



مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۳۰۰-۲۹۱

DOI: 10.22059/jwim.2021.325232.883

مقاله پژوهشی:

شناسایی اولویتهای بخش آب جهت سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه زاینده‌رود با رویکرد پدافند غیرعامل

محمد جواد زارعیان*

استادیار، پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، بررسی گزینه‌های اصلی جهت سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه زاینده‌رود براساس رویکرد پدافند غیرعامل بوده است. بدین منظور در مرحله اول، میزان تغییرات دما و بارش حوضه در افق ۲۰ سال آتی (۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰) با استفاده از ترکیب وزن‌دهی شده مدل‌های GCM گزارش پنجم IPCC، برآورد شدند. در مرحله بعد با استفاده از نظرات کارشناسان و پژوهش‌گران مختلف در خصوص مدیریت منابع آب و پدافند غیرعامل، معیارها و گزینه‌های اصلی برای سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه زاینده‌رود مشخص شدند. براساس امتیازهای ارائه شده توسط کارشناسان، مقایسات زوجی براساس تحلیل سلسله مراتبی (AHP) صورت گرفت. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط، دمای حوضه در طی ۲۰ سال آینده حدود ۰/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارندگی حوضه نیز حدود ۱۳/۳ درصد کاهش پیدا خواهد نمود. از میان معیارهای منتخب جهت سازگاری با تغییر اقلیم براساس رویکرد پدافند غیرعامل، معیار «عدم آسیب به معیشت کشاورزان»، بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داد. همچنین از میان گزینه‌های سازگاری با تغییر اقلیم، گزینه‌های «مدیریت تقاضای آب»، «افزایش تأمین آب» و «کاهش عرضه آب» به ترتیب بالاترین امتیازات را جهت سازگار نمودن حوضه با تغییر اقلیم، کسب نمودند. در حالت کلی، نتایج پژوهش نشان داد که سیاست‌های عرضه‌محور و همچنین سیاست‌های جیره‌بندی آب نمی‌توانند الگوی مناسب جهت کاهش مخاطره‌ها و تعارض‌ها در زمینه مدیریت آب باشند و در صورتی که سیاست‌های مدیریت تقاضای آب به‌صورت اصولی و صحیح به اجرا درآیند، تهدیدات آتی مدیریت منابع آب (با رویکرد پدافند غیرعامل) را می‌توان کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: پدافند غیرعامل، تحلیل سلسله مراتبی، تغییر اقلیم، حوضه زاینده‌رود.

Identifying water sector priorities for adaptation to climate change in the Zayandeh-roud basin with the passive defense approach

Mohammad Javad Zareian*

Assistant Professor, Department of Water Resources Study and Research, Water Research Institute, Tehran, Iran.

Received: June, 07, 2021

Accepted: August, 09, 2021

Abstract

The aim of this study was to investigate the main options for adaptation to climate change in the Zayandeh-roud basin based on the passive defense approach. Therefore, in the first stage, the temperature and precipitation changes in the basin during future 20-years (2021-2040) were estimated using the weighted combination of the GCM models of the fifth IPCC assessment report. In the next stage, using the comments of various experts and researchers on water resources management and passive defense, the main criteria and options were identified for adaptation to climate change in the Zayandeh-roud basin. Based on the scores provided by the experts, pairwise comparisons were performed based on Analytical Hierarchy Process (AHP). The results showed that on average, the temperature of basin will increase by about 0.9 °C during the next 20-years and the precipitation of the basin will decrease by about 13.3%. Among the criteria selected for adaptation to climate change based on the passive defense approach, the criterion of "no damage to farmers' livelihood" had the highest score. Also, among the options for adapting to climate change, "water demand management", "increase water supply" and "reduce water supply" received the highest scores for adapt the basin to climate change, respectively. In general, the results showed that supply-side water policies as well as water rationing policies can not be good policies for reduce risks and conflicts in water management, and if water demand management policies are implemented properly, future threats to water resources management (with a passive defense approach), can be reduced.

Keywords: Analytical hierarchy process, Climate change, Passive defense, Zayandeh-roud basin.

مقدمه

به دلیل نازل بودن ریزش‌های جوی و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی آن، ایران در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. از طرف دیگر به دلیل رشد جمعیت، توسعه بهداشت و گسترش بخش‌های کشاورزی و صنعت و مواردی از این دست، ایران پیوسته با افزایش تقاضای آب مواجه بوده و این امر موجب زیاد شدن شکاف میان عرضه و تقاضای آب در سالیان اخیر شده است. افزایش این شکاف، توجه جدی به برنامه‌ریزی آینده‌نگر منابع آب را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید (Saatsaz, 2020).

یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که دورنمای مدیریت منابع آب را در ایران با پیچیدگی‌های زیادی همراه می‌سازد، بروز پدیده تغییر اقلیم^۱ می‌باشد. تغییر اقلیم فرآیندی است که در درازمدت براساس تغییر در گازهای گلخانه‌ای ایجادشده توسط بشر، فرآیندهای آب‌وهوایی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بیش‌ترین تأثیرات تغییر اقلیم بر دما و بارندگی کره زمین می‌باشد (Goyal, 2004). گستره اثرات تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف منابع و مصارف آب بسیار وسیع است. تغییر اقلیم باعث افزایش دوره‌های گرمایی زمین و در نتیجه افزایش مناطقی که تحت تأثیر خشک‌سالی قرار می‌گیرند، شده است. کاهش بارندگی و هم‌چنین به‌هم‌خوردن الگوهای بارش، از دیگر نتایج منفی این پدیده می‌باشد. هم‌چنین مطالعات نشان داده که تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و بالارفتن مصرف آب در این بخش می‌شود. بنابراین در درازمدت تغییرات در الگوهای اقلیمی می‌تواند مخاطرات برای تأمین غذا و محصولات کشاورزی را به‌طور معنی‌داری تغییر دهد (Osborne et al., 2013).

آماده‌سازی بخش‌های مختلف برای مواجه شدن با اثرات متنوع تغییر اقلیم، باید با توجه به ظرفیت‌های سازگاری مجموعه موردنظر در شرایط پیش‌بینی‌های

بدبینانه و خوش‌بینانه انجام شود. تحت چنین وضعیتی است که واکنش مصرف‌کنندگان مختلف و میزان آسیب‌پذیری آن‌ها در شرایط کمبود آب مشخص می‌شود. بنابراین ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف مصرف آب باید با توجه به پاسخ‌های مناسب به این شرایط انجام شود (Aguilar et al., 2018).

یکی از مهم‌ترین مواردی که باید در برنامه‌ریزی‌های آتی مرتبط با مدیریت منابع آب در شرایط وقوع تغییر اقلیم، مدنظر قرار گیرد، توجه به اصول پدافند غیرعامل^۲ است. پدافند از لحاظ لغوی مترادف با دفاع بوده و به دو بخش دفاع عامل و دفاع غیرعامل تقسیم می‌شود. دفاع عامل مبتنی بر فعالیت نیروهای مسلح و متکی بر تسلیحات و تجهیزات نظامی است که بر عهده نیروهای نظامی است. پدافند غیرعامل به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌گردد که مستلزم به‌کارگیری جنگ‌افزار نبوده و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن خسارت‌های مالی به تجهیزات و تأسیسات حیاتی و حساس نظامی و غیرنظامی و تلفات انسانی جلوگیری نموده و یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد (Kettler & Goulter, 1985). تجارب و شواهد ثبت‌شده در تاریخ بشری و به‌ویژه در قرن حاضر، بیانگر اهمیت پدافند غیرعامل می‌باشد. براساس شواهد تاریخی، ارزان‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش مقابله با بلاها و مخاطرات طبیعی و غیرطبیعی، انجام اقدامات پدافند غیرعامل و اقدامات پیشگیرانه امنیتی است. بر این اساس، می‌توان مجموعه‌ای از تمهیدات را به‌کار گرفت تا به کمک آن‌ها با کم‌ترین امکانات و تجهیزات فنی، موجب کاهش آسیب‌پذیری و افزایش مقاومت در مقابل آسیب‌ها شد. بنابراین ضروری است که برای در امان ماندن از بلاهای طبیعی و غیرطبیعی برنامه‌ریزی‌های مبتنی بر پدافند غیرعامل وجود داشته باشد. تغییر اقلیم نیز از این موضوع مستثنی نبوده و بایستی برای مواجه شدن با آن به‌ویژه در زمینه مدیریت منابع آب،

نمود و بایستی برای مدیریت اثرات سوء ناشی از آن تمامی جوانب موضوع را از جمله مسائل مرتبط با پدافند غیرعامل در نظر گرفت.

با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده، تاکنون مطالعه جامعی در کشور در خصوص بررسی جوانب مختلف تغییر اقلیم و ارتباط آن با مبانی پدافند غیرعامل صورت نگرفته است. بدین لحاظ در این مطالعه سعی گردیده است تا جوانب مختلف اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت منابع آب حوضه آبریز زاینده‌رود به‌عنوان یکی از مناطق پرتنش آبی کشور، از دیدگاه پدافند غیرعامل مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز زاینده‌رود به مساحت تقریبی ۲۷۰۰۰ کیلومترمربع در محدوده طول جغرافیایی $50^{\circ} 24'$ تا $53^{\circ} 24'$ و عرض جغرافیایی $31^{\circ} 11'$ تا $33^{\circ} 42'$ واقع شده است. این منطقه به لحاظ منابع آب، یکی از پیچیده‌ترین نواحی کشور به‌شمار می‌رود (Eslamian et al., 2012). بخش عمده این حوضه دارای میانگین بارش کم‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. شکل (۱) موقعیت کلی حوضه آبریز زاینده‌رود را در بخش مرکزی ایران نشان داده است.

