



صفحه	نویسندگان	عنوان
۱	رسول دانشفراز، احسان امین‌وش و پریسا عبادزاده	بررسی آزمایشگاهی تأثیر هندسه آستانه بر پدیده هیستریزیس جریان با رژیم فوق بحرانی
۱۷	محمدرضا رحمانی، صائب خوشنوار کومله، سعید برومند نسب و احسان دریکوند	تأثیر تنش آبی و استفاده از سطوح مختلف سوپرجاذب اکوازورب ۳۰۰۵ روی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در روش آبیاری قطره‌ای
۳۵	مهديه فروزان‌مهر، مهدی دستورانی، مصطفی یعقوب‌زاده و سعیده حسین‌آبادی	پیش‌آگاهی مخاطره خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک زابل براساس برون‌داد مدل‌های اقلیمی CMIP6
۵۷	محمد حسین جعفری ابنوی، رضا محمدپور و محمد کریم بیرامی	بررسی آزمایشگاهی مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های واگرا-همگرا
۶۹	نرگس بهرامی دمنه، سمیه سلطانی گردفرامری، مرتضی قیصوری و ابوالفضل عزیزیان	بررسی گام‌های زمانی خشک‌سالی و اثر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کمی و کیفی آب رودخانه پلاسجان
۸۵	درسا دریکنده، علی شاهنظری، مجتبی خوش روش و گریت هوگنبوم	تأثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی برنج، بهره‌وری آب، و عملکرد برنج با استفاده از آنالیز ریسک
۱۰۳	مصطفی آدینه، محمود شفاعی بجستان و حسام قدوسی	مدل سازی عددی رسوب‌شویی (فلاشینگ) در سدها (مطالعه موردی سد سفیدرود)
۱۲۱	فایز فردوس پناه و مهدی قمشی	تأثیر ورتکس ناشی از موانع و کاهش آن، بر ابعاد ناحیه جداشدگی جریان در ابتدای آبگیر جانبی

علوم و مهندسی آبیاری
(علمی)

پاییز ۱۴۰۲

جلد چهل و ششم شماره ۳

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

مهدی	زینی وند	فرشاد	احمدی
محسن	سلیمانی بابرصاد	محمد	الباجی
محمد رضا	شریفی	سعید	اسلامیان
محمود	شفاعی بجستان	مهدی	اسمعیلی ورکی
جهانگیر	عابدی کوپایی	محمد	بهرامی یاراحمدی
حسام	قدوسی	محمد حسن	پور محمدی
صلاح	کوچک زاده	عبدالله	حسین پور
بابک	لشکرآرا	سعید رضا	خدانشناس
عبدالمجید	لیاقت	امین	خرمیان
محمد امین	مداح	رسول	دانش فراز
رسول	میرعباسی نجف آبادی	مهدی	دریایی
امیر	ناصرین	مهدی	دلقدی
		محمد رضا	زایری

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 ۴۶، شماره ۳ مجله علمی علوم و مهندسی آبیاری با خرسندی فراوان به علاقه‌مندان علوم مهندسی آب تقدیم گردد.

مجله علوم و مهندسی آبیاری یک سابقه حدود ۴۳ ساله دارد و وزارت علوم و تحقیقات و فناوری مجوز این مجله علمی- پژوهشی در شکل حاضر در سال ۱۳۸۸ صادر کرد. این مجله در سایت‌های بین‌المللی 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، سازه‌های آبی، هیدرولیک رسوب، محیط زیست آبی، آبخیزداری، آب- هواشناسی (هیدرومتئورولوژی)، هیدرولوژی، آب‌های 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 ارزنده‌تر در نشر علوم مهندسی آب و آبیاری ما را همراهی نمایند. از کلیه بررسی‌کنندگان مقالات و صاحب‌نظران که در فرصت‌های گوناگون با ارائه نظرات اصلاحی خود در بهبود کیفیت مجله نقشی به عهده گرفته‌اند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

از همکاران گرامی که نتیجه مطالعات و تحقیقات خود را جهت چاپ و انتشار به این مجله ارسال می‌نمایند تقاضا می‌شود 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 وقت‌گیر، موجب تسریع و بهبود کیفیت چاپ مقالات نیز خواهد گردید.

سردبیر

صفحه	عنوان
۱	بررسی آزمایشگاهی تأثیر هندسه آستانه بر پدیده هیستریزیس جریان با رژیم فوق بحرانی رسول دانشفراز، احسان امین‌وش و پریسا عبادزاده
۱۷	تأثیر تنش آبی و استفاده از سطوح مختلف سوپرچاذب اکوازورب ۳۰۰۵ روی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در روش آبیاری قطره‌ای محمد رضا رحمانی، صائب خوشنوار کومله، سعید برومند نسب و احسان دریگوند
۳۵	پیش‌آگاهی مخاطره خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک زابل براساس برون‌داد مدل‌های اقلیمی CMIP6 مهديه فروزان‌مهر، مهدی دستورانی، مصطفی یعقوب‌زاده و سعیده حسین‌آبادی
۵۷	بررسی آزمایشگاهی مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های واگرا-همگرا محمد حسین جعفری ابنوی، رضا محمدپور و محمد کریم بیرامی
۶۹	بررسی گام‌های زمانی خشک‌سالی و اثر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کمی و کیفی آب رودخانه پلاسجان نرگس بهرامی دمنه، سمیه سلطانی گردفرامرزی، مرتضی قیصوری و ابوالفضل عزیزیان
۸۵	تأثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی برنج، بهره‌وری آب، و عملکرد برنج با استفاده از آنالیز ریسک درسا دریکنده، علی شاهنظری، مجتبی خوش‌روش و گریت هوگنبوم
۱۰۳	مدل سازی عددی رسوب‌شویی (فلاشینگ) در سدها (مطالعه موردی سد سفیدرود) مصطفی آدینه، محمود شفاعی بجستان و حسام قدوسی
۱۲۱	تأثیر ورتکس ناشی از موانع و کاهش آن، بر ابعاد ناحیه جداشدگی جریان در ابتدای آبگیر جانبی فایز فردوس پناه و مهدی قمشی

EXTENDED ABSTRACT

Experimental study of the effect of different sill geometry on hysteretic behavior of supercritical regime

R. Daneshfaraz^{1*}, E. Aminvash² and P. Ebadzadeh³

1* - Corresponding Author, Professor, Department of civil engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran. (daneshfaraz@maragheh.ac.ir).

2- Phd student, Department of civil engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- M.Sc. Student, Department of civil engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 27 February 2022

Revised: 13 October 2022

Accepted: 16 October 2022

Keywords:

Hysteretic Behavior, Possible Flow Regimes, Sill, Relative Flow Depth, Hydraulic Jump.

TO CITE THIS ARTICLE :

Daneshfaraz, R., Aminvash, E., Ebadzadeh, P. (2023). 'Experimental study of the effect of different sill geometry on hysteretic behavior of supercritical regime', Irrigation Sciences and Engineering, 46(3), pp. 1-15. doi: 10.22055/jise.2022.40134.2017.

Introduction

Hysteresis during supercritical flow is an issue that is not well understood. It occurs near structures in water supply systems, water transmission lines, and channels. The hysteretic behavior of a flow causes different states in the flow for otherwise identical conditions. (Defina and Viero, 2018) investigated the behavior of supercritical flow near a vertical gate. They proposed a theory for predicting hysteresis in the vicinity of a gate based on the Froude numbers upstream and downstream of the gate as well as on the gate opening ratio. Their results also confirm the existence of hysteretic behavior of the flow. The experiments also confirmed the validity of the theory on the effect of upstream and downstream Froude numbers on hysteretic behavior. (Defina and Viero, 2010) examined the various states created by the flow in a gradual narrowing. They showed that the friction and slope of the channel floor affect the stability of the flow and can create different hysteretic loops.

The main purpose of this study was to investigate the contradictory behavior of supercritical flow with a sill located in the flow path and with different geometries. The existence of such contradictory behavior occurs due to hysteresis, for which there are relatively limited studies. Generally, the occurrence of hysteresis at the collision of the flow with the obstacle is expected. As for the same input current, two different behaviors are observed that behavior depend on the flow cycle. The flow cycle means increasing the discharge to a certain value and then decreasing it to the initial discharge.

Methodology

The experiments were performed in a hydraulic laboratory with flume dimensions of 5 m in length, 0.30 m in width, and 0.5 m in height. The walls are made from Plexiglass in order to provide good visibility. The inlet flow was measured by two rotameters. The rotameters were installed at the outlet of the pump and made measurements with a point gage with an accuracy of 1 mm. A sluice gate is installed to provide supercritical flow. The gate opening was fixed at 2 cm in all experiments. Sills including cylindrical, pyramidal, and rectangular cubic shapes were prepared to investigate the shape effect. All three sill shapes were prepared with widths of 30 cm. The height of all sills in this study was 3 cm. In this study, flow discharge in the range of 0.0045 to 0.01 m³/s was applied to all models.

Findings

The presence and absence of a hydraulic jump and the formation of two different profiles were obtained. The effect of hysteretic behavior was quantified by creating a flow that increase of 0.0045 to 0.01 m³/s and decreased from 0.01 to 0.0045 m³/s. Water was added or removed with increments of 0.00041 m³/s. Results showed that with increasing and decreasing discharge, two different behaviors are seen under otherwise identical circumstances.

Increasing and decreasing the flow to otherwise identical discharges resulted in two surface profiles in the same laboratory system. These two profiles were: a) Profile 1: in which sections 1 and 2 are in the subcritical regime, b) Profile 2: in which sections 1 and 2 are in the supercritical regime. In this research, three sills with cylindrical, pyramidal, and rectangular cubic geometry with a height of 3 cm have been used.

The main results are summarized below:

- In the M1 model, which used a cylindrical sill, hysteresis was formed in the Froude number range from 3.62 to 5.08 by increasing the flow rate by more than 0.0058 m³/s. The flow regime returns to supercritical by decreasing the flow rate to less than 0.005 m³/s, the flow regime returns to the subcritical regime with relative depths of the flow in sections 1 and 2 that have increased by 85.38 and 82.57%, respectively.

- In the M2 model, which is used a pyramidal sill, hysteresis was formed in the Froude number range 3.62 to 5.08. By increasing the flow rate by more than 0.0058 m³/s, the flow regime returns to the super-critical regime. By decreasing the flow rate to less than 0.005 m³/s, the flow regime returns to the sub-critical regime. The relative depths of the flow in sections 1 and 2 increased by 85.31 and 88%, respectively.

- In model M3, which is used a rectangular cubic sill, hysteresis was formed in the Froude numbers range of 3.94 to 5.08. By increasing the flow rate by more than 0.0058 m³/s, the flow regime returns to the super-critical regime. By decreasing the flow rate to less than 0.005 m³/s, the flow regime returns to the sub-critical regime, that the relative depths of the flow in sections 1 and 2 have increased by 70.68 and 60.37%, respectively.

- The efficiency of hydraulic jump at the rectangular cube sill is higher than other sills, with a relative increase of 72%.

Conclusions

The present study investigates, for the first time, the hysteretic behavior of a supercritical current that can occur in a channel near additional structures such as a sill. The results showed that the relative depth values of y_1/y_0 , y_2/y_0 , and Froude numbers in sections 1 and 2 were greatly increased, while the hydraulic jump efficiency for the relative energy dissipation parameter at the cubic sill was higher than the other sills. In the primary flow, these depths indicate the subcritical regime and in the secondary stream, with hysteresis at some discharge rates, it indicates the supercritical regime.

References

- 1- Defina, A., Susin, F. M. and Viero, D. P., 2018. Bed friction effects on the stability of a stationary hydraulic jump in a rectangular upward sloping channel. *Physics of fluids*, 20(3), 036601.
- 2- Defina, A. and Viero, D. P., 2010. Open channel flow through a linear contraction. *Physics of Fluids*, 22(3), pp. 1-12. Doi: 10.1063/1.3370334.



بررسی آزمایشگاهی تأثیر هندسه آستانه بر پدیده هیستریزس جریان با رژیم فوق بحرانی

رسول دانشفراز^{۱*}، احسان امین‌وش^۲ و پریسا عبادزاده^۳

^۱ - نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران daneshfaraz@maragheh.ac.ir

^۲ - دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۱

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸

چکیده

پژوهش حاضر، برای نخستین بار رفتار هیستریزس جریان فوق بحرانی را که به دلیل دو رفتار متفاوت جریان در شرایط هیدرولیکی یکسان اتفاق می‌افتد، را به صورت آزمایشگاهی و تحلیلی مورد بررسی قرار داده است. به همین منظور، از سه آستانه با هندسه‌های استوانه‌ای، مکعب مستطیلی و هرمی شکل بهره گرفته شده است. محدوده دبی‌های بکاررفته در محدوده $+0.041$ تا $+0.1$ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. دبی به صورت افزایشی در جریان اولیه و سپس به صورت کاهشی در جریان ثانویه وارد فلوم آزمایشگاهی می‌گردد. رژیم‌های احتمالی جریان در نزدیکی آستانه براساس اعماق نسبی در پایین دست دریچه کشویی و در دو مقطع یک و دو بصورت تابعی از عدد فرود عبوری از زیر دریچه طبقه‌بندی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دبی جریان و سپس کاهش آن، در برخی از دبی‌ها دو رفتار متفاوت از جریان در شرایط یکسان هیدرولیکی دیده می‌شود. همچنین نتایج نشان داد مقادیر اعماق نسبی y_1/y_0 ، y_2/y_0 و اعداد فرود مقاطع یک و دو به مقدار زیادی افزایش یافته است در حالی که راندمان پرش هیدرولیکی برای پارامتر استهلاک انرژی نسبی در آستانه مکعبی بیشتر از سایر آستانه‌ها می‌باشد. به طوریکه در جریان اولیه میزان این اعماق بیانگر رژیم زیربحرانی و در جریان ثانویه با تشکیل پدیده هیستریزس در برخی از دبی‌ها بیانگر رژیم فوق بحرانی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: رفتار هیستریزس، رژیم‌های احتمالی جریان، آستانه، اعماق نسبی جریان، پرش هیدرولیکی.

مقدمه

عموماً وقوع پدیده هیستریزس در جریان با مانع قابل انتظار است. به طوریکه برای یک جریان ورودی یکسان، دو رفتار متفاوت مشاهده می‌شود که این رفتار متفاوت وابسته به چرخه جریان است. منظور از چرخه جریان، افزایش دبی تا یک مقدار مشخص و سپس کاهش آن به دبی اولیه است. این پدیده یکی از موضوعات مهمی است که عموماً در طراحی سازه‌های هیدرولیکی، به دلیل عدم شناخت کافی طراحان در نظر گرفته نمی‌شود.

در این تحقیق ابتدا به بررسی مطالعه‌های تحلیلی و آزمایشگاهی انجام شده به منظور بررسی رفتار هیستریزس پارامترهای هیدرولیکی جریان در مواجهه با موانع مختلف نظیر پایه‌های پل، تنگ شدگی و برآمدگی کف کانال پرداخته می‌شود. مطالعه‌های انجام گرفته در این زمینه را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد: دسته اول مطالعه‌ها مربوط به برآمدگی کف کانال؛ دسته دوم به مقاطع تنگ‌شدگی؛ دسته سوم مربوط پایه‌های پل و دسته چهارم مربوط به دریچه است. دسته اول مطالعه‌های مربوط به پدیده هیستریزس که به بررسی برآمدگی کف کانال می‌پردازد (Abecasis and Quintela, 1964). در ادامه مطالعه‌های

مربوط به رفتار پدیده هیستریزس از نظر تئوری و آزمایشگاهی روی برآمدگی کف با عرض ثابت تشریح شده است (Muskatirovic, and Batinic, Mehrotra, 1974). Austria (1987) با استفاده از تئوری کاتاستروف به توصیف رفتار هیستریزس جریان روی برآمدگی کف کانال پرداخت و نشان داد که تئوری کاتاستروف می‌تواند به عنوان یک مدل توصیفی مورد استفاده گیرد. این تئوری مبتنی بر استفاده از معادله‌های کلاسیک جریان نظیر معادله‌های انرژی مخصوص در کنار معادله‌های تئوری کاتاستروف است. Lawrence (1987) به بررسی جریان دائمی عبوری از روی برآمدگی کف کانال و رفتارهای مختلف آن پرداخت. نتایج نشان داد که ممکن است دو حالت پایدار برای شرایط ورودی یکسان وجود داشته باشد که منجر به تشکیل حلقه هیستریزس گردد. Baines و (2003) Whitehead رفتار هیستریزس جریان را روی برآمدگی کف کانال به صورت تئوری و آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج مطالعه‌های تئوری و آزمایشگاهی نشان داد که در شرایط یکسان جریان ورودی، دو حالت متفاوت برای پایداری جریان ایجاد می‌شود که دلالت بر وجود حلقه هیستریزس دارد. Defina و

نخستین تحقیق مطالعه‌های مربوط به تأثیر دریچه‌کشویی بر رفتار هیسترتیک جریان، به تحقیق Defina و Susin (2003) بر می‌گردد. آن‌ها یک رابطه تئوریک برای بررسی این رفتار ارائه کرده و سپس به صورت آزمایشگاهی آن را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که رفتار هیسترتیک برای این دسته از مطالعه‌ها نیز به این صورت قابل تعریف است که برای یک میزان بازشدگی دریچه در دی‌های مختلف، دو حالت می‌تواند وجود داشته باشد که حالت اول عدم تشکیل پرش هیدرولیکی و حالت دوم تشکیل پرش هیدرولیکی در یک میزان بازشدگی دریچه است. Viero و Defina (2019) رفتار جریان با رژیم فوق‌بحرانی را در نزدیکی دریچه قائم بررسی کردند. آن‌ها یک تئوری برای پیش‌بینی وقوع هیسترتیزس در مجاورت دریچه براساس عدد فرود بالادست و پائین‌دست دریچه و همچنین نسبت بازشدگی دریچه ارائه کردند. نتایج آن‌ها نیز موید وجود رفتار هیسترتیک جریان است. همچنین آزمایش‌های انجام گرفته، صحت نظریه ارائه شده در تأثیر اعداد فرود بالادست و پائین‌دست در رفتار هیسترتیک را تأیید کرد.

علاوه بر تحقیقاتی که در دسته‌بندی‌های فوق بیان شد، تحقیقات زیر رفتار هیسترتیک جریان را در مواجهه با ترکیبی از موانع مختلف ارزیابی کردند. مدل‌های ترکیبی شامل برآمدگی کف کانال به همراه انقباض موضعی و همچنین تأثیر اصطکاک کف بر روی برآمدگی تدریجی است. Viero و Defina (2017) با ایجاد برآمدگی کف و انقباض موضعی در کانال، روابط تئوری برای توصیف وقوع هیسترتیزس در بالادست و پائین‌دست موانع را توسعه دادند. نتایج نشان داد که در هر دو مدل مربوط به برآمدگی و انقباض ناگهانی، دامنه ناحیه هیسترتیزس گسترده بوده به طوری که در بسیاری از موارد عملی احتمال وقوع هیسترتیزس افزایش می‌یابد. Kabiri-Samani et al. (2014) به بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی تبدیل رژیم فوق بحرانی به زیر بحرانی بدون پرش هیدرولیکی و با استفاده از سازه تبدیل‌کننده رژیم جریان پرداختند. بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که با وجود اندک مطالعه‌های تئوریک و آزمایشگاهی انجام شده در ارتباط با رفتار هیسترتیک جریان، نیاز به انجام مطالعه‌های گسترده‌تری برای بررسی ابعاد نامعلوم رفتار این نوع جریان وجود دارد. البته این ابعاد نامعلوم در برخورد جریان با موانع محسوس‌تر می‌باشد، به طوری که اکثراً روابط تئوریک در چنین موانعی تطابق کمتری با نتایج آزمایشگاهی نسبت به سایر موارد دارد. علت این امر ناشی از الگوی جریان در برابر این موانع بوده و امکان ایجاد یک نظریه دقیق منطبق بر رویکرد یک بعدی جریان را فراهم نمی‌سازد. لذا در تحقیق حاضر برای نخستین بار رفتار نامعلوم هیسترتیک جریان، در قبال آستانه قرار گرفته در مسیر جریان با رژیم

Susin (2006) در ابتدا به صورت تئوریک روابطی برای بررسی این پدیده روی برآمدگی ارائه کرده و سپس به صورت آزمایشگاهی آن‌را بررسی کردند. آن‌ها دو عکس‌العمل ضعیف و قوی در شرایط دبی ورودی یکسان برای جریان تعریف کردند که عکس‌العمل ضعیف زمانی است که رژیم جریان فوق بحرانی بوده و مانع روی تغییر رژیم جریان تأثیرگذار نباشد. در مقابل، عکس‌العمل قوی دلالت بر شرایطی دارد که مانع بواسطه پرش هیدرولیکی باعث تغییر رژیم جریان به زیر بحرانی می‌شود. دسته دوم مطالعه‌ها که مربوط به انقباض مقطعی در مسیر جریان است. Akers و Bokhove (2008) به صورت تئوریک و صحرانی رفتار هیسترتیک را در انقباض تدریجی بررسی کردند. نتایج نشان داد که امواج مورب جریان فوق بحرانی می‌تواند تحت تأثیر اثرات دیگری از جمله کشش سطحی قرار گرفته باشد. Defina و Viero (2010) حالت‌های مختلف ایجاد شده از جریان در تنگ‌شدگی تدریجی را بررسی کردند. نتایج بررسی‌های عددی و آزمایشگاهی آنان نشان داد که اصطکاک و شیب کف کانال بر پایداری جریان تأثیر داشته و می‌تواند حلقه‌های مختلف هیسترتیک را ایجاد کند. Sadeghfam et al. (2017) با استفاده از معادله‌های کلاسیک هیدرولیک و تئوری کاتاستروف رفتار هیسترتیک جریان فوق‌بحرانی در مواجهه با تنگ‌شدگی موضعی کانال را بررسی کردند. نتایج آزمایشگاهی آنان نشان داد که به کارگیری روابط مربوط به تئوری کاتاستروف در کنار روابط کلاسیک قابلیت توصیف رفتار هیسترتیک را دارد. (2022a) Daneshfaraz et al. به بررسی رفتار هیسترتیک جریان و تأثیر آن بر انرژی نسبی باقی‌مانده در تنگ‌شدگی‌های ناگهانی و تدریجی با اندازه‌های مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که در دی‌های یکسان، در تمامی مدل‌های بررسی شده دو رفتار متفاوت از جریان در رژیم‌های مختلفی از جریان ایجاد شده است. (2022b) Daneshfaraz et al. با بررسی آزمایشگاهی رفتار هیسترتیک جریان با رژیم فوق بحرانی در برابر تنگ‌شدگی گایونی به این نتیجه رسیدند که میزان اعماق نسبی جریان و عدد فرود مقطع تنگ‌شدگی با تشکیل پدیده هیسترتیزس به ترتیب ۶۹/۳۶ و ۶۹/۱۵ درصد افزایش چشمگیری داشته است. دسته سوم مطالعه‌ها در زمینه پایه‌های پل بسیار محدود می‌باشد. Defina و Susin (2006) اشاره نمود، آن‌ها در این تحقیق از چندین پایه پل با قطرهای مختلف استفاده کرده و رفتار جریان را در مواجهه با پایه‌های به کار گرفته شده بررسی کردند. همچنین آن‌ها یک رابطه تئوریک برای پیش‌بینی وقوع هیسترتیزس هیدرولیکی ارائه کردند. نتایج نشان داد که در برخورد جریان با پایه‌های پل مشابه با تنگ‌شدگی، دو عکس‌العمل متفاوت ضعیف و قوی در شرایط یکسان ورودی ایجاد می‌شود. در دسته چهارم،

شکل (۱)، مقطع (۱)، بالادست آستانه و مقطع (۲) محل قرارگیری آستانه و جریان عبوری از روی آن می‌باشد. لازم بذکر است که مقطع (۰) نشان دهنده محل جریان فوق‌بحرانی و جریان عبوری از زیر دریچه می‌باشد.

مشخصات آزمایشگاهی و معرفی مدل‌ها

برای دستیابی به اهداف پژوهش حاضر از فلوم آزمایشگاهی در ابعادی بطول پنج متر، ارتفاع ۰/۵ متر و عرض ۰/۳ متر، با شیب طولی صفر، دیواره‌ها و کف از جنس پلکسی‌گلس استفاده شده است. برای ایجاد جریان فوق‌بحرانی از یک دریچه قائم فلزی با میزان بازشدگی دو سانتی‌متر که در فاصله ۱/۵ متری از مخزن ورودی قرار گرفته، استفاده گردید. جریان ورودی به فلوم توسط دو پمپ هر کدام با توان ۰/۰۷۵ مترمکعب بر ثانیه به‌صورت چرخشی با خطای $\pm 2\%$ پمپاژ می‌گردد، دبی جریان با استفاده از روتامترهای نصب شده روی پمپ‌ها قرائت می‌گردید و به‌منظور اندازه‌گیری عمق جریان از یک گیج نقطه‌ای با خطای ± 1 میلی‌متر استفاده شده است. تحقیق حاضر در سه مدل با هندسه متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است که شامل آستانه‌های استوانه‌ای، هرمی و مکعب مستطیلی بوده و جنس آستانه‌های به‌کار رفته از پلی اتیلن می‌باشد. مشخصات مدل‌ها و بازه تغییرات پارامترهای هیدرولیکی در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

شکل (۱)، دو پروفیل سطحی آب متفاوت در شرایط آزمایشگاهی یکسان برای پرش هیدرولیکی ایجاد شده به‌وسیله آستانه را نیز نشان می‌دهد. در ادامه به معرفی دو پروفیل مختلف محتمل پرداخته شده است. سناریوی آزمایش‌های صورت پذیرفته و هم‌چنین پروفیل‌های ایجاد شده در جدول (۲) ذکر شده‌اند.

فوق‌بحرانی با سه هندسه استوانه‌ای، مکعب مستطیلی و هرمی شکل مورد تحلیل قرار گرفته است. رویکرد نوین این تحقیق بر دو نوع پروفیل جریان متمرکز بوده و شرایط و دلایل مختلف ایجاد و عدم ایجاد پرش هیدرولیکی در یک دبی یکسان و رفتارهای متفاوت جریان در مواجهه با آستانه در مسیر جریان را بررسی خواهد کرد. هدف اصلی این تحقیق، بررسی رفتار متناقض جریان فوق‌بحرانی در برابر آستانه قرار گرفته در مسیر جریان با هندسه‌های می‌باشد. وجود چنین رفتار متناقضی به‌دلیل پدیده هیستریزیس اتفاق می‌افتد که مطالعه‌های نسبتاً محدودی برای شناخت آن وجود دارد.

مواد و روش‌ها

توصیف پرش هیدرولیکی اجباری و پروفیل‌های جریان

پرش هیدرولیکی اجباری فرآیندی است که در آن رژیم جریان فوق‌بحرانی تشکیل شده، به واسطه سازه‌های الحاقی قرار گرفته در مسیر جریان، مجبور به بازگشت به رژیم زیر بحرانی می‌باشد. ابزار ایجاد پرش هیدرولیکی اجباری در تحقیق حاضر، شامل دو قسمت مجزا می‌باشد که عبارتند از: ۱- یک دریچه کشویی فلزی قائم که برای اندازه‌گیری و یا کنترل جریان در کانال نصب گردیده و نقش آن در این تحقیق فقط تشکیل جریان فوق‌بحرانی می‌باشد. ۲- قرارگیری یک آستانه از جنس پلی‌اتیلن در مسیر جریان که باعث تشکیل پرش هیدرولیکی شده و رژیم جریان را از فوق‌بحرانی به زیر بحرانی تبدیل می‌کند تا انرژی مخرب جریان فوق‌بحرانی را تقلیل بخشد، که بررسی پارامترهای هیدرولیکی در مجاورت این المان‌ها بسیار مهم و ضروری می‌باشد. شکل (۱) پروفیل‌های پرش هیدرولیکی تشکیل شده به واسطه قرارگیری آستانه در مسیر جریان، محل مقاطع و اندازه‌گیری اعماق جریان و هندسه المان‌ها را نشان می‌دهد. در

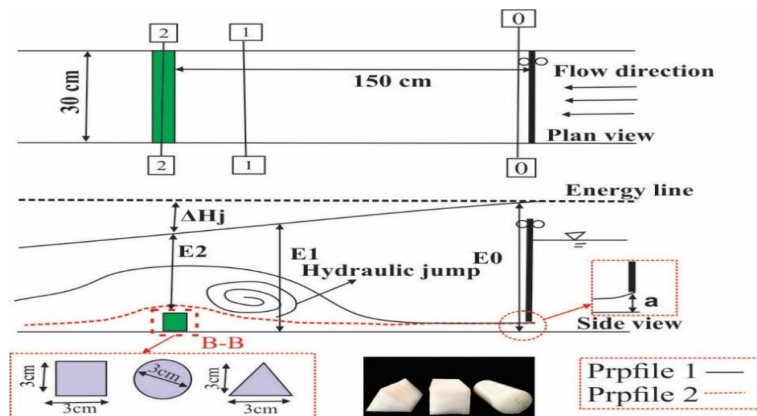


Fig.1- Profil of hydraulic jump, section conditins and sills geometry

شکل ۱- پروفیل‌های پرش هیدرولیکی، محل‌های مقاطع و اندازه‌گیری اعماق جریان و هندسه آستانه‌ها

جدول ۱- مشخصات فیزیکی مدل‌ها و بازه تغییرات پارامترهای هیدرولیکی

Table 1- Physical characteristics and hydraulic parameters variation of the present study (Sizes are in cm)

Model	Model Geometry	Discharge (Lit/min)	Sill Dimensions (cm)			(Re_0)	$Y_{1(Cm)}$	$Y_{2(Cm)}$
			Height	Length	width			
M1	Cylindrical		Cylindrical diameter =3.0				1.83~7.5	2.1~6.6
M2	Pyramidal	275- 600	3	3	30	55287-121951	1.8~6.6	2~6.6
M3	Rectangular cubic		3	3	30		1.78~7.38	1.9~6.5

جدول ۲- سناریوی آزمایش‌های انجام شده و رژیم‌ها و پروفیل‌های جریان

Table 2- Scenario of tests performed and flow regimes and profiles

Model	Profiles (Fig.1)		Flow regimes		Fr_0 (vena contracta)	Flow history	
	Profile 2	Profile 1	Section 2	Section 1			
M1		✓	Subcritical	Subcritical	3.313	Flow increasing	
			"	"	3.621	"	
			"	"	3.941	"	
			"	"	4.230	"	
			"	"	4.571	"	
			"	"	4.825	"	
			"	"	5.079	"	
		✓		Supercritical	Supercritical	5.503	Increased flow caused supercritical hysteresis
		✓		"	"	5.079	Decreasing flow
		✓		"	"	4.825	"
		✓		"	"	4.571	"
		✓		"	"	4.230	"
		✓		"	"	3.941	"
		✓		"	"	3.621	"
		✓	Subcritical	Subcritical	2.958	Decreasing flow caused subcritical hysteresis	
M2		✓	Subcritical	Subcritical	3.313	Flow increasing	
			"	"	3.621	"	
			"	"	3.941	"	
			"	"	4.230	"	
			"	"	4.571	"	
			"	"	4.825	"	
			"	"	5.079	"	
		✓		Supercritical	Supercritical	5.503	Increased flow caused supercritical hysteresis
		✓		"	"	5.079	Decreasing flow
		✓		"	"	4.825	"
		✓		"	"	4.571	"
		✓		"	"	4.230	"
		✓		"	"	3.941	"
		✓		"	"	3.621	"
		✓	Subcritical	Subcritical	2.958	Decreasing flow caused subcritical hysteresis	
M3		✓	Subcritical	Subcritical	3.941	Flow increasing	
			"	"	4.230	"	
			"	"	4.571	"	
			"	"	4.825	"	
			"	"	5.079	"	
		✓		Supercritical	Supercritical	5.503	Increased flow caused supercritical hysteresis
		✓		"	"	4.852	Decreasing flow
		✓		"	"	4.571	"
		✓		"	"	4.230	"
		✓		"	"	3.941	"
		✓	Subcritical	Subcritical	3.621	Decreasing flow caused subcritical hysteresis	

به منظور معنی دار کردن برخی از پارامترها، با تقسیم تعدادی از پارامترهای بدون بعد بر یکدیگر و ساده سازی آن‌ها، پارامترهای بدون بعد به صورت رابطه (۳) ارائه شد.

$$f_3(\Pi, Fr_0, Fr_1, Fr_2, Re_0, \frac{a}{y_0}, \frac{B}{y_0}, \frac{y_1}{y_0}, \frac{h}{y_0}, \frac{y_2}{y_0}, \frac{y_{cr}}{h}, \frac{\Delta H_j}{y_0}, \Omega) = 0 \quad (3)$$

پارامتر Π بیانگر راندمان پرش هیدرولیکی می باشد که با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می گردد:

$$\Omega = \frac{E_0 - E_1}{E_0} = \frac{\Delta E}{E_0} \quad (4)$$

با توجه به اینکه در تمام دبی‌های به کاررفته در تحقیق حاضر، جریان کاملاً متلاطم و آشفته بوده و محدوده عدد رینولدز بیش از ۲۰۰۰ می باشد، لذا می توان از تأثیر پارامتر عدد رینولدز صرف نظر کرد. همچنین پارامتر a/y_0 به دلیل ثابت بودن میزان بازشدگی درپچه و پارامتر B/y_0 به دلیل ثابت بودن عرض کانال، از میان پارامترهای بدون بعد مستقل حذف می گردند. در نهایت پارامترهای وابسته به صورت تابعی از پارامترهای مستقل به صورت رابطه (۵) ارائه می شوند:

$$\Pi, \frac{y_1}{y_0}, \frac{y_2}{y_0}, Fr_1, Fr_2 = f_4(Fr_0, \frac{y_{cr}}{h}, \Omega) \quad (5)$$

نتایج و بحث

پروفیل‌های طولی جریان ناشی از برخورد جریان فوق بحرانی با آستانه، در مسیر جریان در شکل (۲) نشان داده شده است. همان طوری که ذکر شد در انجام آزمایش‌های تحقیق حاضر از دبی‌های ۰/۰۴۱ تا ۰/۰۱ متر مکعب بر ثانیه به صورت افزایشی و سپس از ۰/۰۴۱ تا ۰/۰۱ متر مکعب بر ثانیه به صورت کاهش استفاده شده است. با دقت در این شکل مشاهده می شود که در هر مدل با افزایش و کاهش دبی جریان، در چند دبی یکسان دو رفتار متفاوت از جریان دیده می شود که این رفتار، رفتار هیستریک جریان نامیده می شود. شکل (۲) به عنوان نمونه پدیده هیستریک ظاهر شده در دبی ۰/۰۷۹۱۶ متر مکعب بر ثانیه برای آستانه‌های استوانه‌ای، هرمی و مکعب مستطیلی را نشان می دهد. (شکل ۲). با دقت در شکل‌ها مشاهده می شود که در جریان اولیه، المان‌های آستانه قرار گرفته در مسیر جریان باعث ایجاد پرش هیدرولیکی می شود و در طول این مدت مقاطع یک و دو هر دو در رژیم زیر بحرانی قرار دارند. با افزایش دبی پرش هیدرولیکی به سمت پایین دست حرکت کرده و رژیم جریان در تمام طول کانال فوق بحرانی می گردد. سپس با کاهش دبی جریان، رفتاری که در سیستم مشاهده می شود بیانگر این

پروفیل یک: این پروفیل نشان دهنده تشکیل پرش هیدرولیکی در مقطع (۱) و (۲) می باشد. در مقطع (۱) جریان به رژیم زیر بحرانی منتقل می شود. این رژیم جریان به واسطه جریان برگشتی توسط آستانه قرار گرفته در مقطع (۲) ایجاد می شود. رژیم جریان در مقطع (۲) به دلیل تلاطم و افزایش عمق جریان با رژیم زیر بحرانی از روی آستانه به سمت پایین دست کانال حرکت می کند.

پروفیل دو: این پروفیل بیان گر عدم تشکیل پرش هیدرولیکی در سرتاسر کانال آزمایشگاهی می باشد. رژیم ایجاد شده در مقاطع (۱) و (۲) فوق بحرانی بوده و به این معنی است که آستانه قرار گرفته در مسیر جریان هیچ گونه پرشی ایجاد نکرده و رژیم جریان را تغییر نمی دهد و رژیم جریان، برابر با رژیم عبوری از زیر درپچه می باشد. هدف اصلی و رویکرد نوین این تحقیق بر این دو نوع پروفیل جریان متمرکز بوده و شرایط و دلایل مختلف ایجاد و عدم ایجاد پرش هیدرولیکی در یک دبی و رفتارهای متفاوت جریان در مواجهه با آستانه در مسیر جریان را بررسی خواهد کرد. جریان ورودی به کانال به این صورت است که در ابتدا دبی به صورت افزایشی از ۰/۰۴۱ تا ۰/۰۱ متر مکعب بر ثانیه و سپس به صورت کاهش از ۰/۰۱ تا ۰/۰۴۱ متر مکعب بر ثانیه با گام‌های افزایشی و کاهش می گردد. لازم به ذکر است که محدوده دبی‌های آزمایش شده، برای مشاهده رفتار هیستریک کافی بوده و پدیده هیستریک جریان در این بازه به وضوح قابل مشاهده می باشد.

آنالیز ابعادی

مطابق شکل (۱)، پارامترهای مؤثر برای بررسی رفتار هیستریک جریان فوق بحرانی به هنگام مواجهه با آستانه قرار گرفته در مسیر جریان، به صورت رابطه (۱) ارائه می گردد:

$$f_1(Q, \rho, g, a, B, h, y_0, y_1, y_2, y_{cr}, v_0, v_1, v_2, E_0, E_1, \Delta H_j, \Omega) = 0 \quad (1)$$

که در آن: Q دبی جریان، ρ جرم مخصوص سیال، g شتاب گرانش جاذبه زمین، a میزان بازشدگی درپچه، B عرض کانال، h ارتفاع آستانه، y_0 عمق جریان عبوری از زیر درپچه، y_1 عمق جریان در بالادست آستانه مقطع (۱)، y_2 عمق جریان عبوری از روی آستانه مقطع (۲)، y_{cr} عمق بحرانی جریان، و v_0, v_1, v_2 به ترتیب سرعت جریان در مقاطع (۰)، (۱) و (۲)، ΔH_j افت انرژی ناشی از پرش هیدرولیکی و Ω فاکتور شکل می باشند. با استفاده از روش پی-بکینگهام تحلیل ابعادی انجام و با در نظر گرفتن پارامترهای ρ, g و y_0 به عنوان پارامترهای تکراری رابطه (۲) ارائه گردید.

$$f_3(Fr_0, Fr_1, Fr_2, Re_0, \frac{a}{y_0}, \frac{B}{y_0}, \frac{y_1}{y_0}, \frac{y_2}{y_0}, \frac{y_{cr}}{h}, \frac{E_0}{y_0}, \frac{E_1}{y_0}, \frac{\Delta H_j}{y_0}, \Omega) = 0 \quad (2)$$

از زیر درپچه را که تحت اثر رفتار هیسترتیک قرار گرفته است، نشان می‌دهد. شکل (۳-الف) عمق نسبی جریان در مقطع (۱) و شکل (۳-ب) عمق نسبی جریان در مقطع (۲) را نشان می‌دهد. با دقت در این شکل مشاهده می‌شود که در یک جریان افزایشی و کاهش، در چند دبی با شرایط آزمایشگاهی یکسان، اعماق نسبی متفاوتی در هر دو مقطع ایجاد می‌شود. در مدل M1 در بازه دبی‌های $0/0058$ تا $0/0091$ مترمکعب بر ثانیه پدیده هیستریزس ظاهر شده است. در این حالت در جریان اولیه در بازه دبی‌های ذکر شده، به دلیل حضور آستانه در مسیر جریان و به تبع آن تشکیل پرش هیدرولیکی، مقاطع (۱) و (۲) در محدوده رژیم زیر بحرانی قرار می‌گیرند و پروفیل سطحی ایجاد شده از نوع پروفیل یک می‌باشد. در جریان ثانویه با بازگشت دبی به محدوده $0/0058$ تا $0/0091$ مترمکعب بر ثانیه، پرش هیدرولیکی از آستانه عبور کرده و هر دو مقطع با کاهش عمق نسبت به جریان اولیه در محدوده رژیم فوق بحرانی قرار گرفته و پروفیل ایجاد شده از نوع پروفیل دو می‌باشد. بدین صورت که در جریان اولیه با افزایش دبی، سرعت جریان افزایش یافته و با کاهش عمق، مقاطع یک و دو که در دبی‌های پایین در رژیم زیر بحرانی قرار داشتند به رژیم فوق بحرانی تبدیل می‌گردند. با کاهش تدریجی دبی و با رسیدن آن به مقداری که در جریان اولیه، هر دو مقطع در محدوده رژیم زیر بحرانی بودند، شاهد رژیم فوق بحرانی خواهیم بود. زیرا رژیم حالت قبلی جریان در محدوده فوق بحرانی قرار دارد. با اثرگذاری رفتار هیسترتیک، در مدل آستانه استوانه‌ای اعماق نسبی جریان در مقاطع (۱) و (۲) به ترتیب به میزان $70/8$ و $65/27$ درصد افزایش می‌یابد که این میزان افزایش عمق نسبی به دلیل تغییرات رژیم جریان و تبدیل حالت زیر بحرانی به فوق بحرانی و به دنبال آن افزایش سرعت جریان و افزایش تنش پسماند جریان به شدت در سیستم سازه‌ای اثر گذاشته و در صورت عدم کنترل آن خسارات قابل توجهی را به بار خواهد آورد.

است که در چند دبی مشخص دو رفتار متفاوت مشاهده می‌شود. بطوریکه جریان ثانویه ایجاد شده در کانال، مقاطع یک و دو را تماماً در رژیم فوق بحرانی قرار می‌دهد.

شکل (۲) تغییرات رژیم و پروفیل‌های طولی جریان را در مواجهه با آستانه هندسه‌های استوانه‌ای، هرمی و مکعب‌مستطیلی را نشان می‌دهد. در آستانه استوانه‌ای شکل (۲-۱) با افزایش دبی تا $0/0083$ مترمکعب بر ثانیه مقاطع (۱) و (۲) در رژیم زیر بحرانی قرار می‌گیرند. با رسیدن دبی به میزان $0/00875$ مترمکعب بر ثانیه رژیم جریان در هر دو مقطع به رژیم فوق بحرانی تغییر پیدا می‌کند. سپس با کاهش تدریجی دبی تا میزان $0/00625$ مترمکعب بر ثانیه مقاطع همچنان در رژیم فوق بحرانی قرار دارند تا جاییکه با رسیدن دبی به میزان $0/0058$ مترمکعب بر ثانیه رژیم جریان به حالت زیر بحرانی تغییر پیدا می‌کند. با توجه به پروفیل‌های تشکیل شده، مشاهده می‌گردد که مابین دبی‌های $0/00625$ تا $0/0083$ مترمکعب بر ثانیه دو رفتار متفاوت از جریان در حالت‌های افزایشی و کاهش دبی وجود دارد که به این پدیده ظاهر شده، پدیده هیستریزس می‌گویند. در آستانه‌های هرمی و مکعب مستطیلی شکل (۱-۱) و (۱-۲) این اتفاق دوباره رقم زده شده و رفتار هیسترتیک، تأثیر خود را در دبی‌های $0/005$ تا $0/006$ مترمکعب بر ثانیه نشان می‌دهد و وجه تفاوت آن‌ها در میزان اعماق نسبی، انرژی‌های نسبی باقی‌مانده و دیگر پارامترهای هیدرولیکی است. علت اصلی این رفتار و تشکیل پدیده هیستریزس وابستگی حالت فعلی جریان به حالت قبلی آن است. یعنی با کاهش جریان ورودی رژیم جریان که در حالت فوق بحرانی می‌باشد، از حالت قبلی خود که دارای رژیم فوق بحرانی است تبعیت می‌کند تا جایی که با کاهش بیش از حد دبی ورودی، سرعت جریان توانایی تشکیل حالت فوق بحرانی را نداشته و رژیم جریان به حالت زیر بحرانی برمی‌گردد.

شکل (۳) تغییرات اعماق نسبی جریان در برابر عدد فرود عبوری

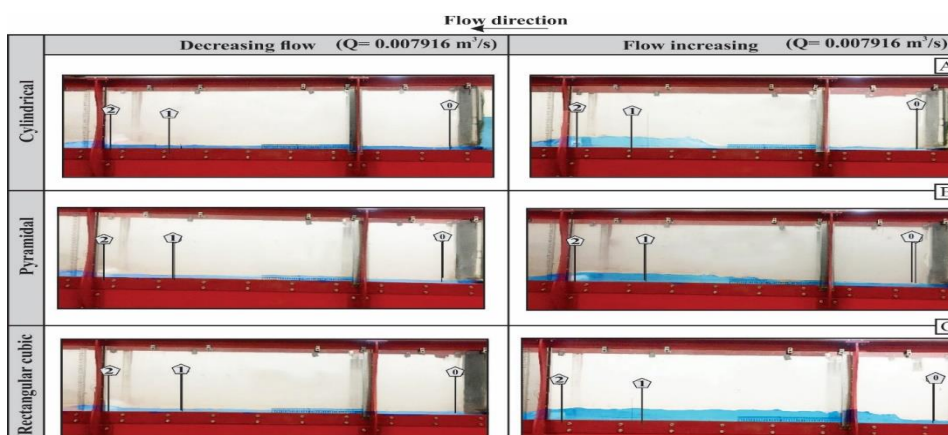


Fig. 2- Hysteretic behavior of flow against the sill (A) Cylindrical, (B) Pyramidal, (C) Rectangular cubic
شکل ۲ - رفتار هیسترتیک جریان برابر آستانه (الف) آستانه استوانه‌ای، (ب) آستانه هرمی، (ج) آستانه مکعب مستطیل

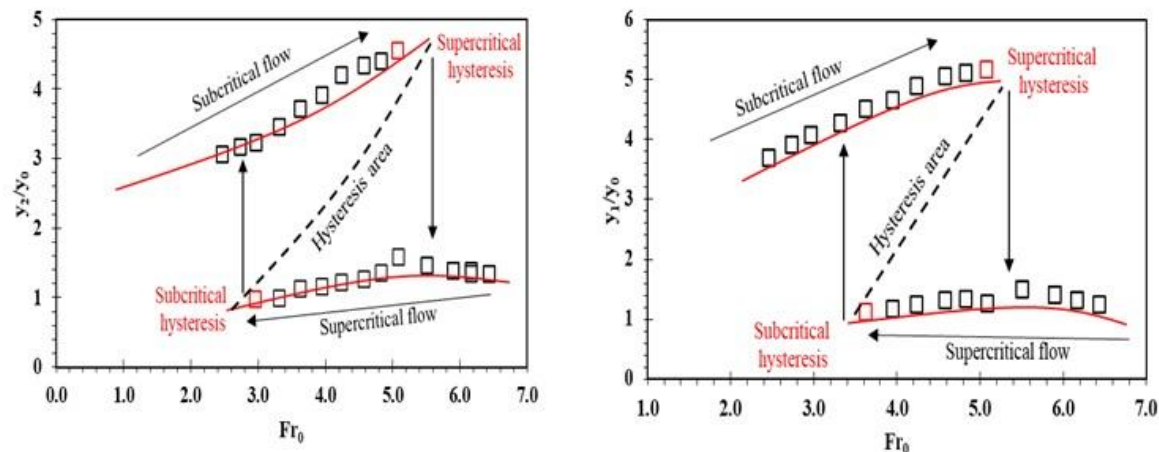


Fig. 3- Relative flow depths changes against the Froude number due to hysteresis phenomenon for Cylindrical sill (A) section [1] (B) section [2]

شکل ۳ - تغییرات اعماق نسبی جریان در برابر عدد فرود عبوری از دریچه متاثر از پدیده هیستریزس در برابر آستانه استوانه‌ای (الف) مقطع [1] (ب) مقطع [2]

چند دبی با شرایط آزمایشگاهی برابر، اعماق نسبی متفاوتی در هر دو مقطع ایجاد شده می‌شود. در مدل M1 در بازه دبی‌های 0.0625 تا 0.083 مترمکعب بر ثانیه، پدیده هیستریزس ظاهر شده است. در این حالت در جریان اولیه در بازه دبی‌های ذکر شده، به دلیل حضور آستانه در مسیر جریان و به تبع آن تشکیل پرش هیدرولیکی، مقاطع (۱) و (۲) در محدوده رژیم زیر بحرانی قرار می‌گیرند و پروفیل سطحی ایجاد شده از نوع پروفیل یک می باشد ولی در جریان ثانویه با بازگشت دبی به محدوده 0.0625 تا 0.083 مترمکعب بر ثانیه، پرش هیدرولیکی از آستانه عبور کرده و هر دو مقطع با کاهش عمق نسبت به جریان اولیه در محدوده رژیم فوق بحرانی قرار گرفته و پروفیل ایجاد شده از نوع پروفیل دو می‌باشد. علت ایجاد پدیده هیستریزس در تمامی مدل‌های بررسی شده در تحقیق حاضر، وابستگی حالت فعلی جریان به حالت قبلی خود می‌باشد. بدین صورت که در جریان اولیه با افزایش دبی، سرعت جریان افزایش یافته و با کاهش عمق، مقاطع یک و دو که در دبی‌های پایین در رژیم زیر بحرانی قرار داشتند به رژیم فوق بحرانی تبدیل می‌گردند. با کاهش تدریجی دبی و با رسیدن آن به مقداری که در جریان اولیه، هر دو مقطع در محدوده رژیم زیر بحرانی بودند، شاهد رژیم فوق بحرانی خواهیم بود زیرا رژیم حالت قبلی جریان در محدوده فوق بحرانی قرار دارد. با اثرگذاری رفتار هیستریزس، در مدل آستانه استوانه‌ای اعماق نسبی جریان در مقاطع (۱) و (۲) به ترتیب به میزان $77/98$ و $77/78$ درصد افزایش می‌یابد.

شکل (۴- الف) تغییرات عدد فرود در مقطع (۱) در برابر عدد فرود عبوری از زیر دریچه را نشان می‌دهد. در این شکل مشخص است که با افزایش دبی و سپس کاهش آن، در دو عدد فرود عبوری از زیر دریچه در شرایط یکسان، در مقاطع (۱) و (۲) رژیم جریان از زیر بحرانی به فوق بحرانی تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر در مدل M1 محدوده‌ای که در آن رفتار هیستریزس مشاهده می‌گردد در محدوده عدد فرود $3.313 \leq Fr_0 \leq 5.89$ می‌باشد که با کاهش دبی به مقدار کمتر از 0.058 مترمکعب بر ثانیه، جریان به حالت اولیه برمی‌گردد یا به عبارت دیگر مقاطع (۱) و (۲) در محدوده زیر بحرانی قرار می‌گیرد. با تشکیل پدیده هیستریزس میزان عدد فرود در هر دو مقطع به میزان نسبی $85/38$ درصد افزایش می‌یابد. همچنین شکل (۴- ب) نیز تغییرات عدد فرود جریان در مقطع (۱) در برابر عدد فرود مقطع (۲) را نشان می‌دهد. در این شکل نیز مشخص است که با اثرگذاری رفتار هیستریزس بر جریان در مقابل آستانه استوانه‌ای رفتارهای دوگانه‌ای از رژیم جریان حاصل شده است که با اثرگذاری آن، میزان عدد فرود در هر دو مقطع (۱) و (۲) به ترتیب به میزان $85/38$ و $82/57$ درصد افزایش تأثیرگذاری کرده است که ناشی از تغییرات رژیم جریان در جریان ورودی یکسان می‌باشد.

شکل (۵) تغییرات اعماق نسبی جریان در برابر عدد فرود عبوری از زیر دریچه را که تحت اثر رفتار هیستریزس قرار گرفته است، نشان می‌دهد. شکل (۵- الف) عمق نسبی جریان در مقطع (۱) و شکل (۵- ب) عمق نسبی جریان در مقطع (۲) را نشان می‌دهد. با دقت در این شکل مشاهده می‌شود که در یک جریان افزایشی و کاهش‌ی، در

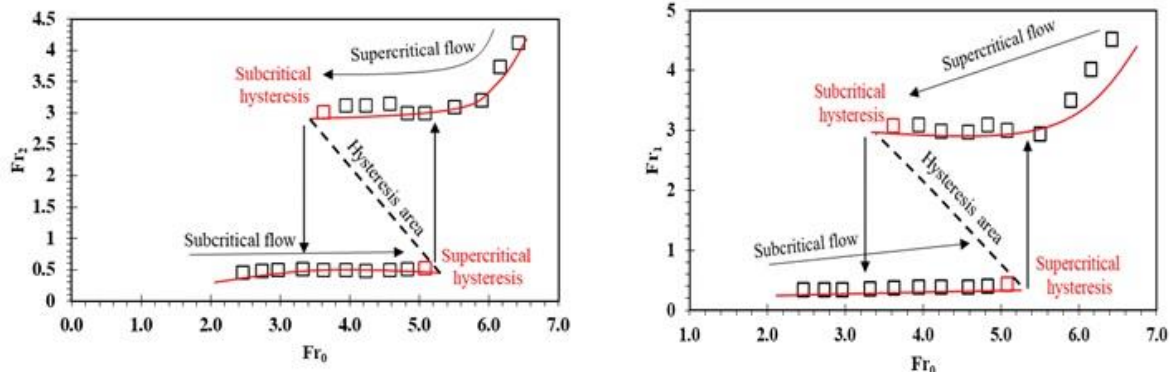


Fig. 4- Froude number changes against the Froude number of undergate flow due to hysteresis phenomenon for Cylindrical sill (A) section [1] (B) section [2]

شکل ۴ - تغییرات عدد فرود در برابر عدد فرود عبوری از دریچه متاثر از پدیده هیستریزس در آستانه استوانه‌ای (الف) مقطع (۱) (ب) مقطع (۲)

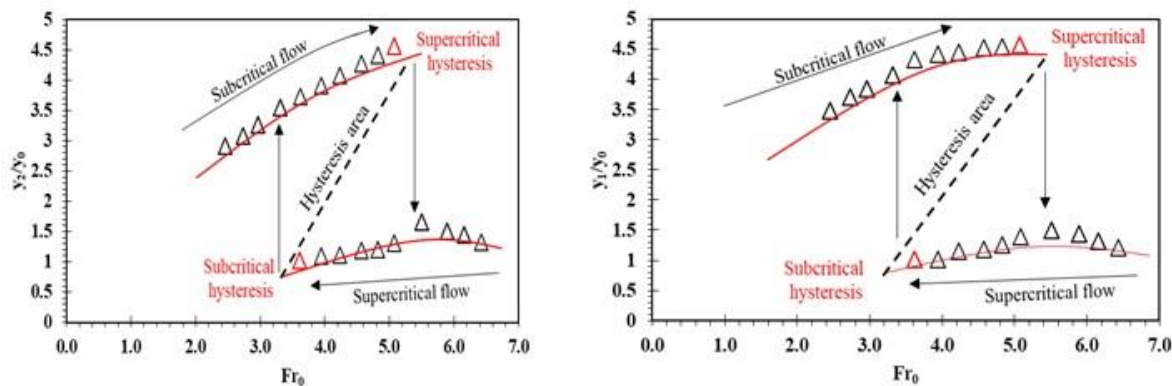


Fig. 5- Relative flow depths changes against the Froude number due to hysteresis phenomenon for Pyramidal sill (A) section [1] (B) section [2]

شکل ۵ - تغییرات اعماق نسبی جریان در برابر عدد فرود عبوری از دریچه متاثر از پدیده هیستریزس در آستانه هرمی: (الف) مقطع (۱) (ب) مقطع (۲)

(۱) و (۲) به ترتیب به میزان ۸۵/۳۱ و ۸۸ درصد افزایش تاثیرگذاری کرده است

شکل (۷) تغییرات اعماق نسبی جریان در برابر عدد فرود عبوری از زیر دریچه در مدل با استفاده از آستانه با هندسه مکعب مستطیلی را که تحت اثر رفتار هیستریزس قرار گرفته است، نشان می‌دهد. شکل (۷-الف) عمق نسبی جریان در مقطع (۱) و شکل (۷-ب) عمق نسبی جریان در مقطع (۲) را نشان می‌دهد. با دقت در این شکل مشاهده می‌شود که در یک جریان افزایشی و کاهششی، در چند دبی با شرایط آزمایشگاهی برابر، اعماق نسبی متفاوتی در هر دو مقطع ایجاد شده می‌شود. در مدل M3 در بازه دبی‌های ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۸۳ مترمکعب بر ثانیه، پدیده هیستریزس ظاهر شده است. در این حالت در جریان اولیه در بازه دبی‌های ذکر شده، به دلیل حضور آستانه در مسیر جریان و به تبع آن تشکیل پرش هیدرولیکی، مقاطع (۱) و (۲)

شکل (۶) تغییرات عدد فرود جریان در برابر آستانه هرمی شکل در مقاطع (۱) و (۲) در برابر عدد فرود عبوری از زیر دریچه را نشان می‌دهد. در این شکل مشخص است که با افزایش دبی و سپس کاهش آن، در دو عدد فرود عبوری از زیر دریچه در شرایط یکسان، در مقاطع (۱) و (۲) رژیم جریان از زیر بحرانی به فوق‌بحرانی تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر در مدل M2 محدوده‌ای که در آن رفتار هیستریزس مشاهده می‌گردد در محدوده عدد فرود $3.621 \leq Fr_0 \leq 5.09$ می‌باشد که با کاهش دبی به مقدار کمتر از ۰/۰۵۸ مترمکعب بر ثانیه جریان به حالت اولیه برمی‌گردد یا به عبارت دیگر مقاطع (۱) و (۲) در محدوده زیربحرانی قرار می‌گیرد. در این شکل نیز مشخص است که با اثرگذاری رفتار هیستریزس بر جریان در مقابل آستانه مکعب مستطیلی رفتارهای دوگانه‌ای از رژیم جریان حاصل شده بطوریکه با ظاهر شدن پدیده هیستریزس مقادیر اعداد فرود در مقاطع

در شکل‌های (۳، ۵ و ۷) که بیان‌گر تغییرات اعماق نسبی جریان که متأثر از رفتار هیسترتیک می‌باشد با افزایش دبی که بر روی فلش با عبارت Subcritical flow نشان داده شده است، رژیم جریان زیربحرانی می‌باشد و با رسیدن به نقطه $J1$ که با عبارت Supercritical hysteresis مشخص شده است، نقطه تبدیل رژیم زیربحرانی به فوق‌بحرانی می‌باشد. پس از سیر کامل صعودی دبی جریان، با کاهش تدریجی دبی که روی نمودار با Supercritical flow مشخص شده است، رژیم جریان دارای حالت فوق‌بحرانی می‌باشد که با رسیدن به نقطه $J2$ که با عبارت Subcritical hysteresis نشان داده شده است نقطه تبدیل رژیم فوق‌بحرانی به زیر بحرانی است. به‌طور واضح مشخص است که در بازه نقطه $J1$ تا $J2$ در دبی‌های یکسان دو رفتار متفاوت از جریان مشاهده می‌شود که علت اصلی آن، وابستگی حالت فعلی جریان به حالت قبلی آن بوده و از طرف دیگر به‌نوعی انرژی پسماند در جریان می‌باشد. با تغییر رژیم جریان از زیر بحرانی به فوق بحرانی، مقداری از انرژی به‌صورت انرژی پسماند در جریان باقی می‌ماند که این انرژی پسماند باعث افزایش سرعت و تغییر رژیم جریان در شرایط برابر آزمایشگاهی می‌باشد.

در محدوده رژیم زیربحرانی قرار می‌گیرند و پروفیل سطحی ایجاد شده از نوع پروفیل یک می‌باشد ولی در جریان ثانویه با بازگشت دبی به محدوده $0/006$ تا $0/0083$ مترمکعب بر ثانیه، پرش هیدرولیکی از آستانه عبور کرده و هر دو مقطع با کاهش عمق نسبت به جریان اولیه در محدوده رژیم فوق‌بحرانی قرار گرفته و پروفیل ایجاد شده از نوع پروفیل دو می‌باشد. علت ایجاد پدیده هیستریزس در تمامی مدل‌های بررسی شده در تحقیق حاضر، وابستگی حالت فعلی جریان به حالت قبلی خود می‌باشد. بدین صورت که در جریان اولیه با افزایش دبی، سرعت جریان افزایش یافته و با کاهش عمق، مقاطع (۱) و (۲) که در دبی‌های پایین در رژیم زیر بحرانی قرار داشتند به رژیم فوق بحرانی تبدیل می‌گردند. با کاهش تدریجی دبی و با رسیدن آن به مقداری که در جریان اولیه، هر دو مقطع در محدوده رژیم زیر بحرانی بودند، شاهد رژیم فوق بحرانی خواهیم بود، زیرا رژیم حالت قبلی جریان در محدوده فوق بحرانی قرار دارد. با اثرگذاری رفتار هیسترتیک، در مدل آستانه استوانه‌ای اعماق نسبی جریان در مقاطع (۱) و (۲) به ترتیب به میزان $70/68$ و $60/73$ درصد افزایش می‌یابد که این میزان افزایش عمق نسبی به شدت در سیستم سازه‌ای اثر گذاشته و در صورت عدم کنترل آن خسارات قابل توجهی را به بار خواهد آورد.

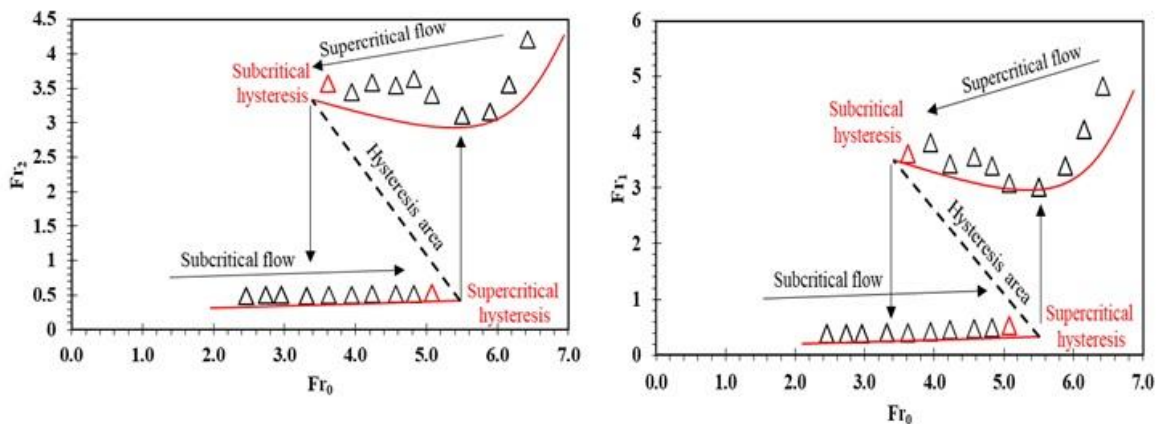


Fig.6- Froude number changes against the Froude number of undergate flow due to hysteresis phenomenon for Pyramidal sill (A) section [1] (B) section [2]

شکل ۶- تغییرات عدد فرود مقطع (۱) و (۲) در برابر عدد فرود عبوری از دریچه متأثر از پدیده هیستریزس در آستانه هرمی: الف) مقطع (۱) ب) مقطع (۲)

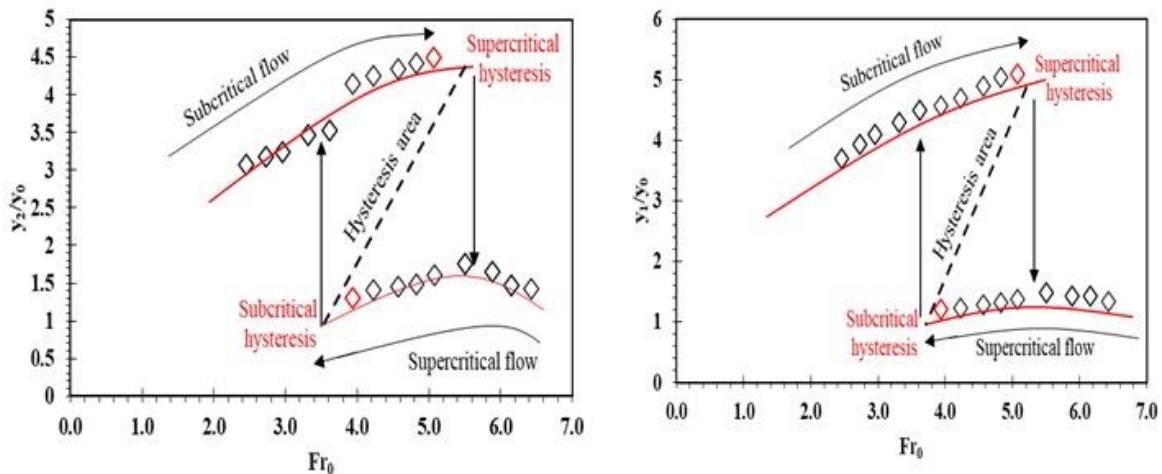


Fig. 7- Relative flow depths changes against the Froude number due to hysteresis phenomenon for rectangular cubic sill (A) section [1] (B) section [2]

شکل ۷- تغییرات اعماق نسبی جریان در برابر عدد فرود عبوری از دریچه در استوانه مکعب مستطیلی شکل متأثر از پدیده هیستریزیس مکعب مستطیل (الف) مقطع (۱) (ب) مقطع (۲)

(۱) محل تشکیل پرش هیدرولیکی می‌باشد. با دقت در شکل می‌توان دریافت که راندمان پرش هیدرولیکی در آستانه مکعب مستطیلی شکل بیشتر از آستانه با هندسه‌های هرمی شکل و استوانه‌ای می‌باشد. علت این امر آن است که آستانه مکعب مستطیلی به علت داشتن هندسه مکعبی و سطح تماس بیشتر با سیال، جریان با برخورد به آن دچار پس‌زدگی (Back water profile) شده و با تشکیل پرش هیدرولیکی، عمق جریان نسبت به سایر آستانه‌ها افزایش بیشتری می‌یابد. در دبی‌های پایین، میزان راندمان پرش با افزایش عمق بحرانی نسبی به صورت صعودی افزایش می‌یابد اما در دبی‌های بالا با عبور پرش هیدرولیکی از روی آستانه و تشکیل رژیم فوق بحرانی، میزان راندمان پرش کاهش می‌یابد. از طرفی در آستانه‌های استوانه‌ای و هرمی راندمان پرش تغییر چندانی در مقایسه با خود نمی‌کنند اما نسبت به حالت ساده دارای افزایش راندمان می‌باشد. بیشترین میزان راندمان که مربوط به آستانه مکعبی است در حدود ۷۲ درصد می‌باشد. از طرف دیگر، راندمان پرش هیدرولیکی آستانه مکعب مستطیلی نسبت به سایر آستانه‌ها چیزی در حدود ۶۵ درصد بیشتر از سایر آستانه‌ها می‌باشد. به طوری که راندمان پرش آستانه مکعبی نسبت به آستانه هرمی شکل ۶۵ درصد و نسبت به آستانه استوانه‌ای حدود ۵۸ درصد بیشتر است.

شکل (۸) تغییرات عدد فرود جریان در برابر آستانه مکعب مستطیلی شکل در مقاطع (۱) و (۲) در برابر عدد فرود عبوری از زیر دریچه را نشان می‌دهد. در این شکل مشخص است که با افزایش دبی و سپس کاهش آن، در دو عدد فرود عبوری از زیر دریچه در شرایط یکسان، در مقاطع (۱) و (۲) رژیم جریان از زیر بحرانی به فوق بحرانی تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر در مدل M3 محدوده‌ای که در آن رفتار هیسترتیک مشاهده می‌گردد در محدوده عدد فرود $3.941 \leq Fr_0 \leq 5.09$ می‌باشد که با کاهش دبی به مقدار کمتر از 0.006 مترمکعب بر ثانیه جریان به حالت اولیه بر می‌گردد. به عبارت دیگر مقاطع (۱) و (۲) در محدوده زیر بحرانی قرار می‌گیرد. در این شکل نیز مشخص است که با اثرگذاری رفتار هیسترتیک بر جریان در مقابل آستانه مکعب مستطیلی رفتارهای دوگانه‌ای از رژیم جریان حاصل شده به طوری که با ظاهر شدن پدیده هیستریزیس مقادیر اعداد فرود در مقاطع (۱) و (۲) به ترتیب به میزان $85/21$ و 80 درصد افزایش تأثیرگذاری کرده است.

