مطالعه گردید. برای بررسی تغییر اقلیم از نرم‌افزار Lars-WG و خروجی‌های مدل HadGEM2 تحت سناریوهای اقلیمی (RCP 2.6) و (RCP 8.5)، استفاده شده است. برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم در ۴۰ سال آبی بر نیاز آبی، با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی و بارندگی مؤثر برای دوره آبی محاسبه شده و نیاز آبی محصول تعیین شد و با نیاز آبی دوره فعلی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان دادند میانگین نیاز آبی برنج در سناریو RCP 2.6 در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به ترتیب برابر با ۶۵۸/۴۶ و ۶۵۸/۲۷ میلی‌متر با افزایشی معادل ۱/۵۶ و ۱/۵۹ درصد نسبت به دوره فعلی و در سناریو RCP 8.5 در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به ترتیب برابر با ۶۷۳ و ۶۷۲/۹۳ میلی‌متر معادل با ۳/۸۳ و ۳/۸۴ درصد افزایش، پیش‌بینی می‌شود. بنابراین نیاز آبی بر اساس هر دو سناریوهای اقلیمی در تمام بازه‌های زمانی نسبت به دوره تاریخی که میزان آن ۶۴۸ میلی‌متر است، افزایش داشته است. بنابراین تغییر اقلیم با تأثیر بر میزان تبخیر و تعرق و بارندگی مؤثر، باعث روند افزایشی نیاز آبی برنج در هر دو سناریوهای اقلیمی در دوره زمانی آبی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) می‌شود. میزان افزایش نیاز آبی در دوره زمانی آبی دور (۲۰۴۱-۲۰۶۰) در مقایسه با دوره زمانی آبی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره تاریخی، بیشتر است.

کلید واژه‌ها: بارش مؤثر، سناریوهای اقلیمی، نرم‌افزار کراپ وات، نرم‌افزار لارس دبلیو جی.

مقدمه

با توجه به شواهد و مطالعه‌های بین‌المللی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (Intergovernmental Panel on Climate Change)، به نظر می‌رسد که پدیده تغییر اقلیم می‌تواند آثار بالقوه‌ای در وضعیت منابع آب داشته باشد (IPCC, 2013). تغییر اقلیم بر دما و توزیع بارش تأثیرات متفاوتی دارد که در نتیجه بر روی توزیع مکانی و زمانی منابع آبی و همچنین نیاز آبی (Water Requirement) گیاهان و مصرف آب در بخش کشاورزی مؤثر می‌باشد (Bannayan et al., 2010). از این رو محققین پدیده تغییر اقلیم را به‌عنوان بزرگ‌ترین تهدید کشاورزی و امنیت غذایی در قرن ۲۱ معرفی نموده‌اند (Wang, 2010). افزایش غلظت گاز کربنیک در آینده منجر به افزایش دمای جو می‌شود، مهم‌ترین اثر آن در کشاورزی افزایش تبخیر و تعرق (Evapotranspiration) و تغییر طول دوره رشد گیاهان است که باهم نیاز آبی گیاه را تعیین می‌کنند. بنابراین نیاز آبی گیاه

به‌طور مستقیم تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی و تغییرات آن خواهد بود (IPCC, 2014).

محققین مختلفی در داخل و خارج از کشور به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تقاضای آب بخش کشاورزی و نیاز آبی پرداختند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

Chattaraj et al. (2014) طی مطالعه‌ای تأثیر تغییر اقلیم

بر نیاز آبی گندم را بررسی نمودند. نتایج نشان دادند میزان تبخیر و تعرق و نیاز آبی برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره فعلی کاهش می‌یابد. Ye et al. (2015) اثرات تغییر اقلیم را بر نیاز آبی محصول برنج مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که نیاز آبی در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب ۸، ۱۷ و ۲۰ درصد نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد. Barzegari و Malekinezhad (2017) به بررسی تغییرات نیاز آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم پرداختند. نتایج نشان دادند تغییر اقلیم تا سال ۲۱۰۰ منجر به افزایش تبخیر و تعرق و بالا

این محصول، کاشت برنج بسیار حیاتی است و میزان برداشت آن نیز برای اقتصاد کل منطقه حائز اهمیت است. از این رو با توجه به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر، نیاز آبی برنج برای تولید با راندمان بالاتر و کاهش مصرف آب حائز اهمیت است. در آبخیز تجن نیز با در نظر گرفتن جایگاه و اهمیت محصول برنج در نظام زراعی این منطقه و با توجه به تأثیرات احتمالی تغییر اقلیم در تشدید مساله کمبود آب، ضروری است مطالعه‌های مربوط به ارزیابی تغییرات نیاز آبی گیاهان در واکنش به شرایط تغییر اقلیم، برای برنامه‌ریزی بلندمدت در خصوص بررسی میزان منابع آب موجود حوضه صورت گیرد. بررسی منابع نشان دادند اثر تغییر اقلیم بر تغییرات مداوم تبخیر و تعرق و نیاز آبی و با استفاده از خروجی‌های مدل HadGEM2 با استفاده از نرم‌افزار Lars-WG در این حوضه مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تغییرات نیاز آبی این محصول تحت شرایط فعلی و تغییر اقلیم صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، آبخیز تجن واقع در استان مازندران به وسعت ۳۸۱۰ کیلومترمربع است. این حوضه بین طول جغرافیایی "۵۷° ۵۳' ۰۵" تا "۲۶° ۱۸' ۵۳" و عرض جغرافیایی "۱۷° ۰۹' ۳۶" تا "۴۹° ۲۹' ۳۶" واقع شده است. در شکل (۱) موقعیت آبخیز تجن در کشور نشان داده شده است. مرتفع‌ترین نقطه آبخیز تجن در جنوب شرقی حوضه با ارتفاع ۳۶۷۰ متر و پست‌ترین نقطه در خروجی حوضه با ارتفاع ۲۶- متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارش سالانه معادل ۷۶۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه حوضه برابر با 15°C می‌باشد (Avand et al., 2021).

رفتن نیاز آبی تا چهار درصد می‌شود. Wang et al. (2018) طی مطالعه‌ای نقش تغییر اقلیم را بر تغییرات نیاز آبی گندم بررسی نمودند. نتایج نشان دادند که نیاز آبی بین ۳/۱ تا ۱۵/۸ درصد افزایش پیدا می‌کند. Arefinia et al. (2020) تأثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی گندم را در چهار بازه زمانی بررسی کردند. نتایج نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نیاز آبی سالانه برابر ۴۰۳ و ۲۸۶ میلی‌متر به ترتیب مربوط به بازه‌های ۲۰۴۰-۲۰۵۹ و ۲۰۲۰-۲۰۳۹ است. Mohebi (2020) تأثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی نخیلات را بررسی کردند. نتایج نشان داد نیاز آبی در سه بازه زمانی در مقایسه با دوره پایه برای همه سناریوها و همه بازه‌های زمانی به جز سناریو RCP 8.5 در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ افزایش یافته است. Casolani et al. (2020) در مطالعه‌ای اثر تغییر اقلیم را بر نیاز آبی محصولات بررسی کردند. نتایج نشان دادند نیاز آبی در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب به میزان ۱۹، ۶ و ۲۴ درصد در مقایسه با دوره فعلی افزایش می‌یابد. Li et al. (2020) در تحقیقی به تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی پرداختند. نتایج نشان دادند متوسط نیاز آبی محصولات، تحت سناریوهای مختلف بین ۱۳ تا ۱۹ میلی‌متر در سال افزایش می‌یابد. Jia et al. (2021) به بررسی تغییرات نیاز آبی محصولات تحت شرایط تغییر اقلیم پرداختند. نتایج نشان دادند بارش مؤثر ۰/۹۸ میلی‌متر در سال افزایش و نیاز آبی ۲/۲۷ میلی‌متر در سال کاهش می‌یابد. Vila-Traver et al. (2022) طی مطالعه‌ای به تفکیک اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر بهره‌وری آب پرداختند. نتایج نشان دادند تغییر اقلیم تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی را به ترتیب نه و ۱۴ درصد افزایش می‌دهد. مازندران استانی با محور تولیدی کشاورزی است و تقریباً کشت تمامی محصولات آن به بارندگی بستگی دارد و از دیرباز از مراکز کشت برنج به‌عنوان دومین محصول استراتژیک کشور بوده است. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و پیوند مستقیم اقتصاد کشاورزان با

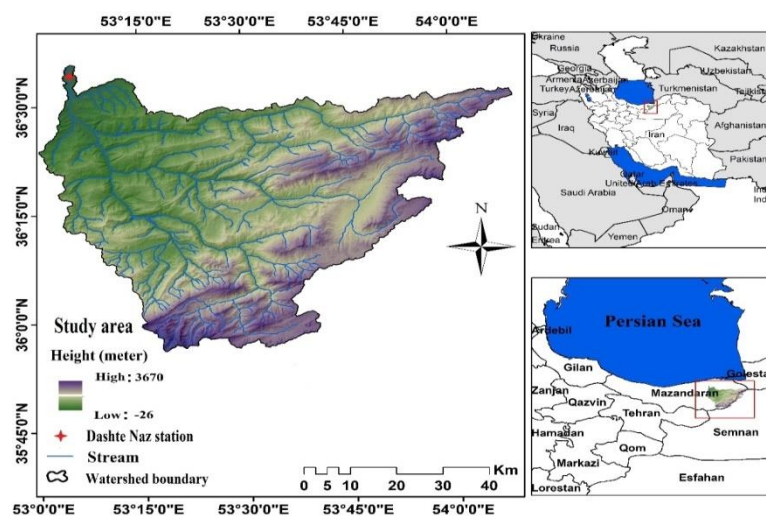


Fig. 1- Study area location

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

که برای جامعه فرض شده است، ارزیابی شود (Lall, 2015). در این آزمون اگر معیار تصمیم (P-Value) کمتر از پنج درصد باشد، فرض صفر رد می‌شود؛ یعنی داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. (فرض صفر: بین فراوانی مورد انتظار و مشاهده شده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. به عبارت دیگر داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند) (Ansari Ghojghar et al., 2020). آماره آزمون با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$D_n = \max_x |F_n(x) - F(x)| \quad (۱)$$

آماره آزمون کولموگروف اسمیرنوف حداکثر مقدار $|F_n(x) - F(x)|$ است (Xiao et al., 2007). در این جا $F_n(x)$ احتمال تجمعی تجربی و $F(x)$ تابع توزیع تجمعی نظری است. بنابراین آماره D_n آزمون کولموگروف اسمیرنوف بیشینه قدرمطلق تفاضل تابع توزیع تجربی و نظری را آشکار می‌کند (Burr, 1964; Wilks, 2006). رابطه‌های ریاضی خطای میانگین مربعات، خطای جذر میانگین مربعات، میانگین قدر مطلق خطا، ضریب تعیین در ادامه آورده شده است (روابط ۲ تا ۵)، (Goodarzi et al., 2015).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (۳)$$

که در این دو رابطه Y_i برابر با مقادیر مشاهداتی، \hat{Y}_i برابر با مقادیر پیش‌بینی شده و n برابر تعداد داده‌ها است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (۴)$$

که در آن y_i برابر با مقادیر پیش‌بینی شده، x_i برابر با مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده‌ها است.

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} \quad (۵)$$

که در آن RSS برابر با مجموع مربعات باقی مانده و TSS مجموع مربعات کل می‌باشد.

به منظور ریزمقیاس‌نمایی از داده‌های روزانه بارش، بیشینه و کمینه دما و ساعات آفتابی ایستگاه دشت‌ناز ساری در سال‌های

روش تحقیق

در این پژوهش از داده‌های روزانه بارش، بیشینه و کمینه دما، ساعات آفتابی به منظور مدل‌سازی تغییر اقلیم و از داده‌های ماهانه بارش، بیشینه و کمینه دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد به منظور برآورد نیاز آبی، ایستگاه دشت‌ناز ساری در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ استفاده شده است. ارتفاع ایستگاه دشت‌ناز از سطح دریا برابر با ۱۱ متر و از نوع سینوپتیک می‌باشد. این ایستگاه بین طول جغرافیایی "۲۹° ۱۱' ۵۳" و عرض جغرافیایی "۱۷° ۱۹' ۳۶" واقع شده است.

مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی

با توجه به رابطه مستقیم بین متغیرهای اقلیمی دما و بارش و تبخیر و تعرق گیاهی، ابتدا لازم است که سناریوهای مختلف اقلیمی دما و بارش مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس این اطلاعات برای برآورد نیاز آبی گیاهان مورد بررسی قرار گیرد. در پژوهش حاضر، برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاه برنج در آینده، ابتدا لازم بود که پارامترهای اقلیمی این دوره شبیه‌سازی شوند. در این تحقیق از خروجی‌های یکی از مدل‌های گردش عمومی جوی - اقیانوسی با نام HadGEM2 برای بررسی تغییرات بارندگی و دما تحت سناریوهای اقلیمی RCP 2.6 و RCP 8.5 به عنوان سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه در محدوده مطالعاتی آبخیز تجن استفاده شده است. گزارش ارزیابی پنجم برخلاف گزارش سناریوهای انتشار استفاده شده در مدل‌های گزارش ارزیابی چهارم، از روند غلظت گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌کند. به عنوان مثال در RCP 2.6 کل واداشت تابشی تا سال ۲۰۵۰ حدود سه وات بر مترمربع می‌رسد و بعد از آن رو به کاهش می‌گذارد. سناریو RCP 8.5 به طور مداوم در حال افزایش می‌باشد و نیروی واداشت تابشی تا انتهای قرن ۲۱ به حدود هشت و نیم وات بر مترمربع خواهد رسید (IPCC, 2014).

برای ریزمقیاس‌نمایی (Downscaling) داده‌ها از نرم‌افزار Lars-WG طی سه مرحله کالیبره کردن داده‌ها (Calibration)، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره آتی استفاده (Semenov and Barrow, 2002). به منظور بررسی عملکرد مدل از معیارهای خطای میانگین مربعات (Mean Squared Error -)، خطای جذر میانگین مربعات (Root Mean Square Error)، میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error)، ضریب تعیین (Coefficient of Determination) و آزمون کولموگروف اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) استفاده شد. آزمون کولموگروف اسمیرنوف ابزاری کلاسیک و مشهور برای آزمایش فرضیه غیر پارامتری است (Smirnov, Sadhanala et al., 2019). در آزمون کولموگروف اسمیرنوف یک نمونه‌ای داده‌های تجربی را می‌توان در برابر توزیع شناخته شده برآزش داد تا هم‌قوارگی توزیع یک نمونه با توزیعی

ضریب گیاهی

ضریب گیاهی محصول به عنوان تابعی از مراحل رشد و تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله تاریخ برداشت، درجه حرارت، رطوبت نسبی، دوره رشد و تیپ گیاه تغییر می‌کند (Nikbakht, 2007). پس از محاسبه ضریب گیاهی، تبخیر و تعرق گیاه برنج از رابطه (۷) در نرم‌افزار CROPWAT 8.0 محاسبه شد.

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (7)$$

که در آن: K_c ، ضریب گیاهی و ET_0 ، تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد. ET_c تبخیر و تعرق گیاه برنج در دوره رشد محاسبه شده به میلی‌متر می‌باشد

بارندگی مؤثر

آن قسمت از بارش که در طی دوره رشد یک گیاه دریافت شده و برای مصارف آن در دسترس قرار گیرد، بارش مؤثر نامیده می‌شود (Ali and Mubarak, 2017). میزان بارندگی مؤثر با استفاده از آمار بارندگی ماهانه و با روش وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (United States Department of Agriculture) توسط نرم‌افزار CROPWAT 8.0 محاسبه شده است. در این روش ارتباط بین میزان بارندگی و بارندگی مؤثر به صورت رابطه‌های (۸) و (۹) بیان می‌شود:

$$P_{eff} = \frac{P}{125 \cdot (125 - 0.2P)} \quad P \leq 250mm \quad (8)$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 \cdot P \quad P > 250mm \quad (9)$$

که در آن P_{eff} : متوسط بارندگی مؤثر ماهانه و p : متوسط بارندگی ماهانه می‌باشد. در نهایت برای محاسبه نیاز آبی، از رابطه (۱۰) توسط نرم‌افزار CROPWAT 8.0 استفاده شد که در آن: CWR نیاز آبی گیاه (مترمکعب بر هکتار) است (Allen et al., 1998; Monteith and Unsworth, 1990; al., 2019; Ramezani Etedali et al., 1965; Monteith, 1965).

$$CWR = 10 \cdot (ET_c - P_{eff}) \quad (10)$$

نتایج و بحث**مدل سازی تغییر اقلیم**

نتایج حاصل از تولید داده‌های اقلیمی آینده با استفاده از سناریوی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ برای بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۶۰ در جدول (۱) آورده شده است.

نتایج این بررسی نشان داد در ایستگاه دشت‌ناز ساری، میانگین ماهانه دمای کمینه و دمای بیشینه در تمامی ماه‌های سال دوره آبی در هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه نسبت به دوره فعلی (۲۰۱۵-۱۹۹۵) افزایش می‌یابد (جدول ۱). این میزان

۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ استفاده شده است. پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شد. پس از اطمینان از توانایی نرم‌افزار Lars-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی از طریق مقایسه داده‌های تولید شده توسط مدل HadGEM2 و داده‌های مشاهداتی موجود در دوره پایه، این مدل برای تولید داده‌های آبی با استفاده از سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه و بدبینانه اجرا شد و مقادیر روزانه داده‌های اقلیمی بارش، بیشینه و کمینه دما و ساعات آفتابی ۴۰ سال آینده (۲۰۲۱-۲۰۶۰) تولید و شبیه‌سازی شد.

نیاز آبی

نیاز آبی گیاه نشان‌گر مقدار آبی است که گیاه در کل فصل رشد برای رشد کامل و محصول‌دهی به آن نیاز دارد (Alizadeh, 2011). برای برآورد نیاز آبی گیاه از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 استفاده شد. این مدل، یک مدل ساده بیلان آب است و امکان شبیه‌سازی تنش رطوبتی روی گیاه و محاسبه میزان کاهش محصول را بر پایه روش‌های مدون برآورد تبخیر و تعرق و عکس‌العمل گیاه به تنش آبی میسر می‌سازد. مراحل محاسبه نیاز آبی گیاه در ادامه توضیح داده شده است.

تبخیر و تعرق گیاهی محصولات کشاورزی

به‌منظور تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن -مانتیت (FAO- Penman -Monteith) که مورد تایید کمیته بین‌المللی آبیاری (International commission on irrigation and drainage)، سازمان خواربار جهانی (Food and agricultural organization) و جامعه مهندسی شهری آمریکا (American society of civil engineers) است، در قالب نرم‌افزار CROPWAT 8.0 و بر اساس رابطه (۶) استفاده شد. این روش بروزترین، دقیق‌ترین، جامع و کامل‌ترین تحلیل را در رابطه با فرآیند تبخیر و تعرق گیاه ارائه و کمی‌سازی این معیار را از طریق معادلات ریاضی امکان‌پذیر می‌کند (Gkatsopoulos, 2017).

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900}{T + 273} \right) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \Delta \cdot (1 + 0.34 \cdot U_2)} \quad (6)$$

که در آن، ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm \cdot day^{-1}$)، R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)، T : میانگین دمای هوا ($^{\circ}C$)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($m \cdot s^{-1}$)، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری (Kpa)، Δ : شیب منحنی فشار بخار ($Kpa \cdot ^{\circ}C^{-1}$)، γ : ضریب رطوبتی ($Kpa \cdot ^{\circ}C^{-1}$)، G : شار گرما به داخل خاک ($MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$) است.

مربوط به سناریو RCP۸/۵ در ماه آوریل به میزان ۲/۳۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر میزان افزایش دمای بیشینه در طی دوره آینده نسبت به دوره پایه مربوط به سناریو RCP۸/۵ در ماه ژوئیه به میزان ۲/۴۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شکل (۲) مقایسه پارامترهای اقلیمی کمینه و بیشینه دمای ماهانه و میانگین ماهانه بارش در دوره پایه و شبیه‌سازی شده (آتی) را در ایستگاه دشت‌ناز ساری نشان می‌دهد.

طی سناریوهای مختلف متفاوت است. از طرفی روند افزایشی دما، منجر به افزایش نیاز آبی بخش کشاورزی می‌شود. میانگین ماهانه بارش در دوره آتی در هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه نسبت به دوره فعلی روند ثابتی ندارد و در ماه‌های مختلف متفاوت است و در بعضی از ماه‌ها بیشتر و یا کمتر برآورد شد. میانگین ماهانه بارش در سناریو بدبینانه در همه ماه‌های سال بجز دو ماه می و سپتامبر، نسبت به سناریو خوش‌بینانه روند کاهشی دارد. حداکثر میزان افزایش دمای کمینه در طی دوره آینده نسبت به دوره پایه

جدول ۱- میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده تحت سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۸/۵ تغییر اقلیم در دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۶۰

Table 1- Mean monthly climate parameters predicted under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios in 2021-2060 period

Months	Mean Monthly Precipitation (mm)		Mean Monthly Maximum Temperature (°C)				Mean Monthly Minimum Temperature (°C)		
	Future Period		Current Period	Future Period		Current Period	Future Period		
	RCP 8.5	RCP 2.6		RCP 8.5	RCP 2.6		RCP 8.5	RCP 2.6	
January	69.62	75.01	72.89	14.26	14.26	13.56	2.46	2.51	0.99
February	61.76	70.05	67.74	14.66	14.59	13.44	3.54	3.48	1.88
March	76.94	93.37	79.37	19.02	18.58	17.12	6.43	6.18	4.88
April	59.74	68.9	55.39	23.16	22.78	21.07	10.60	10.27	8.28
May	40.48	40.13	45.32	28.42	28.32	26.50	15.99	15.74	14.3
June	32.04	36.69	31.52	32.12	31.93	30.50	20.42	20.14	18.71
July	28.09	35.35	31.71	34.65	34.19	32.21	22.32	21.95	20.47
August	35.79	37.83	34.52	35.57	35.15	33.24	21.73	21.39	20.28
September	76.39	72.64	82.73	31.74	31.72	30.12	19.12	18.85	17.92
October	72.88	74.41	84.71	26.97	26.92	25.39	14.24	14.01	13.09
November	126.75	144.97	129.89	20.32	19.99	19.36	8.54	8.41	6.99
December	100.93	111.13	92.22	15.84	15.6	14.63	4.06	4.07	2.52

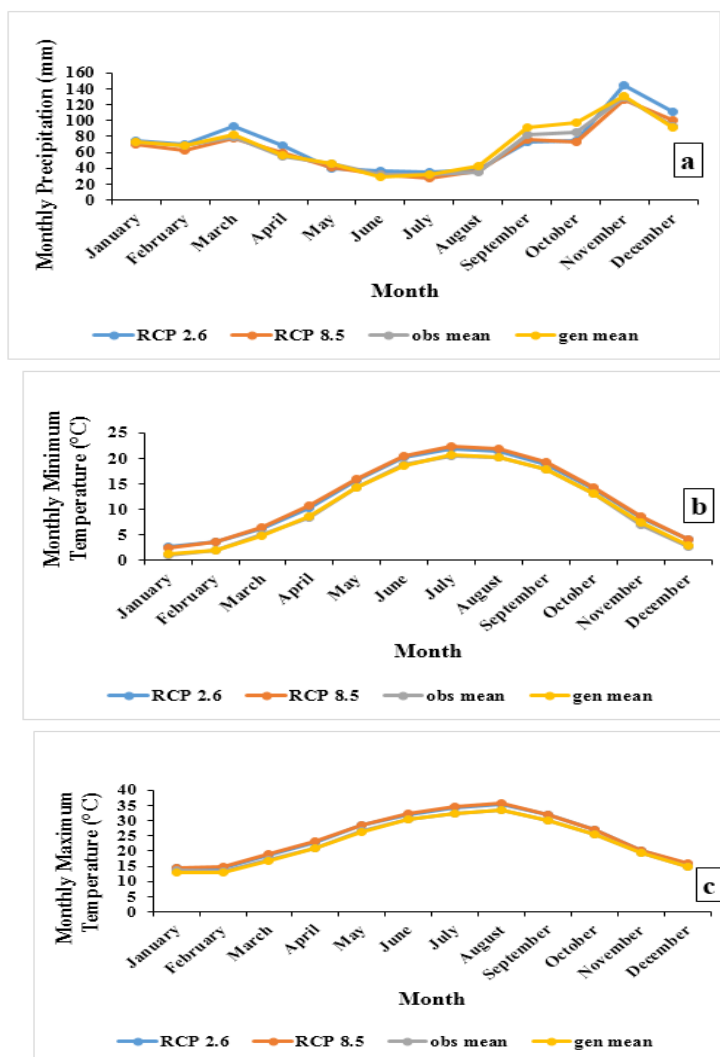


Fig. 2- Comparison of climate parameters for the current and simulated period in Sari Dashte Naz station (a): mean monthly precipitation, (b): Mean Monthly Minimum Temperature, (c): Mean Monthly Maximum Temperature

شکل ۲- مقایسه پارامترهای اقلیمی در دوره پایه و شبیه‌سازی شده در ایستگاه دشت‌ناز ساری (a): میانگین ماهانه بارش، (b): دمای کمینه ماهانه، (c): دمای بیشینه ماهانه

تبخیر و تعرق گیاه مرجع با توجه به شرایط اقلیمی حوضه تجن در ماه‌های مختلف در دوره فعلی (۲۰۱۵-۱۹۹۵) نشان می‌دهد که کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ماه دسامبر و بعد از آن ژانویه می‌باشد که دارای کم‌ترین مقدار حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه است. گرچه میزان بارش‌ها هم در این ماه‌ها بالا می‌باشد، ولی هنوز میزان نزولات نسبت به بعضی از ماه‌های دیگر کمتر است. بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ماه ژوئای و بعد از آن ژوئن مشاهده شد. در این ماه‌ها میزان بارش و رطوبت نسبی از سایر ماه‌ها کمتر و حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه، تابش و ساعات آفتابی نسبت به سایر ماه‌ها در بالاترین مقدار می‌باشد. به نظر می‌رسد مجموعه این عوامل باعث افزایش میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در این ماه شده است. در مرحله بعد با توجه به تغییر در هر یک از پارامترهای اقلیمی، میزان تبخیر

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از معیارهای خطای میانگین مربعات، خطای جذر میانگین مربعات، میانگین قدر مطلق خطا، ضریب تعیین و آزمون کولموگروف اسمیرنوف در دوره پایه در جدول (۲) آورده شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌گردد آزمون کولموگروف اسمیرنوف برای اختلاف داده‌های مشاهده‌ای و مدل‌سازی معنادار نیست ($P > 0.05$). بنابراین اختلاف داده‌ها دارای توزع نرمال است.

نتایج پیش‌بینی نیاز آبی محصول با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT تبخیر و تعرق گیاه مرجع

اولین مرحله برای محاسبه تبخیر و تعرق محصولات زراعی، برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد. میانگین تغییرات

بین حداقل آن در مرحله آغازین تا حداکثر آن در مرحله میان فصل در نوسان است (Utset et al., 2007).

نیاز آبی

نیاز آبی گیاه نشانگر مقدار آبی است که گیاه در کل فصل رشد برای رشد کامل و محصولدهی به آن نیاز دارد (Alizadeh, 2011). بر اساس تبخیر و تعرق محصول و با توجه به بارش مؤثر در منطقه، نیاز آبی محصول برنج در دوره فعلی و آتی تعیین شد. جدول (۳) نتایج نیاز آبی محصول برنج را در دوره فعلی نشان می‌دهد.

در جدول‌های (۴) و (۵) به ترتیب نتایج پیش‌بینی بارش مؤثر و نیاز آبی محصول برنج در شرایط تغییر اقلیم تحت دو سناریو انتشار RCP۲/۶ و RCP۸/۵ در دوره آتی در بازه‌های زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) ارائه شده است

و تعرق گیاه مرجع در دوره آینده محاسبه گردید. طبق این برآوردها، کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع همانند دوره فعلی، در ماه‌های دسامبر و بعد از آن ژانویه و بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ماه‌های آگوست و ژولای می‌باشد. با توجه به وابستگی دیگر پارامترهای اقلیمی به درجه حرارت، این عامل مهم‌ترین عامل تأثیرگذار روی تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد (Nikbakht, 2007).

ضریب گیاهی

ضریب گیاهی محصول به‌عنوان تابعی از مراحل رشد و تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله تاریخ برداشت، درجه حرارت، رطوبت نسبی، دوره رشد و تیپ گیاه تغییر کرده (Nikbakht 2007) و

جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل در دوره پایه با استفاده از معیارهای مختلف

Table 2- Evaluation of model performance using different criteria for the current period

Station	parameter	MSE	RMSE	MAE	R ²	K-S	P
Dashte	Minimum Temperature (°C)	0.04	0.20	0.17	0.94	0.50	0.96
Naz	Maximum Temperature (°C)	0.10	0.31	0.23	0.98	0.72	0.66
	Precipitation (mm)	27.48	5.24	3.35	0.95	1.04	0.22

جدول ۳- میزان تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی در دوره فعلی

Table 3- Amount of potential evapotranspiration, effective rainfall and water requirement for the current period

Potential Evapotranspiration (mm/Day)	Effective Rainfall (mm/Year)	Water Requirement (m3/ha)	Year
2.72	108.60	6240	1995
2.84	173.60	6817	1996
2.70	175.80	6250	1997
2.82	219.90	6567	1998
2.71	249.00	6373	1999
3.07	175.90	6921	2000
3.07	130.20	6969	2001
2.97	214.20	6626	2002
2.80	227.80	6450	2003
2.86	351.10	6043	2004
2.84	212.50	6475	2005
2.96	74.30	6525	2006
2.88	222.70	6098	2007
2.96	101.60	6602	2008
2.81	204.20	6341	2009
2.93	83.10	6612	2010
2.67	142.40	6116	2011
2.77	166.30	6553	2012
2.74	136.00	6288	2013
2.88	94.80	6684	2014
2.81	162.60	6553	2015

جدول ۴- پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰)

Table 4- Potential evapotranspiration, effective rainfall and water requirement predicted for the future period (2021-2040)

Potential Evapotranspiration (mm/Day)		Effective Rainfall (mm/Year)		Water Requirement (m3/ha)		Year
RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	
3.18	3.21	140.40	122.40	6971	7106	2021
3.19	3.21	194.00	170.00	6855	6977	2022
3.12	3.14	189.30	166.50	6630	6755	2023
3.00	3.02	227.10	197.90	6636	6749	2024
3.02	3.04	199.10	176.20	6392	6504	2025
2.99	3.02	210.30	169.80	6580	6697	2026
3.08	3.10	232.10	201.90	6596	6715	2027
3.03	3.05	322.00	285.70	6309	6429	2028
3.09	3.11	202.00	170.50	6663	6773	2029
3.01	3.03	215.60	183.20	6544	6644	2030
2.98	3.00	167.10	146.70	6458	6643	2031
2.76	2.78	310.30	276.30	6086	6244	2032
2.87	2.89	341.90	291.40	6412	6578	2033
2.84	2.86	288.60	247.40	6312	6473	2034
2.93	2.95	208.20	115.20	6434	6626	2035
2.91	2.93	212.20	182.10	6402	6590	2036
3.17	3.19	264.90	237.40	7008	7215	2037
3.17	3.19	227.80	193.10	6882	7070	2038
3.11	3.14	246.00	216.10	6663	6833	2039
3.04	3.06	225.00	200.70	6822	6966	2040

جدول ۵- پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی در دوره آتی (۲۰۴۱-۲۰۶۰)

Table 5- Potential evapotranspiration, effective rainfall and water requirement predicted for the future period (2041-2060)

Potential Evapotranspiration (mm/Day)		Effective Rainfall (mm/Year)		Water Requirement (m3/ha)		Year
RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	
3.04	3.07	212.30	189.60	6489	6626	2041
3.04	3.06	159.70	133.30	6785	6931	2042
3.09	3.12	173.30	144.20	6707	6842	2043
3.03	3.06	275.30	235.60	6433	6588	2044
3.09	3.11	219.20	197.40	6690	6826	2045
3.02	3.04	156.90	131.40	6601	6718	2046
2.97	2.99	268.50	226.60	6424	6581	2047
2.76	2.78	247.60	207.70	6175	6311	2048
2.85	2.87	257.20	216.80	6362	6494	2049
2.84	2.86	222.30	187.00	6385	6515	2050
2.91	2.93	199.40	165.60	6382	6542	2051
2.91	2.94	286.30	248.30	6440	6588	2052
3.21	3.23	175.60	152.40	7137	7301	2053
3.17	3.20	251.80	210.20	6916	7067	2054
3.10	3.13	359.50	329.10	6688	6844	2055
3.02	3.04	152.30	137.70	6788	6937	2056
3.01	3.03	242.70	211.40	6437	6582	2057
3.03	3.05	252.80	222.90	6802	6952	2058
3.07	3.09	308.10	255.20	6590	6749	2059
3.05	3.07	173.80	147.30	6461	6614	2060

در شکل‌های (۳) تا (۸) به ترتیب روند تغییرات بارش مؤثر، تبخیر و تعرق مرجع و نیاز آبی محصول برنج آبخیز تجن در بازه زمانی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) به منظور مقایسه سناریوهای مختلف نشان داده شده است.

