


- 
- شناسایی پیامدهای کاهش آب در شهرستان زنجان از دیدگاه کشاورزان
 - اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی هواشناسی به کمک داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان شیراز)
 - بهره‌وری اقتصادی آب و سودآوری تولید علوفه لوبیا چشم بلبلی، ماش و گوار تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی
 - ارزش گذاری آب های زیرزمینی در بهره برداری های کشاورزی مورد مطالعه برنجکاران شهرستان رامهرمز در استان خوزستان
 - ارزیابی پتانسیل خورندگی و ترسیب در چاه‌های تامین کننده آب شرب شهر گرگان
 - بکارگیری دانش مدیریت پروژه و الگوریتم هیبریدی در پیش‌بینی زمان و هزینه تکمیل پروژه‌های سدسازی

Research Paper

Identifying the consequences of water reduction in Zanjan township from the perspective of farmers

Vahid Mohammadi^{1*}, Jafar Yaghoubi²

1. PhD Graduate of Agricultural Extension and Education, Department of Extension, Communication and Rural Development, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2. Professor of Agricultural Extension and Education, Department of Extension, Communication and Rural Development, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2023/06/18

Revised: 2023/09/02

Accepted: 2023/09/26

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2024.32026.2389](https://doi.org/10.30495/wej.2024.32026.2389)

Keywords:

Water shortage, Underground water, Social problems, Agriculture

Abstract

Introduction: Water is a basic and important resource for human development and economic growth. Water is also important for the agricultural sector. On the one hand, the lack of water and on the other hand, the increase in water demand for different parts of the society, has faced most of the developing countries with a serious and important problem. Water for the agricultural sector is decreasing and scarce every day. Also, with the increase in population, the demand and consumption of water in rural areas and especially in the agricultural sector has increased. Lack of water has caused various problems in different regions. The purpose of this research was to identify the consequences of water reduction in Zanjan township from the perspective of farmers with wells.

Methods: The current research was a quantitative and applied research. The statistical population of this research was farmers with wells in Zanjan township (N=8017). The sample size was estimated to be 367 people based on Cochran's formula. The sampling method was multi-stage cluster sampling. Data collection tool was a researcher-made questionnaire. The content validity of the questionnaire was confirmed by experts and researchers in the field of water management and the reliability of the research tool was confirmed by using the pilot test and calculating the Cronbach's alpha coefficient ($\alpha = 0.94$).

Findings: Using the results of exploratory factor analysis, the consequences of water shortage in the rural areas of Zanjan township from the perspective of farmers summarize in six factors including the increase of plant and animal diseases, change of agricultural land use and weakening of villagers' financial ability, dryness and reduction of water in fountain and rivers and reduction of pastures and the area under cultivation of agricultural products, the lowering of level of underground water resources and the reduction of the water supply of wells, reducing the incentive to invest in agriculture and increasing soil erosion, water and soil salinity and increasing disputes and conflict in the village. These six factors were able to explain 63.48% of the total variance of the impacts of water shortage.

Citation: Mohammadi V, Yaghoubi J. Identifying the consequences of water reduction in Zanjan township from the perspective of farmers. *Water Resources Engineering Journal*. 2021; 14(49): 1- 12.

***Corresponding author:** Vahid Mohammadi

Address: Department of Extension, Communication and Rural Development, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Tell: +989196957421

Email: VahidMohammadi95@Znu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Water is a basic and important resource for human development and economic growth. Water is also important for the agricultural sector. Agriculture is a complex system in which various aspects such as environmental, economic, cultural and political aspects play a major and essential role. On the one hand, the lack of water and on the other hand, the increase in water demand for different parts of the society, has faced most of the developing countries with a serious and important problem. Water for the agricultural sector is decreasing and scarce every day. Also, with the increase in population, the demand and consumption of water in rural areas and especially in the agricultural sector has increased. Lack of water has caused various problems in different regions. The purpose of this research was Identifying the consequences of water reduction in Zanjan township from the perspective of farmers.

Materials and Methods

The current research was a quantitative and applied research. The statistical population of this research was farmers with wells in Zanjan township (N=8017). The sample size was estimated to be 367 people based on Cochran's formula. The sampling method was multi-stage cluster sampling. The tool of data collection was a researcher-made questionnaire. The content validity of the questionnaire was confirmed by the experts and researchers in the field of water and the reliability of the research instrument (questionnaire) using the pilot design and calculating the Cronbach's alpha coefficient ($\alpha = 0.94$). Data analysis was done using SPSS26 software. In data analysis, frequency tables, mean, standard deviation was used in the descriptive part, and exploratory factor analysis was used in the inferential part.

Findings

The results showed that the most important Consequences of water shortage were the decrease in crop yield, early drying of rivers, increase in soil erosion, drying of old fountain and lowering the level of crop

cultivation. The least problems of water shortage were, in order, the salinity of well water, the increase in fires in pastures, the increase in soil salinity, extending the irrigation time and decreasing the share of irrigation. The results of the exploratory factor analysis showed that the problems of water shortage in the rural areas of Zanjan township from the point of view of farmers with wells are in six factors: the increase of plant and animal diseases, change of agricultural land use and weakening of villagers financial ability, dryness and reduction of water in fountain and rivers and reduction of pastures and the area under cultivation of agricultural products, the lowering of level of underground water resources and the reduction of the water supply of wells, reducing the incentive to invest in agriculture and increasing soil erosion, water and soil salinity and increasing disputes and conflict in the village were summarized.

Conclusion

Lack of water that leads to a decrease in crop yield. The decrease in yield also reduces the farmer's income and threatens the well-being of the household and rural communities. The drying up and reduction of the water supply of rivers and springs causes that the irrigation of agricultural products is not done well, and as a result, it reduces the yield of the product. Also, as a result of the drying up and reduction of the water supply of springs and rivers, people start digging wells and as a result, they cause the level of underground water tables to drop. The salinization of well water causes a shortage of drinking water in rural areas, and in addition, irrigation of crops with salty water causes an increase in soil salinity in addition to reducing crop yields. The increase in migration to the cities has caused the emptying of the villages and the reduction of agricultural production, and it also leads to the increase of social problems in the cities. The lowering of the underground water level leads to problems such as land subsidence, pollution of underground water sources. The mentioned problems will increase government expenses in rural areas. Prolonging the time

of irrigation reduces the yield and thus discourages people from farming. The reduction of water causes people to provide their needed water in different ways, such as drilling wells, using modern irrigation methods. The use of new irrigation methods has a lot of costs for agriculture. Most farmers do not have the financial ability to provide equipment and implement new irrigation methods.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Vahid Mohammadi, Jafar Yaghoubi .

Methodology and data analysis: Vahid Mohammadi, Jafar Yaghoubi .

Supervision and final writing: Vahid Mohammadi, Jafar Yaghoubi .

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

شناسایی پیامدهای کاهش آب در شهرستان زنجان از دیدگاه کشاورزان

وحید محمدی^{۱*}، جعفر یعقوبی^۲

۱. دانش‌آموخته دکتری ترویج و آموزش کشاورزی، گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. استاد ترویج و آموزش کشاورزی، گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

مقدمه: کمبود آب و افزایش تقاضای آب برای بخش‌های مختلف جامعه، اکثر کشورهای در حال توسعه از جمله ایران را با یک مسأله جدی و مهم مواجه کرده‌است. هدف تحقیق حاضر شناسایی پیامدهای کمبود آب در مناطق روستایی در شهرستان زنجان از دیدگاه کشاورزان بود.

روش: تحقیق حاضر از نوع تحقیقات کمی و کاربردی بود. جامعه آماری این تحقیق کشاورزان دارای چاه آب در شهرستان زنجان بود ($N=8017$). حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران ۳۶۷ نفر برآورد شد. روش نمونه‌گیری، نمونه‌گیری خوشه‌ای چند مرحله‌ای بود. ابزار گردآوری داده‌ها، پرسشنامه محقق ساخته بود. روایی محتوایی پرسشنامه توسط متخصصان و محققان در زمینه آب تأیید شد. پایایی ابزار تحقیق با استفاده از طرح پایلوت و محاسبه ضریب آلفای کرونباخ تأیید شد ($\alpha=0.94$).

یافته‌ها: با استفاده از نتایج تحلیل عاملی اکتشافی، پیامدهای کمبود آب در مناطق روستایی شهرستان زنجان از دیدگاه کشاورزان در شش عامل افزایش بیماری‌های گیاهی و دامی، تغییر کاربری اراضی کشاورزی و تضعیف توان مالی روستاییان، خشکی و کاهش آب چشمه‌ها و رودخانه‌ها و کاهش مراتع و سطح زیرکشت محصولات کشاورزی، پایین رفتن سطح منابع آب زیرزمینی و کاهش میزان آبدهی چاه‌ها، کاهش انگیزه سرمایه‌گذاری در کشاورزی و افزایش فرسایش خاک، شوری آب و خاک و افزایش اختلافات و درگیری در روستا خلاصه شدند. این شش عامل توانستند ۶۳/۴۸٪ از کل واریانس پیامدهای کمبود آب را تبیین کنند.

نتیجه‌گیری: کمبود آب که منجر به کاهش عملکرد محصول می‌شود، کاهش عملکرد همچنین باعث کاهش درآمد کشاورز و تهدید رفاه خانوار و جوامع روستایی می‌شود. خشک شدن و کاهش آب رودخانه‌ها و چشمه‌ها باعث می‌شود که آبیاری محصولات کشاورزی به خوبی انجام نشود و در نتیجه باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. همچنین در اثر خشک شدن و کاهش آب چشمه‌ها و رودخانه‌ها، مردم دست به حفر چاه می‌زنند و در نتیجه باعث افت سطح آب‌های زیرزمینی می‌شوند. شور شدن آب چاه باعث کمبود آب آشامیدنی در روستاها می‌شود و علاوه بر آن آبیاری محصولات با آب شور علاوه بر کاهش عملکرد محصول باعث افزایش شوری خاک می‌شود. افزایش مهاجرت به شهرها باعث خالی شدن روستاها و کاهش تولیدات کشاورزی و افزایش معضلات اجتماعی در شهرها شده‌است. کاهش سطح آب زیرزمینی مشکلاتی مانند فرونشست زمین، آلودگی منابع آب زیرزمینی را به دنبال دارد. مشکلات ذکر شده باعث افزایش هزینه‌های دولت در روستاها می‌شود. طولانی شدن زمان آبیاری باعث کاهش عملکرد و در نتیجه منصرف شدن مردم از کشاورزی می‌شود. کاهش آب باعث می‌شود مردم آب مورد نیاز خود را از راه‌های مختلف مانند حفر چاه با استفاده از روش‌های نوین آبیاری تأمین کنند. استفاده از روش‌های نوین آبیاری هزینه‌های زیادی برای کشاورزی دارد. اکثر کشاورزان توانایی مالی برای تهیه تجهیزات و اجرای روش‌های نوین آبیاری را ندارند.

تاریخ دریافت: ۱۳۴۰۲/۰۳/۲۸

تاریخ داوری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2024.32026.2389](https://doi.org/10.30495/wej.2024.32026.2389)

واژه‌های کلیدی:

کمبود آب، آب زیرزمینی، مشکلات اجتماعی، کشاورزی

* نویسنده مسئول: وحید محمدی

نشانی: گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تلفن: ۰۹۱۹۶۹۵۷۴۲۱

پست الکترونیکی: VahidMohammadi95@Znu.ac.ir

مقدمه

آب منبع اساسی و مهمی برای توسعه جامعه انسانی و رشد اقتصادی و نیز یکی از منابع اصلی در چرخه زندگی و حیات می‌باشد (۷، ۱۳). آب برای بخش کشاورزی نیز مهم می‌باشد. کشاورزی یک سیستم پیچیده‌ای می‌باشد که جنبه‌های مختلفی مانند جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، فرهنگی و سیاسی در آن نقش عمده و اساسی ایفا می‌کنند (۲). همچنین آب در پیشرفت و توسعه روستایی، بهبود امنیت غذایی و کاهش فقر در مناطق روستایی نقش مهمی دارد (۳). با این حال منابع آب و خاک محدود هستند و به مرور زمان تخریب و کاهش می‌یابند (۱۵). کشاورزی برای یک کشور، کارکردهای مختلفی داشته و منافع زیادی برای جامعه روستایی دارد. کشاورزی یکی از بخش‌های اصلی و مهم اقتصاد روستایی بوده ولی موضوعات و مشکلات حل‌نشده‌ای در جوامع روستایی وجود دارد که یکی از این مشکلات، کمبود آب و تأمین منابع آب کشاورزی است (۱۷). به عبارت دیگر بخش کشاورزی نقش مهمی را در امنیت غذایی دارد ولی در سال‌های اخیر مشکلات طبیعی همچون خشکسالی، تغییرات اقلیمی و تغییر الگوهای دمایی در مناطق مختلف جهان، کشورها را با چالش‌ها و مشکلات مختلفی مانند تولید بیشتر محصولات با آب کمتر روبه‌رو کرده‌است و کمیت و کیفیت آب به‌خصوص در بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده‌است (۳، ۱۰). کمبود آب در سال‌های اخیر به یک بحران جهانی تبدیل شده‌است (۹، ۱۷). از یک طرف کمبود آب و از طرف دیگر افزایش تقاضای آب برای بخش‌های مختلف جامعه، اکثر کشورهای در حال توسعه را با یک مسأله جدی و مهم مواجه کرده‌است (۳). همچنین با افزایش جمعیت، تقاضا و مصرف آب در مناطق روستایی و مخصوصاً بخش کشاورزی نسبت به گذشته افزایش یافته‌است (۱۷). افزایش تقاضای آب در کشاورزی را می‌توان در افزایش زمین‌های آبی، افزایش قابل توجه محصولات کشت دوم، کاهش آیش آبی و نیز تغییرات الگوی کشت به سمت محصولات با نیاز آبی بالا مشاهده کرد (۳). به طوری که امروزه کمبود آب در مناطق روستایی و کشاورزی به یک مسأله و چالش مهمی تبدیل شده‌است (۸). کمبود آب در مناطق مختلف مشکلات گوناگونی را ایجاد کرده است. یکی از این مشکلات تضادهای خشونت‌آمیز بر سر آب می‌باشد (۴). مشکلات و تضادهای محلی و روستایی که بر سر آب وجود دارد، جزء چالش‌های جدیدی است. در صورت حل نشدن تضادهای محلی، این مشکلات به مسأله امنیتی در بسیاری از کشورها تبدیل خواهد شد (۱۶). از یک طرف قرار گرفتن کشور ایران در منطقه خشک جهان و از طرف دیگر میزان پایین بارندگی در کشور (بارندگی در کشور کمتر از یک سوم حد متوسط جهانی است)، آب به یک مسأله مهم تبدیل شده و آب در کشور و مناطق روستایی به یک چالش مهم تبدیل شده‌است (۳). در ایران نیز عوامل مختلفی مانند تشدید کمبود آب، خشکسالی، افزایش جمعیت و کمبود فضای تعاملی و گفت‌وگویی در مناطق مختلف و مخصوصاً مناطق روستایی، می‌تواند نشانه‌هایی از بروز تضاد آب در کشور و منطقه باشد (۱۶). در ادامه به بخشی از نتایج تحقیقات صورت گرفته در زمینه مشکلات آب اشاره شده‌است.

نتایج تحقیقی تحت عنوان واکاوی موانع مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی از دیدگاه گندم‌کاران روستاهای شهرستان مراغه نشان داد که حفر غیرمجاز چاه‌های عمیق، شور شدن آب‌های زیرزمینی، تبدیل زمین‌های زراعی به باغی، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، عدم توان مالی کشاورزان برای استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین از موانع مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی بود (۶).

تحقیقی با هدف اولویت‌بندی راهکارهای مدیریت بهینه منابع آب کشاورزی از دیدگاه کارشناسان کشاورزی (مطالعه موردی استان آذربایجان غربی-شهرستان بوکان، بخش سمینه) انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که حفر غیرمجاز چاه‌های عمیق، افت سطح آب‌های زیرزمینی، هزینه بالای تجهیزات، تخلیه روستا، کاهش بازده محصولات کشاورزی، افزایش مهاجرت از روستا به شهر، کاهش اشتغال در بخش کشاورزی، کاهش رفاه اجتماعی، افزایش فقر و افزایش درگیری میان بهره‌برداران از مهم‌ترین مشکلات و تهدیدات بحران آب بود (۹).

در تحقیقی با عنوان مدیریت تضاد آب کشاورزی در حوزه آبخیز گاوشان؛ راهکارهای مبتنی بر راهبرد همکاری به این نتیجه دست یافتند که ناکارآمدی در توزیع آب، ناتوانی در نگهداری از شبکه، تمرکززدایی بدون حمایت، فقدان مکانیسم حل تضاد در منطقه و موجود نبودن آب از مهم‌ترین علل تضاد آب کشاورزی در منطقه بود (۱۶).

نتایج پژوهشی با هدف بررسی مسایل و محدودیت‌های مدیریت آب کشاورزی از دیدگاه کشاورزان شهرستان کرج نشان داد که کاهش آب‌دهی منابع آب سطحی و افت سفره‌های زیرزمینی، عدم رعایت عرف محلی توسط مردم در خصوص بهره‌برداری صحیح از منابع آب، طولانی بودن نوبت آبیاری، افزایش مصرف آب به دلیل شوری اراضی کشاورزی از مشکلات مهم در زمینه آب و مدیریت آن بود (۵).

نتایج تحقیقی تحت عنوان چالش‌های مدیریت آب زراعی گندم‌کاران در شهرستان خرمبید نشان داد که خشک شدن قنوات، افزایش عمق چاه‌ها، آلوده شدن منابع آب، درگیری بین کشاورزان و روستاییان، طولانی بودن نوبت آبیاری، خشک شدن مزارع و باغات از چالش‌های مهم مدیریت آب زراعی بود (۱).

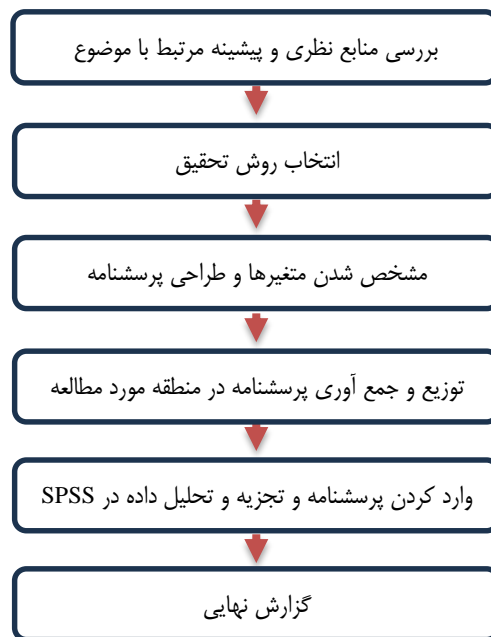
در تحقیقی با هدف بررسی مشکلات مدیریت آب کشاورزی از دیدگاه زارعین شهرستان فلاورجان به این نتیجه دست یافتند که کاهش سطح آب زیرزمینی، کاهش آب‌دهی چاه‌ها، افزایش هزینه سرویس و نگهداری ایستگاه پمپاژ، شوری آب آبیاری و اختلافات محلی از مسائل و مشکلات مدیریت در آب در منطقه مورد مطالعه بود (۱۲).

نتایج پژوهشی تحت عنوان شناسایی و تحلیل مشکلات مدیریت آب کشاورزی در شهرستان زرین‌دشت، استان فارس نشان داد که افت سطح آب زیرزمینی، پر پیچ و خم بودن کانال‌ها، نامسطح بودن اراضی آبیاری، حفر چاه و شور شدن آب و شوری خاک از مشکلات منطقه در زمینه مدیریت آب بود (۱۱).

تحقیقی با هدف تحلیل مشکلات و ساز و کارهای بهبود مدیریت آب کشاورزی در تولید انگور در شهرستان تاکستان در سال ۱۳۸۸ انجام شد. نتایج این تحقیق در رابطه با مشکلات مدیریت آب کشاورزی عبارت بودند از: افت سطح آب زیرزمینی، افزایش هزینه پمپ و تعمیر

روش‌های آبیاری مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه ترکیبی از روش‌های سنتی مثل روش غرقابی و روش‌های نوین مثل آبیاری بارانی و آبیاری قطره ای می‌باشد که روش‌های سنتی غالب می‌باشند. محصولات عمده منطقه مورد مطالعه شامل گندم، یونجه و محصولات جالیزی در بخش زراعت و سیب در بخش باغبانی می‌باشند. تحقیق حاضر از نوع تحقیقات کمی و کاربردی است. همچنین از نظر گردآوری داده‌ها جزء تحقیقات توصیفی به شمار می‌رود. جامعه آماری این تحقیق کشاورزان دارای چاه در شهرستان زنجان می‌باشد که طبق آخرین آمار و اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای در شهرستان زنجان ۸۰۱۷ حلقه چاه کشاورزی وجود دارد. حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران ۳۶۷ نفر برآورد شد. روش نمونه‌گیری بر اساس نمونه‌گیری خوشه‌ای چند مرحله‌ای انجام شد. بدین صورت که در ابتدا هر بخش شهرستان زنجان به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفته شد. سپس از هر بخش چند دهستان به‌عنوان خوشه در نظر گرفته شد و در نهایت از هر دهستان چند آبادی به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و از هر آبادی چند کشاورز به‌صورت تصادفی به‌عنوان نمونه انتخاب و پرسشنامه تکمیل شد. ابزار گردآوری داده‌ها، پرسشنامه محقق ساخته بود. جهت تأیید روایی محتوایی ابزار تحقیق، پرسشنامه در اختیار چند کارشناس و متخصص و محقق در زمینه‌های تنوع معیشتی و آب قرار گرفت و اصلاحات مورد نظر نیز انجام شد. جهت سنجش پایایی ابزار تحقیق (پرسشنامه) از طرح پایلوت (آزمون راهنما یا پیش‌آزمون) و محاسبه ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. بدین صورت که تعداد ۳۰ پرسشنامه در محدوده‌ای خارج از نمونه مشخص شده در این تحقیق توزیع و گردآوری شد. سپس داده‌های به‌دست آمده وارد نرم‌افزار SPSS26 شده و از طریق آزمون آلفای کرونباخ جهت به دست آوردن پایایی پرسشنامه مورد بررسی قرار گرفت. مقدار آلفای کرونباخ ۰/۹۴ به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS26 انجام شد. در تحلیل داده‌ها در بخش توصیفی از جداول فراوانی، میانگین، انحراف معیار و در بخش استنباطی از تحلیل عاملی اکتشافی استفاده شد.