شکل (۹) مقایسه راندمان پرش هیدرولیکی به واسطه المان‌های آستانه قرار گرفته در مسیر حرکت جریان را نشان می‌دهد. راندمان پرش هیدرولیکی با استفاده از رابطه (۵) به دست می‌آید. علت اینکه راندمان پرش نسبت به مقطع (۱) محاسبه شده است این است که آستانه، پرش هیدرولیکی را به سمت بالادست هدایت می‌کند و مقطع

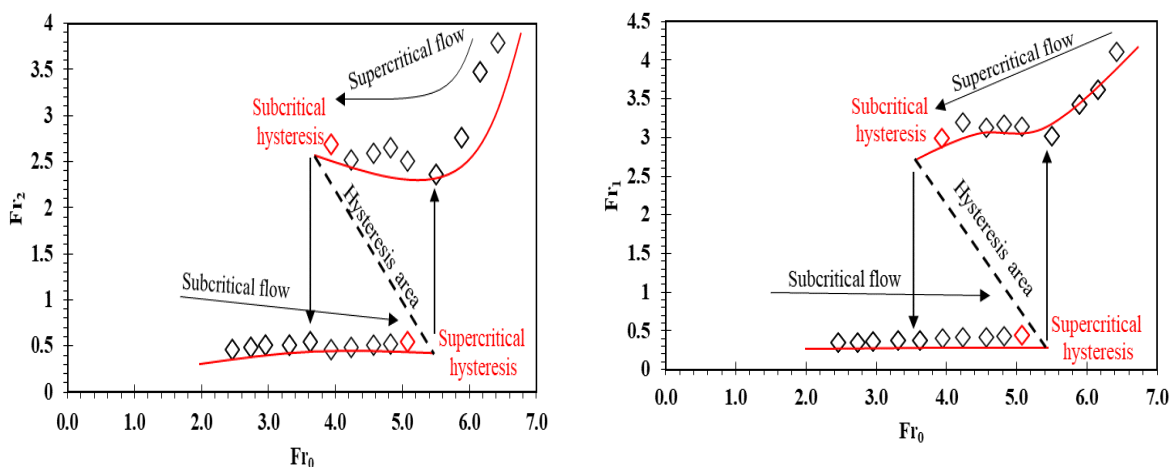


Fig. 8- Froude number changes against the Froude number of undergate flow due to hysteresis phenomenon for rectangular cubic sill (A) section [1] (B) section [2]

شکل ۸- تغییرات عدد فرود مقطع (۱) و (۲) در برابر عدد فرود عبوری از دریچه منتهی به پدیده هیستریزس در آستانه مکعب مستطیلی (الف) مقطع (۱) (ب) مقطع (۲)

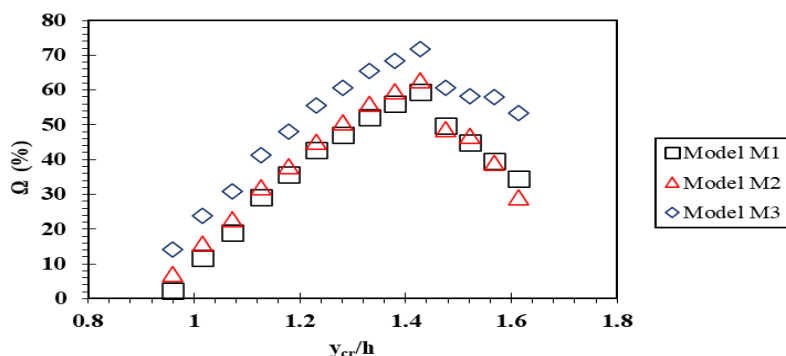


Fig. 9- Comparison of percentage of hydraulic jump changes for different sills

شکل ۹- مقایسه تغییرات درصد راندمان پرش هیدرولیکی برای آستانه‌های مختلف

جریان از دبی 0.0041 تا 0.01 مترمکعب بر ثانیه و با ایجاد جریان کاهش از 0.01 تا 0.0041 مترمکعب بر ثانیه با گام‌های افزایشی و کاهش 0.0041 مترمکعب بر ثانیه آب وارد فلوم شد. افزایش و کاهش جریان به یک دبی برابر باعث تشکیل دو پروفیل سطحی در یک سیستم آزمایشگاهی یکسان شد. این دو پروفیل عبارت بودند از: (a) پروفیل یک: که در آن، مقاطع یک و دو در رژیم زیر بحرانی قرار می‌گیرد (b) پروفیل دو: که در آن، مقاطع یک و دو در رژیم فوق بحرانی قرار می‌گیرد. در این تحقیق از سه آستانه با هندسه‌های هرمی، استوانه‌ای و مکعب مستطیلی شکل با ارتفاع سه سانتی‌متر استفاده شده است که نتایج آن به اختصار در ذیل ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

پدیده هیستریزس در جریان فوق‌بحرانی یکی از مسائلی است که تاکنون زیاد شناخته شده نیست و در نزدیکی سازه‌های الحاقی در سیستم‌های آب‌رسانی، خطوط انتقال آب و کانال‌ها تشکیل می‌گردد. رفتار هیسترتیک جریان باعث ایجاد حالات مختلف در جریان می‌گردد که اصلی‌ترین دلیل این رفتار، وابستگی حالت فعلی جریان به حالت قبلی خود می‌باشد که بررسی این پدیده بایستی در طراحی هیدرولیکی سازه‌ها مورد توجه طراحان و مهندسان هیدرولیک قرار بگیرد. در مطالعه حاضر، برای دستیابی به اهداف مورد نظر، که بررسی شرایط و دلایل وجود و عدم وجود پرش هیدرولیکی و تشکیل دو پروفیل متفاوت و تاثیر رفتار هیسترتیک است، لذا با ایجاد

- در مدل M1 که در مسیر جریان از آستانه استوانه‌ای استفاده شد، پدیده هیستریزیس در محدوده عدد فرود $3/62$ و $5/08$ تشکیل شد که با افزایش دبی به مقدار بیشتر از $0/0058$ مترمکعب بر ثانیه جریان به رژیم فوق‌بحرانی و با کاهش دبی به مقدار کمتر از $0/005$ مترمکعب بر ثانیه رژیم جریان به رژیم زیربحرانی برمی‌گردد که میزان اعماق نسبی جریان در مقاطع (۱) و (۲) به ترتیب $85/38$ و $82/57$ درصد افزایش یافته است.
- در مدل M2 نیز که در مسیر جریان آستانه هرمی شکل استفاده شده است، پدیده هیستریزیس در محدوده عدد فرود $3/62$ و $5/08$ تشکیل شد که با افزایش دبی به مقدار بیشتر از $0/0058$ مترمکعب بر ثانیه جریان به رژیم فوق‌بحرانی و با کاهش دبی به مقدار کمتر از $0/005$ مترمکعب بر ثانیه رژیم جریان به رژیم زیربحرانی برمی‌گردد که میزان اعماق نسبی جریان در مقاطع (۱) و (۲) به ترتیب $70/68$ و $60/37$ درصد افزایش یافته است.
- راندمان پرش هیدرولیکی در آستانه مکعب مستطیلی شکل بیشتر از سایر آستانه‌ها بوده که این مقدار افزایش به میزان نسبی 72 درصد می‌باشد.

References

- 1- Abecasis, F.M. and Quintela, A.C., 1964. Hysteresis in steady free-surface flow. *Water Power*, 16 (4), pp.147–151.
- 2- Akers, B. and Bokhove, O., 2008. Hydraulic flow through a channel contraction: Multiple steady states. *Physics of fluids*, 20(5). Doi: 10.1063/1.2909659.
- 3- Austria, P.M., 1987. Catastrophe model for the forced hydraulic jump. *Journal of Hydraulic research*, 25 (3), pp.269–280. Doi: 10.1080/00221688709499270
- 4- Baines, P. G. and Whitehead, J. A., 2003. On multiple states in single-layer flows. *Physics of fluids*, 15(2), pp.298-307.
- 5- Daneshfaraz, R., Aminvash, E. and Najibi, A. 2022 b. Experimental study of hysteretic behavior of supercritical regime on hydraulic parameters of flow against gabion contraction. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(1), pp.33-44. Doi: 10.22059/IJSWR.2022.334538.669141.
- 6- Daneshfaraz, R., Sadeghfam, S., Aminvash, E. and Abraham, J.P., 2022 a. Experimental Investigation of Multiple Supercritical Flow States and the Effect of Hysteresis on the Relative Residual Energy in Sudden and Gradual Contractions. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 46, pp.3843–3858. Doi: 10.1007/s40996-022-00818-9.
- 7- Defina, A. and Susin, F.M., 2003. Hysteretic behavior of the flow under a vertical sluice gate. *Physics of Fluids*, 15(9), pp.2541-2548. doi: 10.1063/1.1596193.
- 8- Defina, A. and Susin, F.M., 2006. Multiple states in open channel flow. *Vorticity and Turbulence Effects in Fluid Structures Interactions*, pp.105-130.
- 9- Defina, A. and Viero, D. P., 2010. Open channel flow through a linear contraction. *Physics of Fluids*, 22(3), pp. 1-12. Doi: 10.1063/1.3370334.
- 10- Kabiri-Samani, A., Rabiei, M. H., Safavi, H., & Borghei, S. M., 2014. Experimental–analytical investigation of super- to subcritical flow transition without a hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Research*, 52(1), pp. 129-136. Doi: 10.1080/00221686.2013.822935.

-
- 11-Lawrence, G.A., 1987. Steady flow over an obstacle. *Journal of Hydraulic Engineering*, 113(8), pp.981-991. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1987\)113:8\(981\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1987)113:8(981))
- 12-Mehrotra, S. C., 1974. Hysteresis effect in one and two fluids systems. *Proceeding V Australian conference on hydraulics and fluids mechanics New Zealand, Christchurch, University of Canterbury*, 2, pp. 452-461.
- 13-Muskatirovic, D. and Batinic, D.,1977. The influence of abrupt change of channel geometry on hydraulic regime characteristics. *In Proceedings of the 17th IAHR Congress*, pp. 397-404.
- 14-Sadeghfam, S., Khatibi, R., Hassanzadeh, Y., Daneshfaraz, R. and Ghorbani, M. A., 2017. Forced hydraulic jumps described by classic hydraulic equations reproducing cusp catastrophe features. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(9), pp. 4169-4179.
- 15-Viero, D. P. and Defina, A., 2017. Extended theory of hydraulic hysteresis in open-channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(9), 06017014. Doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001342.
- 16-Viero, D. P. and Defina, A., 2019. Multiple states in the flow through a sluice gate. *Journal of Hydraulic Research*, 57(1), pp. 39-50. Doi: 10.1080/00221686.2018.1434694.

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Water stress and Aquasorb 3005 super absorbent application on maize yield production in trickle irrigation system

M.R.Rahmani¹, S.Khoshnavaz^{2*}, S.Boromandnasab³ and A.Dareckvand⁴

1- PhD student in Irrigation and Drainage, Islamic Azad University, Shushtar.

2* - Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage, Islamic Azad University, Shushtar. (s.khoshnavaz@iau-shoushtar.ac.ir)

2- Professor and Faculty Member of the Faculty of Water and Environment Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Water Sciences, Islamic Azad University, Shushtar.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 28 November 2021

Revised: 2 February 2022

Accepted: 14 February 2022

Keywords:

Gotvand, Water productivity, Deficit irrigation, Yield production, Canopy cover.

TO CITE THIS ARTICLE:

Rahmani, M., Khoshnavaz, S., Boromand Nasab, S., Derikvandi, E. (2023). 'Effect of Water stress and Aquasorb 3005 super absorbent application on maize yield production in trickle irrigation system', Irrigation Sciences and Engineering, 46(3), pp. 17-34. doi: 10.22055/jise.2022.39161.1999.

Introduction

Water scarcity is the most important factor limiting the production of agricultural products, especially in arid and semi-arid regions. Application of some materials such as superabsorbent polymers in soil increases water retention in soil and thus reduces water consumption and fertilizer leaching. These materials can reduce the effects of dehydration on the plant and lead to increased yield in arid and semi-arid regions. In order to investigate the effect of superabsorbent under water stress conditions on yield, yield components and some physiological characteristics of corn, experimental plots were conducted in the form of split plots in a randomized complete block design in Gotvand region in Khuzestan province. Three treatments of Aquasorb 3005 (600,300,0 kg / ha) A1, A2 and A3 and four irrigation strategies (50,75,100,125) percent of water requirement I1, I2, I3 and I4 in three replications for two growing seasons, respectively Summer 2019 and spring planting 2020) were considered. Irrigation planning, biological yield, harvest index and canopy cover were measured at different stages of growth seasons, based on which a growth simulation model was presented using AquaCrop software. The results of this test showed that the use of Aquasorb 3005 increased product performance by one percent. In addition, the results show the effect of superabsorbent application and irrigation planning on improving water efficiency. The highest grain yield in spring and summer cultivation was related to I2A3 treatment equal to 9055 and 9255 kg / ha, respectively, and the lowest yield in both crops was related to I4A0 treatment equal to 5977 kg / ha in spring cultivation and 6344 kg / ha in summer cultivation.

Methods

The effect of different types of superabsorbents under the same moisture conditions and the effect of similar superabsorbents under different moisture conditions on saturation moisture, saturated hydraulic conductivity and water infiltration in soil showed a significant increase in soil saturation

moisture by applying superabsorbent polymers. While hydraulic conductivity decreased saturation and permeability because soil pores were blocked by the volume of swollen superabsorbents during more frequent periods of drying (Yan and Shi 2013). Superabsorbents reduce the loss of water and nutrients by increasing water storage capacity, and thus help the plant to use more of the solution received in the production process, and thus improve the efficiency of water and fertilizer consumption. (Ahrar and Delshad 2009). Increasing crop yield and of course increasing water use efficiency, due to the use of superabsorbent materials due to increased water and food storage capacity in the soil, reduced food leaching, rapid and optimal root growth with better food storage and aeration in the soil (Sharifian et al. 2013).

This study was conducted in two growing seasons (summer planting 2019 and spring planting 2020) in the northern region of Khuzestan (Gotvand city). Spring corn that is cultivated from early March to late March and harvested in July. The planting date of summer corn is from the second half of July to the tenth of August and its harvest takes place in late November and early December. The corn seed used in this design for cultivation is Semon cultivar, which was used for cultivation in both cropping seasons. This experiment was performed as fragmented plots based on randomized complete blocks with three replications. The treatments used in this study included water stress at four levels (100, 125, 75 and 50% of water requirement) as the main factor and crop management treatments at three levels as a secondary factor in three replications. The amount of aquasorb 3005 superabsorbent was added to the test soil at three levels (zero, 300 and 600 kg / ha) according to the experimental design (table1). The amount of superabsorbent used was mixed with soil by hand and with a shovel. The amount of superabsorbent required per plot at a depth of 30 cm (maximum root density) is evenly distributed from the soil surface.

Table 1- Irrigation and superabsorbent treatments in spring and summer treatments

Treatment s	Soil-water scenarios		First growing period			Second growing period				
	I	A	Biomass (kg/ha)		Irrigation water (mm)	Biomass (kg/ha)		HI (%)	Irrigation water (mm)	
			M	S _d		M	S _d			
I1A1		0	14700	231	49		15450	493	51	
I1A2	125	300	15600	247	51	640.1	15950	569	53	751.8
I1A3		600	16450	264	52		16950	416	56	
I2A1		0	15250	252	51		15950	379	52	
I2A2	100	300	16550	287	53	556	17250	777	53	666.3
I2A3		600	17300	302	55		18850	635	56	
I3A1		0	15150	245	50		15450	321	52	
I3A2	75	300	15500	268	53	489	16450	231	53	559.1
I3A3		600	16700	297	55		17650	503	55	
I4A1		0	13100	189	43		13200	265	39	
I4A2	50	300	13300	232	45	336.7	13650	379	42	445.8
I4A3		600	13550	246	44		14150	351	45	

I: irrigation (%); S: Aquasorb 3005 (kg/ha); M: mean; S_d: standard deviation; HI: Harvest index

Dimensions of each plot are 5 × 3 meters. The distance between each repetition is two meters and the distance between irrigation treatments is two meters per repetition and the distance between plots is considered per repetition meter. The longitude was 48 degrees and 48 minutes east and the latitude was 32 degrees and 13 minutes north with 65 meters.

Irrigation system implemented in this drip irrigation project (type) with a diameter of 16.5 mm irrigation strips and a distance between the drippers of 10 cm and a discharge of 3 liters per hour was used. Also, pressure control and measurement of irrigation water in each treatment were performed by adjustable valve and volume meter, respectively. The water source used was the main canal of Karun agro-industry branching off from Gotvand regulatory dam. The crop irrigation program is

summarized based on the scenarios defined in (Table 2). It should be noted that in spring cultivation due to rainfall at the beginning of cultivation was not irrigated. After that, two irrigations were applied equally at a depth of 20 and 29 mm for all treatments and then low irrigation scenarios were performed. In summer planting, the first irrigation was done in the same way to establish the plant and not to face stress before seed germination, according to the water requirement, and then irrigation treatments were applied at four levels.

The error coefficients used for the model calibration process are the mean squared error square (RMSE), the Nash-Sutcliffe efficiency index (NSE), the normalized objective function (NOF) and the absolute error (MAE) for the simulated and observed performance output values. The criteria used in this study are obtained using the following equations.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

$$NOF = \frac{RMSE}{\bar{O}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / n}}{\bar{O}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (3)$$

In the above equations, O_i is the value observed in Experiment i , P_i , the predicted value in Experiment i , \bar{O} , the mean of the observed values, and n is the number of observational data. The minimum RMSE value is zero and the model error will decrease as it approaches zero. The NSE index varies infinitely from one to negative, with values close to one being the best answer.

Table 2- Irrigation plans in spring and summer cultivations

Spring cultivation						Summer cultivation						
I ₄	I ₃	I ₂	I ₁	Day	Date	I ₄	I ₃	I ₂	I ₁	Day	Date	No.
Mm	Mm	Mm	Mm			mm	Mm	Mm	mm			
20	20	20	20	1	99.1.3	32	32	32	32	1	98.4.25	1
29	29	29	29	3	99.1.5	32	32	32	32	2	98.4.26	2
12.4	16.1	18.5	21.5	5	99.1.7	30	30	32	30	3	98.4.27	3
16.1	21.5	25	26.5	11	99.1.13	34	34	34	34	7	98.4.31	4
18	23	28	34.2	18	99.1.21	35	35	35	35	13	98.5.6	5
14.4	18.5	26.6	32.3	24	99.1.27	21	21	21	21	17	98.5.10	6
13.5	19.9	25	31.7	33	99.2.5	14.1	18.7	24	28.5	22	98.5.15	7
15.5	24.4	32.5	36.3	40	99.2.12	30.3	39.8	48.4	56.5	28	98.5.21	8
10.1	16.6	21.2	22.6	47	99.2.19	29.2	47.4	54.4	62.1	34	98.5.27	9
13.3	19	24.2	26.2	53	99.2.25	26.2	39.3	54	63.6	40	98.6.2	10
17.5	29.2	32	34.8	60	99.3.1	24.2	31.2	44.1	56	46	98.6.8	11
14.5	22.1	29.2	35.8	65	99.3.6	31.3	43.2	58.5	60.6	51	98.6.13	12
13.5	19.2	24.1	32	70	99.3.11	21.8	34	49.2	61.6	57	98.6.19	13
17.5	28.2	32	38.8	76	99.3.17	18.1	29.4	35.3	43	64	98.6.26	14
14.2	19.7	22.2	29.2	82	99.3.23	18	24.1	31.3	38.3	71	98.7.2	15
14	18.5	26	32.5	88	99.3.29	12	18.1	22.3	27.1	78	98.7.9	16
19	36	42	44.4	93	99.4.3	9.8	14.4	19.2	21.1	88	98.7.19	17
20	34	38	43.4	97	99.4.7	8	10.1	11.8	14.1	96	98.7.27	18
24.4	28.5	34	38.9	101	99.4.11	6.6	8.8	10.2	13.1	103	98.8.4	19
19.8	21.2	26	30	104	99.4.14	6.1	8.3	10	11.8	110	98.8.11	20
						6.1	8.3	9.6	10.4	121	98.8.21	21
336.7	489	556	640.1			445.8	559.1	666.3	751.8			Total(mm)

I₄=50% water requirements • I₃=75% • I₂=100% • I₁=125%

Results

Table (3) shows the variance test for significant evaluation of the effect of treatments and replications. As shown in the table, the effect of replication on the mean biological yield was not significantly different. The results showed that the effect of different levels of irrigation and application of polymer adsorbents as well as their interaction caused a significant difference in the probability level of 0.01. Therefore, according to the results, improving soil and water conditions can have a positive effect on crop production. There is a significant difference in comparing the average biological yield in different irrigation and superabsorbent treatments in spring cultivation. In summer cultivation, there is a significant difference compared to the average biological yield in different irrigation treatments and the treatment of 100% water requirement is more effective and the treatment is significant, but in superabsorbent treatments, there is no significant difference in treatments A2 and A1, but with treatment. A3 have significant differences.

Table 3- Analysis of variance to evaluate the effect of treatments and replications on biomass

Source of variation	Degree of freedom	Sum of squares	Mean square	F
Replication (R)	2	1128732	493691	13.4 ^{ns}
Irrigation (I)	3	637827382	19244365	86.4 ^{**}
Error I	6	1463284	228235	
Aquasorb 3005 (A)	2	14765843	7074537	91.3 ^{**}
Error A	4	335837	82432	
A × I	6	1034586	169453	68.7 ^{**}
Error AI	12	207894	17534	
Total	35	656763558		

^{**}, * and respectively are significantly at the level of one percent, five percent and no significantly.

Conclusion

The results showed that with increasing drought stress, yield decreased significantly. The reason for this can be attributed to the effect of drought stress by reducing leaf area index and disruption of the process of absorption and transport of nutrients, which ultimately reduces the supply of nutrients Results in reduced performance. Meanwhile, the presence of superabsorbent has been able to store water and nutrients and release it under stress conditions, finally provide sufficient nutrients for the plant and prevent a significant reduction in yield. Therefore, by using superabsorbent, it is possible to achieve acceptable yield and increase water consumption efficiency by using less water. As a result, in saving water consumption, by saving water, the area under cultivation is increased. In general, it can be concluded that the use of superabsorbent polymer due to improved root ventilation, by absorbing gravity water in a relatively short time after irrigation and also preventing soil compaction, creates a very suitable environment for the plant and the plant in These conditions absorb water and salts better. Regarding the nutritional effects of this polymer, it can be said that these compounds increase the air in the soil, cause better efficiency of some types of chemical fertilizers and better activity of soil microorganisms, or due to having a negative charge in the hydrated state, the possibility of absorbing some ions. Have a positive in the soil.

Acknowledgments

In the end, all professors and officials of the Faculty of Water Science Engineering of the Islamic Azad University, Shushtar Branch and Shahid Chamran University of Ahvaz are thanked for their great cooperation during this research.

References

- 1- Ahrar, M., delshad, M., Babalar, M. (2009). 'Improving water/fertilizer use efficiency of hydroponically cultured greenhouse cucumber by grafting and hydrogel amendment', *Journal Of Horticultural Science*, 23(1), pp. -. doi: 10.22067/jhorts4.v1388i1.1913 (In Persian).

- 2-Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), pp.282-290. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6.
- 3-Sharifian, H. Mokhtari, P. and Hezarcharibi, A. 2013. Investigation of the effect of superabsorbent polymer on changes in Kostiakov-Lewis diffusion equation coefficients in furrow irrigation. *Water and soil (agricultural sciences and industries)*. 27 (1). Pp. 205-212. (In Persian)
- 4- Yan L, Shi Y. Research Article Effects of Super Absorbent Resin on Leaf Water Use Efficiency and Yield in Dry-land Wheat. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2013;5(6):661-4. Doi:10.19026/ajfst.5.3145.



© 2023 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/>).

تأثیر تنش آبی و استفاده از سطوح مختلف سوپرجاذب اکوازورب ۳۰۰۵ روی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در روش آبیاری قطره‌ای

محمد رضا رحمانی^۱، صائب خوشنوار کومله^{۲*}، سعید برومند نسب^۳ و احسان دریکوند^۴

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر.

۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر s.khoshnava@iau-shoushtar.ac.ir

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

۴- استادیار گروه علوم آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر.

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵

بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

چکیده

کمبود آب مهمترین عامل محدود کننده تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. کاربرد برخی مواد نظیر پلیمرهای سوپرجاذب در خاک باعث افزایش ماندگاری آب در خاک و در نتیجه کاهش مصرف آب و آب شویی کودها می‌گردد. این مواد اثرات تنش کم آبی بر گیاه را کاهش داده و منجر به افزایش عملکرد در مناطق خشک و نیمه خشک می‌گردند. به‌منظور بررسی تأثیر سوپرجاذب در شرایط تنش آبی روی عملکرد، اجزای عملکرد و بعضی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ذرت، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در منطقه گتوند در استان خوزستان انجام شد. سه تیمار کاربرد Aquasorb 3005 (۰، ۳۰۰، ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب A_1 ، A_2 و A_3 و چهار استراتژی آبیاری (۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵، ۵۰) درصد نیاز آبی به‌ترتیب I_1 ، I_2 ، I_3 و I_4 در سه تکرار برای دو فصل کشت (کشت تابستانه ۱۳۹۸ و کشت بهاره ۱۳۹۹) در نظر گرفته شد. برنامه‌ریزی آبیاری، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و پوشش تاج در مراحل مختلف فصول رشد اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از Aquasorb 3005 عملکرد محصول را در سطح اطمینان یک درصد افزایش داد. علاوه بر این نتایج نشان دهنده تأثیر کاربرد سوپرجاذب و برنامه‌ریزی آبیاری در بهبود بهره‌وری آب است. بیشترین عملکرد دانه در کشت بهاره و تابستانه مربوط به تیمار I_2A_3 به‌ترتیب برابر ۹۰۵۵ و ۹۲۵۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد در هر دو کشت مربوط به تیمار I_4A_0 برابر ۵۹۷۷ کیلوگرم در هکتار در کشت بهاره و ۶۳۴۴ کیلوگرم در هکتار در کشت تابستانه بوده است.

کلید واژه‌ها: گتوند، بهره‌وری آب، کم آبیاری، عملکرد محصول، سطح سایه‌انداز.

مقدمه

خشک و نیمه خشک مطرح می‌باشد. پلیمرهای سوپرجاذب ژل‌های آب‌دوستی هستند که پس از جذب آب و در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه شده و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی مرطوب می‌ماند (Raju et al. 2002). ماده‌ای که قابلیت جذب حداقل ۲۰ برابر وزن خود را دارا باشد به‌عنوان سوپرجاذب ارزیابی می‌شود. مقدار جذب آب در این پلیمرها بسته به فرمول شیمیایی پلیمر، آب، ناخالصی‌ها و مقدار نمک موجود، از مقادیر بسیار کم حدود ۲۰ برابر وزنی تا بالاتر از ۲۰۰۰ برابر وزنی متغیر است. سوپرجاذب‌ها ترکیبات غیرسمی و بی‌خطر بوده که تا چندین سال استحکام خود را حفظ می‌کنند و بعد از این زمان در اثر تجزیه میکروبی و یا در اثر نور خورشید به آب، دی اکسید کربن، آمونیم و پتاسیم تجزیه می‌شوند (Fazeli Rostampour, 2013).

بررسی اثر انواع مختلف سوپرجاذب تحت شرایط رطوبتی یکسان و اثر سوپرجاذب‌های مشابه تحت شرایط رطوبتی

رشد روز افزون جمعیت جهان و در نتیجه نیاز بیشتر به تولیدات کشاورزی از مسائل مهمی است که امروزه بشر با آن روبه‌رو است. در این ارتباط محدودیت منابع آب و خاک به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی نیز مطرح بوده، به‌طوری‌که هم‌اکنون استفاده بهینه از منابع آب، سرلوحه فعالیت‌های کشورهای مختلف قرار گرفته است. از آنجایی که بیشتر مساحت ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک با منابع آب محدود تشکیل داده است در صورتی که مقدار آب مورد نیاز گیاه فراهم نشود، گیاه با تنش خشکی مواجه شده و صدمات جبران ناپذیری به محصول وارد خواهد آمد. تنش شدید خشکی باعث افزایش دمای برگ و در نتیجه پژمردگی، پیچیدگی و پیری زودرس برگ‌ها شده و با کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شود. بنابراین کارایی مصرف و استفاده بهینه از منابع آب به‌عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در مناطق

صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش تفاوت معنی‌داری را نشان داد به طوری که بیشترین تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به دست آمد. Khadem et al. (2011) در تحقیقی گزارش کردند علت روند افزایشی عملکرد در اثر مصرف سوپر جاذب، رساندن آب و مواد غذایی به گیاه در مرحله رشد رویشی و زایشی گیاه توسط سوپر جاذب می‌باشد که در مراحل تنش قادر است کمبود آب در مرحله

گرده‌افشانی را بر طرف کرده و سبب افزایش عملکرد دانه شود، با توجه به این که برای تولید عملکرد بالا، وجود آب کافی ضروری است، مسلماً این مواد سبب افزایش آب قابل دسترس گیاه می‌شوند که در نهایت سبب افزایش عملکرد می‌شوند. و در نتیجه کاربرد پلیمر سوپر جاذب روی ذرت منجر به افزایش شاخص برداشت، قطر و طول بلال، تعداد دانه در ردیف و عملکرد دانه و وزن هزار دانه شد.

Ali Zadeh و Abbasi (2017) در تحقیقی به ارزیابی مدل اکواکراپ از داده‌های ذرت دانه‌ای در منطقه کرج پرداختند. تحلیل حساسیت مدل نشان داد که مدل نسبت به رطوبت اولیه خاک، زمان شروع پیری ضریب گیاهی، بهره‌وری آب نرمال شده، حساس‌تر از سایر پارامترهاست. نتایج نشان داد در هر دو سال زراعی (واسنجی و صحت‌سنجی) مدل قادر است عملکرد دانه را در شرایط تنش هم‌زمان آبی و کود از ته به خوبی شبیه‌سازی نماید. با توجه به موقعیت جغرافیایی استان خوزستان که در منطقه گرم و خشک قرار دارد و کمبود آب می‌تواند با تغییر در شیوه‌های مدیریت زراعی و استفاده از سوپر جاذب‌ها، نسبت به کاهش مصرف آب اقدام نمود. لذا در این تحقیق تلفیقی از مدیریت مصرف آب و استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. تا کنون مطالعات بسیاری بر روی بررسی و ارزیابی کاربرد پلیمرهای سوپر جاذب بر عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت بر خصوصیات خاک تحت شرایط مختلف تنش آبی و همچنین تاثیر استفاده سوپر جاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت انجام شده است. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی از آنجا که توان پیش‌بینی عملکرد محصول و وضعیت خاک با توجه به تغییر در اقلیم، گیاه، عملیات مدیریتی و ... را دارند از اینرو سبب صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌شوند. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان تأثیر فاکتورهای مختلف را در برآورد عملکرد نهایی بررسی و مطالعه نمود.

علی رغم واقع شدن ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان و کمبود منابع آب و بروز خشکسالی‌های مکرر در نقاط مختلف کشور، اما استفاده از سوپر جاذب برای رفع آسیب‌های خشکسالی و کمبود رطوبت خاک کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به همین دلیل، این تحقیق با هدف بررسی اثر سطوح مختلف سوپر جاذب بر ذرت تحت تنش کمبود آب اجرا شد.

متفاوت بر رطوبت اشباع، هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذ آب در خاک حاکی از افزایش قابل توجه رطوبت اشباع خاک با اعمال پلیمرهای سوپر جاذب بود. در حالی که هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذپذیری کاهش یافت زیرا خلل و فرج خاک توسط حجم سوپر جاذب‌های متورم در طول دوره‌های مکرر تر و خشک شدن مسدود شد (Yan and Shi 2013). سوپر جاذب‌ها از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب، باعث کاهش هدر رفت آب و عناصر غذایی می‌شود و از این طریق به گیاه کمک می‌کند تا بخش بیشتری از محلول مصرفی دریافتی در فرایند تولید به کار گیرد و در نتیجه مقدار کارایی مصرف آب و کود بهبود می‌یابد (Ahrar et al., 2009). افزایش عملکرد محصولات زراعی و بالطبع افزایش کارایی مصرف آب، در اثر کاربرد مواد سوپر جاذب به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه با ذخیره مواد غذایی و هوادهی بهتر در خاک است (Sharifian et al. 2013).

Shahram et al. (2013) در بررسی تنش خشکی در سه سطح ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و کاربرد سوپر جاذب در چهار سطح صفر، ۳۵، ۷۰ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار بر گیاه ذرت گزارش نمودند که بالاترین عملکرد دانه مربوط به آبیاری (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کاربرد ۱۰۵ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به آبیاری (۴۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عدم کاربرد سوپر جاذب بود. Memar و Mojaddam (2015) در بررسی سه سطح پلیمر سوپر جاذب ۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار روی کنجد اعلام کردند که با افزایش میزان پلیمر سوپر جاذب تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین میزان عملکرد دانه و بیولوژیک و وزن هزار دانه به دست آمد.

Pouresmaeil et al. (2012) در مطالعه روی اثر پلیمر سوپر جاذب در برخی از خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی ارقام مختلف لوبیای قرمز تحت تنش خشکی به این نتیجه رسیدند تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گردید و کاربرد پلیمر سوپر جاذب به دلیل کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی سبب افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد. Keykhai (2001) اثر پلیمر سوپر جاذب PR3005A را بر میزان آب مصرفی و برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه کتان در اقلیم نیمه خشک و معتدل بررسی کرد و نتایج وی نشان داد که افزایش مصرف میزان پلیمر باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، عملکرد بیولوژیک و کاهش عمق آبیاری گردید (Shekari et al. 2015). با بررسی اثر پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا نشان دادند که سطوح مختلف پلیمر سوپر جاذب در تمام

بر اساس طرح آزمایشی مورد نظر افزوده شد. میزان سوپر جاذب مورد استفاده به صورت دستی و با بیبل با خاک مخلوط گردید. سوپر جاذب مورد نیاز در هر کرت در عمق ۳۰ سانتی متری (حد اکثر تراکم ریشه) از سطح خاک به طور کاملاً یکنواخت توزیع می شود بعد از ریختن سوپر جاذب در طول خط کشت به طور کامل با خاک مخلوط گردید. برای تعیین خصوصیات خاک مزرعه اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری نمونه برداری شد. پس از تهیه نمونه مخلوط، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش قرار گرفت که نتیجه آن در جدول (۱) منعکس شده است. پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد در جدول (۲) ارائه شده است. ابعاد هر کرت ۳×۵ متر در نظر گرفته شده فاصله بین هر تکرار دو متر و فاصله بین تیمارهای آبیاری در هر تکرار دو متر و فاصله بین کرت ها در هر تکرار یک متر در نظر گرفته شده است که ساختار اجرای طرح در شکل (۱) نشان داده شده است.

مزرعه آزمایشی به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع در شهرستان گتوند در استان خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی با ۶۵ متر ارتفاع از سطح دریا قرار داشت. سیستم آبیاری اجرا شده در این طرح آبیاری قطره ای (تیپ) با قطر نوارهای آبیاری ۱۶/۵ میلی متر و فاصله بین قطره چکان ها ۱۰ سانتی متر و آبدهی سه لیتر در ساعت استفاده شد. همچنین کنترل فشار و اندازه گیری مقدار آب آبیاری در هر تیمار به ترتیب توسط شیر قابل تنظیم و کنتور حجمی صورت گرفت. منبع آب مورد استفاده، کانال اصلی کشت و صنعت کارون منشعب شده از سد تنظیمی گتوند بوده است. برنامه آبیاری محصولات بر اساس سناریوهای تعریف شده در جدول (۳) خلاصه شده است. لازم به توضیح است که در کشت بهاره به واسطه بارندگی در ابتدای کشت آبیاری انجام نشده است. پس از آن دو آبیاری به صورت یکسان به عمق ۲۰ و ۲۹ میلی متر برای همه تیمارهای اعمال شد و سپس سناریوهای کم آبیاری اجرا گردید. در کشت تابستانه نیز شش آبیاری اول برای استقرار گیاه و عدم مواجهه با تنش قبل از جوانه زنی بذر به صورت یکسان و با توجه به نیاز آبی انجام شد و سپس تیمارهای آبیاری در چهار سطح اعمال گردید.

- در این تحقیق تاثیر سطوح مختلف تنش آبی و تاثیر آن بر سطوح پلیمرهای سوپر جاذب بر عملکرد اجزاء عملکردی ذرت در روش آبیاری قطره ای و شبیه سازی عملکرد با استفاده از نرم افزار Aqua crop مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص کلروفیل تحت اثر تیمار تنش کمبود آب و پلیمر سوپر جاذب قرار گرفتند. تنش خشکی باعث کاهش معنی دار شاخص کلروفیل و محتوای رطوبت نسبی برگ گردید که میتوان نتیجه گرفت اثر سوپر جاذب ها در رطوبت های پایین تر محسوس تر است.

استفاده از سوپر جاذب به تنهایی یا در کنار سایر روشهای آبیاری در صورتیکه به نحوه صحیح به کار رود و ادامه یابد این توانایی را دارد که زمینهای خشک و غیر قابل کشت کشاوران را با کمترین هزینه از خشکسالی نجات دهد و همچنین تحولی عظیم در کشاورزی و اقتصاد کشاورزان شریف و کلیه مراکز و سازمانهای حفظ و نگهداری منابع طبیعی و فضای سبز کشور ایجاد کند

مواد و روشها

این پژوهش در دو فصل کشت (کشت تابستانه ۱۳۹۸ و کشت بهاره ۱۳۹۹) در منطقه شمال خوزستان (شهرستان گتوند) انجام شد. ذرت بهاره که از اوایل اسفند ماه تا اواخر اسفندماه کشت و در تیرماه برداشت می شود. تاریخ کاشت ذرت تابستانه از نیمه دوم تیرماه تا دهم مرداد ماه و برداشت آن نیز در اواخر آبان ماه و اوایل آذرماه صورت می گیرد. بذر مورد استفاده در این طرح برای کشت، رقم Semon می باشد که در هر دو فصل زراعی از همین رقم برای کشت استفاده گردید. این آزمایش به صورت کرت های خرده شده بر پایه بلوک های کامل تصادفی و در سه تکرار به اجرا شد. تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل تنش آبی در چهار سطح (۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) به عنوان عامل اصلی و تیمارهای مدیریت زراعی در سه سطح به عنوان عامل فرعی در سه تکرار بوده است. مقادیر سوپر جاذب آکوازورب ۳۰۰۵ در سه سطح (صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک محل آزمایش

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1-Physical and chemical properties of farm

Organic Carbon(%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	EC (ds/m)	ρ_b (gr/cm ³)	PWP (% Θ_m)	FC (% Θ_m)	Texture soil	Depth Of soil(cm)
0.731	29.2	385	7.36	0.85	1.54	9	25	Silt-Loam	0-30
0.341	17.3	255	7.65	0.48	1.59	11	26	Silt-Loam	30-60

جدول ۲- پارامترهای آب و هوایی منطقه در دو فصل رشد

Table 2- Climatic parameters for two growing seasons

Growing season	Month	Temperature		Relative humidity	Precipitation
		Max °C	Min °C		
2019	July	43.2	19.2	15	0
	August	41.8	15.4	28	0
	September	36.8	11.2	34	0
	October	32.1	8.4	41	0
	November	27.4	5.2	47	12
2020	March	18.2	4.3	46	46
	April	22.7	11.3	38	16
	May	31.4	14.6	27	17
	June	33.2	15.4	17	0
	July	34.6	16.1	16	0

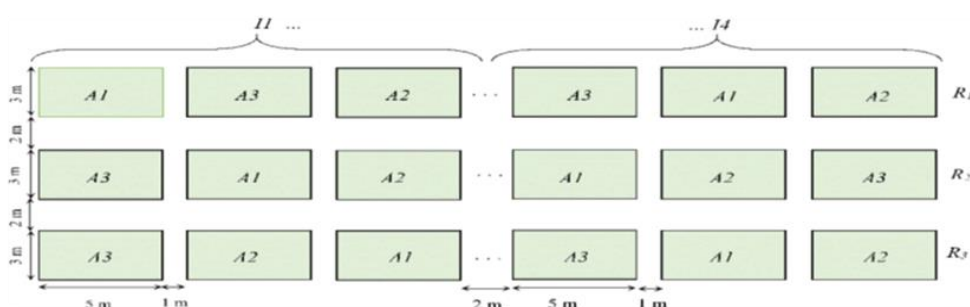


Fig.1- Experimentai farm structure

شکل ۱- ساختار مزرعه آزمایشی

جدول ۳- برنامه‌های آبیاری در کشت بهاره و تابستانه

Table 3- Irrigation plans in spring and summer cultivations

Summer cultivation			Spring cultivation									
No	Date	Day	I ₁ mm	I ₂ mm	I ₃ mm	I ₄ mm	Date	Day	I ₁ mm	I ₂ mm	I ₃ mm	I ₄ mm
1	98.4.25	1	32	32	32	32	99.1.3	1	20	20	20	20
2	98.4.26	2	32	32	32	32	99.1.5	3	29	29	29	29
3	98.4.27	3	30	32	30	30	99.1.7	5	21.5	18.5	16.1	12.4
4	98.4.31	7	34	34	34	34	99.1.13	11	26.5	25	21.5	16.1
5	98.5.6	13	35	35	35	35	99.1.21	18	34.2	28	23	18
6	98.5.10	17	21	21	21	21	99.1.27	24	32.3	26.6	18.5	14.4
7	98.5.15	22	28.5	24	18.7	14.1	99.2.5	33	31.7	25	19.9	13.5
8	98.5.21	28	56.5	48.4	39.8	30.3	99.2.12	40	36.3	32.5	24.4	15.5
9	98.5.27	34	62.1	54.4	47.4	29.2	99.2.19	47	22.6	21.2	16.6	10.1
10	98.6.2	40	63.6	54	39.3	26.2	99.2.25	53	26.2	24.2	19	13.3
11	98.6.8	46	56	44.1	31.2	24.2	99.3.1	60	34.8	32	29.2	17.5
12	98.6.13	51	60.6	58.5	43.2	31.3	99.3.6	65	35.8	29.2	22.1	14.5
13	98.6.19	57	61.6	49.2	34	21.8	99.3.11	70	32	24.1	19.2	13.5
14	98.6.26	64	43	35.3	29.4	18.1	99.3.17	76	38.8	32	28.2	17.5
15	98.7.2	71	38.3	31.3	24.1	18	99.3.23	82	29.2	22.2	19.7	14.2
16	98.7.9	78	27.1	22.3	18.1	12	99.3.29	88	32.5	26	18.5	14
17	98.7.19	88	21.1	19.2	14.4	9.8	99.4.3	93	44.4	42	36	19
18	98.7.27	96	14.1	11.8	10.1	8	99.4.7	97	43.4	38	34	20
19	98.8.4	103	13.1	10.2	8.8	6.6	99.4.11	101	38.9	34	28.5	24.4
20	98.8.11	110	11.8	10	8.3	6.1	99.4.14	104	30	26	21.2	19.8
21	98.8.21	121	10.4	9.6	8.3	6.1						
Total(mm)				751.8	666.3	559.1	445.8				640.1	489
												556

I₄=50% water requirements, I₃=75%, I₂=100%, I₁=125%

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

پس از رسیدگی فیزیولوژیکی با حذف نیم متر حاشیه‌ای کرت‌ها، برای تعیین عملکرد دانه از هر کرت بلال‌های شیار میانی جدا شده و در پاکت‌های شماره‌گذاری شده قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شد. برای تعیین اجزای عملکرد (وزن هزار دانه، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت)، از هر کرت پنج بوته که از ابتدای فصل علامت‌گذاری شده بودند را از سطح خاک به‌طور کامل جدا کرده و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه پس از توزین نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. نمونه‌های خشک مجدداً وزن شده و عملکرد دانه و سایر اجزای عملکرد در رطوبت ۱۴ درصد اندازه‌گیری شد. عملکرد بیولوژیکی برابر با وزن هوایی کلیه اندام‌های گیاه می‌باشد و شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی محاسبه گردید. علاوه بر این، طول و قطر بلال در مرحله رسیدگی کامل گیاه به‌صورت میانگین از بین هشت تا ۱۰ گیاه به‌دست آمد.

شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده شامل میزان کلروفیل A، کلروفیل B، کارتنوئید، مقاومت روزنه‌ای و شاخص سطح برگ هستند. کلروفیل A و B با روش Arnon (1975) اندازه‌گیری شدند. در این روش ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ توزین و به قطعات کوچک خرد شد. سپس با مقداری استون ۸۰ درصد در هاون چینی له گردید و بعد حجم آن با استون به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. آن‌گاه محلول حاصله به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در مرحله بعد برای محاسبه غلظت کلروفیل A، B، عصاره حاصل با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر قرائت و غلظت کلروفیل A و B با استفاده از روابط ذیل محاسبه شد (Amon, 1949).

$$\text{mg chl. a/ g tissue} = [12.25 (A_{663}) - 2.55 (A_{645})] v/w \quad (1)$$

$$\text{mg chl. b/ g tissue} = [20.31 (A_{645}) - 4.91 (A_{663})] v/w \quad (2)$$

در روابط فوق، v حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)؛ A جذب نور در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳

و w وزن تر نمونه بر حسب گرم هستند. برخی شاخص‌های گیاهی مانند شاخص سطح برگ در طول فصل و در سه مرحله ابتدایی، میانی و انتهایی رشد گیاه اندازه‌گیری شد. برای این منظور در هر کرت پنج بوته از ابتدای فصل علامت‌گذاری شده و اندازه‌گیری روی آن‌ها صورت گرفت. برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) از رابطه زیر استفاده شده است.

$$LAI = \frac{LA}{A} \quad (3)$$

در رابطه فوق، A، سطح اشغال شده توسط هر بوته، LA سطح برگ هر بوته (مجموع سطح تک تک برگ‌های هر بوته) می‌باشد. سطح برگ نیز از حاصلضرب بزرگترین عرض برگ در طول برگ در ۰/۷۵ محاسبه شده است.

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی و تخمین شاخص برداشت را برای کشت بهاره و تابستانه به تفکیک سه سناریوی کاربرد Aquasorb 3005 (۶۰۰، ۳۰۰، ۰) کیلوگرم در هکتار) و چهار سطح آب آبیاری (۱۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۰ درصد نیاز آبی) که به گیاه اختصاص داده شده است نشان می‌دهد. مطابق نتایج جدول (۴)، بیشترین عملکرد بیولوژیکی محصول در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد به‌دست آمده است. مقایسه کشت بهاره و تابستانه نیز نشان می‌دهد که متوسط عملکرد بیولوژیکی در تیمارهای مشابه در کشت تابستانه بیش از کشت بهاره است. علاوه بر این عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت با افزایش میزان کاربرد سوپر جاذب در همه سناریوهای آبیاری افزایش یافته است. بنابراین این دو پارامتر که مستقیماً میزان عملکرد دانه را تعیین خواهند کرد با میزان آب در دسترس ریشه رابطه مستقیم دارد.

آزمون‌های تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد بیولوژیکی

جدول (۵) آزمون واریانس را برای ارزیابی معنادار اثر تیمارها و همانند سازی‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است، تأثیر تکرار روی میانگین عملکرد بیولوژیکی تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد فوق جاذب پلیمری و همچنین اثر متقابل آن‌ها اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۰/۰۱ ایجاد کرده است. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده، بهبود شرایط خاک و آب می‌تواند تأثیر مثبتی بر تولید محصولات داشته باشد.

جدول ۴- تیمارهای آبیاری و سوپر جاذب در کشت بهاره و تابستانه

Table 4- Irrigation and superabsorbent treatments in spring and summer treatments

Treatments	Soil-water scenarios		First growing period			Second growing period				
	I	A	Biomass (kg/ha)		HI (%)	Irrigation water (mm)	Biomass (kg/ha)		HI (%)	Irrigation water (mm)
			M	S _d			M	S _d		
I1A1		0	14700	231	49		15450	493	51	
I1A2	125	300	15600	247	51	640.1	15950	569	53	751.8
I1A3		600	16450	264	52		16950	416	56	
I2A1		0	15250	252	51		15950	379	52	
I2A2	100	300	16550	287	53	556	17250	777	53	666.3
I2A3		600	17300	302	55		18850	635	56	
I3A1		0	15150	245	50		15450	321	52	
I3A2	75	300	15500	268	53	489	16450	231	53	559.1
I3A3		600	16700	297	55		17650	503	55	
I4A1		0	13100	189	43		13200	265	39	
I4A2	50	300	13300	232	45	336.7	13650	379	42	445.8
I4A3		600	13550	246	44		14150	351	45	

I: irrigation (%); A: Aquasorb 3005 (kg/ha); M: mean; S_d: standard deviation; HI: Harvest index

جدول ۵- تجزیه واریانس برای ارزیابی تأثیر تیمارها و تکرارها بر عملکرد بیولوژیکی

Table 5- Analysis of variance to evaluate the effect of treatments and replications on biomass

Source of variation	Degree of freedom	Sum of squares	Mean square	F
Replication (R)	2	1128732	493691	13.4 ^{ns}
Irrigation (I)	3	637827382	19244365	86.4 ^{**}
Error I	6	1463284	228235	
Aquasorb 3005 (A)	2	14765843	7074537	91.3 ^{**}
Error A	4	335837	82432	
A × I	6	1034586	169453	68.7 ^{**}
Error AI	12	207894	17534	
Total	35	656763558		

** , * and respectively are significantly at the level of one percent, five percent and no significantly

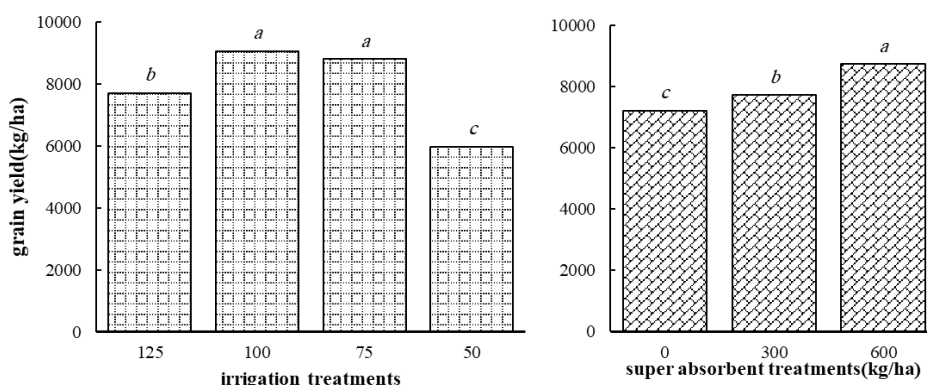


Fig. 2- Comparison of yield production in different treatments for spring cultivations

شکل ۲- مقایسه عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری و سوپر جاذب در کشت بهاره

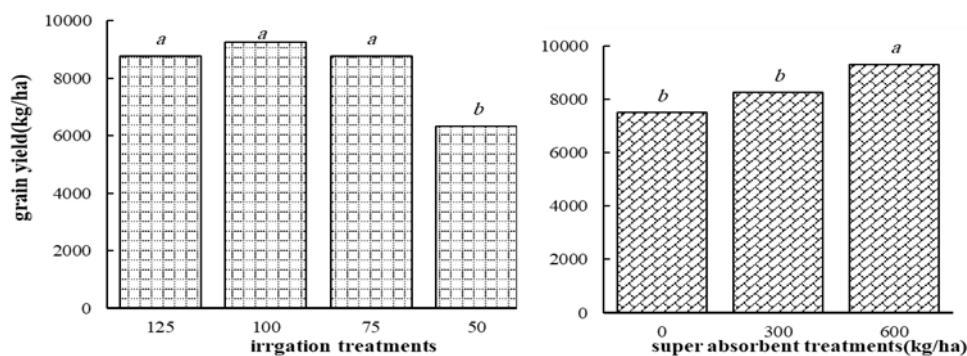


Fig. 3- Comparison of yield production in different treatments for summer cultivations

شکل ۳- مقایسه عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری و سوپر جاذب در کشت تابستانه

کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب را عامل افزایش بهترین رشد و عملکرد سویا رقم L11 در شرایط تنش خشکی و آبیاری معمول دانسته اند. در مطالعه Sorensen و (2005) Butts کاهش آب آبیاری از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۷۵ درصد تفاوت معنی داری را در عملکرد ذرت نشان نداده است. این موضوع می‌تواند از طریق مدیریت بهینه زمان و مقدار آبیاری به‌ویژه در سیستم آبیاری قطره‌ای که از کنترل بهتری نسبت به آبیاری سطحی برخوردار است قابل دستیابی باشد. مدیریت مشابه در این خصوص در سیستم آبیاری قطره‌ای برای افزایش عملکرد و بهره‌وری آب در کشت ذرت توسط Shahsavari Gughar et al. (2018) نیز بررسی شده است.

بیشترین عملکرد دانه در کشت تابستانه به‌دست آمد با توجه به این‌که در خوزستان، به‌دلیل خنک شدن تدریجی هوا و هم‌زمان نبودن مرحله زایشی گیاه به دمای خیلی بالا یا پائین در کشت تابستانه ذرت، تجمع و انتقال مواد غذایی به سمت دانه‌ها، بیشتر سریع‌تر و بهتر صورت می‌گیرد که همین امر را می‌توان از عامل‌های اصلی افزایش عملکرد دانه نسبت به کشت بهاره دانست. گزارش پژوهشگران دیگر مؤید نتایج این آزمایش بود. آنان عنوان کردند، وجود شرایط مطلوب‌تر دمایی می‌تواند عامل افزایش عملکرد باشد، زیرا دمای مناسب باعث افزایش سرعت ساخت و ساز و طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Lafitte and Edmeades 1997).

تجزیه واریانس اجزای عملکرد

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده مزرعه برای مطالعه تفاوت آن‌ها در جداول (۶) و (۷) خلاصه شده است.

عملکرد دانه

در شرایط آب و هوایی یکسان عملکرد گیاه تابع میزان و کیفیت آب دریافتی است. آب در دسترس گیاه از طریق ارتفاع یا حجم آب آبیاری و میزان نگهداری رطوبت در خاک برای گیاه فراهم می‌شود. برآورد دقیق نیاز آبی موجب دستیابی به بیشترین عملکرد دانه می‌گردد که تأثیر افزایش یا کاهش آن بر عملکرد در این تحقیق ارزیابی شده است. تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی حدود ۹۰۵۰ کیلوگرم در هکتار برای کشت بهاره و ۹۲۵۰ کیلوگرم در هکتار برای کشت تابستانه شکل‌های (۲) و (۳) تولید در پی داشته است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌گردد بجز تفاوت بین تیمارهای I₂ و I₃ (۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد آبیاری) در کشت بهاره، اختلاف عملکرد سایر تیمارها در سطح یک درصد معنی دار بوده است. از طرفی تخصیص آب بیش از حد مورد نیاز گیاه موجب آب گرفتگی و کاهش عملکرد آن شده است. در تحقیقی Rafiei et al. (2013) کاربرد پلیمر سوپر جاذب در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار روی ذرت منجر به افزایش معنی دار عملکرد، وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف و طول بلال گردید. Memar و Mojaddam (2015) استفاده سه سطح پلیمر سوپر جاذب صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار روی کنجد به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان پلیمر سوپر جاذب تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه به‌دست آمد. این نتایج همانند نتایج به‌دست آمده از تحقیقات Muazanzadeh Qhamsri et al. (2009) که مقادیر مختلف پلیمر سوپر جاذب (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سه دور آبیاری (۷، ۹ و ۱۱ روز یکبار) که کاربرد پلیمر سوپر جاذب منجر به افزایش میزان عملکرد، وزن خشک بخش هوایی، ارتفاع گیاه، سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول گردید. Yazdani et al. (2007) نیز

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر آبیاری و سوپر جاذب بر گیاه در کشت بهاره

Table 6- Analysis of variance of the irrigation and superabsorbent effects on plant in spring cultivation

Source of variation		Average squares of biological yield	Harvest index	Number of grain Rows per corn cob	Weight of one Hundred seeds	Cob length
Replication(R)	2	^{ns} 0.13	24.11 ^{ns}	274.75 ^{ns}	151 ^{ns}	0.33 ^{ns}
Irrigation(I)	3	7.13**	176.40**	64046.62*	1056.76**	39.06**
Error	6	0.25	4.96	167.04	60.85	0.48
Aquasorb 3005 (A)	2	5.40**	21.19**	98205.08**	1487.25**	88.58**
Error A	4	0.07	2.77	262.08	75.87	0.41
I × A	6	0.59 ^{ns}	7.15*	1138.15 ^{ns}	94.54 ^{ns}	1.62*
Error IA	12	0.14	3.79	284.65	40.37	0.45

** , * and respectively are significantly at the level of one percent, five percent and no significantly.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر آبیاری و سوپر جاذب بر گیاه در کشت تابستانه

Table 7- Analysis of variance of the irrigation and superabsorbent effects on plant in summer cultivation

Source of variation		Average squares of biological yield	Harvest index	Number of grain Rows per corn cob	Weight of one Hundred seeds	Cob length
Replication(R)	2	0.96 ^{ns}	66.36 ^{ns}	2086.77 ^{ns}	8.58 ^{ns}	0.08 ^{ns}
Irrigation(I)	3	23.80**	150.91**	116736.91**	907.40 ^{ns}	55.33**
Error	6	0.14	3.80	4773.11	11.21	0.52
Aquasorb 3005 (A)	2	9.01**	88.11*	124016.19**	482.33**	70.08**
Error A	4	0.40	16.52	869.77	8.79	0.66
A × I	6	0.35 ^{ns}	10.22 ^{ns}	1927.30 ^{ns}	2.62 ^{ns}	0.86*
Error IA	12	0.29	17.52	861.66	5.47	0.22

** , * and respectively are significantly at the level of one percent, five percent and no significantly.

تیمارهای سوپر جاذب در سطح پنج درصد معنی دار بوده لیکن اثر متقابل آن‌ها معنی دار نبوده است. hadem et al. (2011) گزارش دادند با افزایش شدت تنش خشکی تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت کاهش یافت ولی با کاربرد پلیمر سوپر جاذب بر تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک افزوده شد. برای مشاهده اثرات معنی دار به دست آمده در جداول تجزیه واریانس برای هر یک از اجزای عملکرد، جداول (۸) و (۹) به ترتیب مقایسه میانگین پارامترها را برای سطوح آبیاری و سوپر جاذب در سطح اطمینان یک درصد نشان می‌دهند. در ادامه مقایسه میانگین و تحلیل هر یک از شاخص‌های اندازه‌گیری شده به تفکیک مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

اثر آبیاری و سوپر جاذب بر طول بلال در سطح یک درصد در هر دو کشت بهاره و تابستانه معنی دار و اثر متقابل آن‌ها بر طول بلال در هر دو کشت بهاره و تابستانه در سطح پنج درصد معنی دار شده است. اثر تیمارهای آبیاری بر وزن صد دانه در کشت بهاره در سطح یک درصد معنی دار به دست آمد در حالی که در کشت تابستانه اثر تیمارهای آبیاری معنی دار نبوده اما اثر تیمارهای سوپر جاذب بر وزن صد دانه در سطح یک درصد در هر دو کشت بهاره و تابستانه معنی دار بوده است. لذا با توجه به تحلیل برنامه آبیاری در کشت تابستانه، یکی از دلایل عدم معنی داری برخی از اجزای عملکرد در کشت تابستانه، عدم دریافت به موقع آب مورد نیاز آبیاری و در نتیجه کاهش عملکرد آن‌هاست. اثر آبیاری و سوپر جاذب بر شاخص برداشت در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد در کشت بهاره معنی دار بوده است اما در کشت تابستانه اثر تیمارهای آبیاری در سطح یک درصد و

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری بر گیاه در کشت بهاره و تابستانه

Analysis of variance of the irrigation effect on plant in spring and summer cultivations-Table 8

Cultivation season	Treatment	Biological yield (kg/ha)	Grain yield (kg/h)	Harvest index(%)	Cob length (cm)	Number of grain per corn cob	Weight of one hundred seeds
Spring	I ₁	15560b	7778b	51.77a	19.22b	503b	205ab
	I ₂	16560a	9055a	53.77a	20.77a	555a	213a
	I ₃	16144ab	8800ab	54.66a	20.22ab	567a	218a
	I ₄	14510c	5977c	44.88b	16.11c	382c	193b
Summer	I ₁	16111b	8789a	53.22a	20.11b	528b	207b
	I ₂	17733a	9255a	53.55a	23.11a	668a	214a
	I ₃	16533b	9011a	53.44a	22a	603ab	211ab
	I ₄	13844c	6344b	45.22a	17.44c	403c	192c

جدول ۹-مقایسه میانگین اثر سوپر جاذب بر گیاه در کشت بهاره و تابستانه (سطح اطمینان: ۱ درصد)

Table 9- Analysis of variance of the superabsorbent effect on plant in spring and summer cultivations

Cultivation season	Treatment	Biological yield (kg/ha)	Grain yield (kg/h)	Harvest index (%)	Cob length (cm)	Number of grain per corn cob	Weight of one hundred seeds
Spring	A ₁	15204c	7225b	49.75a	16.25c	407c	197b
	A ₂	15656b	7735b	52.16a	19.33b	512b	204b
	A ₃	16378a	8748a	51.91a	21.66a	587a	219a
Summer	A ₁	15266b	7500b	49.25a	18.25c	441c	199c
	A ₂	15916b	8250b	50.41a	20.66b	568b	206b
	A ₃	16983a	9300a	50.41a	23.08a	642a	212a

(Confidence level: 1%)

طول بلال

طول بلال از شاخص‌های ارزیابی عملکرد و واکنش ذرت به رطوبت دریافتی از خاک است که در رژیم‌های آبیاری مختلف دچار تغییرات معنی‌داری می‌گردد. Azizi و Haji Babaei (2015) شکل‌های (۴) و (۵) مقایسه طول بلال در سطح اطمینان یک درصد را در اثر تیمارهای آبیاری و سوپر جاذب در کشت بهاره و تابستانه نشان می‌دهد. مقدار آبیاری ۱۰۰ درصد بیشترین طول بلال را داشته است و کاهش ۲۵ درصد از نیاز آبی تنها ۲/۶۵ درصد از طول بلال را کاهش خواهد داد که اختلاف معنی‌داری محسوب نمی‌شود. افزایش آب به ۱۲۵ درصد نیاز آبی و کاهش ۵۰ درصدی در آب دریافتی به ترتیب ۷/۵ و ۲۲/۴ درصد نسبت به بهترین حالت موجب کاهش طول بلال شده اند.

افزایش سوپر جاذب به خاک زراعی در تیمارهای ۳۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش طول بلال با اختلاف معنی‌دار یک درصد در هر دو کشت بهاره و تابستانه شده است. علاوه بر این اختلاف بین همه تیمارهای آبیاری در کشت تابستانه در سطح یک درصد در کشت تابستانه معنی‌دار گزارش شده است و به ترتیب I₂، I₁، I₃ و I₄ از نظر این پارامتر شرایط مطلوب‌تری را کسب کرده‌اند.

قطر بلال

قطر بلال در اثر کاربرد سوپر جاذب در سطح یک درصد افزایش معنی‌داری داشته است اشکال (۶) و (۷). میانگین این پارامتر در کشت بهاره در تیمارهای A₁، A₂ و A₃ به ترتیب ۱/۶۹، ۱/۸۹ و ۲/۰۴ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. تغییرات قطر بلال

در کشت بهاره همانند طول بلال تنها در صورت افزایش ۲۵ درصدی و کاهش ۵۰ درصدی در میزان آب دریافتی دچار افت معنی‌دار شده است. در کشت تابستانه تنها اختلاف معنی‌دار (در سطح یک درصد) مربوط به کاهش قطر بلال در اثر کم آبیاری ۵۰ درصد بوده است. سایر مقادیر به دست آمده برای قطر بلال در کشت تابستانه بین ۱/۹۷ تا ۲/۰۱ سانتی‌متر متغیر است که بر خلاف کشت بهاره اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته‌اند. در شرایط تنش کم آبی مواد فتوسنتزی برای گرده افشانی و رشد زایشی گیاه کاهش یافته و تشکیل و پر شدن دانه و در نتیجه قطر بلال دچار ضعف خواهد شد. از این رو با توجه به اختلاف معنی‌دار کاربرد سوپر جاذب در کشت بهاره برای ظرفیت نگهداشت آب، این گونه مدیریت زراعی می‌تواند کمبود آب مورد نیاز گیاهان در شرایط کم آبی را جبران کند.

تعداد ردیف دانه در بلال

بیشترین تعداد ردیف دانه در بلال در اثر آبیاری در آزمایش‌های I₃ و I₂ در کشت بهاره و به ترتیب با مقادیر ۱۴/۸۹ و ۱۴ به دست آمده است شکل‌های (۸) و (۹) بنابراین در تیمار I₃ علی‌رغم کاهش ۲۵ درصد مقدار مصرف آب آبیاری اما شاهد افزایش تعداد دانه در ردیف به میزان شش درصد نسبت به تیمار شاهد بوده است همچنین در بین تیمارهای اثر سوپر جاذب تفاوت معنی‌دار وجود دارد. در کشت تابستانه در همه تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و تیمار I₂ تیمار برتر می‌باشد و در بین تیمارهای اثر سوپر جاذب هر چند در تیمار A₃ نسبت به A₂ افزایش وجود دارد لیکن این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد.

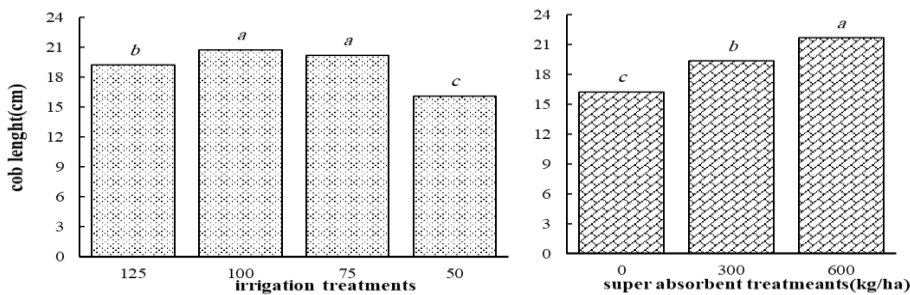


Fig.4- Comparison of era length in different treatments of water and super absorbent in spring cultivations

شکل ۴- مقایسه طول بلال در تیمارهای مختلف آبیاری و سوپر جاذب در کشت بهاره

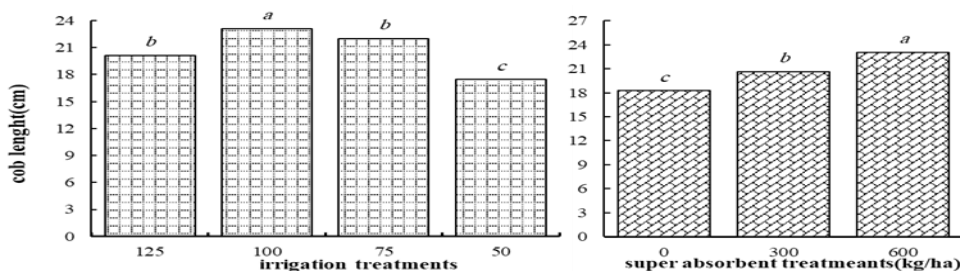


Fig.5- Comparison of era length in different treatments of water and super absorbent in summer cultivations

شکل ۵- مقایسه طول بلال در تیمارهای مختلف آبیاری و سوپر جاذب در کشت تابستانه

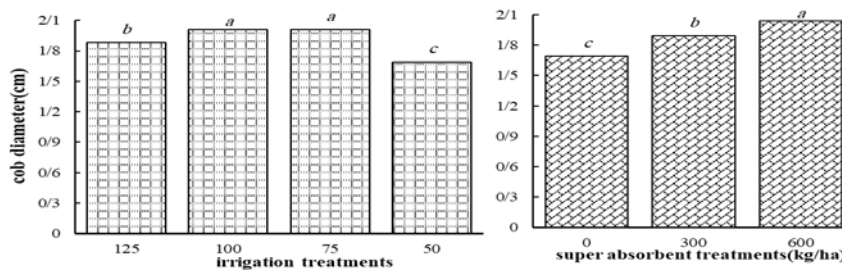


Fig.6- Comparison of era diameter in different treatments of water and super absorbent in spring cultivations

شکل ۶- مقایسه قطر بلال در تیمارهای مختلف آبیاری و سوپر جاذب در کشت بهاره

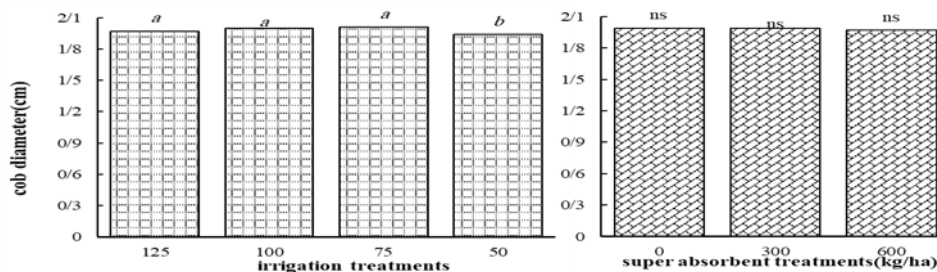


Fig.7- Comparison of era diameter in different treatments of water and super absorbent in summer cultivations

شکل ۷- مقایسه قطر بلال در تیمارهای مختلف آبیاری و سوپر جاذب در کشت تابستانه

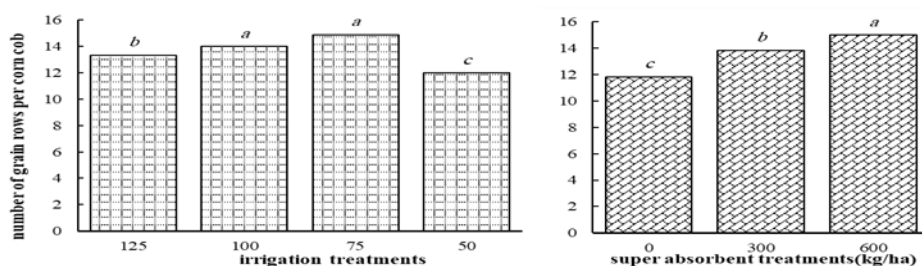


Fig.8- Comparison of the number of seed rows in different treatments of water and super absorbent in spring cultivations

شکل ۸- مقایسه تعداد ردیف دانه در تیمارهای مختلف آبیاری و سوپر جاذب در کشت بهاره

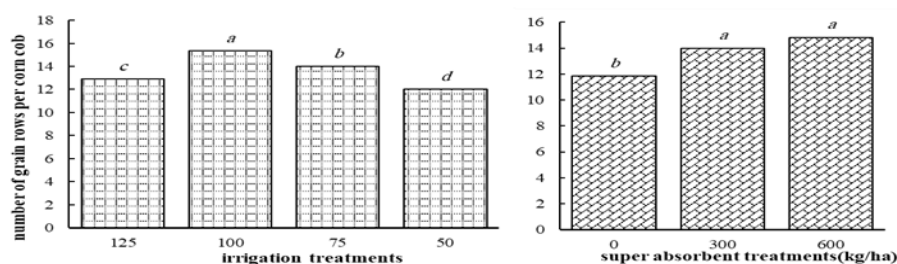


Fig.9- Comparison of the number of seed rows in different treatments of water and super absorbent in summer cultivations

شکل ۹- مقایسه تعداد ردیف دانه در تیمارهای مختلف آبیاری و سوپر جاذب در کشت تابستانه

(2014) نشان دادند که کم آبیاری ملایم در طول رشد گیاه می‌تواند موجب افزایش شاخص‌های گیاهی گردد.

نتیجه‌گیری

بیشترین عملکرد دانه در هر دو کشت بهاره و تابستانه مربوط به تیمار I_2A_3 (۱۰۰ درصد) نیاز آبی و استفاده ۶۰۰ کیلوگرم سوپر جاذب) به ترتیب برابر ۹۰۵۵ و ۹۲۵۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد در هر دو کشت مربوط به تیمار I_4A_0 (۵۰ درصد نیاز آبی بدون استفاده از سوپر جاذب) برابر ۵۹۷۷ کیلوگرم در هکتار در کشت بهاره و ۶۳۴۴ کیلوگرم در هکتار در کشت تابستانه بوده است. بیشترین عملکرد بیولوژیک محصول در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد به دست آمده است. که در کشت تابستانه در تیمار I_2A_3 به میزان ۱۸۸۵۰ کیلوگرم در هکتار و در کشت بهاره در تیمار I_2A_3 با ۱۷۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. مقایسه کشت بهاره و تابستانه نیز نشان می‌دهد که عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با افزایش میزان کاربرد سوپر جاذب در همه سناریوهای آبیاری افزایش یافته است. بنابراین این دو پارامتر که مستقیماً میزان عملکرد دانه را تعیین خواهند کرد با میزان آب در دسترس ریشه رابطه مستقیم دارند در عملکرد دانه بین تیمار آبیاری ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد هر چند که تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) عملکرد بیشتری نسبت به تیمار ۷۵ درصد دارد ولی این اختلاف معنی‌دار نیست و تیمار برتر در این تحقیق تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی می‌باشد چون میزان

عملکرد بیولوژیک

همان‌گونه که در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) مشاهده می‌گردد در مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک در تیمارهای مختلف آبیاری و سوپر جاذب در کشت بهاره اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در کشت تابستانه نیز در مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک در تیمارهای مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی اثر بخشی بیشتری دارد و تیمار شاخص می‌باشد اما در تیمارهای سوپر جاذب در تیمارهای A_1 و A_2 اختلاف معنی‌دار وجود ندارد اما با تیمار A_3 اختلاف معنی‌دار دارند

شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده برای سنجش تأثیر آبیاری و سوپر جاذب بر تغییرات آن‌ها در این تحقیق شامل کلروفیل A، کلروفیل B، کارتنوئید و مقاومت ریزه‌ای می‌باشد. در کشت بهاره با کاهش آب تخصیص داده شده به گیاه بدون در نظر گرفتن نیاز آبی سطح کلروفیل A، کلروفیل B و کارتنوئید کاهش خواهد داشت اما تفاوت ایجاد شده معنی‌دار محسوب نمی‌شود. مقاومت ریزه‌ای در کشت بهاره با افزایش آب آبیاری (I_1) و کاهش آن (I_4) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در تحقیقات مشابه نیز کم آبیاری از عوامل کاهش غلظت کلروفیل‌های A و B بوده است. (2013) Khacksar et al. میزان کاهش غلظت کلروفیل‌های A و B در اثر تنش خشکی در آزمایش مزرعه‌ای Nasrollahzadeh Asl et al. (2016) حدود ۱۶ درصد گزارش شده است. از سوی دیگر Hagh Joe و Bohrani

به علت بهبود تهویه ریشه، از طریق جذب آب ثقیلی در مدتی نسبتاً کوتاه پس از آبیاری و نیز جلوگیری از تراکم خاک، باعث ایجاد یک محیط بسیار مناسب برای گیاه می‌گردد و گیاه در این شرایط آب و املاح را بهتر جذب می‌کند. در مورد اثرات تغذیه‌ای این پلیمر می‌توان اظهار داشت که این ترکیبات با افزایش هوا در خاک باعث کارایی بهتر بعضی از انواع کود شیمیایی و نیز فعالیت بهتر ریز جانداران خاک می‌شوند و یا به علت داشتن بار منفی در حالت هیدراته، امکان جذب بعضی یون‌های مثبت در خاک را دارند.