در جدول (۶) نتایج پیش‌بینی میانگین تبخیر تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی محصول برنج در شرایط تغییر اقلیم تحت دو سناریو انتشار RCP۲/۶ و RCP۸/۵ در بازه‌های زمانی (۲۰۴۰-۲۰۶۰) و (۲۰۲۱-۲۰۶۰) و همچنین میزان این پارامترها در دوره فعلی ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج پیش‌بینی میانگین تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی در دوره فعلی و آتی

Table 6- Mean potential evapotranspiration, mean effective rainfall and mean water requirement predicted results for the current and future period

	Potential Evapotranspiration (mm/Day)				Effective Rainfall (mm/Year)	Water Requirement (m3/ha)			
	RCP 2.6		RCP 8.5			RCP 2.6		RCP 8.5	
Current Period	2021-2040	2041-2060	2021-2040	2041-2060	Current Period	2021-2040	2041-2060	2021-2040	2041-2060
	2.84	3.02	3.01	3.03	231.12	222.73	251.61	672.9	937.9

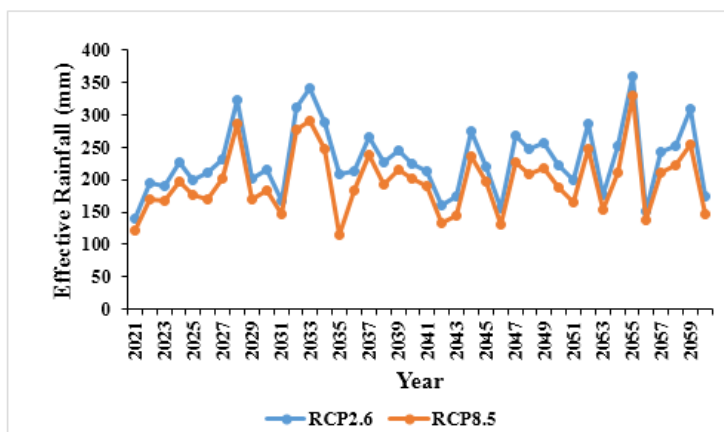


Fig.3- Mean effective rainfall under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios

شکل ۳- میانگین بارش مؤثر تحت دو سناریو RCP۲/۶ و RCP۸/۵ تغییر اقلیم

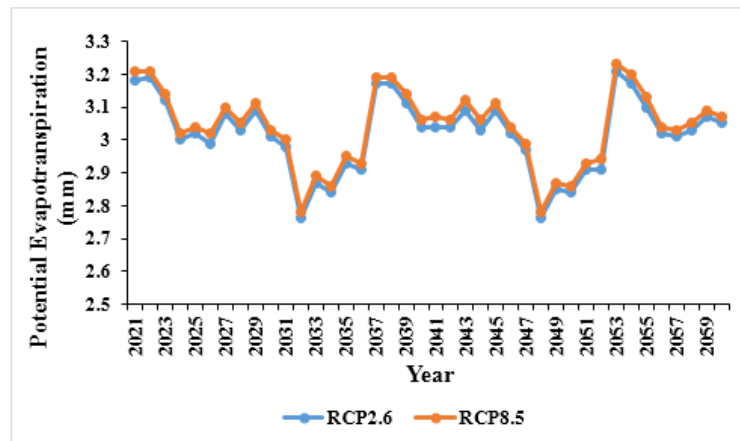


Fig. 4- Mean potential evapotranspiration under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios

شکل ۴- میانگین تبخیر و تعرق مرجع تحت دو سناریو مختلف تغییر اقلیم

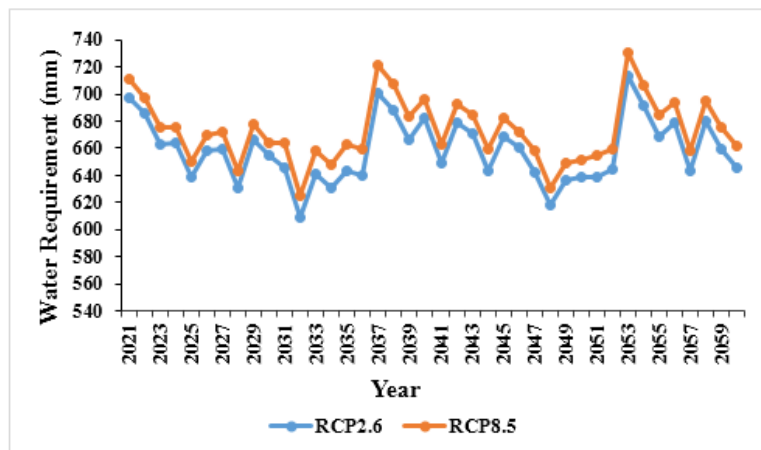


Fig. 5- Mean water requirement under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios

شکل ۵- میانگین نیاز آبی تحت دو سناریو مختلف تغییر اقلیم

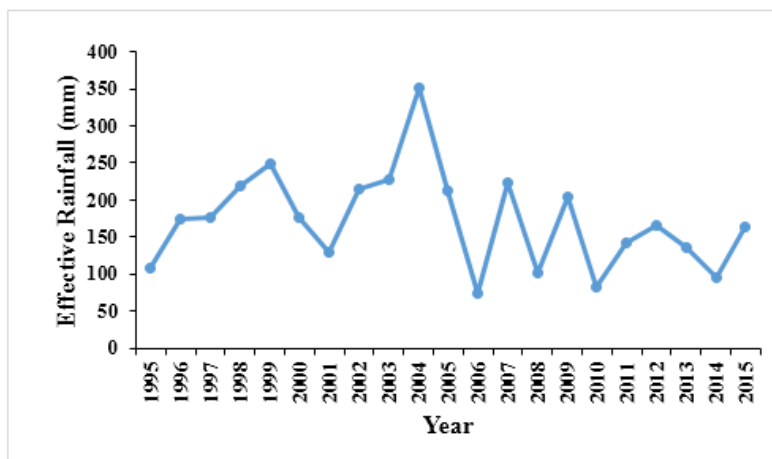


Fig. 6- Mean effective rainfall for the current period

شکل ۶- میانگین بارش مؤثر دوره فعلی

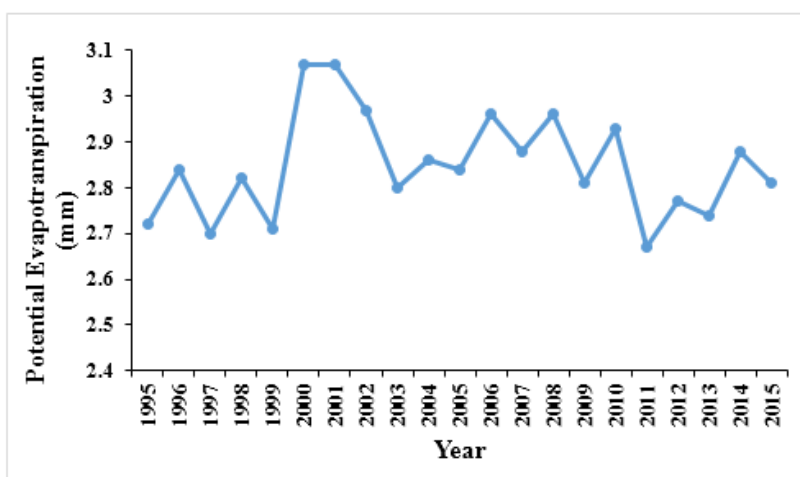


Fig. 7- Mean potential evapotranspiration for the current period

شکل ۷- میانگین تبخیر و تعرق مرجع دوره فعلی

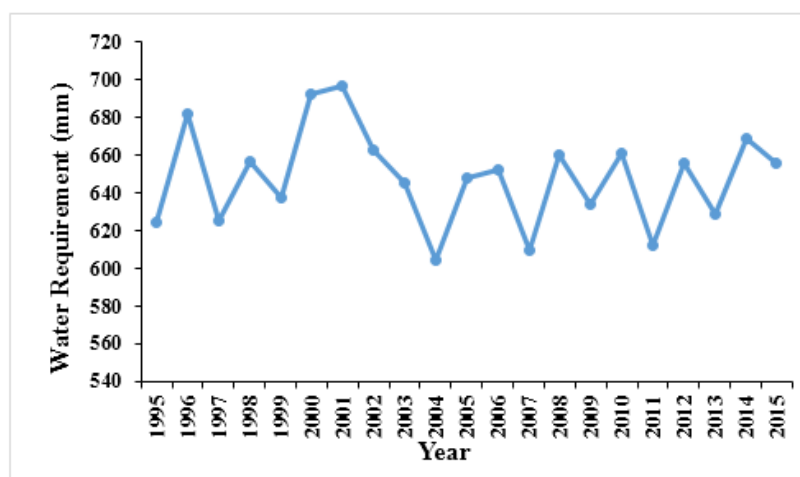


Fig. 8- Mean water requirement for the current period

شکل ۸- میانگین نیاز آبی در دوره فعلی

است، افزایش داشته است. علت اصلی این افزایش را می‌توان در افزایش میزان تبخیر و تعرق گیاه دانست.

در این پژوهش سعی شده است تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول برنج در آبخیز تجن مورد بررسی قرار گیرد. نتایج پیش‌بینی میانگین تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی محصول برنج در شرایط تغییر اقلیم تحت دو سناریو انتشار RCP۲/۶ و RCP۸/۵ در بازه‌های زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و همچنین میزان این پارامترها در دوره فعلی نشان می‌دهد که میزان تبخیر و تعرق مرجع در طی این دو دوره کاهش می‌یابد. یک پارامتر به تنهایی روی میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تأثیر گذار نیست، بلکه این اثرات متقابل اقلیمی است که میزان تبخیر و تعرق را تعیین می‌کند. اما میزان بارش مؤثر نیز در طی این دو بازه زمانی روند کاهشی دارد. بنابراین به دنبال آن باعث افزایش میزان نیاز آبی گیاه می‌شود. میزان این پارامترها شامل میانگین تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، بر اساس سناریو RCP۲/۶ که حالت خوش‌بینانه است، مقدار بارش مؤثر در بازه‌های زمانی مورد مطالعه نسبت به دوره فعلی و سناریو RCP۸/۵ که حالت بدبینانه است، بیشتر است. اما میزان آن در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) نسبت به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) کاهش می‌یابد.

در شکل‌های (۴) و (۵) نیز مشاهده می‌شود که تبخیر و تعرق و نیاز آبی برنج روندی مشابه و تقریباً نزدیک به هم دارند. به‌طور کلی بر اساس شکل (۴) می‌توان بیان نمود که میزان تبخیر و تعرق مرجع گیاه در هر دو سناریو انتشار در تمام بازه‌های زمانی نسبت به حالت پایه که میزان آن برابر با ۲/۸۴ میلی‌متر است، افزایش داشته است. هم‌چنین با توجه به شکل (۵) مقدار نیاز آبی برنج بر اساس هر دو سناریو انتشار در تمام بازه‌های زمانی نسبت به حالت پایه که میزان آن برابر با ۶۴۸۱ مترمکعب در هکتار

شده توسط Li et al. (2020) که متوسط نیاز آبی محصولات تحت سناریوهای مختلف بین ۱۳ تا ۱۹ میلی‌متر در سال افزایش یابد، مطالعه صورت گرفته توسط Vila-Traver et al. (2022) که در آن افزایش نیاز آبی به میزان ۱۴ درصد پیش‌بینی شده، بررسی انجام شده توسط Barzegari و Malekinezhad (2017) که بر طبق نتایج حاصل، نیاز آبی تا سال ۲۱۰۰ تا ۴ درصد افزایش می‌یابد و مطالعه صورت گرفته توسط Mohebi (2020) که بر طبق نتایج حاصل، نیاز آبی در سه بازه زمانی در مقایسه با دوره پایه برای همه سناریوها و همه بازه‌های زمانی به جز سناریو RCP 8.5 در دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، افزایشی بین ۰/۱۶ تا ۱۰/۷ درصد داشته است، هم راسا و با نتایج حاصل از بررسی‌های Jia et al. (2021) که بر طبق نتایج آن، نیاز آبی ۲/۲۷ میلی‌متر در سال کاهش می‌یابد و تحقیق انجام شده توسط Chattaraj et al. (2014) که در آن نیاز آبی گندم برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره فعلی بین ۲/۹ تا ۵۹/۳ میلی‌متر یا یک تا ۲۲ درصد کاهش می‌یابد، متفاوت است. دلیل این تفاوت علاوه بر شرایط اقلیمی مناطق مورد بررسی، به نوع محصول مورد بررسی و ضریب گیاهی مربوط به آن، پراکندگی زمانی وقوع بارش‌ها و زمان‌بندی آبیاری محصولات، مدل‌ها و سناریوهای استفاده شده برمی‌گردد.

نتیجه‌گیری

کاشت واقع‌بینانه محصول به درک صحیح از شرایط آب و هوایی بستگی دارد. آگاهی از میزان بارش سالانه، دوره رشد، بارش مؤثر و مقادیر نیاز آبی برای برنامه‌ریزی عملیات کشاورزی به‌منظور استفاده بهینه از منابع آبی محدود، کمک شایان توجهی می‌کند. برآورد صحیح مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد تا با مشخص کردن سقف نیاز آبی، علاوه بر تأمین بخشی از نیاز از طریق بارش و نهایتاً بارش مؤثر، به فکر فراهم آوردن بقیه نیاز آبی از سایر منابع آب نظیر رودخانه‌ها، سدها و چاه‌ها باشند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات نیاز آبی محصول برنج در آبخیز تجن صورت گرفت. در این خصوص نتایج زیر شایان توجه است:

- تغییر اقلیم باعث روند افزایشی نیاز آبی محصول در دوره زمانی آتی (سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۶۰) می‌شود.
- در هر دو سناریوهای اقلیمی (بدبینانه و خوش‌بینانه) نیاز آبی نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد.
- میزان افزایش نیاز آبی در دوره زمانی آتی دور (۲۰۶۰-۲۰۴۱) در مقایسه با دوره زمانی آتی نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره تاریخی، بیشتر است.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که استفاده از مدل به‌کار رفته در این پژوهش برای پیش‌بینی تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن بر نیاز آبی محصولات زراعی با دقت مطلوبی امکان‌پذیر خواهد بود. در حال حاضر، استفاده از این مدل‌ها تنها راه موجود برای

محصول برنج در دوره آتی (شرایط تغییر اقلیم) نسبت به دوره فعلی افزایش یافته است. نیاز آبی محصول برنج در بازه زمانی (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به بازه زمانی (۲۰۴۰-۲۰۲۱) در هر دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه افزایش می‌یابد. میانگین نیاز آبی برنج در سناریو RCP 2.6 در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۶۰-۲۰۴۱ به ترتیب برابر با ۶۵۸۲ و ۶۵۸۴ مترمکعب در هکتار (۱/۵۸ و ۱/۶۱ درصد افزایش نسبت به دوره فعلی) و در سناریو RCP 8.5 در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۶۰-۲۰۴۱ به ترتیب برابر با ۶۷۲۹ و ۶۷۳۰ مترمکعب در هکتار (۳/۸۵ و ۳/۸۶ درصد افزایش نسبت به دوره فعلی) به‌دست آمد. بنابراین نیاز آبی بر اساس هر دو سناریو انتشار در تمام بازه‌های زمانی نسبت به دوره تاریخی که میزان آن برابر با ۶۴۸۱ مترمکعب در هکتار است، افزایش داشته است. با توجه به مطالعه‌های مختلف، ارقام متفاوتی برای نیاز آبی محصول برنج محاسبه شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش انجام شده توسط Sheidaei et al. (2015) در آبخیز تجن که در آن نیاز آبی برنج در دوره فعلی (۱۹۷۱-۲۰۰۱) برابر با ۶۳۵۰ مترمکعب در هکتار و در دوره‌های آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰)، (۲۰۴۱-۲۰۷۰) و (۲۰۷۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر با ۶۸۴۲، ۷۴۳۵ و ۷۷۲۹ مترمکعب در هکتار برآورد شد، تحقیق انجام شده توسط Irannezhad et al. (2020) در استان مازندران که در آن متوسط نیاز آبی برنج در شهرهای انتخاب شده رامسر، قائم‌شهر، بابلسر و نوشهر در دوره فعلی (۱۹۸۴-۲۰۱۷) برابر با ۳۷۹۴ مترمکعب در هکتار محاسبه شد، بررسی صورت گرفته توسط Darzi Naftchali و Karandish (2016) در استان مازندران در ایستگاه‌های بابلسر، قراخیل، نوشهر و رامسر، که در آن، نیاز آبی دوره فعلی (۱۹۸۰-۲۰۱۰) به ترتیب برابر با ۴۰۰۸، ۳۷۷۱، ۴۱۶۹ و ۴۱۲۱ مترمکعب در هکتار و مقدار متوسط آن برای دوره‌های آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰)، (۲۰۴۱-۲۰۷۰) و (۲۰۷۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر با ۳۴۸۳، ۳۵۲۶، ۳۸۴۶ و ۳۵۲۰ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد و در مطالعه انجام شده توسط Mojarad et al. (2005) که در آن، متوسط نیاز آبی در محدوده مطالعاتی دشت مازندران که در برگیرنده ۱۰ ایستگاه از جمله ایستگاه دشت ناز ساری می‌باشد، برابر با ۸۳۶۷ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد، اشاره کرد. نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعه صورت گرفته توسط Ye et al. (2015) که در آن مقادیر گزارش شده نیاز آبی محصول برنج در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب ۸، ۱۷ و ۲۰ درصد نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد، تحقیق صورت گرفته توسط Wang et al. (2018) که در آن نیاز آبی گندم بین ۳/۱ تا ۱۵/۸ درصد افزایش پیدا می‌کند، تحقیق انجام شده توسط Casolani et al. (2020) که نیاز آبی گزارش شده در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب به میزان ۱۹/۶ و ۲۴ درصد در مقایسه با دوره فعلی افزایش می‌یابد، بررسی انجام

محصولات کشاورزی تحت تأثیر تغییر اقلیم، نتایج خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جوی- اقیانوسی باهم مورد مقایسه قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از بخش مطالعات شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران برای امکان دسترسی به داده‌های اولیه تشکر و قدردانی می‌گردد.

مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر روی نیاز آبی در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد. با توجه به این مطلب و مشکلات جدی‌تر کمبود آب در آینده منطقه مورد بررسی، برنامه‌ریزان باید این مساله را برای برنامه‌ریزی تخصیص منابع آبی آینده در نظر داشته باشند و از طریق تغییر سیستم کشت و یا افزایش راندمان آبیاری در راستای تعدیل اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی اقدام نمایند. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند ابزار سودمندی برای مدیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران بخش آب به‌منظور مدیریت صحیح و پایدار منابع آب و در راستای توسعه پایدار کشاورزی باشد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، برای ارزیابی دقیق‌تر میزان تغییرات نیاز آبی

References

- 1- Ali, M.H. and Mubarak, S., 2017. Effective rainfall calculation methods for field crops: An Overview, Analysis and New Formulation. *Asian Research Journal of Agriculture*, 7(1), pp. 1-12.
- 2- Alizadeh, A., 2011. *Soil, Water and Plant Relationship* (12th Ed). Emam Reza University Press, Mashhad, Iran. (In Persian).
- 3- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, Rome, Italy.
- 4- Ansari Ghojghar, M., Pourgholam Amiji, M. and Araghinejad, SH., 2020. Investigating the Relationship between Drought and Trend of the Frequency of Dust Storms in the West and Southwest of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51 (11), pp. 2839-2852. (In Persian). DOI: 10.22059/IJSWR.2020.304439.668648.
- 5- Arefinia, A., Ahmadaali, KH. and Nasiri Maryan, M., 2020. Estimating the Winter Wheat Water Requirement under Climate Change Scenarios in Gorgan Plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51 (7), pp. 1857-1868. (In Persian). DOI: 10.22059/IJSWR.2020.292692.668398.
- 6- Avand, M., Moradi, H. and Ramazanzadeh lasboyee, M., 2021. Using Machine Learning Models, Remote Sensing, and GIS to Investigate the Effects of Changing Climates and Land Uses on Flood Probability. *Journal of Hydrology*, 595, pp. 125663. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125663.
- 7- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A. and Lotfabadi, S., 2010. Association between climate indices, aridity index, and rain fed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research Journal*, 118(2), pp. 105-114. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.04.011.
- 8- Barzegari, F. and Malekinezhad, H., 2017. Investigation of the Effects of Climate Change on Sustainability of Water Need and Water Consumption of Agricultural Section in the Yazd-Ardakan Plain. *Journal of Agroecology*, 10 (4), pp. 1161-1176. (In Persian). DOI: 10.22067/JAG.V10I4.62527.
- 9- Burr, E., 1964. Distribution of the two-sample Cramér-von Mises W_2 and Watson's U_2 . *The Annals of Mathematical Statistics*, 35(3), pp. 1091-1098. DOI: 10.1214/aoms/1177703267.
- 10- Casolani, N., Cartone, A., Postiglione, P. and Liberatore, L., 2020. Climate variability in agriculture and crop water requirement: Spatial analysis of Italian provinces. *Journal of Cleaner Production*, 262, pp. 121331. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121331.
- 11- Chattaraj, S., Chakraborty, D., Sehgal, V.K., Paul, R.K., Singh, S.D., Daripa, A. and Pathak, H., 2014. Predicting the impact of climate change on water requirement of wheat in the semi-arid Indo-Gangetic Plains of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 197, pp. 174-183. DOI: 10.1016/j.agee.2014.07.023.

- 12- Darzi Naftchali, A. and Karandish, F., 2016. Rice Cultivation Management in Mazandaran Province under Climate Change. *Water Research in Agriculture*, 30 (3), pp. 333-346. (In Persian).
- 13- Gkatsopoulos, P., 2017. A Methodology for Calculating Cooling from Vegetation Evapotranspiration for Use in Urban Space Microclimate Simulations. *Procedia Environmental Sciences*, 38, pp. 477 – 484. DOI: 10.1016/j.proenv.2017.03.139.
- 14- Goodarzi, M., Khosravian, J. and Hejazi, A., 2015. Prediction of climatic parameters using Lars-WG model in Gharesu. *Geographic Space*, 15 (51), pp.263-279. (In Persian).
- 15- IPCC., 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cam-bridge, United Kingdom and New York, USA.
- 16- IPCC., 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report. Summary for Policymakers. *Contribution of Working Group I, II and III to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. In: R. Pachauri and L. Meyer (eds). Geneva, Switzerland.
- 17- Irannezhad, E., Mohammadi, H. and Borna, R., 2020. The effect of climate change on the water demand of rice in Mazandaran province. *Natural Geography*, 12 (46), pp. 1-14. (In Persian).
- 18- Jia, K., Yang, Y., Dong, G., Zhang, C. and Lang, T., 2021. Variation and determining factor of winter wheat water requirements under climate change. *Agricultural Water Management*, 254, pp. 106967. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106967.
- 19- Kolmogorov, A., 1933. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari*. 4, pp. 83–91.
- 20- Lall, A., 2015. Data streaming algorithms for the Kolmogorov-Smirnov test. *IEEE International Conference on Big Data*, pp. 95–104. DOI: 10.1109/BigData.2015.7363746.
- 21- Li, Z., Fang, G., Chen, Y., Duan, W. and Mukanov, Y., 2020. Agricultural water demands in Central Asia under 1.5 °C and 2.0 °C global warming. *Agricultural Water Management*, 231, pp. 106020. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106020.
- 22- Mohebi, A.H., 2020. Investigation of Water Requirements of Date Palms in Bam Region Due to Climate Change in Future Periods. *Journal of Water and Sustainable Development*, 7 (3), pp. 83-87. (In Persian).
- 23- Mojarad, F., Ghamarnia, H. and Nasiri, S., 2005. Estimation of effective rainfall and water requirement for rice cultivation in Mazandaran Plain. *Geographical Research Quarterly*, 54, pp. 59-76. (In Persian).
- 24- Monteith, J. L., 1965. Evaporation and environment. *19th Symposia of the Society for Experimental Biology*. 19, pp. 205–234.
- 25- Monteith, J.L. and Unsworth, M.H., 1990. *Principles of environmental physics* (2nd ed). Edward-Arnold Publishers Ltd. New York.
- 26- Nikbakht, J., Mohammadi, K. and Ehteshami, M., 2007. Estimation of Crop Evapotranspiration in Different Probability Levels: Case study in Maragheh, East AzarBaijan. *Journal of Agricultural Sciences*, 13 (1), pp. 95-106. (In Persian).
- 27- Ramezani Etedali, H., Ahmadaali, K., Gorgin, F. and Collins, 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), pp. 765-777. DOI: 10.1002/ird.2362.
- 28- Sadhanala, V., Wang, Y.X., Ramdas A. and Tibshirani, R.J., 2019. *A higher-order kolmogorovsmirnov test*. arXiv preprint arXiv, pp.1903.10083.

- 29- Semenov, M.A. and Barrow, E.M., 2002. *LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. User's manual, Version 3.0*. Rothamsted Research Station.
- 30- Sheidaeian, M., Ziatabar Ahmadi, M.Kh. and Fazloulou, R., 2015. Study on Climate Change Effect on Net Irrigation Requirement and Yield for Rice Crop (Case Study: Tajan Plain). *Water and Soil*, 28 (6), pp. 1284-1297. (In Persian).
- 31- Smirnov, N., 1948. Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *Annals of Mathematical Statistics*, 19(2), pp. 279–281.
- 32- Utset, A., Velicia, H., Delrio, B., Morillo, R., Centenio, J. A. and Martinez, J. C., 2007. Calibrating and validating an agrohydrological model to simulate sugar beet water use under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 94(3), pp. 11-21. DOI: 10.1016/j.agwat.2007.07.007.
- 33- Vila-Traver, J., Gonzalez de Molina, M., Infante-Amate, J. and Aguilera, E., 2022. Disentangling the effect of climate and cropland changes on the water performance of agroecosystems (Spain, 1922–2016). *Journal of Cleaner Production*, 344, pp. 130811. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130811.
- 34- Wang, J., 2010. Food security, food prices and climate change in China: A dynamic panel data analysis. *Journal of Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 1, pp. 321-324.
- 35- Wang, J., Liu, X., Cheng, K., Zhang, X., Li, L. and Pan, G., 2018. Winter wheat water requirement and utilization efficiency under simulated climate change conditions: A Penman-Monteith model evaluation. *Agricultural Water Management*, 197, pp. 100–109. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.11.015.
- 36- Wilks, D.S., 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences* (2nd ed). Academic Press. Elsevier Inc. U. S. A, pp. 627.
- 37- Xiao, Y., Gordon, A. and Yakovlev, A., 2007. A C++ program for the Cramér-von Mises two-sample test. *Journal of Statistical Software*, 17(8), pp. 1-15. DOI: 10.18637/jss.v017.i08.
- 38- Ye, Q., Yang, X., Dai, S., Chen, G., Li, Y. and Zhang, C., 2015. Effects of climate change on suitable rice cropping areas, cropping systems and crop water requirements in southern China. *Agricultural Water Management*, 159, pp. 35–44. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.05.022.

EXTENDED ABSTRACT

Modeling and investigation of annual Nitrate pollution trend of Tajan River with QUAL2Kw and HEC-RAS

M. Radfar^{1*} and F. Alipour Nasirmahale²

1 - Corresponding Author, Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (radfar@sku.ac.ir)*

2- PhD Student of Water Resources Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 06 March 2023

Revised: 28 July 2023

Accepted: 31 July 2023

Keywords:

Nitrate pollution, Water Quality

Modeling, Water Quality

Management, Nitrification.

TO CITE THIS ARTICLE :

Radfar, M., Alipour Nasirmahale, F. (2024). 'Modeling and Investigation of Annual Nitrate Pollution Trend of Tajan River with QUAL2Kw and HEC-RAS', Irrigation Sciences and Engineering, 47(2), pp. -. doi: 10.22055/jise.2023.43193.2060

Introduction

Water pollution, is considered one of the most important challenges of human societies, has increased in importance day by day due to the limitation of fresh water resources in the world. The expansion of urbanization, the development of industries, and the expansion of agriculture, especially inorganic cultivation, are important factors that cause pollution in water sources, and the increase of these factors has caused changes in the quality of river water (Enrique et al., 2007). These changes have become a serious threat to humans and natural ecosystems in recent decades, and therefore the investigation of water quality changes has become one of the most important subjects in studies (Faryadi et al. 2012) and researches. Due to the direct impact on the existing ecosystem in the water area and its surrounding environment, the investigation of river water quality is a sensitive and vital issue that depends on the knowledge of the changes in water quality along with the identification of the main factors of its pollution (Tahmasebi et al. 2011). Over the years, modeling has been considered as a useful tool for optimizing water quality, which is used to check the appropriateness of pollution control policies (Bui et al., 2019) and this issue has progressed in such a way that today water quality models they are increasingly used to obtain valuable and effective information for optimal water quality management (Fan et al., 2009).

Study area

Tajan River is one of the most important rivers of Mazandaran province, which originates from the Alborz mountain and flows from the southwest to the northeast direction and finally reaches to the Caspian Sea (Figure 1).

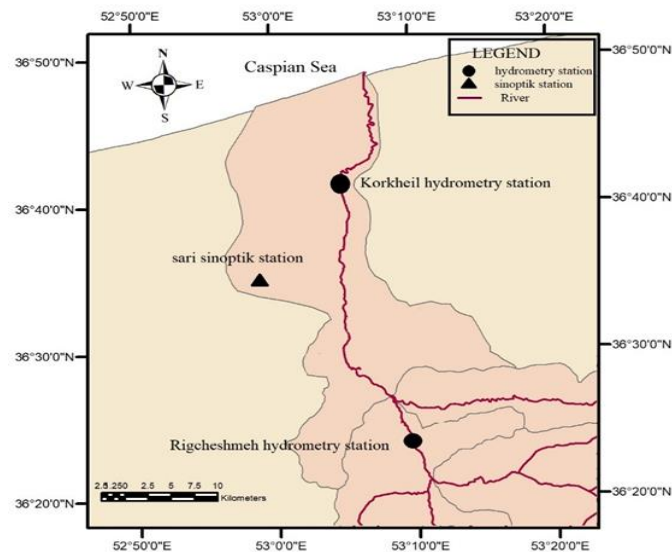


Fig. 1- Research area and location of the hydrometry stations and the sari synoptic station

Methodology

In this research the water quality of Tajan River was evaluated in term of nitrate along with about 50 km from the upstream (Rigcheshmeh hydrometry station) to the Kordkheyl hydrometry station in the down stream. Quantitative and qualitative data of the flow path were collected from the Regional council of Water management of Mazandaran and the General Department of Environmental Protection of Mazandaran. Required meteorological data for qualitative modeling were also obtained from Sari synoptic station. The statistical summary of quantitative and qualitative data of hydrometry stations is presented in table (1). The maps of the geometric sections of the Tajan River (prepared by the Mazandaran Regional Water Company and with a scale of 1:2000) were transferred to the Arc-GIS 10.8 software and according to the latitudinal conditions, the changes in the river slope and the vegetation cover of the area were divided into 14 intervals and were transferred to the HEC-RAS software using the HEC-GeoRAS.

The HEC-RAS model was calibrated under steady state condition and according to the information of hydrometry stations the optimal value of Manning's coefficient of flow path in Tajan river was determined and the model was validated in the period of 2017-2018. Then, the final model is extracted in the fourteen executed intervals in order to evaluate the hydrodynamic characteristics of the river including the depth and flow speed in each of 14 intervals. Then the Leopold and Maddock (1953) equations (equation 1 and 2) are fitted to the found out characteristics along with Tajan river and the equations coefficients are determined for the qualitative modeling of water flow in the QUAL2Kw model.

$$U = aQ^b \quad (1)$$

$$H = cQ^d \quad (2)$$

Table 1- Average quantitative and qualitative parameters of hydrometry stations

STATION	Mean Daily Discharge (m ³ /s)	Mean Density of Nitrate (mg/lit)
Rigcheshmeh	9.2	5.1
Korkheil	3.8	5.5

Findings

The graph of the qualitative values measured and simulated by the Kval model in the calibration phase (cultivation season), is shown in Figure (2) and the validation phase (non-

cultivation season) in Figure (3). In these graphs, measured data with square points and simulated results are displayed by a continuous graph, which shows the desired calibration and validation of the model. The results of the statistical comparison of the output values of the QUAL2Kw model and the corresponding measured data are also presented in Table (2). As can be seen, the values of NRMSE and (R^2) show a good agreement between the observed data and the simulated model and also indicate an acceptable degree of accuracy and ability of the qualitative model.