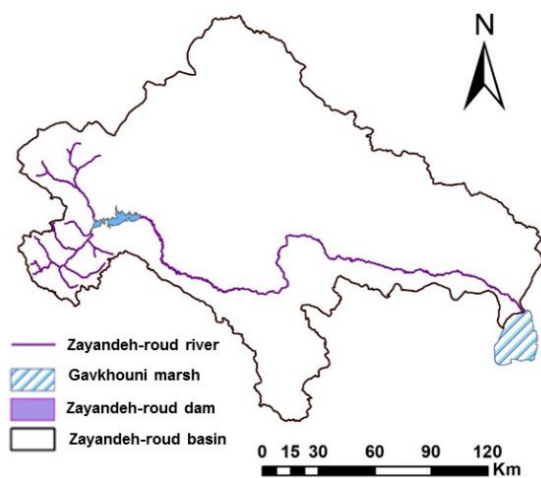


Figure 1. Location of the Zayandeh-rud basin in the central region of Iran

تمهیداتی مبتنی بر پدافند غیرعامل در نظر گرفت تا آسیب‌های مختلفی که در اثر بروز این پدیده در آینده ممکن است رخ دهد، به حداقل برسد. آسیب‌هایی که بسیاری از آن‌ها جنبه هیدرولوژیکی نداشته و به‌صورت غیرمستقیم بر جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و سایر جوانب مناطق مختلف تأثیرگذار بوده است (Dabbagh & Fard, 2019).

تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه پیاده‌سازی اصول پدافند غیرعامل در مدیریت منابع آب صورت گرفته است. Pirihor et al. (2018) در مطالعه‌ای به بررسی جنبه‌های مختلف پدافند غیرعامل در تأمین آب شرب شهر یزد پرداختند. نتایج نشان داد که بهره‌گیری از سامانه سستی آب‌رسانی و تلفیق آن با آب‌رسانی مدرن شهری، ضرورتی متناسب با مبانی و اصول پدافند غیرعامل در این شهر بوده و به‌عنوان یکی از راه‌کارهای مدیریت مناسب تأمین آب شرب شهر یزد قابل بهره‌برداری است. Gleick (2006) به بررسی مهم‌ترین آسیب‌پذیری‌ها و خطرات پیش روی سیستم‌های مدرن مدیریت آب پرداخت و راه‌هایی برای کاهش این خطرات معرفی نمود. از دیدگاه وی، اعتماد عمومی به سیستم‌های مدیریت آب، نظارت سریع و مؤثر بر کیفیت آب و انتشار اطلاعات به‌عنوان بهترین گزینه‌های پدافند غیرعامل در برابر تهدیدات سیستم‌های آب قرار دارند. Copeland & Cody (2010) طی انجام پژوهشی به بررسی تروریسم و مسائل مربوط به امنیت در مواجهه با زیرساخت‌های بخش آب آمریکا پرداخته و عملکرد امنیتی دولت و بخش خصوصی را در خصوص اعمال سیاست‌های پدافند غیرعامل در این زمینه بررسی و راه‌کارهایی جهت ارتقای این وضعیت ارائه دادند. Hulme (2016) نیز با انجام مطالعاتی دریافت که تغییر اقلیم را نمی‌توان به‌عنوان یک مشکل به‌صورت کامل حل نمود و دامنه اثر آن به‌غیر از مسائل فنی به مسائل سیاسی، اجتماعی و اقتصادی مباحث مختلف از جمله مدیریت منابع آب نیز گسترش پیدا خواهد

داده‌ای واقعی مشاهداتی در ایستگاه هواشناسی اصفهان، مدل‌ها وزن‌دهی شده و این وزن‌ها برای میانگین‌گیری تغییرات دما و بارش متوسط حوضه در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ استفاده شدند. در نهایت متوسط تغییرات ماهانه و سالانه دما و بارش حوضه در دوره ۲۰ ساله آتی نسبت به دوره ۳۰ ساله تاریخی، تعیین شد. با توجه به این‌که خروجی این مدل‌ها برای سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مختلف در دسترس قرار دارد، در این پژوهش از خروجی‌های ۳ سناریوی انتشار^۵ RCP2.6 (خوش‌بینانه)، RCP4.5 (میانه) و RCP8.5 (بدبینانه) استفاده شد (IPCC, 2014). نتایج مربوط به تغییرات دما و بارش آتی حوضه، جهت آگاهی کارشناسان در مرحله بعد پژوهش، در اختیار آنان قرار داده شد.

Table 1. Characteristics of GCM models used to investigate the effects of climate change in the Zayandeh-roud basin

Model	Resolution	Model	Resolution
BCC-CSM1.1	2.81°×2.81°	EC-EARTH	1.12°×1.12°
CCSM4	1.25°×0.94°	FGOALS-g2	2.81°×2.81°
CESM1-CAM5	1.25°×0.94°	FIO-ESM	2.80°×2.80°
CNRM-CM5	1.40°×1.40°	GFDL-CM3	2.50°×2.00°
CSIRO-Mk3.6.0	1.87°×1.87°	GISS-E2-H	2.50°×2.00°

پس از تعیین میزان تغییرات دما و بارش ۲۰ ساله آتی در حوضه زاینده‌رود، گزینه‌ها و معیارهایی برای تعیین مهم‌ترین اولویت‌های سازگاری با تغییر اقلیم از دیدگاه پدافند غیرعامل جهت مقایسه براساس روش تحلیل سلسله مراتبی^۶ (AHP) تهیه شدند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین مدل‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله مراتبی فراهم کرده و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در حل مسائل دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت معیارها و زیرمعیارها را فراهم می‌سازد.