تشکر و قدردانی

در پایان از کلیه اساتید محترم و مسئولان دانشکده مهندسی آب و محیط زیست همچنین معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر و دانشگاه شهید چمران اهواز به دلیل همکاری فراوان در طی انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

آب مصرفی در این تیمار کمتر است و در بین تیمارهای سوپرچادب هم اختلاف معنی دار وجود دارد. نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی، عملکرد به طور معناداری کاهش نشان داد. دلیل آن را می‌توان به تأثیر تنش خشکی از طریق کاهش شاخص سطح برگ و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی دانست که در نهایت به کاهش عرضه مواد پرورده می‌انجامد و موجب کاهش عملکرد می‌شود. در این میان حضور سوپر چادب به خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رها سازی آن در شرایط تنش، در نهایت مواد پرورده کافی را برای گیاه فراهم واز کاهش معنادار عملکرد جلوگیری نماید. لذا با استفاده از سوپرچادب به خوبی می‌توان با کاربرد آب کمتر، عملکرد قابل‌قبولی به دست آورد و کارایی مصرف آب را افزایش داد. در نتیجه، در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و با آب صرفه‌جویی شده، سطح زیر کشت را افزایش داد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پلیمر سوپرچادب

References

- 1- Ahrar, M., delshad, M., Babalar, M. (2009). 'Improving water/fertilizer use efficiency of hydroponically cultured greenhouse cucumber by grafting and hydrogel amendment', *Journal Of Horticultural Science*, 23(1), pp. -. doi: 10.22067/jhorts4.v1388i1.1913 (In Persian).
- 2- Ali zadeh, H. A., Abbasi, F. (2017). 'Assessment of AquaCrop Model for Simulating Yield Response of Corn to Water and Fertility Stresses', *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(2), pp. 119-134. doi: 10.22055/jise.2017.13166. (In Persian).
- 3-Amon, D. I., 1949. Copper enzymes in isdated chloroplasts, polyph enoloxi dase in beta vulgaris. *plant physiology* 24:1-15.
- 4.-Arnon, D. I. 1975. Copper enzymes in isolated chloroplasts poly phenoxidase inn Beba vulgaris L. *Plant physiol.* 45:1-15.
- 5-Fazeli Rostampour, M. 2013. Effects of irrigation regimes and polymer on dry matter yield and several physiological traits of forage sorghum Var. Speed feed. *African journal of Biotechno-logy* 12(51): 7074-7080.
- 6- Hagh Joe, m. And Bohrani, A., 2014. Effect of Irrigation and Nitrogen Fertilizer on Grain Yield, Yield Components and Dry Transfer of Maize Single Cross 260, *Iranian Journal of Crop Science*, 16(4) pp. 278-292. (In Persian).
- 7- Haji Babaei, M. Azizi, F., 2015. Effects of Drought Stress on Vegetative and Reproductive Stages in New Dual Purpose Maize Hybrids, *Iranian Journal of Crop Research*, 14 (2). P292-303. (In Persian).
- 8- Keykhai, F., 2001. Measurement of the effect of a moisture absorbent polymer super magnetizer PR3005A on a banking and quantitative and qualitative appropriation balance of Rogani linen. Danshekda Kashawarzi. Daneshgah Tarbiat teacher. (In Persian).
- 9- Khadem, S.A., Ramroudi, M., Galavi, M. and Rousta, M.J., 2011. the effect of drought stress and different rates of animal manure with super absorbent polymer on grain yield and yield components of corn (*Zea mays L.*). *Iranian Journal of field crop science*, 42(1), pp.115-123. . (In Persian).
- 10- Khacksar, A. Naderi, A. Aeyna band, A. Lak, Sh., 2013. Evaluation of Simultaneous Effect of Irrigation Deficit and Water Cutting Stress on Physiological Traits Affecting the Yield of Single Cross 704 Corn, *Journal of Crop Research*, 6 (1). (In Persian).

- 11- Lafitte, H.R. and Edmeades, G.O., 1997. Temperature effects on radiation use and biomass partitioning in diverse tropical maize cultivars. *Field crops research*, 49(2-3), pp.231-247. Doi: 10.1016/S0378-4290(96)01005-2
- 12- Memar, M. and Mojaddam, M. 2015. The effect of irrigation intervals and different amounts of super absorption yield and yield components of sesame in Hamidiyeh weather conditions. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. 5 (1)pp. 179-186.
- 13- Muazanzadeh Qhamsri, b. Abri, M. Zohorian, g. And Nik-Niyayi, A., 2009. He made a curd and a person, hey, Rushd, which was scattered under the influence of different amounts of carbide, a supergravity polymer (Superab A-200) under tench strips. *Iran agricultural sciences gayahan magazine*. 40 (3). pp. 1-8. (In Persian).
- 14- Nasrollahzadeh Asl, V. Shiri, M. Muharram Nejad, S. Yosafi, M. Baghbani, f., 2016. The effect of drought stress on agronomic and biochemical properties of three maize hybrids, *Journal of Crop Research, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, 8th year, No. 32*. (In Persian).
- 15- Pouresmaeil, P., Habibi, D., Boojar, M.M.A., Tarighaleslami, M. and Khoshouei, S., 2012. Effects of superabsorbent application on agronomic characters of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 4(24), pp.1874-1877.
- 16- Rafiei, F., Nourmohammadi, G., Chokan, R., Kashani, A. and Haidari Sharif Abad, H., 2013. Investigation of superabsorbent polymer usage on maize under water stress. *Global Journal of Medicinal Plant Research*, 1(1), pp.82-87.
- 17- Raju, K.M., Raju, M.P. and Mohan, Y.M., 2002. Synthesis and water absorbency of crosslinked superabsorbent polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 85(8), pp.1795-1801.
- 18- Shahram, M., Mansour, F.R. and Ansari, M.H., 2013. The effect of different levels of superabsorbent on efficiency of the photosynthetic matter the remobilization and portion of remobilization in seed yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Annals of Biological Research*, 4(1), pp.170-176.
- 19- Shahsavari Gugharġ, M., Rezaei Estakhroieh, A., Irandost, M. and Neshat, A., 2018. Evaluating the Effect of Different Levels of Deficit Irrigation and Partial Root-Zone Drying on the Yield and Water Productivity of Maize in Hajiabad. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 22(1), pp.61-70. (In Persian). Doi: 10.29252/jstnar.22.1.61.
- 20- Sharifian, H. Mokhtari, P. and Hezarcharibi, A. 2013. Investigation of the effect of superabsorbent polymer on changes in Kostikov-Lewis diffusion equation coefficients in furrow irrigation. *Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*. 27 (1). pp. 205-212. (In Persian).
- 21- SHEKARI, F., JAVANMARD, A. and ABBASI, A., 2015. Effects of super-absorbent polymer application on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 7(3), pp.361-366. (In Persian).
- 22- Sorensen, R.B. and Butts, C.L., 2005. Cotton, corn, and peanut yield under subsurface drip irrigation. In *Impacts of Global Climate Change* (pp. 1-10).
- 23- Yan, L. and Shi, Y., 2013. Research Article Effects of Super Absorbent Resin on Leaf Water Use Efficiency and Yield in Dry-land Wheat. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(6), pp.661-664.2013;5(6):661-4. Doi:19026/ajfst.5.3145
- 24- Yazdani, F., Allahdadi, I. and Akbari, G.A., 2007. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. *Pakistan journal of biological sciences: PJBS*, 10(23), pp.4190-4196. doi: 10.3923/pjbs.2007.4190.4196.

EXTENDED ABSTRACT

Impact of climate change on water requirement, water productivity, and rice yield using risk analysis

D. Darikandeh¹, A. Shahnazari^{2*}, M. Khoshravesh³ and G. Hoogenboom⁴

1-PhD student in irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

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

3-Faculty of Agriculture, Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

4-Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida 32611-0570, US.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 5 August 2022

Revised: 12 October 2022

Accepted: 16 October 2022

Keywords:

deficit irrigation, RCP scenarios, downscaling, crop model, DSSAT.

TO CITE THIS ARTICLE:

Darikandeh, D., Shahnazari, A., Khoshravesh, M., Hoogenboom, G. (2023). 'Impact of climate change on water requirement, water productivity, and rice yield using risk analysis', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(3), pp. 35-55. doi: 10.22055/jise.2022.41556.2036.

Introduction

Climate change means any specific change in the long-term average weather state that occurs for a given location or for the entire globe (Goudarzi and Koupaei, 2020). Climate change is one of the most critical factors threatening food security, and it is expected to make food and nutrition security more challenging in the future (Carpena et al., 2019). It will affect the agricultural sector by changing the irrigation water requirements, crop yield, and water productivity (Boonwichai et al., 2018; Liu et al., 2019). Rice is the third most important crop in the world, following wheat and maize (Kapela et al., 2020). The occurrence of water shortages and droughts have raised concerns about the sustainability of rice production, including the main rice cultivation production region of Mazandaran in Iran (Yosefian 2018). Most studies have reported that rice production will decrease in the future due to a projected increase in temperature and a projected decrease in precipitation (Basak et al. 2010; Boonwichai et al. 2018; Nasir et al. 2020; Nicolas et al. 2020). Although many farmers, particularly in Iran, feel that permanent flooding conditions for rice farming are inevitable, climate change forces the use of water-saving technologies to ensure the long-term viability of irrigated rice production in paddy fields (Yosefian 2018; Mirfenderski 2022). Accordingly, it is necessary to find new methods for rice cultivation that reduce water use and make optimal use of the available water for irrigation while maintaining yield under climate change. The goal of this study was to examine the water requirement, water productivity, and risk of rice yield for different irrigation levels under various climate change scenarios using a crop simulation model.

Methodology

Experimental site, rice crop, and irrigation treatments

A two-year experiment was conducted from May to August 2015 and 2016 at the Iranian Rice Research Institute (36° 28' N, 52° 27' E; 29.8 m above sea level) in Amol, a city in the Mazandaran

province in northern Iran. Experimental data were collected for the rice cultivar *Hashemi*, which is one of the local cultivars and has the largest area under cultivation in the region during the past few years (Yosefian 2018). Seven irrigation treatments were arranged in the randomized complete block design and were replicated three times. The irrigation treatments included permanent flooding as a control treatment (FI), Partial Root Drying irrigation at a matric potential of -10 kPa (PRD10), Regulated Deficit Irrigation at a matric potential of -10 kPa (RDI10), Partial Root Drying irrigation at a matric potential of -30 kPa (PRD30), Regulated Deficit Irrigation at a matric potential of -30 kPa (RDI30), Partial Root Drying irrigation at a matric potential of -60 kPa (PRD60) and Regulated Deficit Irrigation at a matric potential of -60 kPa (RDI60) (Yosefian 2018).

Meteorological data

Long-term historical daily weather data from 1984 to 2005, including minimum and maximum temperature, total precipitation, and sunshine hours for the Gharakheil agrometeorological station (36° 27' N, 52° 46' E) located at a distance of 27 km from the experimental field were obtained from the Iran Meteorological Organization.

Generation of climate change scenarios

The historical dataset from 1984 to 2005 of the Gharakheil agrometeorological station was used as the baseline data for evaluating the Second-Generation Canadian Center for Climate Modelling and Analysis Earth System Model (CanESM2) General Circulation Model (GCM). The early-21st century (2026-2047) climate variables under three emission scenarios (RCP 2.6, RCP4.5, and RCP8.5) (Taylor et al., 2009; Moss et al., 2010) were created using CanESM2 based on the baseline daily weather variables. The Statistical Down Scaling Model (SDSM version 4.2.9) was used to downscale the weather variables for the local study area. According to Wilby (1999), SDSM captures the inter-annual variability better than other statistical downscaling approaches, such as weather generators. Ahmadi and Ghermezcheshmeh (2020) reported good performance of the SDSM for climate change studies conducted for some stations in the Mazandaran province in northern Iran.

Calibration and evaluation of CSM-CERES-Rice

The Cropping System Model (CSM)-CERES-Rice of the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT; www.DSSAT.net) predicts rice growth and development, and final yield and yield components on a uniform land area (Jones et al. 2003; Hoogenboom et al. 2019a, b). The model requires four sets of input data, including (1) daily weather data, i.e., maximum and minimum temperature, total precipitation, total solar radiation; (2) soil surface and profile data, i.e., soil texture, organic matter, total nitrogen, and various others; (3) crop management data, including planting date and plant spacing, irrigation application amounts and dates, fertilizer application amounts, dates, and types, (4) and cultivar coefficients (Hoogenboom et al., 2012). Model calibration was performed by adjusting the cultivar coefficients to reduce the differences between simulated and observed values for the main growth and development stages using the Genotype Coefficient Calculator, GENCALC software embedded in the DSSAT v.4.7.5 software (Hunt et al. 1993). The experimental data from 2015 were used for model calibration, while the data from 2016 were used for independent model evaluation.

Crop Water Requirement (CWR) and Crop Water Productivity (CWP)

This study assumed that crop management, land use, and soil characteristics would remain the same for the near future. Rice yield and crop water requirement from CSM-CERES-Rice were used to estimate crop water productivity under different irrigation levels which is calculated by:

$$CWP = \frac{Y}{ET_c} \quad (1)$$

Where Y is the rice yield (kg. ha^{-1}), ET_C is the total amount of seasonal evapotranspiration (mm) (Boonwichai et al., 2018).

Risk assessment

To estimate the risk of rice yield, the simulated historical yield for each year from 1984 to 2005 under different irrigation treatments and also the simulated future yield under different RCPs for each year from 2026-2047 under different irrigation treatments were compared with a critical threshold, calculated as the average yield for 22 years for the baseline period from 1984 to 2005. The risk of rice yield was then defined as the percent of yield below the threshold, representing future yield relative to the historical average yield (Liu et al., 2019). The risk of yield is estimated as follows:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} \times 100\%, \quad M_i = \begin{cases} 1, & Y_i \leq \bar{Y} \\ 0 & Y_i > \bar{Y} \end{cases} \quad (2)$$

R: risk of yield, M_i : determination factors of yield, Y : yield (kg. ha^{-1}), \bar{Y} : 22-year average yield for the baseline period (1984-2005) (kg. ha^{-1})

Results and Discussion

Crop water requirement and crop water productivity under climate change

The simulated crop water requirement is projected to decrease for all irrigation treatments except under the RCP8.5 climate scenario Figure (1), which can be due to the nature of the mentioned climate scenario, which is a pessimistic scenario. The results suggest that the average crop water productivity will decrease between -1.17% and -4.4% for all RCP climate scenarios compared to the baseline period (Figure 1). This can be due to the decrease in the length of the growth period simulated using CSM-CERES-Rice, which will also influence the crop water productivity. However, the highest amount of crop water productivity was related to the full irrigation treatment (FI) due to the higher soil moisture than the deficit irrigation treatments (RDI and PRD), obtained between 1.02 and 1.05 kg.m^{-3} . Boonwichai et al. (2018) showed that the future crop water productivity for rice is expected to decrease due to an increase in temperature and crop water use.

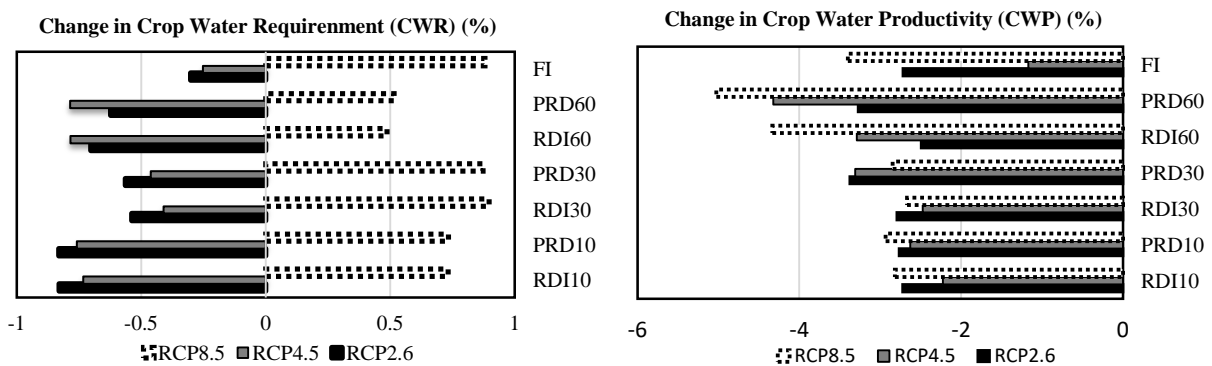


Fig. 1- Change in Crop Water Requirement (CWR) and Crop Water Productivity (CWP) for Hashemi rice cultivar for different irrigation treatments [(Regulated Deficit Irrigation at -10, -30, -60 kPa (RDI10, RDI30, RDI60), (Partial Root Drying at -10, -30, -60 kPa (PRD10, PRD30, PRD60))] and for different Representative Concentration Pathways (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) compared to the baseline period (1984-2005)

Crop risk yield under climate change

The simulation results for risk assessment of rice yield indicate that the rice yield risk will increase for all RCP climate scenarios compared to the baseline period. For the full irrigation treatment (FI), the risk will increase by only 4.5% compared to the baseline period. In contrast, for all deficit irrigation treatments, the yield risk will increase between 9 and 22.7 % due to the increase in drought stress (Figure 2).

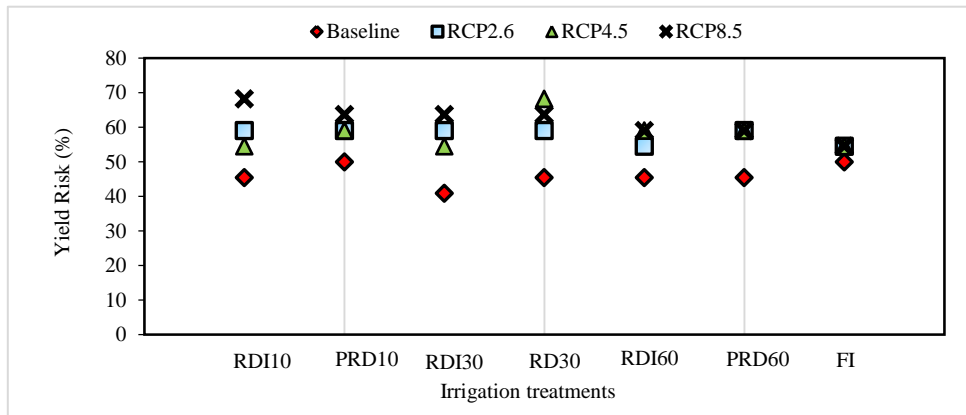


Fig. 2- Rice yield risk for different irrigation treatments [Regulated Deficit Irrigation at -10, -30, -60 kPa (RDI10, RDI30, RDI60), Partial Root Drying at -10, -30, -60 kPa (PRD10, PRD30, PRD60)] and for different Representative Concentration Pathways (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) compared to the baseline period (Baseline)

Conclusions

The simulation results show that the risk of rice yield for all climate scenarios is higher for the deficit irrigation compared to the full irrigation scenarios. An increase in the rice yield risk results in a decrease in the water productivity of the crop in the near future. The results of this study indicate that if the management methods remain the same in this region, in the near future, the yield for the *Hashemi* cultivar will decrease. It will, therefore, be necessary to develop new irrigation management strategies and cultivars that are more resistant to drought stress to adapt to climate change.

Acknowledgment

The authors would like to thank Dr. Mostafa Yosefian for providing the field data obtained from the implementation of his research project at Amol Rice Research Institute, the National Sciences Foundation for providing financial support for this project, and the overall support provided by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

References

- 1- Ahmadi M, & Ghermezcheshmeh B.,2020. Evaluation of error and uncertainty in downscaling SDSM and ANN. *Watershed Engineering and Management (IJWMSE)*, 12(1), 340-350. doi: 10.22092/ijwmse.2019.108294.1226
- 2- Basak, J.K., Ali, M.A., Islam, M.N. and Rashid, M.A., 2010. Assessment of the effect of climate change on boro rice production in Bangladesh using DSSAT model. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 38(2), pp.95-108.

- 3- Boonwichai S, Shrestha S, Babel MS, Weesakul S and Datta A.,2018. Climate change impacts on irrigation water requirements, crop water productivity and rice yield in the Songkhram River Basin, Thailand. *J. Clean. Prod.* 198:1157-1164. doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.146.
- 4- Carpena, F., 2019. How do droughts impact household food consumption and nutritional intake? A study of rural India. *World Dev.* 122, 349e369. Doi:10.1016/j.worlddev.2019.06.005.
- 5- Goudarzi, M., and Koupaei, J., 2020. Effects of climate change on water requirement and irrigation water requirement in irrigated areas, case study: Najaf Abad Plain. *Promotional Journal of Water Conservation and Productivity.* 1(1), 23-30. (In Persian).
- 6- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Traore, P.C. and Boote, K.J., 2012. Experiments and data for model evaluation and application. *Improving soil fertility recommendations in Africa using the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)*, pp.9-18.
- 7- Hoogenboom G, CH Porter, KJ Boote, V Shelia, PW Wilkens, U Singh, JW White, S Asseng, JI Lizaso, LP Moreno, W Pavan, R Ogoshi, LA Hunt, GY Tsuji, JW Jones., 2019 a. The DSSAT crop modeling ecosystem. In: p.173-216 [K.J. Boote, editor] *Advances in Crop Modeling for a Sustainable Agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, United Kingdom doi:10.19103/AS.2019.0061.10.
- 8- Hoogenboom G, CH Porter, V Shelia, KJ Boote, U Singh, JW White, LA Hunt, R Ogoshi, JI Lizaso, J Koo, S Asseng, A Singels, LP Moreno, JW Jones.,2019 b. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5* (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
- 9- Hunt, L.A., Pararajasingham, S., Jones, J.W., Hoogenboom, G., Imamura, D.T. and Ogoshi, R.M., 1993. GENCALC: Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. *Agronomy Journal*, 85(5), pp.1090-1094. Doi: 10.2134/agronj1993.00021962008500050025x.
- 10- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), pp.235-265. Doi: 10.1016/S1161-0301(02)00107-7.
- 11- Kapela K., Sikorska A., Niewęglowski M., Krasnodębska E., Zarzecka K., and Gugala M.,2020. The impact of nitrogen fertilization and the use of bio stimulants on the yield of two maize varieties (*Zea mays* L.) cultivated for grain. *Agronomy*, 10, (9), 1408, doi:10.3390/agronomy10091408.
- 12- Liu J, Yao W, Peng ZH, Fu Y, Fan X and Wang H., 2019. Risk assessment of possible impacts of climate change and irrigation on wheat yield and quality. *agricultural sciences & agronomy*. doi: 10.20944/preprints201912.0352.v1
- 13- Mirfenderski R, Darzi-Naftchali A, Karandish, F.,2022. Climate-resilient agricultural water management to alleviate negative impacts of global warming in rice production systems. *Theor Appl Climatol* 147, 409–422. doi:10.1007/s00704-021-03813-8.
- 14- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, Van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, Wilbanks TJ.,2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747–756. doi: 10.1038/nature08823
- 15- Nasir IR, Rasul F, Ahmad A, Asghar HN, Hoogenboom G.,2020. Climate change impacts and adaptations for fine, coarse, and hybrid rice using CERES-Rice. *Environ. Sci. Pollut. Res* 27:9454–9464. doi:10.1007/s11356-019-07080-z.
- 16- Nicolas F, Migliaccio K W, Hoogenboom, G, Rathinasabapathi, B R, Eisenstadt, W R., 2020. Assessing the potential impact of climate change on rice yield in the Artibonite valley of Haiti using the CSM-CERES-

- RICE model. *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)* 63(5): 1385-1400. DOI:10.13031/trans.13868.
- 17- Taylor, K.E., 2012. A summary of the CMIP5 experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 4, p.1.
- 18- Wilby RL.,1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Prog Phys Geogr.*23(3):329–357. doi:10.1177/030913339902300302.
- 19- Yosefian, M., 2018. Study the effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water productivity, methane gas emissions and some physiological characteristics of Hashemi cultivar. Ph.D. thesis of irrigation and drainage engineering. *Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University*, Iran.100p. (In Persian).



© 2023 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/>).



تأثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی برنج، بهره‌وری آب، و عملکرد برنج با استفاده از آنالیز ریسک

درسا دریکنده^۱، علی شاهنظری^۲، مجتبی خوش‌روش^۳ و گریت هوگنوم^۴

- ۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
 ۲- نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران (A.shahnazari@Sanru.ac.ir)
 ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
 ۴- استاد گروه مهندسی کشاورزی و زیست‌شناسی، دانشگاه فلوریدا، گینزویل، آمریکا.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰

دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۴

چکیده

مطالعه حاضر، با هدف بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی، بهره‌وری آب و ریسک عملکرد برنج رقم هاشمی، تحت سه سناریوی انتشار خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه گازهای گلخانه‌ای شامل: RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 صورت گرفت. تیمارهای اجرا شده در مزرعه شامل: دو روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده (آبیاری تمام جویچه‌ها) و خشکی بخشی ریشه (آبیاری یک در میان جویچه‌ها) هر یک با سه سطح سطح تنش خشکی ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوپاسکال (PRD10، RDI10، PRD30، RDI30، PRD60، RDI60) و تیمار آبیاری کرتی با مدیریت غرقاب دائم (FI) بود. از مدل گیاهی CERES-Rice برای شبیه‌سازی رشد و توسعه برنج و از مدل گردش عمومی CanESM2 برای پیش‌نگری تغییر اقلیم آینده نزدیک (۲۰۴۷-۲۰۲۶) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۴) استفاده شد. تغییرات نیاز آبی حاکی از آن بود که میانگین نیاز آبی برنج برای همه تیمارهای آبیاری در همه سناریوهای RCP به جز سناریوی بدبینانه RCP8.5 در آینده نزدیک کاهش خواهد یافت. به دلیل کاهش طول دوره رشد، میزان بهره‌وری آب نسبت به دوره پایه در سناریوهای RCP کاهش نشان داد. با این حال، بیشترین میزان بهره‌وری آب گیاه به تیمار آبیاری FI اختصاص داشت که به دلیل رطوبت زیاد خاک در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری بود. ارزیابی ریسک عملکرد نشان داد که درصد ریسک عملکرد برنج نسبت به میانگین دوره پایه افزایش خواهد یافت. به گونه‌ای که ریسک کاهش ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد برنج در تیمار آبیاری سنتی FI، تحت سناریوهای پایه (Baseline)، RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 به ترتیب ۱۳ درصد، ۲۰ درصد، ۲۱ درصد و ۳۱ درصد برآورد گردید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در صورت ثابت ماندن روش‌های مدیریتی در مزرعه، احتمالاً در آینده نزدیک، عملکرد برنج هاشمی کاهش می‌یابد و باید به دنبال بهینه‌سازی روش‌های مدیریتی و کشت ارقام مقاوم‌تر به تنش‌های آبی بود.

کلید واژه‌ها: کم‌آبیاری، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، ریزمقیاس‌سازی، مدل گیاهی، DSSAT.

مقدمه

برنج با سطح زیر کشت حدود ۵۵۰ هزار هکتار از نظر اهمیت دومین غله مهم خوراکی بعد از گندم در ایران می‌باشد (Rezaei et al., 2015). میانگین عملکرد شلتوک برنج در ایران ۴۳۳۶ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد (Gholizadeh, et al., 2014). پیش‌بینی می‌شود نیاز کشور به برنج در آینده نزدیک معادل چهار میلیون تن خواهد بود (Wailes and Chavez, 2012). خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید برنج در جهان است که در سال‌های اخیر با تغییر شرایط اقلیمی، این معضل تشدید شده است (Prasad et al., 2012). برنج در گروه گیاهان سه‌کرنه (C3) جای دارد که در آن افزایش غلظت CO₂ باعث افزایش فرایند فتوسنتز و کاهش تعرق می‌شود که هر دو عامل باعث سرعت بخشیدن به رشد می‌شود، اما افزایش غلظت CO₂ که بیشترین سهم را در گرم شدن کره زمین دارد اگر از حدی بیشتر گردد، دیگر اثری سودمند بر رشد گیاه نخواهد داشت (Motha and Baier, 2005). آثار تغییر اقلیم بر نیاز آبی، بهره‌وری آب و عملکرد برنج؛ بسته به رقم مورد نظر، ساز و کار فتوسنتزی آن و

تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در وضعیت میانگین آب و هوایی طولانی‌مدت که در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ دهد. بر پایه گزارش‌های هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم، متوسط دمای سطح زمین از سال ۱۸۶۱ حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته‌است و پیش‌بینی‌ها افزایش دو تا چهار درجه‌ای را برای ۱۰۰ سال آینده نشان می‌دهند. این افزایش دما تأثیر زیادی بر چرخه آب‌شناسی دارد که با تغییر شدت بارش همراه خواهد شد (Goudarzi and Koupaei, 2020). در عصر حاضر، تغییر اقلیم به‌عنوان مهم‌ترین تهدید برای توسعه پایدار، کشاورزی و امنیت غذایی مطرح است (Mohammadi et al., 2015). پدیده تغییر اقلیم با تغییر در نیاز آبی آبیاری گیاهان زراعی، عملکرد محصولات و بهره‌وری آب می‌تواند بخش کشاورزی را در دوره‌های آینده تحت تأثیر قرار دهد (Liu et al., 2019; Boonwichai et al., 2018). گیاه

در سناریوهای تغییر اقلیم به کار گرفته شده برای پیش‌بینی تأثیرات تغییر اقلیم است.

برنج نسبت به گیاهان زراعی آبی، بیشترین سطح زیرکشت را داشته و راندمان آبیاری آن نسبت به دیگر غلات کمتر است. به طوری که آب مصرفی برای تولید یک کیلوگرم برنج بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ لیتر متغیر بوده که کم و بیش سه برابر بیشتر از گندم است (Mahajan et al., 2008). مقدار آب مورد نیاز در تمام مراحل رشد یکسان نبوده، بلکه در زمان خوشه‌دهی و گل‌دهی، آب نقش اساسی در رشد گیاه دارد (Asadi, 2005). با توجه به تنوع زیاد شرایط محیطی و ارقام مختلف برنج، یک روش استاندارد برای آبیاری وجود ندارد (Yosefian, 2018).

اگرچه بسیاری از کشاورزان بر این عقیده‌اند که آبیاری برنج به شیوه غرقاب دائم، امری اجتناب‌ناپذیر است؛ اما تأثیرات بالقوه تغییر اقلیم بر نیاز آبی، بهره‌وری آب و عملکرد برنج؛ استفاده از شیوه‌های کم آبیاری را برای تولید پایدار برنج ضروری کرده‌است. در این راستا، چالش اصلی در مطالعه حاضر این است که استان شمالی مازندران که به دلیل اقلیم گرم و مرطوبش، مناسب و مستعد کشت برنج است؛ در آینده نزدیک تا چه اندازه تحت تأثیرات سو پدیده تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت. از این رو مطالعه‌ای مبتنی بر شبیه‌سازی انجام شد تا به بررسی این موضوع بپردازد که نیاز آبی، بهره‌وری آب و ریسک عملکرد برنج در سطوح مختلف آبیاری نسبت به تغییرات آب و هوایی در آینده نزدیک چگونه خواهد بود.

مواد و روش‌ها

توصیف موقعیت مطالعاتی و طرح آزمایشی

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج - معاونت مازندران (آمل) با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۷ دقیقه و ۵۳ ثانیه شرقی و با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳۴ ثانیه شمالی و با ارتفاع ۲۹/۸ متر از سطح دریا طی دو سال زراعی پیاپی (بهار و تابستان ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) اجرا شد. مجموع بارش طی فصل رشد گیاه برنج در سال‌های میلادی ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ به ترتیب ۹۹/۶ و ۱۱۳/۲ میلی‌متر بود. در حالی که میانگین دمای بیشینه طی فصل رشد گیاه برنج در سال‌های میلادی ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ به ترتیب ۳۱/۴۸ و ۳۱/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای کمینه در سال‌های نام برده به ترتیب ۲۲/۰۴ و ۲۱/۸ درجه سانتی‌گراد بود.

طرح آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد و رقم برنج کشت شده هاشمی بود که دارای بیشترین سطح زیر کشت طی چند سال اخیر بوده است (Yosefian, 2018). از داده‌ها و نتایج این طرح برای مطالعات شبیه‌سازی استفاده شد. تیمارهای آبیاری در این آزمایش مزرعه‌ای که توسط Yosefian (2018) اجرا شد، شامل:

منطقه جغرافیایی محل، متغیر بوده و اظهار نظر کلی در مورد پاسخ این گیاه به تغییر اقلیم مستلزم مطالعات میدانی است.

Acharjee et al. (2017) اثرات تغییر اقلیم را در دو دوره ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر روی برنج رقم بورو در شمال غربی بنگلادش با استفاده از مدل CROPWAT برآورد نمودند. بررسی آن‌ها نشان داد تبخیر - تعرق پتانسیل روزانه با توجه به افزایش دما افزایش می‌یابد. نیاز آبی برنج رقم بورو تا سال ۲۰۵۰ به مقدار ۵/۶ درصد و ۹/۱ درصد به ترتیب تحت سناریوی بینابینی و بدبینانه RCP4.5 و RCP8.5 کاهش می‌یابد. هم‌چنین تا سال ۲۰۸۰ نیاز آبی برنج رقم بورو ۳/۸ درصد و ۶/۱۷ درصد به ترتیب تحت سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 کاهش می‌یابد.

Islam et al. (2018) متغیرهای هواشناسی را در بنگلادش با استفاده از مدل‌های عمومی جوی HADCM3، FGOAL و IPCM4 تحت سناریوی بینابینی A1B تولید کرده تا نیاز آبیاری برنج رقم پادی را بررسی کنند. نتایج آن‌ها نشان داد میانگین نرخ تغییرات نیاز آبیاری در مقایسه با دوره پایه ۳/۰۱- تا ۱۱/۱۶ درصد می‌باشد که خروجی‌های به دست آمده می‌تواند به عنوان داده‌های پایه در توسعه مدیریت منابع آب کشاورزی استفاده شود.

Arshad et al. (2019) با استفاده از ابزار ریزمقیاس‌نمایی SDSM در منطقه پنجاب و با به‌کارگیری مدل عمومی جوی HADCM3 تحت سناریوهای اقلیمی بدبینانه A2 و خوشبینانه B2 به شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ پرداختند. نتایج نشان داد دمای بیشینه، کمینه و سرعت باد افزایش می‌یابد. خروجی ریزمقیاس‌نمایی‌ها، به عنوان داده‌های ورودی مدل CROPWAT استفاده شد تا میزان نیاز آبیاری دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره‌های آینده (۲۰۲۰-۲۰۵۰-۲۰۸۰) به دست آید. نتایج آن‌ها نشان داد که نیاز آبیاری برنج در سناریوهای یاد شده روندی صعودی خواهد داشت.

Devkota et al. (2013) اثر تغییر اقلیم را بر فنولوژی و عملکرد گیاه برنج در نواحی مرکزی آسیا با استفاده از مدل زراعی ORIZA2000 و آزمایش مزرعه‌ای در فصل رشد برنج در ازبکستان شبیه‌سازی کردند. دما و غلظت دی‌اکسیدکربن بر اساس سناریوهای خوشبینانه B1 و بدبینانه A1F1 برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ مشخص گردید. نتایج نشان داد که تاریخ جوانه‌زنی در ارقام بررسی شده به مدت ۱۰ روز تأخیر داشته است که موجب کاهش عملکرد برنج می‌شود.

Schoups et al. (2008) تحقیقاتی را بر کشاورزی آبی در بخش غربی کالیفرنیا و با استفاده از خروجی‌های دو مدل گردش عمومی جو HadCM3 و PCM بر اساس سناریوهای اقلیمی بدبینانه A1 و A2، هم‌چنین سناریوی خوشبینانه B1 انجام دادند. بر اساس نتایج این تحقیق تا پایان قرن ۲۱ شاهد کاهش ۱۳ درصدی تا افزایش سه درصدی نیاز آبی خواهیم بود که این دامنه وسیع تغییرات به دلیل فرضیات مختلف استفاده شده

وضعیت اشباع، عدد ۱۰ تا ۳۰ در تانسومتر (مکش ۱۰- تا ۳۰- کیلوپاسکال) معادل با رطوبت در حد ظرفیت زراعی خاک (FC) است. عدد ۶۰ تا ۷۰ در تانسومتر (مکش ۶۰- تا ۷۰- کیلوپاسکال) معادل با تنش آبی شدید در گیاه برنج لحاظ گردید. عملیات انتقال نشا به زمین اصلی در ۲۴ ام ماه می در سال ۲۰۱۵ و ۲۷ ام ماه می در سال ۲۰۱۶ انجام شد. بر اساس آنالیز خاک انجام شده در آزمایشگاه آب و خاک موسسه تحقیقات برنج، کود اوره به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم و کودهای فسفر و پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در مزرعه مصرف شد. ۷۰ درصد اوره به صورت پایه و ۳۰ درصد آن در زمان تشکیل خوشه مصرف گردید. کود فسفر کامل به صورت پایه و کود پتاس نیز، ۵۰ درصد به صورت پایه و ۵۰ درصد آن در زمان تشکیل خوشه به شکل سرک مصرف گردید. کود پایه پیش از ایجاد فارو در خاک، مخلوط شده و کود سرک پیش از انجام آبیاری داخل جوی‌ها پاشیده شد (Yosefian, 2018).

داده‌های هواشناسی

نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به مزرعه آزمایشی که از داده‌های طولانی‌مدت آب و هوایی برخوردار بود ایستگاه هواشناسی کشاورزی قراخیل در ۲۷ کیلومتری مزرعه آزمایشی با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی بود. داده‌های مشاهداتی طولانی‌مدت دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۴) از ایستگاه مورد نظر شامل: داده‌های روزانه بارش، بیشینه دما، کمینه دما و تعداد ساعات آفتابی بود که برای مطالعه مورد نظر استفاده شد. از داده‌های هواشناسی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ به ترتیب برای واسنجی و ارزیابی مدل شبیه‌ساز گیاهی DSSAT- CERES-Rice استفاده شد.

مدل گردش عمومی (GCM)

در این تحقیق از خروجی مدل CanESM2 که چهارمین نسل از مدل‌های آب‌وهوایی است و توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب و هوایی کانادا و زیر نظر سازمان محیط‌زیست این کشور، توسعه یافته؛ استفاده شده است. در این مدل کل سطح زمین به صورت ۱۲۸×۶۴ سلول، شبکه‌بندی شده است که ویژگی‌های آن در جدول (۱) ارائه شده است.

هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) در تدوین گزارش پنجم ارزیابی (AR5) خود از سناریوهای انتشار RCP به‌عنوان نماینده های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای انتشار مورد استفاده در مطالعه حاضر که شامل: RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشند و بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام گذاری شده‌اند؛ به شرح زیر می‌باشند.

سناریوی انتشار RCP2.6: سناریوی خوشبینانه RCP2.6 توسط تیم مدل‌سازی IMAGE طراحی شده که در آن واداشت

FI: غرقاب دائم در زمین گل‌خراب به‌عنوان تیمار شاهد؛ PRD10: آبیاری یک در میان جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۱۰ کیلوپاسکال؛ RDI10: آبیاری تمام جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۱۰ کیلوپاسکال؛ RDI30: آبیاری تمام جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۳۰؛ PRD30: آبیاری یک در میان جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۳۰ کیلوپاسکال؛ RDI60: آبیاری تمام جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۶۰ کیلوپاسکال؛ PRD60: آبیاری یک در میان جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۶۰ کیلوپاسکال.

تیمارهای کم‌آبیاری RDI و PRD در کشت به روش جوی پشته و تیمار آبیاری سنتی FI در کشت به روش کرتی در مزرعه اجرا شدند. کشت جوی پشته‌ای برای هر تیمار شامل هفت فارو با انتهای مسدود بود. ارتفاع پشته‌ها از کف جویچه ۱۵ سانتی‌متر و عرض جویچه‌ها از یکدیگر ۳۰ سانتی‌متر و عرض قسمت بالای پشته، پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Yosefian, 2018).

تیمارهای آبیاری RDI10 و PRD10 با حجم کل آب مصرفی ۶۵۸۸/۳ و ۵۶۳۵ مترمکعب بر هکتار، هر دو روز در میان در ماه جون و هر یک روز در میان در ماه جولای اجرا شد. تیمارهای آبیاری RDI30 و PRD30 با حجم کل آب مصرفی ۵۸۸۱/۷ و ۵۰۲۵ مترمکعب بر هکتار هر چهار روز در میان در ماه جون و هر دو روز در میان در ماه جولای اجرا شد. تیمارهای آبیاری RDI60 و PRD60 با حجم کل آب مصرفی ۵۲۸۱ و ۴۷۳۱/۷ مترمکعب بر هکتار یک بار در هفته در ماه جون و هر چهار روز در میان در ماه جولای اجرا شد. تیمار آبیاری سنتی FI با حجم کل آب مصرفی ۸۲۷۰ مترمکعب بر هکتار یک بار در هفته در ماه جون و دو بار در هفته در ماه جولای با ارتفاع آب معادل پنج سانتی‌متر در هر بار آبیاری اجرا شد (Yosefian, 2018).

با توجه به ابعاد جوی پشته و پس از اندازه‌گیری اولیه، حجم آب قابل ذخیره در هر یک از ابعاد جویچه‌ها، حدود ۱۰۰ لیتر محاسبه شد که این عدد به‌عنوان مبنای حجم آب مورد استفاده برای هر یک از جوی‌ها در هر آبیاری در نظر گرفته شد. هم‌چنین در زمین پادل شده (برای آبیاری سنتی) حجم آب مورد نیاز برای آماده‌سازی زمین، در ابتدای فصل توسط کنتور اندازه‌گیری شد. کل حجم آب مصرفی در کرت‌های آزمایشی براساس مجموع بارش مؤثر و حجم آب آبیاری به‌دست آمد.

مقدار مصرف آب در تیمارهای مختلف با کنتور حجمی اندازه گرفته شد و با توجه به میزان بارش طی دوره رشد کل، آب مصرفی برای هر تیمار محاسبه شد. به‌منظور تعیین زمان آبیاری با استفاده از دستگاه تانسومتر که در داخل پشته‌ها (عمق ۱۰ سانتی‌متر) نصب شده است، پس از رسیدن رطوبت به محدوده مورد نظر آبیاری صورت پذیرفت (Yosefian, 2018). بر اساس بررسی‌های صورت گرفته توسط Alizadeh (1999)، عدد صفر تا ۱۰ در تانسومتر (مکش صفر تا ۱۰- کیلوپاسکال) به‌عنوان

تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع ثابت می‌ماند.

RCP8.5 با استفاده از مدل گردش عمومی CanESM2 بر اساس متغیرهای اقلیمی روزانه دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۴) تولید شدند. برای بررسی اختلاف معنی‌داری بین داده‌های بارش، دمای بیشینه و کمینه در دوره پایه نسبت به دوره آینده از آزمون مقایسه میانگین t-test استفاده شد.

عملکرد SDSM طی دوره واسنجی و ارزیابی با استفاده از دو معیار درصد اریبی PBIASE و ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد NRMSE ارزیابی شد که به ترتیب توسط روابط (۱) و (۲) محاسبه شد.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (1)$$

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

$$NRMSE(\%) = \frac{RMSE}{\bar{O}_i} \times 100 \quad (2)$$

n: تعداد مشاهدات؛ S_i : متغیر شبیه‌سازی شده در زمان i ام؛ O_i : متغیر مشاهداتی در زمان i ام؛ \bar{O}_i : میانگین متغیر شبیه‌سازی شده در زمان i ام

مقادیر PBIAS کوچک‌تر از ± 10 ، بین ± 10 و ± 15 ، بین ± 15 و ± 25 ، بزرگ‌تر از ± 25 ، به ترتیب نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب، خوب، رضایت‌بخش، نامطلوب می‌باشند (Moriyas et al., 2007; Thiemi et al., 2013).

مقادیر NRMSE بین صفر تا ۱۰ درصد، بین ۱۰ درصد تا ۲۰ درصد، بین ۲۰ درصد تا ۳۰ درصد و بزرگ‌تر از ۳۰ درصد به ترتیب نشان‌دهنده عملکرد عالی، خوب، مناسب و ضعیف می‌باشند (Soler et al., 2007).

داده‌های روزانه ریزمقیاس شده آب و هوایی هم برای دوره زمانی پایه و آینده به صورت سری‌های زمانی مصنوعی به عنوان ورودی در مدل CERES-Rice برای مطالعه تأثیرات اقلیم بر عملکرد برنج استفاده شدند.

تابشی در اواسط قرن به حدود ۳/۱ وات بر متر مربع رسیده، سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. سناریوی انتشار RCP4.5: سناریوی بینابینی RCP4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت سناریوی انتشار RCP8.5: سناریوی بدبینانه RCP8.5 توسط گروه مدل‌سازی MESSAGE طراحی شده است که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد.

تولید سناریوهای تغییر اقلیم

سلول‌های محاسباتی مدل‌های گردش عمومی (GCMs) بزرگ‌تر از وسعت منطقه مطالعاتی می‌باشند که برای رفع این مشکل، لازم است خروجی GCMs، پیش از استفاده در مطالعه‌های ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس شوند (Ashraf et al., 2014). در این مطالعه از نرم‌افزار SDSM v4.2.9 برای ریزمقیاس کردن خروجی‌های مدل گردش عمومی CanESM2 استفاده شد. طبق پژوهش‌های انجام شده، ریزمقیاس‌سازی آماری با SDSM به‌عنوان بهترین ترکیب حاصل از مولد تصادفی آب و هوا و روش‌های رگرسیون چندگانه خطی شناخته شده است (Khan et al., 2006).

این نرم‌افزار قادر به دریافت داده‌های ایستگاه اقلیمی از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ می‌باشد و عملیات ریزمقیاس‌سازی را بر اساس سناریوهای انتشار (RCP) خروجی مدل CanESM2 برای بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ انجام می‌دهد.

یکی از مهم‌ترین مراحل ریزمقیاس‌نمایی، انتخاب متغیرهای غالبی است که به‌طور قابل‌قبولی بتواند تغییرات و ویژگی‌های پارامترهای ایستگاهی مورد نظر را توصیف کند؛ که این متغیرها باید از متغیرهای مراکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP) انتخاب شود. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است که دارای بیشترین میزان ضریب همبستگی جزئی و کمترین مقدار P-value می‌باشد و به‌عنوان متغیرهای غالب برای پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش وارد معادله رگرسیونی نرم‌افزار SDSM می‌شوند (Wilby., 2003).

در این مطالعه، متغیرهای اقلیمی در دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۴۷) در سه سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5 و

جدول ۱- ویژگی مدل گردش عمومی استفاده شده در مطالعه

Table 1- GCM feature to project the future climate in this study

General Circulation Model (GCM)	Representative Concentration Pathway (RCP)	Resolution (latitude × longitude)	Modeling center	Reference
CanESM2	RCP 2.6 RCP 4.5 RCP 8.5	2.79° × 2.81°	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (CCCma)	Chylek et al. (2011)

مدل شبیه‌ساز رشد گیاهی

نرم‌افزار DSSAT شامل مجموعه‌ای از مدل‌های گیاهی مختلف است که با رویکرد سیستمی برای تحقیقات کشاورزی توسعه یافته است. مدل‌های گیاهی مختلف که در واقع به‌عنوان زیرمجموعه‌ای در نرم‌افزار DSSAT ارائه شده‌اند، برای شبیه‌سازی پاسخ محصول به تغییر اقلیم نیز به کار برده شده‌اند (Jones et al., 2003). در این مطالعه برای شبیه‌سازی روزانه مراحل رشد و توسعه گیاه برنج از مرحله کاشت تا برداشت از مدل زراعی برنج (CERES-Rice) واقع در نسخه ۴/۷ مدل DSSAT استفاده شد (Hoogenboom et al., 2019; Jones et al., 2003). داده‌های ورودی مدل شامل: (۱) داده‌های روزانه آب و هوا (بارش، بیشینه و کمینه دما، تشعشع خورشیدی)، (۲) داده‌های خاک (بافت خاک، مواد آلی، نیتروژن کل و ...)، (۳) داده‌های مدیریت زراعی (تاریخ کاشت، تاریخ آبیاری، مقدار آبیاری، تاریخ کوددهی، مقدار کوددهی و ...)، (۴) ضرایب ژنوتیپ مربوط به رقم گیاهی مورد نظر. در این مطالعه، تشعشع خورشیدی روزانه بر اساس ساعات آفتابی در هر روز و با استفاده از معادله آنگستروم - پرسکات تخمین زده شد (Prescott, 1940). فازهای توسعه برنج در مدل CERES-Rice بر اساس درجه روز رشد (GDD) کنترل می‌شوند. مراحل اصلی رشد و توسعه گیاه برنج شامل: جوانه‌زنی، خوشه‌دهی، گل‌دهی، پر شدن دانه، بلوغ فیزیولوژیکی و برداشت می‌باشد (Nicolas et al., 2020; Yan, et al., 2006). در مدل (CERES-Rice)، بیشترین میزان تولید زمانی اتفاق می‌افتد که دما بین دماهای پایه و دمای بهینه باشد (Guo et al., 2019). Gao et al. (1992) کمترین دمای لازم برای جوانه زدن برنج را ۱۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفتند. مدل شبیه‌ساز گیاهی CERES-Rice واقع در برنامه نرم‌افزاری DSSAT از دو روش برای شبیه‌سازی تبخیر-تعرق مرجع (ET₀) استفاده می‌کند که شامل: (۱) روش فائو ۵۶ (داده‌های مورد نیاز: تشعشع خورشیدی، بیشینه و کمینه دما، سرعت باد و رطوبت نسبی) (Allen et al., 1998)، (۲) روش پریستلی - تیلور (داده‌های مورد نیاز: تشعشع خورشیدی، بیشینه و کمینه دما، Priestley and Taylor, 1972). اطلاعات آب و هوایی با دریافت تنها اطلاعات روزانه بارش، تشعشع خورشیدی، بیشینه و کمینه دما با استفاده از ابزار Weather man در برنامه نرم‌افزاری DSSAT انجام‌پذیر است. در این مطالعه، فرض بر این است که در آینده نزدیک، عملیات زراعی در مزرعه آزمایشی دستخوش تغییر نخواهد شد و خاک مزرعه نیز همگن و یکنواخت خواهد بود و تنها عامل تغییرکننده، شرایط آب و هوایی است.

واسنجی و ارزیابی مدل شبیه‌ساز گیاهی

واسنجی مدل بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه آزمایشی در سال ۲۰۱۵ و برای تیمار آبیاری سنتی (FI) که فاقد هرگونه تنش آبی بود، انجام شد. واسنجی مدل با تنظیم ضرایب

ژنتیکی به‌منظور کاهش اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده طی مراحل اصلی رشد و توسعه برنج با استفاده از روش GENCALC که در نرم‌افزار DSSAT تعبیه شده، اجرا شد. GENCALC، ضرایب یک ژنوتیپ را با اجرای پیوسته مدل گیاهی در محدوده تقریبی ضرایب مربوطه تخمین می‌زند (Buddhaboon et al., 2018; et al., 1993). ضرایب در محدوده تقریبی به‌طور خودکار تغییر داده می‌شوند تا زمانی که مقادیر شبیه‌سازی شده با مشاهداتی بر هم منطبق یا به‌هم نزدیک شوند (Hunt et al., 1993). از داده‌های آزمایشی به‌دست آمده در سال ۲۰۱۶ برای ارزیابی مستقل مدل استفاده شد. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل از معیار درصد انحراف (d) و ضریب تبیین (R²) استفاده شد که به ترتیب در روابط (۳) و (۴) نشان داده شده است.

$$d = \left[\frac{S_i - O_i}{O_i} \right] \times 100 \quad (3)$$

d: درصد انحراف می‌باشد که درصد پایین‌تر انحراف نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل در شبیه‌سازی‌ها می‌باشد (Araya et al., 2017).

$$R^2 = \frac{\sum S_i \times O_i - \sum S_i \times \sum O_i}{\sqrt{\sum S_i^2 - (\sum S_i)^2} \times \sqrt{\sum O_i^2 - (\sum O_i)^2}} \quad (4)$$

S_i: مقدار شبیه‌سازی شده؛ O_i: مقدار مشاهداتی
مقادیر R² بین ۰/۷۵ و یک، بین ۰/۷۵ و ۰/۶۵، بین ۰/۶۵ و ۰/۵، کوچکتر از ۰/۵، به‌ترتیب در گروه عملکرد بسیار خوب، خوب، رضایت‌بخش، نامطلوب قرار دارند (Moriasi et al., 2007; Thiemi et al., 2013).

نیاز آبی گیاه (CWR) و بهره‌وری آب گیاه (CWP)

در فرضیه این مطالعه، کاربری اراضی، ویژگی‌های خاک و عملیات مدیریت زراعی در آینده نزدیک ثابت در نظر گرفته شده است. عملکرد برنج و نیاز آبی گیاه در همه تیمارهای آبیاری و برای همه سناریوهای اقلیمی RCP با استفاده از مدل CSM-CERES-Rice شبیه‌سازی شد و سپس بهره‌وری آب گیاه برنج با استفاده از رابطه (۵) در همه تیمارهای آبیاری و سناریوهای اقلیمی محاسبه شد. (Boonwichai et al., 2018)

$$CWP = \frac{Y}{ETC} \quad (5)$$

Y: عملکرد برنج بر حسب کیلوگرم بر هکتار؛ ETC: مقدار کل تبخیر-تعرق فصلی از زمان نشاکاری تا برداشت برنج بر حسب مترمکعب بر هکتار

ارزیابی ریسک عملکرد

برای تخمین ریسک عملکرد برنج، عملکرد شبیه‌سازی تاریخی برنج در هر سال از ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۵ در تیمارهای آبیاری

هواشناسی ایستگاه مورد نظر در دوره زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۰ انجام شد. پس از اجرای واسنجی و ارزیابی، داده‌های روزانه هواشناسی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر محدوده مطالعاتی ریزمقیاس شدند. در جدول (۲) پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی که تأثیر معنی‌داری بر پیش‌بینی شونده‌ها دارند، نشان داده شدند. بر طبق جدول (۲)، پیداست که پیش‌بینی‌کننده اقلیمی p500gl دارای همبستگی خوبی با پیش‌بینی‌شونده دما است (r-value بیشتر از ۰/۷۵ می‌باشد). همچنین پیش‌بینی‌کننده اقلیمی tempgl دارای همبستگی معنی‌داری با پیش‌بینی‌شونده بیشینه دماست (r-value بیشتر از ۰/۲۵ می‌باشد). این در حالی است که برای بارش به دلیل ماهیت نوسانی بودن، ضریب هم بستگی جزئی مقدار بسیار کمتری به دست آمد. واسنجی و ارزیابی SDSM بر اساس بهترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده نشان می‌دهد که مدل می‌تواند متغیرهای اقلیمی بارش و دما (متغیرهای پیش‌بینی‌شونده) را در محدوده مطالعاتی به خوبی تطابق بسیار زیادی با مقادیر بیشینه و کمینه دمای ماهانه مشاهداتی دارد (PBIAS بین صفر تا ۱۰ درصد و NRMSE بین صفر تا ۱۰ درصد). همین‌طور، مدل مقادیر بارش ماهانه را به میزان خوبی شبیه‌سازی می‌کند. (PBIAS بین ۱۰ درصد تا ۱۵ درصد و NRMSE بین ۱۰ درصد تا ۲۰ درصد) جدول (۳). نتایج شبیه‌سازی بارش اندکی ضعیف‌تر از نتایج شبیه‌سازی دما به دست آمد. این نتایج را می‌توان با نتایج به دست آمده از مطالعه‌های Charles et al. (2013) و Shrestha et al. (2014) مقایسه کرد که بیان داشتند شبیه‌سازی بارش به دلیل محرک‌های تأثیرگذار بسیاری مانند موقعیت مکانی، ارتفاع، پستی و بلندی چالش برانگیز می‌باشد.

مختلف و همچنین عملکرد شبیه‌سازی آینده در سناریوهای اقلیمی RCP برای هر سال از ۲۰۲۶ تا ۲۰۴۷ و در تیمارهای آبیاری مختلف با یک حد آستانه بحرانی مقایسه شد. میانگین شبیه‌سازی ۲۲ ساله عملکرد برنج طی دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۴) به عنوان آستانه بحرانی در نظر گرفته شد. ریسک عملکرد در واقع درصد عملکرد در شرایطی است که کمتر از درصد میانگین عملکرد پایه باشد (Liu et al., 2019). ریسک عملکرد، با توجه به رابطه (۶) تخمین زده شد (Liu et al., 2019).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} \times 100\% , \quad (6)$$

$$M_i = \begin{cases} 1, & Y_i \leq \bar{Y} \\ 0 & Y_i > \bar{Y} \end{cases}$$

R: ریسک عملکرد برنج به درصد؛ M_i : فاکتور تعیین عملکرد؛ Y_i : عملکرد بر حسب کیلوگرم بر هکتار؛ \bar{Y} : میانگین شبیه‌سازی ۲۲ ساله عملکرد برنج طی دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۴) بر حسب کیلوگرم بر هکتار توزیع احتمال تجمعی (CDF) بر سری عملکرد برنج (کیلوگرم بر هکتار) با تنظیم سری داده‌های عملکرد شبیه‌سازی شده از کمترین به بیشترین و سپس محاسبه فراوانی واقعی برای سری‌های عملکرد (بر حسب درصد) با استفاده از نرم افزار Excel برازش داده شد.

نتایج و بحث

واسنجی و ارزیابی روش ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM
واسنجی روش ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM با استفاده از داده‌های روزانه دما و بارش ایستگاه هواشناسی کشاورزی قراخیل برای دوره زمانی ۱۹۹۹-۱۹۸۴ و ارزیابی آن برای داده‌های روزانه

جدول ۲- متغیرهای پیش‌بینی کننده پس از عملیات غربال‌گری به همراه متغیرهای پیش‌بینی شونده متناظر با آن

Table 2- Summary of selected predictor variables and their respective predictands for the Gharakheil agrometeorological station

Predictand	Predictor-variables	Partial r-value	Partial p-value
Maximum temperature	Air temperature at 2 m (tempgl)	0.33	0
Minimum temperature	500 hpa Geopotential (p500gl)	0.78	0
Precipitation	1000 hpa Relative velocity of wind (p1-zgl)	0.07	0.01

جدول ۳- عملکرد SDSM طی دوره واسنجی و ارزیابی

Table 3- SDSM model performance during the calibration and evaluation period

Period	Predictands	NRMSE	PBIAS
		(%)	(%)
Calibration (1984-1999)	Maximum temperature	1.36	1.11
	Minimum temperature	1.97	1.52
	Precipitation	12.26	9.11
Evaluation (2000-2005)	Maximum temperature	1.51	1.18
	Minimum temperature	1.90	1.58
	Precipitation	8.17	6.21

جدول ۴- تغییرات دمای بیشینه و کمینه در سناریوهای RCP برای ایستگاه هواشناسی کشاورزی قراخیل
Table 4- Change in maximum and minimum temperatures under RCPs for Gharakheil agrometeorological station

	Baseline (1984-2005)	+RCP2.6	+RCP4.5	+RCP8.5
Maximum Temperature (°C)	21.18	21.52	21.58	21.61
Change (%) *	-	+0.34	+0.4	+0.43
Minimum Temperature (°C)	12.35	12.75	12.76	12.79
Change (%) *	-	+0.4	+0.41	+0.44

* RCP scenarios are projections for 2026-2047.

* Changes are provided relative to the baseline from 1984-2005.

جدول ۵- تغییرات بارش در سناریوهای RCP برای ایستگاه هواشناسی کشاورزی قراخیل
Table 5- Change in rainfall under RCPs for Gharakheil agrometeorological station

	Baseline (1984-2005)	+RCP2.6	+RCP4.5	+RCP8.5
Precipitation (mm)	656.43	619.96	607.35	663.49
Change (%) *	-	-5.55	-7.47	+1.07

* RCP scenarios are projections for 2026-2047

* Changes are provided relative to the baseline from 1984-2005.

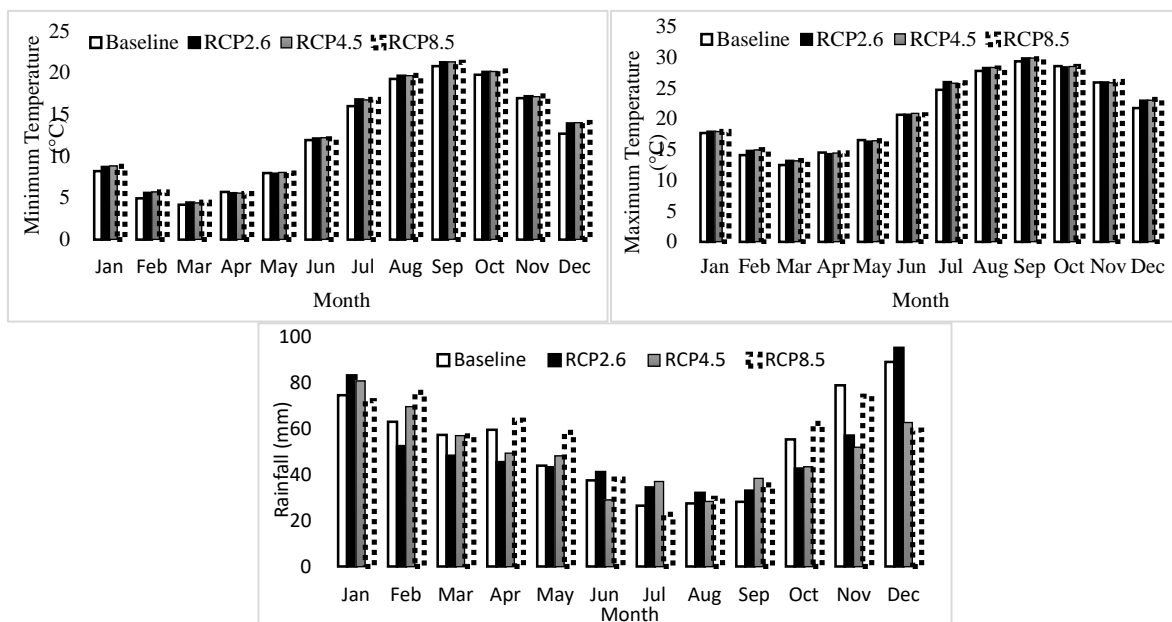


Fig. 1- Baseline from 1984 to 2005 and projected monthly climate for Maximum temperature (a) Minimum temperature (b) precipitation (c) for the RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for the period from 2026 to 2047

شکل ۱- میانگین ماهانه آب و هوای پیش‌بینی شده تحت سناریوهای تغییر اقلیم آینده RCP در مقایسه با دوره پایه Baseline برای (a) بیشینه دما (b) کمینه دما (c) بارش

نشان داد که میانگین سالانه بارش دارای نوسانات اقلیمی است؛ به طوری که میانگین سالانه بارش تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6 و RCP4.5 به ترتیب ۵/۵۵ درصد و ۷/۴۷ درصد نسبت به دوره پایه کاهش و تحت سناریوی اقلیمی RCP8.5، ۱/۰۷ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. تغییرات سالانه پیش‌بینی شده دماهای بیشینه و کمینه و بارش در دوره آینده نزدیک تحت سناریوهای تغییر اقلیم در جداول (۴) و (۵) ارائه شده است. همچنین روند ماهانه دما و بارش در آینده نزدیک نسبت به دوره پایه نیز در شکل (۱) (a, b, c) نشان داده شده است.

آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی

نتایج پیش‌بینی‌های اقلیمی دما در محدوده مطالعاتی نشان داد که میانگین سالانه دما در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۴۷) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۴-۲۰۰۵) افزایش می‌یابد. میانگین سالانه دمای بیشینه به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۴ و ۰/۴۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه دمای کمینه به ترتیب ۰/۴، ۰/۴۱ و ۰/۴۴ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 روند افزایشی خواهد داشت. همچنین، مقدار افزایش میانگین سالانه دما تحت سناریوی RCP8.5 بیشتر از دو سناریوی دیگر می‌باشد. پیش‌بینی‌های بارش در محدوده مطالعاتی

روش GENCALC و روش سعی و خطا و سپس مقایسه داده-های شبیه‌سازی شده با اندازه‌گیری شده تخمین زده شدند (Darikandeh et al., 2022). هشت ضریب ژنتیکی واسنجی شده که شامل پارامترهای مربوط به فاز رویشی و فاز زایشی برنج رقم هاشمی می‌باشند در جدول (۶) نشان داده شده اند.

مقدار PBIAS برای پارامتر گل‌دهی طی دوره‌های واسنجی و ارزیابی ۶/۵۲ درصد و ۱۸/۶۰ درصد به دست آمد که به ترتیب نشان دهنده توانمندی بسیار خوب و رضایت بخش مدل CERES-Rice در شبیه‌سازی رشد و توسعه گیاهی می‌باشد. PBIAS برای پارامتر بلوغ فیزیولوژیکی طی دوره‌های واسنجی و ارزیابی به ترتیب ۰ و ۵/۴۳ درصد به دست آمد که حاکی از توانمندی بسیار خوب مدل می‌باشد. هم‌چنین، PBIAS برای پارامتر عملکرد محصول طی دوره‌های واسنجی و ارزیابی به ترتیب ۱۶/۸ درصد و ۲۴ درصد به دست آمد که توانمندی مدل را در محدوده رضایت‌بخشی نشان می‌دهد (جدول ۷).

مقدار NRMSE برای پارامتر بلوغ فیزیولوژیکی طی دوره‌های واسنجی و ارزیابی ۶/۵۰ درصد و ۱۸/۶۰ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده به‌ترتیب توانمندی عالی و خوب مدل CERES-Rice می‌باشد. NRMSE برای پارامتر بلوغ فیزیولوژیکی طی دوره‌های واسنجی و ارزیابی به ترتیب صفر و ۵/۴۰ درصد به دست آمد که حاکی از توانمندی بسیار خوب مدل می‌باشد. هم‌چنین، NRMSE برای پارامتر عملکرد طی دوره‌های واسنجی و ارزیابی به ترتیب ۱۷/۳۰ درصد و ۲۵/۹۰ درصد به دست آمد که نشان داد توانمندی مدل برای شبیه‌سازی در محدوده مناسبی قرار دارد (جدول ۷).

مقدار d برای پارامترهای گل‌دهی، بلوغ فیزیولوژیکی و عملکرد، درصد کمی را نشان داد که نشان‌دهنده درصد انحراف کم داده‌های مشاهداتی از شبیه‌سازی است (جدول ۷).

مطالعه‌های انجام شده توسط Darand و Hamidi (2021) نشان داد که بیشینه و کمینه دمای سراسر ایران در آینده (۲۱۰۰-۲۰۰۶) نسبت به دوره پایه (۲۱۰۰-۱۹۷۹) روندی افزایشی خواهد داشت. دمای کمینه به‌ترتیب ۰/۳۵، ۰/۶ و یک درجه سانتی‌گراد تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش خواهد یافت. همین‌طور، دمای بیشینه بیش از یک درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

تحقیقات مختلف نشان داد که هم‌بستگی بسیار نزدیکی بین دمای کمینه و عملکرد برنج وجود دارد. Peng et al. (2004) طی مطالعه‌ای در فیلیپین نشان دادند به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش در دمای حداقل در طول فصل رشد برنج، عملکرد دانه برنج ۱۰ درصد کاهش می‌یابد؛ در حالی که اثر بیشینه دما بر عملکرد ناچیز بوده و افزایش درجه حرارت در شب همراه با گرم شدن کره زمین سبب کاهش عملکرد محصول برنج می‌شود. Rao et al. (2014)، ۴۴۱ تا ۸۵۹ کیلوگرم در هکتار کاهش عملکرد برنج به ازای هر درجه افزایش دمای کمینه در بخشی از هند را گزارش کردند. Nagarajan et al. (2010) نشان دادند که دماهای شبانه بیش از ۲۲ درجه سانتی‌گراد بر عملکرد و کیفیت برنج تأثیر منفی دارد. Lotfirad et al. (2021) گزارش کرده‌اند که بارش در بخش‌های مرکزی ایران طی دوره آینده نزدیک نسبت به دوره پایه، تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 هم افزایشی و هم کاهش می‌باشد. طول و عرض جغرافیایی و پستی و بلندی‌های سطح، متغیرهایی هستند که بر نوسانات بارش تأثیرگذار می‌باشند (Boonwichai et al., 2018).