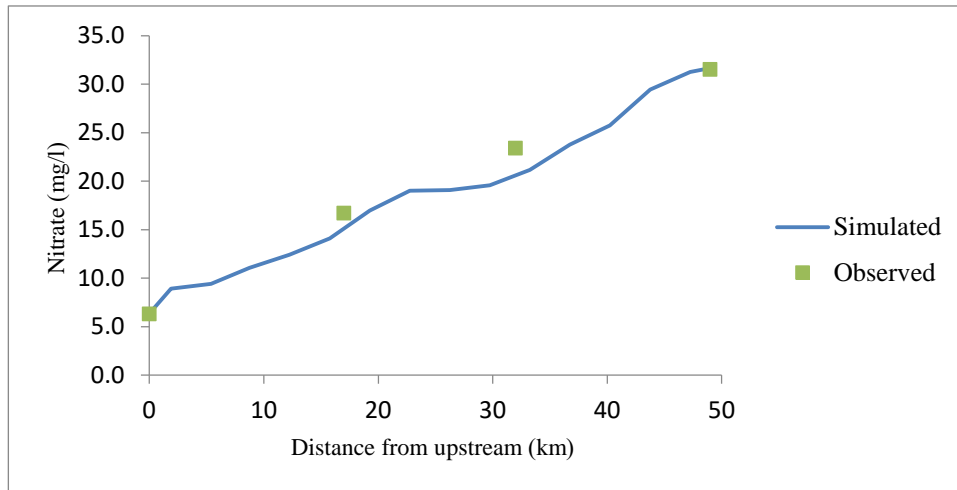


Fig. 2- Nitrate calibrated model results and corresponding measured values in flow path during cultivation season.

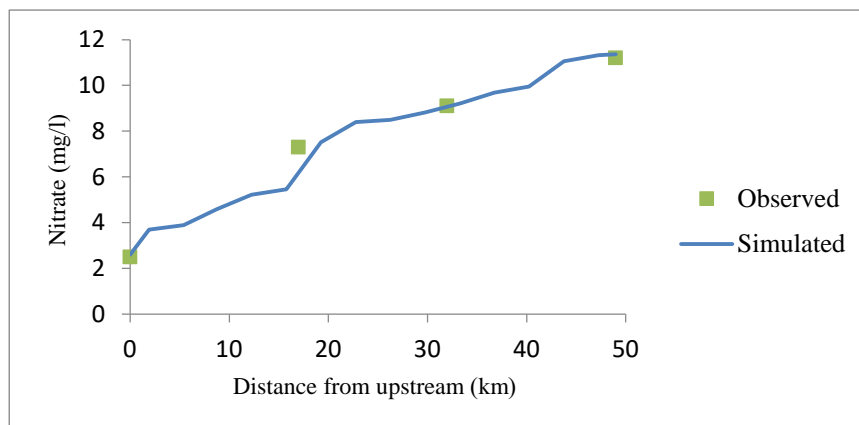


Fig. 3- Nitrate calibrated model results and corresponding measured values in flow path during non-cultivation season.

Table 2- Accuracy indices of QUAL2Kw model during calibration and verification

Factor	NRMSE	R^2
Calibration (Agricultural season)	0.11	0.971
Verification (Non-agricultural season)	0.053	0.970

Conclusion

1- Combining the output of the HEC-RAS hydraulic model with the QUAL2Kw model leads to favorable results in the qualitative analysis of the river.

2- Investigating the quality condition of Tajan River showed that in the cultivation season, the nitrate concentration has increased about 2.8 times more than non-cultivation season, which is caused by non-point polluting sources.

3- The concentration of nitrate in the river during the growing season in the mouth of the Caspian sea tends to 50 mg/liter, which is higher than the permissible level for drinking water and aquatic life's. Therefore determining a framework to reduce the nitrate load entering to Tajan

river, focusing on non-point sources of pollution, are necessary in the water ecosystem management policies of Tajan River.

Acknowledgements

We are thankful from Regional Water Company and Environmental Protection Department of Mazandaran for providing essential data for this article.

References

- 1- Bui, H.H., Ha, N.H., Nguyen, T.N.D., Nguyen, A.T., Pham, T.T.H., Kandasamy, J. and Nguyen, T.V., 2019. Integration of SWAT and QUAL2K for water quality modeling in a data scarce basin of Cau River basin in Vietnam. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 19(2), pp.210-223. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2019.03.005.
- 2- Enrique, S., Manuel, F., Colmenarejo, J.A., Angel, R.G., Garcı, L.T., and Borja, R., 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Journal of Ecological Indicators*. 7(2), pp315-328. DOI: 10.1016/j.ecolind.2006.02.005.
- 3- Fan, C., Ko, C. H., and Wang, W. S., 2009. An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. *Journal of environmental management*. 90(5), pp. 1824-1832. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.11.011.
- 4- Faryadi S., Shahedi K., and Nabatpoor M., 2012. Investigation of Water Quality Parameters in Tadjan River Using Multivariate Statistical Techniques. *journal of watershed management research*. Vol 3. No 6. pp. 75-92(In Persian).
- 5- Tahmasebi, S., Afkhami, M., and Takdastan, A., 2011. Study of Chemical, Physical and Microbial Quality of Gargar River, Sw, Iran, Using Nsf Water Quality Index. *jundishapur journal of health sciences*. pp. 55- 64 (In Persian).
- 6- Leopold, L. B., and Maddock, T., 1953. *The hydraulic geometry channels and some physiographic implications, geological survey professionals*. Washington, DC.



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



مدل سازی و بررسی روند آلودگی سالیانه نیترات رودخانه تجن با QUAL2Kw و HEC-RAS

مهدی رادفر^{۱*} و فرشاد علی پور نصیر محله^۲

^۱- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد radfar@sku.ac.ir

^۲- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

چکیده

ارزیابی مداوم آلودگی آب موضوعی مهم و حیاتی در مدیریت بهینه پهنه‌های آبی است. در این تحقیق به بررسی روند آلودگی نیترات در طول حدود ۵۰ کیلومتری از رودخانه تجن، حد فاصل بین ایستگاه هیدرومتری ریگ چشمه در بالادست و ایستگاه کردخیل در پایین دست در طی سال ۱۳۹۷ پرداخته شد. برای تحقق این امر ابتدا شرایط هیدرولیکی حاکم بر جریان با استفاده از مدل HEC-RAS تعیین و وارد مدل QUAL2Kw شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، تغییرات زمانی- مکانی آلاینده نیترات در مسیر رودخانه بررسی گردید. نتایج نشان دهنده بیشتر بودن بار ورودی از منابع آلاینده غیرنقطه‌ای و در فصل کشت به رودخانه بود که سبب بیشتر شدن بار نیترات از حداکثر مجاز می‌گردد. روند افزایش غلظت نیترات در طول مسیر ۵۰ کیلومتری در فصل غیرکشت حدود ۱۹ درصد است و حال آنکه به دلیل مصرف بی‌رویه کود در فصل کشت این رقم با افزایش حدود ۲/۸ برابری به حدود ۵۰ درصد می‌رسد. غلظت نیترات در فصل کشت، در بخش انتهایی و ادامه مسیر جریان به حدود ۴۷ میلی‌گرم بر لیتر رسیده که نزدیک به میزان مجاز ۵۰ mg/lit برای کاربری شرب و بسیار بیشتر از ۳۰ mg/lit برای کاربری کشاورزی بوده که برداشت آب برای کاربری‌های مربوطه را با محدودیت مواجه می‌نماید. از طرفی مناطق پایین دست رودخانه که محل تخم‌ریزی ماهیان بوده با روند افزایش نیترات منجر به تغذیه‌گرایی و کاهش جمعیت آبزیان خواهد شد. لذا تعیین چارچوبی برای کاهش و کنترل بار نیترات، با تمرکز بر منابع آلاینده غیرنقطه‌ای در سیاست‌های مدیریتی اکوسیستم آبی رودخانه تجن ضروری است.

کلید واژه‌ها: آلودگی نیتراتی، مدل سازی کیفیت آب، مدیریت کیفی آب، نیتریفیکاسیون.

مقدمه

آلودگی (Pollution) آب یکی از مهمترین چالش‌های جوامع بشری به‌شمار می‌رود که با توجه به محدودیت در منابع آب شیرین جهان روز به روز بر اهمیت موضوع افزوده شده است. گسترش شهرنشینی، توسعه صنایع و گسترش کشاورزی به‌ویژه کشت غیرآرگانیک (Inorganic) از عوامل مهم ایجاد آلودگی در منابع آبی می‌باشد، که افزایش این عوامل سبب تغییر در کیفیت آب رودخانه‌ها شده است (Enrique et al., 2007). این تغییرات به گونه‌ای بوده که در دهه‌های اخیر به تهدیدی جدی برای انسان و اکوسیستم‌های طبیعی تبدیل و لذا بررسی تغییرات کیفیت آب به یکی از موضوعات مهم در مطالعه‌ها بدل شده است (Faryadi et al., 2012). به دلیل تأثیر مستقیم بر اکوسیستم موجود در پهنه آبی و نیز محیط اطراف آن بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها موضوعی حساس و حیاتی است که در گروهی آگاهی از روند تغییرات کیفیت آب همراه با شناسایی عوامل اصلی آلودگی آن قرار دارد (Tahmasebi et al., 2011).

در طول سال‌ها، مدل‌سازی به‌عنوان ابزاری مفید برای بهینه‌سازی کیفیت آب در نظر گرفته شده است که از آن برای بررسی مناسب بودن سیاست‌های کنترل آلودگی بهره می‌برند (Bui et al., 2019). این موضوع به نحوی پیش رفته که امروزه

مدل‌های کیفیت آب به‌طور فزاینده‌ای برای کسب اطلاعاتی ارزشمند و کارا در جهت مدیریت بهینه کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرند (Fan et al., 2009).

مدل QUAL2Kw از ابزارهای مفید برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه است که به‌علت انعطاف پذیری، سهولت استفاده و دسترسی آزاد بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ye et al., 2013). مدل QUAL2Kw مدلی یک بعدی است که متغیرهای کیفی آب را در حالت جریان پایدار و جریان غیریکنواخت مدل می‌کند (Hossieni et al., 2016). تا کنون مطالعه‌های بسیاری در زمینه کیفیت آب با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام گرفته است. Torabi Maybodi (2011) در تحقیقی با استفاده از مدل QUAL2K روی کیفیت آب زیرحوضه قره‌سو رودخانه کرخه مشخص نمود که مدل به خوبی کاهش اکسیژن محلول در پایین دست، به علت ورود فاضلاب‌های خانگی و نیز آلودگی سطحی ناشی از سفر و نیتروژن ورودی از اراضی کشاورزی و مراتع را شبیه سازی تحلیل می‌نماید. Shokri et al. (2015) برای شبیه‌سازی آمونیوم و نیترات در رودخانه گرگر مدل QUAL2Kw را به‌کار برده و از مدل HEC-RAS برای برآورد خصوصیات هیدرولیکی جریان بهره گرفتند. نتایج آن‌ها نشان از توانایی خوب مدل

کردند. نتایج نشان داد که اکسیژن رسانی موضعی در بالا بردن سطح اکسیژن محلول مؤثر است. همچنین ترکیبی از اصلاح فاضلاب، افزایش جریان و اکسیژن رسانی موضعی می تواند برای اطمینان از برآورده شدن الزامات حداقل غلظت DO استفاده شود. ظرفیت حمل بار رودخانه جینگ-می کریک در کشور تایوان با استفاده از ترکیب مدل های HEC-RAS و QUAL2K توسط Fan et al. (2021) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده برای تعیین حداکثر بار روزانه (TMDL) به منظور مدیریت کیفیت آب، با در نظر گرفتن سه چشم انداز بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت و دو سناریو کاهش فردی و گروهی آلاینده استفاده شد. در این تحقیق ظرفیت حمل بار آلودگی کمی سازی شد و یک سیستم TMDL بر اساس معیارهای کیفیت آب مربوطه با استفاده از مدل سازی کیفیت آب ایجاد گردید. نتایج نشان داد که سناریو کاهش گروهی، عملکرد بهتری برای کنترل آلودگی از خود نشان می دهد و طی آن کاهش آلودگی در فاضلاب های با دبی بیشتر منجر به بهبود کیفیت آب رودخانه می شود.

نیتراژ از مهمترین آلاینده های ورودی به رودخانه ها به ویژه در مناطقی است که رودخانه از میان مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی می گذرد. غلظت های بالای نیتراژ می تواند موجب سرطان معده، بیماری متهموگلوبینمی در نوزادان، عفونت در دستگاه تنفس و حتی سقط جنین در انسان و دام گردد (Ahmadpari and Hashemi Garmdareh, 2019). در این تحقیق از مدل های QUAL2Kw و HEC-RAS برای مدل سازی آلودگی ناشی از ورود نیتراژ به رودخانه تجن که از رودخانه های مهم استان مازندران بوده و بیشتر اراضی اطراف آن به زمین های کشاورزی تبدیل شده و از حاشیه شهر ساری (مرکز استان) نیز می گذرد، پرداخته شده است.

منطقه مورد مطالعه

رودخانه تجن از مهمترین رودخانه های استان مازندران می باشد که از ارتفاعات رشته کوه البرز سرچشمه گرفته و در جهت جنوب غربی به شمال شرقی جریان و در نهایت به دریای مازندران می ریزد (شکل ۱). در طول مسیر این رودخانه بخش زیادی از اراضی محدوده کیفی، به زمین های کشاورزی تبدیل شده و زیر کشت برنج (در بالادست رودخانه)، باغ مرکبات و سیاه ریشه ها (در پایین دست رودخانه) قرار گرفته است. کشت غیرارگانیک و آبیاری به روش های سنتی عاملی است تا رودخانه تجن متأثر از آلاینده های غیرنقطه ای (Nonpoint source pollution) فراوان منتج از این اراضی باشد. از مهمترین آلاینده های خروجی از اراضی کشاورزی نیتروژن است که به صورت کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته و مشکلات و مخاطرات زیست محیطی فراوانی را باعث می گردد. علاوه بر اراضی کشاورزی، عبور رودخانه تجن از حاشیه شرقی شهر ساری

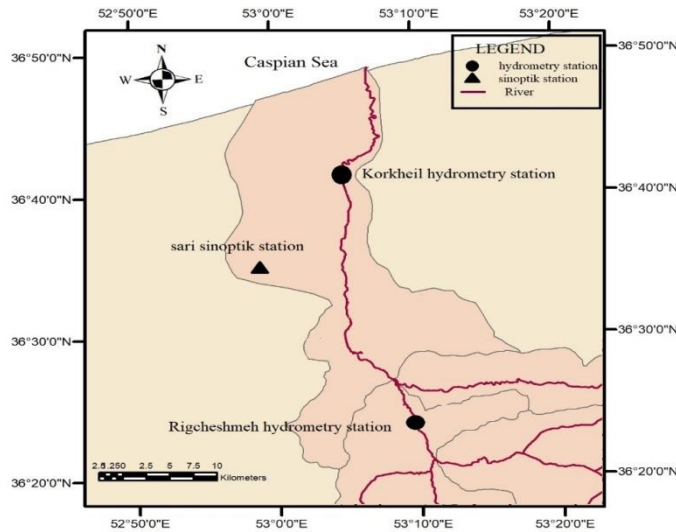
برای شبیه سازی کیفی رودخانه داشت. ایشان منابع و مراکز آلوده کننده رودخانه گرگر را فاضلاب های روستاهای مسیر، پساب ها و فاضلاب های مراکز پرورش ماهی و نیز زهکش های کشاورزی برشمردند.

Aryaee Nezhad et al. (2019) دقت مدل QUAL2Kw را برای شبیه سازی پارامترهای کیفیت آب رودخانه شاهرود مناسب توصیف نموده و بیان داشتند که مدل سازی هیدرولیکی دقیق از تغییرات پارامترهای هیدرولیکی رودخانه و جریان در طول رودخانه تأثیر زیادی در مدل سازی کیفی آب رودخانه دارد. Farkhani (2021) از مدل QUAL2K برای شبیه سازی کیفی رودخانه هراز بهره برده و توانایی مدل را در این امر مطلوب دانست. ایشان با ذکر خاصیت کلی قلیائیت آب رودخانه هراز به افزایش مقادیر غلظت نیتراژ بعد از بند انحرافی آمل اشاره نموده اما عنوان داشت که مقدار افزایش قابل توجه نمی باشد.

Fan et al. (2009) مدل QUAL2K را با مدل HEC-RAS برای ارزیابی کیفی آب رودخانه جزر و مدی (Tidal river) کیلونگ در شمال تایوان ترکیب کردند. ایشان در این تحقیق از مدل HEC-RAS برای تخمین ثابت های هیدرولیکی و تغییرات سطح آب برای محاسبه ثابت هوادهی و تغییرات غلظت در نتیجه اثر جزر و مدی بهره بردند. نتایج این تحقیق نشان داد که شبیه سازی های QUAL2K به کمک HEC-RAS با در نظر گرفتن اثر جزر و مد، سبب تطابق بالاتر شاخص های کیفی آب تولیدی با داده های پایش رودخانه می گردد. Rocha et al. (2015) رودخانه های سبالوس و سالیسیودس در آرژانتین را که تحت تأثیر ناحیه شهری سیراشیکا دچار مشکلات کیفی گردیده اند، با استفاده از مدل QUAL2Kw مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق غلظت بالایی از سولفات ها، کلریدها، سدیم، نیتراژ، فسفر، کلیفرم و باکتری های مدفوعی شناسایی شد. ایشان عنوان داشتند که استفاده از نرم افزار QUAL2Kw امکان تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی پارامترهای فیزیوشیمیایی و نیز مدل سازی و تعیین میزان تأثیر انسان بر کیفیت آب را فراهم می آورد که این موضوع پتانسیل مدل سازی ژئوشیمیایی برای مدیریت یکپارچه منابع آب را برجسته می کند.

Setiawan et al. (2017) شرایط کیفی منابع آلوده کننده و ظرفیت بار قابل حمل رودخانه بادونگ در اندونزی را که به محلی برای تخلیه فاضلاب تمامی فعالیت های حاشیه رودخانه شده است، مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق در سه بخش و چهار سناریو برای تعیین میزان بار مجاز آلاینده در طول رودخانه انجام و سطوح کاهش آلاینده محاسبه و تخصیص های لازم برای رعایت استانداردهای کیفی آب مورد تایید، ثبت شد.

Ranjith (2019) در رودخانه تانگابادرا هند تأثیر سه سناریو: افزایش جریان، اکسیژن رسانی موضعی و مدیریت بار آلودگی در مبدا را بر غلظت DO با مدل QUAL2Kw بررسی



و چندین روستا در مسیر این رودخانه باعث شده تا منابع آلاینده این مناطق نیز بر کیفیت آب رودخانه تأثیر سوء بگذارند.

Fig. 1- Research area and location of hydrometry stations and sari sinoptik station

شکل ۱- محدوده مورد تحقیق و محل ایستگاه‌های هیدرومتری و ایستگاه سینوپتیک ساری

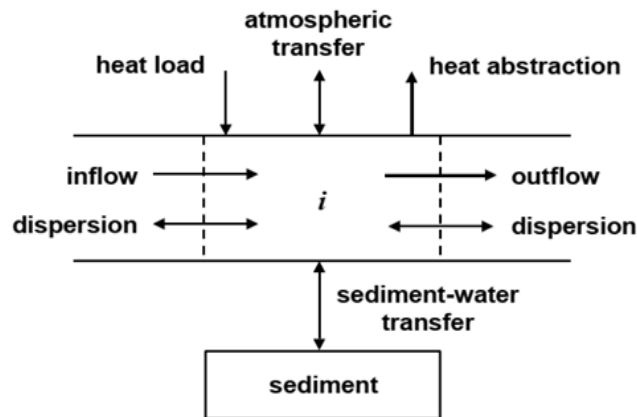


Fig. 2- Heat balance (Pellerire and Chapra, 2008)

شکل ۲- موازنه دما (Pellerire and Chapra, 2008)

مدل‌سازی

مدل‌سازی دما

در مدل QUAL2Kw موازنه دما از طریق انتقال از بازه‌های مجاور، ناخالصی‌ها، جریان‌های خروجی و ورودی، هوا و رسوبات انجام می‌گیرد (Nikakhtar et al., 2020). تحقیقات نشان داده‌است که افزایش دما باعث افزایش غلظت پارامتر نیترات در آب می‌گردد (Gholipour and Alamatian, 2015). از این رو معادله‌های موازنه دما از بخش‌های مهم مدل QUAL2Kw در بررسی این پارامتر می‌باشد. براساس شکل (۲) برای یک بازه در مدل، موازنه دما با معادله (۱) ارائه می‌گردد:

برای مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه تجن از مدل QUAL2Kw نسخه ۵/۱ استفاده شد. این نسخه دارای قابلیت کالیبراسیون خودکار با الگوریتم ژنتیک بوده که می‌تواند مناسب‌ترین ترکیب برای ضرایب و نرخ‌های سینتیک و بیولوژیک را به نحوی بیابد که معیارهای ارزیابی بهترین نتایج را ارائه دهند (Pellerire and Chapra, 2008). این مدل رودخانه را به بازه‌هایی تقسیم‌بندی می‌کند که در هر یک از آن‌ها شرایط هیدرولیکی مانند شیب طولی، عرض کف، شیب دیواره‌ها و... یکسان فرض شده و منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در هر بخش از طول مسیر به رودخانه وارد یا از آن خارج گردند (Chapra et al., 2008).

$$\frac{E_{i-1}}{V_i} (C_{i-1} - C_i) + \frac{E_i}{V_i} (C_{i+1} - C_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (۲)$$

که در آن: Q_i : میزان جریان در المان i ($\frac{m^3}{day}$), V_i : حجم المان i (m^3), W_i : بارهای خارجی وارد بر المان i ($\frac{mg}{day}$), S_i : منابع و مصارف ناشی از انتقال جرم ($\frac{mg}{m^3/day}$), E : ضریب پخش طولی بین المان i و $i+1$ ($\frac{L}{day}$), C_i : غلظت در المان i ($\frac{mg}{l}$) و $Q_{out,i}$ میزان دبی خروجی از المان i (m^3/day) می باشد (Fan et al., 2021). میزان دبی جرمی ورودی به سیستم از معادله (۳) محاسبه می گردد:

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} c_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i} c_{npsi,j} \quad (۳)$$

که در آن $Q_{ps,i,j}$: دبی ژ امین منبع آلاینده نقطه‌ای در بازه i ام ($\frac{m^3}{day}$), $Q_{nps,i}$: دبی ژ امین منبع آلاینده غیرنقطه‌ای در بازه i ام ($\frac{m^3}{day}$), $c_{psi,j}$: غلظت آلاینده نقطه‌ای ز ام در بازه i ام ($\frac{mg}{l}$) و $c_{npsi,j}$: غلظت آلاینده غیرنقطه‌ای ز ام در بازه i ام ($\frac{mg}{l}$) می باشد (Pellerire and Chapra, 2008). مکانیزم این فرآیند به صورت شماتیک در شکل (۳) نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} \frac{dT_i}{dt} = & \frac{Q_{i-1}}{V_i} T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} T_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i} (T_{i+1} - T_i) + \frac{W_{h,i}}{\rho_w c_{pw} V_i} \left(\frac{m^3}{10^6 cm^3} \right) + \\ & \frac{J_{h,i}}{\rho_w c_{pw} H_i} \left(\frac{m}{100 cm} \right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w c_{pw} H_i} \left(\frac{m}{100 cm} \right) \end{aligned} \quad (۱)$$

که در آن: T_i : دما در بازه i ($^{\circ}C$), t : زمان برحسب روز, E'_i : ضریب پراکندگی توده در بازه‌های i و $i+1$ ($\frac{m^3}{day}$), $W_{h,i}$: دمای خالص انتقالی از منابع آلاینده و غیر آلاینده به بازه i ($\frac{cal}{day}$), ρ_w : چگالی آب ($\frac{g}{cm^3}$), c_{pw} : دمای ویژه آب ($\frac{cal}{g}$), $J_{h,i}$: شار حرارتی آب- هوا ($\frac{cal}{cm^2}$), $J_{s,i}$: شار حرارتی آب- رسوب ($\frac{cal}{cm^2}$) می باشد (Pellerire and Chapra, 2008).

موازنه جرم

مدل QUAL2Kw معادله توازن جرمی برای غلظت جزء C_i در هر المان i نسبت به زمان را به صورت معادله (۲) ارائه می کند:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} C_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} C_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} C_i +$$

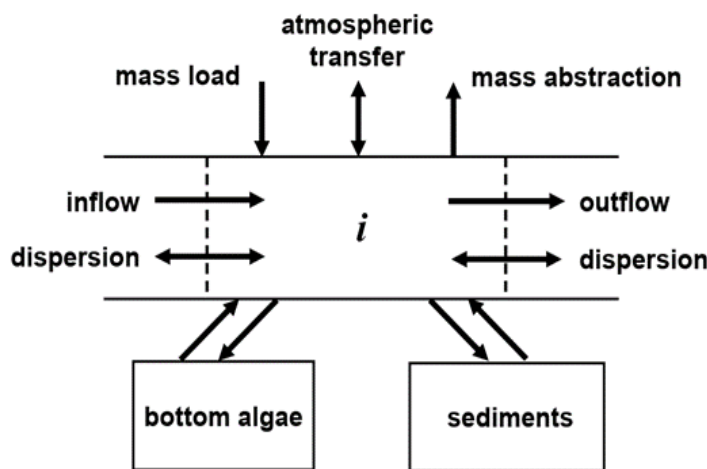


Fig. 3- Mass-balance in segment I (Pellerire and Chapra, 2008)
شکل ۳- موازنه جرم در بازه i ام (Pellerire and Chapra, 2008)

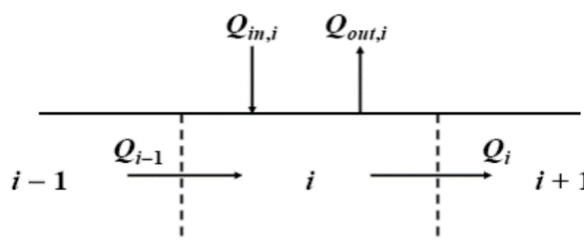


Fig. 4- Equality of surface flow for each element in QUAL2Kw (Chapra et al., 2008)
شکل ۴- موازنه جریان سطحی برای هر المان در مدل QUAL2Kw (Chapra et al., 2008)

موازنه جریان

طبق شکل (۴) جریان در رودخانه تحت شرایط پایدار در مدل به صورت معادله (۴) ارائه می‌گردد:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad (4)$$

که در این معادله: Q_i : میزان جریان خروجی از المان i ($\frac{m^3}{day}$) ، Q_{i-1} : میزان جریان خروجی از المان $i-1$ ($\frac{m^3}{day}$) و $Q_{in,i}$: کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به المان i ($\frac{m^3}{day}$) و $Q_{out,i}$: کل جریان خروجی به صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای از المان i ($\frac{m^3}{day}$) می‌باشد (Chapra et al., 2008).

برای محاسبه کیفیت آب در مدل QUAL2Kw نیاز به تعیین خصوصیات هیدرولیکی حاکم بر جریان رودخانه است. این پارامترها با استفاده از معادله‌های (۵) و (۶) (Leopold and Maddock, 1953) قابل محاسبه هستند:

$$U = aQ^b \quad (5)$$

$$H = cQ^d \quad (6)$$

که در این معادله‌ها: U و H به ترتیب سرعت (m/s) و عمق جریان (m)، Q دبی جریان ($\frac{m^3}{s}$) و a ، b ، c و d ضرایب ثابت می‌باشند. این ضرایب را به یکی از سه روش زیر می‌توان به دست آورد: (۱) مطالعه‌های انجام گرفته؛ (۲) محاسبه معادله‌های مانینگ و (۳) محاسبه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS (Fan et al., 2021). در این پژوهش روش (۳) به شرح ذیل به کار گرفته شد.

تعیین خصوصیات هیدرولیک جریان

نرم‌افزار HEC-RAS توسط بخش تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژی گروه مهندسی ارتش آمریکا ارائه گردیده است. این نرم‌افزار شبیه‌سازی جریان درحالت‌های ماندگار و غیرماندگار و نیز محاسبات هیدرولیکی جریان را برای سیستم کامل رودخانه‌های طبیعی و کانال‌های انسان‌ساز انجام می‌دهد (Brunner, 2008; USACE, 2016). در HEC-RAS فرایند اصلی محاسبات بر روش حل معادله انرژی استوار است که از یک مقطع به مقطع دیگر با استفاده از روش گام به گام و طبق معادله (۷) محاسبه می‌شود:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (7)$$

که در آن: Y : عمق جریان (m)، Z : ارتفاع آب در رودخانه (m)، V : سرعت متوسط جریان ($\frac{m}{s}$)، α : ضریب وزنی

سرعت، h_e : افت انرژی (m) و g : شتاب گرانشی ($\frac{m}{s^2}$) در مقاطع یک و دو می‌باشند (Fan et al., 2009). افت انرژی (h_e) بین دو مقطع شامل افت اصطکاکی و افت ناشی از انبساط و انقباض می‌باشد که براساس معادله (۸) محاسبه می‌گردد:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (8)$$

که در این معادله: L طول بازه (m)، \bar{S}_f شیب اصطکاک بین دو مقطع، C ضریب انقباض و انبساط در مقاطع می‌باشند. لازمه تعیین ضریب انتقال کل و ضریب سرعت برای هر مقطع، تقسیم مقطع به قطعات کوچکتر است به نحوی که بتوان توزیع سرعت را یکنواخت فرض کرد. در اینصورت ضریب انتقال برای هر زیر مقطع از رابطه مانینگ به صورت معادله‌های (۹) و (۱۰) برآورد می‌شود:

$$Q = KS^{1/2} \quad (9)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (10)$$

که در این معادله‌ها: K : ضریب انتقال برای هر زیر مقطع، n : ضریب زبری مانینگ برای هر زیر مقطع، A : مساحت زیر مقطع و R : شعاع هیدرولیکی می‌باشد (USACE, 2016).

کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل‌های HEC-RAS و QUAL2Kw

واسنجی مدل به معنای تنظیم پارامترهای مدل در یک دوره آزمایشی- آموزشی به صورت دستی و یا خودکار است (Gupta et al., 2014) تا خروجی‌های مدل تا حد ممکن با داده‌های اندازه‌گیری شده موجود تطابق پیدا کنند (Arsenault et al., 2018). به عبارت دیگر هدف از کالیبراسیون حداقل کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی و مشاهده شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی از دو شاخص خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) یا ضریب تعیین (R^2) استفاده می‌شود که با معادله‌های (۱۱) و (۱۲) محاسبه می‌گردند. NRMSE حالت نرمال شده RMSE است و همانند دیگر معیارهای خطا، کوچکی آن نشانگر آن است که مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر واقعی نزدیک‌تر می‌باشد (Khodaparast et al., 2016). R^2 نیز ضریب تعیین است که مقدار آن بین صفر تا یک بوده و درجه اطمینان به پیش‌بینی مدل را مشخص می‌کند (Abbasi, 2017).

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{oi} - Y_{pi})^2}}{\bar{Y}_o} \quad (11)$$

محیط زیست مازندران گردآوری شدند. با بررسی‌های میدانی و بهره‌گیری از نقشه کاربری اراضی، میزان زمین‌های تحت هر کاربری در محدوده مورد مطالعه تعیین و با استفاده از ضرایب راهبردی برآورد بار آلاینده هر یک از کاربری‌ها (Jamshidi and Niksookhan, 2015). میزان آلاینده‌های غیرنقطه‌ای در مسیر جریان برآورد گردید. خلاصه آماری داده‌های کمی و کیفی ایستگاه‌های هیدرومتری در جدول (۱) ارائه شده است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز در مدل‌سازی کیفی نیز از ایستگاه سینوپتیک ساری اخذ گردید. مشخصات این ایستگاه و متوسط پارامترهای هواشناسی آن در جدول (۲) آورده شده است. نقشه‌های مقاطع هندسی رودخانه تجن (تهیه شده توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران و با مقیاس ۱:۲۰۰۰) به محیط Arc-GIS 10.8 منتقل و با توجه به شرایط عرضی، تغییرات شیب رودخانه و پوشش گیاهی منطقه به ۱۴ بازه طبق شکل (۵) تقسیم و با استفاده از HEC-GeoRAS به محیط HEC-RAS انتقال یافتند. مدل HEC-RAS تحت شرایط جریان ماندگار و به ازای اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری کالیبره و مقدار ضریب مانینگ بهینه مشخص و مدل در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۷ صحت‌سنجی گردید. سپس مدل نهایی در بازه‌های چهارده گانه اجرا و مقادیر عمق و سرعت جریان در هر یک از آنها استخراج و معادله‌های (۵) و (۶) بر آن‌ها برازش و ضرایب a, b, c و d تعیین و برای مدل‌سازی کیفی جریان آب در مدل QUAL2Kw مورد استفاده قرار گرفت.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - \bar{Y}_o)(Y_{pi} - \bar{Y}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - \bar{Y}_o)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{pi} - \bar{Y}_p)^2}} \right]^2 \quad (12)$$

که در این معادله‌ها: Y_{oi} : مقادیر مشاهداتی Y_{pi} : مقادیر مدل شده \bar{Y}_o : میانگین مقادیر مشاهداتی، \bar{Y}_p : میانگین مقادیر مدل می‌باشند.

روش تحقیق

برای استفاده از مدل QUAL2Kw برای شبیه‌سازی رودخانه نیاز به داده‌های اولیه مورد نیاز مدل می‌باشد. این داده‌ها به‌طور کلی شامل: داده‌های هندسی رودخانه، داده‌های هیدرولیکی، داده‌های هواشناسی، داده‌های کیفیت آب رودخانه، ضرایب سینتیکی مورد استفاده در معادله‌های مدل و داده‌های کمی و کیفی منابع ورودی به رودخانه می‌باشند (Shokri et al., 2015).