رودخانه زاینده‌رود مهم‌ترین منبع تأمین آب سطحی در این حوضه است که از نواحی غربی حوضه سرچشمه گرفته و به تالاب گاوخونی در شرق حوضه ختم می‌شود. این رودخانه یکی از اصلی‌ترین عوامل رشد و توسعه در این ناحیه به‌شمار رفته و باعث تراکم بالای فعالیت‌های شهری، صنعتی، کشاورزی و حتی افزایش مهاجرت به این منطقه شده است (Madani & Mariño, 2009; Zareian, 2021). این موضوع‌ها موجب شده است تا فشار زیادی به منابع آب سطحی و حتی زیرزمینی در این منطقه وارد شده و موجب محدودیت‌های زیادی برای رشد و توسعه در این منطقه شود (Zareian & Eslamian, 2016). در نتیجه طرح‌های مختلفی در طی چند دهه اخیر برای افزایش منابع آب در دسترس در این حوضه به اجرا درآمده‌اند که از جمله مهم‌ترین این موارد می‌توان به اجرای تونل کوه‌رنگ ۱، سد چادگان (زاینده‌رود)، تونل کوه‌رنگ ۲ و تونل چشمه لنگان برای انتقال آب از سرشاخه‌های کارون و دز به این منطقه اشاره نمود. هر چند بررسی‌ها نشان داده است که این طرح‌ها تنها به صورت یک درمان موقتی برای کم‌آبی این ناحیه به‌کار رفته و پس از گذشت مدتی، کم‌آبی با شدت بیش‌تر به این ناحیه بازگشته است (Gohari et al., 2013).

جهت بررسی روند تغییرات اقلیم در سالیان آتی در حوضه زاینده‌رود، از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو^۳ ارائه شده در پنجمین گزارش ارزیابی هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم^۴ استفاده شد. مشخصات این مدل‌ها در جدول (۱) ارائه شده است (IPCC, 2014). داده‌های دما و بارندگی سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ (دوره ۲۰ ساله آینده) و سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ (دوره ۳۰ ساله تاریخی) از ۱۰ مدل ارائه شده در جدول (۱) برای ایستگاه هواشناسی اصفهان (طول جغرافیایی ۴۰' ۵۱° و عرض جغرافیایی ۳۷' ۳۲°) در مرکز حوضه زاینده‌رود استخراج شد. با مقایسه داده‌های دما و بارش تاریخی هر کدام از مدل‌ها با

Table 2. Criteria for evaluating the role of climate change in the Zayandeh-roud basin based on passive defense

Criterion code	Description
C1	Higher coefficient of general satisfaction of users
C2	No damage to farmers livelihoods
C3	No damage to food security in the area and adjacent regions
C4	No conflict in water resources between different basins
C5	More people participate in solving the problems caused by water shortage
C6	Reduce the need for government intervention in resolving water conflicts
C7	Reduce the number of complaints to the courts about the water
C8	Increase the possibility of creating unlimited access to water information
C9	Increase the safety factor of water distribution facilities
C10	More public acceptance of the actual cost of water
C11	Reduce the problems caused by the effects of water scarcity on the environment
C12	Reduce the consequences of land subsidence due to groundwater exploitation
C13	Prevent declining groundwater quality
C14	Reduce rural migration to cities
C15	Long-term sustainability of the basin in all aspects of development
C16	More public acceptance of water-related laws

نتایج و بحث

شکل (۲) متوسط تغییرات دما و بارش سالانه ایستگاه هواشناسی اصفهان را در بازه ۲۰ ساله آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰) نشان داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در تمامی سناریوهای انتشار تغییر اقلیم، متوسط درجه حرارت در دوران آتی در منطقه، افزایش پیدا خواهد نمود. ماه‌های گرم سال (بهار و تابستان) بیش‌ترین افزایش دمای هوا را به‌خود اختصاص خواهند داد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار افزایش دما در سناریوی RCP2.6 بین ۰/۱ تا ۱/۳ درجه سانتی‌گراد، در سناریوی RCP4.5 بین ۰/۳ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و در سناریوی RCP8.5 بین ۰/۷ تا ۱/۶ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. کاهش بارندگی نیز در اکثر ماه‌های سال و سناریوهای انتشار در دوره ۲۰ ساله آتی (به‌جز موارد معدود در سناریوی انتشار RCP2.6) رخ خواهد داد. در سناریوی انتشار RCP2.6، مقدار بارش بین ۸+ تا ۱۷- درصد، در سناریوی RCP4.5 بین ۲- تا ۲۹- درصد و در سناریوی RCP8.5 بین ۱۱- تا ۳۵- درصد تغییر خواهد نمود.