واسنجی و ارزیابی مدل شبیه‌ساز گیاهی

مدل بر اساس داده‌های آزمایشی جمع‌آوری شده در فصل رشد برنج (ماه می تا ماه آگوست سال ۲۰۱۵) واسنجی شد. ارزیابی مدل به‌طور مستقل براساس داده‌های آزمایشی جمع‌آوری شده در سال ۲۰۱۶ انجام شد. ضرایب ژنتیکی برنج رقم هاشمی با ترکیب

جدول ۶- ضرایب ژنتیکی تنظیم شده برای برنج رقم هاشمی

Table 6- Genetic coefficients for the rice cultivar Hashemi

Genetic coefficient	Description	Range of values	Calibrated values
P1	Basic vegetative phase of the plant	100-880	100
P2R	Photoperiod sensitivity in panicle initiation	5-300	36.20
P5	Grain filling duration	150-850	695.00
P2O	Critical photoperiod of development occurring at a maximum rate	10-13	12.50
G1	Potential spikelet number coefficient	37-77.8	77.80
G2	Single grain weight	0.01-0.03	0.03
G3	Tillering coefficient	0.53-1.30	1.16
G4	Temperature tolerant coefficient	0.7-1.25	1.00

جدول ۷- معیارهای تکویی برازش مدل CERES-Rice در دوره های واسنجی و ارزیابی برای برنج رقم هاشمی
Table 7- Calibration and Evaluation goodness of fit indicators of CERES-Rice model for the cultivar (Hashemi)

		Period	Year	NRMSE			
				(%)	d (%)	PBAIS (%)	
Anthesis (day)	Sim.	46	Calibration	2015	6.50	6.50	6.52
	Obs.	49					
	Sim.	43	Evaluation	2016	18.60	18.60	18.60
	Obs.	51					
Physiological maturity (day)	Sim.	95	Calibration	2015	0	0	0
	Obs.	95					
	Sim.	92	Evaluation	2016	5.40	3.20	5.43
	Obs.	97					
Yield (ton/ha)	Sim.	3.71	Calibration	2015	17.30	-16.80	16.80
	Obs.	3.14					
	Sim.	3.76	Evaluation	2016	25.90	-24.40	24.00
	Obs.	2.84					

نزدیک (۲۰۴۷-۲۰۲۶)، کمترین میزان کاهش عملکرد در تیمار آبیاری سنتی FI با ۱/۴ درصد کاهش و بیشترین کاهش عملکرد در تیمار کم آبیاری PRD60 با پنج درصد کاهش رخ خواهد داد. با توجه به شکل (۳) در تیمارهای کم آبیاری PRD60 و RDI60 به دلیل تنش رطوبتی شدید خاک عملکرد کمتری در مقایسه با سایر تیمارهای آبیاری مشاهده شد. تیمار FI به دلیل شرایط رطوبتی غرقاب دائم، تیمارهای PRD30 و RDI30 به دلیل تنش رطوبتی در حد ظرفیت زراعی و تیمارهای RDI10 و PRD10 به دلیل تنش رطوبتی در وضعیت اشباع، کاهش عملکرد کمتری را در همه سناریوهای RCP نسبت به تیمارهای PRD60 و RDI60 نشان دادند. همچنین با نگاهی به شکل (۳) می توان دریافت که عملکرد شبیه سازی برنج در تیمارهای کم آبیاری PRD اندکی بیشتر از تیمارهای کم آبیاری RDI است. اگرچه در تیمارهای کم آبیاری RDI تمامی پشته ها آبیاری می شود (مرطوب شدن هر دو طرف ریشه) و حجم آب مصرفی در مقایسه با تیمار کم آبیاری PRD که پشته ها یک در میان آبیاری می شوند (مرطوب نگه داشتن یک طرف ریشه و خشک باقی ماندن طرف دیگر ریشه) کمتر است؛ اما به دلیل آن که بر اساس نتایج شبیه سازی با مدل CERES-Rice جذب بالقوه آب ریشه در PRD اندکی بیشتر از RDI به دست آمد، شاهد عملکرد بیشتری در تیمارهای کم آبیاری PRD نسبت به RDI بودیم. با توجه به عدم تفاوت معنی داری بین میانگین بارش و دمای دوره آینده با پایه، کاهش عملکرد در آینده نزدیک، چندان متاثر از تغییرات اقلیمی نخواهد بود بلکه بیشتر تحت تأثیر کم آبیاری می باشد.

تأثیر تغییر اقلیم بر ریسک عملکرد

بررسی های انجام شده بر ارزیابی ریسک عملکرد حاکی از آن است که درصد ریسک عملکرد برنج در آینده در همه سناریوهای اقلیمی RCP نسبت به میانگین دوره پایه افزایش خواهد یافت. در تیمار آبیاری سنتی FI ریسک عملکرد برنج در آینده، تنها ۴/۵

تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاه (CWR) و بهره وری آب گیاه (CWP)

چشم انداز تغییر اقلیم بر نیاز آبی برنج نشان داد که در آینده نزدیک، نیاز آبی برنج در همه تیمارهای آبیاری و در همه سناریوهای اقلیمی RCP به جز RCP8.5 کاهش خواهد یافت. افزایش نیاز آبی برنج در سناریوی RCP8.5 می تواند به دلیل ماهیت سناریوی مورد نظر باشد که سناریوی بدبینانه است. همان طور که از شکل (۲) پیداست، میزان بهره وری آب برای برنج رقم هاشمی در آینده نزدیک (سناریوهای RCP) نسبت به دوره پایه (Baseline) به میزان بسیار ناچیزی کاهش خواهد یافت. به دلیل کاهش طول دوره رشد که بر اساس شبیه سازی با مدل CERES-Rice به دست آمد، میزان بهره وری آب برای برنج رقم هاشمی نسبت به دوره پایه در سناریوهای مختلف RCP بین بازه ۱/۱۷- تا ۴/۴- درصد کاهش خواهد یافت. با این حال، بیشترین میزان بهره وری آب گیاه مربوط به تیمار آبیاری FI به دلیل رطوبت زیاد خاک در مقایسه با تیمارهای کم آبیاری بود که بین ۱/۰۲ تا ۱/۰۵ کیلوگرم برنج بر مترمکعب آب به دست آمد. (شکل ۲).

Kassam و Doorenbos (1979) گزارش کردند که بهره وری آب گیاه برنج در محدوده بین ۰/۷ تا ۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب تغییر می کند که نتایج به دست آمده از این مطالعه نیز گواه این مدعاست. آن ها همچنین اظهار داشتند که عوامل بسیاری مانند موقعیت مکانی شالیزار، رقم برنج و مدیریت زراعی بر میزان بهره وری آب گیاه برنج دخیل می باشد. Boonwichai et al. (2018) نشان دادند که بهره وری آب گیاه برنج در آینده به دلیل افزایش دما و افزایش مصرف آب گیاه افزایش می یابد.

تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد

همان طور که از شکل (۳) پیداست، عملکرد برنج در همه تیمارهای آبیاری در دوره آینده (سناریوهای RCP) نسبت به دوره پایه (Baseline) اندکی کاهش می یابد. به طوری که در آینده

۳۱ درصد برآورد گردید. هم‌چنین به ازای ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش عملکرد برنج در تیمار کم‌آبیاری PRD60 با بیشترین تنش آبی، ریسک عملکرد در مقایسه با تیمار آبیاری سنتی FI به‌مراتب بیشتر بوده به‌طوری که ریسک عملکرد تحت سناریوهای پایه (Baseline)، RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 به‌ترتیب ۲۰ درصد، ۲۲ درصد، ۳۱ درصد و ۳۹ درصد برآورد گردید. ارقام به‌دست آمده، همگی نشان‌دهنده افزایش ریسک کاهش عملکرد برنج رقم هاشمی در محدوده مطالعاتی در آینده نسبت به میانگین دوره پایه می‌باشد.

درصد افزایش نسبت به دوره پایه خواهد داشت؛ در حالی که در همه تیمارهای کم‌آبیاری ریسک عملکرد با افزایش تنش آبی بیشتر شده و بین ۹ تا ۲۲٪ درصد افزایش خواهد داشت (شکل ۴). به‌منظور بررسی دقیق‌تر، اختلاف عملکرد شبیه‌سازی دانه نسبت به مقدار میانگین شبیه‌سازی عملکرد دوره پایه در قالب توزیع احتمال تجمعی برای کلیه تیمارهای آبیاری و سناریوهای اقلیمی به‌دست آمد (شکل ۵). به‌عنوان نمونه، به ازای ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش محصول برنج در تیمار آبیاری سنتی FI، ریسک عملکرد تحت سناریوهای پایه (Baseline)، RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 به ترتیب ۱۳ درصد، ۲۰ درصد، ۲۱ درصد و

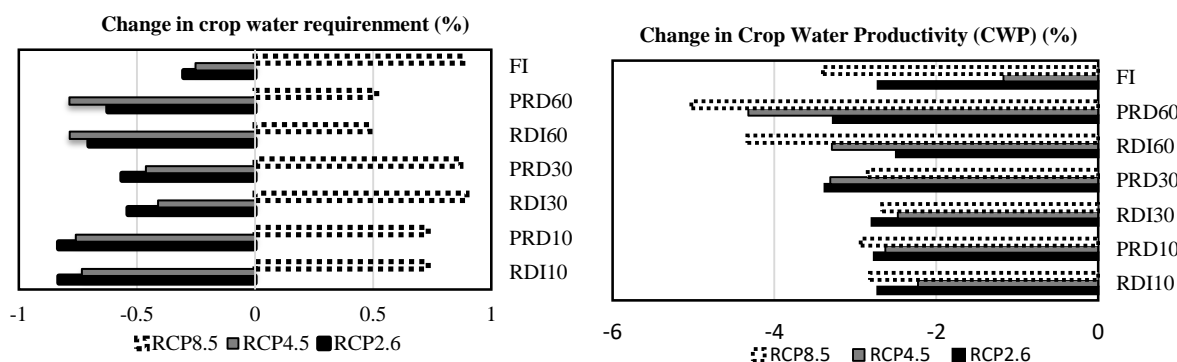


Fig. 2- Change in Crop Water Requirement (CWR) and Crop Water Productivity (CWP) for Hashemi rice cultivar for different irrigation treatments [(Regulated Deficit Irrigation at -10, -30, -60 kPa (RDI10, RDI30, RDI60), (Partial Root Drying at -10, -30, -60 kPa (PRD10, PRD30, PRD60))] and for different Representative Concentration Pathways (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) compared to the baseline period (1984-2005)

شکل ۲- تغییر در نیاز آبی گیاه (CWR) و بهره‌وری آب گیاه (CWP) و بهره‌وری آب گیاه (CWP) برنج رقم هاشمی برای تیمارهای مختلف آبیاری [کم آبیاری تنظیم شده در پتانسیل‌های ماتریک -۱۰، -۳۰، -۶۰ کیلوپاسکال (RDI10، RDI30، RDI60)، (آبیاری ناقص ریشه در پتانسیل‌های ماتریک -۱۰، -۳۰، -۶۰ کیلوپاسکال (PRD10، PRD30، PRD60))] و برای سناریوهای انتشار مختلف (RCP8.5، RCP4.5، RCP2.6) در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۴-۲۰۰۵)

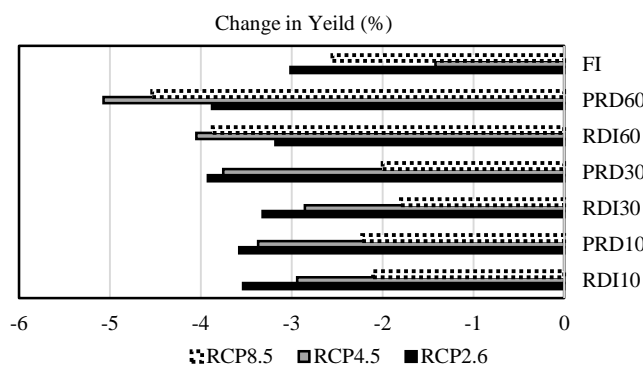


Fig. 3- Change in yield for different irrigation treatments [(Regulated Deficit Irrigation at -10, -30, -60 kPa (RDI10, RDI30, RDI60), (Partial Root Drying at -10, -30, -60 kPa (PRD10, PRD30, PRD60))] and for different Representative Concentration Pathways (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) compared to the baseline period (1984-2005)

شکل ۳- تغییر عملکرد برنج برای [کم آبیاری تنظیم شده در پتانسیل‌های ماتریک -۱۰، -۳۰، -۶۰ کیلوپاسکال (RDI10، RDI30، RDI60)، (آبیاری ناقص ریشه در پتانسیل‌های ماتریک -۱۰، -۳۰، -۶۰ کیلوپاسکال (PRD10، PRD30، PRD60))] و برای سناریوهای انتشار مختلف (RCP8.5، RCP4.5، RCP2.6) در مقایسه با دوره پایه (۱۹۸۴-۲۰۰۵)

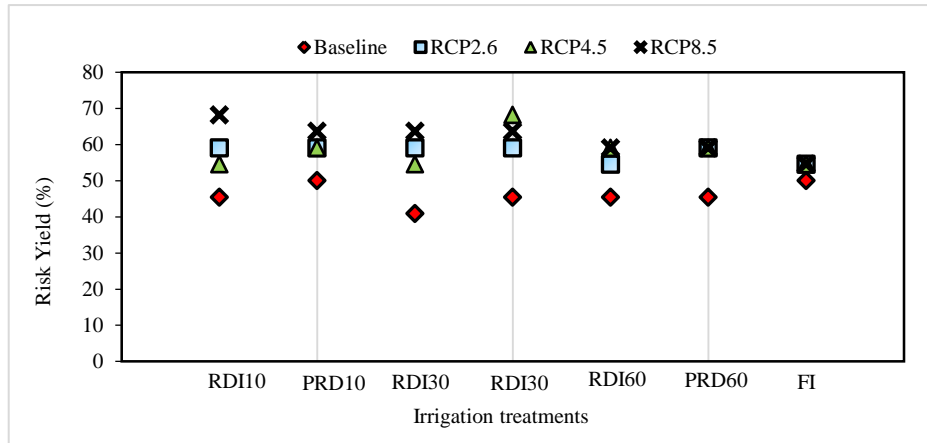
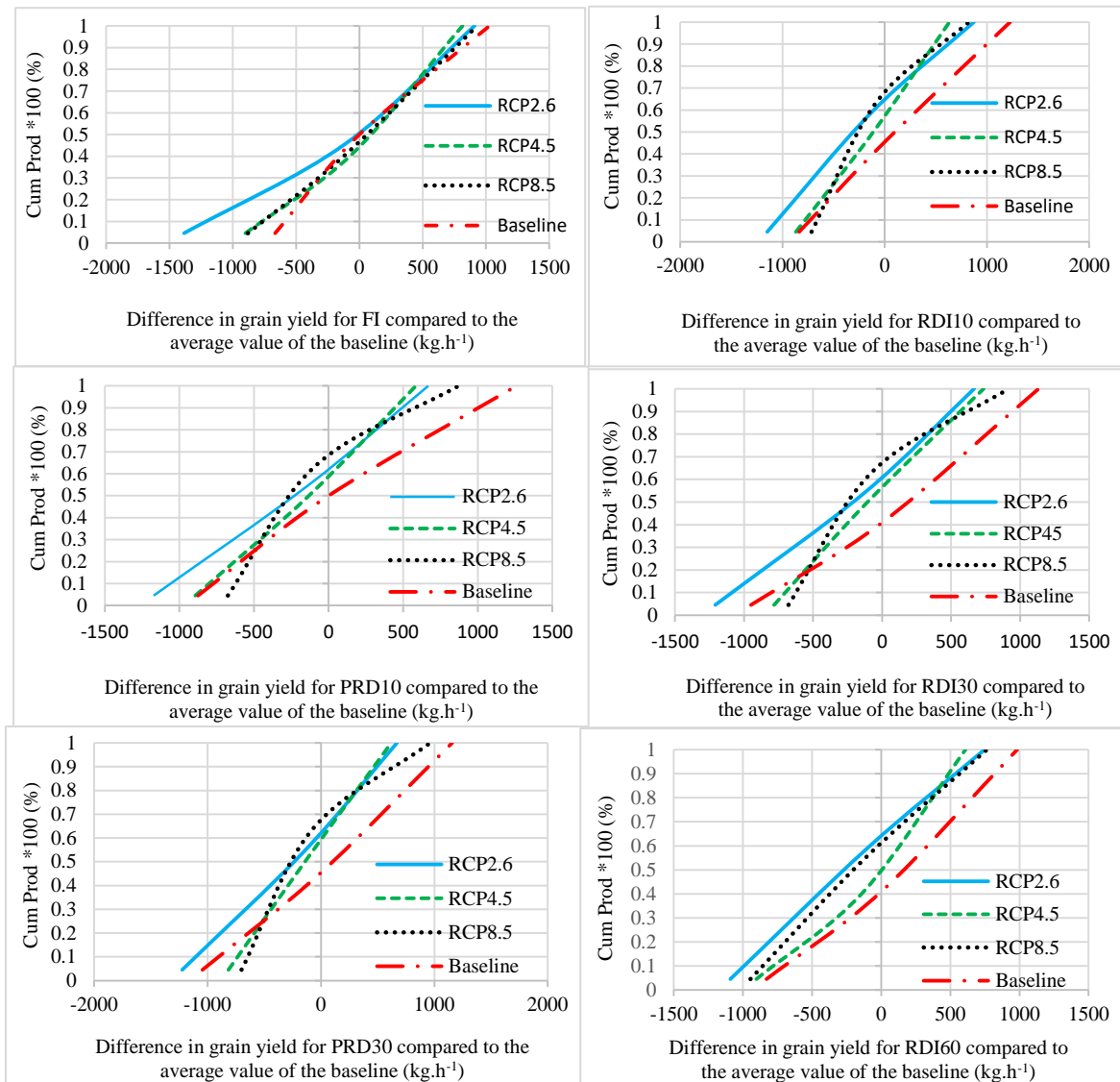


Fig. 4- Rice yield risk for different irrigation treatments [Regulated Deficit Irrigation at -10, -30, -60 kPa (RDI10, RDI30, RDI60), Partial Root Drying at -10, -30, -60 kPa (PRD10, PRD30, PRD60)] and for different Representative Concentration Pathways (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) compared to the baseline period (Baseline)

شکل ۴- ریسک عملکرد برنج رقم هاشمی برای تیمارهای مختلف آبیاری [کم آبیاری تنظیم شده در پتانسیل‌های ماتریک -۱۰، -۳۰، -۶۰ کیلوپاسکال (RDI10، RDI30، RDI60)، آبیاری ناقص ریشه در پتانسیل‌های ماتریک -۱۰، -۳۰، -۶۰ کیلوپاسکال (PRD10، PRD30، PRD60)] و برای سناریوهای انتشار مختلف (RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5) در مقایسه با دوره پایه (Baseline)



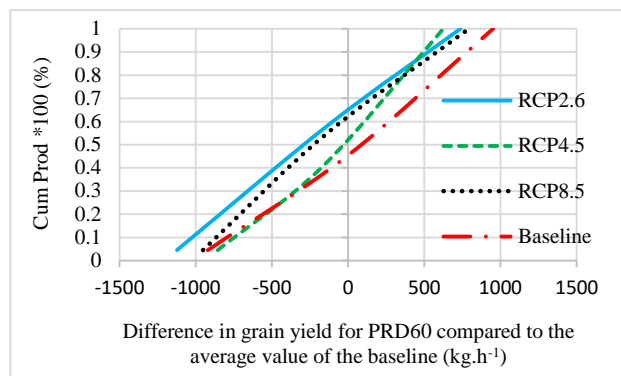


Fig. 5- Cumulative Distribution Function (CDF) of grain yield difference compared to the average value of the baseline for [Regulated Deficit Irrigation at -10, -30, -60 kPa (RDI10, RDI30, RDI60), Partial Root Drying at -10, -30, -60 kPa (PRD10, PRD30, PRD60)] and for different Representative Concentration Pathways (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5

شکل ۵- توزیع احتمال جمع‌ی اختلاف عملکرد دانه نسبت به مقدار میانگین دوره پایه برای تیمارهای مختلف آبیاری (کم آبیاری تنظیم شده در پتانسیل‌های ماتریک -۱۰، -۳۰، -۶۰ کیلوپاسکال (RDI10، RDI30، RDI60)، (آبیاری ناقص ریشه در پتانسیل‌های ماتریک -۱۰، -۳۰، -۶۰ کیلوپاسکال (PRD10، PRD30، PRD60)) و برای سناریوهای انتشار مختلف (RCP8.5، RCP4.5، RCP2.6)

پیشنهاد برای آینده این مطالعه استفاده از مدل‌های اقلیمی سری جدید CMIP6 با سناریوهای جدید انتشار گازهای گلخانه‌ای SSP به دلیل پیچیدگی سیستم آب و هوایی واقعی است. استفاده از این مدل‌ها کمک می‌کند تا عدم قطعیت‌ها و پیچیدگی‌ها در پیش‌بینی‌های اقلیمی آینده که از تفاوت در ساختار مدل ناشی می‌شوند، ساده گردند. همین‌طور، برای تعیین بهترین راهکار مدیریت زراعی با توجه به اقلیم آینده، تحلیل اقتصادی با استفاده از مدل CERES-Rice توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از جناب آقای دکتر مصطفی یوسفیان به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های مزرعه‌ای حاصل از اجرای طرح تحقیقاتی در موسسه تحقیقات برنج آمل، صندوق حمایت از پژوهشگران برای تامین مالی پروژه و حمایت کلی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، قدردانی می‌کنند.

نتیجه‌گیری

تحلیل چگونگی واکنش برنج به‌عنوان محصولی با مصرف آب زیاد در برابر تغییرات اقلیمی ضروری به‌نظر می‌رسد. نتایج شبیه‌سازی با مدل GCM نشان داد که بارش روندی نوسانی و دما روندی افزایشی در مقایسه با دوره پایه دارد. ریسک عملکرد برنج برای همه سناریوهای اقلیمی در تیمارهای کم‌آبیاری بیشتر از تیمار آبیاری سنتی به‌دست آمد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند بسته به شرایط محلی، اطلاعات مفیدی را برای تدوین راهکارهایی

به‌منظور افزایش عملکرد برنج در آینده ارائه دهد. تغییر زمان کاشت، تغییر زمان کوددهی، مطالعه امکان‌سنجی کاشت ارقام با طول دوره رشد کوتاه‌تر و بررسی استفاده از ارقام مقاوم‌تر به تنش‌های آبی می‌تواند از راهکارهای مفید و کم‌هزینه در ارتقای تولید برنج آینده در منطقه باشد.

References

- 1- Acharjee T. K. Ludwig F. van Halsema G. Hellegers P and Supit I, 2017. Future changes in water requirements of Boro rice in the face of climate change in North-West Bangladesh *Agricultural water Management*, 194, 172-183. Doi:10.1016/j.agwat.2017.09.008.
- 2- Alizadeh, A., 1999. *The relationship between water, soil and plant*. University of Emam Reza. (In Persian).
- 3- Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *FAO irrigation and drainage paper* No. 56. FAO, Rome
- 4- Araya A, Kisekka I, Gowda PH, Prasad PVV., 2017. Evaluation of water-limited cropping systems in a semi-arid climate using DSSAT-CSM. *Agri. Syst* 150:86-90. Doi: 10.1016/j.agry.2016.10.007.

- 5- Arshad A, Zhang Z, Zhang W and Gujree I., 2019. Long-term perspective changes in crop irrigation requirement caused by climate and agriculture land use changes in rechna doab, pakistan. *Water*, 11(8), 1567. Doi: 10.3390/w11081567.
- 6- Asadi, M., 2005. Introducing a new rice irrigation method in China. *Dryness and drought promotional Scientific Quarterly in Agriculture*. (21), 13-17. (In Persian)
- 7- Ashraf, B., Alizadeh, A., Musavi, M. and Banayan M., 2014. Evaluation of temperature and precipitation data simulated by individual and group execution of five AOGCM models for the northeastern region of Iran. *Journal of Water and Soil*. 28 (2), 253-266. (In Persian)
- 8- Boonwichai, S., Shrestha, S., Babel, M.S., Weesakul, S. and Datta, A., 2018. Climate change impacts on irrigation water requirement, crop water productivity and rice yield in the Songkhram River Basin, Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 198, pp.1157-1164. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.146.
- 9- Buddhaboon, C., Jintrawet, A. and Hoogenboom, G., 2018. Methodology to estimate rice genetic coefficients for the CSM-CERES-Rice model using GENCALC and GLUE genetic coefficient estimators. *The Journal of Agricultural Science*, 156(4), pp.482-492. 156 (4):1-11. DOI:10.1017/S0021859618000527.
- 10- Charles A, Bertrand T, Elodie F and Harry H., 2013. Analog downscaling of seasonal rainfall forecasts in the Murray Darling basin. *Mon. Weather Rev.* 141: 1099–1117. doi: 10.1175/MWR-D-12-00098.1.
- 11- Chylek, P., Li, J., Dubey, M.K., Wang, M. and Lesins, G.J.A.C., 2011. Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian earth system model CanESM2. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 11(8), pp.22893-22907. Doi: 10.5194/acpd-11-22893-2011.
- 12- Darand, M. and Hamidi, S., 2021. Projected changes in Iran temperature based on different scenarios RCP. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(28), pp.85-106. (In Persian).
- 13- Darikandeh, D., Shahnazari, A., Khoshravesh, M., Hoogenboom, G., 2022. Evaluating rice yield and adaptation strategies under climate change based on the CSM-CERES-Rice model: a case study for northern Iran. *Theor Appl Climatol* . doi: 10.1007/s00704-022-04188-0.
- 14- Devkota, K.P., Manschadi, A.M., Devkota, M., Lamers, J.P.A., Ruzibaev, E., Egamberdiev, O., Amiri, E. and Vlek, P.L.G., 2013. Simulating the impact of climate change on rice phenology and grain yield in irrigated drylands of Central Asia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(9), pp.2033-2050. Doi: 10.1175/JAMC-D-12-0182.1.
- 15- Doorenbos J and Kassam A. H., 1979. Yield response to water. Irrigation and drainage paper, 33, 257. Easterling W. E, 2007. Climate change and the adequacy of food and timber in the 21st century. *Proceedings of National Academy of Sciences* 104: 19679.
- 16- Gao L, Jin Z, Huang Y and Zhang L., 1992. Rice clock model: a computer model to simulate rice development, *Agricultural and Forest Meteorology*. 60.1–2: 1–16. Doi:10.1016/0168-1923(92)90071-B.
- 17- Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H., Hatami, F., and Hosseinpour, R., 2014. Statistics of crops. Ministry of Agriculture. Economic planning deputy. *Information and Communication Technology Center*. (In Persian).
- 18- Goudarzi, M., and Koupaei, J., 2020. Effects of climate change on water requirement and irrigation water requirement in irrigated areas, case study: Najaf Abad Plain. *Promotional Journal of Water Conservation and Productivity*. 1(1), 23-30. (In Persian).
- 19- Guo Y, Wu W, Du M, Liu X, Wang J and Bryant C R., 2019. Modeling climate change impacts on rice growth and yield under global warming of 1.5°C and 2.0°C in the Pearl River delta, China. *Atmosphere* 10 (10): 567. doi: 10.3390/atmos10100567.

- 20- Hoogenboom G, CH Porter, V Shelia, KJ Boote, U Singh, JW White, LA Hunt, R Ogoshi, JI Lizaso, J Koo, S Asseng, A Singels, LP Moreno and JW Jones.,2019. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5 (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
- 21-Hunt, L.A., Pararajasingham, S., Jones, J.W., Hoogenboom, G., Imamura, D.T. and Ogoshi, R.M., 1993. GENCALC: Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. *Agronomy Journal*, 85(5), pp.1090-1094. Doi: 10.2134/agronj1993.00021962008500050025x.
- 22- Islam A. T. Shen S. H. and Yang S. B.,2018. Predicting design water requirement of winter paddy under climate change condition using frequency analysis in Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 195, 58-70. Doi: 10.1016/j.agwat.2017.10.003.
- 23-Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), pp.235-265. Doi: 10.1016/S1161-0301(02)00107-7.
- 24- Khan M. S, Coulibaly P and Dibike Y,2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319 (1), 357-382. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.06.035.
- 25- Liu J, Yao W, Peng ZH, Fu Y, Fan X and Wang H., 2019. Risk assessment of possible impacts of climate change and irrigation on wheat yield and quality. *Agricultural Sciences & Agronomy*. doi: 10.20944/preprints201912.0352.v1.
- 26- Lotfirad, M., Adib, A., Salehpoor, J., Ashrafzadeh, A. and Kisi, O., 2021. Simulation of the impact of climate change on runoff and drought in an arid and semiarid basin (the Hablehroud, Iran). *Applied Water Science*, 11, pp.1-24.doi:10.1007/s13201-021-01494-2.
- 27- Mahajan, G., Bharaj, T.S. and Timsina, J., 2009. Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab, India. *Agricultural Water Management*, 96(3), pp.525-532.Doi: 10.1016/j.agwat.2008.09.027
- 28- Mohammadi, H., Rabbani, F., and Mazaheri, D., 2015. Simulating the effect of climate change on rice plant phenology under Different irrigation managements in the Caspian region: Rasht station. *Journal of Geographical Sciences Applied Research*. 15 (38), 187-205. (In Persian).
- 29-Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), pp.885-900.
- 30-Mohta, R.P. and Baier, W., 2005. Impacts of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temperate regions: North America. *Climatic Change*, 70(1-2), pp.137-164.
- 31- Nagarajan S, Jagadish S.V.K, Hariprasad A.S, Thomar A.K., Anand A., Pal M and Aggarwal P.K., 2010. Local climate affects growth, yield and grain qual/ity of aromatic and nonaromatic rice in northwestern. *Indian Agriculture Ecosystems & Environment*, 138: 274–281. Doi: 10.1016/j.agee.2010.05.012.
- 32- Nicolas F, Migliaccio K W, Hoogenboom G, Rathinasabapathi B R and Eisenstadt W R.,2020. Assessing the potential impact of climate change on rice yield in the Artibonite valley of Haiti using the CSM-CERES-RICE model. *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)* 63 (5): 1385-1400. DOI:10.13031/trans.13868.
- 33- Peng S.B., J.L. Huang J.E. Sheehy R.C. Laza R.M. Vesperas X.H. Zhong G.S. Centeno G.S. Khush and K.G. Cassman., 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, U.S.A. 101, 9971–9975.doi: 10.1073/pnas.0403720101.

- 34- Prasad S, Singh M. P, and Yadav R. K., 2012. Physio-chemical changes in rice varieties under drought stress condition. *Plant Archives*, 12:63-66.
- 35- Prescott J., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of The Royal Society of South Australia*. 64 (1): 114–118.
- 36- Priestley, C.H.B. and Taylor, R.J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), pp.81-92. doi:10.1175/1520-0493(1972)100<0081: OTAOSH>2.3.CO;2
- 37- Rao B.B., Santhibhushan Chowdary P., Sandeep V.M., Rao V.U.M and Venkateswarlu B., 2014. Rising minimum temperature trends over India in recent decades: Implications for agricultural production. *Global and Planetary Change* 117: 1–8. Doi: 10.1016/j.gloplacha.2014.03.001.
- 38- Rezaei, M., Shahnazari, A., Raeini Sarjaz, M. and Vazifedoust, M., 2015. Large-scale Simulation of Rice yield and Water Productivity Using CERES-Rice Model. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 9(2), pp.283-291.. (In Persian).
- 39- Schoups G, Maurer E.P and Hopmans G.W., 2008. Climate change impacts on water demand and salinity in California's irrigated agriculture. *American Geophysical Union*, Fall Meeting.
- 40- Shrestha, S., Deb, P. and Bui, T.T.T., 2016. Adaptation strategies for rice cultivation under climate change in Central Vietnam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21, pp.15-37. DOI 10.1007/s11027-014-9567-2.
- 41- Soler, C.M.T., Sentelhas, P.C. and Hoogenboom, G., 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal of Agronomy*, 27(2-4), pp.165-177. doi: 10.1016/j.eja.2007.03.002.
- 42- Thiemig V, Rojas R, Zambrano-Bigiarini M and De Roo A., 2013. Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo Basin. *J. Hydrol* 499: 324–338. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.07.012
- 43- Wailes E.J and Chavez E.C., 2012. World Rice Outlook. International Rice Baseline with Deterministic and Stochastic Projections, 2012-2021. University of Arkansas Department of Agricultural Economics and Agribusiness, *Division of Agriculture Staff*. 81 pp.
- 44- Wilby R. L, Tomlinson O. J and Dawson C. W., 2003. Multi-site simulation of precipitation by conditional resampling. *Climate Research*, 23, pp 183–194. doi:10.3354/cr023183.
- 45- Yan, D., Zhu, Y., Wang, S. and Cao, W., 2006. A quantitative knowledge-based model for designing suitable growth dynamics in rice. *Plant Production Science*, 9(2), pp.93-105.. doi: 10.1626/pp.9.93.
- 46- Yosefian, M., 2018. Study the effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water productivity, methane gas emissions and some physiological characteristics of Hashemi cultivar. Ph.D. thesis of irrigation and drainage engineering. *Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University*, Iran. 100p. (In Persian).

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Modeling of Sediment Washing (Flushing) in Dams (Case Study: Sefidrood Dam)

M. Adineh¹, M. Shafaei Bajestan^{2*} and H. Ghodousi³

1- PhD Student in Civil Engineering, Islamic Azad University, Kish International Branch.

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

3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Zanjan.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 22 November 2021

Revised: 22 June 2022

Accepted: 26 June 2022

Keywords:

Sediment Washing, Dam
Reservoirs, 3D Software.

TO CITE THIS ARTICLE:

Adineh, M., Shafaei Bajestan, M., Ghodousi, H. (2023). 'Numerical Modeling of Sediment Washing (Flushing) in Dams (Case Study: Sefidrood Dam)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(3), pp. 57-68. doi: 10.22055/jise.2023.39236.2003.

Introduction

In this research, the sediment washing operation of the Sefidrood Dam reservoir has been simulated using a Numerical Flow 3D model along with two turbulence models, RNG and LES. The results of case studies performed on the Sefidrood Dam reservoir in 2004 have been validated. To simulate, an area of the reservoir with an approximate length of 700 meters and also the dam wall meshed in the form of 2 mesh blocks 1 and 2. Mesh block 1 was considered to include the dam wall, the area close to the dam wall, and the lower Gates. The dam was considered to be a solid type, which is unchangeable. Still, the geometry of the reservoir bed was defined as sediment because it changes with the movement of the flow.

The results show that near the lower dischargers of the dam, the maximum amount of sediment washing up to the reservoir bed is conical. The high values of the explanation coefficient (R^2) and the low values of the percentage of predictive error of the numerical model indicate the acceptable results of the Flow 3D model with the LES simulator in the flushing modeling of Sefidrood Dam. A comparison of the results suggests that the LES turbulence model has a better performance in estimating the maximum scour depth than the RNG turbulence model, and the results are closer to the flushing results performed in 2004.

Methodology

In this research, the Sefidrood dam is considered a case study. Sefidrood dam is a concrete type located near Manjil city in Gilan province in Iran. This dam has a height of 106 meters and a wall length of 425 meters. It was constructed and put into operation in 1962, aiming at storing water for agriculture in Gilan plain, drinking water, and energy production.

The normal figure of the dam is equal to 271.65 meters above sea level, and the storage volume of the reservoir in this figure is equal to 1760 million cubic meters. Sefidrood dam was designed and dewatered with an initial volume of about 1800 million cubic meters and a useful life of 100 years.

Sefidrood Dam is one of the most sedimentary dams in the world. Now more than half of the dam capacity is filled with sediments. This amount of sedimentation in the Sefidrood Dam is 11 times more than that in USA reservoir dams (Shafai Bajestan, 2012).

In this simulation, a flushing operation at the height of 234.6 meters, i.e., the height that Shas operation was performed in this dam in 2004, was performed using Flow 3D software with two turbulence methods, RNG and LES, and the results were compared with flushing operation performed in 2004.

Flow 3D is a 3D model developed by the Flow Science company. Flow 3D is a non-hydrostatic finite difference model that simultaneously solves three-dimensional Navier-Stokes equations and continuity (Flow 3D Help and Flow Science). To simulate the sediment washing of the Sefidrood Dam reservoir in a Flow 3D software environment, five steps of Display, Analyze, Simulate, Model Setup, and Navigator must be performed, respectively. To simulate the flushing operation of the Sefidrood Dam with Flow 3D software, a range of the reservoir and the dam's wall meshed in the form of 2 mesh blocks 1 and 2.

After entering all the required information into the software, including flow boundary conditions, such as Reservoir water height, inlet and outlet flow at the simulation start, water temperature, gravity acceleration, simulation time, etc., Flow 3D software solved hydraulic flow equations known as Navier-Stokes equations (which include the continuity equation and three momentum equations in three different directions) inside each cell in different simulation time steps defined in the software.

Result

The results show that near the lower gates of the dam, the maximum amount of sediment washing up to the reservoir bed is done in a conical shape. The general shape of the conical area at the beginning of the sedimentation process consists of two separate and separable parts. The first part consists of a central submerged cavity. The place of formation of this cavity is near the model wall and along the lower valve, which causes the discharge of sediment by gravity. The second part consists of a medium slope that leads to a smooth surface due to the flow's general movement towards the central cavity. In pressure washing operation, Sediment washing is mainly done around the gates. To reach the sediment washing channel along the reservoir and drain a large volume of sediment, we must reach the river flow, called free-flow flushing.

Conclusion

Comparing the modeling results with the RNG turbulence model with the flushing results of 2004, the RNG model up to a distance of 180 meters from the dam wall shows more sediment washing than the flushing of 2004. The reason could be the change in the grain size of the sediments inside the reservoir and the size of the sediments and their greater adhesion in the area close to the dam wall in the 2004 operation. However, in the range of 180 meters to 500 meters from the dam wall, sediment washing in 2004 discharged more sediments from the reservoir than the RNG model.

Comparing the results of LES model with the results of 2004, LES model up to 120 meters from the dam wall shows more sediment washing than in 2004. At a distance of 120 meters to 300 meters from the dam wall, the sediment washing of the year 2004 has discharged more sediments from the reservoir than the LES model. At a distance of 300 meters to 500 meters from the dam wall, The results of the LES model are almost equal to the results of flushing in 2004. The results also show that the LES turbulence model has higher accuracy compared to the RNG turbulence model, and the results are closer to the flushing results performed in 2004.

According to the results shown in Table 5, high values of the coefficient of explanation (R^2) and low values of the percentage error of the numerical model predict the acceptable results of the Flow 3D model with LES simulator in flushing modeling of the Sefidrood dam. A comparison of the results shows that the LES turbulence model has a better performance in estimating the maximum

scour depth than the RNG turbulence model, and the results are closer to the flushing results performed in 2004.

Acknowledgments

The authors of the article express their gratitude to the regional water organization of Tehran province and the regional water organization of Gilan province for providing statistics and information.

References

- 1-Shafai Bajestan, M., 2012. *Guide to sedimentation and descaling studies of dam reservoirs*, Publication No. 589, (In Persian).



© 2023 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 عددی رسوب شویی (فلاشینگ) در سدها (مطالعه موردی سد سفیدرود)

مصطفی آدینه^۱، محمود شفاعی بجستان^۲ و حسام قدوسی^۳

۱- دانشجوی دکتری عمران مدیریت منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین المللی کیش.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

m-shafaeibejestan@scu.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۱

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۱

چکیده

در این تحقیق عملیات رسوب شویی مخزن سد سفیدرود با استفاده از مدل عددی Flow 3D با دو مدل آشفتگی LES و RNG شبیه سازی شده و با نتایج مطالعه های موردی انجام گرفته روی مخزن سد سفیدرود در سال ۱۳۸۳ صحت سنجی شده است. به منظور شبیه سازی، محدوده ای از مخزن به طول تقریبی ۷۰+ متر و همچنین دیواره سد در قالب دو مش بلاک (Mesh block) یک و دو مش بندی گردید. مش بلاک یک شامل دیواره سد و همچنین محدوده نزدیک به دیواره سد و همچنین درجه های تحتانی در نظر گرفته شد. در این محدوده به خاطر وجود تغییرات گرادیان سرعت جریان، تعداد سلول ها بیشتر در نظر گرفته شده تا محاسبات دقت بیشتری داشته باشند. دیواره سد از جنس Solid در نظر گرفته شد که غیر قابل تغییر می باشد ولی هندسه بستر مخزن، رسوبی Sediment تعریف گردید زیرا با حرکت جریان تغییر می کند. نتایج نشان می دهد که در نزدیکی تخلیه کننده های تحتانی سد مقدار حداکثر رسوب شویی تا بستر مخزن به صورت مخروطی شکل انجام می شود. مقادیر بالای ضریب تبیین $R^2=0/832$ و مقادیر پایین درصد خطای پیش بینی مدل عددی و درصد مربعات خطا، $RMSE=0/57$ و $MAE=0/454$ بیان گر نتایج قابل قبول مدل Flow 3D با شبیه ساز LES در مدل سازی فلاشینگ سد سفید رود می باشد. مقایسه نتایج بیان گر آن است که مدل آشفتگی LES در برآورد حداکثر عمق آبشستگی عملکرد بهتری نسبت به مدل آشفتگی RNG دارد و نتایج حاصل از آن به نتایج فلاشینگ انجام شده در سال ۱۳۸۳ نزدیک تر است.

کلید واژه ها: رسوب زدایی، مخازن سد، نرم افزار سه بعدی.

مقدمه

مخازن از دست رفته، نیاز به ساخت مخازن جدید می باشد. در جدول (۱) تقاضا برای احداث مخازن در نقاط مختلف جهان نشان داده شده است (Fan and Morris, 1992). در همین راستا، تخلیه مخزن به وسیله رسوب شویی، ساده ترین و ارزان ترین روش رسوب زدایی مخازن در سدها می باشد. هر چند که این روش به دلیل برخی محدودیت ها به طور وسیع مورد استفاده قرار نمی گیرد. این محدودیت ها شامل حجم زیاد آب مورد نیاز، لزوم پایین آوردن آب مخزن در دوره های مهم و عدم وجود درجه های مناسب در ساختار برخی از سدها است (عدم پیش بینی درجه های تحتانی در ترازهای مورد نیاز). چنانچه این محدودیت ها وجود نداشته باشند، تخلیه مخزن به وسیله رسوب شویی امکان پذیر است. به همین دلیل اخیراً علاقه مندی به تخلیه رسوب از مخازن سدها به روش فلاشینگ توسعه یافته است. در جدول (۲) مثال هایی از مخازن با رسوب شویی موفق نشان داده شده است.

از سال ۱۹۸۰ تاکنون مطالعه های عددی و تحلیلی متعددی به منظور شبیه سازی فرآیند رسوب شویی انجام گرفته است. Fan و Morris (1992) از مدل Hec-6 به منظور بررسی تأثیر عملکرد

در ایران مسأله رسوب گذاری در مخازن سدها دارای اهمیت زیادی است. در حدود ۷۰ درصد از منابع آبی کشور ایران را آب های سطحی تشکیل می دهند و به دلیل عدم هماهنگی زمانی بین آبدهی حوضه ها و مصارف، نیاز به مخازن ذخیره آب در ایران کاملاً ضروری است. از طرفی عدم انجام اقدامات مؤثر آبخیزداری در حد کافی باعث شده است که فرسایش از حوضه های آبریز سدها از حد مجاز بیشتر باشد و باعث شده است که رسوب گذاری در سدها افزایش یابد.

براساس مطالعه های انجام شده حدود یک درصد از ظرفیت سدهای جهان سالانه به واسطه رسوب گذاری از دست می رود (Brandt, 2000). این مقدار برابر با ظرفیت ۳۰۰ سد بزرگ است. به عبارت دیگر باید سالانه در سراسر جهان ۳۰۰ سد بزرگ ساخته شود تا بتوان جبران رسوب گذاری مخازن را نمود. در ایران نیز به طور متوسط سالانه یک درصد از حجم کل مخازن یعنی حدود ۱۸۰ میلیون متر مکعب پر از رسوب می گردد و در نتیجه به منظور تأمین نیازهای آبی جمعیت و جبران بخشی از حجم

پایدار حفره آب شستگی برای رسوبات چسبنده به مراتب تندتر از شیب پایدار رسوبات غیر چسبنده می‌باشد.

رسوب‌شویی به‌طور گسترده در بازیافت حجم ذخیره مخازن کاربرد داشته است Agazamani (2013) با مطالعه مدیریت رسوب‌شویی در مخازن سدها به کمک GIS و Flow 3D نشان داد که روش رسوب‌شویی تأثیر موضعی داشته و معمولاً برای خارج کردن رسوبات نهشته شده اطراف ورودی آبیگرها می‌تواند به کار رود. Abdipor et al (2016) برای افزایش رسوب‌شویی و زدودن رسوبات نزدیک سد به خصوص رسوبات جلوی دهانه آبیگر نیروگاه‌ها از جت، در جلوی دهانه خروجی سد استفاده کردند. در آزمایش‌ها از پنج عدد جت با سه سرعت مختلف و سه قطر نازل مختلف در دو تراز تخلیه‌کننده استفاده شده که نتایج نشان می‌دهند که از بین پارامترهای موجود، سرعت جت بیشترین تأثیر را در رسوب‌شویی دارد. Rashidzadeh و Ghadampour (2017) عملیات فلاشینگ آزاد را با استفاده از مدل آزمایشگاهی، در یک کانال و در دو حالت، اولی با یک دریچه به عرض پنج سانتی‌متر و دیگری با دو دریچه به عرض پنج سانتی‌متر با دبی‌های ۱۰،۱۶ و ۲۰ لیتر بر ثانیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش دبی و تعداد دریچه‌ها حجم آبشستگی افزایش یافته و با حرکت از سمت ابتدای چاله آبشستگی به سمت انتها، پروفیل سرعت مشابه تغییرات سرعت در کانال‌های جریان آزاد می‌شود. Shahriari, et al (2020) تأثیر کارگذاری سازه T شکل به‌عنوان یک روش جدید در افزایش راندمان رسوب‌شویی تحت فشار را مورد بررسی قرار دادند. آزمایش‌ها با سه دبی ۱۷/۱۴، ۳۸/۶، ۳۴/۸ لیتر بر ثانیه انجام شدند.

دریچه‌های مختلف در حین سیلاب‌های مخزن Loiza استفاده کردند. Olsen (1999) از یک مدل عددی دویعدی برای شبیه‌سازی رسوب‌شویی مخازن استفاده کرد. او اظهار داشت که اغلب برای ساده‌سازی‌های انجام گرفته روی مدل‌های عددی معقول است. Chang et al (2004) از الگوریتم ژنتیک برای تعیین و بهینه‌سازی منحنی فرمان و طرح رسوب‌شویی در یک مخزن استفاده نمودند. Samadi Brojeni (2002) با استفاده از مدل عددی Mike11 تأثیر رسوب‌شویی سد دز بر کاهش ظرفیت مخزن سد تنظیمی دزفول را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق با استفاده از مدل Mike11 رفتار جریان و رسوب رودخانه دز در زمان انجام عملیات رسوب‌شویی سد دز شبیه‌سازی گردید تا تأثیر سد تنظیمی دزفول در تله اندازی رسوبات ارزیابی شود. Sadegzadeh و Alami (2006) به بررسی تأثیر رها سازی رسوبات سدهای مخزنی بر مورفولوژی رودخانه پایین دست با استفاده از مدل Gstars o.3 در رودخانه سفیدرود پرداختند. در این مطالعه تغییرات مورفولوژیک رودخانه سفیدرود تحت تأثیر عملیات شاس سال ۱۳۶۷، با استفاده از مدل مذکور شبیه‌سازی گردید و با مورفولوژی پیش‌بینی شده تئوریک در اثر رسوب‌زدایی مقایسه گردید. در زمینه رسوب‌زدایی تحت فشار نیز مطالعه‌هایی در سایر نقاط جهان انجام گرفته است. برای مثال Jin (1992) خاطر نشان کرد که ماکزیمم عمق آب شستگی به‌طور مستقیم متناسب با عدد فرود ذره بوده و شیب بستر مخروط آب شستگی در امتداد محور طولی در مقایسه با شیب عرضی رسوب در جهت عمود بر محور خروجی تخلیه‌کننده، کوچک‌تر می‌باشد. (2000) Brandt با مطالعه روی مخازن سدهای سوییس نشان داد شیب

جدول ۱- تقاضا برای احداث مخازن در مناطق مختلف جهان

Table 1- Demand for reservoirs in different parts of the world

Requested tank volume(Cubic Kilometers)			egion
2020 to 2030	2010 to 2020	2000 to 2010	
54	51	49	Europe
424	495	467	Central and South America
248	203	167	Africa
213	281	315	Asia and Oceania
939	1032	998	Total

جدول ۲- مثال‌هایی از مخازن با رسوب‌شویی موفق (Atkinson,1996)

Table 2- Examples of reservoir with successful sediment washing (Atkinson,1996)

Reservoir	Country	Reference
Baira	India	Jaggy and Kashyep(1984)
Gebidem	Switzerland	Dawans et al(1982)
Gmund	Austria	Rienossl and Schnelle(1982)
Hengshan	China	IRTCES(1985)
Honglingjin	China	IRTCES(1985)
Mangahao	New zealand	Joweti(1984)
Naodehal	China	IRTCES(1985)
Palagneda	Switzerland	Swiss Nat.Committee on Large Dams(1982)
Santo Domingo	Venezuela	Krumdike and chamot(1979)

باعث گردید ۳۰ درصد از حجم مفید مخزن کاهش یابد. در شکل (۱) وضعیت مخزن سد سفیدرود نمایش داده شده است که دریاچه‌های تحتانی کاملاً در زیر رسوبات مدفون گردیده است، به طوری که پیشانی رسوبات مخزن در فاصله ۳۰۰ متری از بدنه سد، بالاتر از ارتفاع ورودی دریاچه‌های نیروگاه که رقوم آستانه آن‌ها ۲۱۰/۱۰ متر می‌باشد، قرار دارد که با در نظر گرفتن کف دریاچه‌های تحتانی (۱۹۱/۳۰ متر)، ارتفاع رسوبات به حدود ۲۰ تا ۲۵ متر می‌رسد. سد سفیدرود یکی از رسوب‌گیرترین سدهای جهان است. اکنون بیش از نیمی از ظرفیت سد را رسوبات پر کرده است. این مقدار رسوب‌گذاری در سد سفیدرود ۱۱ برابر رسوب‌گذاری سدهای مخزنی آمریکا است (Shafai Bajestan., 2012). به همین دلیل شبیه‌سازی عددی رسوب‌زدایی و رسوب‌شویی مخزن در مرحله‌ی بهره‌برداری، کمک بسیاری به مدیریت بهتر بهره‌برداری خواهد نمود.

رسوب‌زدایی هیدرولیکی ویا عملیات شاس (به زبان فرانسه) به عملیاتی اطلاق می‌شود که با باز کردن تخلیه‌کننده‌های تحتانی در کف یا رقوم پایین‌تر رسوبات نهشته شده در بستر مخزن سد در اثر فرسایش، کنده شده و به همراه جریان آب از مخزن خارج می‌شود. در این شبیه‌سازی عملیات فلاشینگ را در ارتفاع ۲۳۴۶ متر یعنی ارتفاعی که در سال ۱۳۸۳ عملیات شاس در این سد انجام شده است با دبی متوسط ورودی سالانه که مجموع دبی متوسط ورودی سالانه رودخانه قزل اوزن و رودخانه شاهرود می‌باشد (دبی متوسط از سال ۴۱ تا ۹۴) به کمک نرم‌افزار Flow 3d با دو روش آشفتگی RNG و LES انجام شده و نتایج با عملیات فلاشینگ انجام شده در سال ۱۳۸۳ مقایسه و صحت‌سنجی شده است.

در نرم‌افزار Flow-3D پنج مدل آشفتگی وجود دارد: ۱- مدل طول اختلاط پراختل ۲- مدل تک معادله‌ای ۳- مدل دو معادله‌ای k-e ۴- مدل دو معادله‌ای RNG ۵- مدل شبیه‌ساز گردابه‌های بزرگ LES. مدل RNG از معادله‌های مشابه با مدل k-e استفاده می‌کند. با این حال، ثابت‌های معادله که به لحاظ تجربی در مدل استاندارد وجود دارد، در معادله‌های RNG به صورت مشتقات صریح به کار برده شده است. در حالت کلی، مدل RNG کاربرد وسیع‌تری نسبت به مدل استاندارد k-e دارد. به‌طور خاص، مدل RNG برای توصیف جریان‌های با آشفتگی کم و جریان‌هایی با مناطق برشی قوی عملکرد دقیق‌تری دارد. در مدل LES، جریان به دو بخش گردابه‌های بزرگ (large eddy) و گردابه‌های کوچک (small eddy) تقسیم می‌شود. برای گردابه‌های بزرگ حل انجام می‌شود در حالیکه برای گردابه‌های کوچک مدل‌سازی صورت می‌گیرد. با توجه به نوع جریان موجود در داخل سد و در محدوده دریاچه‌های تحتانی از دو مدل آشفتگی RNG و LES برای انجام مدل‌سازی در نرم‌افزار Flow 3D استفاده گردید.

نتایج نشان داد که کارگذاری سازه T شکل با ابعاد ذکر شده، حجم مخروط رسوب‌شویی را تا حد قابل توجهی برای هر سه دبی افزایش داد، به طوری که در دبی ۳۴/۸ لیتر بر ثانیه حجم مخروط رسوب‌شویی نسبت به حالت شاهد ۱۳۵۷ درصد افزایش یافت. بیشتر مطالعه‌های قبلی با کمک نرم‌افزارهای یک بعدی و دو بعدی انجام گرفته و از آنجایی که نرم‌افزارهای یک بعدی و دو بعدی توانایی تحلیل دقیق شرایط جریان در داخل مخازن سدها که به صورت سه بعدی و در جهات مختلف می‌باشند را ندارند و همچنین با توجه به مقیاس سد که جز سازه‌های با مقیاس بسیار بزرگ محسوب می‌شود، امکان مدل‌سازی آزمایشگاهی با مقیاس واقعی وجود ندارد. به همین دلیل و به خاطر اهمیت موضوع، در این تحقیق نرم‌افزار سه بعدی Flow 3D برای مدل‌سازی عملیات فلاشینگ با مقیاس واقعی سد سفیدرود، با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. مدل‌سازی عددی اگر دقت کافی را داشته باشد، می‌تواند به ما کمک کند که سناریوهای مختلف را در عملیات فلاشینگ بررسی نماییم و مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار سه بعدی Flow 3D این امکان را به ما می‌دهد که مخزن سد را با مقیاس واقعی مدل کنیم و عملیات فلاشینگ را با دبی‌های مختلف و در شرایط متفاوت هیدرولیکی، به‌عنوان مثال باز یا بسته بودن تعدادی از دریاچه‌های تخلیه تحتانی در دبی‌های خروجی متفاوت یا استفاده از مدل‌های آشفتگی مختلف هنگام عملیات فلاشینگ، مدل کنیم. نتایج به دست آمده با نتایج مطالعه‌های موردی انجام گرفته در سال ۱۳۸۳ صحت‌سنجی و مقایسه شده و بهترین شرایط فلاشینگ بررسی و تعیین شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق مدل‌سازی سد سفیدرود به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. سد سفیدرود از نوع بتنی پشت بنددار بوده و در نزدیکی شهرستان منجیل در استان گیلان واقع شده است. این سد دارای ۱۰۶ متر ارتفاع و طول تاج ۴۲۵ متر می‌باشد و با هدف ذخیره آب برای کشاورزی دشت گیلان، آب شرب و تولید انرژی، احداث و در سال ۱۳۴۱ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. رقوم نرمال سد برابر با ۲۷۱/۶۵ متر از سطح دریا و حجم ذخیره مخزن در این رقوم برابر با ۱۷۶۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. سد سفیدرود با حجم اولیه حدود ۱۸۰۰ میلیون متر مکعب و عمر مفید ۱۰۰ ساله طراحی و آبیگری شد. این سد بعد از ۱۷ سال بهره‌برداری به علت عدم وجود پوشش گیاهی در حوضه آبریز و ریزش باران‌های فصلی و متعاقب آن وقوع سیلاب‌های سهمگین و همچنین عدم استفاده از تخلیه‌کننده‌های تحتانی در مواقع سیلابی و سیاست استفاده از تولید نیروی برق، حجم عظیمی از رسوب (۴۶ میلیون تن در سال) وارد مخزن سد شد که



Fig. 1- Accumulated sediments behind the wall of Sefidrood dam

شکل ۱- رسوبات انباشته شده در پشت دیواره سد سفیدرود

به منظور شبیه‌سازی رسوب‌شویی مخزن سد سفیدرود در محیط نرم‌افزار Flow 3D باید به ترتیب پنج مرحله Display, Analyze, Simulate, Setup, Navigator انجام شود. ۱- (Navigator): در این بخش می‌توان در یک زمان چندین شبیه‌سازی، شامل مدل‌های مختلف را راه اندازی و مورد حل قرار داد و نتایج پردازش آن‌ها را مشاهده نمود. ۲- (Model setup): در این قسمت کلیه اطلاعات لازم برای مدل‌سازی یک شبیه‌سازی به نرم‌افزار داده می‌شود. مانند: ۱-۲ بخش (General): شامل اطلاعاتی مثل زمان اتمام محاسبات (Finish time).

۲-۲ بخش (Physics): که ویژگی‌های مختلف سیال مانند لزجت (Viscosity)، شتاب ثقل (Gravity)، برش دیواره (Wall shear) و... به نرم‌افزار وارد می‌شود.

۲-۳ بخش (Fluids): در این قسمت مقادیر عددی خواص فیزیکی سیال، نظیر: جرم حجمی (Density)، کشش سطحی (Surface Tension) و... به نرم‌افزار وارد می‌شود.

۲-۴ بخش شبکه‌بندی و هندسه مخزن و بدنه سد سفیدرود (Meshing and Geometry)

هندسه که شامل توپوگرافی مخزن، موقعیت و ابعاد سد، دریچه‌های تختانی، سرریزها و خروجی‌های میانی، دی‌های روزانه آب ورودی و خروجی مخزن، دی‌های روزانه رسوب ورودی و خروجی مخزن، دانه‌بندی ذرات رسوب، توزیع و دانه‌بندی روی بستر و ترازهای روزانه آب و در موقع فلاشینگ، ضرایب زبری بستر و بدنه مخزن سد می‌باشند را در محیط GIS جمع‌آوری کرده و سپس به نرم‌افزار Flow 3D وارد می‌کنیم. اولین مرحله، انتقال توپوگرافی مخزن به نرم‌افزار Flow 3D است.

این توپوگرافی در نرم‌افزار GIS به صورت مدل ارتفاع رقمی تهیه و تنظیم می‌شود و به فرمت STL در می‌آید تا قابلیت وارد شدن به نرم‌افزار Flow 3D را داشته باشد.

معرفی نرم‌افزار Flow 3D

Flow 3D یک مدل سه بعدی می‌باشد که در شرکت Flow Science توسعه داده شده است. Flow 3D یک مدل اختلاف محدود غیر هیدرواستاتیکی می‌باشد که معادله‌های ناویراستوکس سه‌بعدی و پیوستگی را به صورت همزمان حل می‌کند. معادله‌های حرکت سیال شامل معادله‌های پیوستگی و مومنوم است که مدل Flow 3D نیز همانند تمام برنامه‌ها از حل آن‌ها برای محاسبه‌های هیدرولیکی جریان استفاده می‌کند. رابطه (۱) معادله پیوستگی و روابط ۲ تا ۴ معادله‌های مومنوم در مختصات کارتزین را نشان می‌دهند.

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) = R_{SOR} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \xi \frac{A_y u v}{x V_F} = -\frac{R}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + G_z + f_z - b_z \quad (4)$$

این برنامه برای جریان‌های سه‌بعدی غیر ماندگار که دارای سطح آزاد و هندسه پیچیده می‌باشند کاربرد دارد. در این نرم‌افزار از روش حجم محدود در شبکه‌بندی مستطیلی استفاده می‌شود. در این نرم‌افزار از دو روش برای شبیه‌سازی هندسی استفاده شده است. روش اول روش حجم سیال است که برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد و روش دوم، روش کسر مساحت-حجم مانع نام دارد که برای شبیه‌سازی سطوح و اجسام صلب، مثل مرزهای هندسی کاربرد دارد. (Flow 3D Help and Flow Science).

جدول ۳- ابعاد و اندازه سلول ها در مش بلاک ۱

Table 3- Dimensions and sizes of cells in mesh block 1

	X direction	Y direction	Z direction
Total number	117	36	80
Maximum cell size(m)	5.01	5	0.87
Total number of real cells in mesh block 1		336960	

جدول ۴- ابعاد و اندازه سلول ها در مش بلاک ۲

Table 4- Dimensions and sizes of cells in mesh block 2

	X direction	Y direction	Z direction
Total number	98	59	40
Maximum cell size(m)	10.02	9.93	1.75
Total number of real cells in mesh block 2		231280	

نرم افزار Auto Cad سه بعدی طراحی شده و به محیط GIS اضافه شده است. بعد از مش بندی مرحله بعدی مشخص نمودن شرایط مرزی و شرایط اولیه جریان می باشد. در این مرحله ارتفاع آب در زمان شروع شبیه سازی $t=0$ در داخل مش بلاک ها در قسمت show initial window تنظیم می شود و همچنین دبی ورودی و ارتفاع آب هنگام ورود به داخل مش بلاک ها در قسمت Show mesh boundaries تعریف می شود.

پس از وارد کردن تمام اطلاعات مورد نیاز به نرم افزار از جمله شرایط مرزی جریان، مانند ارتفاع آب مخزن و دبی ورودی و دبی خروجی مخزن در زمان شروع شبیه سازی، دمای آب، شتاب ثقل، زمان شبیه سازی و... نرم افزار Flow 3D معادله های هیدرولیکی جریان که معروف به معادله های ناپیرا استوکس می باشند (که شامل معادله پیوستگی و سه معادله مومنتم در سه راستای مختلف است) را در داخل هر یک از سلول ها در گام های زمانی مختلف شبیه سازی که در نرم افزار تعریف می شود حل کرده و نتایج را آنالیز می کند. عملیات شبیه سازی فلاشینگ در ارتفاع ۲۳۴.۶ متر یعنی ارتفاعی که در سال ۱۳۸۳ عملیات شاس در این سد انجام شده است با دبی متوسط ورودی سالانه که مجموع دبی متوسط ورودی سالانه رودخانه قزل اوزن و رودخانه شاهرود می باشد به کمک نرم افزار Flow 3D شبیه سازی می گردد و سپس نتایج با عملیات فلاشینگ انجام شده در سال ۱۳۸۳ مقایسه و صحت سنجی می شود.

حجم رسوبات قبل از شروع عملیات شبیه سازی در نزدیکی دیواره سد به حدی است که سه دریاچه تختانی سمت راست به کلی در داخل رسوبات مدفون بوده و بخشی از ارتفاع دریاچه های تختانی سمت چپ نیز در داخل رسوبات قرار گرفته اند. در شکل (۲) شروع عملیات فلاشینگ با باز کردن دریاچه های تختانی و خروج آب از درون دریاچه ها نمایش داده شده است. بعد از عملیات فلاشینگ حجم زیادی از رسوبات از داخل مخزن خارج شده اند و چاله آبستگنی ایجاد شده است و دو دریاچه تختانی سمت چپ و سه دریاچه تختانی سمت راست به طور کامل از درون رسوبات خارج شده اند.

به منظور شبیه سازی عملیات فلاشینگ سد سفیدرود با نرم افزار Flow 3D محدوده ای از مخزن و همچنین دیواره سد در قالب دو مش بلاک (Mesh block) یک و دو مش بندی می گردد. دیواره سد و محدوده نزدیک به دیواره و تخلیه کننده های تختانی در مش بلاک یک قرار داده شده است. در این محدوده به خاطر وجود تغییرات گرادیان سرعت جریان، تعداد سلول ها بیشتر در نظر گرفته می شود تا محاسبات دقت بیشتری داشته باشند.

دیواره سد از جنس Solid در نظر گرفته می شود که غیر قابل تغییر می باشد ولی هندسه بستر مخزن، رسوبی Sediment تعریف می شود زیرا با حرکت جریان تغییر می کند و از جنس رسوباتی می باشد که در قسمت Physics نرم افزار تعریف می شود. شبکه مش بندی مستطیلی شکل مش بلاک یک که دیواره سد نیز در داخل آن قرار دارد با سلول های مستطیلی که تعداد و ابعاد آن ها در جدول (۳) نشان داده شده است تعریف می شود.

با توجه به جدول (۳) این مش بلاک ۵۸۵ متر طول و ۱۸۰ متر عرض دارد و ابعاد هر سلول (طول ۵ متر، عرض ۵ متر و ارتفاع ۰.۸۷۵ متر) و تعداد کل سلول ها ۳۳۶۹۶۰ عدد می باشد.

مش بلاک شماره دو که شامل بخشی از مخزن سد سفیدرود می باشد در جدول (۴) نشان داده شده است. این مش بلاک ۹۸۰ متر طول و ۵۸۵ متر عرض دارد. ابعاد هر سلول (طول ۱۰ متر، عرض ۹.۹۳ متر و ارتفاع هر سلول ۱.۷۵ متر) در نظر گرفته شده است. تعداد کل سلول های این مش بلاک ۲۳۱۲۸۰ عدد می باشد.

دریاچه های تختانی سد نیز در قسمت Meshing and Geometry) به نرم افزار معرفی می گردند. در سد سفیدرود سه خروجی تختانی در سمت راست در تراز ۱۹۱.۳ متر با ظرفیت مجموع ۴۳۰ متر مکعب در ثانیه و دو خروجی تختانی در سمت چپ در تراز ۱۹۳.۸ متر با ظرفیت تخلیه مجموع ۵۳۰ متر مکعب در ثانیه طراحی و ساخته شده است. از آنجایی که جنس بدنه سد از نوع رسوبی نیست و در طی عملیات شبیه سازی رسوب شویی مخزن، بدنه سد بتنی نباید تغییر کند لازم است که هندسه بدنه سد به صورت جداگانه مدل سازی شده و با توپوگرافی مخزن ترکیب شود، که برای این کار بدنه هندسی سد با استفاده از

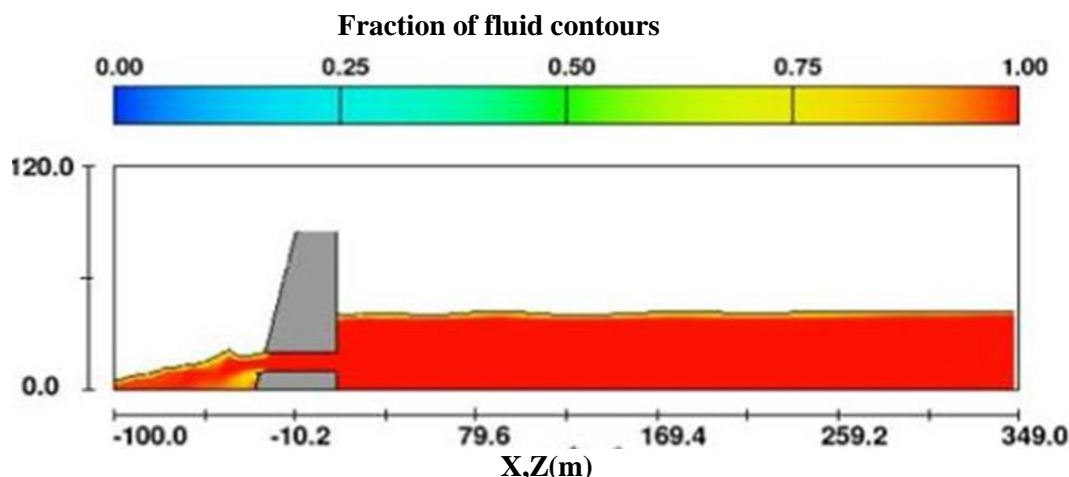


Fig. 2- Starting flushing operation by opening the lower gates
 شکل ۲- شروع عملیات فلاشینگ با باز کردن دریچه های تحتانی

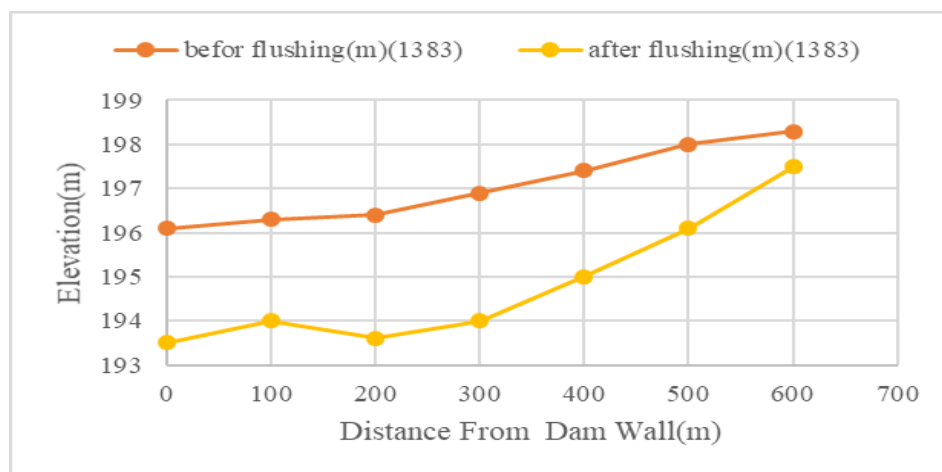


Fig. 3- Results of Flushing Modeling in the year 2004
 شکل ۳- نتایج مدل سازی فلاشینگ سال ۱۳۸۳

(۴) مشاهده می‌گردد که نتایج مدل‌سازی با مدل آشفتگی RNG با نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳ نزدیک هستند. در شکل (۵) نتایج مدل‌سازی با مدل آشفتگی LES با نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳ مقایسه شده است. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود نتایج مدل‌سازی با مدل آشفتگی LES با نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳ بسیار نزدیک است. در شکل (۶) نتایج مدل‌های آشفتگی RNG و LES با نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳ باهم ارائه شده‌اند.