در این تحقیق کیفیت آب رودخانه تجن طبق شکل (۱) در بازه تقریبی ۵۰ کیلومتری از ایستگاه هیدرومتری ریگ‌چشمه در بالادست تا ایستگاه هیدرومتری کردخیل در پایین‌دست از نظر نترات مورد ارزیابی قرار گرفت. در کیلومترهای ابتدایی مسیر، شاخه فرعی گرم‌رود به رودخانه تجن می‌پیوندد که به‌عنوان ورودی منبع آلاینده نقطه‌ای در نظر گرفته شد. دیگر منابع نقطه‌ای نترات در طول مسیر شامل شهر ساری و روستای آکند می‌باشند. اراضی شالی‌کاری و باغ‌های موجود در حاشیه رودخانه نیز منابع آلاینده غیرنقطه‌ای را تشکیل می‌دهند. داده‌های کمی و کیفی مسیر جریان از شرکت سهامی آب منطقه‌ای و اداره کل حفاظت

جدول ۱- متوسط آماره‌های کمی و کیفی در ایستگاه‌های آبنجی مورد مطالعه

Table 1- Average quantitative and qualitative parameters of hydrometric stations

STATION	Mean Daily Discharge (m ³ /s)	Mean Density of Nitrate (mg/lit)
Rigcheshmeh	9.2	5.1
Korkheil	3.8	5.5

جدول ۲- متوسط پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ساری

Table 2- Average meteorological parameters of Sari synoptic station

STATION	Min Temperature (°C)	Max Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Wind Speed (m/s)	Relative Humidity (%)
Sari	8.8	21.2	792.1	0.55	60.6

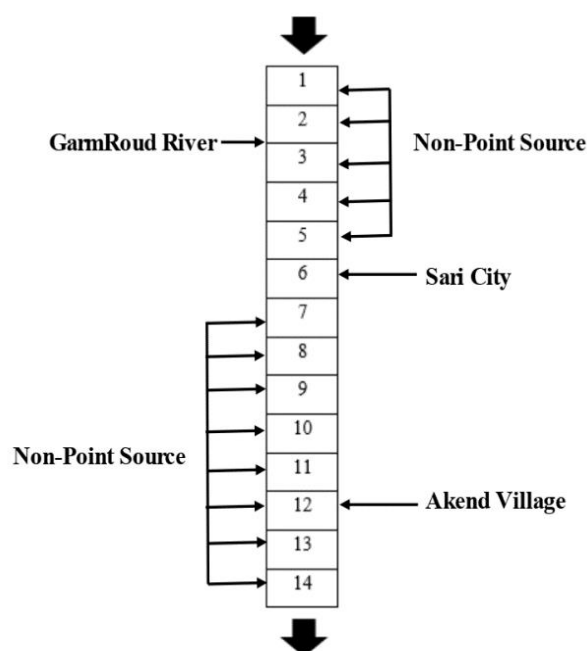


Fig. 5- Schematic view of sections and kinds of entrance pollution sources to Tajan river in research area

شکل ۵- نمای شماتیک مقاطع و انواع منابع آلاینده ورودی به رودخانه تاجن در محدوده مورد تحقیق

تطابق خوب مدل می‌باشد. خروجی‌های مدل HEC-RAS در مدل کیفی به کار گرفته شد.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل QUAL2Kw

مدل کیفی بر اساس خروجی نهایی مدل HEC-RAS اجرا و نمودار مقادیر کیفی اندازه‌گیری و مدل‌سازی برای مرحله واسنجی (فصل کشت) در شکل (۷) و مرحله صحت‌سنجی (فصل غیرکشت) در شکل (۸) آورده شد. در این نمودارها، داده‌های اندازه‌گیری با نقاط مربع شکل و نتایج شبیه‌سازی بوسیله نمودار پیوسته نمایش داده شده که نشان از واسنجی و صحت‌سنجی مطلوب مدل دارند. نتایج آماره‌های دقت‌سنجی برای مقادیر خروجی مدل QUAL2Kw با داده‌های اندازه‌گیری مربوطه نیز در جدول (۴) ارائه شد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مقادیر NRMSE همبستگی خوب بین مقادیر و ضریب تعیین (R^2) نیز نشان از درجه دقت قابل قبول و توانایی مطلوب مدل کیفی دارد.

از داده‌های کیفی گردآوری شده اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ (فصل کشت برنج، اصلی‌ترین محصول منطقه) برای واسنجی و آبان ماه ۱۳۹۷ (فصل غیرکشت) برای مرحله صحت‌سنجی مدل QUAL2Kw استفاده و مدل کیفی نهایی گردید و به کمک مدل سناریوهای آلاینده‌ی نیتراتی مسیر جریان در فصول کشت و غیرکشت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-RAS

مدل HEC-RAS تحت شرایط ماندگار واسنجی و میانگین ضریب زبری مانینگ مسیر جریان رودخانه برابر با ۰/۰۴ تعیین گردید. سپس مدل واسنجی‌شده با استفاد از رابطه دی-تراز آب ایستگاه‌های هیدرومتری ریگ‌چشمه و کردخیل در بازه سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۷ صحت‌سنجی شد. نمودار دی اندازه‌گیری و محاسبه شده توسط مدل برای ایستگاه‌های ریگ‌چشمه و کردخیل در شکل (۶) و نتایج آماری در جدول (۳) ارائه شده که نشان از

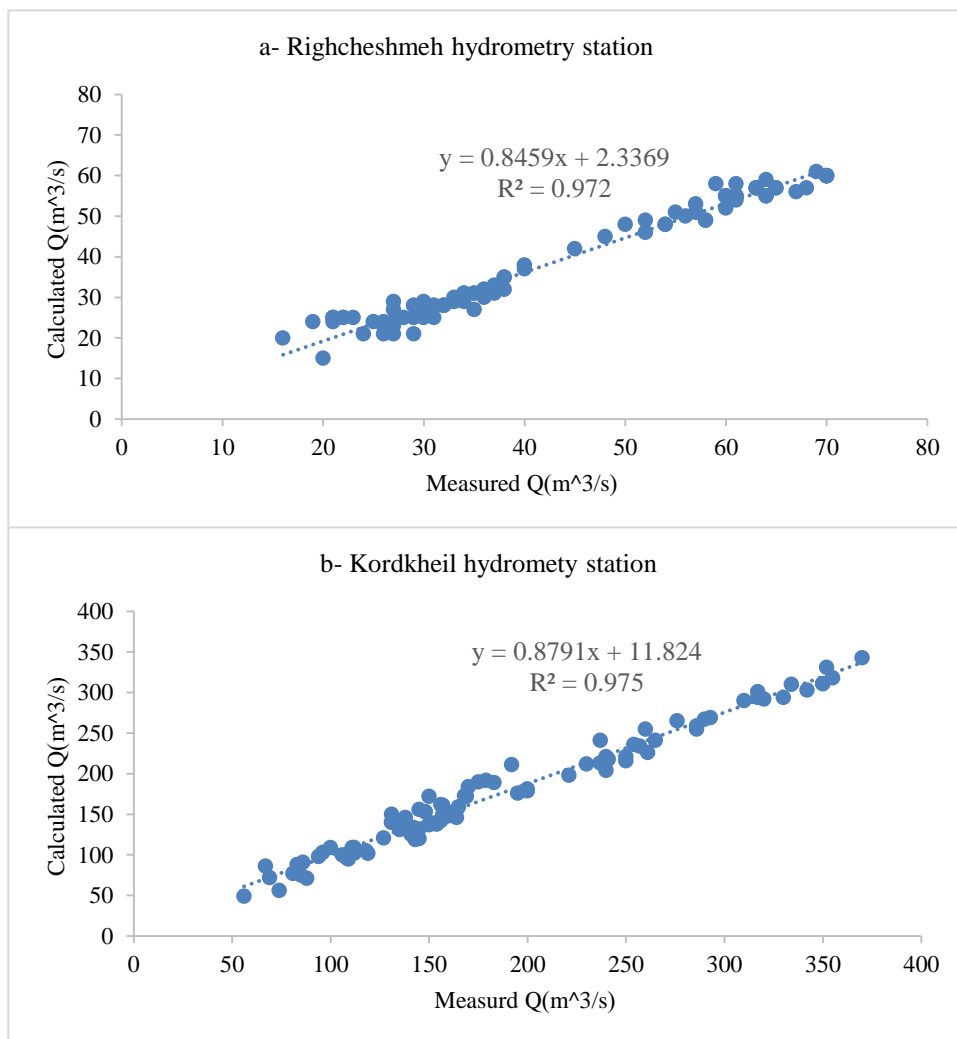


Fig. 6- Comparison of measured discharge versus calculated discharge in a- Righcheshmeh and b- Kordkheil hydrometry stations

شکل ۶- نمودار دبی اندازه گیری و محاسباتی در ایستگاه های هیدرومتری الف- ریگ چشمه و ب- کردخیل

جدول ۳- نتایج آماره های دقت سنجی از نتایج خروجی مدل HEC-RAS

Table 3- Accuracy indices of HEC-RAS model results

STATION	NRMSE	R ²
Rigcheshmeh hydrometry station	1.09	0.972
Korkheil hydrometry station	0.59	0.975

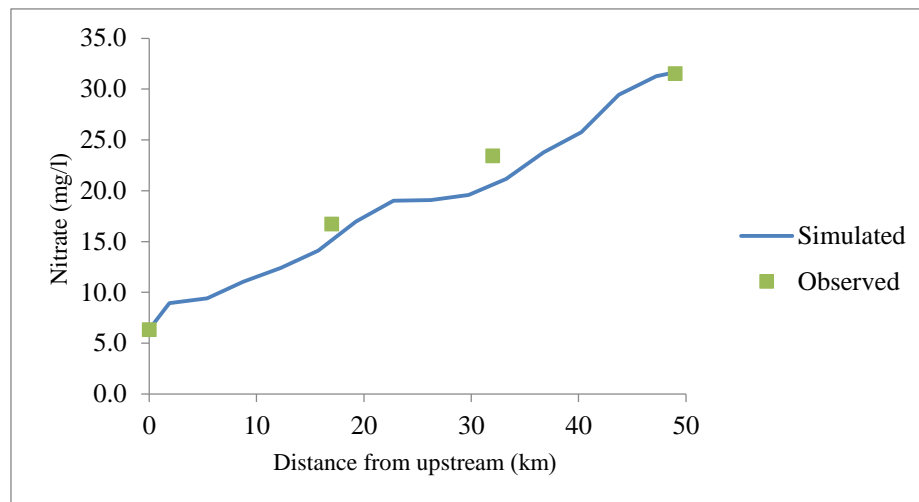


Fig. 7- Nitrate Calibrated model results and corresponding measured values in flow path during agricultural season

شکل ۷- نمودار مقادیر اندازه گیری و مدل سازی شده در دوره واسنجی (فصل کشت)

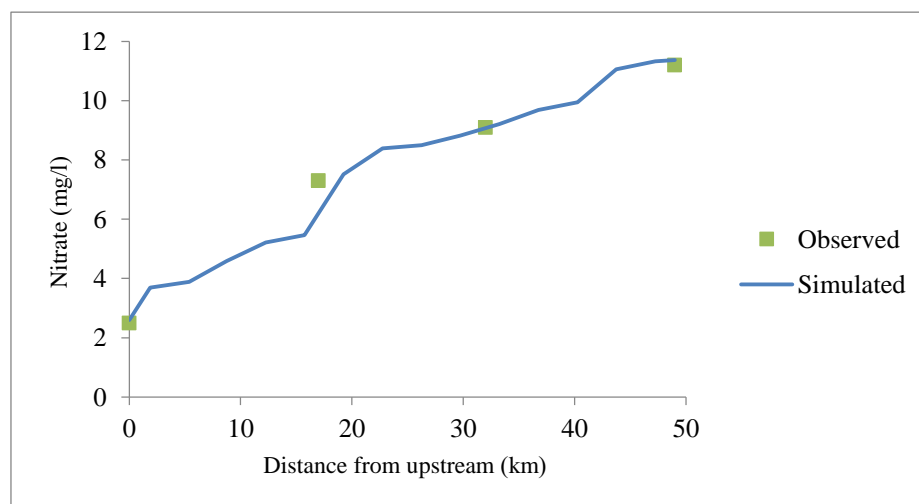


Fig. 8- Nitrate verified model results and corresponding measured values in flow path during non-agricultural season

شکل ۸- نمودار مقادیر اندازه گیری و مدل سازی شده در دوره صحت سنجی (فصل غیر کشت)

جدول ۴- مقادیر شاخص های دقت سنجی مدل QUAL2Kw تحت شرایط واسنجی و صحت سنجی

Table 4. Accuracy indices of QUAL2Kw model during calibration and verification

STATION	NRMSE	R ²
Calibration (Agricultural season)	0.11	0.971
Verification (non-agricultural season)	0.053	0.970

افزایشی نیترات از بالادست (ایستگاه ریگ چشمه) به پایین دست (ایستگاه کردخیل) مشاهده می گردد، این مشاهدات با نتایج Valizadeh و Shirdel (2020) و Zabardast Rostami (2020)، که Pirkolomi et al. (2022) و Delbari et al. (2022) روی کیفیت آب رودخانه تجن تحقیق کرده اند، مطابقت دارد. علت

بررسی غلظت نیترات در مسیر جریان رودخانه طی فصل کشت و غیر کشت

روند تغییرات غلظت نیترات در طول مسیر رودخانه در محدوده مورد تحقیق در دوره کشت و غیر کشت به ترتیب در شکل (۷) و شکل (۸) نشان داده شده است. در هر دوی این دوره ها روند

میزان بالای بار آلاینده ورودی به رودخانه دارند (Ahmadi Mamaghani et al., 2010).

آب رودخانه تجن در پایین دست منطقه مورد تحقیق از دو منظر بسیار پر اهمیت است: ۱) اصلی ترین منبع تامین آب اراضی کشاورزی در پایین دست می باشد، به نحوی که در مجموع ۴۶ هزار هکتار از اراضی کشاورزی دشت تجن تحت پوشش منابع آبی این رودخانه است (Ahmadi Mamaghani et al., 2010). مطابق استاندارد کیفیت آب های ایران تهیه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست، میزان غلظت مجاز نیترات در آب برای کاربری کشاورزی ۳۰ میلی گرم در لیتر است (DOE Iran, 2016). همان طور که مشاهده می گردد غلظت نیترات در ایستگاه کردخیل به بیشتر از این میزان رسیده است، لذا نه تنها مناطق پایین دست جریان که حتی بخش هایی از منطقه مورد تحقیق نیز در مرز بحران و فاقد کیفیت مناسب به منظور مصارف شرب هستند. ۲) منطقه پایین دست و نزدیک مصب رودخانه محل تخم ریزی ماهیان است و باید توجه داشت که، رودخانه های جنوبی دریای مازندران از جمله رودخانه تجن، محلی مناسب برای تخم ریزی ماهیان خاویاری نیز می باشند (Laloei, 1997). از این رو و با توجه به اینکه وجود نیترات فراوان در آب نشان دهنده تشدید نیترونیفیکاسیون و کاهش اکسیژن محلول در آب است، تداوم این چرخه می تواند باعث ازدیاد تلفات آبزیان و خصوصا نوزادان آن ها گردد. نیترات مجاز برای کاربری شرب توسط سازمان بهداشت جهانی برابر با ۵۰ میلی گرم بر لیتر اعلام گردیده WHO (2016) که از این نظر محدوده مورد مطالعه را با میزان تقریبی ۴۷ میلی گرم بر لیتر نیترات در نزدیک مصب رودخانه در معرض خطر دانست.

همچنین میزان نیترات مجاز برای اکوسیستم های آبی ۵۰ میلی گرم در لیتر عنوان می گردد (ANZECC, 2000). از این نظر در محدوده ایستگاه کردخیل مشکلی برای اکوسیستم های آبی وجود ندارد اما با توجه به فاصله ۱۶ کیلومتری این ایستگاه تا مصب رودخانه به دریا که غلظت در فصل کشت به حدود ۴۷ میلی گرم بر لیتر می رسد، بروز شرایط بحرانی در آینده نزدیک در ناحیه مصب رودخانه دور از انتظار نیست. لذا باید رودخانه تجن را در محدوده اخطار غلظت نیترات برای اکوسیستم های آبی قلمداد نموده و حفاظت گونه های آبی توسط ارگان های ذیربط مد نظر قرار گیرد. مالکیت های خرد، عدم انجام به زراعی اراضی کشاورزی و به ویژه شالیزارها، کشت غیر ارگانیک و استفاده از کودهای شیمیایی از جمله مسائلی است که در منطقه وجود دارد و باید برای بهبود شرایط کیفی آب رودخانه تجن مورد بازنگری و بررسی قرار گیرند.

نتیجه گیری

۱- تلفیق خروجی مدل هیدرولیکی HEC-RAS با مدل QUAL2Kw منجر به نتایج مطلوب در تحلیل کیفی

این تغییرات ناشی از ورود نیترات از منابع مختلف در طول مسیر رودخانه و نیز کاهش حجم جریان می باشد (Shokri et al., 2015). تفاوت محسوس غلظت نیترات در بین این دو دوره زمانی بیانگر تأثیرپذیری بسیار زیاد رودخانه تجن از منابع غیرنقطه ای ناشی از کشت غیرارگانیک در اراضی کشاورزی منطقه می باشد که در مطالعه های Sadeghi Azad (2017) و Haydarpur و Jamshidi (2018) نیز اشاره شده است، همچنین Shayeghi et al. (2001) عنوان می دارند که در بین منابع آلاینده و تخریب کننده رودخانه تجن نقش زمین های کشاورزی بویژه شالیکاری های محدوده تراس رودخانه به عنوان منابع آلاینده غیرنقطه ای اهمیت فراوانی دارند. از طرف دیگر افزایش دما در فصل کشت (فصول گرم سال) که باعث افزایش حلالیت نیترات در آب می شود نیز عامل دیگری در افزایش غلظت نیترات در این دوره می باشد (Delbari et al., 2022).

به طور کلی محققین معتقدند عواملی منجمله وجود مناطق بکر، غلظت پایین اکثر پارامترهای کیفی و شیب زیاد در نقاط بالادست و مسائلی همچون افزایش جمعیت، توسعه صنعت و کشاورزی و تخلیه فاضلاب های شهری در نقاط پایین دست ممکن است عامل افزایش آلاینده ها در نقاط پایین دست در مقایسه با نقاط بالادست رودخانه ها باشند (Sakizadeh 2015; Alizadeh et al., 2017; Delbari et al., 2022). مطالعه ها نشان داده است که نوع کاربری زمین تأثیر زیادی بر کیفیت آب داشته و ارتباط معنی داری بین پارامترهای کیفیت آب و نوع استفاده از اراضی وجود دارد (Miserendino et al., 2011). همچنین باید توجه داشت که ورود فاضلاب ها و رواناب های شهری، بارندگی و استفاده از کود در زمین های کشاورزی در فصول مختلف سال متفاوت است. لذا این موارد ممکن است منجر به تغییر غلظت اندازه گیری شده نیتروژن نیتراتی در دو فصل شوند (Wetzel, 2001).

در دوره کشت میزان نیترات در نقطه انتهایی مسیر (ایستگاه کردخیل) به بیش از ۳۱ میلی گرم در لیتر می رسد در حالی که در دوره غیرکشت به حدود ۱۱ میلی گرم بر لیتر رسیده است. روند افزایش غلظت نیترات در طول مسیر ۵۰ کیلومتری در فصل غیرکشت حدود ۱۹ درصد است و حال آن که در فصل کشت این مقدار رقمی در حدود ۵۰ درصد است (افزایش حدود ۲۸۰ درصدی نسبت به فصل غیرکشت). با این روند افزایش در ۱۶ کیلومتر انتهایی مسیر جریان و تا مصب دریا افزایش غلظت به ترتیب در فصول کشت و غیرکشت به حدود ۴۷ و ۱۷ میلی گرم بر لیتر خواهد رسید. از آنجایی که کشت برنج در فصل تابستان و ماه های کم بارش و کم آب سال انجام می گیرد و با توجه به آبیاری شبانه روزی این محصول، آب برگشتی به طور دائم با مواد معدنی و آلی قابل توجهی به رودخانه تخلیه می شود (Jafarzadeh Haghhighifard et al., 2005). از این رو دو عامل رواناب ها و زه آب های مزارع شالیکاری نقش مهمی در ایجاد شرایط بحرانی و

پیشنهادات

کاهش حجم آب رودخانه در انتهای مسیر از عوامل بالا بودن غلظت نیترات می‌باشد، لذا بازنگری در محاسبات آزادسازی جریان از سد شهید رجایی و مصرف بهینه آب به‌ویژه در بخش کشاورزی و کاهش برداشت‌ها از جمله مواردی است که مدیران و تصمیم‌گیران حوضه باید مدنظر داشته باشند. همچنین بررسی سناریوهای مختلف تعیین میزان کاهش بار آلاینده از مبدأ، به‌ویژه کاهش بار آلاینده‌های غیرنقطه‌ای در مسیر جریان با هدف کاهش میزان غلظت نیترات رودخانه تجن به کمتر از حداکثر بار مجاز قابل حمل، برای تحقیقات آینده توصیه می‌شود.

تقدیر و تشکر

از شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران و اداره کل حفاظت محیط زیست مازندران برای ارائه آمار و اطلاعات تقدیر و تشکر می‌گردد.

رودخانه می‌گردد. این امر نشان می‌دهد که می‌توان در شرایط کمبود داده‌های هیدرولیکی از خروجی‌های مدل HEC-RAS در مدل QUAL2Kw استفاده کرد.

۲- بررسی شرایط کیفی رودخانه تجن نشان داد که در فصل کشت مقدار غلظت نیترات حدوداً ۲/۸ برابر نسبت به فصل غیرکشت افزایش یافته که منشأ آن منابع آلاینده غیرنقطه‌ای شامل اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه می‌باشند که لازم است به منظور مدیریت شرایط کیفی بیشترین تمرکز مدیران بر روی این بخش قرار گیرد. برنامه‌های ترویجی در زمینه کشت‌های ارگانیک و کاهش استفاده از کودها و سموم شیمیایی و نیز تعیین شرایط الگوی کشت مناطق به نحوی که میزان آلاینده کمتری ایجاد گردد از پیشنهادات کاربردی در این زمینه است.

۳- غلظت نیترات رودخانه در فصل کشت و در مصب دریا به حد بحرانی برای آبزیان یعنی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر میل می‌کند، لذا تعیین چارچوبی برای کاهش بار نیترات ورودی به رودخانه با تمرکز بر منابع آلاینده غیرنقطه‌ای در سیاست‌های مدیریتی اکوسیستم آبی رودخانه تجن ضروری است.

References

- 1- Abbasi, H., 2017. Designing the Model for Commercialization of University Research Using Structural Equation Modeling- Partial Least Squares Method (SEM-PLS). *Iranian Journal of Trade Studies*, 21(82), pp.1-21. DOR: 20.1001.1.17350794.1396.21.82.2.6. (In Persian).
- 2- Ahmadi Mamaghani, Y., Khorasani, N., and Rafiei, G. 2010. Investigation of pollution sources and water quality of Tajan River. *Journal of Natural Environment*, 63(4), 317-327. (In Persian).
- 3- Ahmadpari, H. and Hashemi garmdareh, S., 2019. Application of Denitrification Wall in Nitrate Removal from Groundwater Aquifers. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 4(3), pp.13-25. DOI: 10.22112/jwwse.2019.163648.1129. (In Persian).
- 4- Alizadeh, M., Mirzaei, R., and Kia, S. H., 2017. Determining the Spatial Trend of Water Quality Indices across Kan and Karaj River Basins. *Journal of Environmental Health Engineering*, 4 (3) :256-243. (In Persian).
- 5- ANZECC., 2000. *Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality*. Australian and New Zealand environment and conservation council and agriculture and resource management council of Australia and New Zealand.
- 6- Arsenault, R., Brissette, F., and Martel, J.L. 2018. The hazards of split-sample validation in hydrological model calibration. *Journal of hydrology*, 566, pp.346-362. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.09.027.
- 7- Aryaee Nezhad, R., Sarai Tbrizi, M. and Babazadeh, H. 2019. Modeling Water Quality of Rivers Using QUAL2Kw Model (Case Study: Shahroud River). *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(7) pp.1-13. (In Persian).
- 8- Brunner, G., 2008. *River analysis system hydraulic reference manual*. Do Defense, Davis.
- 9- Bui, H.H., Ha, N.H., Nguyen, T.N.D., Nguyen, A.T., Pham, T.T.H., Kandasamy, J. and Nguyen, T.V., 2019. Integration of SWAT and QUAL2K for water quality modeling in a data scarce basin of Cau River basin in Vietnam. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 19(2), pp.210-223. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2019.03.005.

- 10- Chapra, S. C., Pelletier, G. J., and Tao, H. 2008. QUAL2K: a modeling framework for simulating river and stream water quality, version 2.11: documentation and user's manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- 11- Delbari, F., Rezaei Tavabe, K., Mirvaghefi, A., Lahijanzadeh, A., Bagherzadeh Karimi, M., & Salamroodi, E. 2022. Evaluation of water quality of Tajan River using IRWQIsc index. *Aquaculture Sciences*, 10(2), 83-98. DOR: 20.1001.1.23225351.1401.10.19.8.8 (In Persian).
- 12- DOE Iran., 2016. *Water quality standards of Iran*. Department of Environment of Iran. (In Persian).
- 13- Enrique, S., Manuel, F., Colmenarejo, J.A., Angel, R.G., Garcia, L.T., and Borja, R., 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Journal of Ecological Indicators*. 7(2), pp315-328. DOI: 10.1016/j.ecolind.2006.02.005.
- 14- Fan, C., Chen, K.H., and Huang, Y.Z., 2021. Model-based carrying capacity investigation and its application to total maximum daily load (TMDL) establishment for river water quality management: A case study in Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, 291, pp.125-251. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125251.
- 15- Fan, C., Ko, C. H., and Wang, W. S., 2009. An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. *Journal of environmental management*. 90(5), pp. 1824-1832. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.11.011.
- 16- Farkhani, S., 2021. *Investigating the Quality Status of Haraz River Using Numerical Modeling*. Vol 17. 1(56). pp. 262-276. (In Persian).
- 17- Faryadi S., Shahedi K., and Nabatpoor M., 2012. Investigation of Water Quality Parameters in Tadjan River Using Multivariate Statistical Techniques. *journal of watershed management research*. Vol 3. No 6. pp. 75-92. (In Persian).
- 18- Gholipour, A., and alamatan, E. 2015. Assessing of channel roughness and temperature variations on Parkand Abad WWPT's wastewater quality using numerical modeling. *Journal of Water and Sustainable Development*, 2(1), 51-58. DOI: 10.22067/JWSD.V2I1.43579. (In Persian)
- 19- Gupta, H.V., Perrin, C., Blöschl, G., Montanari, A., Kumar, R., Clark, M., and Andréassian, V., 2014. Large-sample hydrology: a need to balance depth with breadth. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(2), pp.463-477.
- 20- Haydarpur, M., and Jamshidi, Sh. 2018. Determining Total Allowable Pollution and Waste Load Allocation in Rivers Regarding Seasonal Variations, A Framework for Local Multi-Parameter Water Quality Standardization and Monitoring. *journal of environmental studies*. 44(3). pp. 519 - 531 DOI: 10.22059/JES.2019.264374.1007725 (In Persian).
- 21- Hossieni, P., Ildoromi, A.R. and Hosseini, Y., 2016. The Study of Qual2kw Model Efficacy on River Self-purification (A Case Study of Karun River at Interval of Zargan to Kute Amir). *Journal of Environmental Science and Technology*, 18(4), pp.103-122. (In Persian).
- 22- Jafarzadeh Haghighifard N, Tavasoli M.H., and Barootkoob, A., 2005. Investigation of Karoon River Water Quality Variations Using Qua12e Program. *Journal of iran-water resources research*., 1(2). pp. 85-96. (In Persian).
- 23- Jamshidi, S., and Niksokhan, M. H., 2015. Waste load allocation in Sefidrud using water quality trading. *Water and Irrigation Management*, 5(2), 243-259. DOI: 10.22059/JWIM.2015.57447. (In Persian).
- 24- Khodaparast Shirazi, J., and Sadeghi, Z., 2016. Forecasting seafood production in Iran using the ARIMA and Artificial Neural Networks. *Agricultural Economics Research*, 8(31), pp. 145-166. DOR: 20.1001.1.20086407.1395.8.31.8.2. (In Persian).

- 25- Laloei, F., 1997. Studying the manner of sturgeon fishes migration to Gorganrud and Tajan rivers. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 5(4), 17-30. DOI: 10.22092/ISFJ.1996.116083. (In Persian)
- 26- Leopold, L. B., and Maddock, T., 1953. *The hydraulic geometry channels and some physiographic implications, geological survey professionals*. Washington, DC.
- 27- Miserendino, M. L., Casaux, R., Archangelsky, M., Di Prinzi, C. Y., Brand, C., and Kutschker, A. M. 2011. Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. *Science of the total environment*, 409(3), 612-624. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.10.034.
- 28- Nikakhtar, M., Rahmati, S., and Massah Bovani, A., 2020. Simulating of Surface Water Quality Using QUAL2KW (Ardak River, Khorasan Razavi Province). *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(11 (90)), pp. 93-105. (In Persian).
- 29- Pellerire, G. J., and Chapra, S. C., 2008. Qual2kw-Theory and documentation (Version 5.1). A modeling framework for simulating river and stream quality. Washington Department of Ecology- Washington State, see information in: <http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models.html>.
- 30- Ranjith, S., 2019. Utilization of Water Quality Modeling and Dissolved Oxygen Control in River Tungabhadra, Karnataka (India). *Open Access Library Journal*, 6(05), pp.1.
- 31- Rocha, J., Roebeling, P., and Rial-Rivas, M.E., 2015. Assessing the impacts of sustainable agricultural practices for water quality improvements in the Vouga catchment (Portugal) using the SWAT model. *Science of The Total Environment*, 536, pp.48-58. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.038.
- 32- Sadeghi Azad, A., 2017. Assessment of self-purification and identification the effect of constructed cotroling flow on Tajan river Using QUAL2K and CCHE-2D. MSc Thesis. *Isfahan University of Technology*. Iran. DOI: 10.22055/JISE.2023.43193.2060.(In Persian).
- 33- Sakizadeh, M. 2015. Assessment the performance of classification methods in water quality studies, A case study in Karaj River. *Environmental monitoring and assessment*, 187, pp.1-12. DOI: 10.22055/JISE.2023.43193.2060.
- 34- Setiawan, D., Dharma, I.G.B.S. and Suyasa, I.W.B., 2017. Pollution load capacity of Badung River at Dauh Puri village, Denpasar town using Qual2kw model. *Ecotrophic: Journal of Environmental Science/Ecotrophic: Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), pp.116-124. DOI: [10.24843/EJES.2017.v11.i02.p10](https://doi.org/10.24843/EJES.2017.v11.i02.p10).
- 35- Shayeghi, M., Shahtaheri, S. J., and Selsele, M. 2001. Phosphorous Insecticides Residues in Mazandaran River Waters, Iran (2000). *Iranian J. Publ. Health*, 30(3-4), pp.115-118.
- 36- Shirdel, I., and Zabardast Rostami, H. 2020. Assessing the effects of aquaculture farms on water quality of Haraz and Tajan rivers. *Journal of Animal Environment*, 12(3), 353-364. DOI: 10.22034/AEJ.2020.120283. (In Persian)
- 37- Shokri, S., hoshmand, A., and Moazed, H. 2015 Ammonium and Nitrate Quality Simulation in GarGar rivers using QUAL2KW Model.. *Wetland Ecobiology*. 7 (1) :57-68. (In Persian)
- 38- Tahmasebi, S., Afkhami, M., and Takdastan, A., 2011. Study of Chemical, Physical and Microbial Quality of Gargar River, Sw, Iran, Using Nsf Water Quality Index. *jundishapur journal of health sciences*. 3(4). pp. 55- 64 (In Persian).
- 39- Torabi Maybodi, A., 2011. Simulation and uncertainties analysis of water quality of Karkheh River. MSc thesis. *Khajeh Nasirodin Tosi University*. DOI: 10.22055/JISE.2023.43193.2060. (In Persian).
- 40- USACE, H., 2016. *River Analysis System Hydraulic Reference Manual*.

- 41- Valizadeh Pirkolomi, M., Khoshraves, M., and Gholami Sefidkahi, M. 2022. Evaluation of Seasonal Changes of Tajan River Water Quality using Simulation Model of Qual2kw. *Extension and Development of Watershed Management*, 10(36), 48-59. (In Persian).
- 42- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. gulf professional publishing.
- 43- WHO, 2016. Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization (WHO/SDE/WSH/ 03.04/56).
- 44- Ye, H., Guo, S., Li, F. and Li, G., 2013. Water quality evaluation in tidal river reaches of Liaohe River estuary, China using a revised QUAL2K model. *Chinese geographical science*, 23(3), pp.301-311.