چاه در اثر افت سطح آب زیرزمینی، عدم رعایت نوبت آبیاری، طولانی بودن نوبت آبیاری، خشک شدن قنات‌ها در مزرعه و کاهش آبدهی چشمه‌ها از مشکلات مدیریت آب کشاورزی (۱۴). تحقیقات مختلفی در زمینه پیامدهای کمبود آب در مناطق مختلف انجام شده است ولی تاکنون تحقیقی در زمینه کمبود آب و پیامدهای آن در مناطق روستایی شهرستان زنجان انجام نشده‌است. بنابراین تحقیق حاضر برای پر کردن این خلا و شکاف انجام شده و هدف تحقیق شناسایی پیامدهای کمبود آب در مناطق روستایی در شهرستان زنجان از دیدگاه کشاورزان بود.



شکل ۱. فلوچارت تحقیق

مواد و روش‌ها

بر اساس آمار هواشناسی استان زنجان از ایستگاه سینوپتیک زنجان، آمار بارش از سال ۱۳۴۸ تا پاییز سال ۱۴۰۱ روندی نزولی داشته است، به طوری که در سال ۱۳۴۸ میزان بارش ۳۷۵/۸ میلی‌متر بوده که این آمار در سال ۱۳۵۸ به ۲۱۶/۹ میلی‌متر رسیده‌است. همچنین بارش در سال ۱۳۶۸ به ۱۶۷/۲ میلی‌متر کاهش یافته و از سال ۱۳۶۸ به بعد بارش در این ایستگاه روند صعودی داشته و در سال ۱۳۷۸ بارش به ۱۹۸/۱ میلی‌متر افزایش یافته‌است. در سال ۱۳۸۸ میزان بارش ۳۲۵ میلی‌متر و در سال ۱۳۹۸ میزان بارش در این ایستگاه ۳۸۲/۲ میلی‌متر ثبت شده‌است. بیشترین میزان بارش ثبت شده در این ایستگاه مربوط به سال ۱۳۷۲ به میزان ۴۲۷/۹ میلی‌متر بوده و کمترین میزان بارش نیز تا پاییز ۱۴۰۱ به میزان ۱۰۴/۷ میلی‌متر و در سال ۱۳۸۷ به میزان ۱۵۲/۳ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۲. نقشه استان زنجان

جدول ۱- توزیع فراوانی پاسخگویان بر حسب سن

گروه سنی (سال)	فراوانی	درصد فراوانی معتبر	فراوانی	سایر شاخص‌ها
۲۴-۳۵	۵۴	۱۵/۴	۱۵/۴	
۳۶-۴۵	۱۴۰	۳۹/۹	۵۵/۳	میان: ۴۵ سال
۴۶-۵۶	۹۳	۲۶/۵	۸۱/۸	نما: ۴۰ سال
بالای ۵۶	۶۴	۱۸/۲	۱۰۰	
مجموع	۳۵۱	۱۰۰		



شکل ۳. نقشه منطقه مورد مطالعه

نتایج

نتایج حاکی از آن بود که میانگین سن پاسخگویان ۴۵/۸۸ سال با انحراف معیار ۱۱/۵۷ سال بود. همچنین ۵۵/۳ درصد افراد دارای سن ۴۵ سال و کمتر از ۴۵ سال بودند و ۴۴/۷ درصد پاسخگویان سن ۴۶ سال و بالاتر از ۴۶ سال داشتند. نتایج بیشتر در جدول ۱ آمده است. همچنین ۷۹/۵ درصد افراد تحصیلات متوسطه و کمتر از آن را داشتند. علاوه بر این ۴۷ درصد افراد تحصیلات راهنمایی و بالاتر از آن را داشتند. میانگین سابقه کشاورزی پاسخگویان ۲۳/۲۶ سال با انحراف معیار ۱۱/۵۳ سال بود. همچنین ۳۷ درصد از افراد از ارقام اصلاح شده در زمان کاشت استفاده می‌کردند. نتایج حاکی از آن بود که ۱۴۰ نفر از پاسخگویان از چاه، ۱۱۴ نفر از چاه و چشمه، ۶۲ نفر از چاه، چشمه و رودخانه و ۳۵ نفر نیز از چاه و رودخانه برای آبیاری محصولات خود استفاده می‌کردند. میانگین عمق چاه افراد ۳۳/۱۵ متر با انحراف معیار ۳۱/۴۹ متر بود. کم‌ترین عمق چاه ۴ متر و بیشترین عمق چاه ۱۵۰ متر بود. میانگین سهم افراد از چاه مشترک ۱۳/۳۵ ساعت در هفته با انحراف معیار ۱۳/۹۴ ساعت در هفته بود. کمترین میزان سهم افراد از چاه مشترک ۱/۵ ساعت در هفته و بیشترین میزان سهم افراد از چاه مشترک ۸۴ ساعت در هفته بود. میانگین سهم افراد برای استفاده از آب چشمه ۱۱/۹۳ ساعت در هفته با انحراف معیار ۱۰/۸۷ ساعت در هفته بود. بیشتر افراد سهم چهار تا هشت ساعت در هفته داشتند. کمترین میزان سهم پاسخگویان از آب چشمه ۰/۵ ساعت در هفته و بیشترین میزان سهم پاسخگویان از آب چشمه ۵۶ ساعت در هفته بود. میانگین سهم افراد از نهر مشترک ۱۱/۱۲ ساعت در هفته با انحراف معیار ۱۲/۱۶ ساعت در هفته بود. بیشتر افراد سهم سه تا هشت ساعت در هفته داشتند. همچنین ۵۰/۵ درصد افراد دارای سهم هشت ساعت در هفته و کمتر از آن و ۴۹/۵ درصد نیز ۹ ساعت در هفته و بیشتر از آن داشتند. کمترین میزان سهم پاسخگویان از آب نهر مشترک ۰/۵ ساعت در هفته و بیشترین میزان سهم پاسخگویان از آب نهر مشترک ۸۴ ساعت در هفته بود.

پیامدهای کمبود آب

در این تحقیق جهت سنجش پیامدهای کمبود آبی که کشاورزان با آن مواجه هستند از ۳۰ گویه استفاده شد. بر این اساس جهت سنجش متغیر فوق از طیف لیکرت پنج سطحی (۰=هیچ و ۵=خیلی زیاد) استفاده شد. نتایج نشان داد که از ۳۰ پیامد کمبود آب مورد بررسی، ۱۰ پیامد کمبود آب میانگین بالای سه یعنی متوسط به بالا و ۲۰ مشکل کمبود آب نیز پایین‌تر از سه کسب کردند. مهم‌ترین پیامد کمبود آب به ترتیب کاهش عملکرد محصول، زود خشک شدن رودخانه‌ها و افزایش فرسایش خاک بودند. کمترین پیامد کمبود آب نیز به ترتیب شور شدن آب چاه‌ها، افزایش آتش‌سوزی مراتع و افزایش شوری خاک بودند. اولویت‌بندی گویه‌های مرتبط با پیامدهای کمبود آب در جدول ۲ آمده است.

تحلیل عاملی اکتشافی پیامدهای کمبود آب

جهت تلخیص متغیرهای مرتبط به پیامدهای کمبود آب در منطقه از تحلیل عاملی اکتشافی استفاده شد. مقدار KMO برابر ۰/۹۰ به دست آمد که نشان‌دهنده مناسب بودن همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تحلیل عاملی است. همچنین برای اطمینان بیشتر از مناسب بودن داده‌ها، از آماره بارتلت استفاده شد. آماره بارتلت باید در سطح خطای یک درصد یا پنج درصد معنادار باشد. معنادار بودن آماره بارتلت نیز به معنای مناسب بودن متغیرها برای تحلیل عاملی می‌باشد. مقدار بارتلت در تحقیق حاضر برابر با ۴۷۳۲/۵۱ بود که در سطح خطای یک درصد (سطح اطمینان ۹۹ درصد) معنادار بود. با توجه به نتایج حاصل‌شده، داده‌های برای تحلیل عاملی مناسب بودند. در این بخش عوامل با مقادیر ویژه بالاتر از یک استخراج شدند و بر اساس بار عاملی و پس از چرخش عاملی متعامد به روش واریماکس مرتب شدند.

در جدول ۳ تعداد عوامل استخراج‌شده همراه با مقادیر ویژه هر یک از آن‌ها، درصد واریانس هر یک از عوامل و درصد تجمعی واریانس عوامل آورده شده است. همانگونه که از جدول مشخص است شش عامل با مقادیر ویژه بالاتر از یک استخراج شدند. حداقل مقدار قبول مقادیر ویژه یک می‌باشد. سپس عوامل بر اساس بار عاملی و پس از چرخش عاملی متعامد به روش واریماکس مرتب شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که

جدول ۲- اولویت‌بندی گویه‌های مرتبط با پیامدهای کمبود آب

رتبه	پیامدهای کمبود آب	میانگین رتبه‌ای	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۱	کاهش عملکرد محصول	۳/۲۸	۱/۳۳	۰/۴۱
۲	زود خشک شدن رودخانه‌ها	۳/۲۸	۱/۳۳	۰/۴۱
۳	افزایش فرسایش خاک	۳/۲۲	۱/۴۱	۰/۴۴
۴	خشک شدن چشمه‌های قدیمی	۳/۲۱	۱/۳۳	۰/۴۲
۵	پایین آمدن سطح زیر کشت محصولات	۳/۱۹	۱/۳۰	۰/۴۱
۶	کاهش انگیزه کشاورزان برای سرمایه‌گذاری در کشاورزی	۳/۱۹	۱/۳۴	۰/۴۲
۷	کاهش رطوبت خاک	۳/۱۸	۱/۳۹	۰/۴۴
۸	افزایش زمین‌های دیم (گرایش به کشاورزی دیمی)	۳/۱۱	۱/۴۱	۰/۴۵
۹	عدم وجود مرتع کافی و مناسب	۳/۱۰	۱/۲۸	۰/۴۱
۱۰	مهاجرت افراد به دلیل کمبود آب برای کشاورزی	۳/۰۵	۱/۳۵	۰/۴۴
۱۱	افزایش حجم کار مزرعه	۲/۹۹	۱/۳۶	۰/۴۵
۱۲	کم شدن میزان آب خروجی از چاه‌ها	۲/۹۹	۱/۴۸	۰/۵۰
۱۳	پایین رفتن سطح منابع آب زیرزمینی (افزایش عمق چاه)	۲/۹۷	۱/۶۵	۰/۵۵
۱۴	افزایش اختلافات و درگیری بین همسایگان شرکای آب	۲/۹۶	۱/۵۶	۰/۵۳
۱۵	افزایش بدهی به دلیل کمبود و کیفیت پایین محصولات	۲/۹۵	۱/۴۶	۰/۵۰
۱۶	اجبار به کارهای خارج از مزرعه مانند کارگری	۲/۹۰	۱/۴۴	۰/۵۰
۱۷	کاهش روابط به دلیل درگیری سر آب	۲/۸۹	۱/۵۰	۰/۵۲
۱۸	از بین رفتن گیاهان دارویی منطقه و گونه‌های گیاهی	۲/۸۶	۱/۴۸	۰/۵۲
۱۹	عدم توان خرید نیازهای اولیه (مانند لباس) در اثر کاهش درآمد کشاورزی	۲/۸۵	۱/۵۰	۰/۵۳
۲۰	افزایش بیماری‌های گیاهی بر اثر کمبود آب	۲/۸۳	۱/۵۹	۰/۵۶
۲۱	افزایش هزینه‌های آبیاری	۲/۸۳	۱/۴۱	۰/۵۰
۲۲	عدم پیشروی مناسب آب در طول نوارهای آبیاری و کمبود دبی جریان ورودی	۲/۸۱	۱/۴۸	۰/۵۳
۲۳	افزایش وابستگی به دولت و حمایت‌های دولتی (کمپته امداد)	۲/۷۹	۱/۶۰	۰/۵۷
۲۴	تغییر کاربری اراضی کشاورزی به غیر کشاورزی	۲/۷۵	۱/۵۱	۰/۵۵
۲۵	افزایش بیماری‌های دامی بر اثر کمبود آب	۲/۷۳	۱/۶۱	۰/۵۹
۲۶	طولانی‌تر شدن دور آبیاری	۲/۶۶	۱/۵۲	۰/۵۷
۲۷	کم شدن سهم آبیاری	۲/۵۹	۱/۵۶	۰/۶۰
۲۸	افزایش شوری خاک	۲/۴۷	۱/۷۲	۰/۷۰
۲۹	افزایش آتش‌سوزی مراتع	۲/۳۹	۱/۶۸	۰/۷۰
۳۰	شور شدن آب چاه‌ها	۲/۳۱	۱/۷۲	۰/۷۵

نتایج تحلیل عاملی اکتشافی پیامدهای کمبود آب در شهرستان زنجان حاکی از آن بود که افزایش بیماری‌های گیاهی و دامی، مناسب نبودن دبی آب، تغییر کاربری اراضی و افزایش بدهی و وابستگی به دولت و کاهش روابط اجتماعی ۱۹/۳۲ درصد واریانس را به خود اختصاص داده و با مقدار ویژه ۵/۹۹ عامل اول پیامدهای آب منطقه بود. همچنین نتایج نشان داد که به ترتیب کاهش و خشک شدن چشمه‌ها، کاهش مراتع و سطح زیر کشت و افزایش مهاجرت افراد از روستا و کاهش میزان آب چاه‌ها و طولانی‌تر شدن نوبت و کمتر شدن سهم آبیاری به ترتیب ۱۱/۴۵ و ۱۰/۴۶ درصد واریانس را به خود اختصاص دادند.

شش عامل در زمینه پیامدهای کمبود آب در منطقه در مجموع ۶۳/۴۸ درصد از واریانس کل را تبیین کردند.

پس از بررسی متغیرهای مرتبط به هر عامل و نیز بار عاملی آن‌ها، عوامل استخراج شده نام‌گذاری شدند که در جدول ۴ آمده است. همانگونه که از جدول پیداست مهم‌ترین عامل در زمینه پیامدهای آب منطقه عامل \$ افزایش بیماری‌های گیاهی و دامی، مناسب نبودن دبی آب، تغییر کاربری اراضی و افزایش بدهی و وابستگی به دولت و کاهش روابط اجتماعی \$ بود.

جدول ۳- عوامل استخراج شده پیامدهای کمبود آب منطقه به همراه مقادیر ویژه

شماره	عامل	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس
۱	افزایش بیماری‌های گیاهی و دامی، تغییر کاربری اراضی کشاورزی و تضعیف توان مالی روستاییان	۵/۹۹	۱۹/۳۲	۱۹/۳۲
۲	خشکی و کاهش آب چشمه‌ها و رودخانه‌ها و کاهش مراتع و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی	۳/۵۵	۱۱/۴۵	۳۰/۷۷
۳	پایین رفتن سطح منابع آب زیرزمینی و کاهش میزان آبدهی چاه‌ها	۳/۲۴	۱۰/۴۶	۴۱/۲۳
۴	کاهش انگیزه سرمایه‌گذاری در کشاورزی و افزایش فرسایش خاک	۲/۶۷	۸/۶۱	۴۹/۸۴
۵	شوری آب‌و خاک	۲/۱۵	۶/۹۵	۵۶/۷۹
۶	افزایش اختلافات و درگیری در روستا	۲/۰۷	۶/۶۹	۶۳/۴۸

جدول ۴- متغیرهای مرتبط به هر عامل پیامدهای کمبود آب منطقه به همراه بار عاملی

بار عاملی	متغیر	عامل
۰/۸۰	افزایش بیماری‌های گیاهی در اثر کمبود آب	افزایش بیماری‌های گیاهی و دامی، تغییر کاربری اراضی کشاورزی و تضعیف توان مالی روستاییان
۰/۷۲	تغییر کاربری اراضی کشاورزی به غیر کشاورزی	
۰/۷۰	افزایش بیماری‌های دامی در اثر کمبود آب	
۰/۶۹	عدم پیشروی مناسب آب در طول نوارهای آبیاری و کمبود دبی جریان ورودی	
۰/۶۹	افزایش بدهی به دلیل کمبود و کیفیت پایین محصول	
۰/۶۸	از بین رفتن گیاهان دارویی منطقه و گونه‌های گیاهی	
۰/۶۸	افزایش وابستگی به دولت و حمایت‌های دولتی مانند کمیته امداد	
۰/۶۱	کاهش روابط اجتماعی به دلیل درگیری سر آب	
۰/۵۷	افزایش آتش‌سوزی مراتع	
۰/۵۴	عدم توان خرید نیازهای اولیه خانوار مانند لباس در اثر کاهش درآمد کشاورزی	
۰/۵۲	افزایش حجم کار مزرعه	خشکی و کاهش آب چشمه‌ها و رودخانه‌ها و کاهش مراتع و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی
۰/۷۸	خشک شدن چشمه‌های قدیمی	
۰/۶۶	زود خشک شدن رودخانه‌ها	
۰/۶۴	عدم وجود مراتع کافی و مناسب	
۰/۶۲	مهاجرت افراد به دلیل کمبود آب برای آبیاری محصولات	
۰/۶۰	پایین آمدن سطح زیر کشت محصولات	
۰/۵۳	کاهش عملکرد محصول	پایین رفتن سطح منابع آب زیرزمینی و کاهش میزان آبدهی چاه‌ها
۰/۷۷	طولانی شدن دور آبیاری	
۰/۷۵	کم شدن سهم آبیاری	
۰/۷۰	پایین رفتن سطح منابع آب زیرزمینی (افزایش عمق چاه)	
۰/۶۳	کم شدن میزان آب خروجی از چاه‌ها	کاهش انگیزه سرمایه‌گذاری در کشاورزی و افزایش فرسایش خاک
۰/۶۳	افزایش هزینه‌های آبیاری	
۰/۸۱	کاهش انگیزه کشاورزان برای سرمایه‌گذاری در کشاورزی	
۰/۷۶	افزایش فرسایش خاک	شوری آب‌و خاک
۰/۶۰	کاهش رطوبت خاک	
۰/۸۶	افزایش شوری خاک	
۰/۸۰	شور شدن آب چاه	
۰/۶۷	افزایش اختلافات و درگیری بین همسایگان و شرکای آب در اثر کمبود آب	افزایش اختلافات و درگیری در روستا

بحث و نتیجه‌گیری

پیشنهادها

نتایج نشان داد یکی از پیامدهای کمبود آب کاهش عملکرد محصول بود لذا پیشنهاد می‌شود که هنگام کاشت از ارقام مقاوم به کم‌آبی استفاده شود. همچنین از روش‌های نوین آبیاری که باعث کاهش اتلاف آب می‌شود نیز بهره گرفته شود.

نتایج نشان داد یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب خشک شدن رودخانه‌ها و چشمه‌ها بود لذا پیشنهاد می‌شود که دوره‌های آموزشی مرتبط با مزایای روش‌های نوین آبیاری و افزایش عملکرد محصولات از طریق روش‌های آبیاری نوین برگزار شده تا از این طریق باعث مصرف صحیح آب شیرین شود.

نتایج نشان داد یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب در منطقه مهاجرت افراد به شهرها بود در همین راستا پیشنهاد می‌شود که با شناسایی مشاغل محلی و همچنین متناسب کردن میزان آب پروانه با میزان مصرف واقعی از مهاجرت افراد از روستا به شهرها جلوگیری شود.

نتایج نشان داد پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب بود لذا توصیه می‌شود آب‌های فاضلاب شهری تا حد ممکن تصفیه شده و برای جلوگیری از فشار بیش‌ازحد به چاه‌ها در اختیار کشاورزان قرار گیرد.

نتایج نشان داد یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب در منطقه افزایش اختلاف و درگیری در مناطق روستایی بود لذا توصیه می‌شود که هنگام تقسیم آب تمامی جنبه‌ها در نظر گرفته شده و هنگام اختلاف از روش گفتگو و مذاکره و میانجی‌گری ریش‌سفیدان محل، اختلافات خاتمه یابد. طولانی شدن دور آبیاری یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب بود لذا توصیه می‌شود که هنگام دور آبیاری برای استفاده بهینه از آب با توجه به کم بودن دبی آب چاه‌ها از ذخیره کردن آب در استخر یا تانکرهای بزرگ استفاده کرده تا در زمان‌های مختلف امکان آبیاری محصولات وجود داشته باشد.

نتایج نشان داد که افزایش هزینه‌های آبیاری یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب در مناطق روستایی شهرستان زنجان بود لذا توصیه می‌شود که دولت در این زمینه با تسهیلات لازم و با حذف کاغذبازی‌ها و تسهیل کردن اخذ تسهیلات کمک کرده تا افراد از روش‌های نوین آبیاری استفاده کنند.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: وحید محمدی، جعفر یعقوبی
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: وحید محمدی، جعفر یعقوبی

نتایج نشان داد که یکی از پیامدهای کمبود آب در مناطق روستایی شهرستان زنجان کاهش عملکرد محصول بود. این یافته با یافته (۹) همخوانی داشت. کمبود آب که منجر به کاهش عملکرد محصول می‌شود. کاهش عملکرد نیز باعث کاهش درآمد کشاورز شده و رفاه خانوار و جوامع روستایی را تهدید می‌کند. یکی دیگر از نتایج تحقیق خشک شدن رودخانه‌ها و چشمه‌ها بود که این یافته با یافته (۱۴) هم‌راستا بود. خشک شدن و کاهش آبدهی رودخانه‌ها و چشمه‌ها باعث می‌گردد که آبیاری محصولات کشاورزی به‌خوبی انجام‌نشده و در نتیجه باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. همچنین افراد در نتیجه خشک شدن و کاهش آبدهی چشمه‌ها و رودخانه‌ها به حفر چاه‌ها رو آورده و در نتیجه باعث پایین رفتن سطح سفره‌های آب زیرزمینی می‌شوند. لذا توصیه می‌شود که حفر چاه‌ها به‌صورت مشارکتی بوده و سازمان‌های ذی‌ربط نیز در زمینه تسهیلات و مساعدت‌های لازم را انجام دهند. شور شدن آب چاه‌ها یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب در منطقه بود. این یافته با یافته‌های (۶، ۱۲، ۱۱) هم‌خوانی داشت. شور شدن آب چاه‌ها باعث کمبود آب آشامیدنی در مناطق روستایی شده و علاوه بر این آبیاری محصولات با آب شور علاوه بر کاهش عملکرد محصول باعث افزایش شوری خاک می‌شود. یکی دیگر از پیامدها، مهاجرت افراد به شهرها بود. این یافته با یافته (۹) هم‌راستا بود. افزایش مهاجرت به شهرها باعث خالی شدن روستاها و کاهش تولیدات کشاورزی شده و نیز منجر به افزایش مشکلات اجتماعی شهرها می‌شود. پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب بود که با یافته‌های (۶، ۹، ۵) هم‌راستا بود. پایین رفتن سطح آب زیرزمینی منجر به مشکلاتی مانند فرونشست زمین و آلوده شدن منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود. مشکلات ذکر شده خود باعث افزایش هزینه‌های دولت در مناطق روستایی خواهد شد. یکی دیگر از نتایج افزایش اختلاف و درگیری در مناطق روستایی بود که این یافته با یافته‌های (۹، ۱۲) هم‌خوانی داشت. افزایش اختلاف و درگیری در مناطق روستایی باعث کاهش روابط اجتماعی و کاهش در مشارکت‌های محلی می‌شود. طولانی شدن دور آبیاری یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب بود که با یافته‌های (۱۶، ۱، ۱۴) هم‌خوانی داشت. طولانی شدن دور آبیاری باعث کاهش عملکرد شده و در نتیجه باعث دل‌سردی افراد از کار کشاورزی می‌شود. افزایش هزینه‌های آبیاری یکی دیگر از پیامدهای کمبود آب در مناطق روستایی شهرستان زنجان بود. این یافته هم‌راستا با یافته‌های (۶، ۹، ۱۲) بود. کاهش آب باعث می‌گردد که افراد به روش‌های مختلف مانند حفر چاه، استفاده از روش‌های نوین آبیاری آب مورد نیاز خود را تأمین کنند. استفاده از روش‌های نوین آبیاری دارای هزینه‌های زیادی برای کشاورزی می‌باشد. اکثر کشاورزان نیز توانایی مالی مناسب برای تأمین تجهیزات و اجرای روش‌های نوین آبیاری ندارند.