الگوی کلی جریان عبوری از محدوده‌ی دریچه‌های تخلیه کننده تحتانی نشان داد که جریان ورودی در قسمت ابتدایی دریچه‌ها دچار همگرایی شده و سرعت در این منطقه افزایش چشم‌گیری دارد. به تدریج در طول مجرا بعد از ورودی، سرعت به حالت یکنواختی می‌رسد. در شکل (۳) نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود حجم زیادی از رسوبات تا فاصله ۶۰۰ متری از دیواره مخزن خارج شده‌اند. در شکل (۴) نتایج مدل‌سازی با مدل آشفتگی RNG با نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳ مقایسه شده است. با توجه به شکل

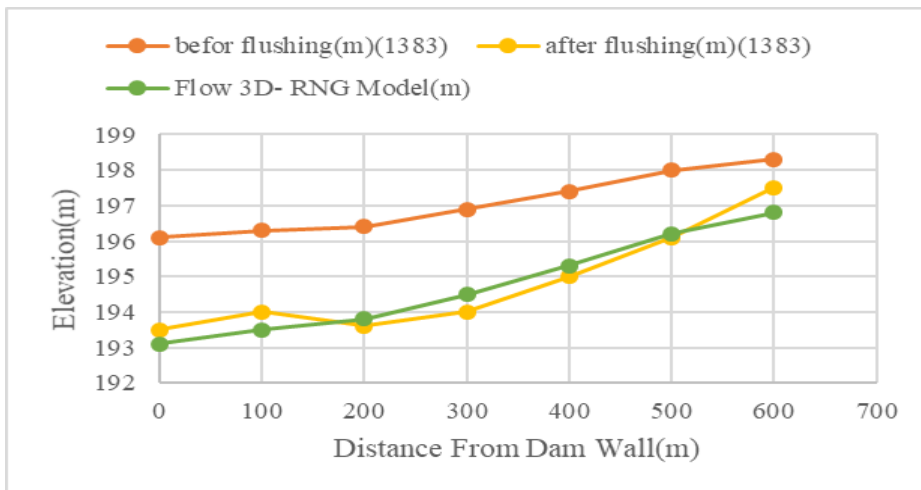


Fig. 4- Comparison of modeling results with RNG turbulence model with flushing results of 2004 year

شکل ۴- مقایسه نتایج مدل سازی با مدل آشفتگی RNG با نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳

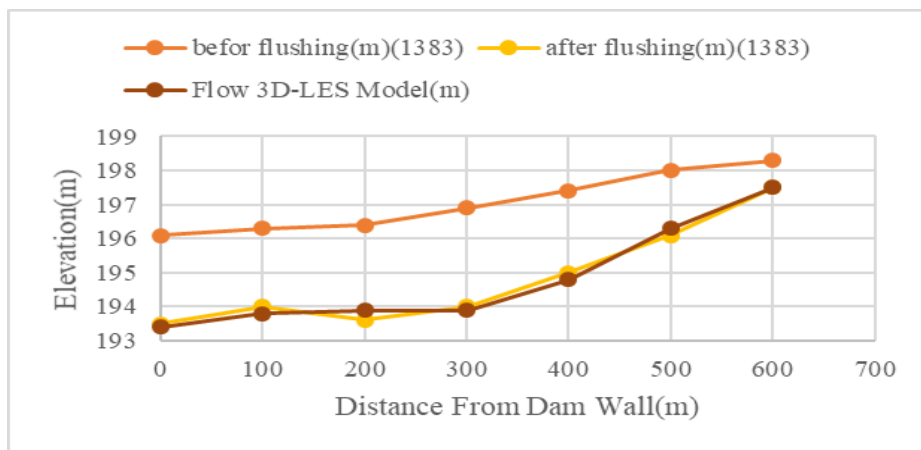


Fig. 5- Comparison of modeling results with LES turbulence model with flushing results of 2004 year

شکل ۵- مقایسه نتایج مدل سازی با مدل آشفتگی LES با نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳

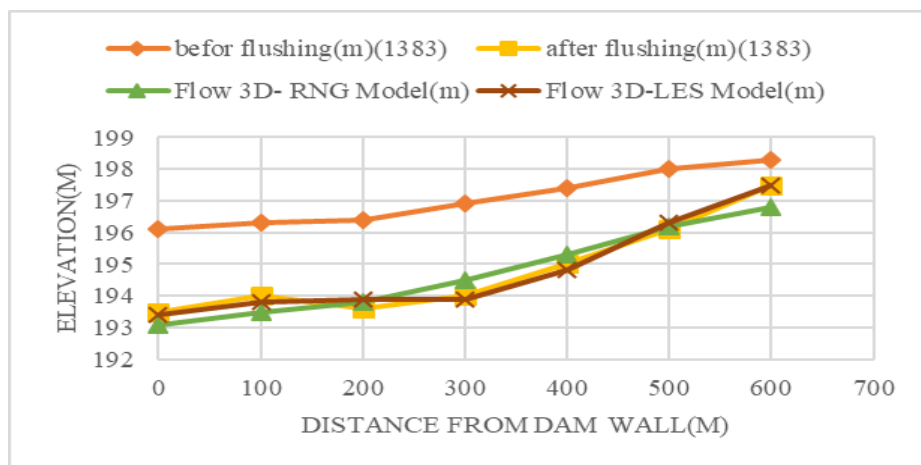


Fig. 6- Comparison of the results of RNG and LES turbulence models and the results of flushing in 2004

شکل ۶- مقایسه نتایج مدل های آشفتگی RNG و LES و نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳

جدول ۵- مقایسه نتایج مدل های آشفته‌گی RNG و LES و نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳

Table 5- Comparison of the results of RNG and LES turbulence models and the results of flushing in 2004

Station(m)	Measurement of Flushing Dam(m)	Flow 3D-RNG Model(m)	Flow 3D-LES Model(m)	RMSE-LES(m)	MAE-LES(m)	R2-LES
0	193.500	193.100	193.4	1.3400	0.9500	1.9520
100	194.000	193.500	193.8	0.7100	0.7100	0.8774
200	193.600	193.800	193.9	0.0600	0.0600	1.1112
300	194.000	194.500	193.9	0.0324	0.1800	0.3811
400	195.000	195.300	194.8	0.0100	0.1000	0.1508
500	196.100	196.200	196.3	0.1500	0.5000	0.6868
600	197.500	196.800	197.5	0.2600	0.6000	5.0150
				RMSE=0.57	MAE=0.454	R2=0.832

نتایج سال ۸۳، مدل LES تا فاصله ۱۲۰ متری از دیواره سد رسوب‌شویی بیشتری را نسبت به سال ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. در فاصله ۱۲۰ متری تا ۳۰۰ متری، رسوب‌شویی سال ۸۳ رسوبات بیشتری را نسبت به مدل LES از مخزن خارج کرده است. در محدوده ۳۰۰ متری تا ۵۰۰ متری از دیواره سد، رسوب‌زدایی مدل LES و فلاشینگ سال ۱۳۸۳ تقریباً با هم برابرند. نتایج نشان می‌دهد که در نزدیکی تخلیه‌کننده‌های تحتانی سد مقدار حداکثر رسوب‌شویی تا بستر مخزن به صورت مخروطی شکل انجام می‌شود. مقادیر بالای ضریب تبیین $R2=0/832$ و مقادیر پایین درصد خطای پیش‌بینی مدل عددی و درصد مربعات خطا، $RMSE=0/57$ و $MAE=0/454$ بیانگر نتایج قابل قبول مدل Flow 3D با شبیه‌ساز LES در مدل‌سازی فلاشینگ سد سفیدرود می‌باشد. مقایسه نتایج بیانگر آن است که مدل آشفته‌گی LES در برآورد حداکثر عمق آبستگي عملکرد بهتری نسبت به مدل آشفته‌گی RNG دارد و نتایج حاصل از آن به نتایج فلاشینگ انجام شده در سال ۱۳۸۳ نزدیک‌تر است.

نتیجه‌گیری

بیشتر مطالعه‌های قبلی با کمک نرم‌افزارهای یک‌بعدی و دوبعدی انجام گرفته و از آنجایی که نرم‌افزارهای یک‌بعدی و دو بعدی توانایی تحلیل دقیق شرایط جریان در داخل مخازن سدها که به صورت سه‌بعدی و در جهات مختلف می‌باشند را ندارند و همچنین باتوجه به مقیاس سد که جز سازه‌های با مقیاس بسیار بزرگ محسوب می‌شود، امکان مدل‌سازی آزمایشگاهی با مقیاس واقعی وجود ندارد، در این تحقیق با استفاده از مدل سه‌بعدی Flow 3D مقیاس واقعی سد سفیدرود با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف شبیه‌سازی شد. با بررسی و آنالیز نتایج شبیه‌سازی و مقایسه آن با نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳، نتیجه‌گیری می‌شود که نرم‌افزار Flow 3D در مدل‌سازی فلاشینگ سدها، نرم‌افزار قدرتمندی است و در مقایسه مدل‌های آشفته‌گی مختلف

در جدول (۵) نتایج مدل‌سازی با مدل آشفته‌گی RNG و LES با نتایج برداشت شده از فلاشینگ سال ۱۳۸۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول (۵) نشان داده شده است مقادیر بالای ضریب تبیین ($R2$) و مقادیر پایین درصد خطای پیش‌بینی مدل عددی، بیانگر نتایج قابل قبول مدل Flow 3D با شبیه‌ساز LES در مدل‌سازی فلاشینگ سد سفیدرود می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهد که در نزدیکی تخلیه‌کننده‌های تحتانی سد، مقدار حداکثر رسوب‌شویی تا بستر مخزن به صورت مخروطی شکل انجام می‌شود. شکل کلی ناحیه مخروطی در آغاز فرآیند رسوب‌شویی از دو بخش مجزا و قابل تفکیک تشکیل می‌شود. بخش اول شامل یک حفره فرو رفته مرکزی می‌باشد. محل شکل‌گیری این حفره در نزدیکی جداره مدل و در امتداد دریچه تحتانی می‌باشد، که تخلیه رسوب به صورت ثقلی باعث ایجاد آن می‌شود. بخش دوم شامل یک شیب متوسط می‌باشد که به سطح هموار منتهی می‌شود، که در اثر حرکت عمومی جریان به سمت حفره مرکزی می‌باشد. در عملیات رسوب‌شویی تحت فشار، رسوب‌شویی بیشتر محدود به اطراف دریچه‌ها می‌باشد و به‌منظور رسیدن به کانال رسوب‌شویی در طول مخزن و تخلیه حجم زیادی از رسوبات بایستی به جریان رودخانه‌ای برسیم که به این روش، فلاشینگ جریان آزاد گویند. در مقایسه نتایج مدل‌سازی با مدل آشفته‌گی RNG با نتایج فلاشینگ سال ۱۳۸۳ مدل RNG تا فاصله ۱۸۰ متری از دیواره سد، رسوب‌شویی بیشتری را نسبت به فلاشینگ سال ۱۳۸۳ نشان می‌دهد که دلیل آن می‌تواند تغییر دانه‌بندی رسوبات در داخل مخزن و اندازه رسوبات و چسبندگی بیشتر آن‌ها در محدوده نزدیک به دیواره سد در عملیات سال ۸۳ باشد، ولی در محدوده فاصله ۱۸۰ متری تا ۵۰۰ متری از دیواره سد، رسوب‌شویی سال ۱۳۸۳ رسوبات بیشتری را نسبت به مدل RNG از مخزن خارج نموده است. در مقایسه نتایج مدل LES با

مختلف، شبیه سازی شده و نتایج به دست آمده مورد بحث و بررسی بیشتر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از سازمان آب منطقه ای استان تهران و سازمان آب منطقه ای استان گیلان بابت ارائه ای آمار و اطلاعات تشکر و قدردانی می نمایند.

این نرم افزار، مدل آشفتنی LES از دقت بالاتری نسبت به مدل آشفتنی RNG برخوردار می باشد. توصیه می شود در تحقیقات آینده فلاشینگ سد سفیدرود با سناریوهای متفاوت مانند دبی های مختلف و در ارتفاعات متفاوت آب مخزن سد در هنگام شروع عملیات فلاشینگ و با آزمون باز و بسته بودن دریچه های تخلیه کننده سمت چپ و سمت راست، در هنگام تخلیه رسوبات، شرایط

References

- 1- Abdipor, A. and Ahmadi, H., 2016. Investigation and Evaluation of The Effects of Jet on The Pressure Flushing in Hydropower Reservoirs. *Journal of Dam and Hydroelectric Powerplant*, 2(7), pp.35-45. Dor: 20.1001.1.23225882.1394.2.7.1.0.
- 2- Agazamani, M., 2013. Sediment washing management of dam reservoirs with GIS and Flow 3D software, Master thesis, *Azad University Central Tehran Branch, Iran*. 127P. (In Persian).
- 3- Atkinson, E. (1996). The feasibility of flushing sediment from Reservoir. Report OD 137, Nov
- 4- Brandt, S.A., 2000. A review of reservoir desiltation. *International Journal of Sediment Research*, 15(3), pp.321-342.
- 5- Chang, F.J., Chen, L. and Chang, L.C., 2005. Optimizing the reservoir operating rule curves by genetic algorithms. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(11), pp.2277-2289.
- 6- Fan, J. and Morris, G.L., 1992. Reservoir sedimentation. I: Delta and density current deposits. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(3), pp.354-369. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:3(354)
- 7- Flow Science, Inc., FLOW-3D User Manual Version 9.3
- 8- Jin, L., 1992. Local Scour Upstream of a Bottom Sluice Gate in Reservoirs, *Sediment Management, Proceedings of the 5th International Symposium on River Sedimentation, Karlsruhe, University of Karlsruhe, Institute of Hydraulic Structures and Agricultural Engineering*, 2, pp.791-798.
- 9- Olsen, N.R., 1999. Two-dimensional numerical modelling of flushing processes in water reservoirs. *Journal of Hydraulic Research*, 37(1), pp.3-16.
- 10- Rashidzadeh Davan, A. and Ghadampour, Z., 2017, Study of scour changes in free valve flushing, *16th Iranian Hydraulic Conference*, Ardabil, <https://civilica.com/doc/727527>
- 11- Sadegzadeh, M. M. and Alami, M. T., 2006. Investigation of the effect of sediment release of reservoir dams on the morphology of downstream river using GSTARS 0.3 model (Case study: Sefidrood river), *Seventh International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz*, (In Persian).
- 12- Samadi Brojeni, H., 2002. Predicting sediment concentrations due to sediment leaching in Dez dam downstream and investigating its environmental effects, Final report of the research project, *Research and Standards Office of Khuzestan Water and Electricity Organization*, (In Persian).
- 13- Shafai Bajestan, M., 2012. *Guide to sedimentation and descaling studies of dam reservoirs*, Publication No. 589, (In Persian).
- 14- Shahriari, R and Daryaei, M and Kashefipour, S. M, 2020, Increasing the dimensions of sediment leaching cones in pressurized flushing by placing a T-shaped structure upstream of the orifice, *18th Iranian Hydraulic Conference*, Tehran, <https://civilica.com/doc/998897>.

EXTENDED ABSTRACT

Forecasting the risk of drought in Zabol synoptic station based on the output of CMIP6 climate models

M. Forouzan Mehr¹, M. Dastourani^{2*}, M. Yaghoobzadeh³ and S. Hosseinabadi⁴

- 1- *PhD Student, Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.*
- 2* - *Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. (mdastourani@birjand.ac.ir).*
- 3- *Associate Professor & Research Group of Drought and Climate Change, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.*
- 4- *PhD Student, Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.*

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 7 March 2022

Revised: 6 December 2022

Accepted: 10 December 2022

Keywords:

Drought, Sixth Climate Change Report, SPI Index, Climate Change.

TO CITE THIS ARTICLE:

Forouzan Mehr, M., Dastourani, M., Yaghoobzadeh, M., Hoseinabadi, S. (2023). 'Forecasting the risk of drought in Zabol synoptic station based on the output of CMIP6 climate models', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(3), pp. 69-84. doi: 10.22055/jise.2022.40231.2020.

Introduction

Drought is one of the most complex natural hazards that affect natural and human systems (Wilhite et al., 2005, Wilhite et al., 2007). Greenhouse gas emission has contributed to climate change in the last century (Van Pelt and Swart, 2011). Climate change has a significant impact on the hydrological cycle and consequently on water resources, and the frequency and severity of droughts and floods. The most reliable tool available for future climate simulation is the output of coupled atmosphere-ocean patterns of atmospheric general circulation (Shakarami and Massahbavani, 2007). The reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change show that if the current trend of greenhouse gas production due to the consumption of fossil fuels continues, the concentration of these gases can reach more than 600 ppm before the end of the 21st century (IPCC, 2007). The downscale model, which is a downscale statistical method, uses semi-empirical distributions for simulation and downscale and can generate future climate parameters at the station level. A major application of these data is to monitor and evaluate future droughts (Hosseinabadi et al, 2020). In the occurrence of drought, there are many factors such as changing the course of rivers and draining reservoirs, climate change and warming of the earth. Nowadays, the increasing occurrence of drought has caused the attention of many meteorologists and climatologists around the world. Drought indicators are used to diagnose and classify drought conditions. These indicators include the possibility of evaluating the standardized precipitation evaporation and transpiration index SPEI, the Palmer drought intensity index PDSI, the standard runoff index SRI and the identification drought index RDI. SPI and SPEI are the most common drought indicators.

Methodology

In the current research, due to the importance of the correct management of water resources and climatic conditions and recent droughts in Zabol city, the future drought situation of this region has been investigated. The basic period of the data analyzed in the current research is 21 years (1985-2005). Also, the data related to GCM models are for micro-scaling the data related to the two periods 2025-2045 and 2065-2085. For micro-scaling in this research, 4 GCM models

related to the data of the 6th IPCC report including (BCC-ESM2-MR), (CanESM5), (MIROC6) and (MRI-ESM2-0) have been used. In this research, the SPI index has been consulted to investigate the drought in the two studied periods in Zabol city. Standardized Precipitation Index (SPI) can be calculated for any location based on long-term recorded precipitation data. Long-term recorded rainfall data are fitted to a probability distribution and then transformed into a normal distribution so that the average SPI at the desired location and period is zero (Edwards, 1997, Mishra and Singh, 2010). Calculating the SPI drought index in any of the time scales is a major advantage of this index. During the recording period, rainfall data as well as the nature of the probability distribution play an important role in calculating the SPI drought index, regarded as a limitation of this index (Mishra and Singh, 2010). To calculate the SPI index, it is first necessary to prepare a data set of monthly rainfall for a period of m months, which is ideally a continuous period of at least 30 years. Then a set of averaging periods are selected to prepare a set of time scales of 3, 6, 12, 24 and 48 months. These time scales are arbitrary and can show the impact of the lack of rainfall on usable water resources.

Results and Discussion

The SPI index indicates a drought when it has negative sequences, and when these negative values exceed 1, the drought intensifies. With the positive value of this index, the drought period will end. Therefore, the duration of the drought is determined by the time of its beginning and end, and its severity is determined for each of its months. The results in the present study show that in both study periods in both SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios and in all the studied models, the 6-month SPI index shows the largest negative value, and the changes in the drought index in periods 12 and 48 months are close. Comparing the studied models and scenarios in Zabol city, it was found that the BCC-ESM2-MR model showed 6-month SPI index and the CanESM5 model showed a 12- and 48-month index more than other models. The drought index obtained in the studied periods and all models indicate moderate drought in Zabol city. To compare the studied scenarios in the present study, the average value of SPI index was calculated for four models and its values were plotted at different time scales over the next 20 years for the next two periods. Drought in the studied periods is demonstrated longer than the 6-month time scale. Also, in the studied time scales, the two scenarios are almost the same, but in some cases, the SSP5-8.5 scenario shows more severe drought, which indicates moderate drought in the region.

In the present study, none of the studied time scales indicate wetness. At the 6-month scale of the SSP2-4.5 scenario, in the first period, the number of drought years has increased only in the MRI-ESM2-0 model, but the two models CanESM5 and MIROC6 show an increase in the number of years with severe drought. In the second period of this scenario and the first period of the SSP5-8.5 scenario, the situation is the same, but in the second scenario, SSP5-8.5, the number of years with normal status has decreased and the number of years with severe drought has increased. In the 12-month time scale, the SPI drought index has also decreased the years with normal status as well as very severe condition, except in the CanESM5 model, the first period of the SSP5-8.5 scenario, compared to the base period. Also, the periods with moderate and severe drought status have lengthened. On a 48-month time scale, the number of normal years has generally decreased and the number of drought years increased compared to the base period. Also, according to the results, in both future periods examined in this research, on average, there are 2 periods of longer drought periods in all three time scales of 6, 12, and 48 months. In the coming period of 2025-2044, the highest increase in the number of drought periods appears in the 48-month time scale of the CAN model with 5 periods and then in the 12-month time scale of the MIR model with the number of 4 periods. In the upcoming period of 2065-2084, the largest increase in the number of drought periods is 4 periods in the BCC model in the time scale of 12 and 48. Also, the greatest increase in the drought period in both future periods is related to the SSP4/5 scenario. In general, in all models and time scales examined, the number of drought periods has increased compared to the base period.

Conclusions

In the present study, to investigate drought in Zabol city, 4 GCM models related to the data of the sixth IPCC report including (BCC-ESM2-MR), (CanESM5), (MIROC6) and (MRI-ESM2-0), under two scenarios: SSP2- 4.5 and SSP5 -8.5 were used in the period 2044-2025 and 2084-2065. The BCSD Downscale method has also been adopted to predict meteorological data in the target periods. According to the results of the present study in both SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios and all studied models, the 20-year average of 6 months of the SPI index shows the most negative value, as well as changes in the 20-year average of the drought index. It is very close in 12- and 48-month periods. In addition, the comparison of models and scenarios in this study shows that in the BCC-ESM2-MR model, the 20-year average of the 6-month SPI index and in the CanESM5 model, the 12- and 48-month index is larger than other models. Also, the SPI index in 12- and 48-month time scales shows the severity of drought in the studied periods more than 6-month time scale, and in the studied time scales, both scenarios are almost the same. However, in some cases, the SSP5-8.5 scenario shows the severity of drought. More has been shown. According to the results of this study, in general, the years with normal status have decreased and the number of years with drought status has increased compared to the base period. The results also show that in the most pessimistic case, the number of dry years in Zabol city will be 14 and the CanESM5 model can be used to predict the drought index. Also, according to the results, in both future periods examined in this research, on average, there are 2 periods of increased drought periods in all three time scales of 6, 12, and 48 months. In the coming period of 2025-2044, the highest increase in the number of drought periods is in the 48-month time scale of the CAN model with 5 periods and then in the 12-month time scale of the MIR model with the number of 4 periods. In the upcoming period of 2065-2084, the largest increase in the number of drought periods is 4 periods in the BCC model in the time scale of 12 and 48. Also, the greatest increase in the drought period in both future periods is related to the SSP4/5 scenario. In general, in all models and time scales examined, the number of drought periods has increased compared to the base period.

References

- 1- Edwards, D.C. and McKee, T.B., 1997. *Characteristics of 20 th century drought in the United States at multiple time scales* (Vol. 97, p. 155). Fort Collins: Colorado State University.
- 2- IPCC. 2007. The Physical Science Basis. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., Miller, H. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge UK.
- 3- Mishra, A. K., and Singh, V. P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-20), pp. 202-216.
- 4- Shakarami, N, and Massahbavani, A. 2007. Uncertainty analysis of coupled ocean-atmosphere general circulation patterns on climate change scenarios of temperature and rainfall in Zainderood basin, *technical workshop on the effects of climate change on water resources management*. (In Persian).
- 5- Van Pelt, S. C, and Swart, R. J. 2011. Climate change risk management in transnational river a. basins: the Rhine. *Water resources management*, 25(14), pp. 3837-3861.
- 6- Wilhite, D. A., and Buchanan-Smith, M. 2005. Drought as hazard: understanding the natural and social context. *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*, 3, pp. 29.
- 7- Wilhite, D. A., Svoboda, M. D., and Hayes, M. J. 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, 21(5), pp. 763-774.



پیش آگاهی مخاطره خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک زابل براساس برون داد مدل های اقلیمی CMIP6

مهديه فروزان مهر^۱، مهدی دستورانی^{۲*}، مصطفی یعقوبزاده^۳ و سعیده حسین آبادی^۴

۱- دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، mdastourani@birjand.ac.ir

۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

۴- دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

چکیده

باتوجه به اهمیت خشکسالی و اقدام برای به حداقل رساندن خسارات ناشی از این بلیه طبیعی، در پژوهش حاضر به بررسی شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) در منطقه جنوب شرقی ایران در شهرستان زابل با استفاده از چهار مدل GCM، MRI-ESM2-0 و MIROC6، CanESM5، BCC-ESM2-MR در CMIP6 پرداخته شده است. در این پژوهش، از دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 برای تخمین SPI در دو دوره ۲۰۲۵-۲۰۴۴ و ۲۰۸۴-۲۰۶۵ و برای پیش بینی داده های هواشناسی از روش ریزمقیاس نمایی BCSD استفاده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در هر دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و در تمامی مدل های مورد بررسی، میانگین ۲۰ ساله شاخص SPI، شش ماهه نشان دهنده بیشترین مقدار منفی است. علاوه بر این مقایسه مدل ها و سناریوها در این پژوهش نشان می دهد که در مدل BCC-ESM2-MR، میانگین ۲۰ ساله شاخص شش ماهه SPI و در مدل CanESM5، شاخص ۱۲ و ۴۸ ماهه نسبت به سایر مدل ها بیشتر است. همچنین شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ و ۴۸ ماهه شدت خشکسالی را در دوره های مورد مطالعه بیشتر از مقیاس زمانی شش ماهه نشان می دهد و در مقیاس های زمانی مورد مطالعه تقریباً هر دو سناریو بر هم منطبق هستند. طبق نتایج حاصل از این پژوهش، به طور کلی دوره های دارای وضعیت نرمال کاهش یافته و به تعداد دوره های دارای وضعیت خشک نسبت به دوره پایه افزوده شده است. همچنین نتایج نشان می دهد در بدینانه ترین حالت، تعداد دوره های خشک در ایستگاه سینوپتیک زابل ۱۴ دروه خواهد بود و می توان برای پیش بینی شاخص خشکسالی از مدل CanESM5 استفاده نمود.

کلید واژه ها: خشکسالی، گزارش ششم تغییر اقلیم، شاخص SPI، تغییر اقلیم.

مقدمه

به دلیل ویژگی فوق العاده ای که دارد، تأثیر قابل توجهی در سطوح اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی دارد (Hernández-Vásquez et al., 2022).

با افزایش تولید گازهای گلخانه ای، یکی از بزرگ ترین چالش های موجود در قرن اخیر، پدیده تغییر اقلیم است (Van Pelt and Swart, 2011). تغییر اقلیم تأثیر به سزایی در چرخه های هیدرولوژیکی و در نتیجه بر منابع آب، فراوانی و شدت خشکسالی و سیل دارد. معتبرترین ابزار موجود برای شبیه سازی اقلیمی آینده، استفاده از خروجی الگوهای جفت شده جو - اقیانوس گردش عمومی جو است (Shakarami and Massahbavani, 2007). گزارش های هیئت بین الدول تغییر اقلیم (Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)) نشان می دهد که در صورت ادامه روند کنونی تولید گاز گلخانه ای به دلیل مصرف سوخت های فسیلی، غلظت این گازها تا قبل از پایان قرن ۲۱ می تواند به بیش از ۶۰۰ppm برسد (IPCC,

خشکسالی یکی از پیچیده ترین مخاطرات طبیعی است که بر سیستم های طبیعی و انسانی تأثیر می گذارد (Wilhite et al., 2007, Wilhite et al., 2005). به طور معمول خشکسالی به عنوان یک پدیده هواشناسی در نظر گرفته می شود که به کندی توسعه می یابد و ماه ها یا حتی سال ها طول می کشد تا به حداکثر شدت برسد (Svoboda et al., 2002, Wilhite et al., 2000). پدیده خشکسالی یکی از پرهزینه ترین بلایای طبیعی جهان است که به طور متوسط سالانه بین شش تا هشت میلیارد دلار خسارت جهانی به بار می آورد و بیش از هر نوع بلای طبیعی دیگری بر مردم تأثیر می گذارد (Keyantash and Dracup, 2002). خشکسالی در کنوانسیون سازمان ملل متحد (UNCCD, 1994)، برای مبارزه با بیابان زایی به عنوان پدیده ای طبیعی تعریف شده است که به طور طبیعی زمانی ایجاد می شود که میزان بارش به میزان قابل توجهی کمتر از حد معمول ثبت شده باشد و

دوره‌های خشک کاهش و تداوم طولانی‌ترین دوره خشک افزایش یابند. Yaghoubzadeh et al. (2017)، در پژوهشی به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص‌های Evapotranspiration Dificit Index (ETDI) و Standardized Precipitation Index (SPI) پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد شاخص ETDI به‌علت وابسته بودن خشکسالی کشاورزی به کمبود تبخیر و تعرق نتایج بهتری دارد و همچنین در شاخص SPI در این پژوهش برای تعیین خشکسالی کشاورزی پیشنهاد نمی‌شود. Hosseinabadi et al. (2020)، در پژوهشی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم IPCC به ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در دو شهرستان زابل و شیراز پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد مقادیر شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ و ۴۸ ماهه نسبت به سه ماهه شدت خشکسالی را بیشتر نشان می‌دهند و همچنین مدل MIROC-ESM نسبت به مدل‌های دیگر و سناریوی RCP8.5 نسبت به سناریوهای دیگر برای دو شهرستان مورد مطالعه خشکسالی را با شدت بیشتری نشان داده است در پژوهشی دیگر Hernandez et al (2022)، به بررسی زمانی- مکانی خشکسالی در مقیاس‌های سه، شش، ۱۲ و ۲۴ ماهه با شاخص‌های SPI و SPEI در ۱۹ ایستگاه هواشناسی واقع در بخش‌های میانی و مرتفع حوضه رودخانه SONORA در مکزیک، طی دوره ۲۰۱۳-۱۹۷۴ پرداختند. نتایج کلی این پژوهش نشان می‌دهد شدت خشکسالی در پایان سری زمانی مورد بررسی افزایش یافته و دوره‌های مهمی در سال‌های ۱۹۹۷، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰، ۲۰۱۳-۲۰۱۱ شناسایی شده است. همچنین شاخص SPEI دوره‌های خشکسالی و روند شدت افزایشی را بهتر از SPI نشان داده است. در پژوهشی دیگر Abbasniya et al (2021)، به تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و GRI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت مهران استان ایلام پرداختند. طبق نتایج به‌دست آمده از شاخص SPI در این پژوهش، در دوره آماری ۹۷-۷۵، چهار دوره خشکسالی شدید اتفاق افتاده است که شدیدترین آن در سال آبی ۹۰-۹۱ با شاخص SPI، ۱/۷۳- بوده است. همچنین شاخص GRI نیز نشان داد، در منطقه یک دوره خشکسالی ۱۱ ساله از سال آبی ۸۷-۸۸ تا ۹۸-۹۷ رخ داده که شدیدترین آن در سال ۹۰-۹۱ با شاخص ۱/۱۱- بوده است. Saharwardi et al. (2021)، در پژوهش خود به ارزیابی تغییرپذیری مکانی- زمانی گذشته، حال و آینده در منطقه Bundelkhand در مرکز هند پرداخته‌اند. در این پژوهش از دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI به منظور پایش کوتاه مدت و بلندمدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. نتایج نشان داد که فراوانی خشکسالی از ابتدای قرن ۲۱ به‌ویژه در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه افزایش یافته است، این منطقه به علت بارندگی کمتر و دمای بیشتر در برابر خشکسالی آسیب‌پذیرتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد ۴۰ درصد از

2007). حال آنکه اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، تحت سناریوهای افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ارائه شده در CMIP5، دمای سطح کره زمین تا اواخر قرن ۲۱ بیش از ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ میلادی افزایش می‌یابد که این افزایش دما در سال‌ها و دهه‌های مختلف، یکسان نیست (IPCC, 2014). مدل ریزمقیاس‌نمایی که یک روش آماری ریزمقیاس‌نمایی بوده و از توزیع‌های نیمه تجربی برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌کند و می‌تواند پارامترهای آبی اقلیمی را در سطح ایستگاه تولید نماید. یکی از مهمترین و سودمندترین کاربردهای این داده‌ها استفاده از آن‌ها برای پایش و ارزیابی خشکسالی‌های آبی است (Hosseinabadi et al, 2020). در وقوع خشکسالی عوامل متعددی از جمله تغییر مسیر رودخانه‌ها و تخلیه مخازن، تغییر اقلیم و گرم شدن زمین و بسیاری عوامل دیگر تأثیرگذار می‌باشد. امروزه وقوع روزافزون خشکسالی سبب شده تا توجه بسیاری از هواشناسان و اقلیم‌شناسان در سراسر جهان به بررسی این پدیده جلب شود. برای تشخیص، طبقه‌بندی شرایط خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود. این شاخص‌ها امکان ارزیابی کمی شدت، مدت و وسعت مکانی شرایط آب و هوایی غیرعادی را فراهم می‌کند (Olagbaiye et al., 2021). شاخص تبخیر و تعرق- بارش استاندارد شده (SPEI)، شاخص شدت خشکسالی پالم PDSI، شاخص رواناب استاندارد شده (SRI) و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) از جمله این شاخص‌ها می‌باشند. شاخص SPI و SPEI از رایج‌ترین شاخص‌های خشکسالی می‌باشند (Tsakiris and Vangelis, 2005). در ادامه تعدادی از پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه بررسی شاخص‌های خشکسالی در ایران و خارج از کشور آورده شده است.

Rostamian et al. (2013)، به پیش‌بینی شاخص استاندارد بارش (SPI) برای شدت خشکسالی آینده در حوزه آبخیز بهشت‌آباد واقع در حوضه کارون در سه دوره آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که شدت خشکسالی صرفاً به مقادیر شاخص خشکسالی بستگی ندارد و به مدت زمان نیز بستگی دارد و افزایش مدت و شدت خشکسالی‌ها در دوره سوم آینده بیشتر از دوره دوم و اولیه آینده است. Zareabyaneh et al. (2016)، با استفاده از پنج مدل گردش عمومی جو و مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG به پایش خشکسالی بر مبنای شاخص SPEI در ایستگاه سینوپتیک همدان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد براساس سناریوی A2، دمای متوسط و بارش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ به ترتیب ۰/۸۲ درجه سانتی‌گراد و ۲/۵ درصد افزایش می‌یابند، همچنین پایش وضعیت رطوبتی بر مبنای شاخص SPEI نشان دهنده تغییرات زیاد شرایط رطوبتی در دهه اول پیش‌بینی، نسبت به دهه‌های دوم و سوم می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج پیش‌بینی شد که در مقیاس‌های بلندمدت تعداد

قرار گرفته‌اند، نتایج حاصل از SPAEI و ScPDSI با شاخص‌های خشکسالی تک متغیره بهتر از SPEI مطابقت دارند. خشکسالی‌های تخمین زده شده نشان می‌دهد در مناطق مرطوب جنوب چین تا پایان قرن ۲۱ خشکسالی‌ها گسترده‌تر می‌شود، ولی در مناطق خشک شمال غربی چین و مغولستان داخلی خشکسالی‌ها دارای روند کاهشی معنی دار هستند. Wang et al (2021); Chiang et al (2021a); Song et al (2021); Meresa et al (2021b); Ayugi et al (2021). نیز در پژوهش‌های خود برای بررسی شاخص‌های خشکسالی در دوره آتی از داده‌ها گزارش ششم تغییر اقلیم CMIP6 بهره گرفته‌اند.

هرچند مطالعات فراوانی در زمینه تغییر اقلیم و وضعیت پارامترهای مختلف اقلیمی در سال‌های آینده در سطح کشور به انجام رسیده است، اما باتوجه به آسیب‌پذیری کشور ایران که یک کشور درحال توسعه است و در منطقه خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد، مطالعه خشکسالی و درک شدت و مدت آن در آینده می‌تواند به تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری بهتر به منظور کاهش خسارات ناشی از این پدیده کمک شایانی نماید. حال آنکه در اکثر تحقیقات صورت گرفته پیشین در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو ارائه شده در گزارش پنجم استفاده شده است و باتوجه به اینکه در سال ۲۰۱۹، IPCC اقدام به انتشار گزارش جدید تحت عنوان CMIP6 نموده است و همچنین باتوجه به اهمیت موضوع خشکسالی و اقدام برای به حداقل رساندن خسارات ناشی از این بلای طبیعی، در پژوهش حاضر به پیش‌بینی مقدار شاخص خشکسالی SPI در منطقه جنوب شرقی ایران در شهرستان زابل با استفاده از چهار مدل GCM ارائه شده در CMIP6 که جدیدترین گزارش انتشار یافته می‌باشد، پرداخته شده است و از دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به علت کاربرد بیشتر و نزدیک بودن به شرایط واقعی برای تخمین SPI در دوره ۲۰۲۵-۲۰۴۴ و ۲۰۲۵-۲۰۸۴ استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت موضوع مدیریت صحیح منابع آب و شرایط اقلیمی و خشکسالی‌های اخیر در شهرستان زابل، به بررسی وضعیت خشکسالی در آینده این منطقه پرداخته شده است. شهرستان زابل یکی از شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان واقع در جنوب شرق ایران است. این شهرستان در ضلع شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان قرار گرفته است. شهرستان زابل دارای اقلیم بیابانی گرم و خشک و میانگین بارش سالانه ۵۹/۶ میلی‌متر می‌باشد، همچنین دمای آن در سال از ۹/۵- تا ۴۹ درجه سانتی‌گراد متغیر است. در جدول (۱) مشخصات اقلیمی این ایستگاه بیان و در شکل (۱) موقعیت آن نشان داده شده است. دوره پایه داده‌های مورد بررسی که شامل داده‌های دمای میانگین،

خشکسالی‌های منطقه مورد مطالعه مرتبط با رویدادهای الینو بوده که در دهه‌های اخیر قوی‌تر بوده‌اند، با استفاده از شاخص‌های SPI، EDDI و SPEI به بررسی واکنش خشکسالی ناگهانی به بارندگی و تقاضای تبخیر جوی (AED) در دوره ۲۰۱۸-۱۹۶۱ در اسپانیا پرداختند. نتایج نشان داد که تفاوت‌های زیادی در الگوهای زمانی و مکانی خشکسالی‌های ناگهانی بین شاخص‌ها وجود دارد. به‌طور کلی، به جز جنوب اسپانیا در تابستان، درجه بالایی از سازگاری بین الگوهای خشکسالی ناگهانی شناسایی شده توسط SPEI و SPI وجود دارد. همچنین EDDI تفاوت‌های مکانی و زمانی قابل توجهی را از SPI در زمستان و تابستان نشان می‌دهد در حالی که انسجام زیادی با SPEI در تابستان دارد. علاوه بر این بارش عامل اصلی خشکسالی‌های ناگهانی در اسپانیا می‌باشد. Olagbaiye et al (2021)، در پژوهش خود به پیش‌بینی خشکسالی در شمال نیجریه با استفاده از چهار شاخص SPEI-T، SPEI-H و SPEI-P به‌عنوان شاخص‌های اولیه خشکسالی هواشناسی و کشاورزی پرداختند. نتایج حاصل از ضریب همبستگی در این پژوهش نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی، همبستگی بین شاخص‌ها افزایش می‌یابد و SPEI-H و SPI بیشترین همبستگی را دارند. تعداد خشکسالی ثبت شده توسط شاخص‌ها نیز با افزایش مقیاس زمانی افزایش می‌یابد و شاخص SPEI-P بیشترین تعداد رویداد خشکسالی را شناسایی کرده است. علاوه بر این تمام شاخص‌های مورد مطالعه در دوره‌های ۱۹۸۲، ۱۹۸۹، ۲۰۰۲-۱۹۹۲ و ۲۰۱۱-۲۰۰۸ پدیده خشکسالی را شناسایی کرده‌اند. تعداد زیادی پژوهش دیگر نیز وجود دارد که در آن‌ها شاخص‌های خشکسالی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که پژوهش‌هایی نظیر Javan (2020); Fung et al (2020); Liu et al (2021); Issaharou-Matchi et al (2021); Hadeli and Nikbakht (2021)، از جمله آن می‌باشند.

تعدادی دیگر از پژوهش‌ها وجود دارد که در آن‌ها شاخص‌های خشکسالی برای دوره آتی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است که در آن برای پیش‌بینی داده‌های دوره آتی از داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم CMIP6 بهره گرفته شده است. در ادامه به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود. Mishra and Adhar (2020)، در پژوهشی با استفاده از ۱۶ مدل CMIP6-GCM علت بالقوه خشکسالی در جنوب آسیا را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد پیش‌بینی‌های مبتنی بر مجموعه چند مدل به این معناست که CMIP6-GCM در آسیای جنوبی قابل اعتماد نیستند. Zhang et al (2021)، تغییرات خشکسالی را با استفاده از CMIP6-GCM در چین برای سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بررسی کرده و نتایج را با شاخص‌های خشکسالی قبل از ارائه CMIP6-GCM مقایسه کرده‌اند. با توجه به شاخص‌های به‌دست آمده در گذشته، خشکسالی‌های آینده در چین بدتر می‌شود. علاوه بر این در میان شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی که تحت سناریوهای SSP مورد بررسی

حداقل و حداکثر و بارش است، در پژوهش حاضر ۲۱ سال (۱۹۸۵-۲۰۰۵) می‌باشد که از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شده است. همچنین داده‌های مربوط به مدل‌های GCM به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مربوط به دو دوره ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۶۵-۲۰۸۵ می‌باشد. برای ریزمقیاس‌نمایی در پژوهش حاضر از چهار مدل GCM مربوط به داده‌های گزارش ششم IPCC شامل (MIROC6)، (CanESM5)، (BCC-ESM2-MR) و (MRI-ESM2-0) استفاده شده که مشخصات آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. این داده‌ها از مسیر

هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) با هدف اصلی شناخت جنبه‌های تغییر اقلیم و بخصوص چگونگی اثر فعالیت‌های انسانی بر آن، پس از بررسی عنوان کرد که عوامل طبیعی و غیرطبیعی باعث برهم خوردن شرایط حاکی بر اجزای مختلف اقلیم کره زمین می‌شود. این هیات از زمان شروع به کار خود مجموعه‌ای از گزارش‌های ارزیابی و تخصصی و مقالات فنی را منتشر نموده که به‌عنوان معتبرترین منابع اطلاعاتی در مورد تغییرات اقلیمی شناخته می‌شوند و تاکنون گزارش‌های ارزیابی اول تا ششم را تهیه و منتشر کرده است.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه سینوپتیک زابل

Table 1- Geographical and climatic characteristics of Zabol synoptic station

Station	Longitude	Latitude	h(m)	Tmean (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	PR (mm)
Zabol	31°2'	61°39'	482	38	49	-9.5	59.6

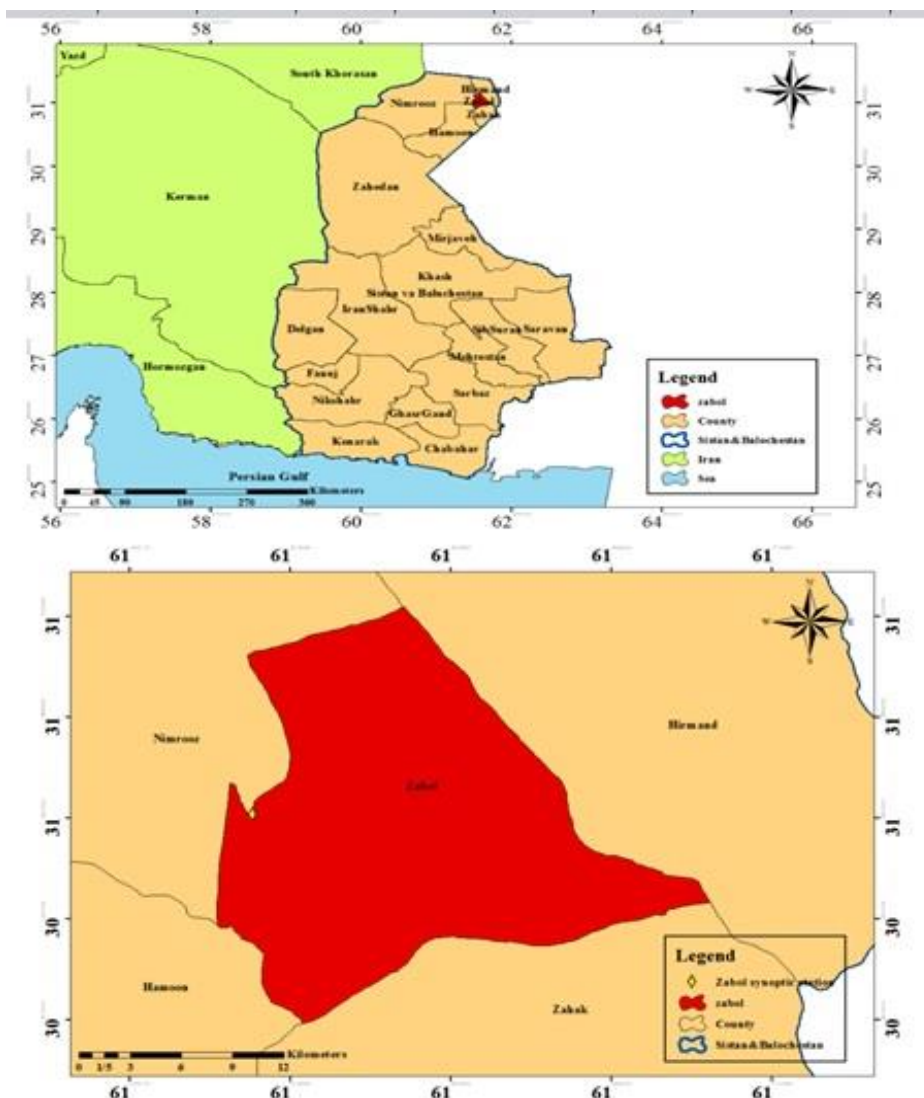


Fig. 1- Geographical location of the Zabol synoptic station

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک زابل

جدول ۲- مشخصات مدل‌های بزرگ مقیاس (GCM)

Table 2- Specifications of large-scale Models (GCM)

Row	Model Name	Developing Country	Research Center	Resolution scale (degree)
1	BCC-ESM2-MR	China	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	1.12°×1.12°
2	CanESM5	Canada	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis-Canada	2.81°×2.78°
3	MIROC6	Japan	National Institute for Environmental Studies, The university of Tokyo	1.4°×1.4°
4	MRI-ESM2-0	Japan	Meteorological Research Institute	1.12°×1.12°

روش ریزمقیاس‌نمایی BCSD

یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن نسبت به منطقه مطالعاتی است. دو نوع روش برای به‌دست آوردن متغیرها در مقیاس محلی (ریزمقیاس‌نمایی) از روی مقیاس جهانی وجود دارد: یکی روش دینامیکی که شامل حل صریح معادلات دینامیکی سیستم است و دیگری روش آماری که از رابطه‌های استخراج شده از داده‌های مشاهده شده استفاده می‌کند. روش‌های دینامیکی به دلیل پرهزینه بودن و دشواری و همچنین عدم امکان تولید داده برای انواع سناریوهای مختلف، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hewitson and Crane, 1996). در مقابل روش‌های آماری با محاسبات ساده آماری، صرف زمان و هزینه کم امکان بررسی انواع سناریوهای اقلیمی و تحلیل عدم قطعیت آن‌ها را دارند.

روش ریزمقیاس‌نمایی مورد استفاده در پژوهش حاضر، روش BCSD است. این روش اولین بار توسط Wood et al (2002)، به‌منظور تخمین مولفه‌های هیدرولوژی درازمدت به‌کار گرفته شد و امروزه در مطالعه‌های اقلیم‌شناسی با مقیاس ماهانه به‌وفور استفاده می‌شود، از جمله این موارد می‌توان به پژوهش‌های Choobeh و Goodarzi (2018)؛ Tabatabaei et al (2019)؛ Rahimi Bondarabadi et al (2019)؛ Hosseinabadi et al (2020)؛ Ataei et al (2022) اشاره کرد.

فرآیند ریزمقیاس‌نمایی با این روش در سه گام به شرح زیر انجام می‌شود:

۱- اصلاح انحراف آماری خروجی مدل‌های گردش عمومی در مقیاس ماهانه: در این گام دو ضریب اصلاحی برای دما و بارش دوره مربوط به خروجی مدل‌های اقلیمی تولید می‌شود.

۲- بعد از محاسبه ضرایب اصلاحی برای نقاط شبکه مدل‌های اقلیمی، با استفاده از ابزار درون‌یابی این ضرایب برای دقت‌های بالاتر 1×1 ، 0.5×0.5 ، 0.25×0.25 و 0.125×0.125 برآورد می‌گردد.

۳- ضرایب اصلاحی به‌دست آمده برای دقت‌های بالاتر با توجه به رابطه ذیل در مقادیر مشاهداتی اعمال می‌شود تا خروجی مدل‌های گردش عمومی برای دقت مورد نظر برآورد گردد. در نهایت با قبول فرضیه یکسان بودن میزان انحراف در دوره پایه و آتی خروجی مدل‌های گردش عمومی تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی برای سال‌های آتی تعیین می‌گردد (Jafarzadeh et al., 2021).

مدل‌های گردش کلی (GCM) و سناریوها

به‌منظور بررسی شاخص خشکسالی، از داده‌های دما و بارش روزانه مدل‌های گردش عمومی جو ارائه شده در گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6) تحت سناریوهای SSP در این پژوهش استفاده شده است.

هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) به‌صورت متناوب هر چند سال یکبار اقدام به انتشار گزارش‌هایی از وضعیت اقلیم، اثرات، سازگاری با اقلیم و کاهش آسیب‌پذیری‌ها در مقیاس جهانی و منطقه‌ای می‌کند. گزارش ششم این هیأت که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته است در سال ۲۰۲۱ ارائه شده است. هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش ششم خود از سناریوهای جدید SSP تحت عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. این سناریوها شامل پنج سیر کلیدی با نام‌های SSP1، SSP2، SSP3، SSP4 و SSP5 می‌باشند. در پژوهش حاضر از دو سناریو SSP5-8.5 و SSP2-4.5 استفاده شده است که میزان واداشت تابشی این دو سناریو تا سال ۲۱۰۰ میلادی به ترتیب $4/5$ و $8/5$ وات بر متر مربع عنوان شده است.

پیش‌بینی‌های CMIP6 بر اساس سناریوهای اجتماعی - اقتصادی مشترک (Shared Socio-economic Pathway (SSP)) می‌باشد. سناریوهای SSP پیچیده‌ترین سناریوهایی هستند که تا به امروز ایجاد شده‌اند و دامنه‌ای از کاهش بسیار بلند پروازانه تا رشد مداوم انتشار گازهای گلخانه‌ای را در برمی‌گیرد. این سناریوها شامل SSP1-1/9، SSP1-2/6 که نشان دهنده حالت خوشبینانه انتشار است و SSP2-4/5 حالت متوسط انتشار، SSP3-7/0 و

$$\begin{cases} GCM_t = F_t + OBS_t \\ GCM_p = F_p * OBS_p \end{cases} \quad (1)$$

این مقیاس‌های زمانی دلخواه بوده و می‌تواند تأثیر کمبود بارش بر منابع آب قابل استفاده را نشان دهد. این مجموعه داده در حال حرکت است است به این معنا که مقدار داده در هر ماه بر اساس مقدار داده ماه قبل تعیین می‌شود. هر یک از این مجموعه داده‌ها به تابع گاما برازش داده می‌شوند تا رابطه احتمال با بارش را تعریف کنند. هنگامی که رابطه احتمال با بارندگی از روی سوابق تاریخی مشخص شد، احتمال هر نقطه بارش مشاهده شده، محاسبه و به همراه تخمینی از نرمال معکوس برای محاسبه انحراف بارش برای چگالی احتمال توزیع شده نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار واحد استفاده می‌شود. اینگونه مقدار SPI محاسبه شده برای یک بارش به دست می‌آید. با استفاده از SPI به‌عنوان شاخص، یک تعریف کاربردی و کمی از خشکسالی را می‌توان برای هر مقیاس زمانی ایجاد کرد. یک رویداد خشکسالی برای مقیاس زمانی مشخص در اینجا به عنوان دوره‌ای تعریف می‌شود که در آن SPI به‌طور مداوم منفی است و SPI به مقدار ۱- یا کمتر می‌رسد. خشکسالی زمانی آغاز می‌شود که SPI ابتدا به زیر صفر رسیده و با مقدار مثبت به دنبال مقدار ۱- یا کمتر به پایان می‌رسد. شدت خشکسالی با توجه به مقادیر SPI در جدول (۳) نشان داده شده است (Mckee et al, 1993).

در پژوهش حاضر پس از تهیه داده‌های مشاهده‌ای و همچنین GCM و منطقه‌ای کردن داده‌های بزرگ‌مقیاس، اقدام به ریزمقیاس‌نمایی این داده‌ها با استفاده از روش BCSD شده و در نهایت پس از آماده‌سازی داده‌ها اقدام به محاسبه شاخص SPI برای چهار مدل GCM و تحت دو سناریو SSP2-4/5 و SSP5-8/5 در ایستگاه سینوپتیک زابل شده و شرایط خشکسالی و تغییرات آن در دو دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۴ و ۲۰۲۵-۲۰۴۴ و ۲۰۶۵-۲۰۸۴ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۰۵ مورد بررسی قرار گرفته است

SSP4-6/0 حالت بدبینانه انتشار و SSP5-8/5 حالت بسیار بدبینانه انتشار می‌باشد. <https://climate.scenarios.canada.ca/?page=c mip6-overviewnotes2019> در شکل (۲) سناریوهای گزارش ششم تغییر اقلیم در قالب نمودار ارائه شده است. در پژوهش حاضر دو سناریو SSP2-4/5 و SSP5-8/5 به علت کاربرد بیشتر و نزدیکی به شرایط انتشار واقعی مورد استفاده قرار گرفته است.

شاخص SPI

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای هر مکانی بر اساس داده‌های بارش ثبت شده در طولانی مدت قابل محاسبه است. داده‌های بارش ثبت شده در بلندمدت به یک توزیع احتمالاتی برازش داده شده و سپس به یک توزیع نرمال تبدیل می‌شوند، طوریکه میانگین SPI در مکان و دوره زمانی مورد نظر صفر است (Edwards, 1997, Mishra and Singh, 2010). شاخص خشکسالی SPI در هر یک از مقیاس‌های زمانی را می‌توان از مزیت‌های این شاخص عنوان کرد. در طول دوره ثبت، داده‌های بارش و همچنین ماهیت توزیع احتمالاتی، نقش مهمی در محاسبه شاخص خشکسالی SPI دارد که از جمله محدودیت‌های این شاخص به شمار می‌رود (Mishra and Singh., 2010).

برای محاسبه شاخص SPI، ابتدا نیاز به تهیه یک مجموعه داده از بارش ماهانه برای یک دوره m ماهه می‌باشد که حالت ایده‌آل آن یک دوره پیوسته حداقل ۳۰ ساله است. سپس مجموعه‌ای از دوره‌های میانگین برای تهیه مجموعه‌ای از مقیاس‌های زمانی سه، شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه انتخاب می‌شوند.

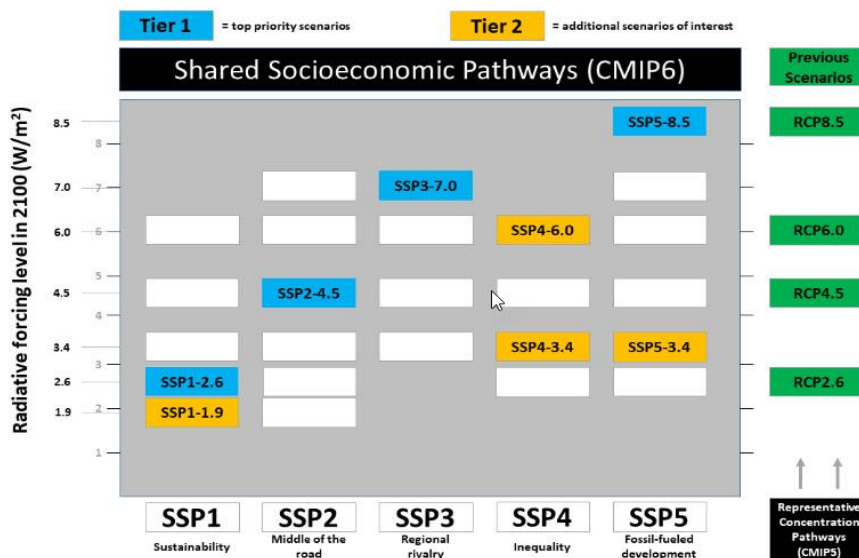


Fig 2- CMIP6 reporting scenarios (climate-scenarios.canada.ca, 2019).

شکل ۲- سناریوهای گزارش ششم تغییر اقلیم

جدول ۳- طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI
Table 3- Drought severity classification based on SPI index

Drought Category	Value
Extremely Wet	≥ 2
Very Wet	1.5-1.99
Moderately Wet	1-1.49
Near Normal	-0.99-0.99
Moderately Dry	-1 - 1.49
Severely Dry	-1.5 -1.99
Extremely Dry	≤ -2

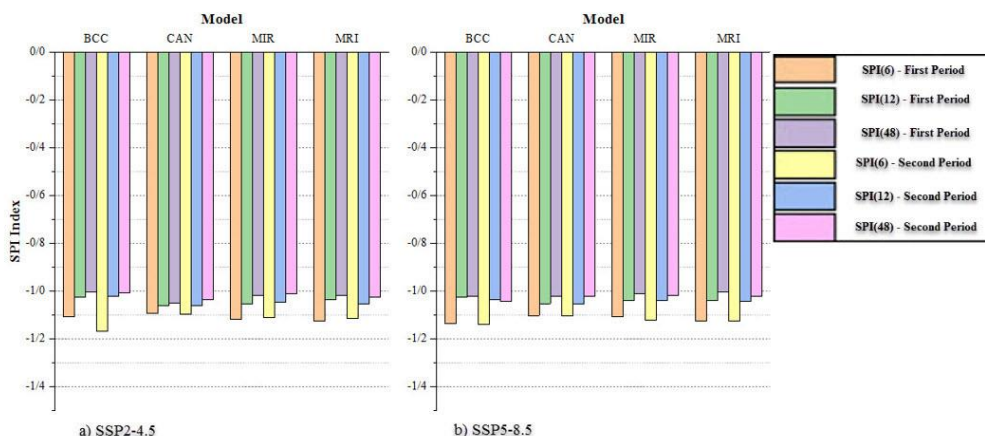


Fig. 3- 20-year average of SPI index for the next two periods 2025 to 2044 and 2065 to 2084 in Zabol synoptic station

شکل ۳- میانگین ۲۰ ساله شاخص SPI برای دو دوره آبی ۲۰۲۵ تا ۲۰۴۴ و ۲۰۶۵ تا ۲۰۸۴ در ایستگاه سینوپتیک زابل

در دو شهرستان زابل و شیراز انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI در دوره‌های بلند مدت ۱۲ و ۴۸ ماهه نسبت به دوره کوتاه سه ماهه شدت خشکسالی را بیشتر نشان می‌دهد. همچنین در سناریو RCP8/5 نیز نشان دهنده شدت خشکسالی بیشتر نسبت به سناریوهای دیگر می‌باشد (Hosseinabadi et al., 2020).

به منظور مقایسه سناریوهای مورد مطالعه در پژوهش حاضر، مقدار میانگین شاخص SPI برای چهار مدل محاسبه گردید و مقادیر آن در مقیاس زمانی مختلف و طی ۲۰ سال برای دو دوره آبی طبق شکل (۴) تا (۶) رسم گردید که نتایج نشان می‌دهد شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ و ۴۸ ماهه شدت خشکسالی را در دوره‌های مورد مطالعه بیشتر از مقیاس زمانی شش ماهه نشان می‌دهد، همچنین در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه تقریباً هر دو سناریو بر هم منطبق هستند، اما در برخی موارد سناریو SSP5-8.5 شدت خشکسالی را بیشتر نشان داده است که بیانگر خشکسالی متوسط در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. باتوجه به اینکه سناریو SSP5-8.5 دما را نسبت به بقیه سناریوها بیشتر نشان می‌دهد بنابراین انتظار می‌رود شاخص خشکسالی را نیز بیشتر نشان دهد. بنابراین بهتر است در منطقه مورد مطالعه برای محاسبه شاخص SPI و پیش‌بینی خشکسالی در حالت بدبینانه از این سناریو استفاده شود. (MesbahZadeh et al (2019) ، که

نتایج و بحث

تداوم خشکسالی با توجه به زمان شروع و پایان آن تعیین می‌شود و شدت آن برای هر یک از ماه‌های آن تعیین می‌گردد. با توجه به شکل (۳) می‌توان گفت در هر دو دوره مورد مطالعه در هر دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و در تمامی مدل‌های مورد بررسی، شاخص SPI در مقیاس شش ماهه نشان دهنده بیشترین مقدار منفی است، همچنین تغییرات شاخص خشکسالی در دوره ۱۲ و ۴۸ ماهه بسیار به هم نزدیک است. در مقایسه مدل‌ها و سناریوهای مورد بررسی در ایستگاه سینوپتیک زابل، با توجه به شکل (۳)، مدل BCC-ESM2-MR، شاخص ۶ ماهه SPI و مدل CanESM5، شاخص ۱۲ و ۴۸ ماهه را نسبت به سایر مدل‌ها بیشتر نشان داده‌اند. همچنین با توجه به این شکل، شاخص خشکسالی به دست آمده در دوره‌های مورد مطالعه و در تمامی مدل‌ها نشان‌دهنده خشکسالی متوسط در ایستگاه سینوپتیک زابل می‌باشد. باتوجه به اینکه تفاوت چندانی بین میانگین ۲۰ ساله شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ و ۴۸ ماهه ملاحظه نگردید، بنابراین برای پیش‌بینی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌توان از شاخص SPI با مقیاس زمانی ۱۲ ماهه استفاده نمود. (Hosseinabadi et al (2020) ، نیز در پژوهش خود که به منظور ارزیابی خشکسالی هواشناسی به کمک داده‌های CMIP5

شاخص SPEI تحت سناریوهای RCP4/5 و RCP2/6 مشخصه‌های خشکسالی در آینده نسبت به دوره تاریخی کاهش می‌یابد و بر اساس سناریو RCP8/5 شدت و مدت خشکسالی روند افزایشی خواهد داشت (Mesbah Zadeh et al, 2019).

در پژوهش خود به بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی با استفاده از مدل CMIP5 پرداخته‌اند، به این نتیجه رسیدند که طبق شاخص SPI در منطقه مطالعاتی یزد در آینده تحت سناریوهای RCP8/5 و RCP4/5، RCP2/6 خشکسالی‌های شدیدتری را نسبت به دوره تاریخی مشاهده می‌کند، در حالی که بر اساس

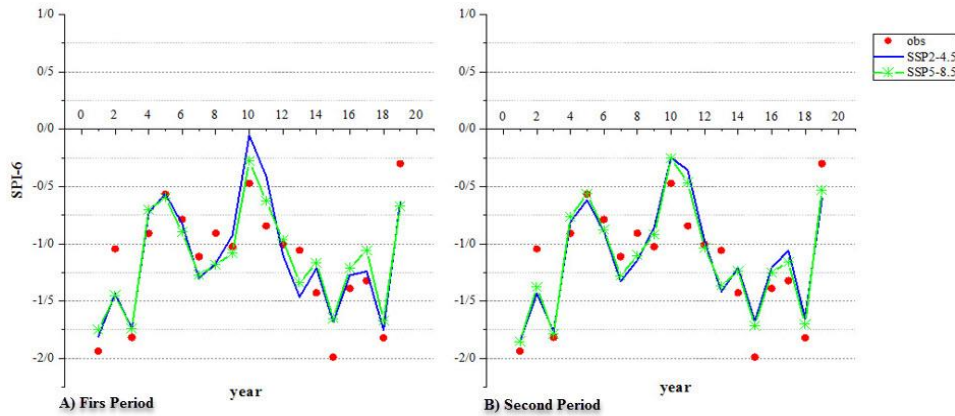


Fig4- Time series of six-month SPI index in the base and future periods (2025-2044,2065-2084)
 شکل ۴- سری زمانی شاخص SPI شش ماهه در دوره پایه و آتی (۲۰۲۵-۲۰۴۴ و ۲۰۶۵-۲۰۸۴)

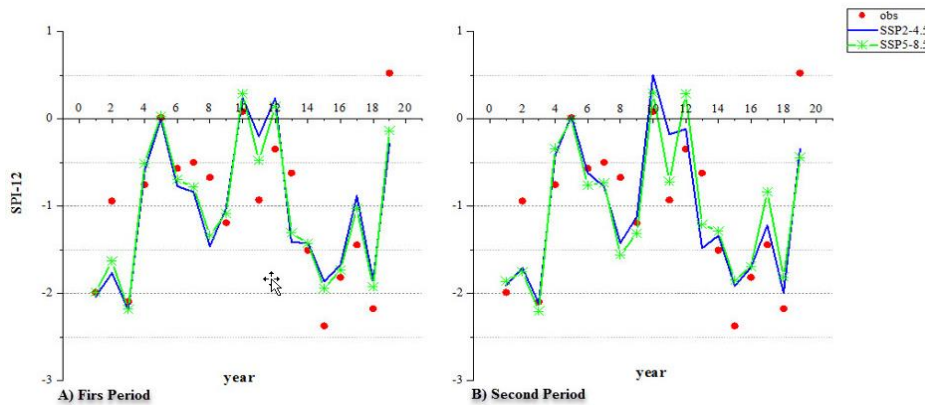


Fig5-Twelve-month SPI index time series in the base and future periods
 شکل ۵- سری زمانی شاخص SPI دوازده ماهه در دوره پایه و آتی

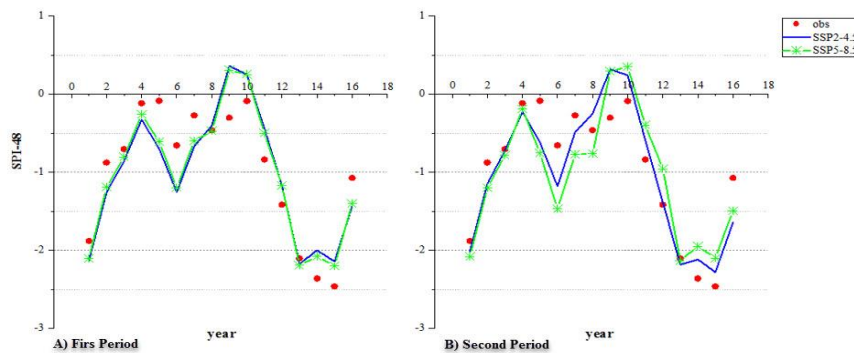


Fig6- Time series of forty-eight months SPI index in the base and future period
 شکل ۶- سری زمانی شاخص SPI چهل و هشت ماهه در

دوره پایه و آتی

چشم‌انداز اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی را بر اساس CMIP5 در شهر ایلام مورد بررسی قرار داده‌اند و طبق نتایج به‌دست آمده از این پژوهش دو شاخص SPI و RDI نشان می‌دهد که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۱۰۰ افزایش دما و کاهش بارندگی محتمل است، به طوری که دما ۳/۷۹۸ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش ۶/۸ درصد کاهش می‌یابد. همچنین منطقه مطالعاتی در آینده خشکسالی‌های شدیدتر و طولانی‌تری را نسبت به دوره تاریخی تحت هر سه سناریو RCP2/6، RCP4/5 و RCP8/5 تجربه می‌کند و با افزایش مقیاس زمانی SPI شدت و مدت خشکسالی افزایش می‌یابد (Ramezani Etedali et al, 2022).

همچنین با توجه به جداول (۴) و (۵)، در هر دو دوره آتی مورد بررسی در این پژوهش به‌طور متوسط در هر سه مقیاس زمانی شش، ۱۲ و ۴۸ ماهه تعداد دو دوره افزایش دوره خشکسالی وجود دارد. در دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۴ بیشترین میزان افزایش تعداد دوره خشکسالی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه مدل CAN با تعداد پنج دوره و پس از آن در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه مدل MIR با تعداد چهار دوره افزایش در دوره خشکسالی می‌باشد. در دوره آتی ۲۰۸۴-۲۰۶۵ بیشترین افزایش تعداد دوره خشکسالی به میزان چهار دوره در مدل BCC در مقیاس زمانی ۱۲ و ۴۸ می‌باشد. همچنین بیشترین افزایش دوره خشکسالی در هر دو دوره آتی مربوط به سناریو SSP4/5 است. به‌طور کلی در تمامی مدل‌ها و مقیاس‌های زمانی مورد بررسی، تعداد دوره‌های خشکسالی نسبت به دوره پایه افزایش داشته یافته است.

در پژوهش حاضر تعداد دوره‌های خشک در دوره پایه و آتی برای چهار مدل و دو سناریو در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۴۸ ماهه در جدول (۴) و (۵) نشان داده شده است. در این جداول مشاهده می‌شود که هیچکدام از مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه نشان‌دهنده ترسالی نمی‌باشند. در مقیاس شش ماهه سناریو SSP2-4.5، در دوره اول تعداد دوره‌های دارای خشکسالی تنها در مدل MRI-ESM2-0 افزایش یافته است، با این وجود دو مدل CanESM5 و MIROC6 نشان‌دهنده افزایش تعداد دوره‌های دارای خشکسالی شدید می‌باشند. در دوره دوم این سناریو و دوره اول سناریو SSP5-8.5 نیز وضعیت به‌همین صورت می‌باشد، اما در سناریو SSP5-8.5 از تعداد دوره‌های دارای وضعیت نرمال کاسته شده و تعداد دوره‌های دارای وضعیت خشکسالی شدید افزایش یافته است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه شاخص خشکسالی SPI نیز دوره‌های دارای وضعیت نرمال و همچنین وضعیت بسیار شدید به جز در مدل CanESM5 دوره اول سناریوی SSP5-8.5، نسبت به دوره پایه کاهش پیدا کرده است و دوره‌های دارای وضعیت خشکسالی متوسط و شدید افزایش یافته‌اند. در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه، با توجه به جداول (۴) و (۵) به‌طور کلی دوره‌های دارای وضعیت نرمال کاهش یافته و به تعداد دوره‌های دارای وضعیت خشکسالی نسبت به دوره پایه افزوده شده است. همچنین نتایج دو جدول نشان می‌دهد در بدبینانه‌ترین حالت، تعداد دوره‌های خشک در ایستگاه سینوپتیک زابل ۱۴ دوره، که مربوط به مدل MIROC6 و سناریو SSP5-8.5 در دوره دوم می‌باشد، خواهد بود. Ramezani Etedali et al (2022)، نیز

جدول ۴- تعداد دوره‌های خشک در دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۴۴ برای مدل‌ها و سناریوهای در مقیاس زمانی مختلف

Table 4- Number of dry years in the period 2025 to 2044 for models and scenarios in different time scales

Model	Time Scale	Near Normal		Moderately Dry		Severely Dry		Extremely Dry		Total Dry Periods	
		SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5
		-4.5	-8.5	-4.5	-8.5	-4.5	-8.5	-4.5	-8.5	-4.5	-8.5
BCC	6	8	9	7	6	4	4	-	-	11	10
	12	10	8	3	5	3	5	3	1	9	11
	48	8	9	4	2	-	3	4	2	8	7
CAN	6	8	7	5	7	6	4	-	1	11	12
	12	9	9	2	1	7	5	1	4	10	10
	48	5	9	5	1	2	3	4	3	11	7
MIR	6	7	6	7	8	5	5	-	-	12	13
	12	7	8	5	5	5	4	2	2	12	11
	48	8	9	1	2	4	1	3	4	8	7
MRI	6	6	6	9	9	4	4	-	-	13	13
	12	8	8	5	4	4	4	2	3	11	11
	48	8	9	3	2	2	1	3	4	8	7
obs	6		7		5		3		3		11
	12		11		2		3		3		8
	48		10		2		1		3		6

جدول ۵- تعداد دوره‌های خشک در دوره ۲۰۶۵ تا ۲۰۸۴ برای مدل‌ها و سناریوهای در مقیاس زمانی مختلف

Model	Time Scale	Near Normal		Moderately Dry		Severely Dry		Extremely Dry		Total Dry Periods	
		SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5
		-4.5	-8.5	-4.5	-8.5	-4.5	-8.5	-4.5	-8.5	-4.5	-8.5
BCC	6	7	6	8	10	5	3	-	-	12	13
	12	8	7	5	6	5	5	1	1	11	12
	48	8	6	4	5	-	3	4	2	8	10
CAN	6	7	7	6	7	6	5	-	-	12	12
	12	8	9	2	2	8	6	1	2	11	10
	48	7	8	3	2	3	3	3	3	9	8
MIR	6	7	5	6	9	6	5	-	-	12	14
	12	8	10	5	2	4	5	2	2	11	9
	48	9	7	1	4	3	2	3	3	7	9
MRI	6	6	7	9	8	4	4	-	-	13	12
	12	8	8	5	4	3	5	3	2	11	11
	48	8	9	2	2	3	1	3	4	8	7
obs	6	7		5		3		3		11	
	12	11		2		3		3		8	
	48	10		2		1		3		6	

مورد مطالعه تقریباً هر دو سناریو بر هم منطبق هستند اما در برخی موارد سناریو SSP5-8.5 شدت خشکسالی را بیشتر نشان داده است. طبق نتایج حاصل از این پژوهش، به‌طور کلی دوره‌های دارای وضعیت نرمال کاهش یافته و به تعداد دوره‌های دارای وضعیت خشکسالی نسبت به دوره پایه افزوده شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد در بدبینانه‌ترین حالت، تعداد دوره‌های خشک در شهرستان زابل ۱۴ سال خواهد بود و میتوان برای پیش‌بینی شاخص خشکسالی از مدل CanESM5 استفاده نمود. همچنین با توجه به نتایج، در هر دو دوره آتی مورد بررسی در این پژوهش به طور متوسط در هر سه مقیاس زمانی شش، ۱۲ و ۴۸ ماهه تعداد دو دوره افزایش دوره خشکسالی وجود دارد. در دوره آتی ۲۰۴۴-۲۰۲۵ بیشترین میزان افزایش تعداد دوره خشکسالی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه مدل CAN با تعداد پنج دوره و پس از آن در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه مدل MIR با تعداد چهار دوره افزایش در دوره خشکسالی می‌باشد. در دوره آتی ۲۰۸۴-۲۰۶۵ بیشترین افزایش تعداد دوره خشکسالی به میزان ۴ دوره در مدل BCC در مقیاس زمانی ۱۲ و ۴۸ می‌باشد. همچنین بیشترین افزایش دوره خشکسالی در هر دو دوره آتی مربوط به سناریو SSP4/5 است. به‌طور کلی در تمامی مدل‌ها و مقیاس‌های زمانی مورد بررسی، تعداد دوره‌های خشکسالی نسبت به دوره پایه افزایش داشته یافته است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر باتوجه به اهمیت موضوع مدیریت صحیح منابع آب و شرایط اقلیمی و خشکسالی‌های اخیر در شهرستان زابل، به بررسی وضعیت خشکسالی در آینده این منطقه پرداخته شده است. بنابراین به منظور ریزمقیاس‌نمایی در پژوهش حاضر از چهار مدل GCM مربوط به داده‌های گزارش ششم IPCC شامل (BCC-ESM2-MR)، (CanESM5)، (MIROC6) و (MRI-ESM2-0)، تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره ۲۰۲۵-۲۰۴۴ و ۲۰۲۵-۲۰۸۴ بهره گرفته شده است. همچنین برای پیش‌بینی داده‌های هواشناسی در دوره‌های مورد نظر از روش ریزمقیاس‌نمایی BCSO استفاده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر در هر دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و در تمامی مدل‌های مورد بررسی، میانگین ۲۰ ساله شاخص SPI، شش ماهه نشان دهنده بیشترین مقدار منفی است، همچنین تغییرات میانگین ۲۰ ساله‌ی شاخص خشکسالی در دوره ۱۲ و ۴۸ ماهه بسیار به هم نزدیک است. علاوه بر این مقایسه مدل‌ها و سناریوها در این پژوهش نشان می‌دهد که در مدل BCC-ESM2-MR، میانگین ۲۰ ساله‌ی شاخص شش ماهه SPI و در مدل CanESM5، شاخص ۱۲ و ۴۸ ماهه نسبت به سایر مدل‌ها بیشتر است. همچنین شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ و ۴۸ ماهه شدت خشکسالی را در دوره‌های مورد مطالعه بیشتر از مقیاس زمانی شش ماهه نشان می‌دهد و در مقیاس‌های زمانی

References

- 1- Aadhar, S, and Mishra V. 2020. On the projected decline in droughts over South Asia in CMIP6 multimodel ensemble. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 125(20), pp.1-29. Doi: 10.1029/2020JD033587.