EXTENDED ABSTRACT

Assessing Yield and Water Productivity of Sweet Corn Variety (KSC403) under Precise Irrigation Management

E. Naderi Bani¹, M. A. Gholami Sefidkouhi^{*2} and M. I. Kamali Pashakolaei³

1- Master's graduate in irrigation and drainage engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. (ma.gholami@sanru.ac.ir).

2- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 26 January 2023

Revised: 08 July 2023

Accepted: 11 July 2023

Keywords:

Drip-tape irrigation, Mazandaran, Subsurface irrigation, Surface irrigation.

TO CITE THIS ARTICLE:

Naderi Bani, E., Gholami Sefidkouhi, M. A., Kamali, M. E. (2024). 'Assessing Yield and Water Productivity of Sweet Corn Variety (KSC403) under Precise Irrigation Management', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(2), pp. 105-117. doi: 10.22055/jise.2023.42888.2054

Introduction

The optimal use of water is one of the most important challenges in the agricultural sector. Although modern irrigation systems increase irrigation efficiency and enhance distribution uniformity of water in the root zone, the time and depth of irrigation in these systems is considered one of the important challenges. (Liang et al., 2020; Brar et al., 2022). This research was conducted to assess the effect of using precise irrigation management (PIM) on the yield and water use efficiency of sweet corn KSC403.

Materials and Methods

Irrigation treatments included furrow irrigation with farmer irrigation management (SI), subsurface irrigation with PIM (PSSI), drip-tape irrigation with PIM (PTI) and drip-tape irrigation with irrigation management based on the national water requirement document (TI). In PSSI and PTI treatments, the irrigation time was determined before the moisture reached the critical level, and the amount of irrigation was also calculated based on the lack of soil moisture until the field capacity was reached. For this purpose, daily monitoring of soil moisture in different depths of soil was done using Sentek Diviner 2000 moisture meter. The experiment was carried out in the crop year 2019-2020 in the form of a completely random design in three repetitions inside the lysimeter. In order to determine the different yields of sweet corn (Biological, Dry cob, Green cob, Biomass, Wet forage, and Dry forage), three plants were taken from each lysimeter as samples in the harvesting stage.

Results and Discussion

The findings showed that the SI and PSSI treatments had the highest (3678 cubic meters per hectare) and the lowest (1115 cubic meters per hectare) amount of water consumed during the growth period, respectively. The PSSI, PTI and TI treatments did not have drain, but 22% of consuming

water in the SI treatment was drained. The results showed that the use of the national water requirement document of plants to estimate the water requirement of corn in the region reveals the plant to water stress during the growth period so that the amount of water delivered to the TI is 25% less than that of the PTI. In general, in precise irrigation treatments (PSSI and PTI) where the amount of moisture in the root development zone is always within Readily Available Water (RAW), a higher yield index was obtained than the SI and TI methods, as well as the use of the subsurface irrigation method due to the placement of the emitter. The distribution of water in the soil improves the absorption of water and plant nutrients, so that at the probability level of 1%, the highest biological, dry corn, green corn, biomass, and dry fodder yields were obtained in the PSSI treatment, while the lowest in TI occurred. According to the results, different irrigation management treatments at the probability level of 1% on biomass productivity, biological productivity, green cob productivity, dry cob productivity, wet fodder productivity, and dry fodder productivity has a significant effect ($p \leq 0.01$). The results of the mean comparison test show that at the probability level of 1%, biomass productivity, green cob productivity, dry cob productivity, and fodder productivity between all irrigation management treatments, except There is a significant difference between PTI and TI. The findings showed that the highest values of biomass, biological, green corn, dry corn, wet fodder and dry fodder productivities in PSSI treatment are respectively with values of 124.9, 40.1, 47.8, 13.6, 73.2 and 24.2 Kilograms per cubic meter were obtained, while the lowest values of this productivity were gotten in the SI treatment.

Conclusions

In general, the use of precise irrigation management to control and regulate soil moisture within the range of the RAW will improve the yield and water productivity in sweet corn cultivation. The findings showed that the application of precise irrigation through subsurface irrigation is higher in all indicators. Irrigation based on the management of the farmer and the national irrigation document has faced the corn plant with water stress and finally caused the reduction of the evaluation indicators. This condition is more acute in the case of the national water requirement document in the region. Therefore, it is necessary to revise this document for Sari region. The findings of this research emphasize the application and use of modern and intelligent precise irrigation systems because, with the more appropriate delivery and distribution of water and nutrients, it will increase the yield and water productivity.

Acknowledgments

The current study was conducted in the research farm of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources in the form of a student thesis and the authors of this paper express their gratitude and appreciation to the university.

Reference

- 1- Brar, A.S., Kaur, K., Sindhu, V. K., Tsolakis, N., and Srail, J.S. 2022. Sustainable water use through multiple cropping systems and precision irrigation. *Journal of Cleaner Production*, 333, p.130117 . DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.130117.
- 2- Liang, Z., Liu, X., Xiong, J. and Xiao, J. 2020 .Water allocation and integrative management of precision irrigation: A systematic review. *Water*, 12(11), p.3135 . DOI: 10.3390/w12113135.





ارزیابی بهره‌وری آب آبیاری ذرت شیرین رقم (KSC403) تحت مدیریت آبیاری دقیق

احسان نادر بنی^۱، محمدعلی غلامی سفیدکوهی^{۲*} و محمداسماعیل کمالی پاشاکلایی^۳

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
 ۲- نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
 ma.gholami@sanru.ac.ir
 ۳- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۶

چکیده

این پژوهش به منظور ارزیابی اثر استفاده از مدیریت آبیاری دقیق بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت شیرین رقم (KSC403) در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری شیاری با مدیریت آبیاری کشاورز (SI)، آبیاری زیرسطحی با مدیریت آبیاری دقیق (PSSI)، آبیاری قطره‌ای-نواری با مدیریت آبیاری دقیق (PTI) و روش آبیاری قطره-ای-نواری با مدیریت آبیاری بر اساس سند ملی نیاز آبی (TI) انتخاب شد. آزمایش‌ها در سال زراعی ۱۳۹۸ در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در لایسیمترهای زهکش‌دار انجام شد. یافته‌ها نشان می‌دهد، تیمار SI و PSSI به ترتیب بیشترین و کمترین حجم آب مصرفی در دوره رشد را داشت و تیمارهای PSSI، PTI و TI فاقد زه‌آب خروجی بوده‌اند ولی ۲۲ درصد از آب مصرفی در تیمار SI به صورت زه‌آب از لایسیمتر خارج شد. به‌طور کلی در سطح احتمال یک درصد، بیشترین عملکرد بیولوژیکی، بلال خشک، بلال سبز، زیست توده و علوفه خشک در تیمار PSSI و کمترین آن‌ها در تیمار TI رخ داد. یافته‌ها نشان می‌دهد بیشترین مقادیر بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک در تیمار PSSI به ترتیب با مقادیر ۱۲۴/۹، ۴۰/۱، ۴۷/۸، ۱۳/۶، ۷۳/۲ و ۲۴/۲ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد در حالی که کمترین مقادیر این بهره‌وری در تیمار SI به دست آمد. نتایج این پژوهش تأکید بر به‌کارگیری و استفاده از سامانه‌های نوین و آبیاری دقیق دارد زیرا، با تحویل و توزیع مناسب آب و مواد مغذی، افزایش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب حاصل خواهد شد.

کلید واژه‌ها: آبیاری زیرسطحی، آبیاری تیپ، آبیاری سطحی، مازندران.

مقدمه

بر تأکید بر کشاورزی پایدار، حفاظت از منابع آب و خاک و رعایت مسائل زیست‌محیطی، دستیابی به بهره‌وری بیش‌تر از منابع آب نیز توجه خاص شود (Adeyemi et al., 2017). آب مهم‌ترین نهاده و عامل محدودکننده در توسعه سطوح زیر کشت زراعی و باغی و افزایش تولیدات کشاورزی می‌باشد. از این رو با توجه به مصرف زیاد آب در بخش کشاورزی، نیاز به برنامه‌ریزی دقیق‌تر به منظور استفاده بهینه از منابع آب موجود احساس می‌شود (Nodehi, 2015).

مفهوم بهره‌وری آب در کشاورزی با تغییر "آبیاری زمین" به "آبیاری محصولات زراعی" از طریق تغییر در روش‌های آبیاری پیگیری می‌شود (Vera et al., Jackson et al., 2010). در این میان، آبیاری قطره‌ای یکی از پرکاربردترین روش‌های آبیاری موضعی است که به دو صورت سطحی و زیرسطحی قابل اجرا است. از مزایای استفاده از آبیاری قطره‌ای می‌توان به صرفه‌جویی در آب آبیاری، کارایی بالاتر مصرف آب (۸۰-۹۰ درصد) (Li et al (2018) و Nouri et al (2019)

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین موجود در جهان است و این در حالی است که کشاورزی قاریاب نقش به‌سزایی در تأمین امنیت غذایی در جهان دارد به طوری که این اراضی با مساحتی کمتر از ۲۰ درصد سطح کل اراضی دنیا، ۴۰ درصد غذای جهان را تأمین می‌کنند (Turrall et al., 2010). از سوی دیگر، تغییر در میزان بارندگی در آینده به علت تغییرات اقلیمی ممکن است تقاضای آب آبیاری را افزایش دهد (Döll, 2002). پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰ نشان‌گر کمبود منابع آب برای کشاورزی است و پیش‌بینی می‌شود عملکرد کشاورزی باید تا سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد برسد (Barkunan et al., 2019; Neupane and Guo, 2019). این آمارها در ایران بسیار نگران‌کننده‌تر است زیرا میزان بارندگی در ایران، حدود یک سوم متوسط بارندگی دنیاست، این در حالی است که میزان تبخیر آب در کشور حدود سه برابر متوسط تبخیر در کره زمین است (Shahrokhnia, 2013). این شرایط ایجاب می‌نماید تا علاوه

و محصولات کشاورزی، نیاز به استفاده از سامانه‌های آبیاری دقیق در شرایط مختلف وجود دارد (Liang et al., 2020). اگرچه آبیاری دقیق منجر به مزایای مالی قابل توجهی از صرفه جویی در مصرف آب و انرژی می‌شود، ولی به دلیل هزینه بالای تجهیزات مورد نیاز ممکن است توجیه اقتصادی را برای کشاورز به همراه نداشته باشد. با این وجود، آبیاری دقیق با تغییر در میزان عملکرد و کیفیت محصول، باعث می‌شود که سرمایه‌گذاری در آبیاری دقیق پایدارتر شود (Chami et al., 2019).

ذرت به‌عنوان ماده اولیه خوراک دام، طیور، انسان و ماده خام تولیدات صنعتی و غذایی، از محصولات مهم و اساسی محسوب می‌شود که به‌علت قدرت تطابق و سازگاری بالای آن با شرایط مختلف آب و هوایی، کشت آن گسترش چشم‌گیری داشته است. یکی از عوامل مهم عدم توسعه کشت ذرت در ایران، پایین بودن بازده آبیاری با روش‌های آبیاری مرسوم و در نتیجه کمبود منابع آب برای افزایش سطح زیر کشت این محصول می‌باشد (Ahmadaali and Khalili, 2009). ذرت رشد سریعی دارد و در مقابل تنش آبی، به‌ویژه از مرحله گلدهی تا پر شدن دانه نسبتاً حساس است. در میان ارقام متنوع ذرت، ذرت شیرین دارای اهمیت اقتصادی ویژه‌ای است؛ زیرا کلیه بخش‌های گیاه از جمله بلال، ساقه، برگ، چوب بلال و پوست بلال مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گیاه، از یک سو اصولاً زودرس‌تر از ذرت علوفه‌ای است و از سوی دیگر قبل از رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها، برداشت می‌شود.

به‌کارگیری شیوه‌های مدیریت آبیاری دقیق و ترکیب آن با روش‌های نوین و استفاده از فناوری‌های جدید مانند سیستم‌های خودکار آبیاری در چارچوب اینترنت اشیا (Internet of Things)، برای تعیین زمان و مقدار مناسب آبیاری در حال توسعه است (Vera et al., 2021). معمولاً پایش مقدار رطوبت در سیستم خاک-گیاه-اتمسفر یک جنبه اساسی از مدیریت تولید محصول در کشاورزی آبی است که مستلزم استفاده از فناوری‌های مختلف سنجش در تعیین و توصیف دینامیک رطوبت در مقیاس مکانی-زمانی می‌باشد. با توجه به آنچه بیان شد، لازم است با استفاده از روش‌ها و مدیریت نوین آبیاری، بهره‌وری آب آبیاری را افزایش داد. بر این اساس در این پژوهش، به بررسی تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری دقیق بر اساس رطوبت خاک و همچنین کاربرد سیستم‌های نوین آبیاری بر میزان عملکرد و بهره‌وری آب در کشت ذرت شیرین پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

مکان پژوهش

این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با استفاده از ۱۲ عدد لایسیمتر زهکش‌دار به شکل استوانه به قطر قاعده ۱۱۵ و ارتفاع ۱۴۵ سانتی‌متر، از جنس پلی‌اتیلن سخت انجام شد. به‌منظور تعیین

افزایش عملکرد محصول و بهبود کیفیت آن (Yan et al., 2020)، افزایش کارایی مواد مغذی (Fan et al., 2016)، کاهش مصرف انرژی نسبت به روش آبیاری بارانی (Singh Chen et al., 2018) و کاهش ردپای کربن (Chen et al., 2020) اشاره کرد. با این حال، (Ayars et al., 2015) نرخ پایین پذیرش آبیاری قطره‌ای سطحی در کشت غلات را به دلیل حجم کار زیاد برای نصب و جمع‌آوری سامانه گزارش کردند. برای حل این مشکل آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پیشنهاد شد (Brar et al., 2022). در پژوهشی (Sidhu et al., 2019) نشان دادند که استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سیستم کشت «برنج-گندم» هزینه نیروی کار را کاهش داد و برخلاف آبیاری قطره‌ای سطحی، سامانه‌های قطره‌ای زیرسطحی، تلفات آب را از طریق تخییر مستقیم از سطح خاک کاهش می‌دهند و در نتیجه راندمان آبیاری در حدود ۱۱ تا ۳۰ درصد بهبود می‌یابد. همچنین این سامانه با تحویل مستقیم آب و مواد مغذی به ناحیه فعال ریشه گیاهان، باعث استفاده دقیق و کارآمدتر نهاده‌های کشاورزی می‌شوند (Barbosa et al., 2017; Gil et al., 2008). پژوهش (Besharat et al., 2020) نشان داد که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کشت ذرت، رشد سیستم ریشه را تا ۳۴ درصد افزایش داد و در نتیجه جذب آب را تسهیل می‌نماید.

استفاده ناکارآمد از منابع آب در دسترس و عدم برنامه‌ریزی و آبیاری دقیق در کشاورزی، اثرات و تبعات منفی ثانویه‌ای را به همراه خواهد داشت که از آن جمله می‌توان به زهدار و ماندابی شدن اراضی مرغوب کشاورزی، خسارات ناشی از زه‌آب‌ها و مخاطرات محیط زیست اشاره نمود (Al-Karadsheh et al., 2002). وجود مدیریت دقیق و حساب شده به‌منظور حصول بالاترین میزان بهره‌وری آب ضروری است. از جمله اقدامات مدیریتی در هر عملیات زراعی، آبیاری بهنگام است (Adeyemi et al., 2010; Pierce, 2010). در مدیریت آبیاری، اندازه‌گیری و کنترل رطوبت خاک از مؤلفه‌های ضروری برای اعمال روش‌های مدیریتی بهینه به‌منظور کاهش مصرف آب و بهبود کیفیت محصول است (Liang et al., 2017; Vera et al., 2021). از این رو آبیاری دقیق (Precision Irrigation) به‌عنوان استراتژی جدید مطرح شد. آبیاری دقیق بر مبنای کاربرد مقادیر متغیر آب بر اساس نیاز گیاه طی دوره رشد استوار می‌باشد، به‌عنوان یک استراتژی بالقوه به‌منظور افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از آبیاری در کشاورزی آبی به حساب می‌آید (Adeyemi et al., 2011; Smith, 2011). در پژوهشی، (Chami et al., 2019) بیان کردند که استفاده از شیوه آبیاری دقیق در سیستم آبیاری قطره‌ای، صرفه‌جویی ۲۲/۶ درصد در مصرف آب و کاهش ۲۳ درصد انتشار CO₂ را در پی دارد. همچنین، به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، حدود ۲۸ درصد ارزش افزوده آب آبیاری افزایش می‌یابد. از دیدگاه فنی، به‌دلیل تنوع گسترده منابع آب، خاک، هوا

تیمارهای آزمایش

برای بررسی اثر مدیریت آبیاری دقیق بر میزان عملکرد ذرت شیرین و بهره‌وری مصرف آب آبیاری، روش‌های آبیاری سطحی شیاری با مدیریت آبیاری زارع منطقه (Surface Irrigation (SI))، آبیاری زیرسطحی با مدیریت آبیاری بر اساس آبیاری دقیق (Precision Subsurface Irrigation (PSSI))، آبیاری قطره‌ای-نواری (Tape) با مدیریت آبیاری بر اساس آبیاری دقیق (Precision Tape Irrigation (PTI)) و روش آبیاری قطره‌ای-ای-نواری (Tape) با مدیریت آبیاری بر اساس سند ملی نیاز آبی گیاهان (Tape Irrigation (TI)) اعمال شد. بدین منظور شیارها در مرکز لایسیمترها ایجاد شده و گیاه ذرت شیرین روی پشته‌ها کاشته شد. برای اعمال روش آبیاری برای تیمارهای (PTI) و (TI) با روش آبیاری قطره‌ای نواری از نوار Tape با آبدهی ۲/۵ لیتر در ساعت در واحد طول و فواصل خروجی ۲۰ سانتی‌متر به صورت دو ردیفه و برای تیمار آبیاری زیرسطحی از لوله تراوا با قطر داخلی ۱۳ و قطر خارجی ۱۸ میلی‌متر که در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح زمین و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از گیاه در دو طرف گیاه کار گذاشته شده بود، استفاده شد. همچنین برای محاسبه عملکرد و بهره‌وری آب، از هر لایسیمتر سه بوته رقابت کننده با هم انتخاب و برداشت شد. برای بررسی اثر روش‌ها و مدیریت‌های آبیاری، آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی (Randomized Design Completely) با سه تکرار اجرا شد. شکل (۱) جانمایی تیمارهای پژوهش را نشان می‌دهد.

در تمامی تیمارها، مقدار و دور آبیاری اولیه به‌منظور سبز شدن و استقرار گیاه تا مرحله پنج برگه یکنواخت بود. پس از استقرار گیاه در مزرعه، روش‌ها و مدیریت‌های آبیاری اعمال شدند. در تیمار SI، دور آبیاری ۱۰ روز و مقدار آبیاری نیز به‌طور میانگین ۹۲ میلی‌متر (براساس تجارب محلی) بود. در تیمار TI با مدیریت آبیاری بر اساس سند ملی نیاز آبی گیاهان، دور آبیاری پنج روز و مقدار نیاز آبی ذرت شیرین برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار (NETWAT) محاسبه و اعمال شد.

خصوصیات خاک، پس از انجام مراحل نصب لایسیمترها و پر کردن آن‌ها از خاک مناسب زراعی، پیش از کاشت، نمونه‌های خاک با استفاده از اوگر در فواصل عمقی معین (۲۰ سانتی‌متر) از نقاط مختلف لایسیمترها برداشت و خصوصیات آن در آزمایشگاه تعیین شد. مشخصات و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به‌ترتیب در جدول (۱) و (۲) آورده شده است. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک زدن زمین اطراف لایسیمتر و زیر و رو کردن، خرد کردن کلوخ و مسطح سازی خاک در داخل لایسیمتر انجام گرفت. ذرت شیرین رقم KSC403 در تاریخ بیستم اردیبهشت ۱۳۹۷ کاشت و در تاریخ بیست و پنجم مرداد برداشت شد. در داخل لایسیمترها پنج بوته ذرت شیرین در یک ردیف کشت شد و برای ایجاد شرایط مزرعه، به گونه‌ای عمل شد که فاصله بین ردیف‌های داخل و خارج از لایسیمترها یکسان باشد. بذرها در عمق پنج سانتی‌متری خاک، در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از هم روی ردیف بوده و فاصله بین ردیف‌ها نیز ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر محل دو بذر کشت شد و پس از جوانه زدن در مرحله دو برگه شدن، گیاه ضعیف‌تر حذف گردید. به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای، اطراف لایسیمترها نیز ذرت شیرین کشت شد. بر اساس نتایج آزمایش‌های نیازسنجی کودی خاک، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در مرحله شخم زدن و آماده سازی لایسیمترها به خاک اضافه شد. همچنین ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در چهار مرحله به مقدار ۲۵ درصد در دومین آبیاری، ۲۵ درصد در مرحله چهار تا شش برگه، ۲۵ درصد در قبل از ظهور گل نر (مرحله ۱۰ برگه گیاه) و ۲۵ درصد آن نیز در مرحله ظهور گل‌های نر اعمال شد.

آب آبیاری از طریق چاه مزرعه تامین شد که از کیفیت خوبی برخوردار بوده است به‌طوری که مقدار EC آن ۰/۷۷ دسی‌زیمنس بر متر، TSS برابر ۱۶ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار اسدیته آن نیز ۷/۳ بود.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک درون لایسیمترها

Table 1- Physical properties of the soil inside the lysimeters

Soil texture	Particle (%)			Volumetric moisture (%)	
	Sand	Clay	Silt	FC	PWP
Loam	39	19	42	31	9.2

جدول ۲- مشخصات شیمیایی خاک درون لایسیمترها

Table 2- Chemical properties of the soil inside the lysimeters

ECe	pH	K	P	N
(mmohs/cm)		(mg/kg)	(mg/kg)	(%)
1.7	7.68	136	6.68	0.16

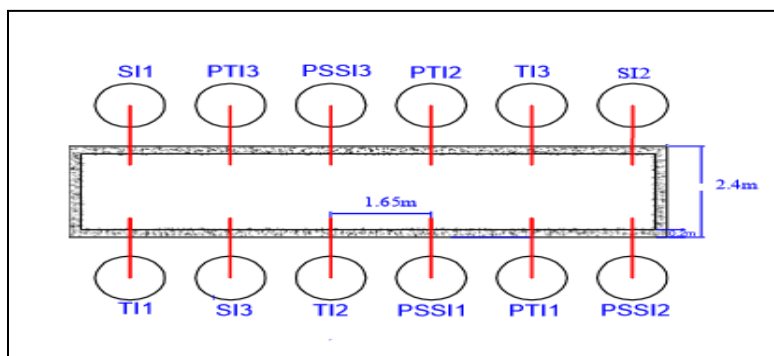


Fig. 1- Layout of research treatments

شکل ۱- جانمایی تیمارهای پژوهش

جدول ۳- میزان آب تحویلی و زه آب خروجی در تیمارهای مختلف (مترمکعب در هکتار)

Table 3- Amount of water delivered and drainage in different treatments (m³/ha)

	PSSI	PTI	SI	TI
Water delivered	1115	1527	3678	1150
Drain	0	0	835	0

ترازوی دیجیتال عملکردهای مختلف اندازه‌گیری شد. بدین منظور، عملکرد زیست توده، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد بلال سبز، عملکرد بلال خشک، عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک بر حسب کیلوگرم در هکتار مورد بررسی قرار گرفتند. پس از محاسبه عملکردهای مختلف محصول ذرت شیرین برای تیمارهای مختلف پژوهش و با توجه به مقدار تجمعی آب تحویلی هر تیمار، بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علوفه تر و بهره‌وری علوفه خشک محاسبه و بررسی شد. بدین جهت، از رابطه (۲) برای محاسبه بهره‌وری استفاده شد (Xie et al., 2020).

$$IWUE = \frac{Y}{TI} \quad (2)$$

IWUE، بهره‌وری (kg/m³)، Y، عملکرد (kg) و TI، مقدار کل آبیاری (m³) است.

نتایج و بحث

آب تحویلی و زه آب خروجی

مجموع آب تحویلی و خروجی از لایسیمترهای تحت تیمارهای مختلف آبیاری در جدول (۳) آمده است. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد، بیش‌ترین حجم آب آبیاری از زمان اعمال تیمار تا زمان برداشت محصول، مربوط به تیمار آبیاری SI به میزان ۳۶۷۸ متر مکعب در هکتار و کم‌ترین مقدار آب مصرفی نیز در تیمار PSSI با مقدار ۱۱۱۵ مترمکعب در هکتار بود. به‌عبارتی میزان آب تحویلی تیمار آبیاری سطحی متداول در منطقه، بیش از سه برابر تیمار آبیاری زیرسطحی مبتنی بر آبیاری دقیق می‌باشد که با نتایج

در تیمارهای PSSI و PTI که مدیریت آبیاری آن‌ها بر اساس مدیریت آبیاری دقیق می‌باشد، به گونه‌ای عمل شد که همواره رطوبت خاک در داخل لایسیمتر در حد رطوبت سهل الوصول باقی بماند. بدین منظور، با پایش روزانه رطوبت، زمان آبیاری قبل از رسیدن رطوبت به حد بحرانی و مقدار آن نیز مطابق رابطه (۱)، بر اساس کمبود رطوبت خاک تا رسیدن به حد ظرفیت زراعی محاسبه شد (Fazel et al., 2017). پایش رطوبت روزانه خاک در اعماق مختلف با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج Sentek مدل Diviner 2000 انجام شد. این وسیله از طریق prob که در داخل لوله هدایت‌گر مخصوص قرار می‌گیرد، رطوبت خاک در لایه‌های ۱۰۰ میلی‌متری را اندازه‌گیری می‌کند.

$$I_n = \sum_{i=1}^m (\theta_{FCi} - \theta_{Bli}) i \times 100 \quad (1)$$

که در آن، I_n مقدار آب مورد نیاز خاک برای رسیدن به حد ظرفیت زراعی (mm)، θ_{FCi} مقدار رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی، θ_{Bli} مقدار رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در لایه i می‌باشد.

برای حذف اثرات بارندگی مؤثر بر نتایج، از پوشش نایلونی استفاده شد. بدین منظور بر اساس پیش بینی هواشناسی، در صورت احتمال وقوع بارش، پوشش نایلونی روی پایه‌های نصب شده قرار می‌گرفت تا مانع ورود باران به محدوده و لایسیمترها شود.

بهره‌وری

به‌منظور تعیین عملکرد در مرحله برداشت اقتصادی (انتهای مرحله شیری شدن دانه‌ها)، سه بوته از داخل لایسیمترها به‌صورت کف‌بر برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس، به‌وسیله

توجه به نتایج عملکرد زیست توده، مشاهده می‌شود تیمار PSSI نسبت به تیمارهای PTI، SI و TI بترتیب ۱۷، ۵۶ و ۷۱ درصد افزایش داشته است.

عملکرد بیولوژیکی نیز شامل وزن خشک کل بوته و بلال‌های آن است. به‌طور کلی، بیش‌ترین مقدار در عملکرد بیولوژیکی به ترتیب در تیمارهای PSSI، PTI، SI و کم‌ترین مقدار آن در تیمار TI مشاهده شد و اختلاف در این عملکرد بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. این اختلاف مابین تیمار PSSI با تیمار PTI و تیمار SI با تیمار TI غیر معنی‌دار می‌باشد. تنش آبی پتانسیل آب خاک را کاهش می‌دهد. بنابراین، رشد و توسعه گیاه از نهال تا برداشت را متوقف می‌کند (Li et al., 2017). مطابق با نتایج Muhumed et al. (2014)، ماده خشک تولید شده در ذرت شیرین تحت تأثیر دور آبیاری قرار دارد و تنش آبی باعث کاهش عملکرد ماده خشک ذرت شیرین می‌شود (Moser et al., 2006).

از آنجا که محصول ذرت شیرین به‌صورت بلال تر (تازه) به فروش می‌رسد، عملکرد بلال سبز که همان بلال با غلاف (پوشش) می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که اعمال روش و مدیریت‌های مختلف آبیاری، اثر معنی‌داری بر میزان عملکرد بلال سبز دارد و اختلاف عملکرد بلال سبز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. مشابه با نتیجه Liaghat et al. (2018)، در تیمار آبیاری زیرسطحی ضمن کاهش در میزان آب مصرفی، عملکرد نیز افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار میانگین عملکرد بلال سبز مربوط به تیمار PSSI با مقدار ۵۳۳۶۳ کیلوگرم در هکتار بود که اختلاف آن با تیمارهای SI و TI بسیار معنی‌دار است. همچنین، اختلاف در عملکرد بلال سبز بین تیمار PTI و دو تیمار SI و TI در سطح یک درصد معنی‌دار است و کم‌ترین مقدار نیز مربوط به تیمار SI می‌باشد، هرچند این تیمار بیشترین مقدار آب را دریافت نموده است. در عملکرد بلال سبز، اختلاف تیمار PSSI با تیمار PTI از جنبه آماری غیر معنی‌دار بود که می‌تواند به‌دلیل تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در این دو تیمار باشد و با نتایج پژوهش Mohammadkhani et al. (2020) مطابقت دارد. هرچند تیمار PSSI مقدار ۳۸۳۰ کیلوگرم در هکتار (هشت درصد) بلال سبز بیشتر نسبت به تیمار PTI تولید شده است اما مقدار آب آبیاری در این تیمار حدود ۲۵ درصد کمتر نسبت به تیمار PTI می‌باشد.

بیش‌ترین مقدار در عملکرد بلال خشک (۱۵۱۴۰/۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار PSSI، بعد از آن در تیمار PTI، سپس در تیمار TI و کم‌ترین مقدار هم در تیمار SI مشاهده شد. اختلاف بین تیمارها در عملکرد بلال خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مشاهده می‌شود که اختلاف فقط بین تیمار PSSI با تیمارهای SI و TI بسیار معنی‌دار است. نتایج نشان می‌دهد هرچند تیمار SI حدود ۲۳۰ درصد بیشتر از تیمار PSSI آب دریافت نموده است ولی مقدار عملکرد بلال خشک در این تیمار

پژوهش‌های Liaghat et al. (2018) و Dukes و Scholberg (2005) مطابقت دارد. در تیمار PSSI به‌دلیل ناچیز بودن تبخیر سطحی و عدم وجود نفوذ عمقی، رطوبت به‌صورت یکنواخت در عمق مشخص در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرد. بنابراین تلفات در این تیمار حداقل می‌باشد. یافته‌ها نشان می‌دهد، میزان آب تحویلی به تیمار TI نسبت به تیمار PTI، ۲۵ درصد کم‌تر می‌باشد. این یافته نشان می‌دهد در صورت استفاده از سند ملی نیاز آبی گیاهان برای برآورد نیاز آبی ذرت در منطقه، گیاه با تنش آبی مواجه خواهد شد و احتمالاً با کاهش عملکرد همراه خواهد بود. به نظر می‌رسد بروز تغییر اقلیم در سال‌های پس از تهیه این سند، باعث کم برآوردی میزان آب آبیاری شده است. داده‌های اندازه‌گیری شده از زهکش‌های لایسیمترها نشان می‌دهد که تیمارهای PSSI، PTI و TI فاقد زه‌آب بوده‌اند و تمام مقدار آب تحویلی صرف تبخیر-تعرق و یا ذخیره در پروفیل خاک شده است. در حالی که هر یک از لایسیمترهای حاوی تیمار SI، از زمان اعمال تیمار تا زمان برداشت محصول، مجموعاً ۷۲ لیتر زه‌آب داشته است. به عبارت دیگر، در روش آبیاری سطحی که با مدیریت زارع منطقه همراه می‌باشد، مجموعاً ۸۳۵ مترمکعب در هر هکتار زه‌آب از دسترس گیاه خارج می‌شود که معادل ۲۲ درصد مقدار آب آبیاری این تیمار محسوب می‌شود. هرچند تأمین آب مورد نیاز برای آب شویی با توجه به کیفیت آب و خاک از ضروریات آبیاری است و در نگاه اول عدم وجود زه‌آب در تیمارهای گفته شده به‌عنوان نقص مطرح خواهد بود ولی با توجه به مقادیر بارندگی نسبتاً بالا در پاییز و زمستان در منطقه، آب‌شویی به طور موثر انجام می‌گیرد و ضروری است تا از زهکش کنترل شده استفاده شود.