References

1. Abdam, A., and Sharifzadeh, M. 2018. Irrigation Water Management Challenges of Wheat Growers in Khorrambid Country. *Iran Agricultural Extension and Education Journal*, 13 (2): 205-218. [In Persian].
2. Bielski, S., Marks-Bielska, R., Zielinska-Chmielewska, A., Romaneckas, k., and Sarauskis, E. 2021. Importance of agriculture in creating energy security: A case study of Poland. *Energies*, 14 (9) 4-20.
3. Davoodi, Z., Bakhshoodeh, M., and Azarm. H. 2021. Factors Affecting Agricultural Water Security in Ramje District. *Agricultural Economics and Development*, 29 (113): 267-292. [In Persian].
4. European Union Institute for Security Studies. 2015. *EUISS Year book of European Security*. Paris.
5. Goodarzi, S., Shabanali Fami, H., Movahedmohammadi, H., and Jalalzadeh, M., 2012. Challenges of Agricultural Water Management in Karaj County: Farmer's Viewpoints. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 42: 243-253. [In Persian].
6. Kazemiyeh, F., Eidi, A., and Zarifian, Sh. 2021. Investigating the Barriers to Sustainable Management of Agricultural Water Resources from the Voewpoint of Wheat Farmers in Maragheh. *Water and Sustainable Developmet*, 8 (19): 41-50. [In Persian].
7. Keshavarz, A., Ashouri, M., Mahdavi Sabet, M., and Ebrahimi, Sh. 2020. Balanced development of the criminalization of unauthorized use of water. *Regional Planning*, 9 (36): 197-212. [In Persian].
8. Le Roux, B., Van der Laan, M., Vahrmeijer, T., Bristow, K.L., and Annandale, J.G. 2017. Establishing and testing a catchment water footprint framewoek to inform sustainable irrigation water use for an aquifer under stress. *Science of the Total Environment*, 599: 1119-1129.
9. Minaie, H., and Taghilou. A.A. 2019. Strategies for the Optimal Management of Agricultural Warer Resources in Rural Areas (Case Study of West Azarbaijan Province-Bokan county-Simineh district. *Geography and Regional Development*, 17: 307-332. [In Persian].
10. Mishra, Y., Nakamura, T., Babel, M.S., Ninsawat, S. and Ochi, S. 2018. Impact of climate change on water resources of the Bheri River Basin, Nepal. *Water*: 10(2), 220.
11. Mohammadi, Y., Shabanali Fami, H., and Asadi, A. 2011. Identification and Analysis of Agricultural Water Management Problems (AWMP) in Zarrindasht county, Fars Province, Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 41-2: 201-512. [In Persian].
12. Nabiafjadi, S., Shabanali Fami, H., and Eazvanfar, A., 2014. Farnes' Attitude Toward Agricultural Water Management Problems in Falavarjan Area. *Iranian Journal of Irraigation and Drainage*, 8 (47): 540-548. [In Persian].
13. Onipe, T., Edokpayi, J. N., and Odiyo, J.O. 2021. Geochemical characterization and assessment of fluoride sources in groundwater of Siloam area, Limpopo province, South Africa. *Scientific Reports*: 11 (1), 1-20.
14. Sadat Ebrahimi, S., ShabanAli-Fami, H., Daneshvar-Ameri, Z., and Ghasemi, J. 2009. Analysis of problems and mechanisms for improving agricultural water management in grape production in Takestan township. *Agricultural Extension and Economics*, 2 (1): 31-44. [In Persian].
15. Singh, A. 2018. Assessment of different strategies for managing the water resources problems of irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 208: 187-192.
16. Tatar, M., Papzan, A.H., and Ahmadvand, M. 2018. *Agricultural Water Conflict Management in Gawshan Basin*:

- Solutions Based on Cooperation Strategy. Iran Agricultural Extension and Education Journal, 14 (1): 91-111. [In Persian].
17. Toulabinejad, M., Azadpour, M., and Dolatshahi, Z. 2022. The evaluation of agricultural water management status in the mountainous basin of the Kashkan River. Geography and Environmental Hazards, 11 (3): 163-187. [In Persian].

Research Paper

The effect of climate change on meteorological drought using the data of the Sixth Climate Change Report (Case study: Shiraz city)

Mehdi Dastourani^{1*}, Saeideh Hoseinabadi², Mostafa Yaghoobzadeh³, Mahdieyh Forouzan Mehr⁴

1. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

2. PhD Student, Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

3. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand Research Group of Drought and Climate Change, University of Birjand, Birjand, Iran.

4. PhD Student, Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

Received: 2023/06/16

Revised: 2023/07/16

Accepted: 2023/08/08

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2024.30610.2360](https://doi.org/10.30495/wej.2024.30610.2360)

Keywords:

Drought, SPI index, Shiraz, Sixth Climate Change Report

Abstract

Introduction: Numerous studies have shown that climate change will have a severe impact on water resources around the world. In the present research, we have tried to investigate the occurrence of drought in Shiraz region under the conditions of climate change.

Methods: In this research, using 4 models of the Sixth Climate Change Report and two scenarios, rainfall data was generated for the next two periods, and after microscaling, the severity of drought was determined using the SPI index with different time scales. The length of the base period of the analyzed data in the current research was 20 years and related to the time period of 1985-2005.

Findings: Microscale results using the BCSD method indicate an increase in temperature in both future periods. According to the results, it can be seen that the difference of the MIROC6 model in both emission scenarios with the observed values was greater than the other GCM models used. According to the results of the current research, in all the models used and in both scenarios, the 20-year average values of the six-month SPI index show the most negative values. In addition, the comparison of models and scenarios in the present study shows that the CanESM5 model shows a higher intensity of drought with a small difference than other models. Also, the results of the average values of the SPI index show that this index shows the severity of the drought with a time scale of 48 months.

Citation: Dastourani M, Hoseinabadi S, Yaghoobzadeh M., Forouzan Mehr M. The effect of climate change on meteorological drought using the data of the Sixth Climate Change Report (Case study: Shiraz city). Water Resources Engineering. 2024; 17(61): 13-27

***Corresponding author:** Mehdi Dastourani

Address: Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

Tell: +989151636750

Email: mdastourani@birjand.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Drought is the most costly natural disaster, and since climate change has a positive effect on the hydrological cycle, the most important tool available for future climate simulation is the use of the output of paired atmospheric-ocean mating patterns. In order to study the drought from different dimensions and perspectives, various indicators have been developed, one of the most effective indicators is the standard precipitation index (SPI). Considering that most of the previous researches on the effect of climate change on drought have used the output of an ocean-atmosphere general circulation model, in the present study, considering 4 general atmosphere circulation models and 2 scenarios, the data of the sixth report have been tried. Is to compare the selected models and scenarios in Shiraz meteorological station. In other words, using the production data and with the help of SPI index, the drought situation for the next two periods of 2025-2045 and 2065-2085 has been studied and evaluated.

Materials and Methods

Shiraz city is one of the metropolises of Iran and the capital of Fars province in the south of the country, which according to the purpose of research, the study area is Shiraz synoptic station. The length of the base period of the data studied in the present study is 20 years and is related to the period of 2005-2005 that has been received from the Meteorological Organization of the whole country. From the various models used in the sixth evaluation report, 4 models (BCC-ESM2-MR), (CanESM5), (MIROC6) and (MRI-ESM2-0) have been selected. The sixth report of this committee, which is used in the present study, is presented in 2021. In its sixth report, the International Climate Change Board used the new SSP scenarios to represent the trajectories of different concentrations of greenhouse gas emissions. These scenarios include 5 key paths named SSP1, SSP2, SSP3, SSP4 and SSP5. In the present study, two scenarios are SSP5-8.5 and SSP2-4.5. The microscaling method used in the present study is the BCSD method. In

the present study, the standard precipitation index (SPI) has been used to quantify the rainfall deficit in multiple time scales. McKee et al. (1993) introduced the SPI index to quantify precipitation deficit at multiple time scales (McKee et al, 1993: 179). This index can be calculated on time scales of 3, 6, 12, 24 and 48 months. The index was first developed by researchers at Colorado State University in 1993 to improve the state of water supply monitoring operations in the state. The purpose of SPI is to assign a numerical value to rainfall so that areas with different climates can be compared. The advantages of this index include its simplicity and versatility. This index has a normal distribution and is flexible to different time and space scales.

Discussion and Results

Results of 20-year average values of SPI index with different time scales for four models and two scenarios (ssp2-4.5 and ssp5-8.5) Sixth Climate Change Report data for the next two periods 2025-2045 and 2065-2085 It shows that in the study station for four models and both scenarios, the values of SPI index in all three time scales have negative values that further indicate the severity of drought, but the results show that in all models and scenarios in both future periods, the values The 20-year average of this index with a time scale of 6 months indicates the most negative values, and therefore to predict drought in the study area, the SPI index with a time scale of 6 months can be used. It is also clear that the results of the next two periods for all models used, in both scenarios are somewhat close to each other and with a general comparison in some cases, this index with a slight difference shows an increase in drought intensity in the second period. Also, in both scenarios, the results of the four models are somewhat close to each other, and the CANESM5 model, with a slight difference compared to the other three models, shows a higher drought intensity for both periods. The results show that it is better to use the SSP5-8.5 scenario to calculate the SPI drought index and predict the drought in a pessimistic state. In the present study, the number of dry years in the basic period and

the next two periods for four models and two scenarios in 6, 12 and 48 month time scales are expressed. The results show that the number of dry years in the 6 month scale in both scenarios compared to The base period has equal or smaller values, while this number has increased in both the 12 and 48 month scales for both scenarios compared to the base period. Also, according to the results in the first period and in the most pessimistic case, the number of dry years is estimated to be 12 years, which BCC, CAN and MRI models show this number. The results of the second period also show 13 dry years by the CAN model, which may occur in the most pessimistic case.

Conclusion

In the current study, 4 GCM models related to the data of the sixth IPCC report including (BCC-ESM2-MR), (CanESM5), (MIROC6) and (MRI-ESM2-0) were used to predict drought in the study area, under two scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5. Also, BCSD method was used for exponential scaling of climatic data and climatic parameters were estimated for the next two periods, and the results show an increase in the maximum and minimum temperature values in the future periods compared to observations. Then, with the help of SPI index, the severity of drought was determined in time scales of 6, 12 and 48 months. The 20-year average values of this index with a 6-month time scale show the most negative values. The results of the present study show that the CAN model can be used in the studied area, and for the next two periods, the results show that the SPI index with a time scale of 48 months shows the severity of drought more, and in this time scale, the SSP5-8.5 scenario indicates an increase in drought intensity, and therefore, in the most pessimistic case, we can use the forty-eight-month SPI index under the SSP5-8.5 scenario.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی هواشناسی به کمک داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان شیراز)

مهدی دستورانی^{۱*}، سعیده حسین‌آبادی^۲، مصطفی یعقوب‌زاده^۳، مهدیه فروزان‌مهر^۴

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

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

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

چکیده

مقدمه: مطالعات متعدد نشان داده‌اند که تغییرات آب‌وهوایی تأثیرات شدیدی بر منابع آب موجود در سراسر جهان خواهد گذاشت. با توجه به اینکه یکی از مهمترین مشکلاتی که بشر در سال‌های اخیر با آن مواجه شده است، بحران آب و وقوع خشک‌سالی است در مطالعه‌ی حاضر سعی شده است که وقوع خشک‌سالی در منطقه شیراز و در شرایط تغییر اقلیم بررسی گردد.

روش: در تحقیق حاضر از بین مدل‌های متنوعی که در گزارش ارزیابی ششم به کار رفته است، ۴ مدل استفاده از خروجی چهار مدل GCM ارائه شده در گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6) و دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 اقدام به تولید داده‌های بارش برای دو دوره‌ی آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۶۵-۲۰۸۵ گردید و پس از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های تولید شده با استفاده از روش BCSD، شدت خشک‌سالی به کمک شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد (SPI) با مقیاس‌های زمانی مختلف (۶، ۱۲ و ۴۸ ماهه) برای منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت آن محاسبه می‌شود. سادگی و چندکاره بودن این شاخص از مزایای آن به شمار می‌رود. این شاخص دارای توزیع نرمال است و نسبت به مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت، انعطاف‌پذیری دارد. طول دوره پایه داده‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر، ۲۰ سال و مربوط به بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۵ بوده است.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از روش BCSD نشان‌دهنده افزایش مقدار دما در هر دو دوره آتی می‌باشد. این افزایش در مورد هر دو پارامتر دمای بیشینه و کمینه و هر دو دوره آتی صدق می‌کند. که با توجه به نتایج مشاهده می‌گردد اختلاف مدل MIROC6 در هر دو سناریوی انتشار با مقادیر مشاهداتی نسبت به سایر مدل‌های GCM استفاده شده، بیشتر بوده است. طبق سایر نتایج پژوهش حاضر، در تمام مدل‌های مورد استفاده و در هر دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5، مقادیر میانگین ۲۰ ساله‌ی شاخص SPI شش ماهه نشان‌دهنده‌ی بیشترین مقادیر منفی است. علاوه بر این، مقایسه‌ی مدل‌ها و سناریوها در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مدل CanESM5 با اختلاف کم نسبت به مدل‌های دیگر شدت خشک‌سالی را بیشتر نشان می‌دهد و می‌توان برای پیش‌بینی شدت خشک‌سالی در منطقه مطالعاتی از این مدل استفاده نمود. همچنین نتایج مقادیر میانگین شاخص SPI برای چهار مدل و طی ۲۰ سال برای دو دوره‌ی آتی نشان می‌دهد که این شاخص با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه شدت خشک‌سالی را بیشتر نشان می‌دهد و در این مقیاس زمانی سناریوی SSP5-8.5 نشان‌دهنده‌ی شدت بیشتر خشک‌سالی و محدوده نرمال تا خشک‌سالی بسیار شدید نسبت به دوره‌ی پایه می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۶

تاریخ داوری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2024.30610.2360](https://doi.org/10.30495/wej.2024.30610.2360)

واژه‌های کلیدی:

خشک‌سالی، شاخص spi، شیراز، گزارش ششم تغییر اقلیم

* نویسنده مسئول: مهدی دستورانی

نشانی: گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

تلفن: ۰۹۱۵۱۶۳۶۷۵۰

پست الکترونیکی: mdastourani@birjand.ac.ir

مقدمه

خشک‌سالی پرهزینه‌ترین فاجعه طبیعی است که می‌تواند تأثیراتی سوء بر کشاورزی، محیط‌زیست، اقتصاد و زندگی انسان‌ها بگذارد (۱) بنابراین باید همواره تأثیر تغییرات اقلیمی بر پارامترهای هواشناسی و خشک‌سالی بررسی شود. خشک‌سالی به دلیل تعداد، فراوانی، گستردگی و تبعات کوتاه و بلندمدت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی از جمله مهمترین حوادث طبیعی به‌شمار می‌رود (۲) و به همین اساس نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار دارد. خشک‌سالی در کنوانسیون سازمان ملل متحد، برای مبارزه با بیابان‌زایی به عنوان پدیده‌ای طبیعی تعریف شده است که به طور طبیعی زمانی ایجاد می‌شود که میزان بارندگی به میزان قابل توجهی کمتر از حد معمول ثبت شده باشد و به دلیل ویژگی فوق‌العاده‌ای که دارد، تأثیر قابل توجهی در سطوح اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی دارد (۳).

بر اساس نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه خشک‌سالی، مشخص شده است که بارندگی، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی نقش مهمی در وقوع، شدت و تداوم خشک‌سالی دارند. با وجود این بارش، مهم‌ترین عامل در تعیین آغاز، شدت و خاتمه خشک‌سالی‌ها است (۴) و (۵). خشک‌سالی با کمبود بارندگی آغاز و بسته به طول مدت و شدت آن می‌تواند پارامترهایی نظیر رطوبت خاک، حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی و فعالیت‌های انسانی و اکوسیستمی را تحت تأثیر قرار دهد. از این‌رو محققان خشک‌سالی را در چهار دسته‌ی خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و اقتصادی-اجتماعی تقسیم‌بندی نموده‌اند (۶). خشک‌سالی هواشناسی از مهم‌ترین انواع خشک‌سالی‌هاست که به دلیل کمبود و یا کاهش مقدار بارندگی طی دوره‌ای از زمان به‌وجود می‌آید و بررسی، پیش‌بینی و برآورد احتمال وقوع آن به‌عنوان سرآغاز پدیده خشک‌سالی می‌تواند تا حد بسیار زیادی از خسارت‌های این رخداد طبیعی بکاهد و در مدیریت بحران کمک فراوانی نیز داشته باشد (۷).

با توجه به اینکه تغییر اقلیم تأثیر به‌سزایی بر چرخه هیدرولوژیکی و در نتیجه بر منابع آب، فراوانی و شدت خشک‌سالی و سیل دارد، مهمترین ابزار موجود بر شبیه‌سازی اقلیمی آینده، استفاده از خروجی الگوهای جفت‌شده جو-اقیانوس گردش عمومی جو است. به‌منظور بررسی خشک‌سالی از ابعاد و دیدگاه‌های مختلف، شاخص‌های متنوعی ابداع شده است که اساس این شاخص‌ها اغلب بر مبنای سنجش انحراف مقادیر بارندگی از میانگین درازمدت طی یک دوره زمانی معین استوار است. یکی از کاراترین نمایه‌ها، شاخص بارش استاندارد (SPI) است که اولین بار توسط مک‌کی استفاده شد (۸).

همواره پژوهش‌های متعددی به‌منظور بررسی تأثیرات وقوع خشک‌سالی در جهان و ایران انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است. مرید و همکاران (۲۰۰۶) در طراحی سیستم پایش خشک‌سالی برای استان تهران به مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی DI، SPI، CZI، MCZI و EDI پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که

شاخص‌های SPI و EDI نسبت به بقیه شاخص‌ها عملکرد بهتری را داشته‌اند (۹). طی پژوهشی دیگر هانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۶) به بررسی شدت، مدت و گسترش خشک‌سالی در حوضه رودخانه لانگات مالزی پرداختند. در پژوهش یاد شده شاخص‌های SPI و RDI نشان‌دهنده روند صعودی خشک‌سالی‌ها در این منطقه است (۱۰). پژوهش هاشمی‌عنا و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان‌دهنده افزایش ۲۰ درصدی طول دوره خشک در جنوب غربی ایران تا سال ۲۰۵۰ است (۱۱). لی و همکاران^۲ (۲۰۱۷) طی پژوهشی در چین، تغییرات در ویژگی‌های خشک‌سالی (فراوانی وقوع خشک‌سالی، مدت و شدت) برای سناریوی اقلیمی RCP 8.5 طی سال‌های آتی ۲۰۱۰-۲۰۹۹ بررسی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد تحت سناریوی RCP 8.5 برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۹۹ شدت، مدت و تعداد خشک‌سالی‌ها افزایش خواهد یافت (۱۲). یعقوب‌زاده و همکاران نیز (۱۳۹۶) در طی پژوهشی به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی کشاورزی به کمک شاخص‌های ETDI و SPI پرداختند که نتایج نشان می‌دهد شاخص ETDI به علت وابسته بودن خشک‌سالی کشاورزی به کمبود تبخیر و تعرق نتایج بهتری دارد و همچنین شاخص SPI برای تعیین خشک‌سالی کشاورزی در این پژوهش پیشنهاد نمی‌شود (۱۳). در پژوهشی دیگر هرناندز و همکارانش^۳ (۲۰۲۰)، به مطالعه خشک‌سالی در یک زمینه مکانی - زمانی در مقیاس‌های ۳، ۶، 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 و ۲۰۱۳-۲۰۱۱ شناسایی شده است. همچنین شاخص SPEI دوره‌های خشک‌سالی و روند شدت افزایشی را بهتر از SPI نشان داده است (۱۴). سهاروردی و همکاران^۴ (۲۰۲۱)، در پژوهش خود به ارزیابی تغییرپذیری مکانی - زمانی گذشته، حال و آینده در منطقه‌ای در مرکز هند پرداخته‌اند. در این پژوهش از دو شاخص خشک‌سالی SPI و SPEI به منظور پایش کوتاه مدت و بلند مدت خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. با بررسی نتایج این پژوهش مشاهده شد 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٪ از خشک‌سالی‌های منطقه مورد مطالعه مرتبط با رویدادهای النینو بوده که در دهه‌های اخیر قوی‌تر بوده‌اند (۱۵). نوگورا و همکاران^۵ (۲۰۲۱)، در طی پژوهشی و 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 این پژوهش نشان می‌دهد 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

⁴ Saharwardi et al

⁵ Noguera et al

¹ Huang et al

² Li et al

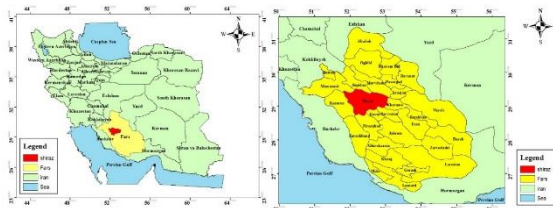
³ Hernandez et al

هواشناسی شیراز انجام گیرد. به عبارتی با استفاده از داده‌های تولیدی و به کمک شاخص SPI وضعیت خشک‌سالی برای دو دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۴۵-۲۰۸۵ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

شهرستان شیراز یکی از کلان‌شهرهای ایران و مرکز استان فارس در جنوب کشور است. پنجمین شهر بزرگ و پرجمعیت‌ترین شهر جنوب کشور به شمار می‌رود. این شهرستان در بخش مرکزی استان فارس و در ارتفاع ۱۴۸۶ متری از سطح دریا و در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده و آب و هوای معتدلی دارد که شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

با توجه به هدف تحقیق، منطقه مورد مطالعه ایستگاه سینوپتیک شیراز است که جدول ۱ معرف مشخصات و موقعیت این ایستگاه است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه سینوپتیک مطالعاتی

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	دمای روزانه (درجه سانتیگراد)	بارش روزانه (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)	اقليم
شیراز	۳۶°۲۹'	۳۲°۵۲'	۵/۴۴	۲۵	۳۵	معتدل

ششم به کار رفته است، ۴ مدل (BCC-ESM2-MR)، (CanESM5)، (MIROC6) و (MRI-ESM2-0) مورد انتخاب قرار گرفته است. از آنجا که مهمترین ورودی مدل‌های اقلیمی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی بوده و از طرفی میزان انتشار این گازها به طور قطعی امکان‌پذیر نیست، بنابراین سناریوهای مختلفی که دربرگیرنده تغییرات این گازها در آینده می‌باشند به نام سناریوهای انتشار نامیده می‌شوند. 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 گزارشات ارزیابی و تخصصی و مقالات فنی را منتشر نموده که به عنوان معتبرترین منابع اطلاعاتی در مورد تغییرات اقلیمی شناخته می‌شوند و تاکنون گزارش‌های ارزیابی اول تا

شناسایی شده توسط SPI و SPEI وجود دارد. همچنین 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 (۱۶). 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. ادهر و همکاران^۶ (۲۰۲۱) طی 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 (۱۷). وانگ و همکاران^۷ (۲۰۲۱)، چیانگ و همکاران^۸ (۲۰۲۱)، سانگ و همکاران^۹ (۲۰۲۱)، مریسا و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۱) و آیوگی و همکاران^{۱۱} (۲۰۲۱) نیز در پژوهش‌های خود برای بررسی شاخص‌های خشکسالی در دوره آتی از داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم CMIP6 بهره گرفته‌اند (۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲).