علاوه بر این، مقایسه زوجی که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را مشخص می‌کند، از مزایای دیگر تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد. روش AHP دارای یک اساس و تئوری ساده می‌باشد و بر مبنای سه اصل استوار است تجزیه، مقایسه زوجی و ترکیب کردن متوالی ارزش‌ها و اولویت‌بندی گزینه‌ها (Shim, 1989).

در این مرحله از پژوهش، در ابتدا فهرستی از مهم‌ترین جوانبی که باید مدیریت منابع آب در حوضه با دیدگاه تغییر اقلیم، براساس آن‌ها تنظیم گردد تهیه شد. این فهرست در اختیار ۲۰ نفر از خبرگان و کارشناسان آشنا با موضوع منابع آب و پدافند غیرعامل قرار داده شد. با جمع‌بندی نظرات خبرگان و کارشناسان، فهرست تهیه‌شده براساس ۱۶ معیار نهایی شد. این موارد در جدول (۲) ارائه شده‌اند. در کنار آن، از میان گزینه‌های اصلی که می‌توان در مواجه شدن با تغییرات اقلیم و کمبود آب در آینده حوضه مورد توجه قرار داد، سه گزینه اصلی ۱- کاهش عرضه آب (کاهش تخصیص آب به مصارف)، ۲- افزایش تأمین آب (بهره‌برداری بیش‌تر از منابع آب زیرزمینی یا انتقال آب بین حوضه‌ای) و ۳- مدیریت تقاضای آب (سیاست‌های مدیریت مصرف) به‌عنوان گزینه‌های اصلی مواجهه با تغییرات اقلیم در حوضه انتخاب شدند. برای انجام تحلیل سلسله مراتبی و تهیه ماتریس مقایسات زوجی، لیست مربوط به معیارها و گزینه‌های موردنظر در قالب یک پرسش‌نامه جدید به‌همراه نتایج حاصل از بررسی تغییرات دما و بارش آتی حوضه، برای کارشناسان و صاحب‌نظران آب در حوضه آبریز زاینده‌رود ارسال شده و امتیازات جمع‌آوری شده در خصوص هر کدام از معیارها و گزینه‌ها، در نرم‌افزار Expert Choice مورد تحلیل قرار گرفت تا براساس آن بهترین گزینه ممکن از دیدگاه پدافند غیرعامل جهت سازگاری با تغییر اقلیم در آینده حوضه زاینده‌رود، مشخص شود.

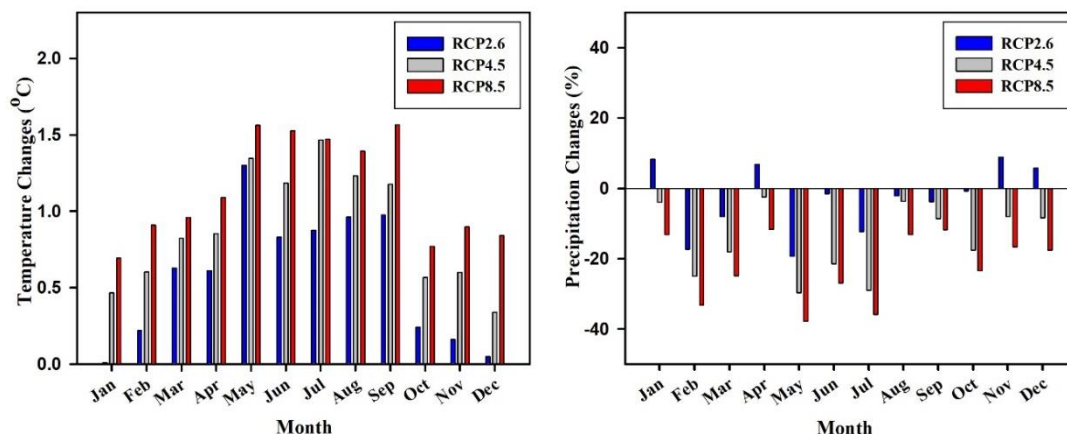


Figure 2. Average monthly changes in temperature and precipitation of Esfahan meteorological station

گزینه‌های مختلف سازگاری با تغییر اقلیم را براساس اصول پدافند غیرعامل در حوضه زاینده‌رود نشان داده‌اند. این امتیازها چه برای معیارها و چه برای گزینه‌های احداث سد، به صورت مقایسات زوجی داده شد. به عنوان نمونه اگر یک معیار نسبت به معیار دیگر اولویت دو برابری دارا بود، این عدد با ۲ و اگر اولویت یک معیار نصف اولویت معیار دیگر بود، با عدد ۰.۵ نشان داده شد.