- 2- Abbasinia, A., Morshedi, J., Zohorayan, M. and Ghorbaniyan, J., 2021. Analysis and Comparison of SPI and GRI Indices in Assessing Meteorological Drought and Groundwater, Case Study: Mehran Plain, Ilam Province. *Physical Geography Quarterly*, 14(Physical Geography Quarterly), pp.95-114. doi: 20.1001.1.20085656.1400.14.51.6.3. (In Persian)
- 3- Ataei, H., Kouhi, M., Modirian, R. and Bazrafshan, B., 2021. Projected Changes in Temperature and Precipitation over Kashafrood Basin Based on Statistical and Dynamical Downscaling Methods. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(30), pp.183-202. Doi: 10.22111/JNEH.2021.37827.1777. (In Persian)
- 4- Ayugi, B., Shilenje, Z. W., Babausmail, H., Sian, K. T. L. K., Mumo, R., Dike, V. N, and Ongoma, V. 2021. Projected Changes in Meteorological Drought Over East Africa Inferred from Bias-Adjusted CMIP6 Models, *Natural Hazards*, 113(1), pp.1151-1176.
- 5- Chiang, F., Mazdiyasni, O., and AghaKouchak, A. 2021. Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature Communications*, 12(1), pp. 1-10.
- 6- Edwards, D.C. and McKee, T.B., 1997. *Characteristics of 20 th century drought in the United States at multiple time scales* (Vol. 97, p. 155). Fort Collins: Colorado State University.
- 7- Ramezani Etedali, H., Hodabakhshi, F. and Kanani, E., 2022. Outlook for the effects of climate change on drought according to the fifth IPCC report (case study: Ilam). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 12(1), pp.87-107. Doi: 10.30495/WSRCJ.2022.20455. (In Persian)
- 8- Fung, K. F., Huang, Y. F., and Koo, C. H. 2020. Assessing drought conditions through temporal pattern, spatial characteristic and operational accuracy indicated by SPI and SPEI: case analysis for Peninsular Malaysia. *Natural Hazards*, 10(32), pp.2071-2101.
- 9- Goodarzi, M, and Choobeh, S. 2019. Assessment of Downscaling Methods in Predicting Climatic Parameters under Climate Change Status: A case study in Ardabil Synoptic Station. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 13(45), pp. 63-70. Dor: 20.1001.1.20089554.1398.13.45.2.6 (In Persian).
- 10- Hernández Vásquez, C.C., Ibáñez Castillo, L.A., Gómez Díaz, J.D. and Arteaga Ramírez, R., 2022. Analysis of meteorological droughts in the Sonora river basin, Mexico. *Atmósfera*, 35(3), pp.467-482. Doi: 10.20937/atm.52954
- 11- Hewitson, B. C., and Crane, R. G. 1996. Climate downscaling: techniques and application. *Climate Research*, 7(2), pp.85-95. doi: 10.3354/cr007085.
- 12- Hosseinabadi, S., Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M, and Forouzanmehr, M. 2020. Assessment of meteorological drought in future periods using the data of the Fifth Climate Change Report (Case study: Zabol and Shiraz counties). *Geographical Studies of Arid Areas*. 10 (40), pp. 87-75. (In Persian)
- 13- Issaharou-Matchi, I., Rabiou, H., M Moussa, B., Soumana, I., Saley, K., Mahamane, A., and Saadou, M. 2021. Assessment of Drought Characteristics under Changing Climatic Conditions using SPI and SPEI Indices in Semi-Arid Environment of Southeastern Niger. *International Journal of Environment and Climate Change*. 11(10), pp. 146-157.
- 14- IPCC. 2007. The Physical Science Basis. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., Miller, H. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge UK
- 15- IPCC. 2014. The Physical Science Basis. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press Cambridge.

- 16-Javan, Kh. 2021. Investigation of hydrological drought trend in the catchment area of Lake Urmia. *Hydrogeomorphology*, 7(25), pp. 138-119. (In Persian)
- 17-Jafarzadeh, A., Pourreza-Bilondi, M., Akbarpour, A., Khashei-Siuki, A., and Samadi, S. 2021. Application of multi-model ensemble averaging techniques for groundwater simulation: synthetic and real-world case studies. *Journal of Hydroinformatics*, 23(6), pp. 1271-1289.
- 18-Keyantash, J., and Dracup, J. A. 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), pp. 1167-1180. doi: 10.1175/1520-0477-83.8.1167.
- 19-Liu, C., Yang, C., Yang, Q., and Wang, J. 2021. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11(1), pp. 1-14. doi: 10.1038/s41598-020-80527-3.
- 20-McKee, T. B., Doesken, N. J, and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), pp. 179-183.
- 21-Meresa, H., Murphy, C. and Fealy, R., 2021, April. Climate change impact on the hydrometeorological drought propagation. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-8285).
- 22-MesbahZadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Khosravvi, H, and Mortezaie Farizhedi, Gh.2019. Study of Current and Future Meteorological Drought Conditions Using the CMIP5 Model under RCP Scenarios. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 13(46), pp.11-22. Dor: 20.1001.1.20089554.1398.13.46.4.0 (In Persian)
- 23-Mishra, A. K., and Singh, V. P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-20), pp. 202-216.
- 24- Nikbakht, J. and Hadeli, F., 2021. Comparison of SPI, RDI and SPEI indices for drought smonitoring under climate change conditions (Case study: Kermanshah station). *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1), pp.14-25. Doi: 10.22125/AGMJ.2021.249498.1103.
- 25-Noguera, I., Domínguez-Castro, F. and Vicente-Serrano, S.M., 2021. Flash drought response to precipitation and atmospheric evaporative demand in Spain. *Atmosphere*, 12(2), p.165.
- 26-Olagbaiye, A. E., Olasore, A., Ajayi, T. A., and Alabi, P. O. 2021. Drought Monitoring in Northern Nigeria Using Four (4) Indices. *International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 8(1), pp. 13-31. Doi: 10.31033/ijrasb.8.1.3.
- 27- Rahimi Bondarabadi, S., 2019. Evaluation of a dynamical downscaling climate model for assessment of climate change in Karkheh Basin. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), pp.633-649. Doi: 10.22092/ijwmse.2019.118786. (In Persian).
- 28- Rostamian, R., Eslamian, S. and Farzaneh, M. R., 2013, Application of standardised precipitation index for predicting meteorological drought intensity in Beheshtabad watershed, central Iran. *Int. Journal of Hydrology Science and Technology*, 3(1), pp. 63-77. Doi: 10.1504/IJHST.2013.055233.
- 29-Saharwardi, M.S., Mahadeo, A.S. and Kumar, P., 2021. Understanding drought dynamics and variability over Bundelkhand region. *Journal of Earth System Science*, 130(3), p.122.
- 30- Shakarami, N, and Massahbavani, A. 2007. Uncertainty analysis of coupled ocean-atmosphere general circulation patterns on climate change scenarios of temperature and rainfall in Zainderood basin, *technical workshop on the effects of climate change on water resources management*. (In Persian).
- 31-Song, Y. H., Shahid, S., and Chung, E. S. 2021a. Differences in multi-model ensembles of CMIP5 and CMIP6 projections for future droughts in South Korea. *International Journal of Climatology*.

- 32-Song, Z., Xia, J., She, D., Li, L., Hu, C., and Hong, S. 2021b. Assessment of meteorological drought change in the 21st century based on CMIP6 multi-model ensemble projections over mainland China. *Journal of Hydrology*, 601, pp. 126643. doi: j.jhydrol.2021.126643.
- 33-Svoboda, M., LeCompte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., et al. 2002. The drought monitor. *Bull Am Meteorol Soc.* 83, pp.1181–1190. [CrossRef]
- 34-Tabatabaei, S. M., Nazeri Tahroudi, M, and Dastourani, M. 2018. Performance comparison of GP, ANN, BCSD and SVM models for temperature simulation. *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, 1(1), pp. 51-64. (In Persian)
- 35-Tsakiris, G., and Vangelis, H. J. E. W. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9(10), pp.3-11.
- 36-<https://climate-scenarios.canada.ca/?page=cmip6-overview-notes>. 2019.
- 37-Van Pelt, S. C, and Swart, R. J. 2011. Climate change risk management in transnational river a. basins: the Rhine. *Water resources management*, 25(14), pp. 3837-3861.
- 38-Wang, T., Tu, X., Singh, V. P., Chen, X., and Lin, K. 2021. Global data assessment and analysis of drought characteristics based on CMIP6. *Journal of Hydrology*, 596, pp. 126091. doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126091.
- 39-Wilhite, D. 2000. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. In *Drought: A Global Assessment*; Routledge: London, UK.
- 40-Wilhite, D. A., and Buchanan-Smith, M. 2005. Drought as hazard: understanding the natural and social context. *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*, 3, pp. 29.
- 41-Wilhite, D. A., Svoboda, M. D., and Hayes, M. J. 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, 21(5), pp. 763-774.
- 42-Wood, A.W., Maurer, E.P., Kumar, A. and Lettenmaier, D.P., 2002. Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D20), pp.ACL-6.doi:10.1029/2001JD000659.
- 43-WWW.UNCCD.INT
- 44-Yaghoubzadeh, M., Ahmadi, M., Seyed Kaboli, H., Zamani,Gh, and Amirabadizadeh, M. 2017. Evaluation of the effect of climate change on agricultural drought using ETDI and SPI indicators. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 24(4), pp. 43-61. Doi: 10.22069/JWFST.2017.12202.2671. (In Persian)
- 45-Zareabyaneh, H., Ghabaeisoogh, M, and Mosaedi, A. 2016. Drought monitoring based on standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI) under the influence of climate change. *Journal of Water and Soil*, 29(2), pp. 392-374. Doi: 10.22067/JSW.V0I0.36472. (In Persian)
- 46-Zhang, G., Gan, T. Y., and Su, X. 2021. Twenty-First Century Drought Analysis across China using CMIP6 Under Climate Change. *Climate Dynamics*,59(1), p. 1665-1685. Doi: 10.21203/rs.3.rs-206879/v1.

EXTENDED ABSTRACT

Experimental investigation of hydraulic jump in Hexagonal Stilling Basin

M. H. Jafari Abnavi¹, R. Mohammadpour^{2*} and M. Karim Beirami³

1-PhD Student of Water and Hydraulic Structure, Islamic Azad University, Estahban branch.

2*- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Estahban branch.
(Re.Mo564@iau.ac.ir)

3-Associate Professor, Isfahan University of Technology.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 18 May 2022

Revised: 16 November 2022

Accepted: 21 November 2022

Keywords:

Flow Velocity, Jump length,
Alternative depth, Energy loss.

TO CITE THIS ARTICLE:

Jafari Abnavi, M. H., Mohammadpour, R., Beirami, M. K. (2023). 'Experimental investigation of hydraulic jump in Hexagonal Stilling Basin', Irrigation Sciences and Engineering, 46(3), pp. 85-102. doi: 10.22055/jise.2022.39990.2028.

Introduction

Hydraulic jump is used as an important energy dissipator phenomenon downstream of hydraulic structures such as spillways, gates, and chutes. The US Bureau of Reclamation (USBR) surveyed the state of knowledge in this field and presented practical guidelines for the design of different types of stilling basins (Peterka 1958). However, it is always preferable to achieve maximum energy loss with a minimum length and cost in the stilling basin. Experimental studies on the effect of gradually diverging stilling basin walls on the hydraulic jump parameters have shown that diverging walls cause a reduction of the sequent depth by up to 30%, a reduction of the length of the hydraulic jump by up to 22%, and an increase in the energy loss compared with the classic hydraulic jump (Kouluseus and Ahmad 1969; Khalifa and McCorquodale 1979; Omid et al. 2007). Hassanpour et al. (2017) studied the characteristics of the hydraulic jump in a gradually expanding rectangular stilling basin. They showed that the sequent depth ratio and relative length of the jump decrease with decreasing divergence ratio. Arabhaabhirama and Abela (1971) studied radial hydraulic jumps in a gradually expanding rectangular channel with divergence angles from 0 to 13°. The results showed that the divergence of the walls causes reductions in the sequent depth and length of the jump and an increase in energy loss as compared to the hydraulic jump in a straight rectangular channel.

Since the hydraulic jump changes the flow from the supercritical to the subcritical, on the other hand, the flow depth is decreased in the expanding and diverging stilling basins in the supercritical and subcritical conditions, respectively. The innovation of this research is the use of divergent-convergent stilling basins to increase the performance of the stilling basins. The results of the divergent-convergent stilling basin were compared with the classic and divergent basins as well as previous research.

Methodology

All experiments were performed in a channel with a length of 11.0 m, depth of 0.7 m, and width of 0.48 m. In this study, to investigate the performance of stilling basin, fourteen experiments with different discharges were conducted on both divergent-convergent and divergent basins. As shown in Figure (1), the length of the expansion and contraction channel was 85 cm and 65 cm, respectively.

Moreover, the channel width was 30 cm and 48 cm at the first of expansion and contraction, respectively.

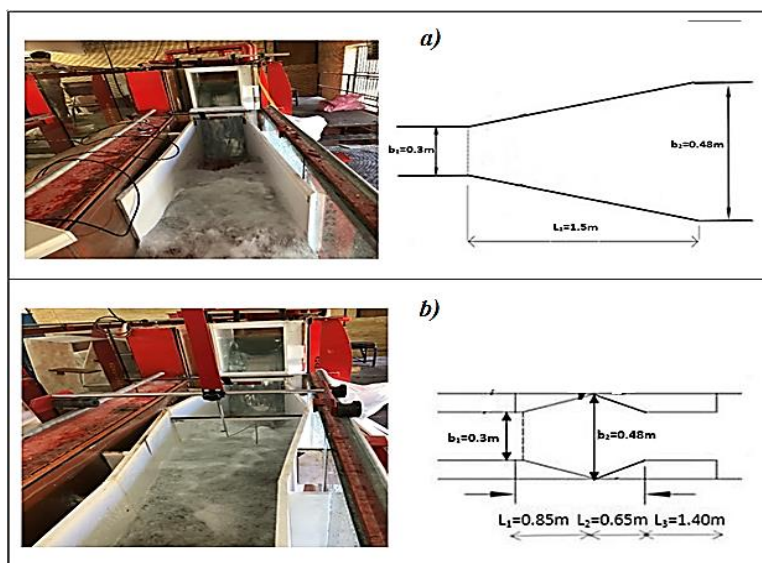


Fig. 1-The experimental stilling basin a) divergent basin; b) divergent-convergent basin

Results and Discussion

As shown in Table (1), in maximum discharge ($Q=66.1$ lit/s), the maximum ratio of flow depth (y_2/y_1) and jump length (L_j/y_1) in the divergent basin are 6 and 24, while these values in the divergent-convergent channel are 5.83 and 20.83, respectively. On the other hand, the maximum value of $\Delta E/EI$ in the divergent and divergent-convergent basins is 0.70 and 0.73, respectively. The results show that with increasing the Froud number the flow depth ratio (y_2/y_1) and jump length (L_j/y_1) increase in both divergent-convergent and divergent ponds gradually, but both of these values in the divergent-convergent basin are always less than those in the divergent basin. For example, for the $Fr_1 = 6.96$, the flow depth ratio in the divergent basin is 7.06 and decreases to 5.88 in the divergent-convergent basin (reduction of 17%). Furthermore, for $Fr_1 = 6.96$, the L_j/y_1 is 21.18 and 27.94 in the divergent-convergent and divergence basins, respectively.

To evaluate the performance of the divergent-convergent and divergence basins, the results were compared to the classic basin. The maximum y_2/y_1 and L_j/y_1 in the divergent-convergent basin decrease by 35.5% and 95.7%, respectively, compared to the classical basin, while for the divergent basin the reduction is 31.7% and It is 69.9%. Furthermore, the energy loss ratio ($\Delta E/EI$) in divergent-convergent and convergent basins has increased by 23.9% and 19. 8%, respectively. The results indicate that the performance of divergent-convergent basins is much better than divergent and classic basins. Finally, several equations were developed to predict the flow depth ratio and jump length ratio in the divergent-convergent basins.

Table 1-The hydraulic jump characteristics

NO	Q (Lit/s)	Divergent basin							Divergent-convergent basin						
		Fr1	E1 (m)	E2 (m)	ΔE (m)	$(\Delta E/E1)$	$(y2/y1)$	$(Lj/y1)$	Fr1	E1 (m)	E2 (m)	ΔE (m)	$(\Delta E/E1)$	$(y2/y1)$	$(Lj/y1)$
1	66.1	6.29	1.04	0.31	0.73	0.70	6.00	24.00	6.69	1.12	0.30	0.82	0.73	5.83	20.83
2	58.0	6.47	0.99	0.30	0.68	0.69	6.44	25.11	6.06	0.91	0.27	0.64	0.71	5.32	18.09
3	56.0	6.68	1.00	0.30	0.71	0.70	6.63	26.05	6.24	0.92	0.26	0.66	0.72	5.44	19.11
4	54.5	6.99	1.04	0.29	0.75	0.72	6.88	26.83	6.50	0.95	0.25	0.70	0.73	5.58	19.53
5	53.5	7.25	1.08	0.29	0.79	0.73	7.09	26.58	6.61	0.96	0.24	0.72	0.75	5.48	19.05
6	49.5	7.11	1.00	0.29	0.71	0.71	7.24	27.63	6.59	0.91	0.23	0.67	0.74	5.50	18.75
7	45.0	7.31	0.97	0.27	0.70	0.72	7.43	28.57	6.47	0.83	0.22	0.61	0.74	5.39	18.95
8	41.0	6.96	0.86	0.25	0.61	0.71	7.06	27.94	6.96	0.86	0.21	0.65	0.75	5.88	21.18
9	40.0	7.10	0.87	0.26	0.61	0.71	7.45	28.79	7.44	0.92	0.22	0.70	0.76	6.41	21.88
10	38.0	7.41	0.88	0.24	0.64	0.72	7.58	29.03	7.41	0.88	0.21	0.67	0.76	6.45	21.61
11	32.0	7.68	0.82	0.23	0.59	0.72	8.30	31.48	6.90	0.72	0.19	0.53	0.74	6.03	20.69
12	29.5	8.71	0.92	0.23	0.69	0.75	9.36	34.04	7.94	0.81	0.18	0.63	0.78	6.80	24.00
13	25.5	9.59	0.94	0.22	0.73	0.77	10.50	38.50	8.32	0.78	0.17	0.61	0.78	7.55	25.91
14	23.5	9.55	0.89	0.20	0.68	0.77	10.26	39.47	8.84	0.80	0.17	0.63	0.79	8.00	28.50

Conclusions

Hydraulic jump is used as an important energy dissipator downstream of hydraulic structures such as spillways, gates, and chutes. The innovation of this research is to use divergent-convergent stilling basins to increase the performance of the stilling basins. The results indicate that in the divergent-convergent basin, the depth ratio ($y2/y1$) and jump length ($Lj/y1$) decrease by 35.5% and 95.7% compared to the classical basin, respectively. The reduction of these values for the divergence basin is just 31.7% and 69.9 %, respectively. Furthermore, the energy loss in divergent-convergent and divergent basins has increased by 23.7% and 19. 8%, respectively. Finally, several equations were recommended to predict the ratio of conjugate depths and jump length using dimensional analysis and two analytical and regression methods. In light of this study, it can be concluded that divergent-convergent settling basins with smaller dimensions and greater energy loss are much more suitable alternatives for classical and divergent basins.

Acknowledgment

The authors would like to thank the Water Research Center of Islamic Azad University, Estehban Branch for providing the facilities to conduct this study.

References

- 1- Arabhaabhirama, A. and Abela, A.U. 1971. Hydraulic jump within gradually expanding channel. *Journal of the Hydraulics Division*, 97(1), pp.31–42.
- 2- Hassanpour, N. and Hosseninzade Dalir, A. and Farsadizadeh, D. and Gualtieri C. 2017. An Experimental study of hydraulic jump in a gradually expanding rectangular stilling basin with roughened bed. *MDPI journal water*, doi:10.3390.
- 3- Khalifa, A. and McCorquodale, J. 1979. Radial hydraulic jump. *Journal of the Hydraulics Division*. 105 (9): 1065–1078.
- 4- Kouluseus, H. and Ahmad, D. 1969. Circular hydraulic jump. *Journal of the Hydraulics Division*. 95 (1): 409–422.

- 5- Omid, M. and Esmaeeli Varaki, M. and Narayanan, R. 2007. Gradually expanding hydraulic jump in a trapezoidal channel. *Journal of the Hydraulics Reserch*. 45 (4): 512–518.
- 6- Peterka. A. J. 1958. Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators. United States Department of the Interior: Washington, DC, USA.



© 2023 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 مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های واگرا-همگرا

محمد حسین جعفری ابنوی^۱، رضا محمدپور^۲ و محمد کریم بیرامی^۳

۱- دانشجوی دکتری آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان.

۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه آب و واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان. Re.Mo564@iau.ac.ir

۳- دانشیار، دانشگاه صنعتی اصفهان.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸

چکیده

در این تحقیق مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های واگرا-همگرا مورد بررسی قرار گرفته و کلیه آزمایش‌ها در کانالی به طول ۱۱ متر، عمق ۰/۷ متر و عرض ۰/۴۸ متر انجام گرفت. نتایج به دست آمده از حوضچه واگرا-همگرا با حوضچه واگرای تدریجی و کلاسیک و همچنین تحقیقات پیشین مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در دبی بیشترین نسبت عمق (y_2/y_1) و طول پرش (L_j/y_1) در حوضچه واگرا-همگرا به ترتیب به میزان ۳۵/۵ و ۹۵/۷ درصد نسبت به حوضچه‌های کلاسیک کاهش داشته در حالی که این مقادیر برای حوضچه واگرای تدریجی به ترتیب برابر با ۳۱/۷ و ۶۹/۹ درصد به دست آمده است. از طرفی مقدار افت انرژی در حوضچه‌های واگرا-همگرا و واگرای تدریجی به ترتیب ۲۳/۷ و ۱۹/۸ درصد نسبت به حوضچه‌های کلاسیک افزایش یافته است. در انتها با استفاده از آنالیز ابعادی و دو روش تحلیلی و رگرسیونی، معادله‌هایی برای پیش‌بینی نسبت اعماق مزدوج و طول پرش پیشنهاد شده است. با توجه به این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که حوضچه‌های واگرا-همگرا عملکرد مناسب‌تری نسبت به حوضچه‌های کلاسیک و واگرا دارد که علاوه بر ابعاد کمتر دارای افت انرژی بیشتری نیز می‌باشند.

کلید واژه‌ها: سرعت جریان، عمق ثانویه پرش، طول گرداب پرش، افت انرژی در پرش.

مقدمه

پرش هیدرولیکی به عنوان یک پدیده مهم کاهش دهنده انرژی در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی، سرریزها، دریچه‌ها، تندآب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور کنترل پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش، از حوضچه‌هایی با طرح‌های هندسی متفاوت مورد استفاده می‌شود. طراحی حوضچه‌ها تأثیر مستقیمی روی عمق ثانویه، طول و افت انرژی پرش هیدرولیکی دارد. یکی از متداول‌ترین نوع پرش‌های هیدرولیکی، پرش هیدرولیکی روی کف صاف و افقی در کانال‌های مستطیلی می‌باشد که به آن پرش هیدرولیکی کلاسیک می‌گویند. این نوع پرش توسط Belanger (1828) مورد بررسی قرار گرفت، وی با توجه به معادله مومنوم و پیوستگی رابطه‌ای برای محاسبه اعماق متناوب در کانال‌های منشوری افقی ارائه کرد که به رابطه بلانگر معروف است. در چند دهه اخیر، پرش هیدرولیکی در کانال‌های شیبدار از جمله مواردی بوده که مورد علاقه محققین واقع شده است. Beirami و Chamani (2006 & 2010) عمق ثانویه، طول و افت انرژی پرش هیدرولیکی را در کانال‌های شیبدار

مستطیلی بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که در شیب منفی و مثبت عمق ثانویه به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. همچنین برای افت انرژی نشان دادند که افت انرژی در پرش کلاسیک با شیب صفر نسبت به پرش در شیب‌های مثبت و منفی بیشتر است.

پرش هیدرولیکی در کانال‌های مستطیلی با مقاطع واگرا نسبت به پرش هیدرولیک کلاسیک به دلیل کاهش عمق ثانویه، مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. لازم به توضیح است که در مکان‌هایی که عمق پایاب مورد نیاز پرش کلاسیک نباشد تبدیل واگرا توصیه می‌گردد. Arabhaabhirama و Abela (1971) مطالعه‌هایی در کانال‌های مستطیلی با دیواره واگرا با حداکثر زاویه واگرایی ۱۳ درجه انجام دادند. آن‌ها رابطه‌ای برای عمق ثانویه و افت انرژی پرش ارائه دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در حوضچه‌های واگرا نسبت اعماق مزدوج و طول پرش کاهش و نسبت افت انرژی افزایش داشته است. Herbrand (1973) پرش هیدرولیکی متقارن در حوضچه واگرای ناگهانی را مورد بررسی قرار

افت افزایش می‌یابد. Daneshfaraz et al. (2017) خصوصیات پرش هیدرولیکی در تنگ شدگی و واگرایی را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در تنگ شدگی مقدار افت انرژی حدود $8/74$ درصد نسبت به واگرایی کاهش داشته است. Hassanpour et al. (2017) پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش واگرا با کف زیر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که با افزایش مقدار زبری عمق ثانویه و طول پرش کاهش می‌یابد. Eshkou et al. (2018) تاثیر بلوک‌های بافل زاویه‌دار را بر خصوصیات پرش در کانال واگرایی تدریجی با بستر معکوس را بررسی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که بلوک‌ها نسبت اعماق متوالی و طول پرش را در مقایسه با حوضچه بدون بلوک به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. Daneshfaraz et al. (2019) پرش هیدرولیکی نوع S را در حوضچه‌های آرامش با واگرایی ناگهانی و کف زبر مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق نشان داده شده که عمق ثانویه و طول پرش در بستر زبر نسبت به بستر صاف به ترتیب 20 و 16 درصد کاهش یافته و همچنین عمق ثانویه به میزان $5/58$ درصد نسبت به پرش کلاسیک کاهش می‌یابد. در این نوع کانال‌ها افت انرژی پرش برای بستر صاف و زبر به ترتیب $23/5$ و $28/7$ درصد نسبت به پرش کلاسیک افزایش داشته است. Torkamanzad et al. (2019) پرش هیدرولیکی را در حوضچه آرامش نامتقارن با واگرایی ناگهانی و بستر زبر مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که عمق ثانویه و طول پرش در اینگونه حوضچه‌ها در مقایسه با حوضچه‌های منشوری با بستر صاف کاهش می‌یابد. از طرفی زبری بستر نقش تعیین کننده‌ای در محل وقوع پرش و افزایش میزان افت انرژی را ایفا می‌کند. Daneshfaraz et al. (2020) تحقیقاتی را به صورت عددی و آزمایشگاهی پیرامون تبدیل‌های واگرایی ناگهانی انجام دادند. Daneshfaraz et al. (2022) تحقیقاتی پیرامون بررسی آزمایشگاهی رفتار هیسترتیک رژیم فوق بحرانی بر پارامترهای هیدرولیکی جریان در برابر تنگ شدگی گابیونی انجام دادند. تاکنون تحقیقات عددی گسترده‌ای برای بررسی پرش‌های در کانال‌های واگرا انجام شده است. این تحقیقات نشان می‌دهد که عموماً عمق ثانویه پرش هیدرولیکی در کانال‌های واگرا نسبت به پرش کلاسیک کاهش یافته است (LUO2008, Nikpour, Roushangar and Ghasempour 2017, 2018, Daneshfaraz et al. 2020, Gul et al. 2021). عموماً تحقیقات صورت گرفته در تبدیل‌های همگرا نسبت به واگرا کمتر بوده و اولین تحقیق در این زمینه توسط Ippen (1951) صورت گرفته است. Chanson و Montes (1995) آزمایش‌هایی در خصوص پرش هیدرولیکی در مقاطع همگرا در کانال مستطیلی انجام دادند. تحقیقات آنان نشان داد که تئوری کلاسیک

داد. نتیجه این تحقیق ارائه یک رابطه تجربی ساده برای تعیین اعماق متناوب بوده است. Hager (1985) خصوصیات پرش هیدرولیکی در کانال مستطیلی غیر منشوری واگرا را بررسی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که عمق ثانویه پرش در کانال واگرا با شرایط ورودی یکسان در مقایسه با کانال مستطیلی منشوری کمتر می‌باشد. Hager و Bremen (1993) پرش هیدرولیکی در کانال واگرایی ناگهانی با بستر افقی که پنجه پرش در ابتدای واگرایی رخ می‌دهد را بررسی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که عملکرد این نوع پرش نسبت به پرش هیدرولیک کلاسیک بهتر بوده اما طول پرش در این نوع کانال‌ها بزرگتر است. Alhamid (2004) خصوصیات پرش هیدرولیکی S-Jump در کانال واگرایی ناگهانی با بستر صاف و شیب‌دار را بررسی کرد. در این نوع پرش پنجه پرش کاملاً در مقطع واگرا قرار می‌گیرد. نتایج نشان دادند که نسبت اعماق متوالی در پرش هیدرولیکی S-Jump در مقایسه با پرش هیدرولیک کلاسیک کوچک‌تر است. از طرفی با کوچک‌تر شدن عرض کانال شیب‌دار با واگرایی ناگهانی، عمق ثانویه پرش نسبت به پرش هیدرولیک کلاسیک کاهش چشم‌گیری داشته است. Kashefipour و Bakhtiari (2009) تاثیر افزایش زاویه واگرایی را بر پارامترهای پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند در زاویه واگرایی 25 درجه و عدد فرود اولیه حدود چهار، عمق ثانویه حدود 27 درصد کاهش و افت انرژی 55 درصد نسبت به پرش کلاسیک افزایش می‌یابد. Zare و Doering (2011) مطالعه‌هایی پیرامون پرش هیدرولیکی در کانال‌های واگرایی ناگهانی منشوری و غیر منشوری انجام دادند. آن‌ها پارامترهای جدیدی تحت عنوان ارتفاع آستانه و مکان آستانه معرفی کردند که در طراحی حوضچه‌های آرامش برای کنترل جریان و آبستگي بسیار اهمیت دارد. Habib et al. (2012) خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش با دیواره واگرایی تدریجی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که دیواره‌های واگرا، عمق ثانویه و طول پرش را کاهش و افت انرژی را افزایش می‌دهد. همچنین کمترین مقدار اعماق نسبی و طول پرش در حوضچه با زاویه واگرایی آن $10/2$ درجه به دست آمد. Varaki et al. (2014) مطالعه‌هایی پیرامون پرش هیدرولیکی در کانال‌های واگرا تدریجی با شیب معکوس به صورت تئوری و آزمایشگاهی انجام دادند. آن‌ها روابطی را برای خصوصیات پرش ارائه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش توام درجه واگرایی و شیب کف معکوس، عمق ثانویه، طول پرش کاهش و

که در این رابطه Fr_1 و Re به ترتیب عدد فرود قبل از پرش و عدد رینولدز می‌باشد. با توجه به اینکه در این تحقیق مقادیر عدد رینولدز بین ۹۱۳۴۰ تا ۲۵۶۹۲۰ بوده بنابراین جریان کاملاً آشفته بوده و می‌توان از تاثیر لزجت و یا عدد رینولدز چشم پوشی کرد بنابراین رابطه فوق به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$F \left(Fr_1, \frac{b_1}{y_1}, \frac{b_2}{y_2}, \frac{\theta_1}{y_1}, \frac{L_j}{y_1}, \frac{\Delta E}{E_1} \right) = 0 \quad (3)$$

با توجه به اینکه در این تحقیق عرض در ابتدا و انتهای تبدیل در کلیه آزمایش‌ها ثابت بوده بنابراین مقدار $\frac{b_1}{b_2}$ و همچنین $\frac{\theta_1}{\theta_2}$ ثابت می‌باشد در نتیجه این نسبت نیز در این تحقیق بعنوان متغیر محسوب نخواهد شد و از رابطه فوق حذف خواهد شد در نتیجه می‌توان رابطه نهایی بی بعد را برای نسبت عمق مزدوج، طول پرش و افت انرژی پرش به صورت زیر خلاصه کرد:

$$\frac{y_2}{y_1} = f(Fr_1, \frac{b_1}{y_1}) \quad (4)$$

$$\frac{L_j}{y_1} = f(Fr_1, \frac{b_1}{y_1}) \quad (5)$$

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f(Fr_1, \frac{b_1}{y_1}) \quad (6)$$

کلیه آزمایش‌ها در کانالی به طول ۱۱ متر و عرض ۰/۴۸ متر واقع در دانشگاه آزاد اسلامی-واحد استهبان انجام گرفت. ارتفاع کانال در چهار متر ابتدائی ۱/۲ متر و در هفت متر انتهائی به ۰/۷ متر کاهش می‌یابد. مقطع طولی کانال در شکل (۱-الف) نشان داده شده است. در این تحقیق برای تشکیل پرش هیدرولیکی از یک سرریز اوجی شکل استاندارد با ارتفاع $P=0/8$ متر و عرض $L=0/3$ متر استفاده شد. با توجه به شکل (۱) پاشنه سرریز در قسمتی از کانال که ارتفاع آن ۱/۲ متری می‌باشد و پنجه سرریز در عمق ۰/۷ متری نصب شد. بلافاصله بعد از سرریز از تبدیل‌ها نصب شد. برای کنترل و تشکیل پرش هیدرولیکی از یک دریچه در انتهای کانال استفاده شد که با افزایش سطح آب در پایاب بوسیله بالا آوردن دریچه پرش هیدرولیکی ایجاد شد. لازم به توضیح است که شروع پرش هیدرولیکی دقیقاً انتهای سرریز اوجی شکل و ابتدای حوضچه آرامش بود. پلان حوضچه آرامش با تبدیل واگرا-همگرا و همچنین سرریز اوجی در شکل (۱-ب) نشان داده شده است. حوضچه‌های آرامش واگرا-همگرا به گونه‌ای طراحی شد که واگرایی در ابتدا و همگرایی پس از آن قرار گیرد.

پرش هیدرولیکی در مقاطع همگرا با جریان‌های فوق بحرانی مطابقت بیشتری دارد. Ohtsu et al. (1997) نشان داد که پرش هیدرولیکی در مقاطع همگرا به عدد فرود اولیه، شیب کف، عدد رینولدز و فاصله پاشنه پرش تا تاج پرش بستگی دارد. Honar و Porhamze (2010) پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش همگرا را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اعماق نسبی و طول پرش در یک حوضچه همگرا نسبت به حالت کلاسیک به ترتیب حدوداً ۵۶ و ۵۱ درصد کاهش می‌یابد.

بررسی مطالعه‌های پیشین نشان می‌دهد که اکثر تحقیقات انجام شده روی پرش هیدرولیکی مربوط به حوضچه‌های واگرا و اندکی از آنها مربوط به حوضچه‌های همگرا بوده است. با توجه به اینکه تحقیقات اندکی پیرامون تبدیل واگرا-همگرا انجام شده، لذا نوآوری این تحقیق استفاده هم‌زمان از تبدیل واگرا-همگرا برای بررسی خصوصیات پرش هیدرولیکی در این نوع حوضچه‌ها می‌باشد

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

با توجه به اینکه در این تحقیق دو نوع حوضچه واگرا-همگرا و واگرایی تدریجی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است لازم است در ابتدا تحلیل ابعادی به منظور یافتن پارامترهای مؤثر بر پرش در این گونه حوضچه انجام گیرد. به طور کلی مشخصات پرش هیدرولیکی در این نوع حوضچه‌ها تابعی از پارامترهای زیر است.

$$F(\rho, \mu, y_1, y_2, V_1, g, b_1, b_2, \theta_1, \theta_2, L_j, \Delta E, E_1) \quad (1)$$

در این رابطه ρ = جرم حجمی سیال، μ = گرانروی دینامیکی، y_1 = عمق اولیه پرش هیدرولیکی، y_2 = عمق ثانویه پرش هیدرولیکی،

g = شتاب ثقل، V_1 = سرعت قبل از پرش هیدرولیکی، L_j = طول غلطانی پرش، ΔE = افت انرژی پرش، E_1 = انرژی در مقطع ابتدایی، θ_1 زاویه واگرایی، θ_2 زاویه همگرایی، b_1 و b_2 به ترتیب عرض کانال در ابتدا و انتهای تبدیل واگرا. با توجه به اینکه عمق آب روی سرریز بیشتر از پنج سانتی‌متر بوده اثر کشش سطحی روی مشخصات هیدرولیکی پرش تاثیری ندارد. (شکل ۱).

با استفاده از نظریه باکینگهام پارامترهای بی بعد به صورت زیر انتخاب شد.

$$F \left(Fr_1, Re, \frac{b_1}{y_1}, \frac{b_2}{y_2}, \frac{\theta_1}{90}, \frac{\theta_2}{90}, \frac{L_j}{y_1}, \frac{\Delta E}{E_1} \right) = 0 \quad (2)$$

با دقت مناسب و تزریق پرمنگنات برای مشخص شدن آخرین موج غلطان اندازه‌گیری شد. همان‌گونه که در جدول (۱) نشان داده شده است، محدوده دبی جریان از $23/5$ تا $66/1$ لیتر بر ثانیه برای هر حوضچه انتخاب و پارامترهای مورد نظر برداشت شد. پارامترها اندازه‌گیری شده عبارتند از: $y_1 =$ عمق اولیه پرش هیدرولیکی، $y_2 =$ عمق ثانویه پرش هیدرولیکی، $L_j =$ طول پرش. لازم به توضیح است که با جمع‌آوری این مقادیر میزان سرعت جریان در ابتدا و انتها با استفاده از رابطه پیوستگی به دست آمد همچنین عدد فرود و پارامترهای هیدرولیکی پرش در هر آزمایش محاسبه شد. محدوده پارامترهای آزمایشگاهی تحقیق حاضر در جدول (۱) نشان داده شده است. در ادامه مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده در این تحقیق و مطالعه‌های پیشین انجام شده است. جدول (۲) روابطی که توسط محققان پیشین برای محاسبه نسبت عمق جریان ($\frac{y_2}{y_1}$) در حوضچه‌های کلاسیک و تبدیل‌های واگرای تدریجی و همچنین واگرای ناگهانی ارائه شده است را نشان می‌دهد. روابط ارائه شده Herbrand (1973)، Alhamid (2004)، Matin et al. (2008) مربوط به حوضچه‌های واگرای ناگهانی و Varaki et al. (2014) و Hassanpour et al. (2017) مربوط به حوضچه‌های واگرای تدریجی می‌باشد.

در این تحقیق، برای بررسی عملکرد حوضچه آرامش، آزمایش‌ها روی دو نوع حوضچه واگرا-همگرا و واگرای تدریجی انجام شد (شکل ۲). در شکل (۲-الف) جزئیات تبدیل واگرای تدریجی نشان داده شده است. این تبدیل به طول $1/5$ متر بوده که عرض آن در ابتدا $b_1=30\text{cm}$ و $b_2=48\text{cm}$ می‌باشد. در شکل (۲-ب) از یک تبدیل واگرا-همگرا استفاده شده است بدین صورت که جریان پس از عبور از سرریز به عرض 30 سانتی‌متر ابتدا وارد یک تبدیل واگرا و سپس به تبدیل همگرا خواهد رسید. طول تبدیل‌های واگرا و همگرا به ترتیب 85 سانتی‌متر و 65 سانتی‌متر و عرض آن‌ها به ترتیب $b_1=30\text{cm}$ و $b_2=48\text{cm}$ می‌باشد. لازم به ذکر است که عرض کانال پس از تبدیل همگرا مجدداً به 30 سانتی‌متر رسیده است. با توجه به محدودیت‌های کانال آزمایشگاهی و همچنین مطالعه‌های پیشین (معمولاً زاویه واگرایی بیش از چهار درجه)، در این تحقیق دو زاویه شش و هشت درجه انتخاب شد. بعد از نصب و راه‌اندازی هر کدام از مدل‌های مورد نظر اعماق جریان با استفاده از عمق سنج (Point Gage) با دقت $0/1$ میلی‌متر در سه نقطه از عرض کانال برداشت شده و عمق متوسط آن‌ها به عنوان عمق نهایی در نظر گرفته شد.

طول پرش هیدرولیکی که عبارت است از فاصله شروع پرش تا نقطه ای روی سطح آب بلافاصله پس از آخرین موج غلطان (L_j)

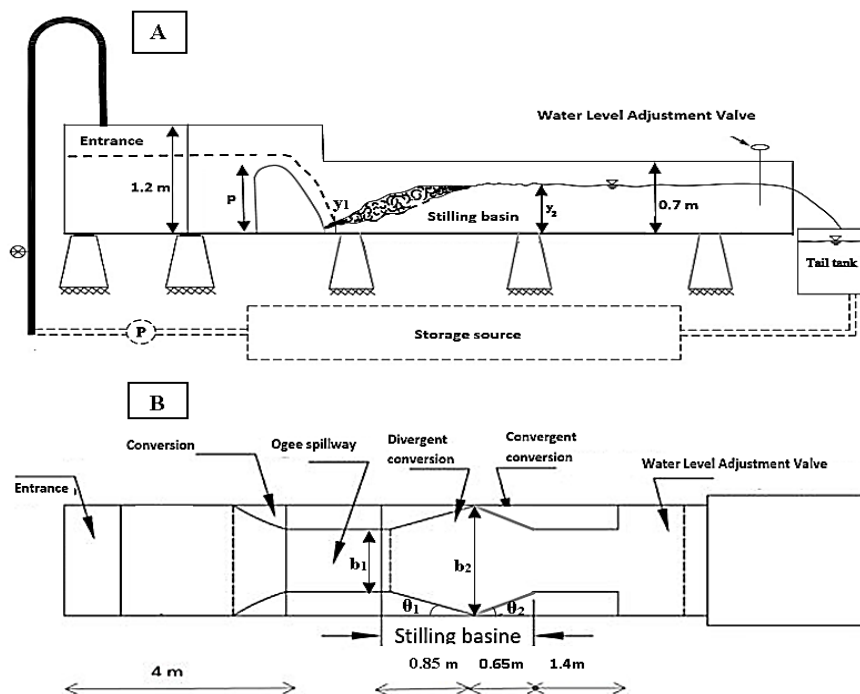


Fig. 1-Schematic view of flume A) longitudinal section, B) plan

شکل ۱- نمای شماتیک کانال الف: مقطع طولی ب: پلان

جدول ۱-محدوده پارامترهای آزمایشگاهی

Table 1-Range of experimental parameters

Variables	Q (m ³ /s)	Fr ₁	y ₁ (cm)	y ₂ (cm)	V ₁ (m/s)
Range of parameters	23.5-66.1	6.05-10.5	1.9-5	16-30	3.6-4.59

جدول ۲-روابط پیشنهادی برای اعماق مزدوج پرش

Table 2-The suggested equations for depth ratio

Researcher(s)	Type of Stilling Basin	Equations
Bélanger (1828)	Classic jump	$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}(-1 + \sqrt{1 + 8F_1^2})$
Herbrand (1973)	Sudden divergent	$\frac{y_2}{y_1} = \sqrt{\frac{2}{B}F_1 - \frac{1}{2B}}$
Alhamid (2004)	Sudden divergent	$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8[F_1^2(1 + 0.25 \ln B)^{(1 + \ln F_1)}]} - 1 \right)$
Matin et al. (2008)	Sudden divergent	$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8E^2} - 1)$, $E^2 = K^{-1}F_1^2$, $K = 1 + 4.243 \left[\log_{10}\left(\frac{1}{B}\right) \log_{10}(F_1) \right]$
Varaki et al. (2014)	Gradual divergent	$\frac{y_2}{y_1} = 0.309(S + 1)^{3.4542}(\theta + 1)^{-0.1197}(F_1^{0.5175}) \left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.5444} + 1.4396$
Hassanpour et al. (2017)	Gradual divergent	$\frac{y_2}{y_1} = 0.832(F_1) + 1.998(B) - 1.25 \left(\frac{r}{y_1}\right) + 0.432$

B=b₂/b₁

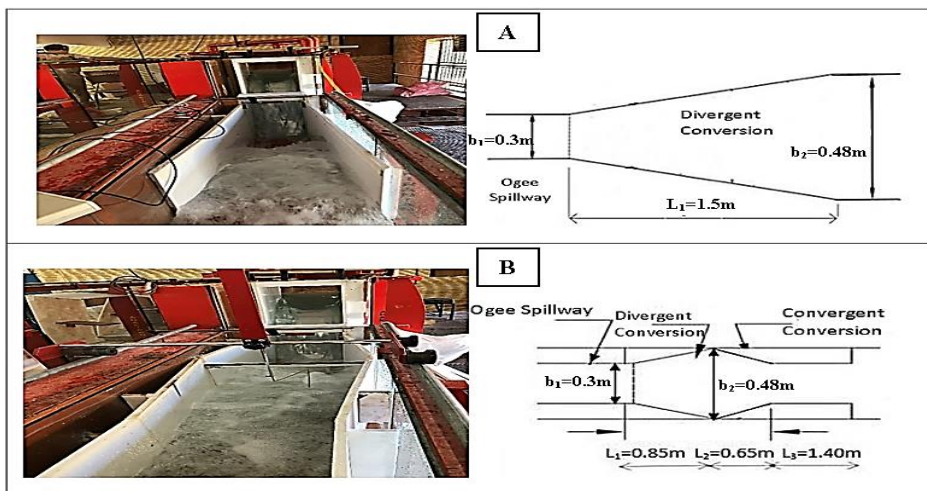


Fig. 2-Stilling Basin A) Gradual divergent; B) divergent-convergent

شکل ۲-حوضچه آرامش الف: تبدیل واگرای تدریجی ب: تبدیل واگرا-همگرا

نتایج و بحث

با شروع آزمایش در کانال و عبور جریان از روی سرریز، جریان فوق بحرانی در کانال تشکیل شده لذا برای ایجاد پرش هیدرولیکی و افزایش عمق پایاب از درپچه انتهایی کانال استفاده شد. شروع کلیه پرش‌ها در تمامی آزمایش‌ها در ابتدای حوضچه و انتهای آن درون حوضچه قرار گرفت. جدول (۳) نتایج به‌دست آمده برای هر دو حوضچه واگرا-همگرا و حوضچه واگرای تدریجی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد تعداد ۱۴ آزمایش با دبی‌های متفاوت از ۲۳/۵ تا ۶۶/۱ لیتر بر ثانیه انجام شد. این نتایج نشان دهنده آن است که با کاهش دبی، مقادیر سرعت، عمق جریان و همچنین طول پرش هیدرولیکی در هر دو حوضچه کاهش می‌یابد. جدول (۴) مقادیر پارمترهای جریان از جمله انرژی (E)، نسبت افت انرژی ($\Delta E/E_1$)، نسبت عمق جریان (y_2/y_1) و همچنین نسبت طول پرش هیدرولیکی (L_j/y_1) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این جدول نشان داده شده است در حداکثر دبی ($Q=66.1 \text{ lit/s}$)، نسبت عمق جریان و طول پرش در حوضچه واگرای تدریجی برابر با ۶ و ۲۴ بوده در حالی که این مقادیر در حوضچه واگرا-همگرا به ترتیب برابر با ۵/۸ و ۲۰/۸ می‌باشد که نشان دهنده کاهش این پارامترها خواهد بود. از طرفی مقدار ($\Delta E/E_1$) در حوضچه‌های واگرای تدریجی برابر با ۰/۷۰ بوده که به مقدار ۰/۷۳ در حوضچه‌های واگرا-همگرا رسیده و نشان دهنده افزایش افت در اینگونه حوضچه‌ها می‌باشد. در شکل (۳-الف) تغییرات نسبت عمق جریان بر حسب عدد فرود نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود نسبت عمق در هر دو حوضچه واگرا-همگرا و همچنین واگرای تدریجی افزایش می‌یابد. همچنین در تمامی مقادیر عدد فرود، نسبت عمق در حوضچه واگرا-همگرا کمتر از حوضچه واگرای تدریجی می‌باشد. به‌طور مثال برای عدد فرود $Fr_1 = 6/96$ این مقدار در حوضچه واگرای تدریجی برابر با ۷/۰۶ می‌باشد که با کاهش ۱۷٪ به مقدار ۵/۸۸ در حوضچه واگرا-همگرا می‌رسد. همچنین در دبی بیشترین مقادیر (y_2/y_1) در حوضچه واگرا-همگرا و واگرای تدریجی به ترتیب برابر با ۵/۸ و ۲۰/۸ می‌باشد که نشان دهنده میزان تقریبی ۳ درصد کاهش عمق در حوضچه واگرا-همگرا می‌باشد.

در شکل (۳-ب) تغییرات نسبت طول پرش (L_j/y_1) در هر دو حوضچه واگرا-همگرا و واگرای تدریجی نشان داده شده است. نتایج

نشان می‌دهد که در هر دو حوضچه با افزایش عدد فرود میزان طول پرش افزایش می‌یابد اما همواره طول پرش در حوضچه واگرا-همگرا از حوضچه‌های واگرای تدریجی کمتر می‌باشد. به‌طور مثال برای عدد فرود $Fr_1 = 6/96$ این مقدار در حوضچه واگرا-همگرا ۲۱/۱۸ و در واگرای تدریجی ۲۷/۹۴ می‌باشد. همان‌گونه که در جدول (۴) نشان داده شده است در حداکثر دبی (L_j/y_1) در حوضچه واگرا-همگرا و واگرای تدریجی به ترتیب با مقادیر ۲۰/۸ و ۲۴ بوده که نشان دهنده کاهش طول پرش در حوضچه‌های واگرا-همگرا به میزان تقریبی ۱۵/۳ درصد می‌باشد.

با توجه به اینکه میزان افت انرژی یکی از پارامترهای مهم در طراحی حوضچه‌های آرامش می‌باشد لذا در شکل (۳-ج) تغییرات افت انرژی نسبت به عدد فرود در هر دو حوضچه واگرا-همگرا و واگرای تدریجی نشان داده شده است. هر چند که نسبت افت انرژی در هر دو حوضچه، با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد اما این مقدار در حوضچه‌های واگرا-همگرا نسبت به حوضچه‌های واگرای تدریجی بیشتر است. نتایج ارائه شده در جدول (۴) نشان می‌دهد در حداکثر دبی انرژی قبل و بعد از پرش برای حوضچه واگرا-همگرا برابر با ۱/۱۲ و ۰/۳ متر می‌باشد در حالی که این مقادیر برای حوضچه واگرای تدریجی برابر با ۱/۰۴ و ۰/۳۱ متر می‌باشد. از طرفی میزان افت انرژی برای حداکثر دبی ($\Delta E/E_1$) در حوضچه واگرا-همگرا و واگرای تدریجی به ترتیب برابر با ۰/۷۳ و ۰/۷ بوده که نشان دهنده افزایش افت به میزان ۴/۸ درصد در حوضچه‌های واگرا-همگرا می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که با توجه به کاهش عمق، طول و همچنین افزایش میزان افت انرژی پرش ابعاد حوضچه در تبدیل‌های واگرا-همگرا از واگرای تدریجی کمتر می‌باشد. در شکل (۴) مقایسه بین نتایج به‌دست آمده در این تحقیق و مطالعه‌های پیشین نشان داده شده است. نتایج ارائه شده در شکل (۴-الف) نشان می‌دهد که آزمایش‌های انجام شده در حوضچه واگرا انطباق مناسبی با تحقیقات پیشین دارند. علاوه بر این برای تمامی مقادیر مختلف عدد فرود، نسبت عمق جریان ($\frac{y_2}{y_1}$) در حوضچه‌های واگرا-همگرا از حوضچه‌های واگرای تدریجی، واگرای ناگهانی و همچنین حوضچه‌های کلاسیک کمتر می‌باشد.

جدول ۳-مقادیر برداشت شده برای حوضچه واگرا- همگرا و حوضچه واگرای تدریجی

Table 3-Collected data for gradual divergent and divergent-convergent

NO	Q (Lit/s)	Gradual divergent					Divergent-convergent				
		y1 (m)	y2 (m)	Lj (m)	V1 (m/s)	V2 (m/s)	y1 (m)	y2 (m)	Lj (m)	V1 (m/s)	V2 (m/s)
1	66.1	0.050	0.300	1.200	4.407	0.508	0.048	0.280	1.000	4.590	0.590
2	58.0	0.045	0.290	1.130	4.296	0.476	0.047	0.250	0.850	4.113	0.546
3	56.0	0.043	0.285	1.120	4.341	0.479	0.045	0.245	0.860	4.148	0.538
4	54.5	0.041	0.282	1.100	4.431	0.483	0.043	0.240	0.840	4.225	0.524
5	53.5	0.040	0.280	1.050	4.515	0.494	0.042	0.230	0.800	4.246	0.531
6	49.5	0.038	0.275	1.050	4.342	0.465	0.040	0.220	0.750	4.125	0.513
7	45.0	0.035	0.260	1.000	4.286	0.450	0.038	0.205	0.720	3.947	0.505
8	41.0	0.034	0.240	0.950	4.020	0.446	0.034	0.200	0.720	4.020	0.483
9	40.0	0.033	0.246	0.950	4.040	0.425	0.032	0.205	0.700	4.167	0.487
10	38.0	0.031	0.235	0.900	4.086	0.426	0.031	0.200	0.670	4.086	0.474
11	32.0	0.027	0.224	0.850	3.951	0.381	0.029	0.175	0.600	3.678	0.458
12	29.5	0.024	0.220	0.800	4.184	0.362	0.025	0.170	0.600	3.933	0.435
13	25.5	0.020	0.210	0.770	4.250	0.331	0.022	0.166	0.570	3.864	0.405
14	23.5	0.019	0.195	0.750	4.123	0.328	0.020	0.160	0.570	3.917	0.388

جدول ۴-محاسبه پارامترهای مربوط به جریان در حوضچه واگرا-همگرا و حوضچه واگرای تدریجی

Table 4-Calculation of flow characteristic in for gradual divergent and divergent-convergent basin

NO	Q (Lit/s)	Gradual divergent basin							Divergent-convergent basin						
		Fr1	E1 (m)	E2 (m)	ΔE (m)	(ΔE/E1)	(y2/y1)	(Lj/y1)	Fr1	E1 (m)	E2 (m)	ΔE (m)	(ΔE/E1)	(y2/y1)	(Lj/y1)
1	66.1	6.29	1.04	0.31	0.73	0.70	6.00	24.00	6.69	1.12	0.30	0.82	0.73	5.83	20.83
2	58.0	6.47	0.99	0.30	0.68	0.69	6.44	25.11	6.06	0.91	0.27	0.64	0.71	5.32	18.09
3	56.0	6.68	1.00	0.30	0.71	0.70	6.63	26.05	6.24	0.92	0.26	0.66	0.72	5.44	19.11
4	54.5	6.99	1.04	0.29	0.75	0.72	6.88	26.83	6.50	0.95	0.25	0.70	0.73	5.58	19.53
5	53.5	7.25	1.08	0.29	0.79	0.73	7.09	26.58	6.61	0.96	0.24	0.72	0.75	5.48	19.05
6	49.5	7.11	1.00	0.29	0.71	0.71	7.24	27.63	6.59	0.91	0.23	0.67	0.74	5.50	18.75
7	45.0	7.31	0.97	0.27	0.70	0.72	7.43	28.57	6.47	0.83	0.22	0.61	0.74	5.39	18.95
8	41.0	6.96	0.86	0.25	0.61	0.71	7.06	27.94	6.96	0.86	0.21	0.65	0.75	5.88	21.18
9	40.0	7.10	0.87	0.26	0.61	0.71	7.45	28.79	7.44	0.92	0.22	0.70	0.76	6.41	21.88
10	38.0	7.41	0.88	0.24	0.64	0.72	7.58	29.03	7.41	0.88	0.21	0.67	0.76	6.45	21.61
11	32.0	7.68	0.82	0.23	0.59	0.72	8.30	31.48	6.90	0.72	0.19	0.53	0.74	6.03	20.69
12	29.5	8.71	0.92	0.23	0.69	0.75	9.36	34.04	7.94	0.81	0.18	0.63	0.78	6.80	24.00
13	25.5	9.59	0.94	0.22	0.73	0.77	10.50	38.50	8.32	0.78	0.17	0.61	0.78	7.55	25.91
14	23.5	9.55	0.89	0.20	0.68	0.77	10.26	39.47	8.84	0.80	0.17	0.63	0.79	8.00	28.50

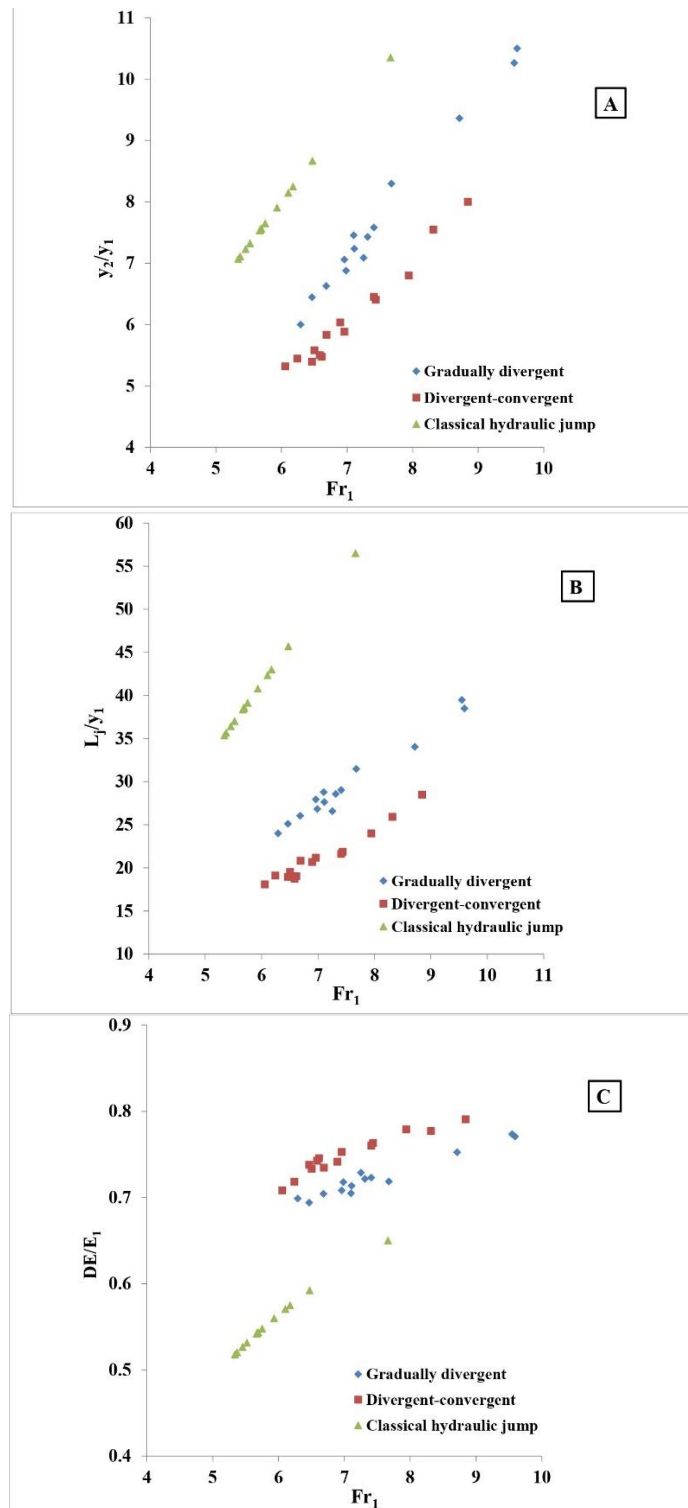


Fig. 3-Variation of hydraulic jump characteristics in terms of Froude number A) Depth ratio, B) Length ratio, C) Energy loss ratio شکل

۳- تغییرات پرش بر حسب عدد فرود الف) نسبت عمق پرش ب) نسبت طول پرش ج) نسبت افت انرژی

مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در حداکثر دبی، نسبت عمق ثانویه در حوضچه‌های کلاسیک از ۷/۹ به مقدار ۵/۸ در حوضچه‌های واگرا-همگرا کاهش پیدا کرده است. دلیل این امر آن است که در جریان‌های فوق بحرانی تبدیل واگرا و در جریان زیر بحرانی تبدیل همگرا عمق جریان را کاهش می‌دهد، از آنجایی که در ابتدای حوضچه جریان فوق بحرانی و پس از پرش جریان زیر بحرانی است لذا انتظار می‌رود در حوضچه واگرا-همگرا عمق جریان کاهش یابد. همچنین در دبی حداکثر نسبت طول پرش از ۴۰/۷ در حوضچه‌های کلاسیک به مقدار ۲۰/۸ در حوضچه‌های واگرا-همگرا کاهش یافته است. از طرفی نسبت افت انرژی در حداکثر دبی در تبدیل‌های کلاسیک از مقدار ۰/۵ به ۰/۷ در حوضچه‌های واگرا-همگرا رسیده است. دلیل این امر اغتشاش و آشفته‌گی بیشتر جریان در حوضچه‌های واگرا-همگرا نسبت به حوضچه‌های کلاسیک می‌باشد. با توجه به نتایج مشابه‌ای که در حوضچه‌های واگرای تدریجی نیز به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت حوضچه‌های واگرا-همگرا عملکرد بهتری نسبت به حوضچه‌های واگرای تدریجی و کلاسیک در کاهش عمق ثانویه، طول پرش و افزایش افت انرژی دارند.

به عبارت دیگر برای یک عدد فرود ثابت بیشترین مقدار $(\frac{y_2}{y_1})$ مربوط به پرش هیدرولیک کلاسیک و کمترین آن متعلق حوضچه آرامش واگرا-همگرا می‌باشد در نتیجه حوضچه‌های واگرا-همگرا بهترین تبدیل برای پرش هیدرولیکی با حداقل عمق ثانویه می‌باشد. در شکل (۴-ب) نتایج به دست آمده در این تحقیق برای نسبت افت انرژی $(\Delta E/E_1)$ با نتایج تحقیقات پیشین مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که افت انرژی در حوضچه واگرای تدریجی انطباق مناسبی با تحقیقات پیشین دارد. همچنین در تمامی مدل‌ها با افزایش عدد فرود نسبت $(\Delta E/E_1)$ افزایش می‌یابد به عبارت دیگر با افزایش عدد فرود افت انرژی پرش افزایش می‌یابد. برای یک عدد فرود ثابت، بیشترین مقدار $(\Delta E/E_1)$ مربوط به حوضچه آرامش واگرا-همگرا و کمترین آن متعلق به پرش هیدرولیک کلاسیک می‌باشد. همچنین میزان افت انرژی در حوضچه‌های واگرا-همگرا از حوضچه‌های واگرای تدریجی و ناگهانی بیشتر می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تبدیل‌های واگرا-همگرا با حداکثر افت انرژی عملکرد بسیار بهتری نسبت به بقیه حوضچه‌ها دارند.

در شکل (۵) مقادیر نسبت عمق ثانویه (y_2/y_1) ، نسبت طول پرش (L_j/y_1) و نسبت افت انرژی $(\Delta E/E_1)$ در حوضچه‌های واگرا-همگرا و همچنین واگرای تدریجی با حوضچه‌های کلاسیک

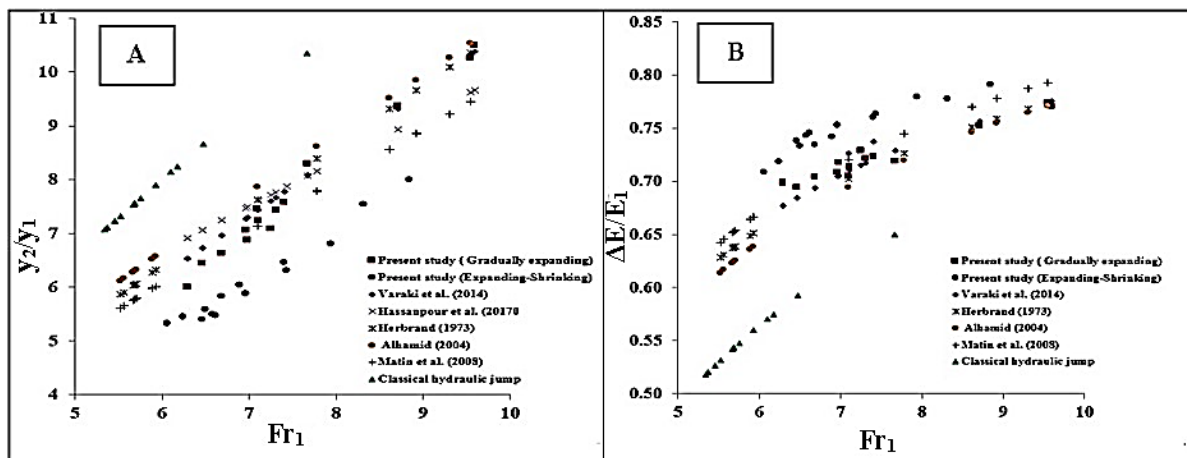


Fig. 4-A comparison between present study and previous researches A) flow depth ratio, B) energy loss ratio

شکل ۴- مقایسه تحقیق حاضر و تحقیقات دیگران (الف) نسبت اعماق مزدوج پرش (ب) نسبت افت انرژی

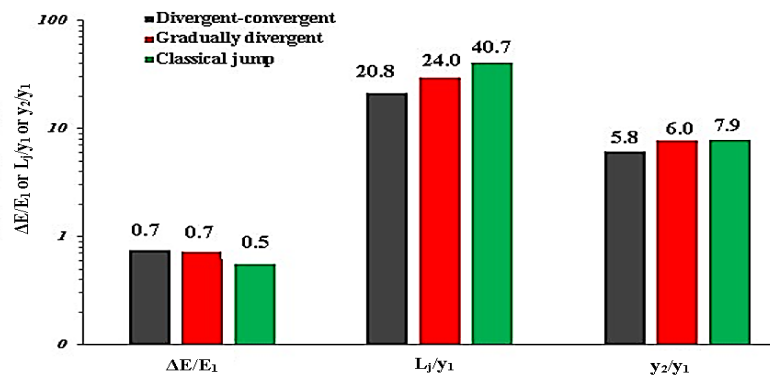


Fig. 5-A comparison between hydraulic jump parameters in different basins

شکل ۵-مقایسه پارامترهای پرش هیدرولیکی در انواع حوضچه ها

$$y_2 = \left[\frac{(F_1 - F_2)}{b_2/2} \right]^{0.5} \quad (7)$$

که در این رابطه پارامترهای F_1 و F_2 بصورت زیر تعریف می شوند:

$$F_1 = \frac{1}{2} b_1 y_1^2 - \frac{1}{2} \cos \alpha (0.48 + b_1)(y_{1.2} - y_1)^2 - \frac{1}{2} \cos \beta (0.48 + b_2)(y_2 - y_{1.2})^2 \quad (8)$$

$$F_2 = \frac{Q^2}{g} \left(\frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right) \quad (9)$$

که در این روابط مقادیر β, α و $y_{1.2}$ از معادلات زیر به دست می آیند:

$$\sin \alpha = \frac{0.48 - b_1}{2L_1} \quad \text{و} \quad \sin \beta = \frac{0.48 - b_1}{2L_2} \quad (10)$$

$$y_{1.2} = 0.514 y_2 \quad (11)$$

مقدار $y_{1.2}$ برابر با عمق آب در محل تلاقی دو طول L_1 و L_2 می باشد. رابطه فوق دارای دقت ($R^2 = 0.984$)، $RMSE = 0.108$ و $MAE = 0.09$ می باشد. در شکل (۶-الف) روابط به دست آمده برای نسبت عمق مزدوج با استفاده از دو روش رگرسیون و تحلیلی با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که روش تحلیلی با مقدار $R^2 = 0.984$ ، $RMSE = 0.108$ دارای دقت بالاتری نسبت به روش رگرسیونی می باشد.