با توجه به اینکه در اکثر تحقیقات صورت‌گرفته‌ی پیشین در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی از خروجی یک مدل گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر استفاده شده است و این مدل‌ها دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند که توجه نکردن به آن‌ها می‌تواند سبب ایجاد خطا در پیش‌بینی و برنامه‌ریزی شود (۲۳). در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن ۴ مدل گردش عمومی جو و ۲ سناریو از داده‌های گزارش ششم سعی شده است که مقایسه‌ای بین مدل‌ها و سناریوهای انتخابی در ایستگاه

طول دوره پایه داده‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر ۲۰ سال و مربوط به بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۵ می‌باشد که از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شده است.

انتخاب مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار آن‌ها:

امروزه تهیه و استخراج داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو از طریق مراکز مختلف تحقیقاتی قابل دسترس است. یکی از این مراکز سایت <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/> است. باید در نظر داشت که قدرت تفکیک مدل‌های اقلیمی مختلف و در حقیقت طول و عرض جغرافیایی سولوی که ایستگاه مورد نظر در آن قرار گرفته با یکدیگر متفاوت است. از بین مدل‌های متنوعی که در گزارش ارزیابی

⁹ Song et al

¹⁰ Meresa et al

¹¹ Ayugi et al

⁶ Adhar et al

⁷ Wang et al

⁸ Chiang et al

می‌کند. هیات 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 ۵ 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 ۸/۵ و ۴/۵ وات بر متر مربع عنوان شده است. مشخصات کلی ۴ مدل مورد استفاده در پژوهش حاضر جهت ارزیابی تغییر اقلیم در دوره‌های آتی در جدول ۲ بیان گردیده است.

جدول ۲- مشخصات مدل‌های 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°

۲- بعد از محاسبه ضرایب اصلاحی برای نقاط شبکه مدل‌های اقلیمی، با استفاده از ابزار درون‌یابی این ضرایب برای دقت‌های بالاتر ۱×۱، ۰/۵×۰/۵، ۰/۲۵×۰/۲۵ و ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ کیلومتر مربع طبق رابطه‌ی (۱) برآورد می‌گردد.

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

در این رابطه GCM_t و GCM_p به ترتیب دما و بارندگی ماهانه خروجی مدل‌های گردش عمومی، OBS_t و OBS_p به ترتیب دما و بارندگی ماهانه مشاهداتی ایستگاه مورد نظر و در نهایت F_t و F_p ضرایب اصلاحی برای بارندگی و دمای نقاط شبکه خروجی مدل‌های گردش عمومی می‌باشند. ۳- ضرایب اصلاحی به‌دست آمده برای دقت‌های بالاتر 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 مولفه‌های اقلیمی برای سال‌های آتی تعیین می‌گردد.

در پژوهش حاضر جهت استفاده از این روش ریزمقیاس‌نمایی از نرم‌افزار RStudio و پکیج آماری qmap استفاده شده است.

شاخص بارش استاندارد (SPI):

مکی و همکاران^{۱۴} (۱۹۹۳)، شاخص SPI را برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی چندگانه معرفی کردند (۸). این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت آن محاسبه

ششم را تهیه و منتشر کرده است. گزارش ششم این هیات که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته است در سال ۲۰۲۱ ارائه شده است. این گزارش آخرین پیشرفت‌ها در علوم آب‌وهوایی، مشاهدات، دیرینه‌اقلیم‌شناسی و شبیه‌سازی‌های اقلیمی را گرد هم می‌آورد تا به‌روزترین درک علوم فیزیکی از تغییرات آب‌وهوا را ارائه دهد. همچنین، این گزارش تأثیرات انسانی بر وضعیت فعلی آب‌وهوا و چگونگی تأثیرگذاری آب‌وهوای آینده بر مناطق مختلف در سراسر جهان را تشریح می‌کند. یافته‌های این گزارش به ارائه درک درستی از وضعیت آب‌وهوای فعلی و آینده می‌پردازد و عملاً آنچه را برای محدود کردن پیامدهای تغییرات آب‌وهوایی در کره زمین لازم است، توصیف

روش ریزمقیاس‌نمایی جداسازی مکانی تصحیح اریبی^{۱۲} BCSD

یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن نسبت به منطقه مطالعاتی است. دو نوع تکنیک برای به دست آوردن متغیرها در مقیاس محلی (ریز مقیاس‌نمایی) 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 (۲۴). 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 وود و همکاران^{۱۳} در سال ۲۰۰۲ به منظور تخمین مولفه‌های هیدرولوژی دراز مدت به کار گرفته شد و امروزه در مطالعات اقلیم‌شناسی با مقیاس ماهانه به وفور استفاده می‌شود. فرآیند ریزمقیاس‌نمایی با این روش در ۳ گام به شرح زیر انجام می‌شود (۲۵):

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

¹⁴ McKee et al

¹² Bias-Corrected Spatial Disaggregation

¹³ Wood et al

نسبت به مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت انعطاف‌پذیری دارد. این شاخص از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$$

که در آن SPI: شاخص استاندارد بارندگی، P_i : مقادیر بارش، \bar{P} : میانگین متوسط درازمدت بارش و SD: انحراف از معیار داده است (۲۶). جدول ۳ مقیاس طبقه‌بندی SPI را نشان می‌دهد. طبق این جدول هرگاه مقادیر SPI منفی باشد و مقدار آن به -۱ یا کمتر برسد معرف وقوع خشکسالی است. همچنین مقادیر مثبت آن، نشان‌دهنده خاتمه دوره خشکسالی است. در پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی شهرستان شیراز، شاخص بارش استاندارد (SPI) مورد تحلیل قرار گرفته است.

می‌شود. شاخص خشکسالی وسیله‌ای است که با خلاصه نمودن اطلاعات خشکسالی به صورت دوره‌ای، اطلاعات شرایط رطوبتی در منطقه را نشان می‌دهد. اطلاعات این شاخص را می‌توان در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه (کوتاه‌مدت و بلندمدت) محاسبه کرد. SPI کوتاه‌مدت شرایط رطوبت کوتاه‌مدت را منعکس و برآورد فصلی از بارندگی را مشخص می‌نماید و در این مدل تغییرات بیشتری وجود دارد و نشان‌گر آن است که SPI کوتاه‌مدت، حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبت دارد. این شاخص برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط محققان دانشگاه ایالت کلرادو توسعه داده شد تا وضعیت عملیاتی پایش تامین منابع آب را در این ایالت بهبود بخشند. هدف SPI اختصاص ارزش عددی به بارندگی می‌باشد که بتوان نواحی با آب و هوای متفاوت را با هم مقایسه نمود. از مزایای این شاخص می‌توان به سادگی آن و چند کاره بودن آن اشاره نمود. این شاخص دارای توزیع نرمال است و

جدول ۳- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد (SPI)

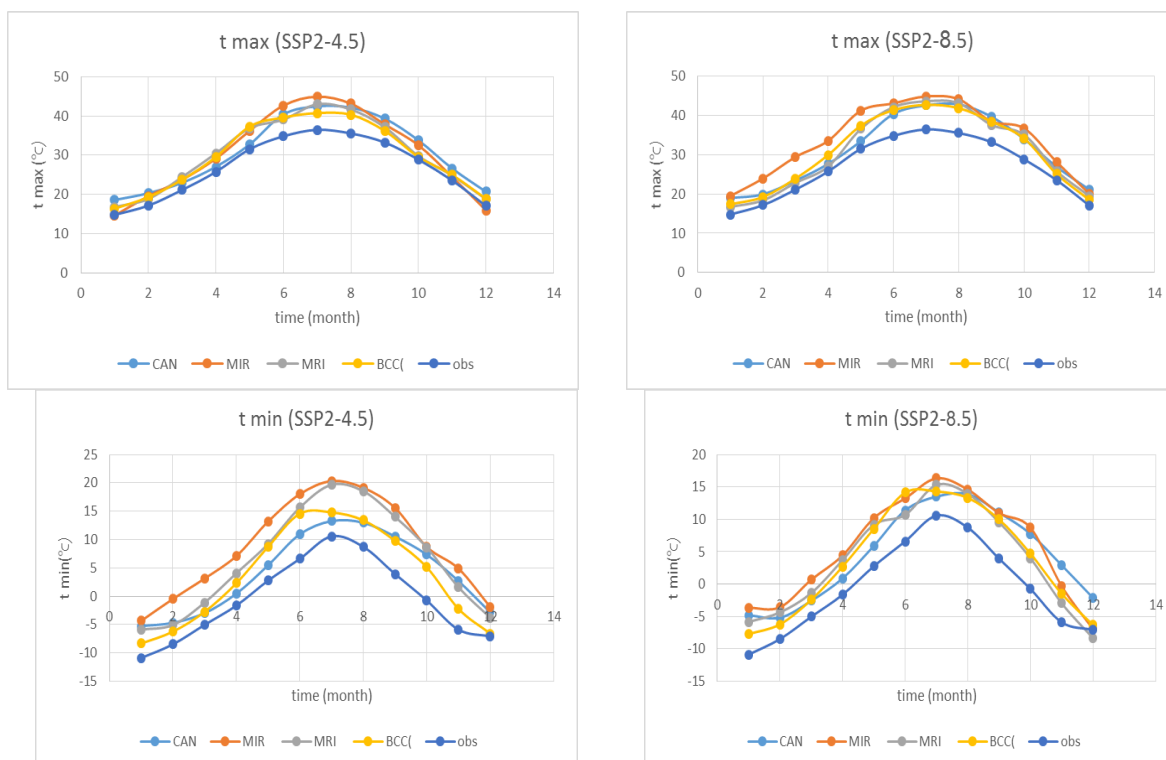
طبقه‌بندی خشکسالی	مقدار شاخص SPI
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر از آن
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
وضعیت نرمال	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	-۲ و کمتر

فوریه و مارس، مابقی ماه‌ها با افزایش بارندگی نسبت به دوره پایه همراه بوده‌اند. ولی در دوره آتی دوم نتایج نشان‌دهنده‌ی افزایش بارندگی در ماه‌های آوریل تا نوامبر می‌باشد و سایر ماه‌ها با کاهش بارندگی نسبت به دوره پایه همراه خواهند بود.

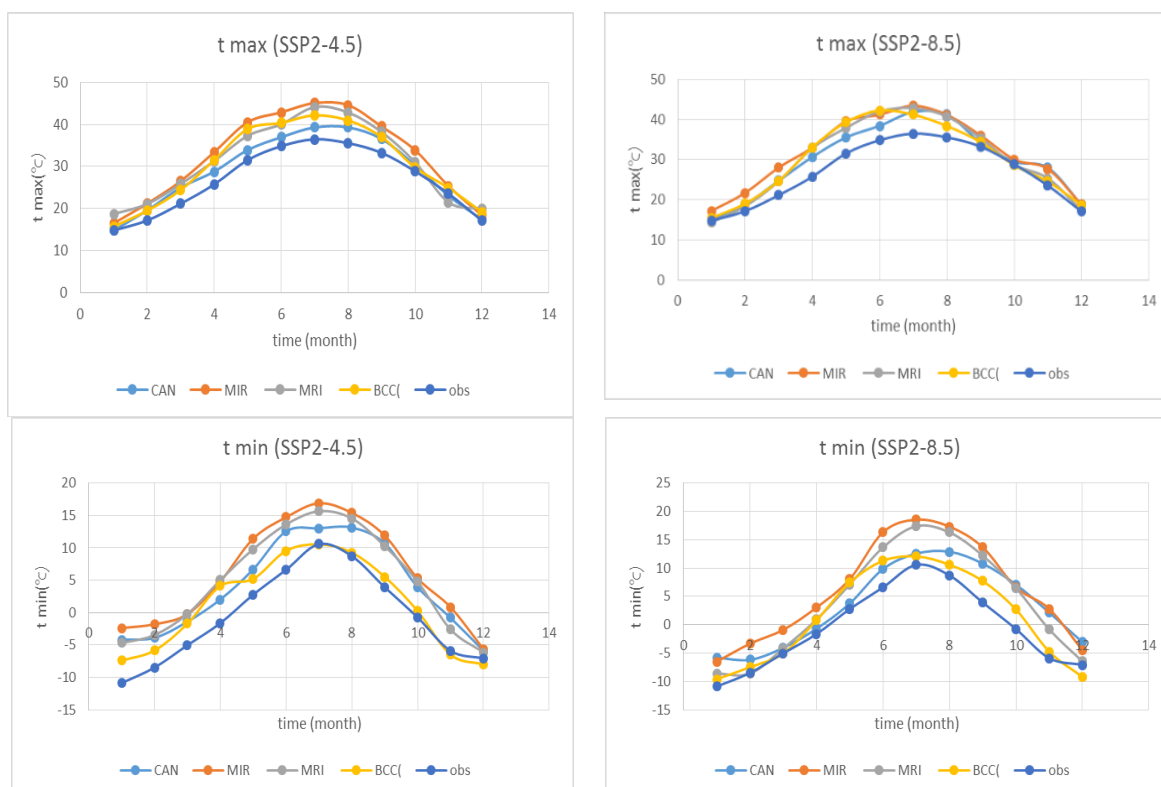
بحث و نتایج

در پژوهش حاضر، سناریوهای تغییر اقلیم در دو دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۶۵-۲۰۸۵ تهیه و تولید گردید و مقادیر ماهانه دما و بارش تعیین و با روش BCSD ریزمقیاس‌نمایی شده است. شکل ۲ و ۳ نشان‌دهنده نتایج ریزمقیاس‌نمایی دمای بیشینه و کمینه و مقایسه آن با مقادیر مشاهداتی در دو دوره آتی اول و دوم می‌باشد. با توجه به شکل‌ها، در مورد تغییرات دما در دو دوره آتی می‌توان گفت که این مقادیر نسبت به مقادیر مشاهداتی افزایش داشته است. این افزایش در مورد هر دو پارامتر دمای بیشینه و کمینه و در هر دو دوره آتی صدق می‌کند. طبق نتایج شکل‌ها مشاهده می‌شود که اختلاف مدل‌ها با مقادیر مشاهداتی در مدل MIROC6، در هر دو سناریوی انتشار از بقیه مدل‌های GCM استفاده شده، بیشتر بوده است.

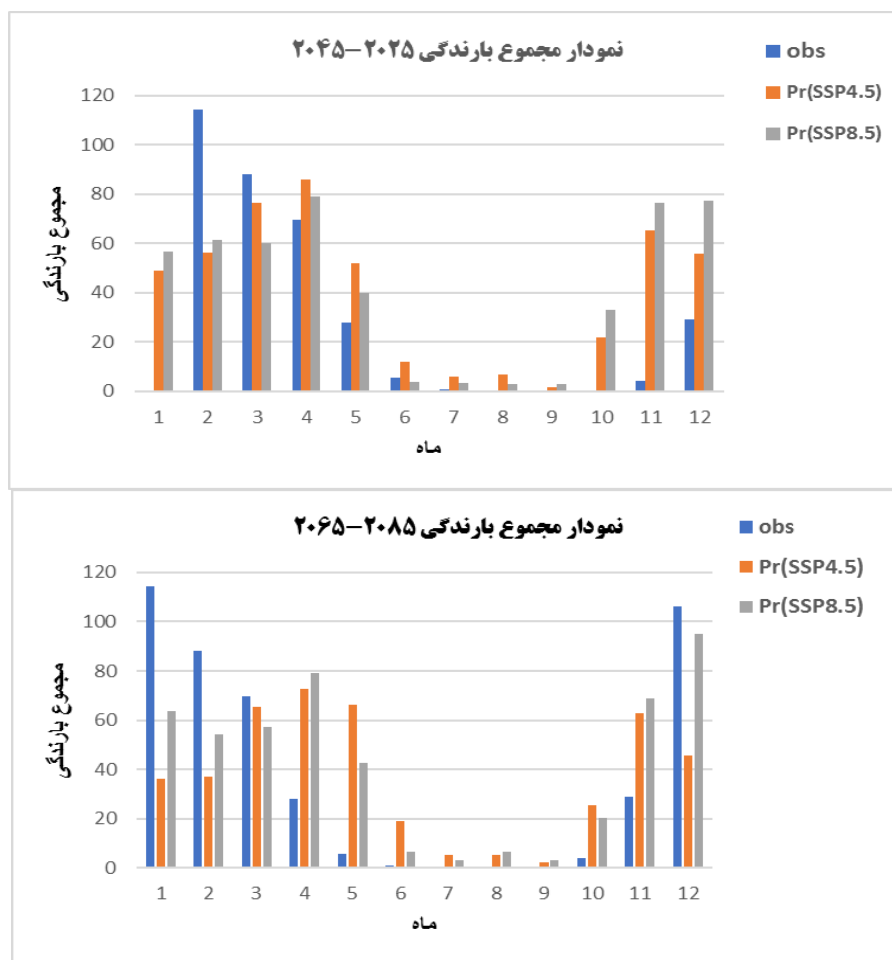
با توجه به نتایج شکل ۴، مشاهده می‌شود که مقادیر بارندگی در ماه‌های ابتدایی و انتهایی سال نسبت به دوره پایه، در دوره آتی اول افزایش ولی در دوره آتی دوم کاهش داشته است. همچنین نتایج مجموع بارندگی در دوره آتی اول نشان می‌دهد که غیر از دو ماه



شکل ۲- تغییرات دمای بیشینه و کمینه در دو دوره پایه و آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵



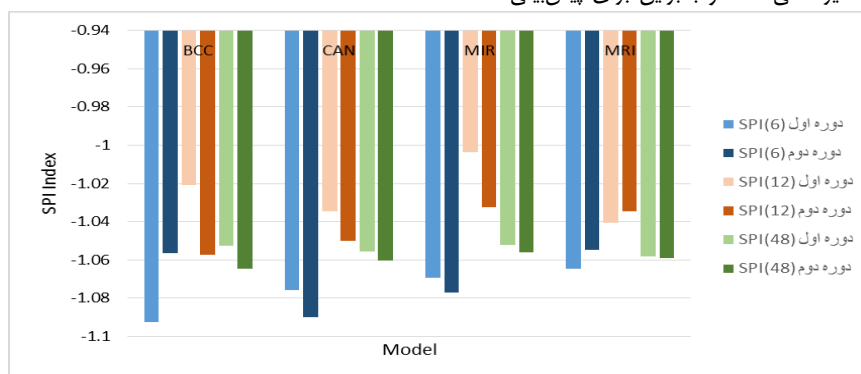
شکل ۳- تغییرات دمای بیشینه و کمینه در دو دوره پایه و آتی ۲۰۲۵-۲۰۸۵

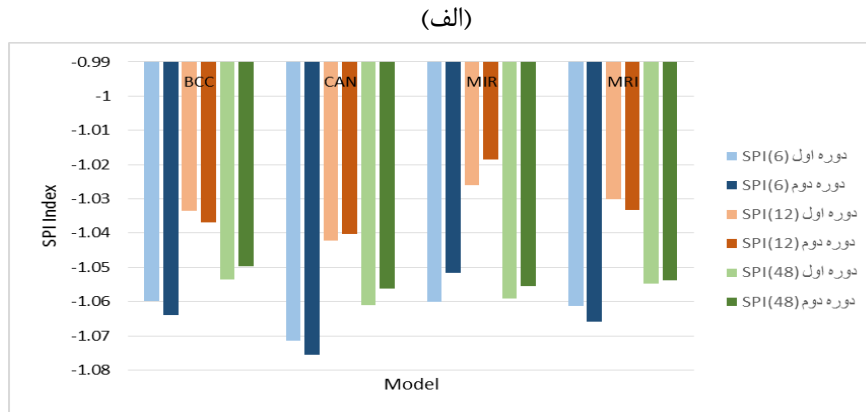


شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین بارندگی ماهانه (میلی متر) مدل‌های مورد مطالعه در دو دوره ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۸۵-۲۰۶۵

خشک‌سالی در منطقه مطالعاتی می‌توان از شاخص SPI با مقیاس زمانی ۶ ماهه استفاده نمود. همچنین مشخص است که نتایج دو دوره‌ی آتی برای تمام مدل‌های استفاده شده، در هر دو سناریو تا حدودی نزدیک به هم بوده و با مقایسه‌ی کلی در مواردی این شاخص با اختلاف ناچیزی افزایش شدت خشک‌سالی را در دوره دوم بیشتر نشان می‌دهد. همچنین در هر دو سناریو نتایج چهار مدل تا حدودی نزدیک به هم بوده و مدل CANESM5 با اختلاف ناچیزی نسبت به سه مدل دیگر، شدت خشک‌سالی بیشتری را برای هر دو دوره نشان می‌دهد.