نتایج کلی نشان داد که معیارهای «عدم آسیب به معیشت کشاورزان (C2)»، «عدم آسیب به امنیت غذایی در منطقه و نواحی مجاور (C3)»، «عدم ایجاد تعارض در زمینه منابع آب در بین حوضه‌های مختلف (C4)» و «پایداری بلندمدت‌تر حوضه در تمامی جنبه‌های توسعه (C15)» از نظر کارشناسان، در مقایسه با سایر معیارها دارای اهمیت و اولویت بیشتری بوده‌اند (جدول ۴). بررسی امتیازهای گزینه‌ها نیز نشان می‌دهد که به عقیده کارشناسان در اکثر موارد، گزینه «مدیریت تقاضای آب (O3)» با میانگین امتیاز ۵/۶ اولویت بیشتری نسبت به سایر گزینه‌های سازگاری با تغییر اقلیمی با رویکرد پدافند غیرعامل داشته است. پس از این گزینه، گزینه «افزایش تأمین آب (O2)» با امتیاز ۴/۴ اولویت بیشتری نسبت به گزینه «کاهش عرضه آب (O1)» با امتیاز ۲/۶ داشته است (جدول ۵).

متوسط تغییرات سالانه دما و بارش ایستگاه اصفهان در طی ۲۰ سال آینده نیز در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که به طور متوسط افزایش دما و کاهش بارش در تمامی سناریوهای انتشار خوش‌بینانه تا بدبینانه محتمل خواهد بود. میانگین سه سناریوی انتشار ذکرشده، افزایش دمای ۲۰ سال آتی منطقه را حدود ۰/۹ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارندگی را حدود ۱۳/۳ درصد برآورد می‌کنند.

Table 3. Average yearly changes in temperature and precipitation of Esfahan meteorological station in different emission scenarios and the period 2021 to 2040

Emission scenarios	Temperature changes (°C)	Precipitation changes (%)
RCP2.6	0.6	-2.9
RCP4.5	0.9	-14.7
RCP8.5	1.1	-22.2
Average	0.9	-13.3

جدول (۴)، میانگین امتیازهای ارائه‌شده توسط کارشناسان در زمینه اولویت نسبی معیارهای سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه زاینده‌رود را براساس پدافند غیرعامل ارائه داده‌اند. این امتیازات از ۹- تا ۹ تغییر نموده و هرچه این عدد به ۹، اولویت بالاتر یک معیار را نسبت به معیار دیگر در زمینه موضوع نشان می‌دهد. به همین نحو، هرچه این امتیاز به ۹- نزدیک‌تر باشد، اولویت آن معیار کم‌تر خواهد بود. جدول (۵) نیز امتیازات مربوط به

شناسایی اولویت‌های بخش آب جهت سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه زاینده‌رود با رویکرد پدافند غیرعامل

Table 4. Expert's scores on criteria for assessing the role of climate change in the Zayandeh-roud basin based on passive defense

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
C1	-	2	-3	-2	1	3	2	4	5	4	6	6	4	1	-3	2
C2	-	-	1	1	3	4	4	7	3	4	6	3	5	1	-2	5
C3	-	-	-	2	3	5	6	8	5	4	4	5	5	3	-1	3
C4	-	-	-	-	2	3	2	4	2	4	4	5	4	2	-2	2
C5	-	-	-	-	-	2	3	5	2	3	3	4	3	1	-3	2
C6	-	-	-	-	-	-	1	3	-1	3	2	3	4	-3	-3	-1
C7	-	-	-	-	-	-	-	2	-2	2	1	2	-2	-4	-4	-3
C8	-	-	-	-	-	-	-	-	-3	-2	-1	-2	-2	-6	-7	-3
C9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4	2	2	-1	-2	2
C10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3	-3	-2	-5	-6	-3
C11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-5	-5	-3
C12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-4	-5	-3
C13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5	-6	-4
C14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-2	2
C15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
C16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 5. Comparison of the scores of adaptation options to climate change in the Zayandeh-roud basin based on passive defense

Code	Scores (1-9)		
	Reduce water supply (O1)	Increase water supply (O2)	Water demand management (O3)
C1	3.2	8.5	4.5
C2	3.1	7.9	6.4
C3	3.6	8.2	6.3
C4	1.9	5.6	6.9
C5	2.2	5.8	7.2
C6	2.4	3.3	4.5
C7	1.3	2.8	5.9
C8	1.5	2.1	4.8
C9	1.6	2.4	6.3
C10	1.2	3.1	6.1
C11	3.2	2.7	4.9
C12	4.7	3.8	4.8
C13	5.4	3.4	3.9
C14	1.8	5.5	5.2
C15	3.3	2.6	5.7
C16	1.3	2.4	6.3
Ave	2.6	4.4	5.6

دسترسی نامحدود به اطلاعات آب (C8)» با امتیاز نسبی ۰/۱۷ و «پذیرش بیش‌تر عمومی در زمینه پرداخت هزینه واقعی آب (C10)» با امتیاز نسبی ۰/۱۹، کم‌اهمیت‌ترین معیارهای مرتبط با موضوع از دیدگاه کارشناسان به‌شمار می‌روند.