مقایسه میزان در صد کاهش یا افزایش پارامترهای ذکر شده در سه نوع حوضچه واگرا-همگرا، واگرای تدریجی و کلاسیک در جدول (۵) ارائه شده است. در این جدول مقادیر مثبت و منفی به ترتیب نشان دهنده میزان افزایش و کاهش می باشد. نتایج نشان می دهد که در حداکثر دبی مقادیر (y_2/y_1) و (L_1/y_1) در حوضچه واگرا-همگرا به ترتیب به میزان $35/5$ و $95/7$ درصد نسبت به حوضچه های کلاسیک کاهش داشته در حالی که این مقادیر در حوضچه واگرای تدریجی نسبت به حوضچه های کلاسیک برابر با $31/7$ و $69/9$ درصد می باشد. از طرفی مقدار افت انرژی در حوضچه های واگرا-همگرا و همگرای تدریجی به ترتیب $23/7$ و $19/8$ درصد نسبت به حوضچه های کلاسیک افزایش یافته است. همچنین مقایسه نتایج بین حوضچه های واگرای تدریجی و واگرا-همگرا نشان می دهد که نسبت عمق و طول پرش به ترتیب به میزان $2/8$ درصد و $15/2$ درصد کاهش و مقدار افت انرژی $4/8$ درصد افزایش یافته است که نشان دهنده عملکرد بهتر حوضچه های واگرا-همگرا در مقایسه با حوضچه های واگرای تدریجی می باشد.

پیش بینی پرش در حوضچه واگرا-همگرا

در ادامه این تحقیق برای به دست آوردن رابطه ای برای تعیین نسبت عمق ثانویه و طول پرش در حوضچه های واگرا-همگرا از دو روش رگرسیونی و تحلیلی استفاده شده است. در جدول (۶) با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و آنالیز ابعادی دو رابطه بر اساس روش رگرسیونی برای محاسبه پارامترها ذکر شده به دست آمده است. نتایج نشان می دهد که رابطه به دست آمده برای نسبت عمق ثانویه ($R^2=0.973$ و $RMSE=0.132$) و نسبت طول پرش ($R^2=0.957$ و $RMSE=0.60$) دارای دقت بالایی برای پیش بینی این مقادیر در حوضچه های واگرا-همگرا هستند. در این تحقیق برای محاسبه عمق ثانویه پرش به روش تحلیلی رابطه زیر با استفاده از معادله اندازه حرکت به دست آمده است:

جدول ۵- درصد تغییرات عمق ثانویه، طول پرش و افت انرژی در انواع حوضچه‌ها

Table 5-Percentage of variation for secondary depth, jump length and energy loss in different basins

Q	Variation between divergent-convergent and classic basins (%)			Variation between gradual divergent and classic basins (%)			Variation between gradual divergent and divergent-convergent basins (%)		
	(ΔE/E1)	(y2/y1)	(Lj/y1)	(ΔE/E1)	(y2/y1)	(Lj/y1)	(ΔE/E1)	(y2/y1)	(Lj/y1)
	66.10	23.79	-35.51	-95.79	19.89	-31.75	-69.96	4.87	-2.86
58.00	24.96	-37.69	-104.76	23.42	-13.65	-47.47	2.02	-21.16	-38.85
56.00	24.55	-38.31	-100.76	23.05	-13.61	-47.31	1.94	-21.74	-36.29
54.50	25.86	-35.55	-97.58	24.26	-10.00	-43.86	2.12	-23.23	-37.34
53.50	27.22	-37.79	-101.96	25.53	-6.45	-44.72	2.26	-29.44	-39.56
49.50	30.26	-28.51	-88.65	27.42	2.33	-28.01	3.92	-31.58	-47.37
45.00	29.49	-31.84	-88.20	27.89	4.26	-24.81	2.22	-37.70	-50.79
41.00	30.05	-22.91	-71.99	25.65	-2.42	-30.35	5.92	-20.00	-31.94
40.00	25.23	-29.07	-93.64	19.05	-9.30	-47.14	7.63	-18.09	-31.60
38.00	24.35	-27.86	-99.00	20.47	-8.81	-48.15	4.89	-17.50	-34.33
32.00	26.79	-25.11	-86.05	24.45	9.00	-22.27	3.09	-37.48	-52.16
29.50	29.69	-12.50	-63.10	27.20	18.28	-14.98	3.43	-37.67	-41.84
25.50	23.78	-14.88	-76.43	23.14	17.45	-18.73	0.83	-39.16	-48.60
23.50	17.80	-29.38	-98.26	15.95	-0.85	-43.14	2.20	-28.29	-38.50

جدول ۶- روابط پیشنهادی برای محاسبه پارامترهای پرش در حوضچه‌های واگرا-همگرا

Table 6-Suggested equations for hydraulic jump parameters in divergent-convergent basins

Equation	R ²	RMSE	MAE
$\frac{y_2}{y_1} = -0.473 + 0.884F_1 + 0.037\frac{b_1}{y_1}$	0.973	0.132	0.117
$\frac{L_r}{y_1} = -3.28 + 3.408F_1 + 0.052\left(\frac{b_1}{y_1}\right)$	0.957	0.60	0.52

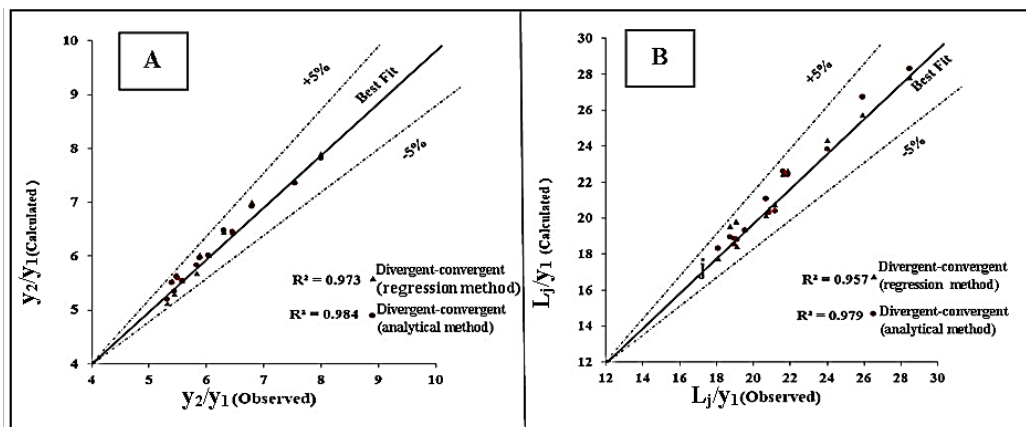


Fig. 6-A comparison between observed and calculated data at divergent-convergent basins a) flow depth ratio, b) jump length ratio

شکل ۶- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در حوضچه‌های واگرا-همگرا (الف) نسبت اعماق مزدوج پرش (ب) نسبت طول پرش

$$\frac{L_j}{y_1} = \frac{\left(\frac{y_2}{y_1} - 1\right)(Fr_1^2 + Fr_2^2 - 2)}{2(s_f - s_0)} \quad (12)$$

پارامترهای آماری برای این رابطه برابر با $R^2 = 0.979$ ، $MAE = 0.488$ و $RMSE = 0.659$ می‌باشد. مقایسه روش‌های تحلیل و رگرسیونی در شکل (۶-ب) نشان می‌دهد که دقت

برای تعیین نسبت طول پرش به روش تحلیلی از معادله انرژی استفاده شده است که نتیجه آن بصورت معادله (۱۲) ارائه شده است. در این رابطه با توجه به افقی بودن حوضچه آرامش $S_0 = 0$ و با توجه به داده‌های آزمایشگاهی، مقدار $S_f = 0.078Fr_1^{2.2}$ (Beirami and Chamani, 2010): به دست می‌آید:

رابطه ارائه شده به روش تحلیلی، برای پیش‌بینی نسبت طول پرش (L_j/y_1) ، از روش رگرسیونی بالاتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

پرش هیدرولیکی به‌عنوان یک پدیده مهم کاهش دهنده انرژی در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی، سرریزها، دریچه‌ها، تندآب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش واگرا-همگرا بررسی و نتایج آن با حوضچه واگرای تدریجی، حوضچه کلاسیک و همچنین تحقیقات پیشین مقایسه شده است. کلیه آزمایش‌ها در کانالی انجام شده و برای حوضچه واگرا-همگرا از یک تبدیل برای تغییر عرض کانال از ۰/۳ متر به ۰/۴۸ متر و بالعکس استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در حداکثر دبی نسبت عمق جریان (y_2/y_1) و نسبت طول پرش (L_j/y_1) در حوضچه واگرا-همگرا به‌ترتیب به میزان ۳۵/۵ و ۹۵/۷ درصد نسبت به حوضچه‌های کلاسیک کاهش داشته در حالی که مقدار کاهش این مقادیر برای حوضچه واگرای تدریجی به‌ترتیب برابر با ۳۱/۷ و ۶۹/۹ درصد می‌باشد. از طرفی مقدار افت انرژی برای حداکثر دبی در حوضچه‌های واگرا-همگرا و همگرای تدریجی به‌ترتیب ۲۳/۷ و ۱۹/۸ درصد نسبت به حوضچه‌های

کلاسیک افزایش یافته است. همچنین مقایسه نتایج بین حوضچه‌های واگرای تدریجی و واگرا-همگرا نشان می‌دهد که در تبدیل‌های واگرا-همگرا نسبت عمق و طول به‌ترتیب به میزان ۲/۸ درصد و ۱۵/۲ درصد کاهش و مقدار افت انرژی ۴/۸ درصد افزایش یافته است که نشان دهنده عملکرد بهتر حوضچه‌های واگرا-همگرا در مقابل حوضچه‌های واگرای تدریجی می‌باشد. با توجه ابعاد کمتر حوضچه‌های واگرا-همگرا و همچنین میزان افت بیشتر انرژی در آنها می‌توان نتیجه گرفت، در مکان‌های که دارای محدودیت ابعادی هستند، این‌گونه حوضچه‌ها جایگزین بسیار مناسبی برای حوضچه‌های واگرا و کلاسیک می‌باشد. در انتها با استفاده از آنالیز ابعادی و همچنین دو روش رگرسیونی و تحلیلی، معادلاتی برای پیش‌بینی نسبت اعماق مزدوج و طول پرش در حوضچه‌های واگرا-همگرا پیشنهاد شده است.

تقدیر و تشکر

این تحقیق در مرکز تحقیقات آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان انجام شده است و نویسندگان از مسئولین مربوطه، به‌خاطر در اختیار قراردادن امکانات، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

- 1- Arbbhabhirama, A. and Abella, A.U., 1971. Hydraulic jump within gradually expanding channel. *Journal of the Hydraulics Division*, 97(1), pp.31-42. Doi: 10.1061/JYCEAJ.000286.
- 2- Alhamid, A.A., 2004. S-jump characteristics on sloping basins. *Journal of Hydraulic Research*, 42(6), pp.657-662. Doi: 10.1080/00221686.2004.9628319.
- 3-Bakhmeteff. B. A. 1932. *Hydraulics of Open Channels. 1st ed.; McGraw-Hill: New York, NY, USA.*
- 4- Bremen, R. and Hager, W.H., 1993. T-jump in abruptly expanding channel. *Journal of Hydraulic Research*, 31(1), pp.61-78. Doi: 10.1080/00221689309498860.
- 5-Bélangier. J.B. 1828. *Essai sur la Solution Numérique de Quelques Problèmes Relatifs au Mouvement Permanent des Eaux Courantes* ('Essay on the Numerical Solution of Some Problems relative to Steady Flow of Water'); Carilian-Goeury: Paris, France.
- 6- Beirami, M.K. and Chamani, M.R., 2006. Hydraulic jumps in sloping channels: sequent depth ratio. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10), pp.1061-1068.
- 7- Beirami, M.K. and Chamani, M.R., 2010. Hydraulic jump in sloping channels: roller length and energy loss. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(4), pp.535-543. doi:10.1139/109-175.
- 8- Chanson, H. and Montes, J.S., 1995. Characteristics of undular hydraulic jumps: Experimental apparatus and flow patterns. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(2), pp.129-144. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:2(129).
- 9- LUO, C.R., 2008. Analysis and Application of Hydraulic Jump with Downstream Abruptly Expanded Channel Flow. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, (8), pp.2277-3754.

- 10- Daneshfaraz. R. Aminvash. E. Esmaeli. R. Sadeghfam. R. and Abraham J. 2020. Experimental and numerical investigation for energy dissipation of supercritical flow in sudden contractions. *Journal of Groundwater Science and Engineering*. DOI: 10.19637/j.cnki.2305-7068.2020.04.009.
- 11-Daneshfaraz. R. Aminvash. E. and Najibi. A. 2022. Experimental Study of Hysteretic Behavior of Supercritical Regime on Hydraulic parameters of Flow against Gabion Contraction. doi:10.22059/ijswr.2022.334538.669141.
- 12-Daneshfaraz. R. Majedi Asl. M. Mirzaee. R. and Ghaderi. A. 2019. The S-jump's Characteristics in the Rough Sudden Expanding Stilling Basin. *AUT . Journal of Civil Engineering.*, 4(3) (2020) 349-356 DOI:10.22060/ajce.2019.16427.5586.
- 13- Daneshfaraz, R., Sadeghi, H., Joudi, A.R. and Abraham, J., 2017. Experimental investigation of hydraulic jump characteristics in contractions and expansions. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35(1), pp.87-98.
- 14- Eshkou, Z., Dehghani, A.A. and Ahmadi, A., 2018. Forced hydraulic jump in a diverging stilling basin using angled baffle blocks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(8), p.06018004. doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001328.
- 15- Gul, E., Dursun, O.F. and Mohammadian, A., 2021. Experimental study and modeling of hydraulic jump for a suddenly expanding stilling basin using different hybrid algorithms. *Water Supply*, 21(7), pp.3752-3771. Doi: 10.2166/ws.2021.139.
- 16- Hassanpour, N., Hosseinzadeh Dalir, A., Farsadizadeh, D. and Gualtieri, C., 2017. An experimental study of hydraulic jump in a gradually expanding rectangular stilling basin with roughened bed. *Water*, 9(12), p.945. doi: 10.3390/w9120945.
- 17- Habib, AA, Ali, A.A.M., YM, A.A. and Yk, S., 2012. Estimation of hydraulic jump characteristics in stilling basin with guide walls. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 40(6), pp.1599-1609. DOI: 10.21608/JESAUN.2012.114531
- 18- Hager, W.H., 1985. Hydraulic jump in non-prismatic rectangular channels. *Journal of Hydraulic Research*, 23(1), pp.21-35. Doi: 10.1080/00221688509499374.
- 19- Herbrand, K., 1973. The spatial hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Research*, 11(3), pp.205-218. Doi: 10.1080/00221687309499774
- 20- Honar, T., Pourhamzeh, S. 2010. 'An Experimental Study of Convergent Hydraulic Jump in Stilling Basins', *Water and Soil*, 24(5), pp.966- 972. doi: 10.22067/jsw.v0i0.5297 (in Persian).
- 21- Ippen, A.T., 1951. High-velocity flow in open channels: a symposium: mechanics of supercritical flow. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116(1), pp.268-295. Doi: 10.1061/TACEAT.0006520.
- 22- Kashefipour, S.M. and Bakhtiari, M., 2009. Hydraulic jump in a gradually expanding channel with different divergence angles. In *33rd IAHR Congress. Advances in the Fundamentals of Water Science and Engineering, Vancouver*.
- 23- Matin, M.A., Hasan, M. and Islam, M.A., 2008. Experiment on hydraulic jump in sudden expansion in a sloping rectangular channel. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 36(2), pp.65-77.
- 24- Nikpour, M.R., 2018. Investigation of Hydraulic Jump Turbulence Parameters in Divergent Rectangular Sections using Fluent Model. *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(2), pp.61-75. Doi: 10.22055/JISE.2018.13457

-
- 25- Ohtsu, I., Yasuda, Y., Gotoh, H., Hager, W.H., Reinauer, R., Chanson, H. and Montes, J.S., 1997. Discussions and Closure: Characteristics of Undular Hydraulic Jumps: Experimental Apparatus and Flow Patterns. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(2), pp.161-164. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:2(161).
- 26-Roushangar. K. and Ghasempour. R. 2017. Explicit prediction of expanding channels hydraulic jump characteristics using gene expression programming approach. 49 3 pp. 815–830.doi: 10.2166/nh.2017.262.
- 27- Torkamanzad, N., Hosseinzadeh Dalir, A., Salmasi, F. and Abbaspour, A., 2019. Hydraulic jump below abrupt asymmetric expanding stilling basin on rough bed. *Water*, 11(9), p.1756. doi:10.3390/w11091756.
- 28- Varaki, M.E., Kasi, A., Farhoudi, J. and Sen, D., 2014. Hydraulic jump in a diverging channel with an adverse slope. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering*, 38(C1), pp.111- 121
- 29- Zare, H.K. and Doering, J.C., 2011. Forced hydraulic jumps below abrupt expansions. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(8), pp.825-835. Doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000369.

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of drought time steps and effects of land use changes on quantitative and qualitative water parameters of Plasjan river

N. Bahrami-Damaneh¹, S. Soltani-Gerdefaramarzi^{2*}, M. Gheysouri³ and A. Azizian⁴

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

2*- Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran, (ssoltani@ardakan.ac.ir).

3- PhD graduated student in watershed management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 6 June 2022

Revised: 1 January 2023

Accepted: 4 January 2023

Keywords:

Correlation, Drought index, Land use, Lag time.

TO CITE THIS ARTICLE :

Bahrami Demneh, N., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Gheysouri, M., Azizian, A. (2023). 'Investigation of drought time steps and effects of land use changes on quantitative and qualitative water parameters of Plasjan river', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(3), pp. 103-120. doi: 10.22055/jise.2023.40898.2030.

Introduction

Drought refers to the lack of rainfall in the long term, which is one of the most important natural disasters due to its spatial extent and short-term and long-term economic, social and environmental consequences (Nikbakht and Moradi, 2019). Factors affecting the physical, chemical and microbial properties of surface waters: precipitation, geographical location, climate, geology, industrial activities, domestic wastewater, agriculture, mineral pollutants, etc. can be mentioned (Mishra et al., 2017). In addition to drought, land use changes change the hydrological cycle of the basin and upset the balance between rainfall, evaporation, soil permeability and runoff (Farokhzadeh et al., 2016). Land use is one of the most important factors affecting the quality of surface water resources, especially rivers, as land population changes, land use patterns change. Therefore, runoff from rainfall as well as urban wastewater discharge leads to an increase in the amount of nutrients and other pollutants into rivers and surface water sources (Moradi et al., 2012). Tahiru et al. (2020) investigated the impact of land use change and land cover on water quality in a catchment area in the northern region of Ghana. Their results showed that there is a positive relationship between land use change and land cover and water quality parameters. Soltani-Gerdefaramarzi et al., (2021) investigated the effect of land use on surface water quality under both wet and dry periods in the Godarkhosh watershed. The results showed that barren and residential lands had the greatest impact on surface water quality and rangeland and forest land use showed a negative correlation with water quality parameters. Also, a strong significant relationship was found between water quality parameters and land use in dry years. Lei et al. (2021) investigated the effects of land cover, topography, and soil on water flow quality at multiple and seasonal spatial scales in a German lowland catchment. Overall changes in water quality on larger scales were estimated better in the summer. Due to the location of Iran in the dry land belt, most of its area will experience drought during most days of the year, which will cause changes in water and environmental resources. Biology, economic growth and development, agricultural activities, etc. are essential; on the other hand, land use changes have

a significant impact on surface water quality. This effect can improve or reduce the quality of surface water. These changes have a great adverse effect on the environment and water resources, so the control and monitoring of surface water for various uses is necessary to make water of good quality available to the public. One of the main sources of drinking water, agriculture and industry in Isfahan province is the Eskandari watershed and the Plasjan river. Therefore, paying attention to water resources is one of the appropriate and necessary management measures at the level of the entire basin. Therefore, in the current research, land use changes during two periods of drought and drought have been investigated on the quantitative and qualitative parameters of the Plasjan River.

Methodology

Plasjan river basin is located in the west of Isfahan province in the range of longitude 50°32' and 50° 04' north and latitude 32° 41' and 32° 58' east. The study area is one of the sub-basins of Zayandehrood Dam, which is located in the northern part of this basin. The Zayandehrood Dam watershed is one of the sub-basins of the Central catchment area of Iran, which includes two major sub-basins, the Plasjan River and the main branch of the Zayandehrood. Its average annual discharge is 131 million cubic meters. In this study, to determine the drought period of long-term statistics, 20 years (2000-2020), using the data of synoptics station located in Plasjan watershed, was extracted standard precipitation index (SPI)) and Standardized Discharge Index (SDI). Data from TM and ETM sensors obtained from the USGS site were also used to study land use change. In order to investigate land use changes on quality parameters, were used data recorded by the Isfahan Regional Water Organization. In this study, land use changes during the two years 2006 and 2018 were extracted which indicate wet and dry years respectively.

Results and Discusspn

According to the Standardized Discharge Index (SDI), the trend of drought change has started to increase in the eighties and in a period of 12 months, hydrological drought has occurred one year after meteorological drought and has reduced the quantity of water resources of Plasjan River. Based on the results, there is the highest correlation between the hydrological drought index of the river in the time step of 6 months and the qualitative parameters, so the hydrological drought index of the river in the time step of 6 months has a significant relationship with the qualitative parameters. The correlation coefficient at this time step is positive, indicating that the concentration of some parameters increases with increasing hydrological drought. During the wet season, shrub land and pasture lands were concentrated around the area, which were destroyed by drought and water stress and became barren and urban areas. In the wet period, there is a positive and significant correlation between agricultural use and some water salts such as electrical conductivity of water, water-soluble solids, absorption ratio of sodium, calcium, magnesium, bicarbonate, chlorine and sulfate, which means that with increasing percentage of agricultural area Their concentration has also increased, which in some salts, while it can be useful, causes water hardness, which limits its use in drinking and industry. There is no significant relationship between other land uses and water quality parameters. In the dry season, there is a significant inverse correlation between pasture land use, chlorine and sodium at the level of 5% and was observed a significant inverse correlation between pasture land use and sodium at the level of 1%. This means that by reducing the percentage of pasture area, the amount of sodium, sulfate, chlorine and sodium uptake ratio also increase and reduce water quality. There is also a positive and significant correlation between barren land use and sodium. Urban use has also led to an increase in water-soluble solids. The relationship between land use patterns and surface water quality parameters during dry and wet years in Watershed Plasjan is shown in Table (1).

Table 1- Pearson correlation coefficient between land use area and surface water quality parameters during dry and wet years in Watershed Plasjan

Year 2006 (Wet)					
parameter	Agriculture	Shrubs	Range	Barren	Urban
EC	0.534*	-0.057	-0.087	0.120	-0.381
pH	0.208	-0.077	0.238	0.008	0.171
TDS	0.590**	-0.049	-0.150	0.195	0.366
SAR	-0.634**	-0.266	-0.041	-0.225	0.308
Ca ₂ ⁺	0.494*	-0.244	0.051	0.095	-0.329
Na ⁺	0.000	-0.284	-0.088	0.211	0.324
Mg ₂ ⁺	0.611**	0.0570	-0.317	0.133	0.207
K	0.109	-0.166	0.452	0.095	0.297
CO ₃ ²⁻	-0.139	-0.171	-0.185	0.093	0.181
HCO ₃ ²⁻	0.460*	-0.136	-0.240	0.210	-0.073
Cl ⁻	0.615**	-0.063	0.225	-0.049	0.396
SO ₄ ⁻	0.484*	-0.194	-0.175	0.102	0.222
Year 2018 (Drought)					
EC	0.083	-0.137	0.245	-0.138	-0.212
pH	-0.163	-0.103	0.005	0.099	0.149
TDS	0.066	0.104	-0.238	0.097	0.590**
SAR	-0.012	-0.005	-0.446*	0.402*	0.165
Ca ₂ ⁺	-0.069	0.189	-0.283	0.175	-0.236
Na ⁺	0.002	-0.004	-0.491**	0.176	0.018
Mg ₂ ⁺	0.307	-0.141	-0.109	0.153	0.281
K	-0.101	-0.125	-0.162	0.205	0.333
CO ₃ ²⁻	-0.121	-0.131	-0.459*	0.104	-0.133
HCO ₃ ²⁻	0.249	-0.001	-0.031	0.079	0.252
Cl ⁻	0.271	0.177	-0.461*	-0.319	0.203
SO ₄ ⁻	-0.121	-0.050	-0.404*	0.050	-0.137

(* and ** Respectively significant at the 95% and 99% levels)

Conclusions

Given that there is a water crisis in the developed countries of the world and a large part of surface water is controlled in them, the managers realized that the most appropriate way to deal with the water crisis is to use water optimally and prevent its pollution. Due to the water crisis, the phenomenon of drought can be mentioned, one of the results of drought is a sharp decline in surface and groundwater resources. Today, the availability of sustainable water resources around the world is one of the factors of sustainable economic and social development. The results of meteorological and hydrological droughts indicate an increase in the intensity and persistence of droughts, especially hydrological droughts in the following years of meteorological droughts with a time delay of 12 months. The results show a decrease in the percentage of shrub area (16 percent) and pasture (51 percent) and an increase in agricultural (nine percent), barren (eight percent), and urban and residential (four percent) areas. The reason for the decrease in the percentage of the area of pasture and hand-planted shrubs in 2017 can be mentioned the occurrence of meteorological and hydrological drought during this period in the region and the development of residential and barren areas. The results of this research and similar researches can be effective in improving the quantitative and qualitative status of water resources and help managers to manage water resources before the occurrence of supply and allocation problems.

Acknowledgments

The present research was carried out with the assistance of Isfahan Regional Water Organization, Meteorological Organization, Natural Resources Department in Isfahan Province, which is necessary to express our gratitude to all those who have accompanied us on this path.

References

- 1- Farokhzadeh, B. Ildoromi, A. Attaeian, B. and Nourouzi, M., 2016. Evaluation of the Effects of Land Use Changes on Suspended Load Using SWAT Model (Case Study: Yalfan Watershed Hamadan Province). *Environmental Erosion Research*, 3(19), PP. 28-46. Dor: 20.1001.1.22517812.1394.5.3.5.5. (In Persian).
- 2- Lei, C., Wagner, P. D., and Fohrer, N. (2021). Effects of land cover, topography, and soil on stream water quality at multiple spatial and seasonal scales in a German lowland catchment. *Ecological Indicators*, 120, 106940. Doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106940.
- 3- Mishra, B. K., Regmi, R. K., Masago, Y., Fukushi, K., Kumar, P., Saraswat, C. 2017. Assessment of Bagmati river pollution in Kathmandu Valley: Scenario-based modeling and analysis for sustainable urban development. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9, PP. 67-77. Doi: 10.1016/j.swaqe.2017.06.001
- 4- Moradi, H., Taghavi, N., and Bahramifar, N. 2012. Effect of Different Land Use On Surface Water Quality Case Study: Siahrood Ghaemshahr Watershed. *Environmental Erosion Researches*, 1(4), PP. 23-32. (In Persian).
- 5- Nikbakht, J., and Moradi, O. 2019. Effect of Drought on Hashtgerd Plain Groundwater Quantity and Quality Considering Irrigation Use. *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 120-131.
- 6- Soltani-Gerdefaramarzi, S. Gheisouri, M., Saberi, A. and Yarami, N. 2021. The effect of land use change on surface water quality under the wet and dry years in a semi-arid catchment (case study: Godarkhosh catchment). *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), PP. 5371-5385.
- 7- Tahiru, A. A., Doke, D. A., and Baatuuwie, B. N. 2020. Effect of land use and land cover changes on water quality in the Nawuni Catchment of the White Volta Basin, Northern Region, Ghana. *Applied Water Science*, 10(8), PP. 1-14.





بررسی گام‌های زمانی خشک‌سالی و اثر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کمی و کیفی آب رودخانه پلاسجان

نرگس بهرامی دمنه^۱، سمیه سلطانی گردفرامری^{۲*}، مرضی قیصوری^۳ و ابوالفضل عزیزیان^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان sstolani@ardakan.ac.ir

۳- دانش آموخته دکتری، مدیریت حوضه های آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

چکیده

خشک‌سالی و تغییرات کاربری اراضی از جمله پدیده‌هایی هستند که می‌توانند بر کاهش کمیت و کیفیت آب‌های سطحی در حوضه‌های آبخیز تأثیرگذار باشند. این پژوهش با هدف بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کمی و کیفی آب رودخانه پلاسجان صورت گرفت. بدین منظور از آمار بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک داران و داده‌های دبی و کیفیت آب حوضه اسکندری واقع در خروجی حوضه طی دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۰) استفاده شد. به‌منظور تحلیل خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه از شاخص بارش استاندارد و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک رودخانه در چهار گام زمانی (شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) استفاده گردید. نتایج بررسی تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کیفی، نشان دهنده این است که در دوره ترسالی بین کاربری کشاورزی و املاح آب هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. به عبارت دیگر با افزایش درصد مساحت کاربری کشاورزی غلظت املاح افزایش می‌یابد. در دوره خشک‌سالی نیز بین کاربری مرتع و غلظت برخی املاح هم‌بستگی معکوس و معنی‌دار و بین کاربری بایر و شهری و برخی پارامترهای کیفی هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد؛ بدین معنی که با کاهش درصد مساحت مرتع و افزایش مساحت کاربری شهری و بایر مقدار املاح آب افزایش پیدا کرده که سبب کاهش کیفیت آب می‌شوند. نتایج کلی نشان داد که افزایش فعالیت‌های انسانی با تغییر کاربری اراضی و نوسانات آب و هوایی از عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت آب رودخانه پلاسجان می‌باشند. بنابراین، اجرای برنامه‌های صحیح مدیریتی در حوضه مورد پژوهش برای کنترل تغییرات کاربری اراضی و مدیریت منابع آبی در مواقع خشک‌سالی مورد نیاز می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تأخیر زمانی، شاخص خشک‌سالی، کاربری اراضی، هم‌بستگی.

مقدمه

مهندسان و دانشمندان برای سال‌های آتی به‌درستی برنامه‌ریزی کنند. علاوه بر خشک‌سالی تغییرات کاربری اراضی تغییراتی در چرخه هیدرولوژیکی حوضه ایجاد می‌کند و باعث برهم خوردن تعادل بین بارش، تبخیر، نفوذپذیری خاک و مقدار رواناب می‌شود (Farokhzadeh et al., 2016). کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر کیفیت منابع آب سطحی و به‌خصوص رودخانه‌ها می‌باشد. هم‌زمان با افزایش جمعیت، الگوهای کاربری زمین تغییر می‌کند. بنابراین رواناب ناشی از بارندگی‌ها و نیز تخلیه پساب‌های شهری، منجر به افزایش میزان مواد مغذی و دیگر آلاینده‌ها به داخل رودخانه‌ها و منابع آب سطحی می‌گردد (Moradi et al., 2012). تاکنون مطالعه‌های زیادی در خصوص تأثیر خشک‌سالی و تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کیفی آب سطحی صورت گرفته است. برای مثال Gheysouri et al., (2018) به ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و

پدیده خشک‌سالی به کمبود بارش در دوره بلند اطلاق می‌شود که به علت گستردگی مکانی و در پی داشتن تبعات کوتاه‌مدت و بلندمدت اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی به شمار می‌آید (Nikbakht and Moradi, 2019). از طرفی افزایش جمعیت، توسعه شهرها و رشد فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی سبب آلودگی منابع آب و ایجاد بحران در مناطق مختلف دنیا شده است. از جمله عوامل تأثیرگذار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب‌های سطحی بارش، موقعیت جغرافیایی، اقلیم، زمین‌شناسی، فعالیت‌های صنعتی، فاضلاب‌های خانگی، کشاورزی، آلاینده‌های معدنی و غیره می‌توان نام برد که در نهایت بر کیفیت آب سطحی تأثیر می‌گذارند (Mishra et al., 2017). بنابراین بررسی آثار خشک‌سالی در یک منطقه خاص بر کیفیت آب ضروری است تا

رودخانه هند را بررسی کردند و احتمال وقوع خشک‌سالی متوسط و شرایط مرطوب در هر دو ایستگاه را نسبتاً بیشتر دانستند. et al Salimi (2021) پایش خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از چندین شاخص خشک‌سالی را مورد بررسی قرار دادند. روابط بین مدت و شدت خشک‌سالی در بازه زمانی نه ماهه در حوضه آبخیز نارود دقیق‌تر بوده است. et al Lei (2021) اثرات پوشش اراضی، توپوگرافی و خاک روی کیفیت جریان آب در مقیاس‌های مکانی چندگانه و فصلی در حوضه آبریزی در آلمان را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کیفیت آب در زمستان، در زمین‌های زراعی و زمین‌های مرطوب با کاهش روبه‌رو بوده است. et al Soltani-Gerdefaramarzi (2021) تأثیر کاربری اراضی را بر کیفیت آب‌های سطحی تحت دو دوره تر و خشک در حوضه آبخیز گذارخوش بررسی کردند. نتایج نشان داد که اراضی بایر و مسکونی بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب‌های سطحی داشت و کاربری اراضی مرتع و جنگلی با پارامترهای کیفیت آب یک همبستگی منفی نشان داد. همچنین رابطه قوی معنی‌داری بین پارامترهای کیفیت آب و کاربری اراضی در سال‌های خشک به دست آمد. Chithra و Jincy Rose (2022) برقراری ارتباط آماری بین شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی رودخانه‌ای در هند را بررسی کردند. بر اساس یافته‌ها، قوی‌ترین همبستگی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی سه ماهه در یک دوره زمانی ۱۲ ماهه مشاهده شد. et al Lotfirad (2022) پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی با استفاده از مدل شاخص بارندگی استاندارد و شاخص بارش-تبخیر تعرق در اقلیم‌های مختلف ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیان‌گر این بود که با افزایش مقیاس زمانی، دقت پیش‌بینی شاخص بارش استاندارد و شاخص استاندارد بارش-تبخیر تعرق بهبود می‌یابد و توانایی شاخص بارش-تبخیر تعرق برای پیش‌بینی خشک‌سالی بیشتر از شاخص بارش استاندارد مشاهده گردید.

با توجه به فرارگیری کشور ایران در کمربند خشک زمین، قسمت عمده از مساحت آن در بیشتر ایام سال خشک‌سالی را تجربه می‌کند که این رخداد باعث ایجاد تغییراتی در کمیت و کیفیت منابع آبی و زیست کشور می‌شود. از این‌رو داشتن منابع آب سالم و کافی برای حفظ محیط‌زیست، رشد و توسعه اقتصادی، فعالیت‌های کشاورزی و غیره ضروری می‌باشد. در این بین تغییرات کاربری اراضی تأثیر چشم‌گیری بر کیفیت آب سطحی داشته و می‌تواند موجبات بهبود یا کاهش کیفیت آب سطحی را فراهم نماید. این تغییرات اثر نامطلوب زیادی به محیط‌زیست و منابع آب وارد کرده لذا کنترل و پایش آب‌های سطحی برای مصارف مختلف امری لازم و ضروری است تا آب باکیفیت مناسب به‌هنگام و به مقدار در دسترس عموم قرار گیرد. یکی از منابع اصلی تأمین‌کننده آب شرب، کشاورزی و صنعت در استان اصفهان، حوضه آبخیز اسکندری و رودخانه پلاسجان است. اهمیت

هیدرولوژیکی و تأثیر آن بر کیفیت آب رودخانه گذارخوش پرداختند و بیان کردند که با کاهش دبی رودخانه، مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌ها در سال‌های خشک افزایش می‌یابد. et al Shahrokhi (2019) اثر خشک‌سالی بر کیفیت آب‌های سطحی حوزه هلیل رود را بررسی و بیان کردند که بین پارامترهای کیفی آب و خشک‌سالی همبستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. et al Nazarnezhad (2019) اثرات تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت آب حوضه آبخیز زرینه‌رود آذربایجان غربی را بررسی کردند. نتایج بیان‌گر افزایش پارامترهای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول و نسبت جذب سدیم در سال ۱۳۸۳ و به‌تبع کاهش کیفیت آب رودخانه در نتیجه تغییر کاربری اراضی می‌باشد که با وقوع خشک‌سالی در سال ۸۳-۸۴ مطابقت داشت. et al Heshmatpour (2020) تأثیر خشک‌سالی بر کیفیت منابع آب‌های سطحی استان گلستان را مورد بررسی قرار داده و بیان کردند خشک‌سالی تأثیر به‌سزایی بر پارامترهای کیفی آب در مقایسه با تغییرات پارامترهای کیفی در طولانی‌مدت دارد. به‌طوری‌که کاهش بارندگی و دبی رودخانه در دوره خشک‌سالی باعث کاهش کیفیت آب کشاورزی شده است. et al Sebenik (2017) استفاده از شاخص بارش استاندارد (Standardized Precipitation Index, SPI) در شمال شرق کشور اسلوواکی مورد بررسی قرار داده و عنوان داشتند که بین دبی رودخانه و شاخص خشک‌سالی همبستگی معنی‌داری وجود دارد. et al Tahiru (2020) تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر کیفیت آب در حوضه آبریز ناوونی در منطقه شمالی غنا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد یک رابطه مثبت بین تغییرات کاربری و پوشش زمین و پارامترهای کیفیت آب وجود دارد. et al Azhar (2021) ارتباط استفاده از زمین و کیفیت آب رودخانه‌ای در مالزی را بررسی کردند. نتایج بیان‌گر ارتباط ضعیف بین کیفیت آب و استفاده از زمین برای نیترا و کلسیم در تمام مناطق موردبررسی بود. et al Ding (2021) گسترش خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی در مناطق مختلف آب و هوایی در چین را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در محیط‌های خشک، گسترش خشک‌سالی کمتری نسبت به محیط‌های مرطوب وجود دارد و بین دو نوع خشک‌سالی در تابستان و پاییز رابطه قوی‌تری نسبت به بهار و زمستان وجود داشت. et al NafiShehab (2021) تغییرات فضایی الگوهای مناظر و استفاده از زمین بر کیفیت آب در طول یک حوزه شهری مالزی را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود جنگل‌های گرمسیری در تمیز کردن آب حیاتی بود. در نتیجه، جنگل‌های گرمسیری می‌توانند شاخص خوبی از کیفیت آب را در نظر بگیرند و می‌توانند اثرات شیوه‌های انسانی را بر خدمات اکوسیستم کاهش دهند. et al Malik (2021) خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (Standardized Discharge Index, SDI) در ناولا و کیدار در حوضه آبریز

سانتی‌گراد در مردادماه می‌باشد. میانگین بارش سالانه در این منطقه ۳۳۹ میلی‌متر است که مقدار آن از ۳۰۰ میلی‌متر در شرق تا ۵۴۳ متر در غرب اختلاف دارد و از غرب به شرق مقدار آن کاهش می‌یابد. میانگین رطوبت نسبی سالانه نیز ۴۸/۳ درصد، میانگین تبخیر سالانه ۱۶۰۶، فشار بخار اشباع جو ۱۱/۱۲ میلی بار، فشار بخار واقعی جو ۱۴/۵ میلی بار و تعداد روزهای یخبندان ۱۵۲ روز می‌باشد. بارندگی این حوضه متأثر از جریان‌های جوی مدیترانه‌ای می‌باشد که از غرب، شمال غرب و جنوب غرب وارد منطقه شده و به مدت هشت ماه از اوایل مهر تا اوایل خرداد حوضه را تحت شعاع قرار می‌دهد. اغلب ریزش‌های آن در زمستان به صورت برف می‌باشد (Organization of Agriculture) (Jahad Isfahan, 2011).

در این مطالعه به منظور بررسی تغییر پارامترهای کمی و کیفی منابع آبی، از داده‌های ثبت شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان استفاده شد. سپس به منظور تعیین دوره خشک‌سالی از آمار طولانی‌مدت، ۲۰ ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۰) استفاده شد. شاخص‌های مختلفی برای تعیین روند تغییرات آب‌های سطحی و تغییرات دمایی و تحلیل کمی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک وجود دارد که در این مطالعه با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک داران واقع در حوضه آبخیز پلاسجان، شاخص بارش استاندارد (SPI) و با استفاده از داده دبی ایستگاه هیدرومتری اسکندری واقع در خروجی حوضه شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI) استخراج شد. به منظور بررسی گام زمانی مؤثر بر پارامترهای کمی و کیفی منابع آب سطحی رودخانه پلاسجان، از گام‌های زمانی شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ بهره گرفته شد. بر اساس نتایج از شاخص بارش استاندارد در منطقه، سال‌های تر و خشک به ترتیب سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۷ مشخص شدند. برای بررسی تغییر کاربری اراضی، از داده ماهواره‌ای سنجنده TM و ETM که از سایت USGS به دست آمده، استفاده شد. در این پژوهش تغییرات کاربری اراضی طی دو سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۷ استخراج و سپس تأثیر آن بر تغییرات پارامترهای کمی بررسی شد.

این حوضه در تأمین نیاز آبی یا حبابه محیط‌زیستی رودخانه زاینده رود است و با توجه به نتایج مرور منابع و شواهد در سال‌های اخیر، تغییرات زیادی در کمیّت و کیفیت منابع آب حوضه صورت گرفته است. لذا توجه به منابع آبی یکی از اقدامات مدیریتی مناسب و ضروری در سطح کل حوضه در مواجه با بلایای طبیعی و انسانی می‌باشد. براین اساس پژوهش حاضر به بررسی گام‌های زمانی خشک‌سالی و اثر آن بر پارامترهای کمی و کیفی رودخانه پلاسجان پرداخته است. همچنین تغییرات کاربری اراضی و تعیین کاربری مؤثر طی دو دوره خشک‌سالی و ترسالی بر پارامترهای کمی و کیفی رودخانه پلاسجان بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه پلاسجان واقع در غرب استان اصفهان در محدوده طول جغرافیایی ۳۲° ۵۰' و ۴۱° ۵۰' شمالی و عرض جغرافیایی ۵۸' ۳۳° و ۴۱' ۳۲° شرقی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از زیر حوزه‌های سد زاینده‌رود بوده که در قسمت شمالی این حوزه قرار دارد. حوضه آبخیز سد زاینده‌رود از زیر حوزه‌های، حوزه آبریز مرکزی ایران می‌باشد که شامل دو زیر حوزه عمده، رودخانه پلاسجان و شاخه اصلی زاینده‌رود است. رودخانه پلاسجان در غرب شهرستان داران و شرق شهرستان فریدون‌شهر و جنوب و غرب شهرستان خوانسار جاری است. رودخانه پلاسجان متشکل از سه شاخه رودخانه شامل دامنه، دهق، نهر خلیج می‌باشد که در نزدیکی روستای سواران به یکدیگر ملحق می‌شوند. متوسط آبدهی سالانه آن ۴/۱۵ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. مساحت این حوزه ۱۶۴۴ کیلومترمربع و محیط آن حوزه ۵۴۴ کیلومتر می‌باشد. حداکثر ارتفاع منطقه مورد مطالعه ۲۶۱۸ متر و حداقل ارتفاع ۲۰۷۰ متر می‌باشد در شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز پلاسجان نشان داده شده است. منطقه مورد مطالعه دارای میانگین دمای سالانه برابر با ۹/۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر و حداقل دما با ۱/۶۵ و ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداقل مطلق دما ۲۵- درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه و حداکثر مطلق آن ۳۸/۵ درجه

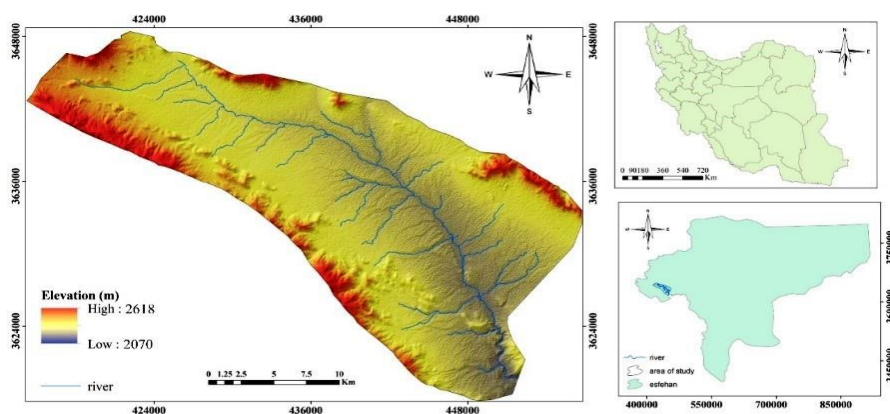


Fig. 1- The Study Watershed Location

شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز مورد مطالعه

شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

این شاخص بر اساس بارندگی‌های طولانی‌مدت برای هر منطقه به‌دست می‌آید. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار طولانی‌مدت بارندگی برازش داده شد که معمولاً از توزیع گاما استفاده می‌شود (Mckee et al., Sonmez et al., 2005). شدت خشک‌سالی و تداوم خشک‌سالی‌های هواشناسی در 1995. مقیاس‌های کوتاه‌مدت و خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های بلندمدت توسط این شاخص حاصل می‌شود. چنانچه سری‌های زمانی بارندگی ماهانه منطقه به‌صورت P_{ij} معرفی شوند که در آن اندیس i سال ایستگاه‌های هیدرولوژیک و اندیس j ماه مربوط به سال هیدرولوژیک را تعیین کند ($i=1$ مهر و $j=2$ شهریور) سری‌های زمانی بارندگی با مدت‌های مختلف با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$R_{ik} = \sum_{j=1}^k p_{ik} \quad (1)$$

$i=1, 2, \dots$
 $j=1, 2, \dots, 12$
 $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$

شاخص بارش استاندارد (SPI) بر اساس ارتفاع بارش تجمعی (Rik) برای دوره مینا (k) مربوط ب (i) سال هیدرولوژیک به‌صورت رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$SPI_{ik} = \frac{R_{ik} - R^-_k}{S_K} \quad (2)$$

R^-_k میانگین ارتفاع بارش تجمعی و S انحراف معیار بارش تجمعی برای دوره مینا (k) است. طبقه‌بندی وضعیت آب و هوا بر اساس شاخص بارش در جدول (۱) بیان شده است.

شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI)

چنانچه سری‌های زمانی از حجم جریان‌های رودخانه‌ای (Qij) وجود داشته باشد، در این صورت i سال هیدرولوژیک و j ماه مربوط به سال هیدرولوژیک را مشخص می‌کند ($i=1$ مهر و $j=2$ شهریور) این سری‌ها را می‌توان با استفاده از رابطه (۳) به‌دست آورد:

$$V_{ik} = \sum_{j=1}^{3K} Q_{ij} \quad (3)$$

$i=1, 2, \dots$
 $j=1, 2, \dots, 12$
 $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$

که در آن V_{ik} حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای می‌باشد. به‌عنوان مثال در $k=1$ برابر حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای در سه ماه اول سال آبی برای i سال هیدرولوژیک و k دوره مینا است ($k=1$ مهر تا آذر، $k=2$ مهر تا اسفند، $k=3$ مهر تا تیر، $k=4$ مهر تا شهریور) شاخص خشک‌سالی جریان‌های رودخانه‌ای بر اساس حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مینا (k) مربوط به i سال هیدرولوژیک به‌صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$SDI_K = \frac{V_{ik} - V_K}{S_K} \quad (4)$$

$i=1, 2, \dots$
 $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$

که در آن: V_k و S_K به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریان‌های تجمعی برای دوره مینا (K) در یک مدت طولانی است. جدول (۲) حالت‌های مختلف خشک‌سالی را طبق شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI) نشان می‌دهد (Nalbantis and Tsakiris, 2008).

جدول ۱- طبقه‌بندی وضعیت آب‌وهوا بر اساس مقادیر شاخص بارش استاندارد (SPI) (WMO, 2012)

Table 1- Classification of the weather status based on Standardized Precipitation Index values (WMO, 2012)

Class	SPI Values
Extremely wet	<2
Very wet	1.5 to 1.99
Medium Wet	1 to 1.49
Mild moist	0.5 to -0.99
Approximately normal	-0.49 to -0.49
Mild dry	-0.5 to -0.9
Medium dry	-1 to -1.49
Very dry	-1.5 to 1.99

جدول ۲- حالت‌های مختلف خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI) (Nalbantis and Tsakiris, 2008)

Table 2 - Different Modes of Standardized Discharge Index (Nalbantis and Tsakiris, 2008)

Drought situation	Range	Percentage probability
0 No drought	$0 \leq SDI$	51.6
1 Mild drought	$-1 \leq SDI \leq 0$	25
2 Medium drought	$-1.5 \leq SDI \leq -1$	12.5
3 Severe drought	$-2 \leq SDI \leq -1.5$	10.9
4 Very severe drought	$SDI < -2$	0

کیفیت آب رودخانه

به منظور بررسی کیفی جریان سطحی رودخانه پلاسجان، پارامترهای کیفی مورد بررسی شامل؛ کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، یون‌های بی‌کربنات (HCO_3^-)، سولفات (SO_4)، کلر (Cl)، کربنات (CO_3)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، همچنین نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم تبادل (Na%) می‌باشد. افزایش یا کاهش هر کدام از این عناصر کیفیت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاتیون‌های سدیم، منیزیم و کلسیم از جمله مهم‌ترین کاتیون‌ها و آنیون‌های بی‌کربنات، سولفات و کلر از جمله مهم‌ترین آنیون‌ها می‌باشند که خشک‌سالی و کاهش آبدهی رودخانه‌ها سبب تغییر غلظت آن‌ها در آب می‌شود. افزایش یا کاهش هر کدام از این عناصر به نوبه خود باعث تغییراتی در کیفیت آب می‌شود، به گونه‌ای که وجود کلسیم در آب باعث نفوذ بیشتر آب در خاک می‌شود، از نظر آبیاری هر چه میزان کلسیم بیشتر باشد، آب مطلوبیت بیشتری دارد. اما افزایش همین عنصر سبب سختی آب می‌شود که برای استفاده در صنعت و شرب مشکل‌ساز می‌شود (Alizade, 2004). بی‌کربنات مهم‌ترین آنیون موجود در آب‌های طبیعی می‌باشد. از دیگر آنیون‌هایی که در تمام آب‌های طبیعی وجود دارد کلر می‌باشد. در صورتی که غلظت کلر در آب افزایش پیدا کند به لحاظ رشد گیاه سمی خواهد بود. وجود سولفات نیز در آب باعث از بین بردن سازه‌های آبی می‌شود، در این صورت سازه‌های آبی بایستی با مصالح ضد سولفات ساخته شوند (Alizade, 2004).

تغییرات کاربری اراضی

ضمن بررسی گزارش‌های مختلف و بازدید از منطقه، اطلاعات پایه از جمله نقشه‌های موضوعی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و سایر اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری گردید. پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای برای محدوده مورد مطالعه، مراحل مختلف پردازش تصویر از نرم‌افزار انوی (ENVI) مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این در راستای بررسی تغییرات پوشش روش درست‌نمایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش مذکور فرض بر این است که همه مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال می‌باشند. در واقع نمونه کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده کرد تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته به وجود آید. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال پیکسل مورد نظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که بیشترین احتمال وابستگی پیکسل به آن کلاس هست (Alavipanah and Masoudi, 2000). قبل از تجزیه و تحلیل اطلاعات ماهواره‌ای لازم است، اصلاحاتی روی تصاویر خام انجام شود. در سنجش از دور خطاهای داده‌های خام، خطاهای ناشی از سنجنده و اثرات جوی است که برای تصحیح خطا نیز، روش تصحیح پراکنش اتمسفری و تصحیح

هندسی از نوع سیستماتیک استفاده می‌شود (Shalaby and Tateishi, 2007). از آنجایی که تصاویر مربوط به زمان‌های مختلف است و بازیابی ارتفاعی و نحوه تهیه آن‌ها مختلف است، نیاز است که اصلاحات رادیومتریک و جوی روی تصاویر انجام شود. پس از اعمال تصحیح اتمسفریک، وضوح تصویر به میزان قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر می‌شود. پس از انجام اصلاحات، برای تفسیر تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده مورد استفاده قرار گرفت. به این صورت که ابتدا کلاس‌های کاربردی موجود در منطقه، با انجام عملیات میدانی و بررسی مطالعه‌های قبلی و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی شناسایی شدند. بعد از این مراحل ترکیب رنگی کاذب در نرم‌افزار ایجاد و پس از برش محدوده با استفاده از نقاط آموزشی پنج کاربری کشاورزی، مرتع، جنگل، شهری و مسکونی و اراضی بایر مشخص و با انتقال به نرم‌افزار آرک جی آی اس درصد مساحت مربوط به هر کاربری برای دو سال، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۷ به دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج شاخص خشک‌سالی هواشناسی (SPI)

شاخص بارش استاندارد (SPI) در گام‌های زمانی شش، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه محاسبه شد. شکل (۲) بیانگر نتایج این شاخص برای ایستگاه داران می‌باشد. به منظور تشخیص مقیاس زمانی مناسب برای بررسی تغییرات اقلیمی بر پارامترهای مورد بررسی، از مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت استفاده شد. بر اساس شکل (۲) بیشترین شدت خشک‌سالی شهریور تا آبان ۹۵ و آبان تا فروردین ۹۶ تا ۹۷ می‌باشد. در مقیاس زمانی شش ماهه بیشترین مدت زمان وقوع خشک‌سالی در شش ماهه اول سال ۱۳۹۱، پنج ماهه اول سال ۱۳۹۴، سه‌ماهه دوم سال، ۱۳۸۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶، دو ماهه دوم سال ۱۳۹۱ و دو ماهه اول ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ وجود داشته است. در مقیاس‌های زمانی بالاتر تحلیل دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی با وضوح بیشتری صورت می‌گیرد. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه از شهریور ۸۶ تا اسفند ۸۷ مقدار شاخص خشک‌سالی حدود ۰/۹-، سه‌ماهه دوم سال ۱۳۸۹، مقدار شاخص خشک‌سالی حدود ۰/۹-، شش ماهه اول سال ۱۳۸۹، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶ خشک‌سالی مداوم داشته است و بیشترین رقم برآوردی شاخص خشک‌سالی مربوط به سال ۱۳۹۶ و ۲/۹- می‌باشد. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه نیز شاهد خشک‌سالی در شش ماهه اول ۱۳۹۵، ۱۳۹۷ در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه شاهد خشک‌سالی در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ بوده است. بر اساس شاخص بارش استاندارد منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۴۸ ماهه در محدوده خشک‌سالی تا نرمال قرار دارد. این مطلب بیان‌گر نقصان نزولات جوی و کاهش ذخیره رواناب داخل حوضه و به تبع آن منجر به وقوع پدیده خشک‌سالی هیدرولوژیکی می‌گردد. با توجه به نتایج این بخش به‌طور کلی، سال ۱۳۸۵ به‌عنوان سال تر و سال ۱۳۹۷ به‌عنوان سال خشک انتخاب شد. به‌منظور بررسی تأثیر گام زمانی خشک‌سالی بر تغییرات پارامترهای کیفی آب سطحی

افزایش گام‌های زمانی از شش ماه به ۴۸ ماه، از تعداد پارامترهای کیفی آب که دارای همبستگی معنی‌دار هستند، کاسته می‌شود. ضریب همبستگی معکوس در این گام زمانی گویای این است، با افزایش SPI و در دوره ترسالی غلظت برخی پارامترها کاهش می‌یابد و بالعکس. مقدار پارامترهای شوری، املاح محلول، نسبت جذب سدیم، سدیم و پتاسیم با افزایش شاخص بارش استاندارد کاهش می‌یابد و بین سایر پارامترها ارتباط معنی‌داری مشاهده نگردید.

در منطقه مورد مطالعه، از آزمون همبستگی بین شاخص بارش استاندارد (SPI) در گام‌های زمانی شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ و پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان استفاده شد. بر اساس جدول (۳) بین گام‌های زمانی پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان و شاخص بارش استاندارد در گام زمانی شش ماهه بیشترین ضریب همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد. لذا شاخص بارش استاندارد در گام زمانی شش ماهه دارای ارتباط معنی‌دار با پارامترهای کیفی آب می‌باشد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد با

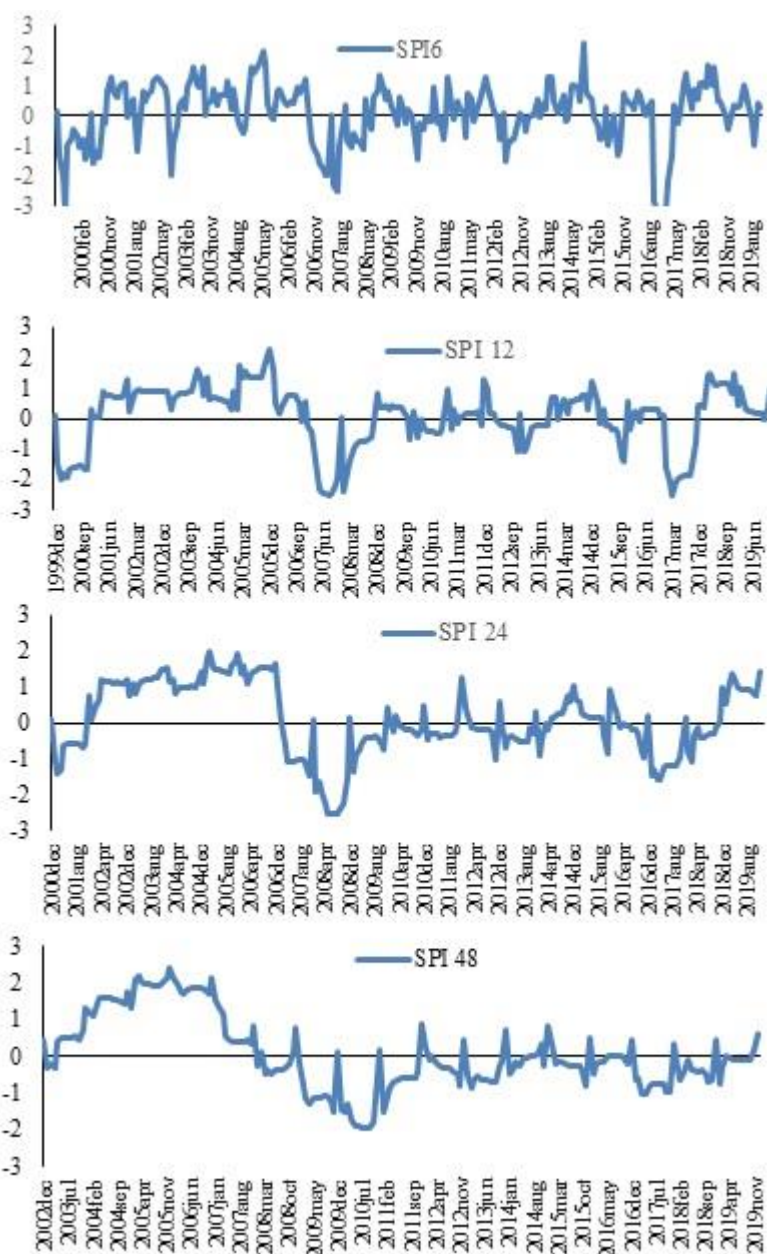


Fig. 2- Changes in the standard precipitation index at different time scales of synoptic station Daran

شکل ۲- تغییرات شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی مختلف ایستگاه سینوپتیک داران

جدول ۳- بررسی ارتباط خشک‌سالی هواشناسی در گام‌های زمانی مختلف بر پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان
Table 3- Investigation of the effect of meteorological drought in time steps on the qualitative parameters of Plasjan River

	SPI 6	SPI12	SPI 24	SPI 48
pH	0.367*	0.196	0.289	0.31
EC	-0.429*	-0.434*	-0.419*	-0.424*
TDS	-0.565**	-0.38	-0.36	-0.263
SAR	-0.541**	-0.372*	-0.381*	-0.261
%Na	-0.572**	-0.361*	-0.389*	-0.272
HCO ₃	-0.002	-0.369*	-0.34	-0.380*
CO ₃	0.242	0.179	0.234	0.179
Cl	-0.152	-0.053	-0.225	-0.086
SO ₄	-0.347	-0.176	-0.158	-0.103
Na	-0.498**	-0.397*	-0.397*	-0.29
Ca	-0.229	-0.159	-0.185	-0.231
Mg	-0.193	-0.552**	-0.474**	-0.447*
K	-0.530**	-0.268	-0.326	-0.238

مسکونی (۰/۹۳ درصد) می‌باشد (جدول ۵). نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز پلاسجان در سال ۱۳۹۷ نیز به عنوان سال خشک در شکل (۵) نشان داده است. که در این نقشه نیز پنج کاربری درختچه‌ای (دست‌کاشت)، مرتع، کشاورزی، بایر و شهری و مسکونی مشخص شده است که بیشترین مساحت کاربری مربوط به اراضی بایر (۳۵۲/۴۹ کیلومتر مربع) و کمترین مساحت مربوط به کاربری شهری و مسکونی (۲۵/۹ کیلومتر مربع) بوده است (جدول ۶). از دلایل تغییر مساحت کاربری‌ها در این دو سال، می‌توان به گسترش شهرنشینی اشاره کرد که برای تأمین غذای این جمعیت مجبور به زیر کشت بردن اراضی بیشتری است؛ در نتیجه کاربری‌های کشاورزی و شهری و مسکونی در طول مدت مورد مطالعه افزایش و کاربری‌های مرتع و درختچه‌های دست کاشت کاهش یافته‌اند. بر اساس نتایج بیشترین تغییرات کاربری اراضی در حوضه مورد مطالعه مربوط به کاربری مرتع با کاهش ۵۱/۵ درصد و بعد از آن کاربری درختچه‌ای با کاهش ۱۶ درصد می‌باشد. همچنین کمترین تغییرات کاربری در این دوره مربوط به کاربری شهری و مسکونی با افزایش چهار درصد می‌باشد. کاربری‌های کشاورزی و بایر نیز به ترتیب حدود نه و هشت درصد در طول مدت مورد مطالعه افزایش مساحت داشته‌اند. با توجه به این که کشاورزی و دامداری از مشاغل اصلی ساکنان این منطقه است، به دلیل بارندگی‌های مناسب در این ناحیه، دیم‌کاری مورد توجه ساکنین قرار گرفته است، لذا اقدام به تغییر کاربری مرتع و جنگل‌های دست کاشت به کاربری دیم کرده و سبب تخریب این اراضی و تبدیل آن‌ها به زمین‌های بایر شده‌اند. در نهایت می‌توان گفت بیشترین تغییرات مربوط به اراضی مرتع است که در اثر چرای بیش از حد از ظرفیت دام در مراتع و تغییر کاربری مراتع به کشت دیم با حداقل راندمان میانگین تولید در واحد سطح موجب افزایش رسوب، رواناب و شستشوی کودهای شیمیایی و املاح خاک به رودخانه‌ها شده است. در دوره ترسالی اراضی درختچه‌ای و مرتع در اطراف منطقه متمرکز بوده که با رخ دادن خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از بین رفته و تبدیل به زمین‌های بایر و شهری شده‌اند.

وضعیت آب‌های سطحی بر اساس شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک (SDI)

بر اساس شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک (SDI)، در طول مدت زمان دهه هشتاد رخداد خشک‌سالی هیدرولوژیکی روند افزایشی را نشان می‌دهد و از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ اکثراً بین شرایط خشک‌سالی تا نرمال بوده و بعد از تقریباً طی یکسال شرایط ترسالی شاخص بارش استاندارد، از اسفند سال ۱۳۹۷ ترسالی هیدرولوژیکی آغاز شده است (شکل ۳). با هدف بررسی تأثیر گام زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیک بر تغییرات پارامترهای کیفی آب سطحی در منطقه مورد مطالعه، آزمون همبستگی بین شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک در گام‌های زمانی شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ و پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان بکار برده شد. بر اساس جدول (۴) نیز بین شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک رودخانه در گام زمانی شش ماهه با پارامترهای کیفی بیشترین ضریب همبستگی وجود دارد. لذا شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک رودخانه در گام زمانی شش ماهه دارای ارتباط معنی‌داری با پارامترهای کیفی آب می‌باشد. ضریب همبستگی در این گام زمانی مثبت است، بیانگر این است که با افزایش خشک‌سالی هیدرولوژیک غلظت برخی پارامترها افزایش می‌یابد. مقدار پارامترهای شوری، املاح محلول، نسبت جذب سدیم، سدیم، سولفات و پتاسیم با افزایش خشک‌سالی هیدرولوژیک افزایش می‌یابد و بین سایر پارامترها ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. همچنین با افزایش گام زمانی به ۲۴ و ۴۸ ماه تنها پارامتر pH همبستگی معنی‌دار مثبت با شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک دارد.

بررسی تغییرات کاربری اراضی

شکل (۴) نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز پلاسجان در سال ۱۳۸۵ به عنوان سال تر را نشان می‌دهد. در این نقشه، پنج کاربری درختچه‌ای (دست‌کاشت)، مرتع، کشاورزی، بایر و شهری و مسکونی مشخص شده است که بیشترین مساحت کاربری در این سال به ترتیب مربوط به کاربری بایر (۶۰ درصد)، درختچه‌ای (۱۸ درصد)، مرتع (۱۳ درصد)، کشاورزی (۸/۲۴ درصد) و شهری و

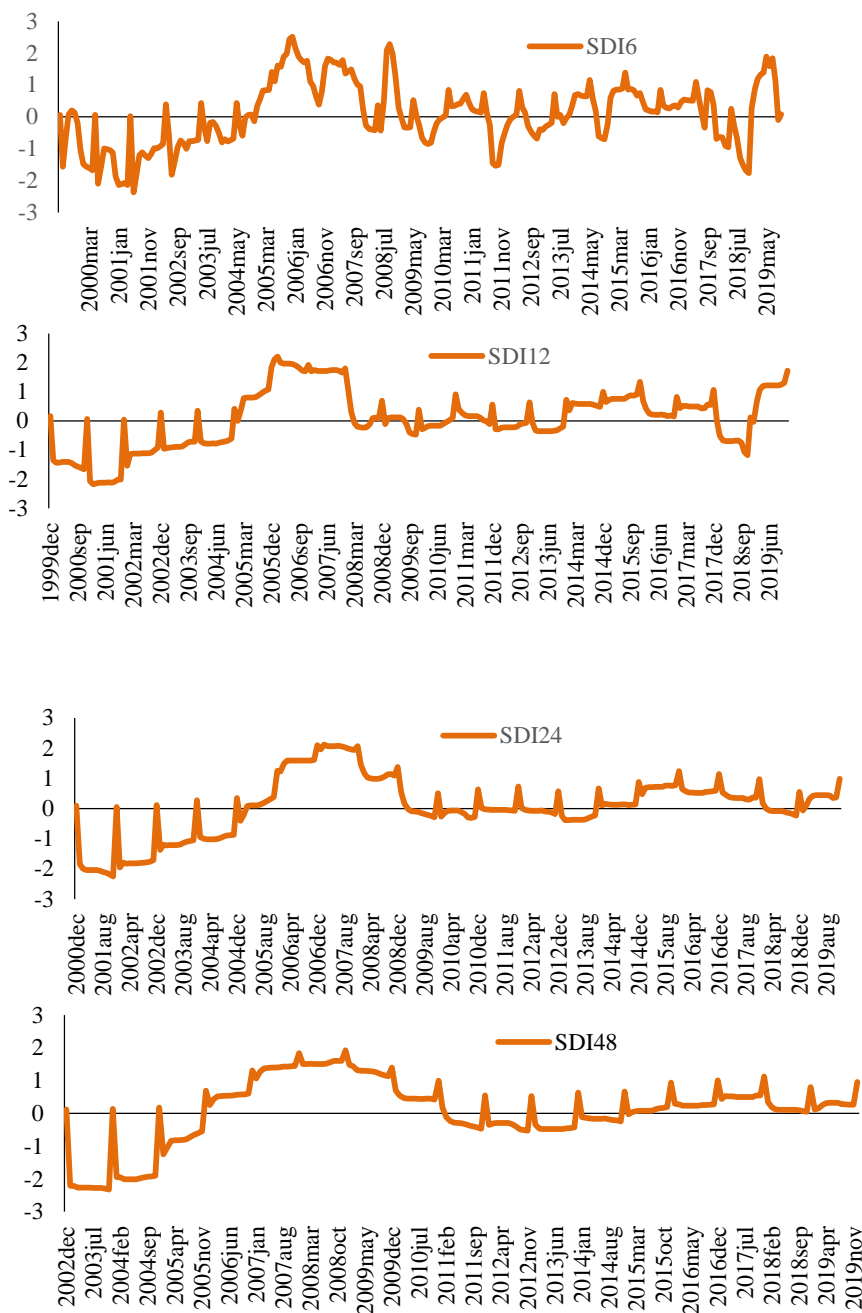


Fig. 3- Investigation of the impact of the temporal steps hydrological drought

شکل ۳- بررسی تأثیر گام‌های زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیک

جدول ۴- بررسی ارتباط خشک سالی هیدرولوژیک در گام‌های زمانی بر پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان
 Table 4- Investigation of the effect of hydrological drought in time steps on the qualitative parameters of Plasjan River

	SDI 6	SDI 12	SDI 24	SDI 48
pH	-0.261	0.183	0.468*	0.491*
EC	0.684**	0.506*	0.033	-0.005
TDS	0.623*	0.317	-0.001	-0.065
SAR	0.501*	0.468*	0.258	0.197
%Na	0.448*	0.409	0.264	0.206
HCO ₃	0.094	0.152	0.03	0.069
CO ₃	0.089	0.181	0.223	0.224
SO ₄	0.591**	0.336	-0.078	-0.143
Cl	0.342	0.467*	0.089	0.068
Na	0.444*	0.4	0.121	0.063
Ca	0.586**	0.336	-0.148	-0.181
Mg	0.026	0.262	-0.075	-0.071
K	0.497*	0.161	0.042	-0.015

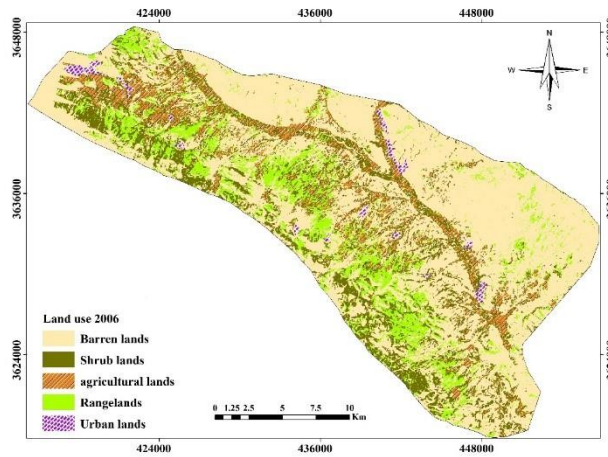


Fig. 4- Land use distribution map in the year 2006 (Wet Year)
 شکل ۴- نقشه توزیع کاربری اراضی در سال ۱۳۸۵ (ترسالی)

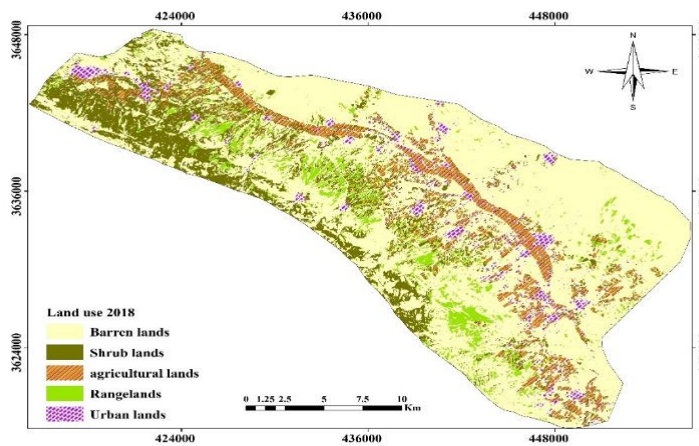


Fig. 5- Land use distribution map in the year 2018 (drought)
 شکل ۵- نقشه توزیع کاربری اراضی در سال ۱۳۹۷ (خشک سالی)

جدول ۵- مساحت و درصد مساحت کاربری‌های مختلف در ترسالی سال ۱۳۸۵
Table 5- Area and percentage of different land uses in the year 2006

Land users	Percentage of area	Area (Km ²)
Rangelands	13	70.72
Shrubs lands	17.89	97.31
Agriculture lands	8.24	44.81
Barren lands	59.92	325.94
Urban lands	0.93	5.09

جدول ۶- مساحت و درصد مساحت کاربری‌های مختلف در خشک‌سالی سال ۱۳۹۷
Table 6- Area and percentage of different land uses in the year 2018

Land users	Percentage of area	Area (Km ²)
Rangelands	6.3	34.75
Shrubs lands	15	81.6
Agriculture lands	9	49.03
Barren lands	64.8	352.49
Urban lands	4.7	25.9

خشک نیز بین کاربری مرتع و کلر، نسبت جذب سدیم و سولفات در سطح پنج درصد و سدیم در سطح یک درصد همبستگی معکوس و معنی‌دار وجود دارد. همچنین بین کاربری بایر و نسبت جذب سدیم همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد، کاربری شهری نیز در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد سبب افزایش مواد جامد محلول در آب شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بیشترین همبستگی معنی‌دار بین کاربری مرتع و پارامترهای کیفی آب در سال خشک وجود دارد. به‌طور کلی در سال‌های تر و خشک بین کاربری مرتع و درختچه‌های دست کاشت و اکثر پارامترهای کیفی آب ارتباط منفی و بین کاربری‌های بایر و شهری و پارامترهای کیفیت آب ارتباط مثبت وجود داشت هرچند به صورت آماری معنی‌دار نبود. به این ترتیب تاثیر مثبت کاربری‌های مرتع و جنگل‌های دست کاشت و تاثیر منفی کاربری‌های بایر و شهری بر کیفیت منابع آب سطحی مشخص می‌شود.