عملکرد محصول

به‌منظور ارزیابی شیوه‌های مختلف مدیریت آب آبیاری بر عملکرد ذرت، عملکردهای زیست توده، بیولوژیکی، بلال سبز، بلال خشک، علوفه تر و علوفه خشک مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین آن‌ها در جداول (۴) و (۵) ارائه شد. بررسی نتایج به‌دست آمده از عملکرد زیست توده که شامل وزن تر کل بوته و بلال‌های آن می‌شود، نشان می‌دهد که اختلاف بین تیمارها به‌استثنای تیمارهای SI و TI در عملکرد زیست توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. بیش‌ترین مقدار در عملکرد زیست توده در تیمار PSSI و کم‌ترین مقدار در تیمار TI حاصل شده است. این یافته نشان می‌دهد که عملکرد زیست توده گیاه ذرت تحت تأثیر زمان و مقدار آبیاری است و تنش آبی می‌تواند بر رشد، توسعه و فرآیندهای فیزیولوژیکی ذرت تأثیر بگذارد که این باعث کاهش عملکرد زیست توده می‌شود (Karasu et al., 2015). کمبود آب مانع به حداکثر رسیدن وزن زیستی گیاه می‌شود که این کاهش می‌تواند به‌دلیل اثر منفی تنش آبی بر فتوسنتز باشد (Fereidooni et al., 2016). با

به‌طور کلی می‌توان بیان داشت، در تیمارهای آبیاری دقیق (تیمارهای PSSI و PTI) به‌دلیل متغیر بودن دور و مقدار آبیاری در طول دوره رشد، مقدار رطوبت در منطقه توسعه ریشه همیشه در حد رطوبت سهل‌الوصول قرار دارد در حالی که برای تیمارهای TI و SI چنین شرایط فراهم نیست و گیاه در طول فصل رشد با تنش رطوبتی مواجه می‌شود و این شرایط می‌تواند تا حدود ۵۰ درصد عملکرد محصول را کاهش دهد (Li et al., 2017). علاوه بر این، عملکرد بلال در تیمار آبیاری دقیق زیرسطحی (PSSI) نسبت سایر تیمارها نیز بیشتر می‌باشد که این می‌تواند یکی از مزایای استفاده از روش آبیاری زیرسطحی باشد زیرا نحوه توزیع و محل گسیلنده آب در روش زیرسطحی مناسب‌تر بوده و جذب آب و مواد مغذی توسط ریشه بهتر انجام می‌شود. همچنین، برخلاف آبیاری سطحی که شکل پیاز رطوبتی آن نیم‌دایره است، در آبیاری زیرسطحی به شکل کروی بوده که این باعث می‌شود گیاه ۳۰ تا ۴۰ درصد بیش‌تر به آب دسترسی داشته باشد. از طرفی، ضمن کاهش بیماری‌ها و علف‌های هرز، در توزیع مناسب-تر کود نیز مؤثر است (Isa khani, 2016). از سوی دیگر، در روش آبیاری سنتی، سطح خاک اشباع شده و موجب کاهش هوادهی در خاک می‌شود، تنش غرقابی باعث کاهش عملکرد، صدمه به اندام‌های رویشی و عدم کارکرد مناسب گیاه می‌شود (Kamali et al., 2015).

حدود ۱۶ درصد کمتر می‌باشد. تحقیقات گذشته نشان‌دهنده آن است که تنش آب بیش‌ترین تأثیر در عملکرد ذرت در مراحل تولید مثل (تاسل‌دهی، ابریشم‌زنی، گرده‌افشانی و پر شدن دانه‌ها) را دارد (Payero et al., 2008). بنابراین با توجه به ثابت بودن دور و مقدار آبیاری در تیمار SI علی‌رغم تحویل آب زیاد، گیاه دچار تنش شده است.

از آنجا که پس از برداشت بلال‌ها در ذرت شیرین، ساقه و برگ‌های گیاه هنوز سبز هستند، مقدار زیادی علوفه سبز در مزرعه وجود دارد که مناسب مصرف تازه برای دام‌ها می‌باشد (Didgah et al., 2012) و یا می‌توان از علوفه خشک آن برای تغذیه دام استفاده نمود. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، از جنبه آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در عملکرد علوفه تر وجود نداشت ولی با توجه به مقدار میانگین عملکرد علوفه تر، تیمار PSSI سبب افزایش ۱۳۷۴۸ کیلوگرم در هکتار (۲۰ درصد) نسبت به تیمار PTI، ۲۱۴۶۶ کیلوگرم در هکتار (۳۶ درصد) نسبت به تیمار SI و مقدار ۲۴۵۴۸ کیلوگرم در هکتار (۴۳ درصد) نسبت به تیمار TI شده است. اختلاف در عملکرد علوفه خشک در بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. البته این اختلاف نیز بین تیمار PSSI با تیمار PTI و تیمار SI با تیمار TI غیر معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر عملکردهای مختلف ذرت شیرین

Table 4- ANOVA for the effect of treatments on different yields of sweet corn

S.O.V	df	Biological	Dry cob	Green cob	Biomass	Wet forage	Dry forage
Treatment	3	888216245*	22714198*	675217284*	6513724899*	1078613992 ^a	557347613*
Error	8	20800031	3178148	30499753	161218704	390029105	15824599
Total	11	3330249722	169843333	3001643951	24700173210	1571677333	2178430000

ns and **: non-significant and significant at $p \leq 0.01$, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد ذرت شیرین (کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 5- Comparison of average yields of sweet corn (kg/ha) in different irrigation treatments

Treatment	Biological	Dry cob	Green cob	Biomass	Dry forage
PSSI	44807 ^a	15140.7 ^a	53363 ^a	139267 ^a	27000 ^a
PTI	39115 ^a	12985.2 ^{ab}	49533 ^a	119148 ^b	25319 ^a
SI	25393 ^b	11311.1 ^b	35489 ^b	89141 ^c	14081 ^b
TI	25074 ^b	12629.6 ^b	38133 ^b	81237 ^c	11356 ^b

In each column, different letters indicate a significant difference at the 1 percent probability level.

بهره‌وری آب آبیاری

بیشتر است. همچنین میانگین بهره‌وری علفه تر تیمار TI نسبت به تیمار PTI برتری حدود ۱۵ درصدی را نشان می‌دهد. این در حالی است که میزان عملکرد علفه تر در تیمار PTI نسبت به تیمار TI افزایش ۱۹ درصد دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت اختلاف عملکرد این دو تیمار بیشتر ناشی از میزان آب تحویلی کم در تیمار TI می‌باشد. البته نمی‌توان به نقش آبیاری دقیق در تیمار PTI بی‌تفاوتی نشان داد. همچنین مقادیر بهره‌وری بیولوژیکی و علفه خشک در تمامی تیمارهای مدیریت آبیاری با هم اختلاف بسیار معنی‌دار دارد. بیش‌ترین مقادیر بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علفه تر و بهره‌وری علفه خشک در تیمار PSSI به‌ترتیب با مقادیر ۱۲۴/۹، ۴۰/۱، ۴۷/۸، ۱۳/۶، ۷۳/۲ و ۲۴/۲ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد در حالی که کمترین مقدار بهره‌وری در تیمار SI بدست آمد. شاخص بهره‌وری، تاثیر آبیاری دقیق در ارزش گذاری واقعی آب مصرفی به‌عنوان یک کالای نایاب با ارزش در شرایط کنونی را نشان می‌دهد. به‌عبارتی تیمار آبیاری دقیق زیرسطحی ضمن کاهش در مصرف آب، در تمامی شاخص‌های بهره‌وری بالاترین عملکرد را به همراه دارد و از نظر درآمد نیز برای کشاورز دارای جذابیت می‌باشد.

اثر روش‌های مختلف مدیریت آب در کشت ذرت بر بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علفه تر و بهره‌وری علفه خشک بررسی شد و نتایج آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین در جداول (۶) و (۷) ارائه شد. با توجه به نتایج، تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر مقدار بهره‌وری زیست توده، بهره‌وری بیولوژیکی، بهره‌وری بلال سبز، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری علفه تر و بهره‌وری علفه خشک اثر معنی‌دار دارد. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد در سطح احتمال یک درصد، بهره‌وری زیست‌توده، بهره‌وری بلال خشک، بهره‌وری بلال سبز و بهره‌وری علفه تر بین تمام تیمارهای مدیریت آبیاری، به‌جز بین تیمارهای PTI و TI، اختلاف معنی‌دار وجود دارد. میزان آب تحویلی در دو روش اخیر اختلاف حدود ۳۰ درصد را دارد و این باعث شد تا بهره‌وری زیست توده در تیمار PTI نسبت به تیمار TI ۱۳ درصد افزایش یابد. همچنین مقدار بهره‌وری بلال سبز تیمار TI به میزان پنج درصد نسبت به تیمار PTI برتری دارد ولی عملکرد بلال سبز در تیمار PTI به مقدار ۱۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار TI

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری‌های مصرف آب ذرت شیرین

Table 6- ANOVA for the effect of different irrigation treatments on water productivity of sweet corn

S.O.V	df	Biological	Dry cob	Green cob	Biomass	Wet forage	Dry forage
Treatment	3	4955**	565**	6865**	46092**	15579**	1975**
Error	8	18	4	38	169	586	15
Total	11	15452	1817	21820	143672	65485	6390

ns و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

ns and **: non-significant and significant at $p \leq 0.01$, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 7- Comparison of irrigation water productivity (kg/m^3) in different irrigation treatments

Treatment	Biological	Dry cob	Green cob	Biomass	Wet forage	Dry forage
PSSI	40.1 ^a	13.6 ^a	47.8 ^a	124.9 ^a	73.2 ^a	24.2 ^a
PTI	24.9 ^b	8.2 ^b	31.5 ^b	75.8 ^b	43.4 ^b	16.1 ^b
SI	6.9 ^d	3.1 ^c	9.7 ^c	24.2 ^c	15.3 ^c	3.8 ^d
TI	21.8 ^c	10.9 ^b	33.1 ^b	70.5 ^b	50.1 ^b	9.4 ^c

در هر ستون، حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

In each column, different letters indicate a significant difference at the 1 percent probability level.

بازنگری در محاسبه نیاز آبی گیاه ذرت شیرین در منطقه است. یافته‌های این پژوهش، تأکید در به‌کارگیری و استفاده از سیستم‌های نوین و هوشمند آبیاری دقیق دارد زیرا، با تحویل و توزیع مناسب‌تر آب و مواد مغذی، باعث افزایش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب خواهد شد. بدیهی است اجرای چنین سامانه در مزارع، نیازمند توجه ویژه مادی و ترویجی توسط متولیان بخش آب می‌باشد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در قالب پایان نامه دانشجویی انجام گرفته است. بدین وسیله لازم است از این موسسه و تمامی کسانی که ما را در این مسیر همراهی نموده‌اند، قدردانی به عمل آورد.

نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی تأثیر مدیریت‌های آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی ذرت شیرین، چهار روش آبیاری مشتمل بر مدیریت آبیاری زارع منطقه با روش آبیاری سطحی، مدیریت آبیاری براساس سند ملی نیاز آبی گیاهان با روش آبیاری تیپ (قطره‌ای-نواری)، مدیریت آبیاری دقیق با روش‌های آبیاری زیرسطحی و تیپ بررسی و ارزیابی شد. یافته‌ها نشان داد، به‌طور کلی استفاده از مدیریت آبیاری دقیق بر اساس رطوبت خاک باعث بهبود عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در کشت ذرت شیرین خواهد شد. در این بین آبیاری دقیق به شیوه زیرسطحی نسبت به آبیاری دقیق موضعی تیپ، در تمامی شاخص‌ها برتر می‌باشد. تیمارهای آبیاری براساس مدیریت زارع و سند ملی آبیاری، گیاه ذرت را با تنش آبی مواجه نموده است و نهایتاً باعث کاهش شاخص‌های ارزیابی شدند. این مهم در مورد سند ملی نیاز آبی در منطقه حادث می‌باشد و نیازمند

Reference

- 1- Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S. and Norton, T., 2017. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability*, 9(3), p.353 . DOI: 10.3390/su9030353.
- 2- Ahmadaali, J. and Khalili, M., 2009. Study on yield and water use efficiency of drip tape and furrow irrigation systems in single and two-row planting systems of grain corn. *Iranian journal of Irrigation and Drainage*, 3(2), pp.71-78. (in Persian)
- 3- Al-Karadsheh, E., Sourell, H. and Krause, R., 2002. Precision Irrigation: New strategy irrigation water management. *Paper presented at the Proceeding of the Conference on International Agricultural Research for Development, Deutscher Tropentag, Wiltzenhausen, Germany.*
- 4- Ayars, J., Fulton, A. and Taylor, B. 2015. Subsurface drip irrigation in California—Here to stay? *Agricultural water management*, 157, pp.39-47. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.01.001.
- 5- Barbosa, A. A., Matsura, E. E., dos Santos, L. N. S., Gonçalves, I. Z., Nazário, A. A. and Feitosa, D. R. C. 2017. Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 153, pp.448-456 . DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.167.
- 6- Barkunan, S., Bhanumathi, V. and Sethuram, J. 2019. Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation. *Computers and Electrical Engineering*, 73, pp.180-193 . DOI: 10.1016/j.compeleceng.2018.11.013.
- 7- Besharat, S., Barão, L., and Cruz, C. 2020. New strategies to overcome water limitation in cultivated maize: results from sub-surface irrigation and silicon fertilization. *Journal of Environmental Management*, 263, p.110398 . DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110398.
- 8- Brar, A.S., Kaur, K., Sindhu, V. K., Tsolakis, N., and Srail, J.S. 2022. Sustainable water use through multiple cropping systems and precision irrigation. *Journal of Cleaner Production*, 333, p.130117 . DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.130117.
- 9- Chami, D., Knox, J.W., Daccache, A. and Weatherhead, E.K. 2019. Assessing the financial and environmental impacts of precision irrigation in a humid climate. *Horticultural Science*, 46(1), pp.43-52 .

- 10-Chen, X., Thorp, K.R., van Oel, P.R., Xu, Z., Zhou, B. and Li, Y. 2020. Environmental impact assessment of water-saving irrigation systems across 60 irrigation construction projects in northern China. *Journal of Cleaner Production*, 245, p.118883. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118883.
- 11-Didgah, S. K., Faraji, H. and Yadavi, A.R. 2012. Effect of Plant Density on Ear Yield and Forage Protein of Four Sweet Corn Hybrids in Yasouj. *Plant Productions*, 35(2), pp.77-84. (in Persian).
- 12-Döll, P. 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic change*, 54(3), pp.269-293.
- 13-Dukes, M. and Scholberg, J. 2005. Soil moisture controlled subsurface drip irrigation on sandy soils. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(1), pp.89-101. DOI: doi: 10.13031/2013.17916 @2005.
- 14-Fan, J., Zhang, F., Wu, L., Yan, S. and Xiang, Y. 2016. Field evaluation of fertigation uniformity in drip irrigation system with pressure differential tank. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32(12), pp.96-101 .
- 15-Fazel, F., gheysari, M., Mohamadian, M. and Etemadi, N. 2017. Effect of Maximum Allowable Depletion on Irrigation Use and Plant Parameters of Grass under Subsurface Drip Irrigation Management. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), pp.155-165. (In Persian)
- 16-Fereidooni, M.J., Faraji, H. and Sedghi, M. 2016. Evaluating yield and morphological characteristics of sweet corn with using different irrigation levels and cultivation techniques. *Journal of Crop Production*, 9(2), 127-150. DOI: 10.22069/ejcp.2016.3120. (in Persian).
- 17-Gil, M., Rodríguez-Sinobas, L., Juana, L., Sanchez, R. and Losada, A. 2008. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. *Irrigation Science*, 26(6), pp.451-458.
- 18-Isa khani, M. 2016. The necessity of jihad movement and national determination to save the country from drought. *Monthly Journal of New irrigation methods*, 10(1), pp.1-76. DOI: 10.30699/PJAS.6.19.157.(in Persian)
- 19-Jackson, T.M., Khan, S. and Hafeez, M. 2010. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agricultural water management*, 97(10), pp.1477-1485. DOI: doi.org/10.1016/j.agwat.2010.04.013.
- 20-Kamali, S.H., Gholami Sefidkahi, M.A., Ziatabar Ahmadi, M. and Darzi-Naftchali, A. 2015. The effect of waterlogging stress on the traits of sunflower plant aerial parts. *Paper presented at the National Conference on Sustainable Agriculture, Environment and Rural Development* . (In Persian).
- 21-Karasu, A., Kuşcu, H., Mehmet, Ö. and Bayram, G. 2015. The effect of different irrigation water levels on grain yield, yield components and some quality parameters of silage Maize (*Zea mays indentata* Sturt.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(1), 138-145 .
- 22-Li, J., Xu, X., Lin, G., Wang, Y., Liu, Y., Zhang, M., Zhang, Y. 2018. Micro-irrigation improves grain yield and resource use efficiency by co-locating the roots and N-fertilizer distribution of winter wheat in the North China Plain. *Science of the total environment*, 643, pp.367-377 . DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.157.
- 23- Li, W., Zhang, X., Ashraf, U., Mo, Z., Suo, H. and Li, G. 2017. Dynamics of seed germination, seedling growth and physiological responses of sweet corn under peg-induced water stress. *Pakistan Journal of Botanical*, 49(2), pp.639-646 .

- 24-Liaghat, A., Pourgholam Amiji, M. and Mashhoury Nejad, P. 2018. The Effect of Surface and Subsurface Irrigation with Saline Water and Mulch on Corn Yield, Water Productivity and Solute Distribution in the Soil. *Water and Soil*, 32(4), pp.661-674. DOR: 20.1001.1.20084757.1397.32.4.2.2. (in Persian).
- 25-Liang, Z., Liu, X., Xiong, J. and Xiao, J. 2020 .Water allocation and integrative management of precision irrigation: A systematic review. *Water*, 12(11), p.3135 . DOI: 10.3390/w12113135.
- 26-Mohammadkhani, A., Pourgholam-Amiji, M., Sohrabi, T. and Liaghat, A. 2020. The Effect of Different Levels of Water Stress in Two Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems on Yield and Water Productivity of Maize. *Water and Irrigation Management*, 10(2), pp.247-264. DOI: 10.22059/jwim.2020.298096.767. (in Persian)
- 27-Moser, S.B., Feil, B., Jampatong, S. and Stamp, P. 2006. Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. *Agricultural water management*, 81(1-2), pp.41-58. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.04.005.
- 28-Muhumed, M.A., Jusop, S., Sung, C.T.B., Wahab, E.M. and Panhwar, Q. A. 2014. Effects of drip irrigation frequency, fertilizer sources and their interaction on the dry matter and yield components of sweet corn. *Australian Journal of Crop Science*, 8(2), pp.223-231 .
- 29-Neupane, J. and Guo, W. 2019. Agronomic basis and strategies for precision water management: a review. *Agronomy*, 9(2), p.87. DOI: 10.3390/agronomy9020087.
- 30-Nodehi, D.A., 2015. Effect of furrow irrigation methods and deficit irrigation on yield and water use efficiency of maize in Mazandaran. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 18(70), pp.245-255. DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.22.1. (In Persian)
- 31-Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M. and Hoekstra, A.Y. 2019. Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: the effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the total environment*, 653, pp.241-252. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.311.
- 32-Payero, J.O., Tarkalson, D. D., Irmak, S., Davison, D. and Petersen, J. L. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency ,and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural water management*, 95(8), pp.895-908. DOI: 10.1016/j.agwat.2008.02.015.
- 33-Pierce, F., 2010. *Precision irrigation*. Landbauforsch SH, 340, pp.45-56 .
- 34-Shahrokhnia, M. 2013. Influence of irrigation scheduling tools on water use and yield of corn under different soil texture conditions. *journal of Irrigation and Drainage*, 6(4), pp.331-341. (in Persian)
- 35-Sidhu, H., Jat, M., Singh, Y., Sidhu, R.K., Gupta, N., Singh, P., Gerard, B. 2019. Sub-surface drip fertigation with conservation agriculture in a rice-wheat system: A breakthrough for addressing water and nitrogen use efficiency. *Agricultural water management*, 216, pp.273-283. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.02.019.
- 36-Singh Dhillon, M., Kaur, S., Sood, A. and Aggarwal, R. 2018. Estimation of carbon emissions from groundwater pumping in central Punjab. *Carbon Management*, 9(4), pp.425-435. DOI: 10.1080/17583004.2018.1518107.
- 37-Smith, R. 2011. Review of precision irrigation technologies and their applications. *University of Southern Queensland*.

-
- 38-Turrall, H., Svendsen, M. and Faures, J.M. 2010. Investing in irrigation: Reviewing the past and looking to the future. *Agricultural water management*, 97(4), pp.551-560. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.07.012.
- 39-Vera, J., Conejero, W., Mira-García, A.B., Conesa, M.R., and Ruiz-Sánchez, M.C. 2021. Towards irrigation automation based on dielectric soil sensors. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(6), pp.696-707. DOI: 10.1080/14620316.2021.1906761.
- 40-Xie, Y., Wang, S., Luo, C., Sun, M., Wang, Y., Yang, J. and Wang, Q. 2020. Using plastic mulching improves greenhouse-grown Pakchoi (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*) growth and water use efficiency under irrigation scheduling based on soil water content. *Agronomy*, 10(9), p.1257. DOI: 10.3390/agronomy10091257.
- 41-Yan, S., Wu, Y., Fan, J., Zhang, F., Zheng, J., Qiang, S., Wu, L. 2020. A sustainable strategy of managing irrigation based on water productivity and residual soil nitrate in a no-tillage maize system. *Journal of Cleaner Production*, 262, p.121279. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121279.

Experimental Investigation of Velocity Profile in Interflow Density Current

M. Sadeghi Askari¹ and M.Ghameshi^{2*}

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

2* - Corresponding Author, Professor, Hydraulic Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (ghameshi@scu.ac.ir)

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 21 November 2017

Revised: April April 2018

Accepted: 30 April 2017

TO CITE THIS ARTICLE:

Sadeghi Askari, M., Ghameshi, M. (2024). 'Experimental Investigation of Velocity Profile in Interflow Density Current', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(2), pp. 119-135. doi: 10.22055/jise.2018.24246.1715.

Keywords:

density current, velocity profile, stratification, concentration gradient, silica particles.

Introduction

Gravity currents, also known as density currents, or buoyancy currents, are happened by the density difference between the flow and its ambient fluid. Gravity current happen in geophysical environments. One of the most important types of these streams that occur in large-scale nature is density flow (Middleton 1993). These flows are happen due to gravity and its effect on the density gradient. When the gravity current arrived to ambient fluid, in the position that density of both gravity current and ambient fluid is equal the gravity current abandon the bed and flows in ambient fluid horizontally (He et al, 2016). Some examples of gravity currents found in nature katabatic winds thunderstorms, dust storms (haboobs), turbidity currents running down the continental shelf, and advancing cold fronts (Thompson, 1986). Examples of gravity currents found in industrial processes are the spread of heavy gases and also ventilation systems that utilize buoyancy to drive horizontal flows along the ceiling and floor (Samothrakis and cotel, 2006). Other examples of gravity currents that are encountered in nature include snow avalanches (Hopfinger and Tochon-Danguy, 1977) and pyroclastic flows (Valentine, 1987). There are also examples of man-made gravity currents with industrial applications. Such an example is the instantaneous release of a dense gas in a less dense environment, after the failure of a containment tank (Baines, 2001). Simpson (1997) has detailed descriptions of these and other examples of gravity currents and also provides an overview of the research performed on the subject

In dams reserve ambient fluid, usually has a vertical stratification. Therefore, the density current into this reservoirs may flow as interflow. In this study, the density current was investigated in ambient stratification fluid. For Experimental Investigation of velocity profile in interflow density current at stratification ambient, experiments were performed by 4 discharge 1, 1.5, 2 and 2.5 liters per second, and 4 concentrations 5, 10, 15 and 20 grams per liters on the bed slope 2.5, 3.25 and 4 percent. Stratification of ambient fluid was carried out by mixture water and salt with a deep concentration gradient. To create density flow silica particles with an average diameter of 8 microns was used.

Methodology

The experiments are performed in an 8.8 meter long flume, 70 cm high and 35 cm wide. At different levels and in the floor at the end of the flume, the pipes were installed for discharge. A gate was installed at 80 cm from the beginning of the flume. To provide ambient fluid, first, the salt water tank was filled up of water and then salt added to the reservoir. Its density was measured after complete mixing. Flume was filled of ambient fluid in several times. After measure the density of ambient fluid gravity current was flow to ambient fluid. In this station the concentration and velocity profile was measured. The velocity was recorded by the DOP2000 velocity meter. The measurements were performed on the central line of the flume and in 7 sections and at different intervals of the entrance.

Parameters

In this work, we consider of velocity profile in interflow density current. For the series of experiments performed in this study the Reynolds number is less than 2000 is defined as equation (1):

$$Re = \frac{Uh}{\nu} \quad (1)$$

Where U and h are the characteristic velocity and height of the body of the gravity current ν is the kinematic viscosity of water.

The densimetric Froude number F_{rG} is calculated from the average velocity U , thickness h and reduced gravity g' of the gravity current, as follows equation (2):

$$F_{rG} = \frac{U}{\sqrt{g' h \cos(\theta)}} \quad (2)$$

Where $g' = \frac{\rho - \rho_w}{\rho_w} g$, and ρ is the density excess of the gravity current at each position. Because we know the gravity current velocity profile $u(z)$ and its density excess profile $\rho(z)$ we can calculate the average thickness h equation (4), velocity U equation (3), and reduced gravity g' equation (5) as in Turner (1973).

$$U = \frac{\int_0^\infty u(z)^2 dz}{\int_0^\infty u(z) dz} \quad (3)$$

$$h = \frac{(\int_0^\infty u(z) dz)^2}{\int_0^\infty u(z)^2 dz} \quad (4)$$

$$g' = \frac{g}{\rho_w} * \frac{\int_0^\infty \Delta\rho(z) u(z) dz}{\int_0^\infty u(z) dz} \quad (5)$$

Equation (6) is the Richardson number based on the characteristics of the gravity current

$$Ri = \frac{g' h \cos(\theta)}{U^2} \quad (6)$$

All parameters introduced before.

Results and Discussen

Study the velocity profile show the first, density current is underflow and due to high density difference between density current and ambient water the velocity of density current increase. In this state increase the discharge make the current body thickness and major velocity. When the density current separated from the bed and driven to ambient water horizontally, the velocity of density current decreases. In the next state density current formed as interflow and with the lower velocity than before state. Because mixing at upper and lower interface was happened.

Increasing of concentration increase maximum velocity profile. At concentration of 5 grams per liter, because the density differences between density current and the ambient fluid is low, the density current at this section is separated from the bed and is driven in the ambient fluid, so the form of the velocity profile in this concentration is different from other profiles.

Since there are several stratification with different densities and density current intrude between them, the Richardson number can be defined in three different ways depending on the definition of $\Delta\rho$. The first one, $Ri(C_T)$, is defined by the density difference between the current and top layer fluids. This definition of Ri number determines the velocity and height of the body of the gravity current. The second one, $Ri(B_C)$, is defined by the density difference between the current and bottom layer fluids. After the separation, the gravity current encounters the bottom layer fluid and their density difference is taken into account through $Ri(B_C)$. Finally the third one, $Ri(B_T)$, is defined by the density difference between the bottom and top layer fluids. This definition of Ri number represents the relative strength of the interface.

Conclusions

Experimental results were presented that examined the velocity profile in interflow density current, the results of this study are follow as:

At a constant concentration, with increasing discharge, the thickness and current velocity increase.

As the current flows, velocity decreases at higher discharge than the lower ones.

In a constant discharge with increasing concentration the maximum velocity increased.

As the discharge or concentration increases, the Richardson number decreases.

Acknowledgement

We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran for financial support (SCU.WH1397.86).

References

- 1- Baines, P. G. 2001. Mixing in flows down gentle slopes into stratified environments. *Journal of Fluid Mechanics*, 443, 237-270. doi: 10.1017/S0022112068000133
- 2- He, Z., Zhao, L., Lin, T., Hu, P., Lv, Y., Ho, H.-C. & Lin, Y.-T. 2016. Hydrodynamics of gravity currents down a ramp in linearly stratified environments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143, 04016085. doi: 10.1017/jfm.2023.146
- 3- Hopfinger, E. & Tochon-Danguy, J. C.1977. A model study of powder-snow avalanches. *Journal of Glaciology*. 19, 343-356. doi: 10.3189/S0022143000029373
- 4- Middleton, G. V. 1993. Sediment deposition from turbidity currents. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 21, 89-114. doi: 10.1146/annurev.ea.21.050193.000513
- 5- Samothrakis, P. & Cotel, A. 2006. Propagation of a gravity current in a twolayer stratified environment. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111. doi: 10.1029/2005JC003125

- 6- Simpson, J. E. 1997. *Gravity Currents: In the Environment and the Laboratory* Cambridge University Press. doi: 10.1017/S0022112097227527.
- 7- Thompson, B. 1986. Small-scale katabatics and cold hollows. *Weather*, 41, 146-153. doi: 10.1002/j.1477-8696.1986.tb03813.x
- 8- Turner, J. S. 1973. *Buoyancy effects in fluids*, Cambridge University Press. doi: 10.1002/qj.49710645020
- 9- Valentine, G. A. 1987. Stratified flow in pyroclastic surges. *Bulletin of Volcanology*, 49, 616-630. doi: 10.1007/BF01079967



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



بررسی آزمایشگاهی پروفیل سرعت در جریان چگال میان گذر

محدثه صادقی عسکری^۱ و مهدی قمشی^{۲*}

۱- دانش آموخته‌ی دکتری، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران (ghomeshi@scu.ac.ir)

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰

بازنگری: ۱۳۹۷/۰۲/۰۸

دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۳۰

چکیده

جریان‌های ثقلی که به آن‌ها جریان‌های چگال یا جریان‌های غلیظ گفته می‌شود به دلیل اختلاف چگالی بین جریان و سیال پیرامون به وجود می‌آیند. در مخازن سدها سیال پیرامون ممکن است دارای لایه‌بندی عمودی باشد. لذا جریان چگال ورودی به چنین مخازنی ممکن است به صورت میان‌گذر ادامه مسیر دهند. در این پژوهش جریان چگال به صورت میان‌گذر در یک سیال لایه‌بندی شده مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی آزمایشگاهی پروفیل سرعت در جریان چگال میان‌گذر در سیال پیرامون لایه‌بندی شده، آزمایش‌ها با چهار دبی ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ لیتر بر ثانیه و چهار غلظت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم بر لیتر روی شیب ۲/۵، ۳/۲۵ و ۴ درصد انجام شد. لایه‌بندی با استفاده از مخلوط آب و نمک با گرادیان غلظت عمقی ایجاد شد. برای ایجاد جریان چگال از ذرات سیلیس با قطر متوسط هشت میکرون و وزن مخصوص ۲/۶۷۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب استفاده شد. سرعت جریان به وسیله دستگاه سرعت‌سنج پروفایلر اکوستیک DOP2000 ثبت شده است. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد وقتی جریان از حالت زیرگذر به حالت میان‌گذر تبدیل می‌شود سرعت بدنه آن کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت از پنج تا ۲۰ گرم بر لیتر درصد کاهش سرعت بدنه به ترتیب ۱۱، ۲۰ و ۳۶ درصد در شیب‌های ۱، ۲/۵، ۳/۲۵ و ۴ درصد افزایش یافته است. همچنین افزایش دبی از یک تا ۲/۵ لیتر بر ثانیه درصد کاهش سرعت به ترتیب ۱۲، ۱۴ و ۱۵ درصد در شیب‌های ۲/۵، ۳/۲۵ و ۴ درصد کاهش یافته است. سرعت پیشانی در جریان میان‌گذر بیشتر از سرعت بدنه است.

کلید واژه‌ها: جریان چگال، پروفیل سرعت، لایه‌بندی، گرادیان غلظت، ذرات سیلیس.

مقدمه

می‌شود. در بسیاری از موارد این جریان‌ها باعث پاره شدن کابل‌ها در زیردیا می‌شوند (Simpson, 1997). جریان‌های چگال نیز در اتمسفر، به شکل باد پایین رو رخ می‌دهد (Thompson, 1986). نمونه‌های دیگری از جریان چگال که در طبیعت با آن مواجه هستیم، شامل سقوط بهمن و جریان‌های تشکیل شده در اثر فعالیت آتشفشانی (Hopfinger and Valentine, 1987) و (Tochon-Danguy, 1977) هستند. همچنین نمونه‌هایی از جریان‌های چگال مصنوعی با کاربردهای صنعتی (به‌عنوان مثال آزاد سازی لحظه‌ای یک گاز متراکم در یک محیط با چگالی کم‌تر پس از شکست مخزن مهار کننده) وجود دارد (Baines, 2001).