شکل ۵، نشان‌دهنده‌ی مقادیر متوسط ۲۰ ساله‌ی شاخص SPI با مقیاس‌های زمانی متفاوت (۶، ۱۲ و ۴۸ ماهه) برای چهار مدل و دو سناریو (ssp2-4.5 و ssp5-8.5) داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم برای دو دوره‌ی آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۶۵-۲۰۸۵ است که با توجه به این شکل مشاهده می‌گردد که در ایستگاه مورد مطالعه برای چهار مدل و هر دو سناریو مقادیر شاخص SPI در هر سه مقیاس زمانی دارای مقادیر منفی هستند که شدت خشک‌سالی را بیشتر مشخص می‌نمایند اما نتایج نشان می‌دهد که در تمام مدل‌ها و سناریوها در هر دو دوره‌ی آتی، مقادیر میانگین ۲۰ ساله‌ی این شاخص با مقیاس زمانی ۶ ماهه نشان‌دهنده‌ی بیشترین مقادیر منفی است و بنابراین برای پیش‌بینی



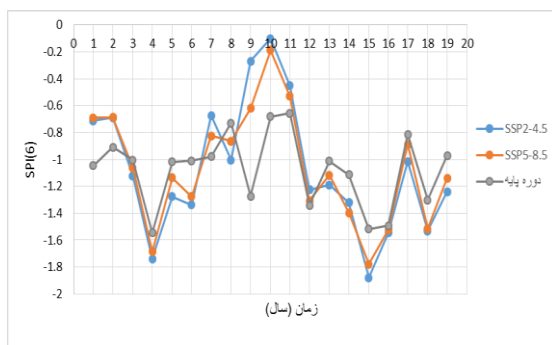


(ب)

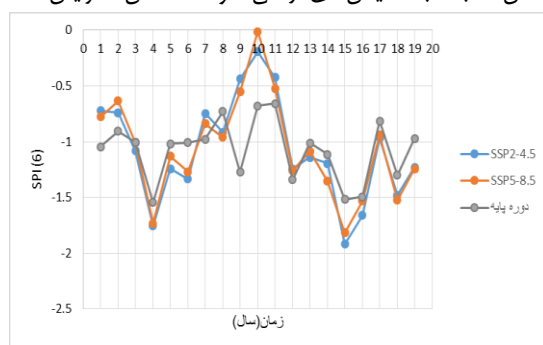
شکل ۵- شاخص SPI برای دو دوره آتی اول (۲۰۲۵-۲۰۴۵) و دوم (۲۰۸۵-۲۰۶۵) سناریوی SSP2-4.5 (الف) و سناریوی SSP5-8.5 (ب)

خشک‌سالی بیشتر را نشان دادند (۲۷). نصیری و همکاران (۱۳۸۸) نیز در تحقیقاتشان نتایج SPI بیش از ۱۲ ماهه را برای مطالعه دوره‌های خشک در شهرستان مرودشت رضایت‌بخش اعلام نمودند (۲۸). همچنین حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در پژوهش خود با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم به ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در دو شهرستان زابل و شیراز پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد مقادیر شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ و ۴۸ ماه نسبت به ۳ 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 مرودشت مطالعه خشک‌سالی را با شدت بیشتری نشان داده است (۲۹).

جهت مقایسه‌ی سناریوهای مورد استفاده در تحقیق حاضر، مقادیر میانگین شاخص SPI برای چهار مدل محاسبه گردید و مقادیر آن در مقیاس‌های زمانی متفاوت و طی ۲۰ سال برای دو دوره‌ی آتی مطابق شکل‌های ۶ تا ۸ رسم گردد که نتایج نشان می‌دهد شاخص SPI با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه شدت خشک‌سالی را در هر دو دوره بیشتر نشان می‌دهد و در این مقیاس زمانی در منطقه مورد مطالعه، سناریوی SSP5-8.5 در دوره‌ی آتی مورد بررسی شدت خشک‌سالی را کمی بیشتر نشان می‌دهد و بیان‌گر وضعیت نرمال تا خشک‌سالی بسیار شدید در دوره می‌باشد. بنابراین بهتر است جهت محاسبه‌ی شاخص خشک‌سالی SPI و پیش‌بینی خشک‌سالی در حالت بدبینانه از این سناریو استفاده گردد زیرا این سناریو دما را نسبت به بقیه سناریوها بیشتر نشان می‌دهد و در این صورت انتظار می‌رود که میزان خشک‌سالی را هم بیشتر نشان دهد. یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز برای مقیاس‌های زمانی طولانی‌مدت این شاخص نسبت به مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت آن، افزایش

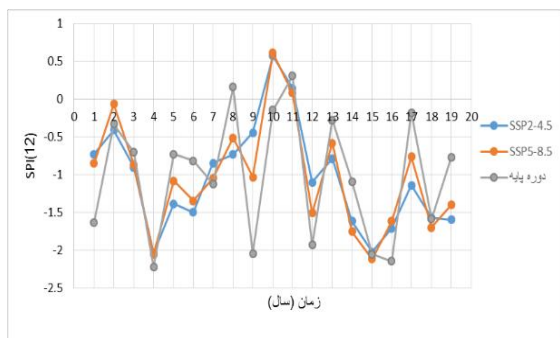


(ب) دوره دوم

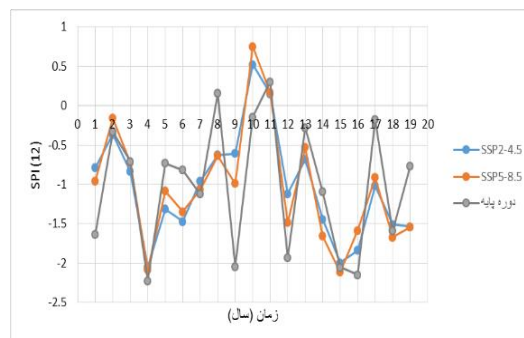


(الف) دوره اول

شکل ۶- سری زمانی شاخص SPI شش ماهه در دوره پایه و دوره آتی

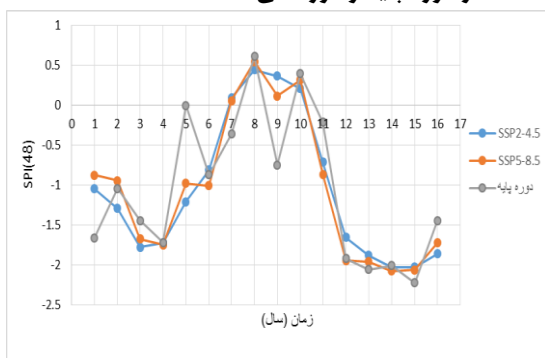


ب) دوره دوم

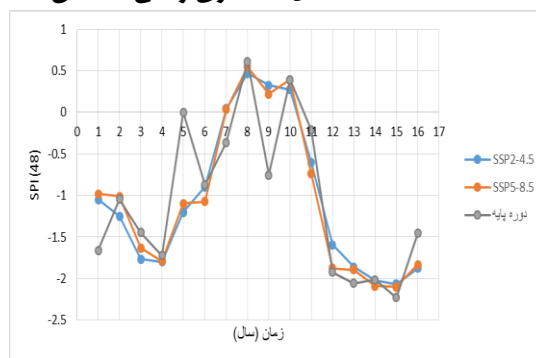


الف) دوره اول

شکل ۷- سری زمانی شاخص SPI دوازده ماهه در دوره پایه و دوره آتی



ب) دوره دوم



الف) دوره اول

شکل ۸- سری زمانی شاخص SPI چهل و هشت ماهه در دوره پایه و دوره آتی

بدینانه‌ترین حالت، تعداد سال‌های خشک برابر ۱۲ سال برآورد شده است که مدل‌های BCC، CAN و MRI نشان‌دهنده‌ی این تعداد می‌باشند. نتایج دوره‌ی آتی دوم نیز نشان‌دهنده ۱۳ سال خشک توسط مدل CAN است که در بدینانه‌ترین حالت ممکن است رخ دهد.

در تحقیق حاضر همچنین تعداد سال‌های خشک در دوره‌ی پایه و دو دوره‌ی آتی برای چهار مدل و دو سناریو در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۴۸ ماهه در جدول ۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج دو جدول نشان می‌دهد که تعداد سال‌های خشک در مقیاس ۶ ماهه در هر دو سناریو نسبت به دوره پایه، دارای مقادیری برابر یا کوچکتر است در حالیکه این تعداد در دو مقیاس ۱۲ و ۴۸ ماهه برای هر دو سناریو نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. همچنین طبق نتایج در دوره آتی اول و در

جدول ۱- تعداد سال‌های خشک در طی دوره آتی اول (۲۰۲۵-۲۰۴۵) و دوره پایه برای چهار مدل و دو سناریوی انتشار در مقیاس‌های زمانی مختلف

مقیاس زمانی SPI				
مدل	سناریو	۶ ماهه	۱۲ ماهه	۴۸ ماهه
BCC	SSP2-4.5	۱۱	۹	۹
	SSP5-8.5	۱۲	۱۱	۸
CAN	SSP2-4.5	۱۲	۹	۹
	SSP5-8.5	۱۲	۱۰	۹
MIR	SSP2-4.5	۱۰	۹	۹
	SSP5-8.5	۱۰	۹	۹
MRI	SSP2-4.5	۱۲	۱۰	۱۱
	SSP5-8.5	۱۰	۱۱	۹
دوره پایه		۱۲	۹	۹

جدول ۲- تعداد سال‌های خشک در طی دوره آتی دوم (۲۰۸۵-۲۰۶۵) و دوره پایه برای چهار مدل و دو سناریوی انتشار در مقیاس‌های زمانی مختلف

مقیاس زمانی SPI				
مدل	سناریو	۶ ماهه	۱۲ ماهه	۴۸ ماهه
BCC	SSP2-4.5	۱۱	۱۱	۹
	SSP5-8.5	۱۲	۱۲	۹
CAN	SSP2-4.5	۱۳	۱۰	۱۰
	SSP5-8.5	۱۲	۱۰	۹
MIR	SSP2-4.5	۱۲	۱۰	۹
	SSP5-8.5	۱۰	۱۰	۹
MRI	SSP2-4.5	۱۱	۱۱	۹
	SSP5-8.5	۱۰	۱۱	۹
دوره پایه		۱۲	۹	۹

SSP5-8.5 نشان‌دهنده‌ی افزایش شدت خشک‌سالی می‌باشد و بنابراین در بدبینانه‌ترین حالت می‌توان از شاخص SPI چهل‌وهشت ماهه تحت سناریوی SSP5-8.5 استفاده نمود.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Waseem M, Park D H, Kim T W. 2016. Comprehensive climatological drought projection over South Korea under climate change. *Procedia engineering*, 154, 284-290.
2. Bagheri R, Mohammadi S. 2012. Investigation on spatial variations of drought using geostatistics in Kerman province over a thirty-year period (1970- 2000). 19(2), 283-296. doi: 10.22092/ijrdr.2012.103158
3. Hernández-Vásquez C. C, Ibáñez-Castillo L. A, Gómez-Díaz J D, Arteaga-Ramírez R. 2020. Analysis of meteorological

نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر برای پیش‌بینی خشک‌سالی در منطقه مطالعاتی از مدل GCM مربوط به داده‌های گزارش ششم IPCC شامل (BCC-ESM2-MR)، (ESM2-MR)، (CanESM5)، (MIROC6)، و (MRI-ESM2-0)، تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده شده است. همچنین به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی از روش BCS D استفاده گردید و پارامترهای اقلیمی برای دو دوره‌ی آتی برآورد گردید که نتایج نشان‌دهنده افزایش مقدار دمای بیشینه و کمینه در دوره‌های آتی نسبت به مشاهداتی می‌باشد. سپس به کمک شاخص SPI شدت خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۴۸ ماهه تعیین شد. مقادیر میانگین ۲۰ ساله‌ی این شاخص با مقیاس زمانی ۶ ماهه نشان‌دهنده‌ی بیشترین مقادیر منفی است. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که می‌توان در منطقه مورد مطالعه از مدل CAN استفاده نمود و برای دو دوره‌ی آتی، نتایج نشان می‌دهد که شاخص SPI با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه شدت خشک‌سالی را بیشتر نشان می‌دهد و در این مقیاس زمانی سناریوی

droughts in the Sonora River Basin, Mexico. *Atmósfera*.

4. Heim Jr R R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1166.
5. Mostafazadeh R, Shahabi M, Zabihi M. 2015. Analysis of meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan Province, Iran. *Geographical Planning of Space*, 5(17), 129-140.
6. Naserzadeh MH, Ahmadi E. 2013. Investigating the performance of meteorological drought indicators in

- assessing drought and its zoning in Qazvin province. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*; 12 (27), 141-162.
7. Montaseri M, Nourjoo A, Behmanesh J, Akbari M. 1397. Investigation of wet season and meteorological drought in the southern basins of Lake Urmia (Case study: Zarrineh and Siminehroud catchments). *Echo Hydrology*, 5 (1), 189-202.
 8. McKee T B, Doesken N J, Kleist J. 1993, January. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
 9. Morid S, Smakhtin V, Moghaddasi M. 2006: Comparison Of Seven Meteorological Indices For Drought Monitoring In Iran. *Int. J. Climatol*, Volume 26, Issue 7, Pp. 971-985
 10. Huang Y F, Ang J T, Tiong Y J, Mirzaei M, Amin M Z M. 2016. Drought forecasting using SPI and EDI under RCP-8.5 climate change scenarios for Langat River Basin, Malaysia. *Procedia Engineering*, 154, 710-717.
 11. Hashemi-Ana SK, Khosravi M, Tavousi T, Nazaripour H. Validation of AOGCMs capabilities for simulation length of dry spells under the climate change and uncertainty in Iran. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data*. 2017; 26(103): 43-58.
 12. LI X X, Hui J U, Sarah G, YAN C R, Batchelor W D, Qin L I U. 2017. Spatiotemporal variation of drought characteristics in the Huang-Huai-Hai Plain, China under the climate change scenario. *Journal of integrative agriculture*, 16(10), 2308-2322.
 13. Yaghoubzadeh M, Ahmadi M, Seyed Kaboli H, Zamani G, Amirabadizadeh M. 2017. The evaluation of Effect of Climate Change on Agricultural Drought Using ETDI and SPI Indexes. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), 43-61
 14. Hernández-Vásquez C. C, Ibáñez-Castillo L. A, Gómez-Díaz J D, Arteaga-Ramírez R. 2020. Analysis of meteorological droughts in the Sonora River Basin, Mexico. *Atmósfera*.
 15. Saharwardi M S, Mahadeo A S, Kumar P. 2021. Understanding drought dynamics and variability over Bundelkhand region. *Journal of Earth System Science*, 130(3), 1-16.
 16. Noguera I, Domínguez-Castro F, Vicente-Serrano S M. 2021. Flash Drought Response to Precipitation and Atmospheric Evaporative Demand in Spain. *Atmosphere*, 12(2), 165.
 17. Aadhar S, Mishra V. 2020. On the projected decline in droughts over South Asia in CMIP6 multimodel ensemble. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(20), e2020JD033587.
 18. Wang T, Tu X, Singh V P, Chen X, Lin K. 2021. Global data assessment and analysis of drought characteristics based on CMIP6. *Journal of Hydrology*, 596, 126091.
 19. Chiang F, Mazdiyasn O, AghaKouchak A. 2021. Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature communications*, 12(1), 1-10.
 20. Song Z, Xia J, She D, Li L, Hu C, Hong S. 2021. Assessment of meteorological drought change in the 21st century based on CMIP6 multi-model ensemble projections over mainland China. *Journal of Hydrology*, 601, 126643.
 21. Meresa H, Murphy C, Fealy R. 2021, April. Climate change impact on the hydrometeorological drought propagation. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-8285).
 22. Ayugi B, Shilenje Z W, Babaousmail H, Sian K. T. L. K, Mumo R, Dike V. N, Ongoma V. 2021. Projected Changes in Meteorological Drought Over East Africa

- Inferred from Bias-Adjusted CMIP6 Models. Cities). Arid Regions Geographic Studies. 10 (40) :78-87
23. Ashofteh P, Massah A. 2010. Impact of Climate Change Uncertainty on Temperature and Precipitation of Aidoghmoush Basin in 2040-2069 Period. Water and Soil Science, 19(2), 85-98.
 24. Hewitson B. C, Crane R G. 1996. Climate downscaling: techniques and application. Climate Research, 7(2), 85-95.
 25. Jafarzadeh A, Pourreza-Bilondi M, Afshar A A, Khashei-Siuki A, Yaghoobzadeh M. 2019. Estimating the reliability of a rainwater catchment system using the output data of general circulation models for the future period (case study: Birjand City, Iran). Theoretical and Applied Climatology, 137(3), 1975-1986.
 26. Poodineh MR, Heidarinia M, Moosavi SR, DoostiMoghadam H. 2020. Monitoring drought indicators in Zahedan in different periods. Geography Quarterly, 13(47), 133-143.
 27. Yaghoobzadeh M, Amirabadizadeh M, khozehmehnezhad H, zeraatkar Z. 2018. The evaluation of the three downscaling methods in Meteorological droughts forecasting under the effects of climate change. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 12(2), 323-334.
 28. Nasiri MA, Jabbari S, Bustani F, Shamsnia SA. 2009. Drought Analysis and Monitoring Using Standardized Precipitation Index (SPI) Case Study: Marvdasht County, National Conference on Water Crisis Management, Marvdasht University.
 29. Hosseinabadi S, Yaghoobzadeh M, Amirabadizadeh M, Foroozanmehr M. 2020. Meteorological Drought Assessment in Future Periods by Using of the Data of the Fifth Report of Climate Change (Case Study: Zabol and Shiraz

Research Paper

Economic productivity of water and profitability of fodder production of cowpea, mung bean and guar under normal irrigation and drought stress conditions

Hormoz Asadi^{1*}, Vida Ghotbi², Ali Mostafa Tehrani³, Ali Mahrokh⁴, Ali Akbar Ghanbari⁵

1. Associate Prof. of Agricultural Economic Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

2. Assistant Prof. of Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

3. Assistant Prof. of Research, Animal Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

4. Assistant Prof. of Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

5. Prof. of Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Received: 2022/08/05

Revised: 2023/08/21

Accepted: 2023/09/22

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2024.30825.2365](https://doi.org/10.30495/wej.2024.30825.2365)

Keywords:

Summer forage legumes, Irrigation levels, Input productivity, Economic study

Abstract

Introduction: One of the strategic to solve the fodder shortage in the country is to use annual summer forage legumes under suitable irrigation system. Legumes are an important rich source of protein in human and animal nutrition.

Methods: This research was carried out in the research farm of Seed and Plant Improvement Institute in Karaj in Alborz province for two years in 2019 and 2020. A split-plot experiment in a randomized complete block design with three replications was conducted. Three legume species was used including cowpea, mung bean, and guar. Three irrigation treatments used including normal, medium and severe stress 60, 100, 140 mm evaporation, respectively, from the evaporation pan level of class A in the main plots, and three legume species in the main subplots. In this study, forage production return was done using profitability indices and productivity was measured using physical and economic productivity indices.

Findings: The results showed that the increase in average net income of cowpea forage production under normal irrigation to medium stress and Severe stress was estimated 48.5 and 55.1 percent and this increase in mung bean was 3.1 and 39 percent, respectively. Increase in average economic productivity of water in cowpea forage production under Severe stress condition to medium stress and normal irrigation was estimated 16.5 and 45.1 percent, respectively. Increase in average economic productivity of water in mung bean forage production under Severe stress condition to medium stress and normal irrigation was estimated 8.8 and 51.8 percent, respectively.

Citation: Asadi, H, Ghotbi, V, Mostafa Tehrani, A, Mahrokh, A, Ghanbari, A.A. Economic productivity of water and profitability of fodder production of cowpea, mung bean and guar under normal irrigation and drought stress conditions. Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (61): 28- 38.

***Corresponding author:** Hormoz Asadi

Address: Socio-Economic Researches Office, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Tell: +989126628044

Email: Hormoz.asadi3@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

One of the strategic to solve the fodder shortage in the country is to use annual summer forage legumes under suitable irrigation system. Legumes are an important rich source of protein in human and animal nutrition.

Materials and Methods

This research was carried out in the research farm of Seed and Plant Improvement Institute in Karaj in Alborz province for two years in 2019 and 2020. A split-plot experiment in a randomized complete block design with three replications was conducted. Three legume species was used including cowpea (Mashhad cultivar), mung bean (Parto cultivar), and guar (local cultivar of Sistan). Three irrigation treatments used including irrigation normal (60 mm evaporation), medium stress (100 mm evaporation) and severe stress (140 mm evaporation) from the evaporation pan level of class A in the main plots, and three legume species in the main subplots. The plant species were cultivated in six rows with a length of six meters and a row distance of 50cm in early June. The seed planting depth was about two cm and the distance between the plants on the row was five cm. Harvesting was done at the time of 50% flowering and early pod formation. Irrigation was done drip irrigation system using type tapes. Different irrigation treatments were applied from the stage of plant establishment and the amount of water consumed was determined using the contour placed at the beginning of the main plot. To determine the irrigation time, the number of daily leakages is known and to determine the volume of water used in each irrigation, soil sampling was done before irrigation to the depth of root development, and the weight percentage of soil moisture was determined. In this study, forage production return was done using

profitability indices and productivity was measured using physical and economic productivity indices.

Findings

The results showed that the increase in average net income of cowpea forage production under normal irrigation to medium stress and Severe stress was estimated 48.5 and 55.1 percent and this increase in mung bean was 3.1 and 39 percent, respectively. Increase in average net income of guar forage production was negative. Increase in average economic productivity of water in cowpea forage production under Severe stress condition to medium stress and normal irrigation was estimated 16.5 and 45.1 percent, respectively. Increase in average economic productivity of water in mung bean forage production under Severe stress condition to medium stress and normal irrigation was estimated 8.8 and 51.8 percent, respectively. Increase in average economic productivity of water in guar forage production under medium stress condition to severe stress and normal irrigation was estimated 7.7 and 44.8 percent, respectively.

Discussion

According to the results, the average yield and net income of cowpea production under normal irrigation was estimated 25855 kg/ha and 62.5 million Iranian rials, respectively and was been the highest. Of course, the highest physical and economic productivity of water was related to the treatment of cowpea fodder under severe irrigation stress.

Conclusion

According to the results, the average yield and net income of cowpea production under normal irrigation was estimated 25855 kg/ha and 62.5 million Iranian rials, respectively and was been the highest. Of course, the highest physical and economic

productivity of water was related to the treatment of cowpea fodder under severe irrigation stress.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

The funding of this research paid by Seed and Plant Improvement.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Hormoz Asadi, Vida Ghotbi. Methodology and data analysis: Hormoz Asadi, Vida Ghotbi. Supervision and final writing: Hormoz Asadi, Vida Ghotbi, Ali Mostafa Tehrani, Ali Mahrokh, Ali Akbar Ghanbari.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بهره‌وری اقتصادی آب و سودآوری تولید علوفه لوبیا چشم بلبلی، ماش و گوار تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی

هرمز اسدی^{۱*}، ویدا قطبی^۲، علی مصطفی طهرانی^۳، علی ماخرخ^۴، علی اکبر قنبری^۵

۱. دانشیار تحقیقات اقتصاد کشاورزی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲. استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳. استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات علوم دامی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴. استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۵. استاد پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

مقدمه: یکی از راهکارهای رفع کمبود علوفه در کشور، استفاده از لگوم‌های علوفه‌ای تابستانه یک ساله تحت سیستم آبیاری مناسب می‌باشد. لگوم‌های علوفه‌ای یکی از منابع غذایی مهم و غنی از پروتئین در تغذیه انسان و دام، به شمار می‌روند.