ارتباط بین الگوهای کاربری زمین و پارامترهای کیفیت آب سطحی

بر اساس جدول (۷) در دوره ترسالی بین کاربری کشاورزی و برخی املاح آب مانند هدایت الکتریکی آب، مواد جامد محلول در آب، نسبت جذب سدیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. بدین معنی است که با افزایش درصد مساحت کشاورزی غلظت آن‌ها نیز افزایش پیدا کرده، که این افزایش در برخی املاح درعین‌حال که می‌تواند مفید باشد، سبب سختی آب شده که استفاده از آن را در شرب و صنعت محدود می‌سازد. بین سایر کاربری‌های دیگر با پارامترهای کیفیت آب ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. بدین معنی است که با کاهش درصد مساحت مرتع و جنگل دست کاشت مقدار شوری، املاح محلول، سدیم، سولفات، بی‌کربنات و نسبت جذب سدیم نیز افزایش یافته است و سبب کاهش کیفیت آب می‌شوند. همچنین بین اکثر شاخص‌های کیفیت آب با کاربری‌های بایر و شهری ارتباط مثبت ولی غیرمعنی‌دار مشاهده گردید. در سال

جدول ۷- ضریب همبستگی پیرسون میان مساحت کاربری اراضی و پارامترهای کیفیت آب سطحی در طول سال‌های خشک و تر در حوضه آبخیز رودخانه پلاسجان

Table 7- Pearson correlation coefficient between land use area and surface water quality parameters during dry and wet years in Watershed Plasjan

Year 2006 (Wet)					
parameter	Agriculture	Shrubs	Range	Barren	Urban
EC	0.534*	-0.057	-0.087	0.120	-0.381
pH	0.208	-0.077	0.238	0.008	0.171
TDS	0.590**	-0.049	-0.150	0.195	0.366
SAR	-0.634**	-0.266	-0.041	-0.225	0.308
Ca ²⁺	0.494*	-0.244	0.051	0.095	-0.329
Na ⁺	0.000	-0.284	-0.088	0.211	0.324
Mg ²⁺	0.611**	0.0570	-0.317	0.133	0.207
K	0.109	-0.166	0.452	0.095	0.297
CO ₃ ²⁻	-0.139	-0.171	-0.185	0.093	0.181
HCO ₃ ²⁻	0.460*	-0.136	-0.240	0.210	-0.073
Cl ⁻	0.615**	-0.063	0.225	-0.049	0.396
SO ₄ ⁻	0.484*	-0.194	-0.175	0.102	0.222
Year 2018 (Drought)					
EC	0.083	-0.137	0.245	-0.138	-0.212
pH	-0.163	-0.103	0.005	0.099	0.149
TDS	0.066	0.104	-0.238	0.097	0.590**
SAR	-0.012	-0.005	-0.446*	0.402*	0.165
Ca ²⁺	-0.069	0.189	-0.283	0.175	-0.236
Na ⁺	0.002	-0.004	-0.491**	0.176	0.018
Mg ²⁺	0.307	-0.141	-0.109	0.153	0.281
K	-0.101	-0.125	-0.162	0.205	0.333
CO ₃ ²⁻	-0.121	-0.131	-0.459*	0.104	-0.133
HCO ₃ ²⁻	0.249	-0.001	-0.031	0.079	0.252
Cl ⁻	0.271	0.177	-0.461*	-0.319	0.203
SO ₄ ⁻	-0.121	-0.050	-0.404*	0.050	-0.137

(* and ** Respectively significant at the 95% and 99% levels)

هشت درصد) و شهری و مسکونی (چهار درصد) می‌باشد. از علت کاهش درصد مساحت کاربری مرتع و درختچه‌های دست کاشت در سال ۱۳۹۷ می‌توان به وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در طول این مدت در منطقه و توسعه مناطق با کاربری مسکونی و بایر (Rahdari et al., 2019) اشاره کرد. تحقیقی در حوضه آبخیز پلاسجان نشان داد که رهاسازی ۱۳۵۰ هکتار از اراضی کشاورزی دیم و تبدیل آن‌ها به اراضی بایر به علت از دست دادن قابلیت کشت و به‌ویژه بالا آمدن لایه آهک زیرین در اثر فعالیت‌های خاک ورزی بوده است (Rahdari et al., 2019) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. نکته قابل توجه دیگر این است که هم در دوره ترسالی و هم در دوره خشکسالی بین اکثر پارامترهای کیفی آب و مساحت کاربری‌های شهری و بایر ارتباط مثبت و بین این پارامترها و

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک حاکی از افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها به‌ویژه خشکسالی هیدرولوژیک در سال‌های بعد از خشکسالی هواشناسی با تأخیر زمانی ۱۲ ماهه است. در بررسی گام زمانی خشکسالی مؤثر بر کمیت و کیفیت منابع آبی مشخص شد، خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در تأخیرهای زمانی شش ماهه، اثرات خود را بر پارامتر کیفی منابع آبی رودخانه پلاسجان گذاشته است و با افزایش گام‌های زمانی هر دو شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک از شش ماه به ۴۸ ماه از تعداد پارامترهای کیفی آب که دارای همبستگی معنی‌دار هستند، کاسته می‌شود. نتایج نشان‌دهنده کاهش درصد مساحت درختچه‌ای (۱۶ درصد) و مرتع (۵۱ درصد) و افزایش مساحت کاربری کشاورزی (نه درصد)، بایر

خشک‌سالی و افزایش کاربری کشاورزی در ترسالی بود. بررسی تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهد در سال ۱۳۸۵ افزایش کاربری کشاورزی، افزایش برخی پارامترها سبب کاهش کیفیت آب رودخانه پلاسجان شده و در سال ۱۳۹۷ کاهش کاربری مرتع سبب افزایش برخی پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان شده است. نتیجه این پژوهش با Karimirad et al. (2019); Ghafari et al. (2020); Akbari et al. (2020); Malekpurlark et al. (2020) مطابقت دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کیفیت منابع آب سطحی تحت تاثیر مدیریت کاربری اراضی و استفاده صحیح از زمین خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد. تحقیقات مشابه می‌تواند در راستای بهبود وضعیت کمی و کیفی منابع آبی اثرگذار باشد و به مدیران برای مدیریت منابع آبی قبل از وقوع مشکلات تأمین و تخصیص کمک نماید.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با مساعدت شرکت آب منطقه‌ای اصفهان- سازمان هواشناسی استان اصفهان- اداره منابع طبیعی استان اصفهان صورت گرفته، که بدین وسیله لازم است تا از تمامی کسانی که ما را در این مسیر همراهی نموده‌اند، قدردانی به عمل آوریم.

کاربری‌های مرتع و درختچه‌های دست کاشت رابطه منفی مشاهده می‌گردد. به عبارت دیگر کاربری‌های مرتع و درختچه‌ای اثر مثبت و کاربری‌ای بایر و شهری تاثیر منفی بر کیفیت آب سطحی منطقه مورد مطالعه داشته است و در دوره خشک‌سالی این تاثیر منفی بیشتر وجود دارد. در دوره خشک‌سالی و با افزایش مساحت کاربری‌های بایر، کشاورزی و شهری و کاهش مساحت کاربری مرتع و درختچه‌های دست‌کاشت، تغییراتی در همبستگی پارامترهای کیفی آب و کاربری در مقایسه با دوره ترسالی بوجود آمد و کیفیت آب سطحی با برداشت بیشتر منابع آب سطحی و تغییرات شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک کاهش یافت و بیشترین همبستگی معنی‌دار بین کاربری مرتع و شاخص‌های کیفیت آب مشاهده گردید. به عبارت دیگر کاربری مرتع و تغییرات مساحت آن بیشترین تاثیر را بر کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه داشته است. همانطور که Allen (2004) نشان داد که کاربری‌های جنگل و مرتع به کاهش رواناب سطحی و رسوب در حوضه‌های آبخیز کمک می‌کنند. نتیجه این پژوهش با تحقیقات Gheysouri et al. (2019); Rajabzadeh et al. (2018); Boudad et al. (2021); Katipoğlu et al. و MesbahZadeh و SoleimaniSardoo (2018) همسو است. در بررسی تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت منابع آبی، نتایج گویای کاهش کیفیت آب در پی کاهش کاربری مرتع و افزایش کاربری شهری در

References

- 1- Akbari, J., Kazemzadeh, M., and Alipour, H. 2020. Surface Water Quality Evaluation under Land Use Changes (Case study: Mahabad Chai Watershed). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 7(4), PP. 41-54. (In Persian).
- 2- Alavipanah, S. K. and Masoudi, M. 2000. Land Use Mapping Using Landsat TM and Geographic Information System (GIS), a Case Study: Mouk Region of Fars Province. *Journal of Agriculture Science Natural Resources*, 8(1). PP.65-75.
- 3- Allen, J. D. 2004. The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 35, 257-284.
- 4- Alizadeh, A. 2004. *Principles of Applied Hydrology*. Imam Reza University.942 p. (In Persian).
- 5- Azhar, S. C. 2021. Land Use and River Water Quality Relationships in the Muda River Basin, Malaysia. *Educatum Journal of Science, Mathematics and Technology*, 8(1), PP. 36-48. Doi: 10.37134/ejsmt.vol8.1.5.2021.
- 6- Boudad, B., Sahbi, H., and Mansouri, I. 2018. Analysis of meteorological and hydrological drought based in SPI and SDI index in the Inaouen Basin (Northern Morocco). *Journal of Materials and Environmental Science*, 9(1). PP. 219-227. Doi: 10.26872/jmes.2018.9.1.25.
- 7- Ding, Y., Xu, J., Wang, X., Cai, H., Zhou, Z., Sun, Y., and Shi, H. 2021. Propagation of meteorological to hydrological drought for different climate regions in China. *Journal of Environmental Management*, 283, PP.111980-111980. doi:10.1016/j.jenvman.2021.111980.
- 8- Farokhzadeh, B. Ildoromi, A. Attaeian, B. and Nourouzi, M., 2016. Evaluation of the Effects of Land Use Changes on Suspended Load Using SWAT Model (Case Study: Yalfan Watershed Hamadan

- Province). *Environmental Erosion Research*, 3(19), PP. 28-46. Dor: 20.1001.1.22517812.1394.5.3.5.5. (In Persian).
- 9- Ghafari, S., Moradi, H. R., and Moddares, R. 2020. The impact of Land Use Change on Groundwater Level in Isfahan-Borkhar, Najafabad and Chadegan Plains. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(9), PP. 2355-2371. Doi: 10.22059/IJSWR.2019.275564.668126. (In Persian).
 - 10- Gheysouri, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S., and Ghasemi, M. 2018. Assessment of Meteorological and Hydrological Drought and its Effect on Water Quality: (Case Study: Godarkhosh River). *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(4), PP. 91-105. Doi: 10.22055/JISE.2017.20927.1499. (In Persian).
 - 11- Heshmatpour, A., Jandaghi, N., Pasand, S., and Ghareh Mahmoodlu, M. 2020. Drought effects on surface water quality in Golestan province for Irrigation Purposes, Case study: Gorganroud River. *Journal of Physical Geography Quarterly*, 12(48), PP. 75-88. Dor: 20.1001.1.20085656.1399.13.48.6.0. (In Persian).
 - 12- Jincy Rose, M. A., and Chithra, N. R. 2022. Establishing a statistical relation between meteorological and hydrological drought indices. *Water Supply*, 22(4), PP.4262-4277. Doi: 10.2166/ws.2022.048.
 - 13- Karimirad, I., Ebrahimi, K., and Araghnejad, S. 2019. Assessing the Impact of Land-use Changes on Recharging of a Multilayer Aquifer. *Jornal of Watershed Management Science&Engineering*, 12(43), PP. 50-60. Dor: 20.1001.1.20089554.1397.12.43.5.8. (In Persian).
 - 14- Katipoğlu, O. M., Acar, R., and Şenocak, S. 2021. Spatio-temporal analysis of meteorological and hydrological droughts in the Euphrates Basin, Turkey. *Water Supply*, 21(4), PP. 1657-1673. Doi: 10.2166/ws.2021.019.
 - 15- Lei, C., Wagner, P. D., and Fohrer, N. (2021). Effects of land cover, topography, and soil on stream water quality at multiple spatial and seasonal scales in a German lowland catchment. *Ecological Indicators*, 120, 106940. Doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106940.
 - 16- Lotfirad, M., Esmaili-Gisavandani, H., and Adib, A. 2022. Drought monitoring and prediction using SPI, SPEI, and random forest model in various climates of Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 13(2), PP.383-406. Doi: 10.2166/wcc.2021.287.
 - 17- Malekpurlarki, S., Khorsandi Kouhanstani, Z., and Faraji, M. 2020. Evaluation of impacts of land use change on Shavoor River water quality. *Watershed Engineering and Management*, 12(2), PP.580-592. Doi: 10.22092/ijwmse.2018.109145.1265. (In Persian).
 - 18- Malik, A., Kumar, A., Salih, S.Q. and Yaseen, Z.M., 2021. Hydrological drought investigation using streamflow drought index. *intelligent data analytics for decision-support systems in Hazard mitigation: theory and practice of hazard mitigation*, pp.63-88. Doi: 10.1007/s11269-012-0026-0.
 - 19- McKee, T.B., Doesken, N. J., and Kleist, J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *In Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology*, pp. 233-236.
 - 20- MesbahZadeh, T., and SoleimaniSardoo, F. 2018. Temporal trend study of hydrological and meteorological drought in Karkkeh watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(40), PP.105-114. Dor: 20.1001.1.20089554.1397.12.40.12.9. (In Persian).
 - 21- Mishra, B. K., Regmi, R. K., Masago, Y., Fukushi, K., Kumar, P., Saraswat, C. 2017. Assessment of Bagmati river pollution in Kathmandu Valley: Scenario-based modeling and analysis for sustainable urban development. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9, PP. 67-77. Doi: 10.1016/j.swaqe.2017.06.001
 - 22- Moradi, H., Taghavi, N., and Bahramifar, N. 2012. Effect of Different Land Use On Surface Water Quality Case Study: Siahrood Ghaemshahr Watershed. *Environmental Erosion Researches*, 1(4), PP. 23-32. (In Persian).

- 23- NafiShehab, Z., Jamil, N. R., Aris, A. Z., and Shafie, N. S. 2021. Spatial variation impact of landscape patterns and land use on water quality across an urbanized watershed in Bentong, Malaysia. *Ecological Indicators*, 122, PP.107254. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107254.
- 24- Nalbantis, G., and Tsakiri, S. 2008. Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*, 23(5), pp. 881-891.
- 25- Nazarnezhad, H., Irani, T., and Miryaghobzadeh, M. 2019. Investigation of land use change effects on water quality of Zarrinehroud Basin (West Azarbaijan). *Watershed Engineering and Management*, 11(1), PP.76-87. (In Persian).
- 26- Nikbakht, J., and Moradi, O. 2019. Effect of Drought on Hashtgerd Plain Groundwater Quantity and Quality Considering Irrigation Use. *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 120-131.
- 27- Organization of Agriculture Jihad Isfahan, 2011. (In Persian).
- 28- Rahdari, V., Safianian, A.R. Pourmanafi, S. Qayumi Mohammadi, H., Maleki, S. and Pormardan, V. 2019. Multi-criteria assessment of land capability for rainfed farming (case study: Plasjan watershed sub-basin). *Journal of Soil and Water Sciences*, 23(4), 297-285. (In Persian).
- 29- Rajabzadeh, S., Masaedi, A., and Qabaei Souq, M. 2019. Investigation of Temporal Variatiom and Relationship between Meteorological and Hydrological Droughts of Kashmar and Bardaskan Plain. *8th National conference on Rainwater Catchment systems, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*. (In Persian).
- 30- Salimi, H., Asadi, E. and Darbandi, S., 2021. Meteorological and hydrological drought monitoring using several drought indices. *Applied Water Science*, 11, pp.1-10.
- 31- Šebenik, U., Brilly, M. and Šraj, M., 2017. Drought analysis using the standardized precipitation index (SPI). *Acta geographica Slovenica*, 57(1), pp.31-49. doi.org/10.3986/AGS.729.
- 32- Shahrokhi, Z., Zare, M., Maybodi, A. M., and Aliabad, F. A. 2019. The effect of drought on surface water quality of the Halil-Rood basin, Kerman. *Journal of Water and Soil Science*, 23(3), PP. 367-379. (In Persian).
- 33- Shalaby, A., and Tateishi, R. 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied geography*, 27(1), PP. 28-41. Doi: 10.1016/j.apgeog.2006.09.004.
- 34- Soltani-Gerdefaramarzi, S. Gheisouri, M., Saberi, A. and Yarami, N. 2021. The effect of land use change on surface water quality under the wet and dry years in a semi-arid catchment (case study: Godarkhosh catchment). *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), PP. 5371-5385.
- 35- Sonmez, F.K., Komuscu, A.U., Erkan, A., and Turgu, E., 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards*, 35, PP. 243–264.
- 36- Tahiru, A. A., Doke, D. A., and Baatuuwie, B. N. 2020. Effect of land use and land cover changes on water quality in the Nawuni Catchment of the White Volta Basin, Northern Region, Ghana. *Applied Water Science*, 10(8), PP. 1-14.
- 37- WMO. 2012. *Standardized Precipitation Index User Guide*. No. 1990. Geneva 2, Switzerland. 16 P.

EXTENDED ABSTRACT

The effect of the vortex caused by obstacles and its reduction, on the dimensions of the flow separation area at the beginning of the lateral intake

F. Ferdospanah^{1*} and M. Ghomeshi²

1 - Corresponding Author, Master's degree in Hydraulic Structures Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (ferdospanahfaez@gmail.com).*

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

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 8 June 2022

Revised: 6 September 2022

Accepted: 11 September 2022

Keywords:

90 degree intake, sediment, cubic obstacles, discharge ratio

TO CITE THIS ARTICLE :

Ferdospanah, F., Ghomeshi, M. (2023). 'The effect of the vortex caused by obstacles and its reduction, on the dimensions of the flow separation area at the beginning of the lateral intake', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(3), pp. 121-133. doi: 10.22055/jise.2017.22184.1592.

Introduction

Vortex shedding behind the obstacles is one of the factors affecting the transfer of sediments to the downstream of the structures. The flow entering the intake has a lot of momentum in the direction of the main channel, and because of this, flow separation occurs inside the intake. This area reduces the effective cross section of the flow at the beginning of the intake. On the other hand, increasing the flow pressure of the downstream mouth of the intake, the complex flow pattern in the mouth of the intake causes changes in the alluvial bed of the open channels. Haghbin and Ghomeshi (2014) by investigating the effect of the vortex caused by the cylindrical obstacles located in the intake with diameters of 24 and 34 mm and with two discharge ratios (the ratio of flow rate per unit width of the intake to flow rate per unit width of the main channel) 0.63 and 0.83 for flow rate of 21.17 liters per second and two intake ratios of 0.43 and 1.07 for the flow rate of 17.82 liters per second, they reached these results that in the case of using obstacles with a larger diameter, the amount of bed sediments entering the water intake, in comparison it is less by using obstacles with a smaller diameter. Also, the amount of sediment entering the intake in the case of a smaller intake is less than that of a larger intake. In another paper, Khanarmuei et al (2016) discussed the effect of vortex formation on sediment transport in two-pipe intake. The intended research was investigated using a scaled physical model. Experiments were performed on the inlets of two pipes in three common inlet directions (vertical, horizontal, and at an angle of 45 degrees). In each experiment, the category of the vortex was determined according to its strength. Particle tracking velocity (PTV) was used to measure the tangential velocity of vortices. The results showed that the speed of sediment transport is significantly affected by the strength of the formed eddies. With the increase in the strength of the eddies, the rate of transfer sedimentation increased. Also, the amount of sediment transfer was affected by the inlet angle of the pipe. It can be concluded that the minimum and maximum sediment transfer rates occur for inclined and horizontal intakes, respectively. In the past researches,

understanding the pattern of sedimentation in the entrance and inside the intake, in the presence of obstacles and vortex formation, has received less attention. In this research, by using cubic obstacles in the case of the flow hitting the top of the obstacles, which has a greater vortex strength after the obstacles compared to the case of hitting the side, an attempt was made to investigate the effect of the vortex on the dimensions of the separation area at the beginning of the intake according to the sediment pattern.

Methodology

The experiments related to this research were carried out by using a laboratory flume with a rectangular section of 6.5 meters in length, 1.45 meters in width and one meter in height in the laboratory of the Sediment Research Center of the Deputy of Basic Studies and Water Resources of Khuzestan Water and Power Organization. The intake with 90 degree connection is considered to be 3 meters long, 0.68 meters wide and 0.6 meters high. The sediments used in this research are of uniform sand type with an average diameter (d_{50}) of 0.65 mm. According to the influential role of water intake ratio on the dimensions of the separation area at the beginning of the water intake, four different discharge intake ratios were considered: 0.3, 0.35, 0.4 and 0.45.

Results and discussion

According to the calculations based on the characteristics of the flow and the existing sediments and using the shields diagram, the sediments in the flow with a depth of 12 cm are at the threshold of movement. To be sure, this mode was also tested in the laboratory. In the experiments of this research, according to the sedimentation pattern in the intake, after the completion of each test, the values of the length and width of the separation area of the intake were taken. Then the results of the corresponding harvests were drawn for different test modes and in different discharge ratios. In the calculations of this research, the results related to the length and width of the separation zone at the beginning of the intake, in the state of obstacles and the presence of the vortex caused by them, were examined. By placing obstacles in the flow path and creating a vortex caused by the obstacles, it can be seen that in both cases of parallel and zigzag arrangement of obstacles, the values of the length and width of the separation zone are reduced. Also, in these cases, it can be stated that with the increase of discharge ratio, the dimensions of the separation area at the beginning of the intake are reduced. Table (1) shows the results related to the size of the length and width of the separation zone at the beginning of the intake, in the state of placement of obstacles and the presence of the vortex caused by them.

Table 1- The specifications of the tests carried out and the results obtained in the case of the presence of the vortex

the test number	obstacle arrangement	Discharge ratio (Qr)	Froude number (Fr)	the longitudinal ratio of the separation area (Lr)	The transverse ratio of the separation area (Wr)
1	Parallel	0.3	0.036	1.08	0.3
3	Parallel	0.35	0.057	0.92	0.29
5	Parallel	0.4	0.065	0.92	0.235
7	Parallel	0.45	0.102	0.88	0.2
9	Zigzag	0.3	0.036	0.88	0.22
11	Zigzag	0.35	0.057	0.63	0.16
13	Zigzag	0.4	0.065	0.45	0.132
15	Zigzag	0.45	0.102	0.38	0.088

Next, by placing the plates between the obstacles and as a result reducing the vortex effect, the dimensions of the flow separation area at the beginning of the intake were taken, the results of which are shown in Table (2).

Table2- The specifications of the conducted tests and the results obtained in the mode of reducing the vortex effect

the test number	obstacle arrangement	Discharge ratio (Qr)	Froude number (Fr)	the longitudinal ratio of the separation area (Lr)	The transverse ratio of the separation area (Wr)
2	Parallel	0.3	0.036	0.7	0.33
4	Parallel	0.35	0.057	0.67	0.32
6	Parallel	0.4	0.065	0.48	0.29
8	Parallel	0.45	0.102	0.41	0.26
10	Zigzag	0.3	0.036	0.735	0.19
12	Zigzag	0.35	0.057	0.6	0.161
14	Zigzag	0.4	0.065	0.176	0.044
16	Zigzag	0.45	0.102	0.161	0.014

Conclusion

According to the different arrangements of obstacles, in the case of parallel arrangement of obstacles, the width of the separation zone increases and the length of this zone decreases in water intake ratios of 0.3 and 0.35. By placing the plates between the obstacles and reducing the effect of the vortex, the dimensions of the separation zone in the state of zigzag arrangement of the obstacles are reduced compared to the states without obstacles and with the presence of the vortex. If obstacles are placed in parallel and plates are used between the obstacles, we see a decrease in the length of the separation zone and an increase in its width compared to the cases without obstacles and with the presence of the vortex.

Acknowledgements

This paper is prepared from the results of the master's thesis of the first author and with the support of the research unit of the university through the grant of the second author (98.86.WH.SCU). The authors express their gratitude to the research assistant of Shahid Chamran University of Ahvaz and Khuzestan Water and Power Authority for the use of laboratory facilities.

References

1. Haghbin, A. & Ghomeshi, M., 2014. *Experimental investigation of the effect of vortex barriers on sedimentation in the inlet of water intakes*. Karaj, National Conference of Applied Civil Engineering and New Achievements, Karaj Desert Construction Company
- 2- Khanarmuei, M., Rahimzadeh, H., Kakuei, A. R. & Sarkardeh, H., 2016. Effect of vortex formation on sediment transport at dual pipe intakes. *Sādhanā*, Volume 41, pp. 1-7.



تأثیر ورتکس ناشی از موانع و کاهش آن، بر ابعاد ناحیه جدانشدگی جریان در ابتدای آبگیر جانبی

فایز فردوس پناه^{۱*} و مهدی قمشی^۲

^۱ - نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست،

دانشگاه شهید چمران اهواز ferdospanahfazez@gmail.com

^۲ - استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸

چکیده

جریان ورودی به آبگیر به دلیل مومنتم بالا در جهت کانال اصلی سبب ایجاد جدایی جریان درون آبگیر می‌شود. در این تحقیق، با به کارگیری موانع در دو حالت چیدمان موازی و زیگزاگی و در شرایط وجود و کاهش ورتکس ناشی از موانع در مسیر جریان، سعی در بررسی میزان تأثیر ورتکس بر ابعاد ناحیه جدانشدگی ابتدای آبگیر شده است. با توجه به مشاهدات می‌توان بیان نمود که قرارگیری موانع به صورت زیگزاگی، حداکثر تا ۴۹ درصد سبب کاهش طول و تا ۶۵ درصد کاهش عرض ناحیه جدانشدگی نسبت به حالت بدون موانع می‌شود. با کاهش تأثیر ورتکس در حالت زیگزاگی موانع، ابعاد ناحیه جدانشدگی در مقایسه با حالت‌های با وجود ورتکس و آزمایش شاهد کاهش می‌یابد. در صورت چیدمان موازی و کاهش ورتکس، حداکثر تا ۴۸ درصد شاهد کاهش طول و تا ۲۹ درصد افزایش عرض ناحیه جدانشدگی نسبت به حالت‌های بدون موانع و با وجود ورتکس می‌باشیم.

کلید واژه‌ها: آبگیر ۹۰ درجه، رسوب، موانع مکعبی، نسبت دبی.

مقدمه

یکی از روش‌های بهره‌گیری از آب رودخانه‌ها، احداث آبگیر جانبی می‌باشد. ساخت این سازه‌ها، با هدف انحراف و توزیع آب در سدها و شبکه‌های آبیاری صورت می‌پذیرد. به دلیل فرسایشی بودن بستر رودخانه‌ها، جریان آب با انتقال رسوبات همراه خواهد بود و این فرآیند ممکن است سبب انسداد دهانه آبگیر و در نتیجه کاهش کارایی آن شود. در مسیر رودخانه‌ها، ممکن است مجموعه‌ای از موانع مانند پایه‌های پل، پایه‌های اسکله در دریا، رشد درختان و گیاهان در بستر رودخانه و یا هر سازه‌ی هیدرولیکی دیگر، وجود داشته باشند. با عبور سیال از اطراف موانع عمود بر مسیر جریان، در لبه‌ی ابتدایی موانع لایه مرزی تشکیل می‌شود. با رشد لایه مرزی و در اثر گرادیان فشار، جدانشدگی خطوط جریان رخ می‌دهد و سبب تشکیل الگوی منظمی از ورتکس (گردابه‌ها) در پایین دست موانع می‌شود. با حرکت کردن یک ذره سیال به سمت لبه‌ی ابتدایی یک مانع واقع در مسیر جریان، به دلیل برخورد جریان با سطح جسم، فشار آن از فشار سیال آزاد تا حد فشار دینامیک در نقطه‌ی سکون افزایش پیدا می‌کند. به دلیل فرسایشی بودن بستر رودخانه‌ها، در اطراف موانع پدیده‌ی آبشستگی رخ می‌دهد که سبب ایجاد حفره پیرامون موانع و در نتیجه انتقال رسوبات به پایین دست سازه

می‌شود. کشش ورتکس در پشت موانع یکی از عوامل مؤثر بر انتقال رسوبات به پایین دست سازه‌ها می‌باشد. جریان ورودی به آبگیر دارای مومنتم بسیار زیادی در جهت کانال اصلی می‌باشد و به همین دلیل درون آبگیر جدایی جریان اتفاق می‌افتد. این ناحیه سبب کاهش سطح مقطع مؤثر جریان در ابتدای آبگیر می‌شود. از طرفی افزایش فشار جریان دهانه پایین دست آبگیر الگوی جریان پیچیده در دهانه آبگیر، سبب ایجاد تغییرات در بستر آبرفتی مجاری روباز می‌شود. از این رو محققین زیادی با هدف بررسی تأثیر این الگوی جریان بر ریخت شناسی بستر، پژوهش‌هایی را ارائه دادند. Kasthuri و Pundarikanthan (1987) با انجام تحقیقاتی برای زاویه آبگیری ۹۰ درجه و با نسبت عرض کانال آبگیر به کانال اصلی برابر یک، نشان دادند که مقادیر اندازه‌گیری شده مربوط به طول و عرض ناحیه جدانشدگی جریان کمتر از مقادیر ارائه شده توسط محققین قبلی است. Neary و (1996) Sotiropoulos به بررسی مدل عددی سه بعدی جریان حالت لایه‌ای در کانال مستطیلی انشعابی ۹۰ درجه و صحت‌یابی نتایج آزمایشگاهی پرداختند. این محققین مشاهده نمودند که با انحراف جریان آب به سمت آبگیر، سطحی از جریان تقسیم شده در کانال اصلی ایجاد میشود. همچنین با افزایش نسبت انحراف جریان

شد. در هر آزمایش، رده‌ی گرداب با توجه به قدرت آن تعیین شد. سرعت ردیابی ذرات (PTV) برای اندازه‌گیری سرعت مماسی گردابه‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که سرعت انتقال رسوب به طور قابل توجهی تحت تأثیر قدرت گردابه‌های تشکیل شده قرار دارد. با افزایش قدرت گردابه‌ها، سرعت رسوب انتقالی افزایش یافت. همچنین میزان انتقال رسوب تحت تأثیر زاویه ورودی لوله قرار گرفت. می‌توان نتیجه گرفت که حداقل و حداکثر نرخ انتقال رسوب به ترتیب برای آبیگرهای شیبدار و افقی رخ می‌دهد. در تحقیقات گذشته شناخت الگوی رسوب گذاری در دهانه و درون آبیگر، در شرایط وجود موانع و تشکیل ورتکس کمتر مورد توجه بوده است. در این تحقیق، با به‌کارگیری موانع مکعبی در حالت برخورد جریان به رأس موانع که در مقایسه با حالت برخورد به ضلع، شدت ورتکس بیشتری پس از موانع را داراست، سعی بر بررسی میزان تأثیر ورتکس بر ابعاد ناحیه جداشدگی ابتدای آبیگر با توجه به الگوی رسوب‌گذاری، شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مربوط به این پژوهش، با به‌کارگیری یک فلوم آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی به طول ۶/۵، پهنای ۱/۴۵ و ارتفاع یک متر در آزمایشگاه مرکز تحقیقات رسوب معاونت مطالعات پایه و منابع آب سازمان آب و برق استان خوزستان صورت پذیرفت، تدارک دیده شد. جداره‌های این کانال شفاف و از جنس شیشه به ضخامت یک سانتی‌متر ساخته شده است (شکل ۱). در فاصله ۲/۷ متری از بالادست کانال اصلی، آبیگری با اتصال ۹۰ درجه، به طول سه، پهنای ۰/۶۸ و ارتفاع ۰/۶ متر سیستم پمپاژ موجود در آزمایشگاه، آب مورد نیاز فلوم را به‌وسیله پمپاژ از مخزن اصلی به فلوم انتقال می‌دهد و سپس آب موجود در فلوم به مخزن بازگردانده می‌شود. دبی و عمق آب در فلوم به‌ترتیب توسط شیر فلکه و دریچه‌هایی که در انتهای هر کدام از کانال‌های اصلی و فرعی نصب شده است، تنظیم می‌شود. شکل (۲) تصویر شماتیکی از فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق را نمایش می‌دهد. موانع مکعبی در کف کانال اصلی و در دو حالت چیدمان موازی و زیگزاگی قرار داده شدند. این موانع در شش ردیف در طول و نه ردیف در عرض کانال قرار داده شدند. نحوه‌ی قرارگیری موانع به صورت برخورد جریان به رأس بوده است که بر اساس نتایج Pourmohammadi (2014) در این حالت ورتکس ناشی از موانع تشدید یافته و بیشترین دامنه موج عرضی ناشی از ورتکس شکل می‌گیرد. همچنین بر اساس پژوهش Neuman (2013) بیان شد که در حالت قرارگیری مانع مکعبی در حالت برخورد جریان به ضلع، فرسایشی بلافاصله پس از مانع رخ نمی‌دهد. اما در صورت قرارگیری موانع در حالت برخورد با رأس، فرسایش قابل توجهی پس از مانع در اثر کشش ورتکس شکل

(نسبت دبی در کانال آبیگر به دبی در کانال اصلی)، عرض ناحیه‌ی گردابی کم و به طول آن افزوده می‌شود.

Weber et al. (2001) با بررسی جریان سه بعدی در محل یک اتصال ۹۰ درجه، نشان دادند که ابعاد ناحیه جداشدگی و همچنین چرخش جریان در سطح آب، نسبت به کف بزرگتر و بیشتر است. Ramamurthy et al. (2007) به مطالعه عددی و آزمایشگاهی جریان‌های سه بعدی در محل تقسیم مجاری روباز در فلومی با انشعاب ۹۰ درجه و دارای عرض برابر با کانال اصلی در پنج نسبت دبی پرداختند. مشاهدات این محققین نشان‌گر کاهش ابعاد ناحیه جداشدگی جریان به ازای افزایش نسبت دبی بوده است. همچنین منطقه جداشدگی جریان در بستر کانال در مقایسه با منطقه جدایی در سطح آب کوچکتر بوده است. در پژوهشی دیگر Abbasi et al. (2004) ابعاد ناحیه گردابی در ابتدای کانال آبیگر را به کمک تحلیل داده‌های سرعت تعیین کردند. آن‌ها نشان دادند، مهمترین عامل در ابعاد این ناحیه نسبت آبیگری می‌باشد و با افزایش آن، ابعاد ناحیه جداشدگی کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج این پژوهشگران، نقش عدد فرود جریان در شکل‌گیری ناحیه گردابی ناچیز است. همچنین پژوهش‌های مختلفی با هدف شناخت پدیده ورتکس و موج‌های عرضی ناشی از موانع در جریان کانال‌های روباز، صورت پذیرفته است (Dey, 2006). در تحقیق Dey et al. (2006) موضوع کنترل فرسایش ناشی از امواج در اطراف موانع دایره‌ای عمودی، با ایده کنترل کشش ورتکس و جریان موضعی، برای مهارکردن فرسایش عمقی در پایه‌های تحت تأثیر امواج را تحقیق کردند. این آزمایش‌ها در دو حالت با نصب صفحات بین موانع و همچنین پایه بندکشی شده انجام پذیرفت. روش‌های پیشنهاد شده برای کنترل فرسایش مناسب بوده و دارای مزیت‌هایی چون نصب بسیار آسان و بهره اقتصادی نیز می‌باشند. Haghbin و Ghomeshi (2014) با بررسی تأثیر ورتکس ناشی از موانع استوانه‌ای واقع در آبیگر به قطرهای ۲۴ و ۳۴ میلی‌متر و با دو نسبت آبیگری (نسبت دبی در واحد عرض آبیگر به دبی در واحد عرض کانال اصلی) ۰/۶۳ و ۰/۸۳ برای دبی ۲۱/۱۷ لیتر بر ثانیه و دو نسبت آبیگری ۰/۴۳ و ۱/۰۷ برای دبی ۱۷/۸۲ لیتر بر ثانیه، به این نتایج دست یافتند که در حالت به‌کارگیری موانع با قطر بزرگتر، میزان ورود رسوبات بستر به آبیگر، در مقایسه با استفاده از موانع با قطر کوچکتر کمتر می‌باشد. همچنین میزان رسوب ورودی به آبیگر در حالت آبیگری کوچکتر، کمتر از حالت آبیگری بزرگتر می‌باشد. در مقاله‌ای دیگر Khanarmuei et al (2016) موضوع تأثیر تشکیل گرداب بر انتقال رسوب در آبیگرهای دو لوله‌ای را مورد بحث قرار دادند. تحقیق مورد نظر با استفاده از یک مدل فیزیکی مقیاس‌بندی شده مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها بر روی ورودی‌های دو لوله در سه جهت ورودی مشترک (عمودی، افقی و با زاویه ۴۵ درجه) انجام

همچنین با توجه به نقش تأثیرگذار نسبت آبیگری بر ابعاد ناحیه جدادگی در ابتدای آبیگر، چهار نسبت آبیگری متفاوت $0/3$ ، $0/4$ ، $0/45$ و $0/45$ در نظر گرفته شد. به منظور محاسبه نسبت آبیگری در آزمایش‌ها مقدار دبی در کانال آبیگر محاسبه می‌شد و میزان انحراف جریان به کانال فرعی (Q_f) از نسبت دبی در کانال آبیگر (Q_i) به دبی کانال اصلی (Q_m) به دست آمد. در هر مرحله موانع به دو صورت موازی و زیگزگی در کف کانال اصلی به صورت عمود بر جهت جریان قرار گرفتند. همچنین برای کاهش تأثیر ورتکس ناشی از موانع، صفحاتی از جنس تلق به ضخامت یک میلی‌متر بین هر دو مانع متوالی قرار داده شد. شکل (۴) نمونه‌ای از قرارگیری صفحات بین موانع را نشان می‌دهد. در هر آزمایش، پس از قرارگیری موانع در بستر رسوبی، جریان آب در فلوم برقرار می‌شد و با برخورد جریان آب به موانع واقع در مسیر جریان، ورتکس تشکیل شده و تأثیر آن بر انباشت رسوبات در کانال آبیگر مورد بررسی قرار می‌گرفت. برداشت بستر ماسه‌ای بلافاصله پس از اتمام زمان تعادل در نظر گرفته شده، صورت پذیرفت. همچنین آزمایش‌های شاهد در این تحقیق با حفظ شرایط اشاره شده و بدون وجود موانع صورت پذیرفت و با دیگر حالت‌های این تحقیق مقایسه گردید.

می‌گیرد. بعد هر کدام از این موانع مکعبی $2/5$ و ارتفاع آن‌ها 30 سانتی‌متر می‌باشد. در شرایط قرارگیری موانع به صورت موازی فاصله طولی (T) و عرضی (P) هر دو مانع متوالی در یک راستا 12 سانتی‌متر و در حالت زیگزگی این فواصل به ترتیب 24 و 12 سانتی‌متر می‌باشد. در شکل (۳) می‌توان نمایی از قرارگیری موانع در کانال اصلی را مشاهده کرد. کف کانال اصلی دارای 20 سانتی‌متر اختلاف ارتفاع نسبت به کف آبیگر است که با قرارگیری رسوبات ماسه‌ای، دو کانال هم سطح شدند. رسوبات به کار رفته در این تحقیق از نوع ماسه‌ای یکنواخت و با قطر متوسط (d_{50}) برابر $0/65$ میلی‌متر می‌باشند. قبل از شروع هر آزمایش، بستر رسوبات به وسیله تسطیح کننده صاف می‌گردید. زمان تعادل کلیه آزمایش‌ها در این تحقیق سه ساعت در نظر گرفته شد. این زمان با انجام آزمایش‌های زمان تعادل که در بازه زمانی 30 الی 420 دقیقه و برداشت سطوح رسوبی در کانال اصلی و آبیگر صورت گرفت، به دست آمد. دبی در نظر گرفته شده در تمامی آزمایش‌های تحقیق ثابت و برابر با 25 لیتر بر ثانیه می‌باشد. دبی در کانال‌های اصلی و آبیگر با برداشت داده‌های سرعت در هر دو کانال بوسیله‌ی سرعت سنج و کالیبره کردن دبی با استفاده از روش حجمی، محاسبه شد.

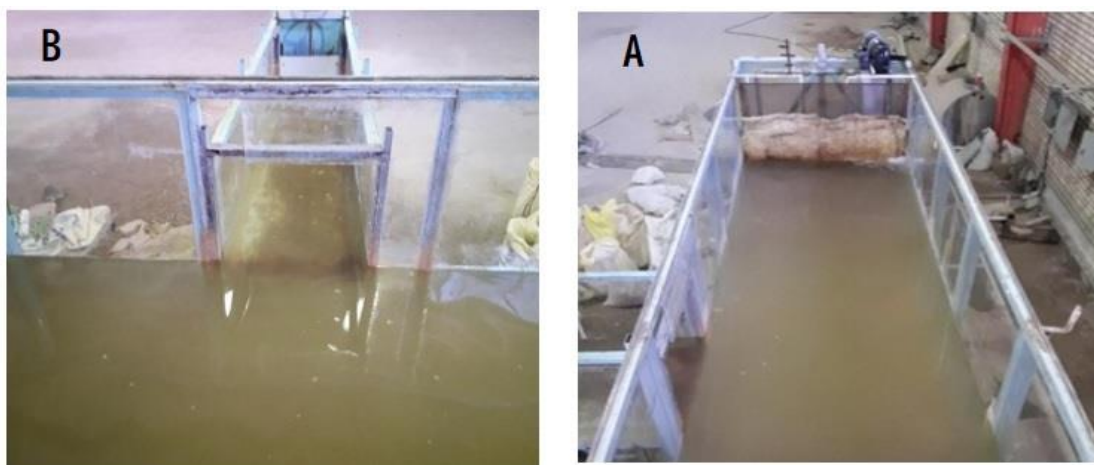


Fig. 1- A picture of: (a) the laboratory flume used in the research and (B) the connection point of the main channel to the intake

شکل ۱ - تصویری از: (A) فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق و (B) محل اتصال کانال اصلی به آبیگر

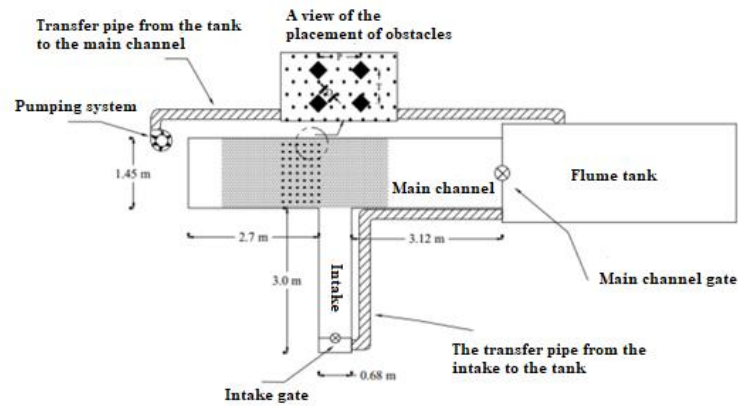
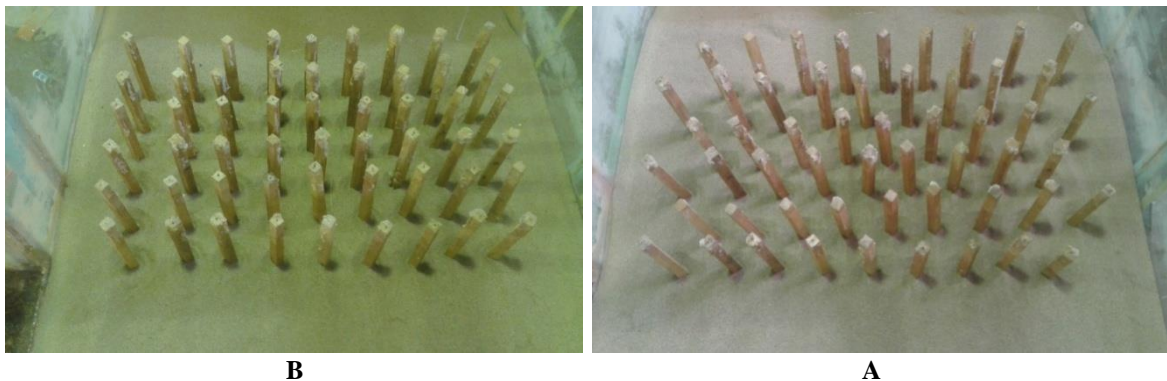


Fig. 2- Schematic view of the flume used in this research

شکل ۲- نمای شماتیکی از فلوم استفاده شده در این تحقیق

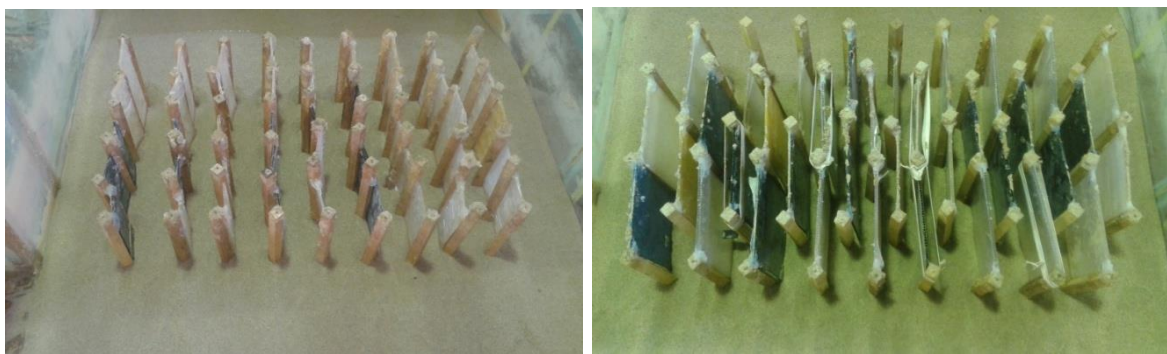


B

A

Fig. 3- A view of the arrangement of obstacles on the bottom of the channel, in two states: (A) zigzag and (B) parallel

شکل ۳- نمایی از چیدمان موانع در کف کانال، در دو حالت: (A) زیگزاگی و (B) موازی



B

A

Fig. 4- A view of the arrangement of obstacles with the presence of plates between the obstacles on the bottom of the channel in two cases: (A) zigzag and (B) parallel

شکل ۴- نمایی از چیدمان موانع با وجود صفحات بین موانع در کف کانال در دو حالت: (A) زیگزاگی و (B) موازی

نتایج و بحث

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های صورت گرفته در حالت‌های مختلف پرداخته خواهد شد. با توجه به اینکه آزمایش‌های این پژوهش در شرایط آب زلال انجام شد، سرعت آستانه حرکت رسوبات واقع در بستر کانال اصلی مورد تحقیق قرار گرفت. طبق محاسبات انجام شده بر اساس ویژگی‌های جریان و رسوبات موجود و با استفاده از نمودار شیلدز، رسوبات در جریان با عمق ۱۲ سانتی‌متر در آستانه حرکت قرار می‌گیرند. برای کسب اطمینان، این حالت در آزمایشگاه نیز مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش این حالت بدین گونه صورت پذیرفت که قبل از جانمایی موانع و پس از صاف نمودن بستر رسوبات به‌وسیله تسطیح‌کننده، جریان آب در فلوم آزمایشگاهی برقرار شد. پس از آن دریچه‌ی انتهایی کانال اصلی را با گام‌های یکسان بالا برده و به محض مشاهده فرسایش آبی در بستر رسوبات، بالا بردن دریچه متوقف و سرعت جریان محاسبه گردید. سرعت در این حالت برابر با 0.14 m/s مشاهده شد، که برابر با مقدار محاسبه شده به‌صورت تئوری می‌باشد. با توجه به اینکه آزمایش‌های این تحقیق در شرایط آب زلال انجام گرفت، نسبت سرعت جریان (V_0) به سرعت آستانه حرکت رسوبات (V_c) باید کمتر از یک باشد، که در آزمایش‌های انجام شده این شرایط محقق گردید (جدول ۱).

طبق موارد ذکر شده، آزمایش‌های این تحقیق در چهار نسبت دبی آبیگری 0.3 ، 0.35 ، 0.4 و 0.45 انجام گرفت. با برخورد جریان آب به موانع، سرعت آب کاهش و عمق آن افزایش می‌یابد که به دلیل گرادیان فشار در عمق، جریان رو به پایینی در جلوی مانع شکل می‌گیرد که به سبب قرارگیری در مسیر جریان آب، باعث ایجاد گرداب نعل اسبی می‌شود. همچنین در اثر عبور جریان سیال از پیرامون موانع که در مسیر جریان قرار گرفته است، الگوی منظمی از ورتکس‌ها در ناحیه‌ی دنباله و در پایین دست آن ایجاد شده و کشش ورتکس به‌وجود می‌آید. در صورت قرارگیری موانع در حالت برخورد جریان به ضلع، در محل برخورد جریان با مانع مقدار زیادی از انرژی جنبشی جریان تبدیل به انرژی پتانسیل می‌گردد. بدین ترتیب قرارگیری موانع در حالت برخورد جریان به رأس، سبب کاهش تأثیر توقف جریان در محل برخورد با مانع در

مقایسه با حالت برخورد با ضلع و در نتیجه افزایش مومنتم جریان می‌شود.

وجود گرادیان فشار جانبی، تنش برشی بستر و نیروی جانبی مرکز ناشی از انحنای خطوط جریان منجر به ایجاد جریان ثانویه ساعتگرد در طول کانال آبیگر می‌شود. در نزدیکی سطح بستر گرادیان فشار جانبی بر نیروی گریز از مرکز غلبه نموده و سبب تمایل جریان به سمت قوس داخلی و در سطح آب به‌علت غلبه نیروی گریز از مرکز بر گرادیان فشار به سمت قوس خارجی می‌شود. جریان ثانویه ناشی از انحنای خطوط جریان در نزدیکی بستر دارای قدرت بسیار زیادی می‌باشد. ناحیه جداشدگی بصورت قوسی که یک طرف آن انباشت رسوبات صورت پذیرفته است، مشخص می‌شود. شکل (۵) نمونه‌ای از ایجاد ناحیه جداشدگی جریان پس از اتمام زمان تعادل آزمایش را نشان می‌دهد.

به‌منظور بررسی تأثیر شرایط جریان در حالات متفاوت بر ابعاد ناحیه جداشدگی در ابتدای آبیگر، پارامترهای بدون بُعد W_p و L_p در نظر گرفته شدند. بر این اساس پارامتر بدون بُعد W_p نشان دهنده نسبت حداکثر عرض ناحیه جداشدگی به عرض آبیگر و پارامتر L_p بیانگر نسبت حداکثر طول ناحیه جداشدگی به عرض آبیگر می‌باشد. در شکل (۶) تصویر شماتیکی از ابعاد ناحیه جداشدگی در ابتدای آبیگر مشاهده می‌شود که در آن W عرض ناحیه گردابی و L طول این ناحیه می‌باشد.

در آزمایش‌های این تحقیق با توجه به الگوی رسوب‌گذاری در آبیگر، پس از اتمام هر آزمایش مقادیر طول و عرض ناحیه جداشدگی آبیگر برداشت می‌شد. سپس نتایج برداشت‌های مربوطه برای حالت‌های مختلف آزمایش و در آبیگری‌های متفاوت رسم شد. جدول (۲) نشان‌دهنده‌ی طول و عرض ناحیه جداشدگی در ابتدای آبیگر، در حالت شاهد (بدون قرارگیری موانع) می‌باشد. با توجه به این جدول عدد بدون بُعد فرود (Fr) ، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} \quad (1)$$

که در آن U سرعت جریان آب بر حسب متر بر ثانیه در بالادست آبیگر، g شتاب ثقل بر اساس متر بر مجذور ثانیه و h عمق آب موجود در بالادست آبیگر می‌باشد.

جدول ۱- نسبت سرعت جریان در کانال اصلی به سرعت بحرانی (V_0 / V_c)Table 1- The ratio of the flow speed in the main channel to the critical speed (V_0 / V_c)

Ratio of the velocity in the main channel to the critical velocity (V_0 / V_c)	Velocity in the main channel (V_0) ($m s^{-1}$)	water depth (cm)	Discharge ratio
0.43	0.061	28	0.3
0.58	0.082	21	0.35
0.64	0.09	19	0.4
0.85	0.12	14	

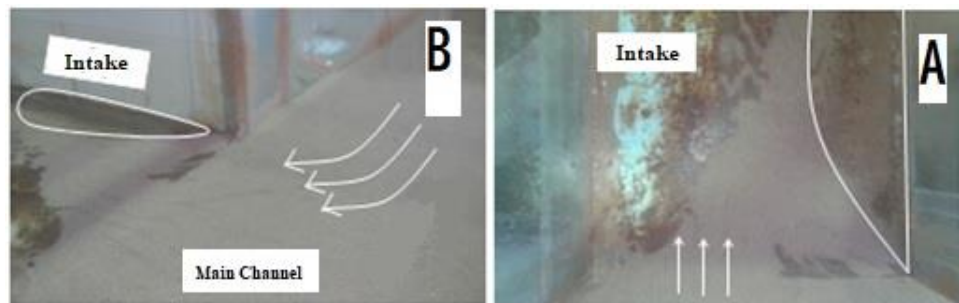


Fig. 5- A view of the formation of the flow separation zone from: A) above the intake B) in front of the intake

شکل ۵- نمایی از تشکیل ناحیه جدا شدگی جریان از: (A) بالای آبگیر (B) روبروی آبگیر

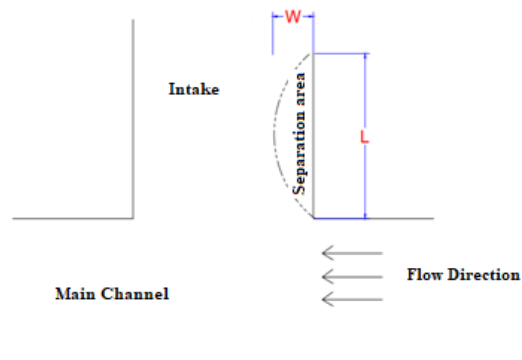


Fig. 6 - Schematic view of the separation zone created at the beginning of the intake

شکل ۶- نمای شماتیکی از ناحیه جدا شدگی ایجاد شده در ابتدای آبگیر

جدول ۲- مشخصات آزمایش های صورت پذیرفته و نتایج حاصله در حالت آزمایش های شاهد

Table 2- The specifications of the conducted tests and the results obtained in the case of control tests

Test number	Obstacle arrangement	Discharge ratio (Qr)	Froude number (Fr)	The longitudinal ratio of the separation area(Lr)	The transverse ratio of the separation area (Wr)
17	Without obstacles	0.3	0.036	1.2	0.29
18	Without obstacles	0.35	0.057	1.08	0.28
19	Without obstacles	0.4	0.065	0.8	0.26
20	Without obstacles	0.45	0.102	0.75	0.25

جدول ۳- مشخصات آزمایش های صورت پذیرفته و نتایج حاصله در حالت وجود ورتکس

Table 3- The specifications of the conducted experiments and the results obtained in the presence of vortex

Test number	Obstacle arrangement	Discharge ratio (Qr)	Froude number (Fr)	The longitudinal ratio of the separation area(Lr)	The transverse ratio of the separation area (Wr)
1	Parallel	0.3	0.036	1.08	0.3
3	Parallel	0.35	0.057	0.92	0.29
5	Parallel	0.4	0.065	0.92	0.235
7	Parallel	0.45	0.102	0.88	0.2
9	Zigzag	0.3	0.036	0.88	0.22
11	Zigzag	0.35	0.057	0.63	0.16
13	Zigzag	0.4	0.065	0.45	0.132
15	Zigzag	0.45	0.102	0.38	0.088

در ابتدای آبیگر صورت پذیرفت که نتایج مربوط به آن در جدول (۴) بیان شده است.

با توجه به نسبت های بدون بعد تعریف شده، نمودار شکل (۷) که بیانگر تغییرات طول و عرض ناحیه جداسازی جریان در حالت آرایش زیگزاگی و با نسبت های آبیگری مختلف است، ترسیم شد. بر اساس این نتایج مشاهده می شود که با قرار گرفتن موانع زیگزاگی در کانال اصلی، طول و عرض ناحیه جداسازی جریان در مقایسه با حالت شاهد (بدون موانع)، کاهش می یابد.

همچنین با قرار دادن صفحات بین موانع و کاهش اثر ورتکس، طول و عرض ناحیه جداسازی در این حالت نسبت به حالت های با وجود ورتکس (بدون صفحات) و شاهد کاهش می یابد. در تحلیل نتایج پژوهش حاضر مشاهده می شود که با افزایش نسبت آبیگری در تمامی حالت ها طول و عرض ناحیه جداسازی کاهش می یابد.

بر اساس نتایج جدول (۲) می توان بیان نمود که در حالت شاهد، با افزایش نسبت آبیگری، ابعاد ناحیه جداسازی در ابتدای آبیگر کاهش می یابد. همچنین در جدول (۳) نتایج مربوط به اندازه طول و عرض ناحیه جداسازی در ابتدای آبیگر، در حالت قرارگیری موانع و وجود ورتکس ناشی از آنها می باشد. با قرار گرفتن موانع در مسیر جریان و ایجاد ورتکس ناشی از موانع، مشاهده می شود که در هر دو حالت چیدمان موازی و زیگزاگی موانع، مقادیر طول و عرض ناحیه جداسازی کاهش می یابد. همچنین در این حالت ها می توان بیان نمود که با افزایش نسبت آبیگری، ابعاد ناحیه جداسازی در ابتدای آبیگر کاهش می یابد. در ادامه با قراردادن صفحات بین موانع و در نتیجه کاهش اثر ورتکس، برداشت ابعاد ناحیه جداسازی جریان

جدول ۴- مشخصات آزمایش های صورت پذیرفته و نتایج حاصله در حالت کاهش اثر ورتکس

Table 4- Specifications of the conducted experiments and the results obtained in the mode of reducing the vortex effect

Test number	Obstacle arrangement	Discharge ratio (Qr)	Froude number (Fr)	The longitudinal ratio of the separation area(Lr)	The transverse ratio of the separation area (Wr)
2	Parallel	0.3	0.036	0.7	0.33
4	Parallel	0.35	0.057	0.67	0.32
6	Parallel	0.4	0.065	0.48	0.29
8	Parallel	0.45	0.102	0.41	0.26
10	Zigzag	0.3	0.036	0.735	0.19
12	Zigzag	0.35	0.057	0.6	0.161
14	Zigzag	0.4	0.065	0.176	0.044
16	Zigzag	0.45	0.102	0.161	0.014

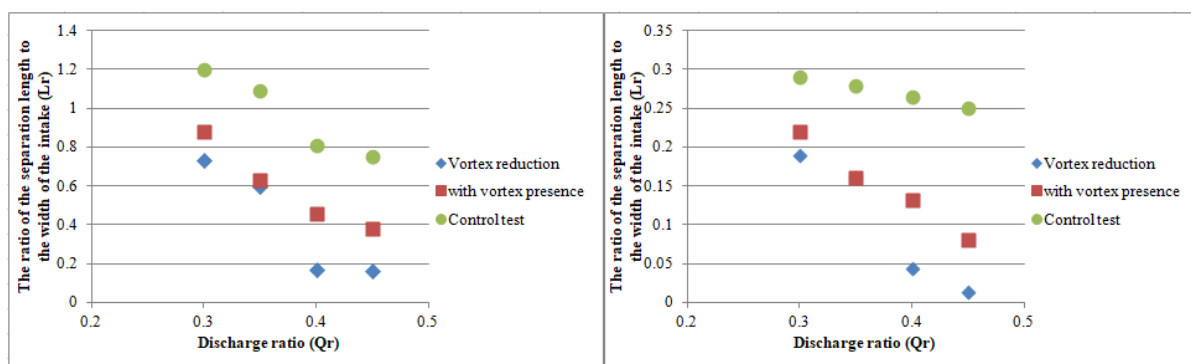


Fig. 7- Diagrams comparing the values, A) width and B) length of the flow separation zone at the beginning of the intake in the zigzag arrangement of obstacles

شکل ۷- نمودارهای مقایسه مقادیر، A) عرض و B) طول ناحیه جدشدگی جریان در ابتدای آبگیر در حالت چیدمان زیگزاگی موانع

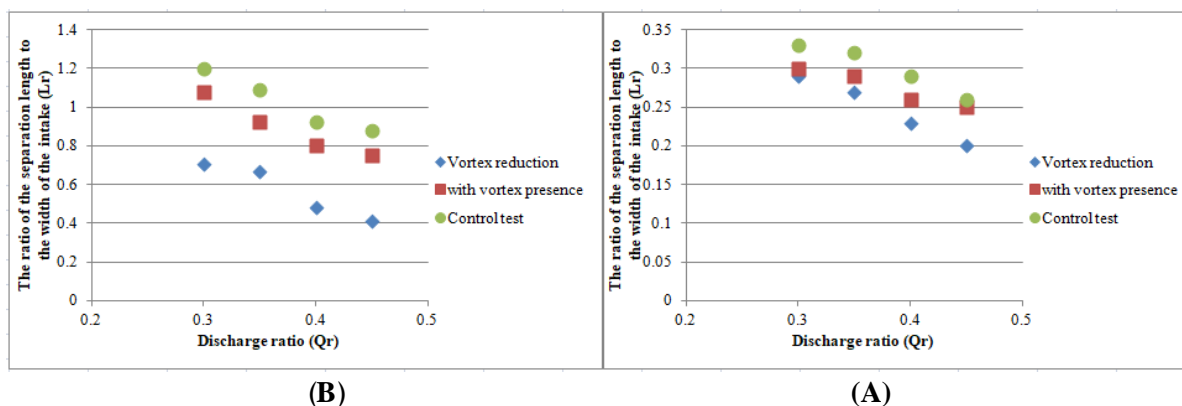


Fig. 8- Diagrams comparing the values, A) width and B) length of the flow separation zone at the beginning of the intake in the parallel arrangement of obstacles

شکل ۸- نمودار مقایسه مقادیر (A عرض و B طول ناحیه جدشدگی جریان در ابتدای آبگیری در حالت چیدمان موازی موانع

قرارگرفتن موانع به صورت زیگزآگی در مسیر جریان، سبب کاهش عرض و طول ناحیه جدشدگی نسبت به حالت بدون موانع می شود. در حالت چیدمان موازی موانع، در نسبت های آبگیری ۰/۳ و ۰/۳۵ مقدار عرض ناحیه جدشدگی افزایش و طول این ناحیه کاهش می یابد. با قرارگیری صفحات بین موانع و کاهش تأثیر ورتکس، ابعاد ناحیه جدشدگی در حالت چیدمان زیگزآگی موانع در مقایسه با حالت های بدون موانع و با وجود ورتکس کاهش می یابد. در صورت قرارگیری موانع بصورت موازی و به کارگیری صفحات بین موانع، شاهد کاهش طول ناحیه جدشدگی و افزایش عرض آن در مقایسه با حالت های بدون موانع و با وجود ورتکس می باشیم.

تقدیر و تشکر

این مقاله از نتایج پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول و با حمایت واحد پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده دوم (98.86 WH.SCU) تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و سازمان آب و برق استان خوزستان که فرصت استفاده از امکانات آزمایشگاهی را در اختیار قرار دادند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی می توان بیان نمود که قرارگیری موانع به صورت موازی، در نسبت های آبگیری ۰/۳ و ۰/۳۵ افزایش عرض و در نسبت های ۰/۴ و ۰/۴۵ کاهش عرض ناحیه جدشدگی را در مقایسه با حالت شاهد، سبب می شود. طول ناحیه جدشدگی در نسبت های آبگیری ۰/۳ و ۰/۳۵ کاهش و در نسبت های آبگیری ۰/۴ و ۰/۴۵ افزایش می یابد. قراردادن صفحات بین موانع موازی در مسیر جریان و کاهش تأثیر ورتکس، باعث کاهش طول ناحیه جدشدگی و افزایش عرض این ناحیه می شود. شکل (۸) نمودار تغییرات ابعاد ناحیه جدشدگی را در حالت آرایش موازی موانع، با وجود و کاهش اثر ورتکس نشان می دهد. همچنین در این نوع چیدمان نیز مشاهده می شود که با افزایش نسبت آبگیری، مقادیر طول و عرض ناحیه جدشدگی جریان در ابتدای آبگیر کاهش می یابد.

نتیجه گیری

نسبت آبگیری از مهمترین عوامل مؤثر بر ابعاد ناحیه جدشدگی در ابتدای کانال فرعی می باشد که در حالت های مختلف تأثیر آن بر ابعاد ناحیه جدشدگی جریان مشاهده شد. همچنین با توجه به چیدمان های متفاوت موانع مشاهده شده که در حالت

References

- 1- Abbasi, A. A., Ghodsian, M., Habibi, M. & Salehi Neyshabouri, A. A., 2004. Experimental investigation of the dimensions of the vortex area at the beginning of the lateral intakes. *Research and construction in Natural Resources*, Issue 62, pp. 38-44.
- 2- Cheryl, M. N., Sanderson, R. S. & Sutton, S., 2013. Vortex shedding and morphodynamic response of bed surfaces containing non-erodible roughness elements. *Journal of Geomorphology*, Volume 198, pp. 45-56. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.05.011.

- 3- Dey, S., Sumer, B.M. and Fredsøe, J., 2006. Control of scour at vertical circular piles under waves and current. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(3), pp.270-279. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:3(270)
- 4- Haghbin, A. & Ghomeshi, M., 2014. *Experimental investigation of the effect of vortex barriers on sedimentation in the inlet of water intakes*. Karaj, National Conference of Applied Civil Engineering and New Achievements, Karaj Desert Construction Company.
- 5- Kasthuri, B. & Pundarikanthan, N., 1987. Discussion on separation zone at open- channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering*, 113(4), pp. 543-548. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1987)113:4(543)
- 6- Khanarmuei, M.R., Rahimzadeh, H., Kakuei, A.R. and Sarkardeh, H., 2016. Effect of vortex formation on sediment transport at dual pipe intakes. *Sādhanā*, 41, pp.1055-1061.
- 7- Neary, V.S. and Sotiropoulos, F., 1996. Numerical investigation of laminar flows through 90-degree diversions of rectangular cross-section. *Computers & fluids*, 25(2), pp.95-118. doi: 10.1016/0045-7930(95)00030-5
- 8- Pourmohammadi, M., 2014. *Experimental study of waves perpendicular to the flow caused by vortex stretching behind prismatic barriers in open channels*, Ahvaz: Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University.
- 9- Ramamurthy, A.S., Qu, J. and Vo, D., 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(10), pp.1135-1144. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:10(1135).
- 10- Shafaei Bajestan, M. & Nazari, S., 2010. The influence of the angle of deviation of the intake on the ratio of discharge and sediment entering the intake in the 90 degree convergent bend. *Watershed Research (Research and Construction)*, 23(2), pp. 72-81.
- 11- Dey, S., Sumer, B.M. and Fredsøe, J., 2006. Control of scour at vertical circular piles under waves and current. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(3), pp.270-279. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:3(270)
- 12- Sumner, D., 2010. Two circular cylinders in cross-flow: A review. *Journal of fluids and structures*, 26(6), pp.849-899. doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2010.07.001.
- 13- Weber, L.J., Schumate, E.D. and Mawer, N., 2001. Experiments on flow at a 90 open-channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(5), pp.340-350. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:5(340)

In The Name of God

Irrigation Sciences and Engineering

(Scientific)

Vol. 46 (3)

Fall 2023

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
Experimental study of the effect of different sill geometry on hysteretic behavior of supercritical regime	R. Daneshfaraz, E. Aminvash and P. Ebadzadeh	1
Effect of Water stress and Aquasorb 3005 super absorbent application on maize yield production in trickle irrigation system	S.Khosnavaz,S.Boromandnasab,A.Dareckvand and M.R.Rahmani	17
Forecasting the risk of drought in Zabol synoptic station based on the output of CMIP6 climate models	M. Forouzan Mehr, M. Dastourani, M. Yaghoubzadeh and S. Hosseinabadi	35
Experimental investigation of hydraulic jump in HexagonalEz Stilling Basin	M. H. Jafari Abnavi, R. Mohammadpour and M. Karim Beirami	57
Investigation of drought time steps and effects of land use changes on quantitative and qualitative water parameters of Plasjan river	N. Bahrami-Damaneh, S. Soltani-Gerdefaramarzi, M. Gheysouri and A. Azizian	69
Impact of climate change on water requirement, water productivity, and rice yield using risk analysis	D. Darikandeh, A. Shahnazari, M. Khoshravesh and G. Hoogenboom	85
Numerical Modeling of Sediment Washing (Flushing) in Dams (Case Study: Sefidrood Dam)	M. Adineh, M. Shafaei Bajestan and H. Ghodousi	103
The effect of the vortex caused by obstacles and its reduction, on the dimensions of the flow separation area at the beginning of the lateral catchment	F. Ferdospanah and M. Ghomeshi	121