با توجه به کاربردهای طبیعی و مصنوعی جریان‌های چگال، تحقیقات محققین بر روی این نوع جریان گسترده است. پژوهش‌های اولیه روی جریان چگال توسط Benjamin (1968) انجام شد. بسیاری از مطالعه‌های انجام شده به بررسی جریان چگال در محیط یکنواخت پرداخته است. در این مقدمه تلاش شده است پژوهش‌هایی که در آن جریان به صورت میان‌گذر در سیال لایه‌بندی شده بررسی

جریان‌های گرانشی ناشی از نیروی جاذبه در همه جای زمین حضور دارند. یکی از انواع مهم این جریان‌ها که در طبیعت در مقیاس بزرگ رخ می‌دهد جریان‌های چگال هستند. این جریان‌ها بر اثر وجود نیروی گرانش و تأثیر آن بر اختلاف چگالی جریان نسبت به سیال پیرامون ایجاد می‌گردند (Middleton, 1993). دریاچه‌ها، اقیانوس‌ها و مخازن تحت تأثیر دما دارای لایه‌بندی عمودی و مصب رودها و دریاچه‌ها تحت تأثیر دما و اختلاف چگالی جریان ورودی به آن‌ها دارای لایه‌بندی افقی هستند (Snow and Sutherland, 2014). جریان چگال هنگام ورود به سیال لایه‌بندی شده به دلیل اختلاف چگالی با سیال پیرامون، در سطحی که چگالی جریان با چگالی سیال پیرامون برابر باشد از کف جدا شده و وارد سیال پیرامون می‌شود (He et al., 2016). یکی از انواع معمول چنین جریانانی، جریان کدر در اقیانوس‌ها است که جریان حاوی رسوبات روی فلات قاره‌ها به سمت اعماق اقیانوس پیش می‌رود و باعث انتقال رسوب به اقیانوس‌ها و پر کردن حوضه‌های بزرگ رسوبی در کف اقیانوس‌ها

وارد سیال پیرامون می‌شود) انجام دادند. همچنین رابطه‌ای را بین عمق وارد شدن، شدت اختلاط E ، فلاکس شناوری جریان غلیظ و مقدار فرکانس شناوری N پیدا کردند. Snow و Sutherland (2014) آزمایش‌هایی را برای بررسی شوری و رسوب‌گذاری یک جریان پایین رونده روی شیب در سیال پیرامون با لایه‌بندی خطی و چگالی ثابت انجام دادند. با توجه به تأثیر لایه‌بندی سیال پیرامون در جریان‌های گل‌آلود، جریان هم به‌صورت روگذر و هم به‌صورت زیرگذر مورد بررسی قرار گرفت. سرعت پیشانی روی شیب و ارتفاع نقطه جدایی اندازه‌گیری شد. این نتایج با پیش‌بینی‌های تئوری مقایسه شد که مشخصه‌های توسعه جریان و عمق جدایی در ترم‌های s شیب، پارامتر اختلاط E (نسبت اختلاط به سرعت جریان)، پارامتر لایه‌بندی نسبی S (نسبت اختلاف چگالی سیال پیرامون به چگالی نسبی جریان)، و یک پارامتر جدید برای نسبت رسوب‌گذاری به سرعت اختلاط تعریف شد. آن‌ها دریافتند که عمق جدایی به دو پارامتر اندازه ذرات و فاصله از دریچه ورودی بستگی دارد. Cortes et al (2015) چگونگی تقسیم جریان چگال ورودی را به جریان زیرگذر و میان‌گذر، وقتی که جریان ورودی به یک محیط طبقه‌بندی شده دولایه وارد می‌شود، بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که عدد فرود دنسیمتریک و عدد ریچاردسون در تقسیم جریان مؤثر است. همچنین معادله‌ای را برای پیش‌بینی فلاکس شناوری بخش‌های تجزیه شده جریان به زیرگذر و میان‌گذر ارائه دادند. Zhang et al (2015) به بررسی اثر لایه‌بندی حرارتی در مخزن بر روی زمان گذر جریان میان‌گذر پرداختند، یک رابطه کمی بین فرکانس شناوری و زمان گذر جریان میان‌گذر به‌دست آوردند. آن‌ها برای صحت‌سنجی رابطه پیشنهاد شده، شبیه‌سازی عددی و آزمایشگاهی انجام دادند. برای آزمایش‌های تجربی، حرکت جریان میان‌گذر در یک کانال کم عمق با آزاد سازی جریان چگال داخل سیال لایه‌بندی شده مورد بررسی قرار گرفت. برای شبیه‌سازی عددی، از یک مدل RNG 2-D k- ϵ استفاده کردند. نتایج آزمایش‌ها و شبیه‌سازی عددی، رابطه پیشنهاد شده آن‌ها را تأیید کرد. رابطه ارائه شده توسط آن‌ها برای پیش‌بینی زمان حرکت آلودگی در مخازن و کمک در کنترل آلودگی می‌تواند مفید باشد.

هر چند پژوهشگران، جریان‌های چگال در سیال پیرامون غیریکنواخت را نیز بررسی کرده‌اند، اما رفتار کامل آن‌ها در یک سیال طبقه‌بندی شده شناخته شده نیست. از این رو این پژوهش به بررسی پروفیل‌های سرعت در جریان چگال میان‌گذر می‌پردازد.

روش انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در فلومی به طول ۸/۸ متر، ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و عرض ۳۵ سانتی‌متر انجام شد. شکل (۱) طرح شماتیک دستگاه آزمایش را نشان می‌دهد. در انتهای فلوم در کف و در ترازهای

شده است، بیان شود Imberger, Rory and Fandray (1976) فرض کردند که جریان میان‌گذر شناوری طبیعی، مومنت کم و شرایطی بین شرایط جریان ورودی و جریان خروجی دارد. پارامتر بی‌بعد R که تابعی از عدد فرود Fr است برای پیش‌بینی دینامیک جریان میان‌گذر به‌دست آوردند. با مقایسه پارامتر R و عدد پرناتل Pr رژیم جریان را تعیین کردند و معادله‌هایی را برای عمق پیشروی و سرعت پیشروی جریان میان‌گذر در هر رژیم ارائه دادند. DE Rooij et al (2002) پیشروی جریان نمکی و رسوبی در طول سطح مشترک دو لایه با چگالی مختلف را بررسی کردند. آن‌ها به‌وسیله‌ی آنالیزی مانند آنالیز Benjamin (1968) برای مرز جریان‌های چگال، شرایط پیشانی جریان توصیف کردند. معادلاتی برای سرعت انتشار و موقعیت پیشانی جریان به عنوان تابعی از چگالی نسبی استخراج کردند. (Lowe et al (2002) سرعت پیشانی را با استفاده از فرض پایداری انرژی و معادله برنولی روی خط جریان به‌دست آوردند، و همچنین عمق جریان میان‌گذر در هر لایه را نزدیک به نصف عمق لایه‌ی سیال پیرامون پیش‌بینی کردند. Ahlfeld et al. (2003) مطالعه موردی روی رابطه بین زمان عبور جریان میان‌گذر ولایه‌بندی مخزن سد Wachusett در ماساچوست انجام دادند. در این مطالعه مشخص شد که رابطه‌ای خطی بین متوسط زمان عبور جریان میان‌گذر و درجه حرارت لایه-بندی وجود دارد. Sutherland et al (2004) برای تعریف انواع جریان‌های مرکب (مخلوط دوگانه‌ای که در یک زمان در دو فاز قرار دارد) در محیط پیرامون دو لایه، سه پارامتر بی‌بعد $(\sigma, \epsilon, \Delta)$ را در مطالعه‌های خود معرفی کردند. پارامتر ϵ مربوط به اختلاف چگالی بین جریان ثقیل و لایه‌های سیال پیرامون، پارامتر σ برای توصیف تفاوت نسبی چگالی بین لایه‌های بالایی و لایه‌های پایینی استفاده می‌شود و تفاوت عمق لایه بالایی و پایینی سیال پیرامون نسبت به عمق کل با پارامتر Δ مشخص می‌شود. Cotel و Samothrakis (2006) جریان چگال را به‌صورت پیوسته روی یک سطح شیبدار ایجاد کردند. سیال پیرامون در آزمایش‌های آن‌ها از محیطی دو لایه با لایه‌بندی ثابت تشکیل شده است. ایشان از یک روش واکنش شیمیایی (فنولفاتالین) و فلورسانس ناشی از لیزر پلار (PLIF) برای اندازه‌گیری نرخ اختلاط سیال لایه پایینی به داخل جریان چگال استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که تغییرات در اندازه پیشانی جریان چگال، میزان درون آمیختگی و اختلاط را تغییر می‌دهد. همچنین سرعت لحظه‌ای و میدان گردابه‌ای را بررسی کردند. به‌علاوه، پروفیل‌های عمودی سرعت و گردابه‌ها را در دو موقعیت مختلف (بالادست و پایین دست از منطقه برخورد جریان چگال با سیال لایه پایینی) رسم کردند. Nadarajah و Wells (2008) دریافتند که نرخ اختلاط (E) در موقعیت تغییر شکل جریان مؤثر است. آن‌ها مطالعه‌هایی روی عمق نفوذ (عمقی که جریان از کف جدا می‌شود و

رسوبی ابتدا مخزن سیال چگال با توجه به دبی مورد نیاز در طول آزمایش تا حجم معینی از آب پر می‌شد. سپس رسوبات به مخزن آب اضافه می‌شد و توسط یک همزن الکتریکی و یک پمپ لجن کش مخلوط می‌شدند. پس از ایجاد چگالی یکنواخت سیال رسوبی، به منظور تعیین ارتفاع مورد نیاز برای حرکت، سیال به مخزنی با تراز ثابت پمپ می‌شد. برای جلوگیری از تنشینی رسوبات در مخزن بالایی، یک همزن الکتریکی کار اختلاط سیال چگال در این مخزن را بر عهده داشت. سپس سیال چگال از طریق یک شیر که قبل از آن دبی سنج قرار داشت وارد محفظه پشت دریچه شده و دبی آن تنظیم می‌شد. تا تنظیم دبی و رسیدن به دبی ثابت شیرهای ابتدای محفظه برای تخلیه محفظه و جلوگیری از سرریز کردن سیال رسوبی در محفظه، باز می‌ماندند. قبل از دریچه از یک صفحه مشبک به منظور آرام کننده جریان ورودی استفاده شد.

بعد از رسیدن به دبی مورد نیاز در هر آزمایش شیرهای تخلیه ابتدایی بسته می‌شد و هنگامی که ارتفاع سیال رسوبی در محفظه با ارتفاع سیال لایه‌بندی در فلوم برابر می‌شد دریچه به‌طور ناگهانی بالا می‌رفت و جریان رسوبی در زیر سیال لایه‌بندی شروع به حرکت می‌کرد. جریان مورد نظر پس از طی مسیری بسته به چگالی سیال رسوبی و سیال پیرامون از کف فلوم جدا می‌شد و به‌صورت میان‌گذر به حرکت خود در سیال پیرامون ادامه می‌داد. شکل (۲) لایه‌بندی سیال پیرامون، قبل از وارد شدن جریان چگال به آن را بر حسب گرم بر لیتر نشان می‌دهد. همانطور مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع از کف کانال غلظت نمک محلول در آب کاهش می‌یابد. به‌منظور بررسی پروفیل سرعت در جریان میان‌گذر، در مجموع ۴۸ آزمایش با چهار دبی ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ لیتر بر ثانیه و چهار غلظت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم بر لیتر که به ترتیب جریانی با چگالی ۱۰۰۳/۲، ۱۰۰۶/۳، ۱۰۰۹/۴ و ۱۰۱۲/۵ گرم بر لیتر ایجاد می‌کردند، (منظور از غلظت در اینجا غلظت ذرات سیلیس است که جریان ورودی حاوی آن می‌باشد) روی شیب کف ۲/۵، ۳/۲۵ و ۴ درصد انجام شد.

متفاوت لوله‌هایی برای تخلیه جریان نصب شد و به انتهای لوله‌ها شیر وصل شد. در فاصله ۸۰ سانتی‌متری از ابتدای فلوم دریچه‌ای هم‌عرض و هم ارتفاع فلوم تعبیه شد. پشت دریچه محفظه‌ای به منظور ورود ناگهانی سیال چگال به داخل سیال لایه‌بندی شده ایجاد شد. ابتدای محفظه و در ترازهای متفاوت چندین شیر تخلیه برای جلوگیری از پر شدن محفظه تا تنظیم کامل دبی نصب شد. دو مخزن یکی برای تهیه سیال شور و دیگری برای تهیه سیال رسوبی در این تحقیق استفاده شد. به‌منظور تهیه سیال پیرامون ابتدا مخزن سیال شور تا حجم معینی از آب شهری پر شد سپس مقدار معینی نمک (که از پیش جرم آن اندازه‌گیری شده بود) به مخزن افزوده شد. اختلاط محلول آب و نمک به‌وسیله پمپ و همزن صورت گرفت. بعد از اختلاط کامل آب و نمک چگالی آن اندازه‌گیری می‌شد (برای اندازه‌گیری چگالی از دو روش استفاده شد یکی اندازه‌گیری شوری محلول آب و نمک توسط دستگاه EC متر و تبدیل آن به چگالی و دیگری اندازه‌گیری مستقیم چگالی توسط دستگاه چگالی سنج). بعد از رسیدن به چگالی مورد نظر، دریچه ابتدایی کانال و شیرهای تخلیه انتهایی بسته می‌شد و حجم معینی از محلول آب و نمک تهیه شده به کانال پمپ می‌شد. برای وارد کردن سیال با چگالی کمتر در مرحله بعد برای جلوگیری از اختلاط دو سیال صفحه مشبک شناوری روی لایه آب شور پایینی گذاشته می‌شد و سیال با چگالی کمتر با سرعت کم تا تراز معینی وارد کانال می‌شد. این عمل در چند مرحله تا رسیدن به لایه‌بندی مورد نظر تکرار می‌شد. در نتیجه سیال پیرامون با لایه‌بندی عمودی ایجاد می‌شد. بطوری که بیشترین چگالی در کف فلوم و کمترین آن در سطح آب مشاهده شد. چگالی سیال در جلوی دریچه و مقاطعی با فاصله یک متر در هفت مقطع، در بازه‌های دو سانتی‌متری از سطح آب تا کف فلوم در هر مقطع اندازه‌گیری شد. در این پژوهش برای ایجاد جریان چگال ورودی از ذرات سیلیس با قطر متوسط هشت میکرون و وزن مخصوص ۲/۶۷۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب استفاده شد. وزن رسوبات مورد استفاده بسته به غلظت جریان چگال در هر آزمایش متفاوت بود. برای تهیه سیال

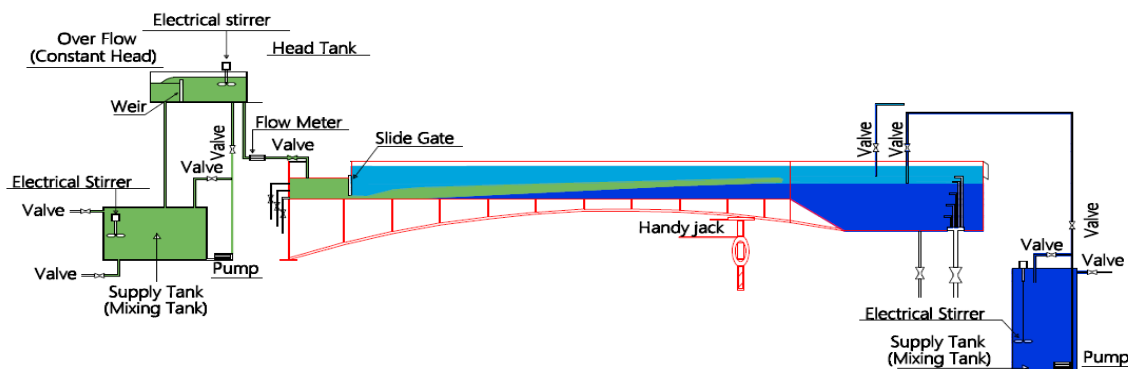


Fig. 1- Schematic view of experimental setup

شکل ۱- طرح شماتیک از فلوم و مخازن

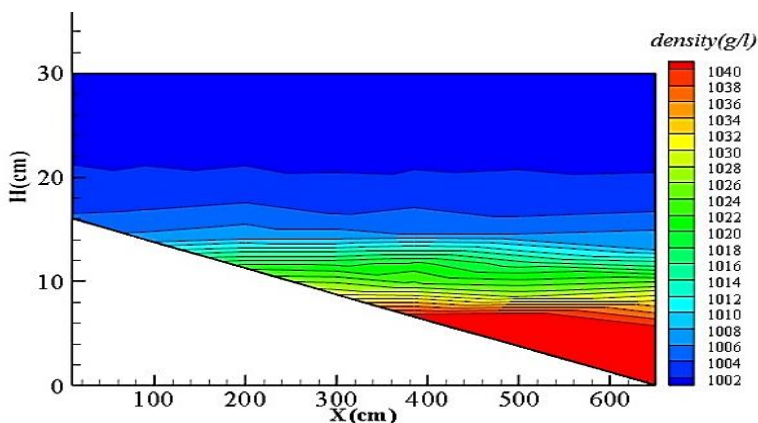


Fig. 2- Stratification of ambient fluid before experiment

شکل ۲- لایه بندی سیال پیرامون قبل از ورود جریان چگال

مخزن، غلظت ورودی به محفظه پشت دریچه دو مرتبه در طول آزمایش برداشت شد و میانگین آن به عنوان غلظت ورودی جریان چگال در نظر گرفته شد.

ساختار جریان چگال

جریان‌های چگال ممکن است در دو محدوده‌ی آرام و آشفته ظاهر شوند. معیاری که برای تعیین این دو محدوده‌ی جریان وجود دارد عدد رینولدز چگال است که به صورت معادله (۱) تعریف می‌شود:

$$Re = \frac{Uh}{\nu} \tag{1}$$

بر اساس یافته‌های Simpson (1997) با توجه به اینکه در جریان‌های چگال رینولدز بحرانی بزرگتر از ۱۰۰۰ است بنابراین برای اطمینان در تمام آزمایش‌ها دی‌ی ورودی در حالتی تنظیم شده است که رینولدز ورودی بیشتر از ۲۰۰۰ باشد براین اساس جریان ورودی

هر آزمایش با نام QqCcSs نام‌گذاری شد. که q, c و s در هر آزمایش متغیر و به ترتیب عدد مربوط به دی‌ی غلظت و شیب مورد آزمایش می‌باشند. به عنوان مثال Q2C15S3.25 آزمایش است که با دی‌ی دو لیتر بر ثانیه و غلظت ۱۵ گرم بر لیتر روی شیب ۳/۲۵ درصد انجام شده است.

شکل (۳) نمایی از فلوم و محل نصب پرآب‌های اندازه‌گیری سرعت را نشان می‌دهد. فاصله پرآب‌های اندازه‌گیری سرعت از دریچه ورودی جریان چگال در جدول (۱) نشان داده شده است. لازم به ذکر است مقدار حداقل دی‌ی به گونه‌ای انتخاب شد که عدد رینولدز جریان ورودی در محدوده‌ی آشفته قرار گیرد و مقدار حداکثر دی‌ی و معیار انتخاب شیب‌های مورد آزمایش براساس شرایط آزمایشگاه انتخاب شد. برای اندازه‌گیری چگالی جریان و غلظت آن از سه سیفون در طول فلوم به فاصله ۱، ۴ و ۶٫۵ متر از دریچه ورودی جریان چگال، استفاده شد. در جریان میان‌گذر، به دلیل احتمال ته‌نشین شدن رسوبات در طول لوله‌های انتقال جریان رسوبی و کف

و سیال پیرامون در آزمایش‌ها ثبت شده و در محاسبه لزجت تاثیر داده شده است، θ زاویه شیب بستر و g' در واقع همان شتاب ثقل کاهش یافته است و با معادله (۳) بیان می‌شود:

$$g' = \frac{\rho - \rho_w}{\rho_w} g \quad (۳)$$

ρ_w : چگالی سیال پیرامون که ثابت فرض می‌شود، ρ : چگالی جریان ورودی و g شتاب ثقل است. با توجه به تغییرات کم چگالی سیال پیرامون در ورودی، متوسط چگالی به عنوان چگالی سیال پیرامون در نظر گرفته شد. در این آزمایش‌ها با توجه به لایه‌بندی بودن سیال پیرامون از معادله (۴) برای به دست آوردن g' استفاده شد.

$$g' = \frac{g}{\rho_w} * \frac{\int_0^\infty \Delta\rho(z)u(z)dz}{\int_0^\infty u(z)dz} \quad (۴)$$

در تمام آزمایش‌ها در حالت آشفته بوده است. در ابتدای ورود جریان چگال به داخل سیال پیرامون برای مشخص نمودن رژیم جریان ورودی عدد فرود دنسیومتریکی و عدد رینولدز با مشخصات جریان در زیر دریاچه محاسبه شدند. عدد فرود دنسیومتریکی در جریان چگال به صورت معادله (۲) تعریف می‌شود:

$$F_{rD} = \frac{U}{\sqrt{g'hc\cos(\theta)}} \quad (۲)$$

در معادله‌های فوق U سرعت متوسط لایه چگال که با استفاده از رابطه پیوستگی در زیر دریاچه محاسبه شد، h ضخامت یا ارتفاع لایه چگال برابر با ارتفاع باز شدگی دریاچه، ν لزجت سینماتیک مخلوط ورودی که با توجه به ناچیز بودن تغییرات لزجت نسبت به آب خالص، از لزجت سینماتیکی آب خالص استفاده شده است (Firoozabadi et al, 2009). همچنین دمای جریان چگال

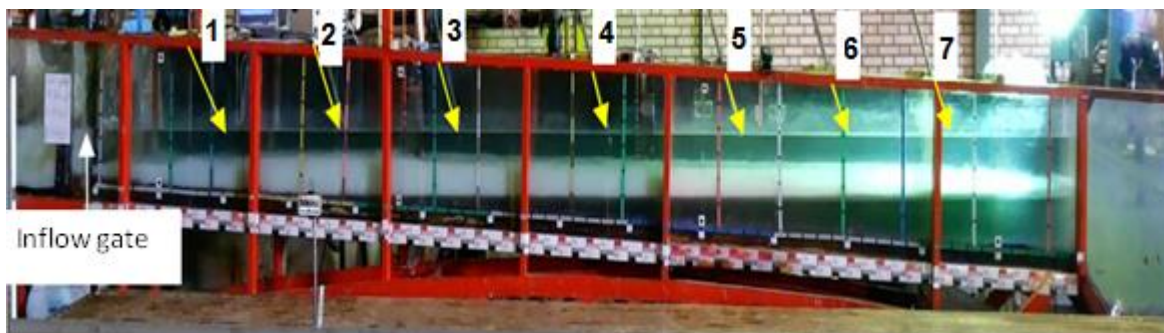


Fig. 3-A view of Q1.5C10S3.25 test and location of velocity measurement probes and the inflow gate
شکل ۳- نمایی از آزمایش Q1.5C10S3.25 و موقعیت پراب‌های اندازه‌گیری سرعت و دریاچه ورودی جریان چگال

جدول ۱ - فاصله پراب‌های اندازه‌گیری سرعت از دریاچه ورودی

Table 1- The distance of the velocity measurement probes from the inflow gate

Prob's number	1	2	3	4	5	6	7
The distance of the (cm) gate	95	185	275	385	480	550	620

جدول ۲- محدوده‌ی عدد فرود دنسیومتریکی و عدد رینولدز جریان

Table 2- The range of densimetric Froude number and Reynolds number

	F_{rD}		Re	
	Min	Max	Min	Max
Entrance (under the inflow gate)	0.1	0.26	2695	6738
In the whole of the flume	0.17	1.6	1669	11395

که در این رابطه $\frac{\partial \rho}{\partial z}$ و $\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$ به ترتیب تغییرات سرعت و غلظت در عمق می‌باشند. اگر $Ri_g \geq 0.25$ جریان دارای لایه‌بندی پایدار است. لایه‌بندی پایدار به معنی عدم تلاطم در جریان نمی‌باشد.

نتایج و بحث

برای دستیابی به اهداف این پژوهش در مجموع ۴۸ آزمایش انجام شد. در هر آزمایش پروفیل‌های سرعت در هفت مقطع اندازه‌گیری شد. نوسان‌های سرعت با برنامه متلب حذف شد. سپس مقدار متوسط سرعت و ارتفاع از رابطه‌های (۵) و (۶) به‌دست آمد. مشخصات آزمایش‌های انجام شده در جدول (۳) آورده شده است. شکل (۴) پروفیل‌های سرعت اندازه‌گیری شده را برای آزمایش Q1.5C10S3.25 نشان می‌دهد. لازم به ذکر است محور افقی در این شکل فاصله از دریچه است. با مقایسه شکل (۳) و (۴) مشاهده می‌شود با پیشروی جریان در طول فلوم با افزایش ارتفاع جریان از کف فلوم ارتفاع پروفیل‌های سرعت نیز افزایش یافته است. با توجه به این که آزمایش‌ها با ۴ دبی متفاوت انجام شد در ابتدا به بررسی اثر دبی بر روی پروفیل‌های سرعت در جریان میان‌گذر پرداخته می‌شود. با توجه به زیاد بودن تعداد پرابه‌های اندازه‌گیری سرعت و از آنجا که روند تغییرات سرعت در تمامی پرابه‌ها شبیه یکدیگر است در اینجا سه پرابه برای بررسی پروفیل سرعت در سه موقعیت از جریان انتخاب شدند یکی در ابتدای فلوم که در این مرحله جریان زیرگذر است و دیگری در وسط فلوم که در این مرحله تقریباً جریان از کف جدا شده و شروع به پیشروی در سیال پیرامون کرده است. و در نهایت یکی در انتهای فلوم که در این موقعیت جریان بطور کامل میان‌گذر است.

همان‌طور که در شکل (۵) (A) مشاهده می‌شود سرعت جریان چگال در ابتدا به دلیل تفاوت زیاد چگالی بین جریان چگال و سیال پیرامون، زیاد است. در این مرحله افزایش دبی سبب افزایش ضخامت جریان چگال و همین‌طور افزایش سرعت جریان شده است. در این مرحله نیروی گرانش و اصطکاک روی شیب به تعادل می‌رسند و جریان تا قبل از اینکه از بستر جدا شود و وارد سیال پیرامون گردد سرعت تقریباً ثابتی دارد. با پیشروی جریان چگال در طول فلوم، جایی که چگالی جریان با چگالی سیال پیرامون برابر شود جریان از کف جدا شده و به‌صورت افقی وارد سیال پیرامون می‌شود در این مرحله سرعت جریان چگال کاهش می‌یابد. درصد کاهش سرعت جریان بین مقاطع اندازه‌گیری در جدول (۴) آمده است، که پارامتر T زمان رسیدن پیشانی جریان به فاصله ۷ متری از دریچه ورودی جریان چگال است. شکل (۵) (B) پروفیل‌های سرعت جریان اندکی بعد از جدایی جریان از کف را نشان می‌دهد. در این مرحله سرعت جریان نسبت به حالت زیرگذر کمتر شده است، زیرا ضخامت

$u(z)$ سرعت متوسطی است که توسط دستگاه سرعت سنج ثبت می‌شود. $\Delta\rho(z)$ اختلاف چگالی بین دو ارتفاع که سرعت در آن دو ارتفاع توسط دستگاه سرعت سنج ثبت شده است. عدد رینولدز و عدد فرود چگال در طول فلوم با مشخصات جریان چگال محاسبه شدند. محدوده‌ی عدد فرود و رینولدز در جدول (۲) بیان شده است.

برای بررسی پروفیل‌های سرعت چون فصل مشترک بین جریان چگال و سیال پیرامون به راحتی قابل تشخیص نیست، از مقادیر متوسط سرعت و ارتفاع استفاده شده است. با استفاده از روابط بقای جرم و بقای مومنتوم درجریان چگال داریم:

$$\bar{U} = \frac{\int_0^\infty u(z)^2 dz}{\int_0^\infty u(z) dz} \quad (5)$$

$$\bar{h} = \frac{(\int_0^\infty u(z) dz)^2}{\int_0^\infty u(z)^2 dz} \quad (6)$$

پروفیل سرعت به‌وسیله دستگاه سرعت‌سنج پروفایلر اکوستیک DOP2000 ثبت شده است. اندازه‌گیری سرعت در این دستگاه با روش اکوستیک و بوسیله پرابه‌های ساطع و دریافت‌کننده فرکانس می‌باشد. پروفیل سرعت در هفت مقطع با فاصله تقریباً یک متر و روی خط مرکزی فلوم برداشت شده است. مجذور عکس عدد فرود را عدد ریچاردسون می‌نامند که با معادله (۷) بیان می‌شود:

$$Ri = \frac{g' h \cos(\theta)}{U^2} \quad (7)$$

h و U به ترتیب سرعت و ارتفاع به‌دست آمده از رابطه (۵) و (۶) می‌باشند. g' نیز از معادله (۴) به‌دست آمد. Turner (1973) بیان کرد که لایه‌بندی پایدار زمانی اتفاق می‌افتد که به‌طور کلی چگالی از کف به سمت بالا کاهش یابد. بنابراین عدد ریچاردسون محلی برای نشان دادن نواحی از جریان است که دارای لایه‌بندی ناپایداری نسبت به کل جریان هستند و به شکل دیفرانسیلی معادله (۸) قابل تعریف می‌باشند:

$$Ri_g = \frac{\text{Buoyancy Force}}{\text{Shear Force}} = -\frac{g \frac{\partial \rho}{\partial z} \forall l}{\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2 l^2 A} \quad (8)$$

$$= -\frac{g \frac{\partial \rho}{\partial z}}{\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2}$$

وقتی که جریان از حالت زیرگذر تبدیل به میان گذر می شود با افزایش دبی از ۱ تا ۲/۵ لیتر بر ثانیه درصد کاهش سرعت به ترتیب ۱۲، ۱۴ و ۱۵ درصد در شیب های ۳/۲۵، ۲/۵ و ۴ درصد کاهش یافته است (جدول ۴). شکل (۵) (C) پروفیل های سرعت جریان را در حالتی که جریان کاملاً میان گذر است نشان می دهد. با مقایسه شکل (۵) (ب) و (ج) مشاهده می شود ضخامت پروفیل های سرعت در این مرحله تقریباً ثابت است. در این مرحله با حرکت رو به جلوی جریان میان گذر در سیال پیرامون ذرات رسوبی که در جریان وجود دارند تمایل به ته نشین شدن دارند و از ارتفاع بالاتر جریان به سمت لایه زیرین حرکت می کنند و چگالی قسمت های پایینی جریان بیشتر از قسمت های بالایی آن می شود در نتیجه ارتفاعی که در آن سرعت بیشینه اتفاق افتاده است به مرز مشترک پایینی نزدیک تر می شود.