نتایج مربوط به خروجی نرم‌افزار Expert Choice در زمینه انتخاب گزینه‌های مناسب جهت سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه براساس اصول پدافند غیرعامل، در شکل (۴) نشان داده شده است. بر این اساس، گزینه مدیریت تقاضای آب با امتیاز ۰/۴۴، دارای اولویت اصلی و گزینه‌های افزایش تأمین آب و کاهش عرضه آب با امتیازهای ۰/۳۸ و ۰/۱۸، گزینه‌های بعدی در زمینه سازگاری با تغییر اقلیم براساس معیارهای پدافند غیرعامل به‌شمار می‌روند.

نتایج مربوط به خروجی نرم‌افزار Expert choice در زمینه تحلیل معیارهای مختلف سازگاری با تغییر اقلیم در حوضه زاینده‌رود با رویکرد پدافند غیرعامل در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که براساس مقایسه زوجی نتایج با یکدیگر، معیار «پایداری بلندمدت‌تر حوضه در تمامی جنبه‌های توسعه (C15)» با امتیاز نسبی ۰/۱۴۷ بالاترین اهمیت را در بین تمامی معیارها به‌خود اختصاص داده است. هم‌چنین معیار «عدم آسیب به امنیت غذایی در منطقه و نواحی مجاور (C3)» با امتیاز ۰/۱۴۴ نیز از مهم‌ترین معیارهایی است که براساس تحلیل سلسله مراتبی برای سیاست‌گذاری در زمینه سازگاری با تغییر اقلیم در آینده حوضه براساس اصول پدافند غیرعامل، حائز اهمیت می‌باشد. در مقابل معیارهایی نظیر «افزایش امکان ایجاد

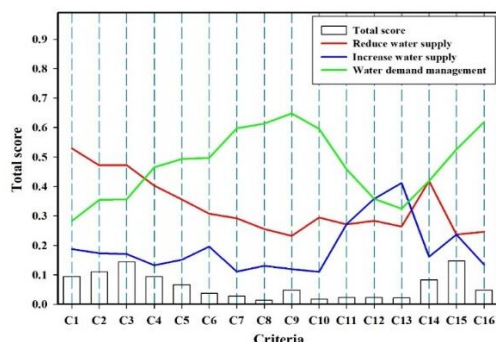


Figure 5. Sensitivity analysis of different adaptation options to climate change in the Zayandeh-rud basin based on passive defense

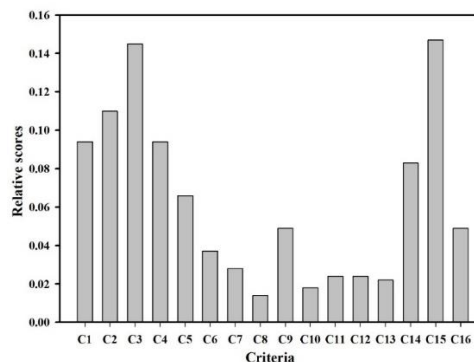


Figure 3. Scores of different adaptation criteria to climate change in the Zayandeh-rud

نتیجه گیری

با توجه به این که پدیده تغییر اقلیم یکی از حساس ترین موضوعاتی است که مدیریت منابع آب در دوران آینده را در نواحی خشک و نیمه خشک ایران از جمله حوضه زاینده رود با پیچیدگی هایی همراه خواهد ساخت، لذا این پژوهش با هدف بررسی میزان اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه و رویکردهای سازگاری با آن از منظر پدافند غیرعامل صورت گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که افزایش دما و کاهش بارندگی طی ۲۰ سال آتی یک پدیده بسیار محتمل در حوضه زاینده رود خواهد بود. افزایش دما باعث افزایش مصرف آب در بخش کشاورزی و سایر بخش ها شده و در نتیجه کاهش بارندگی، کمبود آب در دوره آتی در اثر پدیده تغییر اقلیم تشدید خواهد شد. به علاوه افزایش جمعیت حوضه نیز، تقاضا برای منابع آب را افزایش خواهد داد و این موضوع ممکن است باعث ایجاد تعارض هایی بین بهره برداران در این خصوص شود که از هم اکنون باید ضمن اتخاذ سیاست های مناسب پدافند غیرعامل جهت مدیریت منابع آب در آینده، از بروز این تعارض ها جلوگیری کرد.

نتایج مربوط به اولویت دهی معیارها و گزینه های سازگاری حوضه با تغییر اقلیم براساس رویکرد پدافند غیرعامل نیز نشان داد که «عدم آسیب به معیشت کشاورزان» و «عدم آسیب به امنیت غذایی در منطقه و نواحی مجاور»

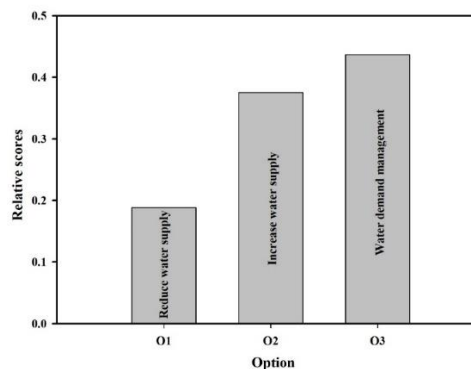


Figure 4. Scores of different adaptation options to climate change in the Zayandeh-rud basin based on passive defense