روش: این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در شهرستان کرج در استان البرز در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سه نوع علوفه شامل لوبیا چشم بلبلی، ماش و گوار از نظر صفات زراعی مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارهای مختلف آبیاری از جمله آبیاری نرمال، تنش خشکی ملایم و شدید به ترتیب ۶۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر (از سطح تشتک تبخیر) در کرت‌های اصلی و سه گونه گیاهی در کرت‌های فرعی بررسی شدند. بازدهی تولید علوفه با استفاده از شاخص‌های سودآوری و سنجش بهره‌وری با استفاده از شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، میانگین درآمد خالص علوفه لوبیا چشم بلبلی، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۴۸/۵ و ۵۵/۱ درصد افزایش، در مورد علوفه ماش به ترتیب ۳/۱ و ۳۹ درصد افزایش نشان می‌دهد. میانگین بهره‌وری اقتصادی آب در تولید علوفه لوبیا چشم بلبلی، تحت شرایط تنش شدید نسبت به شرایط تنش ملایم و آبیاری نرمال به ترتیب ۱۶/۵ و ۴۵/۱ درصد افزایش نشان داد. میانگین بهره‌وری اقتصادی آب در تولید علوفه ماش، تحت شرایط تنش شدید نسبت به شرایط تنش ملایم و آبیاری نرمال به ترتیب ۸/۸ و ۵۱/۸ درصد افزایش نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: میانگین عملکرد تیمار تولید علوفه لوبیا چشم بلبلی تحت آبیاری نرمال ۲۵۸۵۵ کیلوگرم در هکتار، سود ۶۲/۵ میلیون ریال در هکتار بیشترین بود. البته بیشترین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب مربوط به تیمار علوفه لوبیا چشم بلبلی تحت استرش شدید آبیاری بود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۴

تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۱

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2024.30825.2365](https://doi.org/10.30495/wej.2024.30825.2365)

واژه‌های کلیدی:

لگوم‌های علوفه‌ای تابستانه، سطوح آبیاری، بهره‌وری نهاده، بررسی اقتصادی.

* نویسنده مسئول: هرمز اسدی

نشانی: دفتر پژوهش‌های اقتصادی - اجتماعی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تلفن: ۰۹۱۲۶۶۲۸۰۴۴

پست الکترونیکی: hormoz.asadi3@gmail.com

مقدمه

عملکرد و تولید محصولات، درآمد ناخالص و خالص تولید و بازدهی بخش کشاورزی مؤثر می‌باشد (۱۲). در بررسی سودآوری و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید محصولات علوفه‌ای در شهرستان کرج بر اساس داده سال‌های ۹۹-۱۳۹۵، پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که میانگین ارزش ناخالص مصرف هر متر مکعب آب در تولید محصولات علوفه‌ای ۸۱۷۴ ریال بر متر مکعب و میانگین سود ناشی از مصرف هر متر مکعب آب در تولید آن ۶۰۳۱ ریال بر متر مکعب بود (۳). در برآورد ارزش اقتصادی آب مجازی با رویکرد حداکثرسازی بهره‌وری آب آبیاری، ارزش اقتصادی آب (مجموع آب‌های سطحی و زیرزمینی) محصولات کشاورزی را در استان‌های آذربایجان غربی، بوشهر، اصفهان، ایلام و سمنان با هدف حداکثر شدن بهره‌وری آب کشاورزی به ترتیب ۱۴۶۱۵، ۴۰۶۰۸، ۷۲۴۰، ۴۶۷۳ و ۳۹۲۷۴ ریال به ازای هر متر مکعب آب صرف شده محاسبه نمودند (۱۷). در بررسی اثر کم آبیاری بر بهره‌وری آب در تولید لوبیاچیتی با استفاده از آبیاری قطره ای نواری در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه لرستان، محققان با در نظر گرفتن چهار سطح آبیاری به روش تیپ و یک روش آبیاری سطحی به این نتیجه رسیدند که بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب به ازای عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۰/۵۹ و ۱/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب آب با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش تیپ (تیمار شاهد) حاصل شد (۷). با توجه به این که در سال‌های اخیر یکی از موضوعات مهم و کاربردی مورد بحث محافل علمی کشور، راهکار افزایش بهره‌وری آب جهت بهبود معیشت کشاورزان می‌باشد (۱۳)، بنابراین در همین راستا، اهداف مطالعه حاضر، تعیین بازدهی و بهره‌وری اقتصادی آب تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در تولید علوفه لوبیا چشم بلبلی، ماش و گوار در مزرعه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در شهرستان کرج بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در شهرستان کرج در استان البرز در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. این مزرعه در کرج با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا بین ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه طول شرقی واقع شده است. میزان متوسط بارندگی سالیانه براساس آمار بلند مدت ۲۷۵ میلی‌متر بوده که با زمستان‌های سرد جزو مناطق سرد کم باران به شمار می‌رود. بافت خاک مزرعه رسی - شنی، با وزن مخصوص ظاهری حدود ۱/۳۶ گرم بر سانتیمتر مکعب، pH حدود ۷/۵ و هدایت الکتریکی ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر و ظرفیت زراعی حدود ۲۶ درصد و نقطه پژمردگی دائم حدود ۱۱ درصد وزنی می‌باشد (۵). آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سه نوع علوفه شامل لوبیا چشم بلبلی (رقم مشهد)، ماش (رقم پرتو) و

حبوبات از منابع غذایی مهم و غنی از پروتئین در تغذیه انسان و دام هستند به صورتی که دانه‌های لوبیا چشم بلبلی محتوی ۲۰ تا ۲۵ درصد (گاهی تا ۳۵ درصد) پروتئین، ۱/۸ درصد چربی و ۶۰/۳ درصد کربوهیدرات بوده و همچنین به عنوان یک منبع غنی از آهن و کلسیم به حساب می‌آید (۱۵). علوفه لوبیا چشم بلبلی خوراک مغذی متعادلی برای دام است (۲۱). لوبیا چشم بلبلی گیاهی مقاوم به خشکی بوده و در خاک‌های با حاصلخیزی کم نیز به خوبی رشد می‌کند (۶ و ۱۶). لوبیای خوشه‌ای یا گوار یک گیاه یک‌ساله بوته‌ای و عموماً یک گیاه مقاوم به خشکی به حساب می‌آید (۱۴). ماش یکی از حبوبات با ارزش بوده و سرشار از فسفر است. دانه ماش از نظر مواد پروتئینی غنی است. ماش همچنین علوفه خوش خوراکی برای دام‌ها است و به خوبی سیلو می‌شود (۴). ماش گیاهی است یک‌ساله به شکل بوته‌ای یا بالارونده، ریشه‌های آن مستقیم یا قدری منشعب هستند. ماش گیاهی روزکوتاه است اما تعداد کمی از واریته‌های آن به طول روز بی تفاوت هستند. معمولاً آن را سه ماه بعد از کاشت برداشت می‌کنند (۱۸). مناطق عمده کشت ماش در ایران خوزستان، آذربایجان شرقی، گلستان، ورامین، جنوب کرمان، اصفهان و فارس است. ماش یک گیاه پوششی خوب جهت حفظ خاک به شمار می‌رود (۲۰). در ارزیابی عملکرد کمی و کیفی برخی لگوم‌ها به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی آزمایشی در کرج در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام و نتایج نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد علوفه‌تر مربوط به لوبیا چشم بلبلی با ۲۲/۲۹ تن در هکتار و ماش با ۲۰/۳۹ تن در هکتار بود (۹ و ۱۰). در اکثر نقاط جهان عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید محصولات کشاورزی است. به ویژه در مناطقی که شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک دارند. در چنین شرایطی استفاده مؤثر و اقتصادی از منابع آب ضروری است (۸). اقتصاددانان برای حل مشکل تولید غذا از منابع آب محدود، افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب را توصیه می‌کنند (۱۱). بر اساس اسناد بالادستی و مستندات قانونی در بخش آب، ارتقاء بهره‌وری و توجه به ارزش اقتصادی، امنیتی و سیاسی آب در استحصال، عرضه، نگهداری و مصرف آن از سیاست‌های کلی نظام در خصوص منابع آب به شمار می‌رود (۲). یکی از راهکارهای کاربردی به منظور سازگاری با شرایط اقلیمی در کشور، برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از منابع می‌باشد، بویژه با توجه به محدودیت مناسب آبی، تعیین بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های ارزیابی مصرف بهینه آب آبیاری تلقی می‌گردد. ارتقاء بهره‌وری آب در تولید محصولات از دو طریق مستقیم (افزایش عملکرد و کاهش مصرف آب یا تلفیقی از هر دو سیاست) و غیرمستقیم (کاهش ضایعات و افزایش مکانیزاسیون) امکان‌پذیر است (۱). نهاده آب بر روی

تیمارهای مختلف، درصد بازده فروش محصولات در هر یک از تیمارها مورد بررسی قرار گرفت (۴).

$$TR_c = yield \times P_c \quad (۶)$$

$$NR_c = TR_c - TVC_c \quad (۷)$$

$$SRP_c = \frac{NR_c}{TR_c} \times 100 \quad (۸)$$

به طوری که P قیمت فروش هر کیلو محصول به ریال، TVC هزینه‌های جاری تولید محصول به میلیون ریال، SRP درصد بازده فروش محصول تولیدی بود. در این پژوهش در بخش زراعی صفاتی چون ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک برگ، غلاف و ساقه اندازه گیری شد. محاسبات آماری در بخش زراعی با استفاده از نرم افزار SAS9 و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی دار یا LSD در سطح پنج درصد انجام شد. البته در این پژوهش، بیشتر به جنبه های اقتصادی پرداخته شده است. اطلاعات مربوط به هزینه و قیمت محصولات از کتاب هزینه تولید وزارت جهاد کشاورزی و کتاب قیمت فروش محصولات و هزینه خدمات کشاورزی از انتشارات مرکز آمار ایران در سال های اجرا استفاده گردید..

جدول ۱- تعداد دفعات آبیاری و میزان آب مصرفی در

سالهای آزمایش

Table 1. The number of times of irrigation and amount of water consumed in the experiment years

تیمار	تعداد دفعات آبیاری		میزان تجمعی آب آبیاری در هکتار (مترمکعب)	
	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸
آبیاری نرمال	۹	۹	۹۰۰۰	۹۲۳۰
تنش خشکی ملایم	۶	۶	۶۰۵۰	۶۱۵۰
تنش خشکی شدید	۵	۵	۵۰۰۰	۵۱۲۰

نتایج و بحث

مقایسه میانگین

نتایج مقایسه میانگین در اثر متقابل لگوم‌ها و سطوح تنش نشان داد که اگرچه میانگین عملکرد علوفه‌تر برای لوبیا چشم بلبلی بیشتر از سایر گیاهان در تمامی سطوح تنش بود ولیکن اختلاف معنی‌داری بین لوبیا چشم بلبلی و ماش از نظر عملکرد علوفه‌تر در دو سطح تنش نرمال و ملایم مشاهده نشد. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و لگوم‌ها نشان داد حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید علوفه‌تر (۳/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب) توسط لوبیا چشم بلبلی و در تنش شدید حاصل شد که با راندمان مصرف آب تولید علوفه‌تر برای ماش در تنش شدید (۳/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب) و همچنین راندمان مصرف آب تولید علوفه‌تر برای لوبیا چشم بلبلی در تنش متوسط (۳/۵۰)

گوار (رقم محلی سیستان) از نظر صفات زراعی مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارهای مختلف آبیاری از جمله آبیاری نرمال (۶۰ میلی متر تبخیر)، تنش خشکی ملایم (۱۰۰ میلی متر تبخیر) و تنش خشکی شدید (۱۴۰ میلی متر تبخیر) از سطح تشتک تبخیر در کرت‌های اصلی و سه گونه گیاهی در کرت‌های فرعی بررسی شدند. گونه های گیاهی در شش ردیف به طول شش متر و با فاصله ردیف ۵۰ سانتی متر در اوایل تیمار کشت شد. عمق کاشت بذر حدود دو سانتی متر و فاصله بوته روی ردیف پنج سانتی متر بود. برداشت در زمان ۵۰ درصد گل دهی و اوایل تشکیل غلاف صورت پذیرفت. آبیاری کرت به صورت قطره‌ای-نواری بود. تیمارهای مختلف آبیاری از مرحله استقرار گیاهان اعمال و مقدار آب مصرفی با استفاده از کنتور که در ابتدای فلکه اصلی قرار داده شد، مشخص گردید. برای تعیین زمان آبیاری عدد نشت روزانه مشخص و برای تعیین حجم آب مصرفی در هر آبیاری، قبل از آبیاری نمونه برداری از خاک کرت تا عمق توسعه ریشه انجام شد و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین گردید. حجم آب آبیاری با استفاده از معادله های ۱ و ۲ در هر آبیاری تعیین شد (۹ و ۱۹).

$$H = \rho b(\theta_{F.C} - \theta_m).D \quad (۱)$$

$$V = H \times A \quad (۲)$$

به طوری که، H نشان دهنده ارتفاع آب داخل کرت به سانتی-متر، ρ جرم مخصوص ظاهری خاک، $\theta_{F.C}$ رطوبت در حد ظرفیت مزرعه، θ_m رطوبت جرمی کرت مورد نظر در زمان آبیاری، D عمق توسعه ریشه، V حجم آب آبیاری در کرت، A مساحت کرت بود. برای محاسبه عمق توسعه ریشه در سه مرحله ابتدایی، میانی و انتهایی رشد هر سه گیاه اندازه گیری عمق توسعه ریشه توسط نمونه برداری کل بوته یک روز پس از آبیاری صورت گرفت. سامانه آبیاری برای توزیع یکنواخت آب در سطح آزمایش بصورت آبیاری قطره‌ای (نوار تیپ) بود. در این مطالعه، جهت سنجش بهره‌وری مصرف آب آبیاری در تولید علوفه از شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی زیر استفاده شد.

$$CPD_c = \frac{yield_c}{CWR_c} \quad (۳)$$

$$BPD_c = \frac{TR_c}{CWR_c} \quad (۴)$$

$$NBPD_c = \frac{NR_c}{CWR_c} \quad (۵)$$

به طوری که $yield$ عملکرد محصول در هکتار به کیلوگرم، CWR میزان آب آبیاری مصرفی در هکتار به مترمکعب، TR درآمد ناخالص تولید محصول در هکتار به میلیون ریال، NR درآمد خالص (سود) تولید محصول در هکتار به میلیون ریال بود. بررسی بازدهی با استفاده از تکنیک بودجه‌بندی جزیی انجام شد. در این روش، بعد از محاسبه درآمد ناخالص، هزینه و سودآوری

اختلاف آماری نداشت. حداقل کارایی مصرف آب برای تولید علوفه تر در تمامی سطوح تنش برای گیاه گوار به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل لگوم‌های مختلف در سطوح مختلف تنش

Table 2. Comparison of the average interaction effect of different legumes at different stress levels

نوع تنش	نوع لگوم	ارتفاع محصول (سانتی-متر)	عملکرد علوفه تر (تن در هکتار)	راندمان مصرف آب برای تولید علوفه تر (kg m^{-3})
آبیاری نرمال	لوبیا چشم بلبلی	۶۲/۵ a	۲۵/۸۶ a	۲/۸۳ c
	ماش	۶۲/۵ a	۲۱/۸۵ b	۲/۴ c
	گوار	۵۶/۱۷ a	۱۰/۱۵ d	۱/۱۱ d
تنش خشکی ملایم	لوبیا چشم بلبلی	۵۷/۶۷ ab	۲۱/۳۶ b	۳/۵ ab
	ماش	۶۰ ab	۲۰/۶۴ b	۲/۳۸ b
	گوار	۵۳/۸۳ b	۹/۸۹ d	۱/۶۲ d
تنش خشکی شدید	لوبیا چشم بلبلی	۵۴/۶۷ b	۱۹/۶۵ bc	۲/۸۸ a
	ماش	۵۶ b	۱۸/۶۷ c	۳/۶۸ ab
	گوار	۴۶/۳۳ c	۸/۰۷ d	۱/۵۹ d
LSD ($p < 0.05$)		۴/۲۴	۵/۱۹	۰/۸۶

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون LSD در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند

عملکرد و هزینه تولید

عملکرد علوفه تر برای محصولات مختلف در تیمارهای مختلف بیشتر از سال دوم مشاهده شد. البته دلیل برتری عملکرد را می‌توان به شرایط آب و هوایی سال آزمایش نسبت داد. میانگین عملکرد علوفه تر لوبیا چشم بلبلی در آبیاری نرمال در مقایسه با تیمار تنش خشکی ملایم و شدید برترتیب ۲۱ و ۳۱/۶ درصد بیشتر بود. عملکرد علوفه تر ماش در آبیاری نرمال در مقایسه با تیمار تنش خشکی ملایم و شدید برترتیب ۵/۹ و ۱۷ درصد بیشتر بود. عملکرد علوفه تر گوار در آبیاری نرمال در مقایسه با تیمار تنش خشکی ملایم و شدید برترتیب ۲/۷ و ۲۵/۸ درصد افزایش نشان داد. (جدول ۴).

میانگین هزینه تولید سال دوم برای تولید علوفه تر برای محصولات مختلف در تیمارهای مختلف بیشتر از سال اول آزمایش بود. ضمناً میانگین عملکرد هزینه تولید علوفه تر محصولات در آبیاری نرمال در مقایسه با تیمار تنش خشکی ملایم و شدید بیشتر بود. میانگین هزینه تولید علوفه لوبیا چشم بلبلی و علوفه ماش، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۸/۸ و ۱۲/۱ درصد افزایش نشان داد. میانگین هزینه تولید علوفه گوار، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۹ و ۱۲/۴ درصد افزایش نشان داد. (جدول ۳).

جدول ۳- هزینه تولید علوفه تر محصولات مورد آزمایش تحت سطوح آبیاری واحد: میلیون ریال در هکتار

Table 3. The production cost of wet fodder of the experiment crops under irrigation levels of different unit: million rials/ha

تیمار	هزینه تولید علوفه تر لوبیا چشم بلبلی		هزینه تولید علوفه تر ماش		هزینه تولید علوفه تر گوار	
	میانگین	% افزایش	میانگین	% افزایش	میانگین	% افزایش
آبیاری نرمال	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹
	۹۸/۶	۱۱۶/۵	۱۱۶/۵	۱۱۶/۵	۱۱۶/۵	۱۱۶/۵
تنش خشکی ملایم	۹۰/۹	۱۲۳/۴	۱۰۷/۱	۱۲۳/۴	۱۰۷/۱	۱۲۳/۴
	۱۱۶/۵	۱۱۶/۵	۱۱۶/۵	۱۱۶/۵	۱۱۶/۵	۱۱۶/۵
تنش خشکی شدید	۸۸/۳	۱۱۹/۵	۱۰۳/۹	۱۱۹/۵	۱۰۳/۹	۱۱۹/۵
	۱۱۹/۵	۱۱۹/۵	۱۱۹/۵	۱۱۹/۵	۱۱۹/۵	۱۱۹/۵

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۴- عملکرد علوفه تر محصولات مورد آزمایش در تیمارهای مختلف واحد: کیلوگرم در هکتار

Table 4. The yield of wet fodder of the experiment crops in different treatments unit: kg/ha

تیمار	عملکرد تولید علوفه تر لوبیا چشم بلبلی			عملکرد تولید علوفه تر ماش			عملکرد تولید علوفه تر گوار		
	۱۳۹۸	۱۳۹۹	میانگین	۱۳۹۸	۱۳۹۹	میانگین	۱۳۹۸	۱۳۹۹	میانگین
آبیاری نرمال	۳۲۰۸۰	۱۹۶۳۰	۲۵۸۵۵	۲۴۲۲۰	۱۹۴۸۰	۲۱۸۵۰	۱۰۷۳۰	۹۵۸۰	۱۰۱۵۵
تنش خشکی ملایم	۲۶۱۷۰	۱۶۵۵۰	۲۱۳۶۰	۲۳۳۳۰	۱۷۹۵۰	۲۰۶۴۰	۱۰۵۳۰	۹۲۵۰	۹۸۹۰
تنش خشکی شدید	۲۲۳۳۰	۱۶۹۷۰	۱۹۶۵۰	۲۱۱۷۰	۱۶۱۷۰	۱۸۶۷۰	۹۴۷۰	۶۶۷۰	۸۰۷۰

ماخذ: یافته‌های تحقیق

سودآوری

طبق نتایج، میانگین درآمد ناخالص علوفه لوبیا چشم بلبلی، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۲۰ و ۲۴/۱ درصد افزایش نشان داد. میانگین درآمد ناخالص علوفه ماش، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۷/۱ و ۱۸/۷ درصد افزایش و میانگین درآمد ناخالص تولید علوفه گوار، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۳/۲ و ۳۳/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). میانگین درآمد خالص علوفه لوبیا چشم بلبلی، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۴۸/۵ و ۵۵/۱ درصد افزایش، میانگین درآمد خالص علوفه ماش، تحت

شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به- ترتیب ۳/۱ و ۳۹ درصد افزایش و میانگین درآمد خالص تولید علوفه گوار به دلیل بیشتر بودن هزینه‌ها منفی محاسبه شد (شکل ۱). میانگین بازده فروش علوفه لوبیا چشم بلبلی، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۲۳/۸ و ۲۵/۱ درصد افزایش نشان داده است. طبق برآورد، به ازای یک ریال فروش، سود حاصله در تولید علوفه لوبیا چشم بلبلی تحت آبیاری نرمال در مقایسه با تیمارهای تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۲۳/۸ و ۲۵ درصد، در تولید علوفه ماش به ترتیب ۳/۷ درصد کمتر و ۱۷ درصد بیشتر بود. به دلیل زیان حاصله در تولید علوفه تر گوار سود حاصله و بازده فروش منفی محاسبه شد (جدول ۶).