جریان به دلیل اختلاط در سطح مشترک بالایی و پایینی افزایش یافته است و حرکت جریان در یک مسیر افقی ادامه می یابد. لازم به ذکر است وقتی جریان میان گذر می شود اختلاط در سطح مشترک بالایی بیشتر از سطح مشترک پایینی است زیرا اختلاف چگالی زیاد جریان با لایه زیرین باعث ایجاد نیروی محرکی می شود که از اختلاط زیاد در سطح مشترک پایینی جلوگیری می کند. افزایش دبی سبب کاهش رسوب گذاری جریان چگال در طی حرکت می شود در نتیجه افزایش اختلاف چگالی جریان با سطح مشترک بالایی و کاهش اختلاف چگالی جریان با سطح مشترک پایینی را به دنبال دارد. که این فرایند سبب اختلاط بیشتر در سطح مشترک بالایی و نیروی محرک کمتر در سطح مشترک پایینی می شود در نتیجه اثر ترکیبی این دو باعث می شود کاهش سرعت جریان در دبی های بالاتر کمتر از دبی های پایین تر اتفاق می افتد. بطور متوسط

جدول ۳- مشخصات آزمایش های انجام شده

Table 3- Experimental run characteristic

Test	Test series for 2.5% slope				Test series for 3.25% slope				Test series for 4% slope			
	$C_{in}(\frac{g}{l})$	$\rho(\frac{g}{cm^3})$	$U_f(\frac{mm}{s})$	Ri	$C_{in}(\frac{g}{l})$	$\rho(\frac{g}{cm^3})$	$U_f(\frac{mm}{s})$	Ri	$C_{in}(\frac{g}{l})$	$\rho(\frac{g}{cm^3})$	$U_f(\frac{mm}{s})$	Ri
Q1C5	6.5	1004.16	27.50	1.09	4.13	1002.67	28.00	1.46	4.93	1003.17	32.64	4.24
Q1.5C5	4.74	1003.6	36.85	1.42	4.29	1002.78	41.12	1.34	4.63	1002.99	42.41	3.44
Q2C5	3.76	1002.45	43.59	1.03	4.65	1003	43.18	3.7	3.88	1002.52	45.33	2.95
Q2.5C5	4.26	1002.76	51.87	0.83	4.23	1002.74	45.37	3.02	4.50	1002.91	49.7	2.86
Q1C10	8.95	1005.69	38.05	2.63	6.79	1004.34	38.91	1.25	7.40	1004.12	39.06	1.91
Q1.5C10	10.27	1006.52	44.76	1.27	9.05	1005.76	52.91	1.29	8.21	1005.29	45.45	0.93
Q2C10	8.57	1005.46	52.08	0.88	9.31	1005.92	60.24	1.28	7.96	1005.08	48.45	3.23
Q2.5C10	9.56	1006.08	61.96	0.95	8.78	1005.58	62.50	1.93	8.78	1005.58	56.24	1.08
Q1C15	12.8	1008.01	39.15	1.54	14.56	1009.21	52.36	0.94	11.46	1007.27	44.8	3.04
Q1.5C15	12.45	1007.88	56.75	1.13	13.73	1008.68	50.92	3.87	13.33	1008.43	53.19	1.56
Q2C15	13.03	1008.24	59.45	0.88	13.30	1008.42	62.50	1.3	12.60	1010.42	55.56	0.79
Q2.5C15	13.01	1008.24	69.96	1.11	13.14	1008.31	72.46	1.26	11.69	1009.67	57.47	1.5
Q1C20	19.51	1012.3	44.05	1.17	16.41	1010.36	46.90	5.72	13.33	1011.02	53.25	3.29
Q1.5C20	16.6	1010.29	63.13	0.54	17.73	1011.19	71.43	1.28	14.74	1012.19	58.89	1.12
Q2C20	20.71	1013.06	77.76	0.48	18.49	1011.66	72.55	0.64	15.70	1012.99	52.14	0.87
Q2.5C20	18.91	1011.93	86.81	0.72	15.43	1009.75	52.58	2.15	16.88	1013.96	73.75	4.85

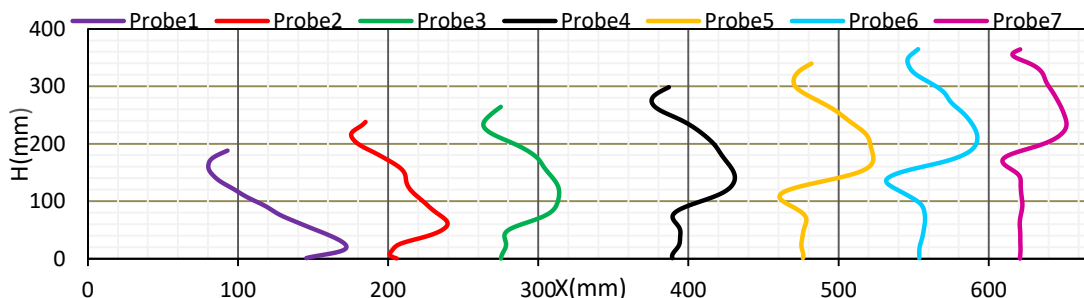


Fig. 4-Interflow's velocity profiles

شکل ۴- پروفیل های سرعت در طول جریان میان گذر

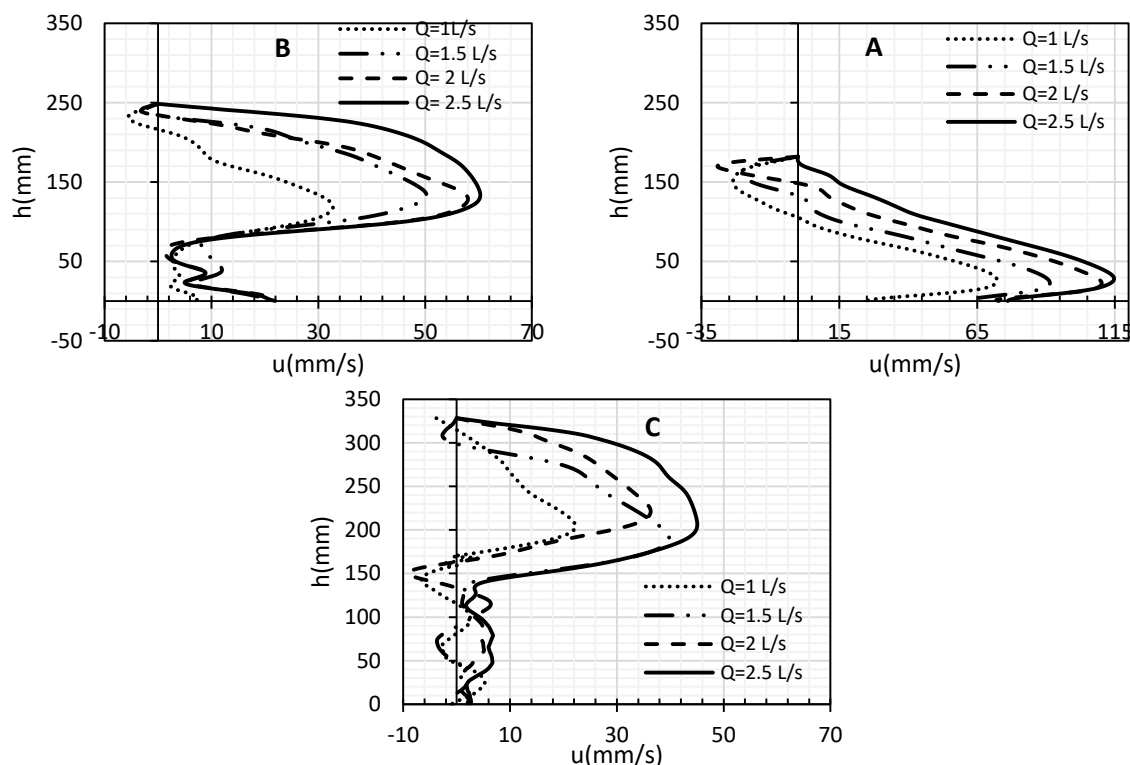


Fig. 5- Velocity profiles for the concentration of 15 mg/L and the slope of 2.5%. A) Prob No. 1, B) Prob No. 4 and C) Prob No. 7

شکل ۵- پروفیل‌های سرعت برای غلظت ۱۵ میلی گرم بر لیتر و شیب ۲/۵ درصد. الف) پراب شماره ۱، ب) پراب شماره ۴ و ج) پراب شماره ۷

جدول ۴- درصد کاهش سرعت بین پراب‌ها

Table 4- Percentage of deceleration between probes

Test	Test series for 2.5% slope			Test series for 3.25% slope			Test series for 4% slope		
	T(S)	$\left(\frac{U_4 - U_1}{U_1}\right)_0$	$\left(\frac{U_7 - U_4}{U_4}\right)_0$	T(S)	$\left(\frac{U_4 - U_1}{U_1}\right)_0$	$\left(\frac{U_7 - U_4}{U_4}\right)_0$	T(S)	$\left(\frac{U_4 - U_1}{U_1}\right)_0$	$\left(\frac{U_7 - U_4}{U_4}\right)_0$
Q1C5	180	42.69	3.17	244	35.56	11.39	300	1.88	11.40
Q1.5C5	267	48.28	32.8	192	37.19	13.95	193	3.64	2.08
Q2C5	192	30.94	12	216	6.11	12	205	2.19	39.13
Q2.5C5	144	33.54	15.39	202	7.43	6.87	157	16.21	1.21
Q1C10	232	49.04	32.34	203	45.42	14.68	225	52.62	31.22
Q1.5C10	167	52.44	8.27	155	41.88	29.30	153	0.71	34.14
Q2C10	139	50.78	10.94	120	2.3	20.67	176	13.82	14.05
Q2.5C10	112	40.39	39.81	119	19.77	23.31	133	28.89	29.81
Q1C15	215	57.93	33.18	131	3.72	34.46	187	31.70	25.8
Q1.5C15	131	44.76	23.06	221	35.37	4.73	144	25.72	30.8
Q2C15	111	44.99	38.45	108	18.47	25.12	117	17.07	15.29
Q2.5C15	108	40.53	26.21	103	14.10	28.23	127	47.57	1.35
Q1C20	178	58.11	5.04	217	36.80	7.73	190	47.42	33.11
Q1.5C20	106	49.42	43.36	98	28.18	56.85	119	93.42	15.70
Q2C20	91	49.34	39.58	101	47.08	60.89	146	55.60	1.18
Q2.5C20	88	43.98	35.63	151	56.04	13.84	96	24.54	2.08

پنج تا ۲۰ گرم بر لیتر درصد کاهش سرعت بدنه به ترتیب ۱۱، ۲۰ و ۳۶ درصد در شیب‌های ۳/۲۵، ۲/۵ و ۴ درصد افزایش یافته است.

شکل (۶) (C) پروفیل‌های سرعت را در حالتی که جریان کاملاً میان‌گذر است، نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در این مرحله ضخامت پروفیل‌ها ثابت شده است زیرا جریان در این مرحله در لایه‌ای که چگالی سیال پیرامون با چگالی جریان برابر باشد بطور افقی تمایل به حفظ حرکت خود دارد.

در مرحله‌ای که جریان از حالت زیرگذر تبدیل به میان‌گذر می‌شود کاهش سرعت بیشتر از مرحله‌ای است که جریان به صورت میان‌گذر به حرکت خود ادامه می‌دهد. زیرا در مرحله اول حرکت جریان از شیب‌دار به افقی تبدیل می‌شود، لذا شیب هیدرولیکی جریان به صفر میل می‌کند. در ادامه تحت همان انرژی اولیه (زمان جدا شدن جریان از بستر) ادامه مسیر می‌دهد و تنش برشی وارد بر جریان در این حالت کمتر است، بنابراین مشخصات جریان در بازه کوتاه مورد آزمایش تغییر محسوسی ندارد.

همان‌طور که در شکل (۶) (A) مشاهده می‌شود پروفیل‌های سرعت با افزایش غلظت افزایش یافته‌اند در غلظت پنج گرم بر لیتر چون اختلاف چگالی جریان ورودی و سیال پیرامون کم است، جریان در این مقطع از بستر جدا شده است و به صورت میان‌گذر در سیال پیرامون در حال حرکت است، بنابراین شکل پروفیل سرعت با بقیه پروفیل‌ها متفاوت است. با افزایش غلظت، ارتفاع پروفیل‌های سرعت کاهش یافته است و مقدار بیشینه سرعت افزایش یافته است زیرا افزایش غلظت سبب افزایش اختلاف چگالی شده است و اختلاف چگالی سرعت جریان را افزایش می‌دهد. شکل (۶) (B) پروفیل‌های جریان چگال را در حالتی که جریان از کف جدا شده و وارد سیال پیرامون می‌شود، نشان می‌دهد. سرعت جریان بعد از جدا شدن از بستر کاهش یافته است. با افزایش غلظت ارتفاع نقطه سرعت بیشینه کاهش یافته است زیرا جریان چگال‌تر است و ذرات رسوب در جریان به لایه‌های پایین‌تر سقوط کرده بنابراین چگالی جریان در این لایه‌ها افزایش یافته و سرعت بیشتر شده است. بطور متوسط وقتی جریان از حالت زیرگذر تبدیل به حالت میان‌گذر می‌شود با افزایش غلظت از

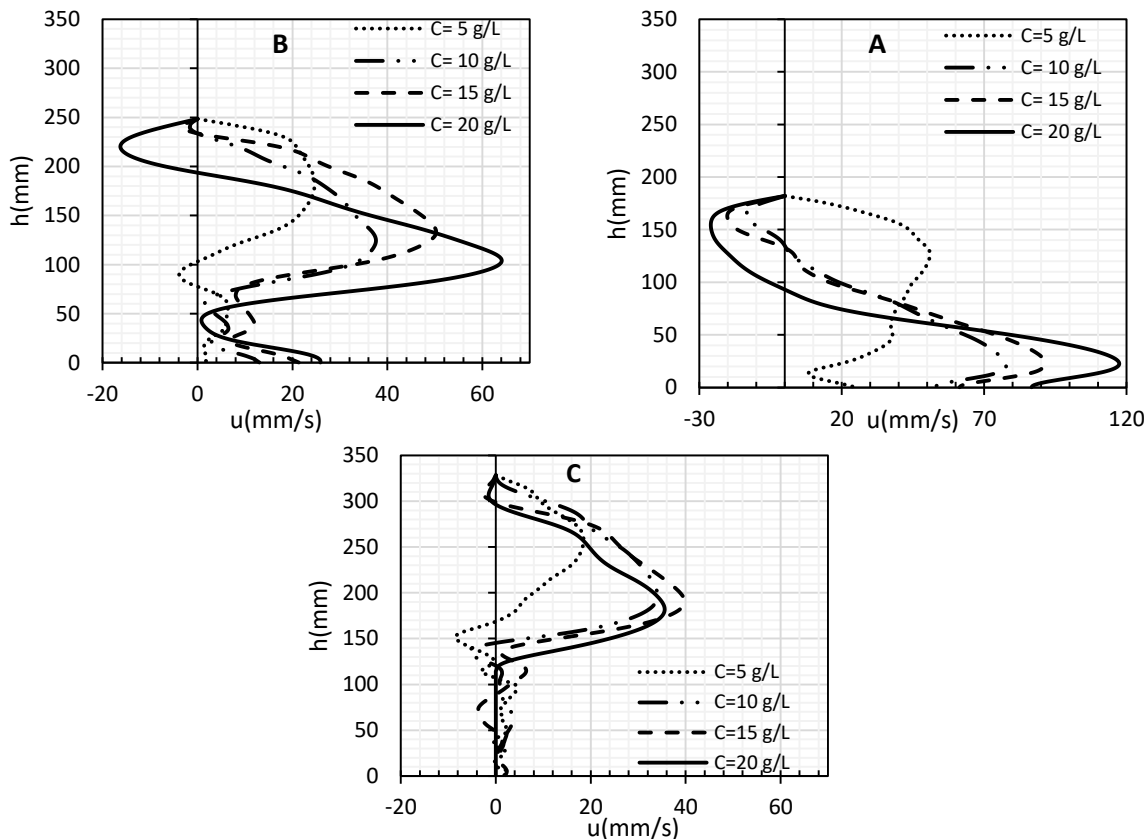


Fig. 6- Velocity profiles for the discharge of 1.5 L/S and the slope of 2.5%. A) Prob No. 1, B) Prob No. 4 and C) Prob No. 7

شکل ۶- پروفیل‌های سرعت برای دبی ۱/۵ لیتر بر ثانیه و شیب ۲/۵ درصد. الف) پراب شماره ۱، ب) پراب شماره ۴ و ج) پراب شماره ۷

تأثیر شیب

همان‌طور که در ابتدا بیان شد آزمایش‌ها روی سه شیب ۲/۵، ۳/۲۵ و ۴ درصد انجام شد. شکل (۷) پروفیل سرعت را در سه شیب مورد آزمایش نشان می‌دهد. در هر شیب ارتفاع آب در ابتدای فلوم با توجه به برابر بودن حجم سیال پیرامون در لایه‌بندی، متفاوت است. بطوری که در شیب ۲/۵ درصد ارتفاع آب حدود ۱۳ سانتی‌متر، در شیب ۳/۲۵ درصد ارتفاع آب حدود ۱۶ سانتی‌متر و در شیب چهار درصد ارتفاع آب حدود ۲۰ سانتی‌متر است. با توجه به شکل (۷) مشاهده می‌شود که با افزایش شیب سرعت جریان ابتدا افزایش یافته است و سپس کاهش یافته است. به این دلیل که با افزایش شیب، نیروی محرک جریان چگال افزایش می‌یابد. افزایش نیروی محرک سبب افزایش درون آمیختگی می‌شود در نتیجه افزایش درون آمیختگی باعث اتلاف مومنوم می‌شود. به‌طور کلی با افزایش شیب سرعت جریان افزایش می‌یابد. در اینجا تعادل اثر ترکیبی این دو باعث تغییرات در سرعت جریان می‌شود.

عدد ریچاردسون

از آنجایی که سیال چگال در میان سیال پیرامون با لایه‌بندی مختلف در حرکت است عدد ریچاردسون را می‌توان بین هر دو لایه، بسته به تعریف $\Delta\rho$ تعریف کرد. اگر چگالی لایه‌های سیال پیرامون و جریان چگال را متوسط گیری کنیم می‌توان فرض کرد سه لایه با چگالی‌های مختلف در میان یکدیگر وجود دارد. عدد ریچاردسون را می‌توان به سه روش مختلف تعریف کرد: اول $Ri_{(C-T)}$ که به‌وسیله اختلاف چگالی بین جریان و سیال لایه بالایی تعریف می‌شود. این تعریف از عدد ریچاردسون بستگی به سرعت و ارتفاع جریان غلیظ دارد. همان‌طور که جریان در ابتدا زیرگذر است و با لایه بالایی برخورد می‌کند. اگر جریان در محیط یکنواخت پخش شود، تنها این تعریف از عدد ریچاردسون مناسب خواهد بود. دیگری $Ri_{(B-C)}$ به وسیله اختلاف

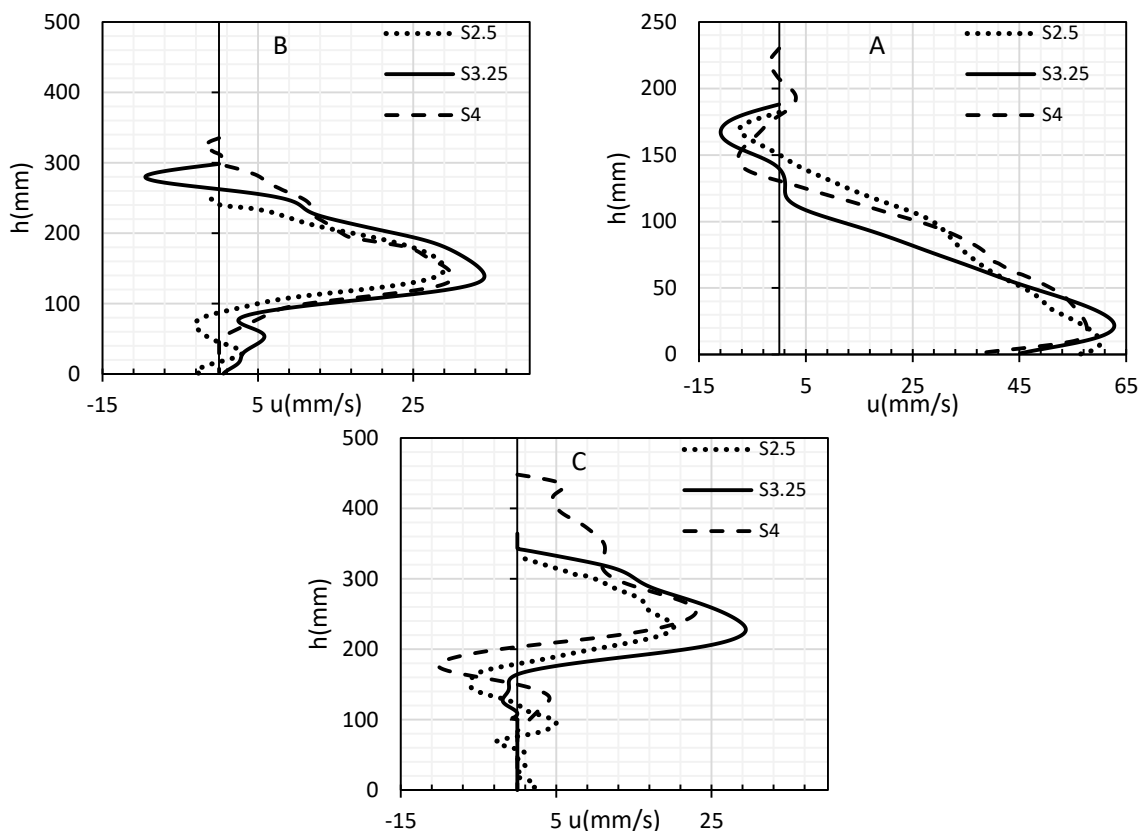


Fig. 7- Velocity profiles for the discharge of 1 L/S and the concentration of 10 g/L in three slopes of 2.5%, 3.25% and 4% a) Probe No. 1, B) Probe No. 4 and C) Probe No.7

شکل ۷- پروفیل‌های سرعت برای دبی ۱ لیتر بر ثانیه و غلظت ۱۰ گرم بر لیتر در سه شیب ۲/۵، ۳/۲۵ و ۴ درصد الف) پراب شماره ۱، ب) پراب شماره ۴ و ج) پراب شماره ۷

است و با توجه به رابطه (۷) کم شدن سرعت باعث افزایش عدد ریچاردسون می‌شود. وقتی جریان میان‌گذر وارد سیال پیرامون می‌شود آشفتگی ناشی از مرز به سرعت از بین می‌رود و تنش برشی وارد شده به جریان نسبت به حالتی که روی بستر صلب حرکت می‌کند کاهش می‌یابد و تنها تنش برشی بین دو سیال روی اختلاط اثر دارد. با حرکت رو به جلوی جریان پیشانی آن نازک‌تر می‌شود.

به دلیل اختلاط در سطح مشترک ضخامت بدنه جریان بیشتر می‌شود در نتیجه سرعت پیشانی جریان در حالت میان‌گذر بیشتر از سرعت بدنه جریان می‌شود. عواملی مانند اختلاف چگالی سیال پیرامون با جریان و سرعت اولیه جریان مقدار سرعت پیشانی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در محل پراب شماره یک جریان زیر گذر است و در بیشتر آزمایش‌ها سرعت پیشانی کمتر از سرعت بدنه است اما با افزایش شیب نیروی محرک جریان افزایش می‌یابد در نتیجه سرعت بدنه جریان افزایش می‌یابد. بنابراین نسبت سرعت بدنه به سرعت پیشانی کم می‌شود.

چگالی بین سیال لایه پایینی و جریان تعریف می‌شود. بعد از میان‌گذر شدن، جریان چگال با سیال لایه پایینی رو به رو می‌شود. این تعریف از عدد ریچاردسون، میزان سیالی که از لایه پایینی وارد جریان چگال می‌شود را کنترل می‌کند. در نهایت $Ri(B-T)$ به وسیله اختلاف چگالی بین سیال لایه پایینی و سیال لایه بالایی تعریف می‌شود. این تعریف از عدد Ri نشان دهنده دوام نسبی سطح مشترک است. شکل (۸) عدد ریچاردسون محاسبه شده از رابطه (۷) را در مقابل سرعت محاسبه شده از رابطه ۵ نسبت به سرعت پیشانی جریان در سه شیب مورد آزمایش را نشان می‌دهد. عدد ریچاردسون کمتر از یک در شکل (۸) (A) نشان دهنده‌ی فوق بحرانی بودن جریان در این مرحله است. در این محدوده جریان چگال پس از یک پرش هیدرولیکی که قبل از میان‌گذر شدن اتفاق می‌افتد تبدیل به زیر بحرانی می‌شود. محدوده عدد Ri به شدت تحت تاثیر سرعت جریان چگال قرار دارد. عددهای ریچاردسون بزرگ به ازای دبی‌های کم اتفاق افتاده‌اند. زیرا سرعت بدنه در دبی‌های کم کوچکتر

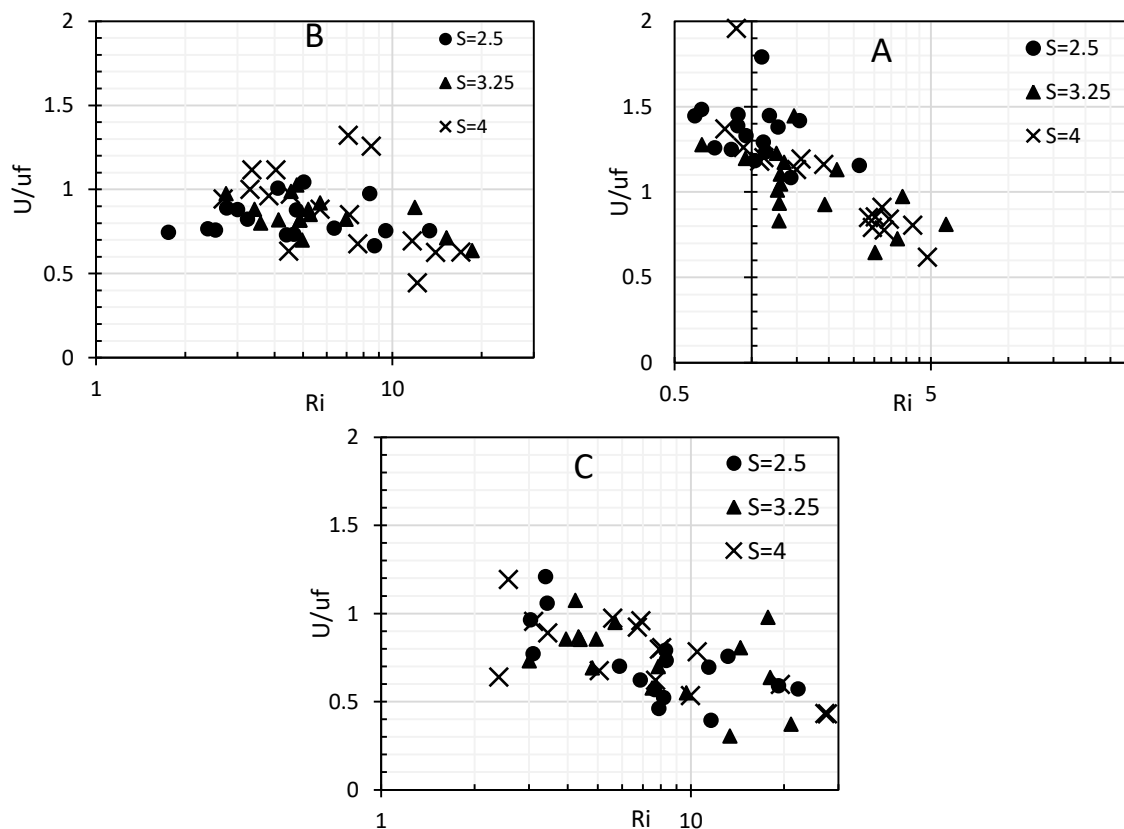


Fig. 8- Richardson's number a) probe No. 1, b) probe No. 4 and c) probe No. 7

شکل ۸- عدد ریچاردسون الف) پراب شماره ۱، ب) پراب شماره ۴ و ج) پراب شماره ۷

نتیجه گیری

در یک غلظت مشخص با افزایش دبی، ضخامت و سرعت جریان افزایش می‌یابد. در یک دبی ثابت با افزایش غلظت ارتفاع نقطه سرعت بیشینه کاهش یافته است. سرعت پیشانی جریان در حالت میان‌گذر بیشتر از سرعت بدنه است. ضخامت پیشانی جریان نیز کمتر از ضخامت بدنه است. با افزایش غلظت مقدار شتاب ثقل کاهش یافته جریان در سیال لایه بندی شده افزایش می‌یابد.

برای شناخت پروفیل سرعت در جریان چگال میان‌گذر نتایج حاصل از این پژوهش به صورت زیر است: وقتی که جریان از حالت زیرگذر به میان‌گذر تبدیل می‌شود با افزایش دبی از یک تا $2/5$ لیتر بر ثانیه درصد کاهش سرعت به ترتیب ۱۲، ۱۴ و ۱۵ درصد در شیب‌های $3/25$ ، $2/5$ و چهار درصد کاهش یافته است. به عبارت دیگر با افزایش دبی اختلاف سرعت بدنه در حالت زیرگذر با حالت میان‌گذر کمتر شده است. همچنین افزایش دبی ضخامت پروفیل‌های سرعت را افزایش می‌دهد. با افزایش غلظت از پنج تا ۲۰ گرم بر لیتر وقتی جریان از حالت زیرگذر تبدیل به حالت میان‌گذر می‌شود درصد متوسط کاهش سرعت بدنه به ترتیب ۱۱، ۲۰ و ۳۶ درصد در شیب‌های $3/25$ ، $2/5$ و ۴ درصد افزایش یافته است. به عبارت دیگر با افزایش غلظت اختلاف سرعت متوسط در حالت زیرگذر و میان‌گذر بیشتر شده است.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد. (SCU.WH1397.86).

References

- Ahlfeld, D., Joaquin, A., Tobiasson, J. & Mas, D. 2003. Case study: Impact of reservoir stratification on interflow travel time. *Journal of hydraulic engineering*, 129, 966-975. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:12(966)
- Baines, P. G. 2001. Mixing in flows down gentle slopes into stratified environments. *Journal of Fluid Mechanics*, 443, 237-270. doi: 10.1017/S0022112001005250
- Benjamin, T. B. 1968. Gravity currents and related phenomena. *Journal of Fluid Mechanics*, 31. doi: 10.1017/S0022112068000133
- Cortes, A., Wells, M., Fringer, O., Arthur, R. & Rueda, F. 2015. Numerical investigation of split flows by gravity currents into two-layered stratified water bodies. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120, 5254-5271. doi: 10.1002/2015JC010722
- De Rooij, F., Lindeny, P. F. & Dalziel, S. B. 2002. Saline and particle-driven interfacial intrusions. *Journal of Fluid Mechanics*, 389, 303-334. doi: 10.1017/S0022112099005078
- Firoozabadi, B., Afshin, H. & Aram, E. 2009. Three-dimensional modeling of density current in a straight channel. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135, 393-402. doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000026
- He, Z., Zhao, L., Lin, T., Hu, P., Lv, Y., Ho, H.-C. & Lin, Y.-T. 2016. Hydrodynamics of gravity currents down a ramp in linearly stratified environments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143, 04016085. doi: 10.1017/jfm.2023.146
- Hopfinger, E. & Tochon-Danguy, J. C. 1977. A model study of powder-snow avalanches. *Journal of Glaciology*, 19, 343-356. doi: 10.3189/S0022143000029373
- Imberger, J., Rory, T. & Fandray, Ch. 1976. Selective withdrawal from a finite rectangular tank. *Journal of Fluid Mechanics*, 78, 489-512. doi: 10.1017/S0022112076002577
- Lowe, R., Linden, P. F. & Rotman, J. W. 2002. A laboratory study of the velocity structure in an intrusive gravity current. *Journal of Fluid Mechanics*, 456, 33-48. doi: 10.1017/S0022112001007303

- 11- Middleton, G. V. 1993. Sediment deposition from turbidity currents. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 21, 89-114. doi: 10.1146/annurev.ea.21.050193.000513
- 12- Samothrakis, P. & Cotel, A. 2006. Propagation of a gravity current in a two-layer stratified environment. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111. doi: 10.1029/2005JC003125
- 13- Simpson, J. E. 1997. *Gravity Currents: In the Environment and the Laboratory* Cambridge University Press. doi: 10.1017/S0022112097227527
- 14- Snow, K. & Sutherland, B. R. 2014. Particle-laden flow down a slope in uniform stratification. *Journal of Fluid Mechanics*, 755, 251-273. doi: 10.1017/jfm.2014.413
- 15- Sutherland, B. R., Kyba, P. J. & Flynn, M. R. 2004. Intrusive Gravity Currents in Two layer Fluids. *Journal of Fluid Mechanics*, 514, 327-353. doi: 10.1017/S0022112004000394
- 16- Thompson, B. 1986. Small-scale katabatics and cold hollows. *Weather*, 41, 146-153. doi: 10.1002/j.1477-8696.1986.tb03813.x
- 17- Turner, J. S. 1973. *Buoyancy effects in fluids*, Cambridge University Press. doi: 10.1002/qj.49710645020
- 18- Valentine, G. A. 1987. Stratified flow in pyroclastic surges. *Bulletin of Volcanology*, 49, 616-630. doi: 10.1007/BF01079967
- 19- Wells, M. & Nadarajah, P. 2008. The Intrusion Depth of Density Currents Flowing into Stratified Water Bodies. *Journal of Physical Oceanography*, 39, 1935-1947. doi: 10.1175/2009JPO4022.1
- 20- Zhang, X. F., Ren, S., Lu, J. Q. & Lu, X. H. 2015. Effect of thermal stratification on interflow travel time in stratified reservoir. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*, 16, 265-278. doi: 10.1631/jzus.A1400269

In The Name of God

Irrigation Sciences and Engineering

(Scientific)

Vol. 47 (2)

Summer 2024

Board of Editors

AkhondAli, A. M.	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Ghomeshi, M	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Heydarpour, M.	Professor	Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology
Kashefipour, S. M.	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Liaghat, A. M.	Professor	Faculty of Agriculture, University of Tehran
Hosseinzadeh Dalir, A.	Professor	Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
Naseri, A. A.	Professor	Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Zand Parsa, Sh.	Professor	Faculty of Agriculture, Shiraz University of Technology
Pagliara, Stefano.	Professor	Department of Civil Engineering, University of Pisa, Italy
Sai Hin, L.	Associate Professor	Department Of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, Malaysia
Ahmadian, R.	Professor	Department of Civil Engineering, School of Engineering, Cardiff University, UK
Ritzema, H.	Associate Professor	Water Resources Management Group, Environmental Sciences Group, Wageningen University & Research, Netherland

Published by: Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Sciences Engineering, Ahvaz, Iran.

Director: BoromandNasab, S.

Editor-in-Chief: Kashefipour, S.M.

Editorial Manager: Yazdani, N

Type Setting: Yazdani, N.

E-mail: JISE.Water@Scu.ac.ir
JISE.Water@yahoo.com

Publication license of the Ministry of Culture and Islamic Guidance No. 10362/124 on 29/12/1998 and license of the Journal Review Office of the Ministry of Science, Research and Technology No. 11/3/1264 on 21/10/2009 for the Journal of Irrigation Sciences and Engineering.

Contents

Title	Authors	Page
The Effect of submerged wall constructed by six leg elements on the Bed Topography of the 90-degree mild bend	F. Velayati, M. Shafai Bajestan and S. M. Kashefipour	1
Use of analytical data and intelligent models in runoff precipitation simulation (Case study: Bazoft basin)	B. Zaki, A.M. Akhoond-Ali, M. Fathi-Moghadam and M.A. Maddah	17
Clarifying the institutional barriers to adapting the water resources system to climate change in the Qarrango Basin	D. Behboudi and F. Ghorbani	31
A comparative study using a data-driven method versus a hybrid approach to estimate daily reference evapotranspiration in Ahvaz	M. Sharafi, S. Besharat and K. Zeinalzadeh	53
Effect of Climate Change on Water Requirement of Rice Crop in the Tajan Watershed	F. Jafari, H. R. Moradi and A. Bagheri	69
Modeling and investigation of annual Nitrate pollution trend of Tajan River with QUAL2Kw and HEC-RAS)	M. Radfar and F. Alipour Nasirmahale	87
Assessing Yield and Water Productivity of Sweet Corn Variety (KSC403) under Precise Irrigation Management	E. Naderi Bani, M. A. Gholami Sefidkouhi and M. I. Kamali Pashakolaei	105
Experimental Investigation of Velocity Profile in Interflow Density Current	M. Sadeghi Askari and M.Ghameshi	119