جهت مشخص شدن میزان تأثیر هر کدام از معیارهای منتخب جهت تعیین گزینه های سازگاری با تغییر اقلیم براساس معیارهای پدافند غیرعامل در حوضه، تحلیل حساسیت گزینه های مذکور نیز در نرم افزار Expert Choice صورت گرفت که در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که پیاده سازی گزینه کاهش عرضه آب اندکی در تضاد با معیارهای «بالا بودن ضریب رضایت عمومی بهره برداران (C1)»، «عدم آسیب به معیشت کشاورزان (C2)» و «عدم آسیب به امنیت غذایی در منطقه و نواحی مجاور (C3)» به شمار می رود، هرچند در مجموع گزینه مدیریت تقاضای آب در اکثر موارد شاخص ترین گزینه خواهد بود.

- Copeland, C., & Cody, B. (2010). Terrorism and security issues facing the water infrastructure sector. Congressional Research Service, 1-18.
- Dabbagh, R., & Nasiri Fard, B. (2019). Vulnerable and safe points in crisis situations with a passive defense approach in Tabriz, Iran. *Quarterly Scientific Journal of Rescue and Relief*, 11(3), 214-223.
- Eslamian, S. S., Gohari, S. A., Zareian, M. J., & Firoozfar, A. (2012). Estimating Penman-Monteith reference evapotranspiration using artificial neural networks and genetic algorithm: A case study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37(4), 935-944.
- Gleick, P. H. (2006). Water and terrorism. *Water Policy*, 8(6), 481-503.
- Gohari, A., Eslamian, S., Mirchi, A., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., & Madani, K. (2013). Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can Backfire. *Journal of Hydrology*, 491, 23-39.
- Goyal, R. K. (2004). Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural Water Management*, 69(1), 1-11.
- Hulme, M. (2016). 1.5°C and climate research after the Paris Agreement. *Nature Climate Change*, 6(3), 222-224.
- IPCC. (2014). Climate Change 2013-The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, website: <https://www.ipcc.ch>
- Kettler, A. J., & Goulter, I. C. (1985). An analysis of pipe breakage in urban water distribution networks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 12(2), 286-293.
- Madani, K., & Mariño, M. A. (2009). System Dynamics Analysis for Managing Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Water Resources Management*, 23(11), 2163-2187.
- Osborne, T., Rose, G., & Wheeler, T. (2013). Variation in the global-scale impacts of climate change on crop productivity due to climate model uncertainty and adaptation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170(1) 183-194.
- Pirihor, H., Jalali, G., & Nekooie, M. A., (2018). Development of Passive Defense in Supplying Drinking Water in Yazd City by Improving the Weaknesses Governing Current Situation. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 3(3), 39-51. (In Persian).

مهم‌ترین معیارهایی هستند که براساس رویکرد پدافند غیرعامل در این خصوص حائز اهمیت می‌باشند. بر این اساس، گزینه «مدیریت تقاضای آب» نسبت به دو گزینه «افزایش تأمین آب» و «کاهش عرضه آب» اولویت بیشتری در این زمینه دارا بود. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که سیاست‌های عرضه‌محور آب یا جیره‌بندی آب در بلندمدت باعث کاهش تعارض‌های آبی براساس دیدگاه پدافند غیرعامل در حوضه نخواهند شد و گزینه مدیریت تقاضای آب به دلیل ایجاد رویکرد همکارانه میان بخش عرضه و تقاضای آب، باعث کاهش تعارضات احتمالی آبی در این خصوص خواهد شد.

تشکر و قدردانی

از تمامی کارشناسان، استادان و خبرگانی که با ارائه نظرات ارزشمند خود و حمایت‌های معنوی، زمینه انجام دقیق و مؤثر این پژوهش را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

- Climate change
- Passive defense
- AOGCMs
- CMIP5 (coupled model intercomparison project phase 5)
- Emission scenarios
- Analytical hierarchy process

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- Aguiar, F. C., Bentz, J., Silva, J. M., Fonseca, A. L., Swart, R., Santos, F. D., & Penha-Lopes, G. (2018). Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview. *Environmental Science and Policy*, 86 (1), 38-63.

14. Saatsaz, M. (2020). A historical investigation on water resources management in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 22(3),1749-1785.
15. Shim, J. P. (1989). Bibliographical research on the analytic hierarchy process (AHP). *Socio-Economic Planning Sciences*, 23(3), 161-167.
16. Zareian, M. J. (2021). Optimal water allocation at different levels of climate change to minimize water shortage in arid regions (Case Study: Zayandeh-Rud River Basin, Iran). *Journal of Hydro-environment Research*, 35, 13-30.
17. Zareian, M. J., & Eslamian, S., (2016). Variation of water resources indices in a changing climate. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 6(2), 173-187.