جدول ۵- درآمد ناخالص تولید علوفه تر محصولات مورد آزمایش در تیمارهای مختلف واحد: میلیون ریال در هکتار

Table 5. Gross income of wet fodder of the experiment crops in different treatments unit: million rials/ha

تیمار	درآمد ناخالص تولید علوفه تر لوبیا چشم بلبلی			درآمد ناخالص تولید علوفه تر ماش			درآمد ناخالص تولید علوفه تر گوار		
	۱۳۹۸	۱۳۹۹	میانگین	۱۳۹۸	۱۳۹۹	میانگین	۱۳۹۸	۱۳۹۹	میانگین
آبیاری نرمال	۱۲۵/۳	۲۳۲/۷	۱۷۹	۹۴/۶	۲۳۰/۹	۱۶۲/۸	۴۱/۹	۱۱۳/۶	۷۷/۸
تنش ملایم	۱۰۲/۲	۱۹۶/۲	۱۴۹/۲	۹۱/۱	۲۱۲/۸	۱۵۲	۴۱/۱	۱۰۹/۶	۷۵/۴
تنش شدید	۸۷/۲	۲۰۱/۲	۱۴۴/۲	۸۲/۷	۱۹۱/۷	۱۳۷/۲	۳۷	۷۹/۱	۵۸/۱

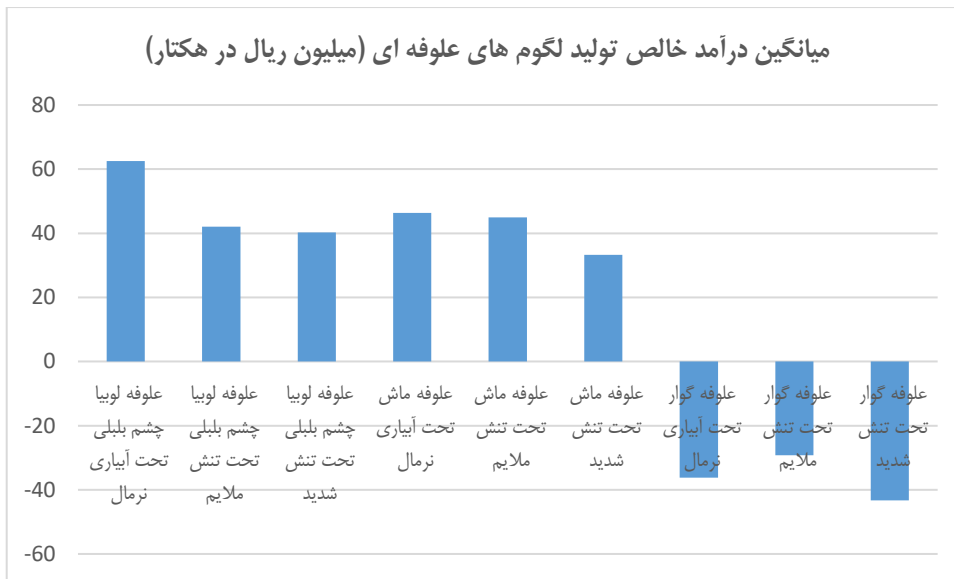
ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۶- میانگین سودآوری تولید علوفه تر محصولات مورد آزمایش در تیمارهای مختلف

Table 6. The average profitability of wet fodder of the experiment crops in different treatments unit: million rials/ha

تیمار	لوبیا چشم بلبلی	ماش	گوار
	بازده فروش (%)	بازده فروش (%)	بازده فروش (%)
آبیاری نرمال	۳۴/۹	۲۸/۴	منفی
تنش ملایم	۲۸/۲	۲۹/۵	منفی
تنش شدید	۲۷/۹	۲۴/۳	منفی

ماخذ: یافته‌های تحقیق

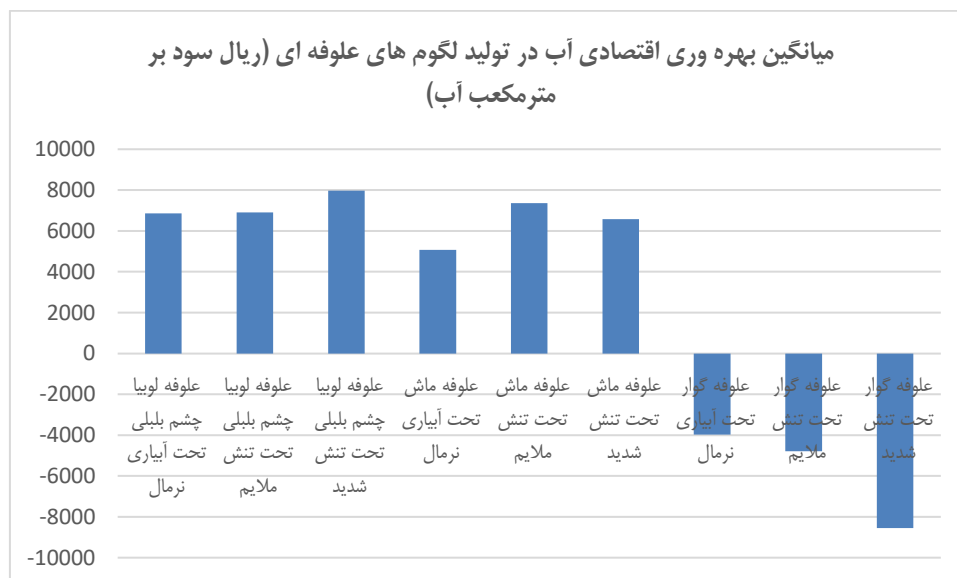


شکل ۱- میانگین درآمد خالص تولید لگوم‌های علوفه‌ای تحت تنش
Figure 1. The average of net income in fodder legumes under stress

ترتیب ۱۶/۵ و ۴۵/۱ درصد افزایش، در تولید علوفه ماش، تحت شرایط تنش شدید نسبت به شرایط تنش ملاييم و آبیاری نرمال به ترتیب ۸/۸ و ۵۱/۸ درصد افزایش نشان و میانگین بهره وری اقتصادی آب در تولید علوفه گوار تحت شرایط تنش ملاييم نسبت به شرایط تنش شدید و آبیاری نرمال به ترتیب ۷/۷ و ۴۴/۸ درصد افزایش نشان داد. (شکل ۲).

بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب:

با توجه به اهمیت و محدودیت آب در منطقه، از نظر بهره‌وری، بهره وری فیزیکی آب یا مصرف یک متر مکعب آب آبیاری در تیمار تولید علوفه لوبیا چشم بلبلی تحت تنش خشکی شدید ۳/۹ کیلوگرم محصول و بهره‌وری اقتصادی آب یا مصرف یک مترمکعب آب ۷۹۶۴/۴ ریال سود به همراه داشته که با کمترین مصرف آب، بیشترین می‌باشد. میانگین بهره وری اقتصادی آب در تولید علوفه لوبیا چشم بلبلی، تحت شرایط تنش شدید نسبت به شرایط تنش ملاييم و آبیاری نرمال به



شکل ۲- میانگین بهره‌وری اقتصادی در تولید لگوم‌های علوفه‌ای تحت تنش‌های مختلف
Figure 2. The average of economic productivity in fodder legumes under different stress

پیشنهادها

با توجه به نتایج، تیمار مناسب در منطقه هدف، تولید علوفه‌تر لوبیا چشم بلبلی تحت آبیاری نرمال بوده و پیشنهاد می‌شود در آزمایشات مشابه برای مناطق دارای چنین شرایطی با در نظر گرفتن تمام جنبه‌ها از جمله نتایج زراعی، سودآوری محصول و بهره‌وری اقتصادی نهاده‌ها بویژه آب صورت پذیرد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: هرمز اسدی، ویدا قطبی؛ روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: هرمز اسدی، ویدا قطبی؛ نظارت و نگارش نهایی: هرمز اسدی، ویدا قطبی، علی مصطفی طهرانی، علی ماهرخ، علی اکبر قنبری.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

طبق نتایج بدست آمده، اختلاف معنی‌داری بین لوبیا چشم بلبلی و ماش از نظر عملکرد علوفه‌تر در دو سطح تنش نرمال و ملایم مشاهده نشد. میانگین هزینه تولید و عملکرد علوفه‌تر لوبیا چشم بلبلی، علوفه ماش و گوار، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید افزایش نشان داد. میانگین درآمد ناخالص علوفه‌تر لوبیا چشم بلبلی، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید افزایش نشان داده است. میانگین درآمد خالص علوفه‌تر لوبیا چشم بلبلی، ماش و گوار تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید افزایش نشان داده است. البته به دلیل بیشتر بودن هزینه‌های تولید از درآمد ناخالص، میانگین درآمد خالص تولید علوفه گوار منفی محاسبه شد. میانگین بازده فروش علوفه‌تر لوبیا چشم بلبلی، تحت شرایط آبیاری نرمال نسبت به شرایط تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۲۳/۸ و ۲۵/۱ درصد افزایش نشان داد. میانگین بهره‌وری اقتصادی آب در تولید علوفه‌تر لوبیا چشم بلبلی، تحت شرایط تنش شدید نسبت به شرایط تنش ملایم و آبیاری نرمال افزایش، میانگین بهره‌وری اقتصادی آب در تولید علوفه‌تر ماش، تحت شرایط تنش شدید نسبت به شرایط تنش ملایم و آبیاری نرمال به ترتیب ۸/۸ و ۵۱/۸ درصد افزایش و میانگین بهره‌وری اقتصادی آب در تولید علوفه‌تر گوار، تحت شرایط تنش ملایم نسبت به شرایط تنش شدید و آبیاری نرمال افزایش نشان داده است. در ارزیابی عملکرد کمی برخی لگوها توسط برخی محققین در کرج در سال‌های آزمایش نتایج نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد علوفه‌تر مربوط به لوبیا چشم بلبلی با ۲۲/۲۹ تن در هکتار و ماش با ۲۰/۳۹ تن در هکتار بود (۹ و ۱۰). نتیجه-گیری کلی چون میانگین درآمد خالص تولید علوفه‌تر لوبیا چشم بلبلی تحت آبیاری نرمال در این آزمایش بیشترین مقدار بوده، بنابراین به عنوان تیمار مناسب انتخاب شد.

study on the potentiality of intercropping of mung bean (*Vigna radiata* Roxb.) with dwarf grain sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) in Egypt. Bull NRC. Egypt. 16 (1):53 .

References

1. Abbasi, F, Abbasi, N. and Tavakoli, A. 2017. Water productivity in agriculture; challenges and perspectives. Water and Sustainable Development. 4(1): 144-141. [In Persian]. DOI: 10.22067/JWSD.V4I1.67121
2. Abdolbagi, N.A, and Mazaheri, M. 2016. Take a look at the general situation of the water sector. Deputy of Infrastructure Research and Production Affairs. Research Center of the Islamic Consultative Assembly of Iran. Number 14846. [In Persian].
3. Asadi, H., Mahmoudi, M and Zare, SH. 2021. Determining profitability and the economic productivity of agricultural water in crop production. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 15(6): 1404-1411. [In Persian]. DOI: 20.1001.1.20087942.1400.15.6.14.4
4. Ashour, N.I., Behairy, G.T., Abd EL-Lateef, E.M. and Selim, M.M. 2021. A preliminary study on the potentiality of intercropping of mung bean (*Vigna radiata* Roxb.) with dwarf grain sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) in Egypt. Bull NRC. Egypt. 16 (1):53 .
5. Azizi, SH. 2015. Alborz province (experimental implementation). Fifth Edition. Office of writing elementary and secondary theoretical textbooks. Educational Research and Planning Organization. Iran's Ministry of Education. 118 pages. [In Persian].
6. Coetzee, J. J. 1995. Cowpea: A Traditional Crop in Africa. Africa Crop Info 95 Leaflet, Vegetable and Ornamental Plant Institute and the Grain Crops Institute, Agricultural Research Council, Pretoria, South Africa.
7. Darabi, F., Sharifipour, M. and Nrollahi, A.H. 2022. Effect of deficit irrigation on yield components and water productivity of Pinto beans using drip tape irrigation in

- Khorramabad climatic. Journal of Irrigation Sciences and Engineering. 44(4):1-14. [In Persian]. DOI: [10.22055/jise.2020.31391.1885](https://doi.org/10.22055/jise.2020.31391.1885).
8. Ebrahimnejad, H., Keramatzadeh, A., Ishragi, F., Rezaei, A. 2021. Investigating the factors affecting the physical and economic productivity of water in orange production in Ghaemshahr city. Journal of Water Research in Agriculture. 35(3): 259-275. [In Persian]. Doi: [10.22092/jwra.2021.354273.862](https://doi.org/10.22092/jwra.2021.354273.862)
 9. Ghotbi, V. 2021. Comparison of water productivity, forage yield and quality of cowpea, mung bean and guar under different irrigation regimes. Final report, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. 48 p. [In Persian].
 10. Ghotbi, V., Mahrokh, A., Mostafa Tehrani, A. and Asadi, H. 2022. Evaluation of forage yield and quality of cowpea, guar and mung bean and under drought stress conditions. Presented at the 1st international online conference on agriculture-advances in agricultural science and technology, 10-25 February. Journal of chemistry proceedings. 10(1,62): 1-6. DOI: [10.3390/IOCAG2022-12288](https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12288)
 11. Heydari, N. 2014. Determining and evaluating water use efficiency of some major crops under the management of farmers in Iran. Journal of Water and Irrigation Management. 1(2):43-57. [In Persian].
 12. Javan, J. and Falsoliman, M. 2008. Water Crisis and Agricultural Water Productivity in Arid Areas: A Case Study of Birjand Plain. Journal of Geography and Development. 11: 115-138. [In Persian]. DOI: [10.22111/GDIJ.2008.1619](https://doi.org/10.22111/GDIJ.2008.1619)
 13. Karimi, M. And Jalini, M. 2017. Investigation of agricultural water productivity in important crops: A case study of Mashhad plain. Journal of Water and Sustainable Development. 4(1): 133-138. [In Persian]. DOI: [10.22067/jwsd.v4i1.52783](https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.52783).
 14. Kapital, S. 2007. Guar meal germ and hul fractions differently effect growth performance and intestinal viscosity of broiler chickens. Poultry Science. 41: 140-146.
 15. Majnoon Hoseini, N. 2008. Culture and production leguminous. Tehran: Tehran University Publication Jahad.
 16. Mortimore, J. M. A., Singh, B. B., Harris, F. and Blade, F. S. 1997. Cowpea in traditional cropping systems. pp. 99-112. In: Singh, B. B., Mohan, Raj, D. R., Dashiell, K. E., and Jackai L. E. N. (eds.) Advances in Cowpea Research. Publishing of IITA-JIRCAS, IITA, Ibadan, Nigeria.
 17. Pouran, R., Raghfar, H. Ghasemi, A.R. and Bazazan, F. 2017. Calculating the economic value of virtual water with the approach of maximizing irrigation water efficiency. Iranian Journal of Applied Economics Studies. 21(6): 189-212. [In Persian]. DOI: [10.22084/AES.2017.1803](https://doi.org/10.22084/AES.2017.1803)
 18. Samadi Firoozabad, B. and Zand, B. 2010. Technical instructions for mung bean farming., Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Research Center and Natural Resources, Ministry of Jihad Agriculture, Tehran Province. 15 pages. [In Persian].
 19. Sadeghipour, O. 2001. Physiological Aspects of Dry Farming. Mashhad Jahad-e Daneshgahi Press. 424p. [In Persian].
 20. Shahram, A. and Daneshi, N. 2005. Appropriate level of irrigation water needed in agriculture, White beans. Proceedings of the 9th Congress of Soil Science, Tehran, Iran. [In Persian].
 21. Singh, B.B, Ajeigbe, H.A, Tarawali, S.A, Fernandez-Rivera, S. and Musa, A. 2003. Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. Field Crops Research. 84: 169-177. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00148-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00148-5)

Research Paper

Valuation of Underground Waters in Agricultural Stakeholders The study of rice farmers of Ramhormoz city, Khuzestan province

Mohsen Moosaei¹ Mehsa Hosseinzadeh² Mehrdad Moradi³

1. Associate Professor of Agricultural Extension and Education, Department of Agricultural Management, Gachsaran Branch, Islamic Azad University, Gachsaran, Iran

2. Master's degree student of Shushtar branch, Islamic Azad University, Shushtar, Iran

3. Assistant Professor of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, yasuj branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

Received: 2023/03/14

Revised: 2023/04/19

Accepted: 2023/05/03

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2024.13868.1828](https://doi.org/10.30495/wej.2024.13868.1828)

Keywords:

Valuation, underground water, rice, Ramhormoz city

Abstract

Introduction: Currently, the agricultural sector is considered to be the major consumer of underground water in this region, among different economic sectors, and due to excessive exploitation of underground water, the annual drop in the level of these waters is significant. Therefore, calculating the economic value of each unit of water and calculating the side effects of over-harvesting water resources is very important. In this study, the determination of the economic value of water, the optimal level of water input use and the effect of changing the groundwater level on the level of social well-being of rice producers in Ramhormoz city are discussed.

Method: For this purpose, the appropriate production function was first estimated, and using it, the economic value of water and the optimal limit of water input use were determined. Then, by forming the function of profit or social welfare, the effect of change in the level of underground water on the amount of social welfare of the producers was determined.

Findings: The results of this research show that the economic value of water in the study area is 649.54 rials per cubic meter. So that the economic value of each unit of water is more than the cost of extracting each unit, and this difference leads to excessive extraction of underground water and the reduction of the level of underground water, and finally the welfare of rice producers. So that if the underground water level decreases by 0.81 meters, the social benefit of the beneficiaries will decrease by 1110257.61 riyals.

Conclusion: This study suggests that in addition to price policies, non-price solutions such as applying restrictions on the amount of water extraction should be used in order to preserve underground water tables

Citation: Moosaei M, Hossainzadeh, M Moradi, M. Valuation of Underground Waters in Agricultural Stakeholders The study of rice farmers of Ramhormoz city, Khuzestan province. Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (61): 39- 51.

*Corresponding author: Mohsen Moosaei

Address: Dept of Agricultural Management, Islamic Azad University, Gachsaran Branch, Gachsaran, Iran

Tell: 09177424662

Email: dr.mousaei@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Water, as one of the most valuable natural resources, is the common treasure of humans, which is demanded by various sectors, and as one of the main inputs of agricultural products, it has a special place in the sustainable development of the agricultural sector and the economic development of other sectors. With the ever-increasing population and the limited water resources for sustaining life on earth, the discussion of management and optimal decision-making in this matter is one of the most important intellectual preoccupations of humans today. The use of water resources in Iran is accompanied by many problems and inadequacies, among which we can mention the inappropriate distribution of rainfall in the country's geographical area. This is in a situation where the agricultural sector consumes 93.2% of the total renewable water. Considering the importance of underground water in agricultural products and especially rice, in this research, the value of underground water in agricultural operations has been discussed.

Materials and Methods

This research was conducted in the geographical area of Ramhormoz county of Khuzestan province. The descriptive survey research method was used. The research is causal research in terms of the purpose of use and in terms of its nature. The number of rice farmers in Ramhormoz city is 100 people. For each of the members of the statistical community, a questionnaire was created by the researcher and completed in an open-ended manner. In order to estimate the functions, determine the price, measure the level of social well-being and carry out the evaluation analysis, the information obtained by the interview survey method and completing the questionnaire made by the researcher was used. The statistical method in this research is correlation analysis through multivariable linear regression for cross-sectional data. which is estimated by OLS least square method.

Findings

The average history of agricultural activities of the studied subjects is 29.76 years, with the highest frequency of people with 37% corresponding to the level of 21 to 30 years and the lowest frequency with 17% corresponding to the level of 10 to 20 years. The average per capita amount of agricultural land of the studied people is 11.61 hectares, which is the highest frequency with 52% corresponding to the level of 1-10 hectares and the lowest frequency with 16% corresponding to the level of 21 to 30 hectares. Using the data collected in the study area, the function of rice production was estimated. R^2 and \bar{R}^2 are 0.9836 and 0.977493, respectively, which shows the high explanatory power of independent variables in dependent variable changes. The F statistic is also equal to 160/24 and the estimation model is completely significant. The Watson camera statistic of the estimation function is also equal to 1.8591, which indicates the absence of autocorrelation in the model. Using this function, he determined the economic value of water and the value of A was 649.540 rials per m^3 .

Discussion

Using the collected information, the value of water consumed by farmers in the region was calculated, and according to these results, the selling price of each cubic meter of water in Ramhormoz city is 649.54 rials. Gradual reform of the water pricing system in the agriculture sector, to inform the farmers of the region about the effects of reducing the level of underground water and the consequences of excessive water harvesting through the Department of Promotion and Jihad Keshavarzi experts, should be taught to the farmers.

According to the findings of this study, the drop in the level of underground water in the studied area has caused a decrease in the level of social welfare by 25.84 rials per cubic meter of water consumption. This reduction is 61.1110257 rials for each hectare of rice cultivation. It can be seen that the annual drop of underground water and their arbitrary and free harvesting will

have a great impact on social welfare. Therefore, it is necessary to promote economic principles and new production techniques by the promoters of agriculture in the region and invest in their implementation. And he encouraged the farmers of the region to use new production techniques to save water consumption.

Conclusion

The most important results of this research are:

- Based on the results obtained from the estimation of the generalized quadratic production function, the price of each cubic meter of underground water in the agricultural sector was estimated at 649.54 rials. This value shows a significant difference in comparison with the average cost of extracting each cubic meter of underground water (86.169 riyals), which causes excessive with drawal of underground water on average. Using the collected information, the value of water consumed by farmers in the region was calculated, and according to these results, the selling price of each cubic meter of water in Ramhormoz city is 649.54 rials on average.
- Excessive extractions of underground water has caused a decrease in the water level in the study area by about 0.81 meters, according to the findings of this study, the decrease in the level of underground water in the study area has caused a decrease in the level of social welfare as much as 25.84 riyals per cubic meter of water consumption. This reduction is 61.1110257 rials for each hectare of rice cultivation. As a result, the annual drop in the level of underground water and their arbitrary and free extraction will have a great impact on social well-being.
- Considering the climatic conditions of the country and the need to control the amount of withdrawal from underground water tables and also the effect of this part

of water on the profit and social welfare of farmers, it is necessary to promote and implement new economic principles and production techniques by the promoters of agriculture in the region. They should be invested. And he encouraged the farmers of the region to use new production techniques to save water consumption.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Mohsen Moosaei, Mehrdad Moradi.

Methodology and data analysis: Mohsen Moosaei, Mehrdad Moradi, Mahsa Hossainzadeh.

Supervision and final writing: Mohsen Moosaei

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارزش گذاری آب های زیرزمینی در بهره برداری های کشاورزی
مورد مطالعه برنجکاران شهرستان رامهرمز در استان خوزستانمحسن موسایی^{۱*}، مهسا حسین زاده^۲، مهرداد مرادی^۳

دانشیار ترویج و آموزش کشاورزی، گروه مدیریت کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گچساران، ایران

دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، شوشتر، ایران

استادیار اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، ایران

چکیده

مقدمه: در حال حاضر بخش کشاورزی عمده ترین مصرف کننده آب زیرزمینی در این منطقه، در بین بخش های مختلف اقتصادی محسوب می گردد، که به دلیل بهره برداری بیش از حد از آب های زیرزمینی میزان افت سالانه سطح این آب ها قابل توجه است. بنابراین، محاسبه ارزش اقتصادی هر واحد آب و محاسبه اثر های جانبی برداشت بیش از حد از منابع آب اهمیت بالایی دارد. در این مطالعه، به تعیین ارزش اقتصادی آب، حد بهینه استفاده از نهاده آب و اثر تغییر سطح آب های زیرزمینی بر سطح رفاه اجتماعی تولیدکنندگان برنج شهرستان رامهرمز پرداخته می شود.

روش: به این منظور ابتدا تابع تولید مناسب تخمین زده شد و با استفاده از آن ارزش اقتصادی آب و حد بهینه استفاده از نهاده آب تعیین گردید. آن گاه با تشکیل تابع سود یا رفاه اجتماعی، اثر تغییر در سطح آب های زیرزمینی بر مقدار رفاه اجتماعی تولیدکنندگان تعیین شد.

یافته ها: نتایج این تحقیق نشان می دهد که ارزش اقتصادی آب در منطقه مورد مطالعه به ازای هر مترمکعب ۶۴۹/۵۴ ریال است. به طوری که ارزش اقتصادی هر واحد آب بیش از هزینه استخراج هر واحد آن است که این اختلاف منجر به برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی و کاهش سطح آب های زیرزمینی و در نهایت کاهش رفاه تولیدکنندگان برنج می گردد. به طوری که اگر سطح آب های زیرزمینی ۰/۸۱ متر کاهش یابد، از سود اجتماعی بهره برداران ۱۱۱۰۲۵۷/۶۱ ریال کاسته می شود.

نتیجه گیری: این مطالعه پیشنهاد می کند که علاوه بر سیاست های قیمتی، از راه حل های غیر قیمتی مانند اعمال محدودیت هایی بر میزان استخراج آب، در جهت حفظ سفره های آب زیرزمینی استفاده گردد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

تاریخ داوری: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2024.13868.1828](https://doi.org/10.30495/wej.2024.13868.1828)

واژه های کلیدی:

ارزش گذاری، آب های زیرزمینی، برنج، شهرستان رامهرمز

* نویسنده مسئول: محسن موسایی

نشانی: گروه مدیریت کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گچساران، گچساران، ایران.

تلفن: ۰۹۱۷۷۴۲۴۶۶۲

پست الکترونیکی: dr.mousaei@gmail.com

مقدمه

مهم ترین نقش قیمت آب را می توان توزیع متناسب آب بین متقاضیان و مصارف مختلف ذکر کرد. لذا تعیین قیمت آب باعث می شود که آب بین متقاضیان متناسب با فایده یا ارزش تولید نهایی توزیع گردد. نقش دیگر قیمت آب، ایجاد انگیزه برای صرفه جویی در مصرف آب و جلوگیری از اسراف یا اتلاف آن است، چرا که ارزان و رایگان بودن آب باعث زیاده روی در مصرف آب می شود (۵).

با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، برقراری توازن بین عرضه و تقاضای آب حائز اهمیت ویژه در مدیریت منابع آب است.

با توجه به کمبود منابع آبی، لزوم استفاده بهینه از این منابع و پایین بودن تعرفه های آب بهای کشاورزی، تحقیق در زمینه ارزش گذاری آب های زیرزمینی از جنبه های مختلف، بسیار مفید و توجیه پذیر است. در مطالعه حاضر، هدف کلی تحقیق ارزش گذاری ارزش گذاری آب های زیرزمینی در بهره برداری های کشاورزی مطالعه موردی برنجکاران شهرستان رامهرمز می باشد. و اهداف اختصاصی عبارتند از: تعیین تأثیر افت آب های زیرزمینی بر رفاه اجتماعی برنجکاران منطقه، محاسبه ارزش واقعی (قیمت واقعی) آب در تولید برنج، محاسبه کسش تقاضای نهاده آب در فرآیند تولید برنج. انتخاب شهرستان رامهرمز به عنوان منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، به دلیل افت سالانه سطح آب زیرزمینی در این منطقه به دلیل بهره برداری بهره برداری بسیاری زیاد از این منبع ارزشمند به بیش از ۰/۸۱ متر رسیده است، که این مسئله علاوه بر افزایش هزینه استخراج آب باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل نشست زمین و ایجاد ترک در زمین شده است (۵).

نتیجه تحقیق سلطانی و زیبایی (۶) نشان می دهد که اولاً متغیر قیمت آب در تمام فصل ها بر تقاضای آب مؤثر بوده است. ثانیاً متغیر مستقل آب ۹۲ درصد تغییرات متغیر وابسته آب را توجیه کرده است، ثالثاً کسش قیمتی محاسبه شده نشان داد که با افزایش یک درصد قیمت آب کشاورزی مقدار تقاضا برای آب در کل دوره ۰/۷ درصد کاهش می یابد.

زارع مهرجردی و همکاران (۷) در مطالعه ای به بررسی ارزش گذاری آب های زیرزمینی با رویکرد کیفیت در انار کاران شهرستان میند پرداختند. نتایج حاصل از تحلیل داده ها و یافته های پژوهش نشان داد که ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب در تولید انار بیشتر از متوسط ارزش مبادله ی آب در منطقه می باشد. بنابراین اصلاح تدریجی قیمت آب یا آب بهاء دریافتی از تولیدکنندگان منطقه در طول زمان به تخصیص بهتر این نهاده بین محصولات مختلف و استفاده اقتصادی تر از آن کمک نموده و موجب بهبود بهره وری آب در تولید محصولات کشاورزی می گردد علاوه بر این در مطالعه نشان داده شد که با افزایش املاح موجود در آب هدایت الکتریکی افزایش یافته و میزان تولید را به طور چشمگیری تحت تأثیر قرار می دهد که در نتیجه ارزش اقتصادی هر واحد آب به شدت کاهش می یابد، تجربه نشان داده است که برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی یکی از دلایل عمده افزایش املاح آب است.

کریستف (۸) در مطالعه خود در فرانسه با استفاده از روش کاب داگلاس تابع تقاضا برای آب کشاورزی را به دست آورد و به این نتیجه رسید

آب، به عنوان یکی از ارزشمندترین منابع طبیعی، گنجینه مشترک انسان هاست که مورد تقاضای بخش های مختلف قرار می گیرد و به عنوان یکی از نهاده های اصلی محصولات کشاورزی جایگاه خاصی در توسعه پایدار بخش کشاورزی و توسعه اقتصادی سایر بخش ها دارد (۴). با افزایش روزافزون جمعیت و محدود بودن منابع آبی برای ادامه حیات بر روی کره زمین بحث مدیریت و تصمیم گیری بهینه در این مورد یکی از مهم ترین مشغله های فکری انسان امروز است. بدون شک تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری گیاهان زراعی محور عمده بسیاری از چالش های پیش روی بشر است. چرا که یکی از عمده ترین مصرف کنندگان منابع آبی در سطح جهان بخش کشاورزی می باشد. در این زمینه لزوم شناخت و بهره برداری بهینه از منابع آبی به ویژه آب های زیرزمینی از آن جا ناشی می گردد، که این منابع ۹۹ درصد از کل آب های شیرین قابل استفاده را تشکیل می دهند (۱).

کشور ایران با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلیمتر در سال با مسأله کم آبی و توزیع غیر یک نواخت در زمینه منابع آبی روبه رو است مصرف آب در بخش کشاورزی بیش از ۹۰ درصد از مصارف آبی کشور را در بر می گیرد از این رو ارزش گذاری اقتصادی آب در مصارف کشاورزی، یکی از مهمترین اولویتهای در زمینه مدیریت منابع آب می باشد.

بهره برداری از منابع آبی در ایران توأم با مسائل و نارسائی های متعددی می باشد، که از جمله آن می توان به پراکنش نامناسب بارندگی در پهنه جغرافیای کشور اشاره کرد. این در شرایطی است که بخش کشاورزی ۹۳/۲ درصد از کل آب تجدیدپذیر را مصرف می نماید (۲).

علیرغم محدودیت منابع آب و توزیع مکانی نامناسب آن در پهنه جغرافیایی کشور، متأسفانه بهره وری و کارایی استفاده از این منابع نیز بسیار پایین است. علاوه بر این، با توجه به رتبه اول مصرف آب توسط بخش کشاورزی و هم چنین محروم بودن دو سوم وسعت کشور از ریزش های جوی، اهمیت تخصیص بهینه آب به محصولات گوناگون در زمان ها و مکان های مختلف بیش از پیش آشکار می گردد (۳).

در شرایطی که جوامع با بحران افزایش جمعیت روبرو بوده و منابع آب نیز برای تأمین نیاز های غذایی این جمعیت رو به رشد با نرخ فزاینده، کافی نیست، راهکار های مختلفی در راستای استفاده بهینه از این منبع ارزشمند پیشنهاد می شود که دو روش آن به شرح زیر هستند:

الف- افزایش میزان منابع در دسترس

ب- افزایش بهره وری استفاده منابع آبی

به دلیل محدود بودن منابع آبی، روش اول چندان قابل قبول نیست، اما روش دوم از لحاظ منطقی صحیح تر به نظر می رسد و این احتمال وجود دارد که با بکارگیری شیوه های مختلف، بتوان بهره وری استفاده منابع را بالا برد و با استفاده از منابع موجود حداکثر منفعت را حاصل کرد، یعنی در واقع با تغییر در مدیریت منابع آب و حرکت از مدیریت بر مبنای عرضه-تقاضا به مدیریت بر مبنای تقاضا و اصلاح نظام قیمت گذاری مبتنی بر ارزش اقتصادی آب، که یکی از کارآمدترین ابزار های مدیریت تقاضا است، می توان بر مشکلات و چالش های موجود فائق آمده و از اتلاف این منبع ارزشمند به خصوص در بخش کشاورزی به عنوان عمده ترین مصرف کننده آب های شیرین جلوگیری کرد (۴).

مکانیزه در این شهرستان مشهود نیست. نوع کشت بیش تر آبی بوده و کشت دیم فقط به گندم و جو اختصاص یافته است. منابع آب کشاورزی، رودخانه و چشمه و در بعضی مناطق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق هستند. از عمده تولیدات کشاورزی این شهرستان می توان برنج، گندم، جو، یونجه، خرما و تره بار را نام برد. با توجه به اهمیت آب های زیر زمینی در تولیدات کشاورزی و بخصوص برنج در این تحقیق به ارزش گذاری آبهای زیر مینی در بهره برداری های کشاورزی پرداخته شده است.

پژوهش حاضر از نظر روش تحقیق، پیمایشی و از نظر هدف از نوع کاربردی و علی است. برای رسیدن به اهداف بیان شده قسمت اول از روش تابع تولید استفاده می گردد. یک فرض ضمنی در ابتدای مطالعه در نظر گرفته شده که در واقع شرایط مطالعه می باشد و عبارت است از این که بهره برداران در منطقه ی مورد مطالعه برای آبیاری فقط به آب های زیرزمینی وابستگی دارد، لذا بر طبق مطالعه ی گایارتی و باربیر (۲۰) که شرایط مشابهی با این مطالعه دارد هزینه ی پمپاژ آب به عنوان یک تابع افزایشی از سطح آب های زیرزمینی (R) در نظر گرفته شده است. بر طبق مطالعه یاد شده اگر تولید (که در این مطالعه تولید برنج می باشد) تابعی از نهاده های فیزیکی بکار گرفته شده در تولید آن باشد، تولید (Y) با یک نهاده آب (W)، استخراج شده از چاه و مقدار $J=1, \dots, j$ از نهاده های متغیر دیگر همچون کود و سم و نیروی کار ... نیاز دارد، که آن ها را به عنوان X_1, \dots, X_j یا برداری به عنوان X در نظر می گیریم. بنابراین تابع تولید این محصول بصورت زیر خواهد بود:

$$y = y(X_1, \dots, X_j, W(R)) \quad (1)$$

که $W(R)$ نشان می دهد آب استخراج شده از چاه تابعی از سطح آب های زیرزمینی است. هزینه های مرتبط با تولید y به صورت زیر می شوند:

$$C = C_x X_j + C_w(R). \quad W(R) \quad (2)$$

که $C_w(R)$ نشان می دهد که هزینه های پمپاژ آب یا قیمت آب تابعی از سطح آب های زیرزمینی یا عمق چاه است.

علاوه بر این C حداقل هزینه های مرتبط با تولید y در طول یک فصل رشد می باشد. C_w هزینه ی پمپاژ آب و C_x یک بردار اکیداً مثبت C_{x1}, \dots, C_{xj} می باشد که X_1, \dots, X_j نمایانگر قیمت های نهاده های متغیر می باشند. اگر قیمت نهاده های دیگر را ثابت در نظر بگیریم منحنی تقاضای معکوس برای تولید محصول به صورت زیر وجود دارد:

$$P = P(y) \quad (3)$$

که P قیمت بازاری y است. اگر S به عنوان افزایش رفاه اجتماعی از تولید y در نظر گرفته شود، آنگاه S به عنوان ناحیه ی زیر منحنی تقاضای کمتر از هزینه ی نهاده های مورد استفاده در تولید، تعریف می شود و به صورت زیر قابل اندازه گیری است:

$$S = S(X_1, \dots, X_j, W(R)); \quad C_w(R) = \int_0^{y_1} P(U) dx - C_x X_j - C_w(R) \quad (4)$$

در واقع تابع (۴) مازاد تولید کنندگان را که به عنوان شاخصی از سود یا رفاه اجتماعی است را اندازه گیری می کنند. اگر شرط اول حد اکثرسازی (F.O.C) را مساوی صفر قرار دهیم با استناد

که در فاصله قیمتی ۲/۵ تا ۲/۴ فرانک برای هر مترمکعب آب تابع تقاضا کشتش پذیر است و در سایر قیمت ها کشتش ناپذیر است.

احمدیان و انتظاری (۹) در مطالعه خود با عنوان ارزش گذاری آبهای زیرزمینی در بهره برداریهای کشاورزی گندم کاران شهرستان مورد مطالعه نهاده آب کشتش پذیر است و کالایی لوکس محسوب میشود همچنین به ازای هر یک درصد افزایش قیمت آب و درآمد کشاورزان مقدار تقاضای آب به ترتیب ۱۵/۳۳ درصد کاهش و ۴۵/۳۳ درصد افزایش می یابد.

بیرل و کوندوری (۱۰) نیز مطالعه ای جهت ارزیابی مدیریت آب انجام داده اند. آن ها در این مطالعه بیان می کنند که ارزیابی اقتصادی ارزش آب و نقش مدیریت جهت اتخاذ سیاست های زیست محیطی مانند آلودگی و غیره بسیار ضروری است .

ژان پور و کری (۱۱) در مطالعه ای به بررسی منابع آلودگی حوزه آبخیز محلی خود پرداخته اند در این تحقیق از یک مدل هدائیک جهت تعیین ارزش اقتصادی آب استفاده شده است ، نتایج اقتصاد سنجی این تحقیق نشان می دهد که ارزش نهایی آب به ازای هر میلی گرم ذرات معلق غیر قابل حل در یک لیتر به شدت کاهش می یابد.

مورن و دن (۱۲) بیان کرده اند که وضعیت خوب اکولوژیکی برای آب های اروپا و استفاده عقلایی آب در جامعه اروپا باعث شده است که آن ها به دنبال حداکثر کردن ارزش اجتماعی آب به عنوان یک کالای اقتصادی باشند نتیجه مطالعه، حاکی از آن است که ارزش های متفاوتی برای آب در نواحی مختلف اتحادیه اروپا وجود دارد .

فونتس و همکاران (۱۳) بیان می کنند که نهاده های زمین مناسب، آب و تکنیک های کشاورزی به عنوان عوامل مهم و مؤثر بر تولید و بهره وری اثر گذارند.

برداشت بیش از حد از آبهای زیر زمینی باعث افت سطح این آبها در حدود یک متر در سال می شود که این مسئله رفاه کشاورزان را در سالهای آینده به صورت تصاعدی کاهش می دهد. همچنین محاسبه کشتش تقاضا برای آب نشان می دهد که مصرف نهاده آب نسبت به هزینه استخراج آن کشتش پذیر است و ده درصد تغییر در هزینه استخراج آب میزان تقاضای این نهاده را بیش از ده درصد تغییر می دهد (۱۴)

همواره در مطالعات مختلف، تلاش گردیده تا ارزش اقتصادی آب با استفاده از روش های اقتصادی برآورد گردد. یکی از ارزش اقتصادی آب، مورد استفاده قرار گرفته، روش تابع تولید است این روش در مطالعات متعددی مانند (۱۵) (۱۶) (۱۷) (۱۸) (۱۹) (۲۰) (۲۱) برای تعیین ارزش اقتصادی آب بکار گرفته شده است.

مواد و روش ها

شهرستان رامهرمز با ۴۲۵۷ کیلومتر مربع مساحت در خاور استان خوزستان واقع شده که از شمال به شهرستان ایذه و مسجد سلیمان، از خاور به استان کهگیلویه و بویر احمد، از باختر به شهرستان اهواز و از جنوب به شهرستان بندر ماهشهر محدود است. اقتصاد رامهرمز براساس زراعت، دامداری، باغداری و کارگری بنا نهاده شده است. کشاورزی در این شهرستان به صورت سنتی انجام می گیرد و کشاورزی مدرن و

$$s/\delta w=0$$

$$P_y (\beta_1+2\beta_3.W+\beta_9.D_1)=C_{ww} \quad (9)$$

$$W^*=[(\beta_1+\beta_9.D_1)P_y-C_{ww}]/(-2\beta_3P_y)$$

$$\delta W/\delta C_{ww}=1/(-2\beta_3P_y)$$

با در نظر گرفتن این دو فرض که اولاً تولید همه کشاورزان روی یک تابع تولید یکسان قرار می گیرد و ثانیاً همه کشاورزان گیرنده قیمت هستند، اگر K کشاورز به میزان y_{ik} از محصول I را با استفاده W_{ik} نهاده آب تولید کنند و اگر سطح آب زیرزمینی از R_0 (سطح اولیه آب) به R_1 (سطح ثانویه آب) کاهش یابد، آن گاه تغییر بر رفاه اجتماعی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\Delta S_i = \sum_{k=1}^k \frac{\Delta S_i}{\Delta R} \Delta R = \sum_{k=1}^k \int_{R_0}^{R_1} \left[(P_i(y_i) \frac{\delta y_{ik}}{\delta W_{ik}} - C_{w_{ik}}) \times \left(\frac{\delta W_{ik} \delta C_{w_{ik}}}{\delta C_{w_{ik}} \delta R} + \frac{\delta W_{ik}}{\delta R} \right) - W_{ik}^* \left(\frac{\delta C_{w_{ik}}}{\delta R} \right) \right] dR \quad (10)$$

برای استفاده از تابع فوق باید تابع تولید محصول و تابع هزینه استخراج آب از منابع زیرزمینی را محاسبه کنیم. انتظار است که باتوجه به شرایط منطقه و مطالعه، افزایش در سطح آب های زیرزمینی در یک منطقه یعنی کاهش عمق چاه ها به افزایش رفاه اجتماعی منتهی شود و یا حداقل رفاه را در سطح اولیه حفظ کند.

در حالی که یک کاهش در سطح آب های زیرزمینی می تواند باعث کاهش رفاه یا مزاد تولیدکنندگان شود که هم ناشی از افزایش هزینه های پمپاژ و هم بدلیل تغییرات در بهره وری است. جامعه آماری مورد نظر در این مطالعه برنجکاران شهرستان رامهرمز می باشد، که برای آبیاری مزارع خود از چاه های عمیق و نیمه عمیق استفاده می کنند. تعداد برنجکاران مورد نظر در شهرستان رامهرمز ۱۰۰ نفر می باشند. که برای هر یک از افراد جامعه آماری مورد نظر پرسشنامه محقق ساخته و از نوع باز تکمیل گردید. برای برآورد توابع، تعیین قیمت، اندازه گیری سطح رفاه اجتماعی و انجام تحلیل ارزیابی از اطلاعاتی که به روش پیمایشی مصاحبه و تکمیل پرسشنامه محقق ساخته توسط برنجکاران به دست آمده استفاده گردید. روش آماری در این تحقیق، تحلیل همبستگی از طریق رگرسیون تک معادله ای خطی چند متغیره برای داده های مقطعی است. که از روش حداقل مربعات OLS تخمین زده می شود.

یافته های تحقیق

یافته های تحقیق نشان می دهد که میانگین سنی افراد مورد مطالعه ۴۹/۲۳ سال است. ۳۴ درصد افراد مورد مطالعه در رده ی سنی ۵۰-۴۱ سال قرار دارند، ۲۵ درصد افراد مورد مطالعه دارای سواد ابتدایی و ۴۳ درصد دارای سطح تحصیلات بالاتر از دیپلم بوده اند. ویژگی های شخصی افراد مورد مطالعه در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱- توزیع فراوانی برنجکاران بر حسب ویژگی های شخصی

گروه	فراوانی	درصد فراوانی	درصد فراوانی تجمعی	صفت
۳۰ تا ۴۰ سال	۱۶	۱۶	۱۶	سن
۴۱ تا ۵۰ سال	۳۴	۳۴	۵۰	
۵۱ تا ۶۰ سال	۲۹	۲۹	۷۹	

به لم هتلینگ توابع تقاضای نهاده ها و مقادیر بهینه آن ها را به دست می آید:

$$[\delta S / \delta X_i] = P(y) [\delta y / \delta X_i] - C_{xj} = 0 \quad (5)$$

$$[\delta S / \delta W] = P(y) [\delta y / \delta W] - C_w(R) = 0 \quad (6)$$

که در واقع این مقادیری هستند که به ازای آن ها رفاه اجتماعی حداکثر می شود و روابط (۵) و (۶) شرایط استاندارد بهینهگی هستند و نشان می دهند که سطح کارایی اجتماعی در استفاده از نهاده ها، جایی اتفاق می افتد که مقدار ارزش تولید نهایی (VMP) هر نهاده مساوی با قیمت آن ها باشد. به عبارت دیگر اگر کشاورز یک گیرنده قیمت باشد این حالت برقرار است و در شرایط مطالعه ی ما این فرض صادق است، یعنی کشاورزان در تعیین قیمت نقشی ندارند. باتوجه به تابع تولید برآورد شده می توان نسبت به تعیین ارزش اقتصادی آب اقدام کرد که در واقع همان ارزش تولید نهایی نهاده آب می باشد.

$$VMP_w = P_y.MP_w = P_y. [\delta y / \delta W] \quad (7)$$

از طریق تشکیل VMP_x / P_x می توان در مورد مصرف در حد بهینه، بیش از حد و کمتر از حد بهینه ی نهاده ها نظر داد که به ترتیب معرف حالت هایی هستند که ارزش بهره وری نهایی نهاده تقسیم بر قیمت آن نهاده VMP_x / P_x مساوی یک، کمتر از یک و بیشتر از یک باشد. بافرض این که تمام نهاده های دیگر در سطوح بهینه شان ثابت نگه داشته شده و تمام قیمت های نهاده ها و ستانده بجز C_w بدون تغییر مانده اند و با پیروی از تئوری پوش (envelop)، اثر یک تغییر در سطوح آب های زیرزمینی بر روی سود اجتماعی به صورت زیر تعریف می شود:

$$ds_i / dr = (P_i (V_i^*) \cdot (\delta y_i / \delta W_i) - C_w) [(\delta w_i / \delta C_w) \cdot (\delta C_w / \delta R) + (\delta w_i / \delta R)] - W_i^* [\delta C_w / \delta R] \quad (8)$$

طبق فرمول ذکر شده که براساس مطالعه گایارتی و باربیر (۲۰۰۰) می باشد، خالص تغییرات رفاه عبارت است از اثر تغییر در سطح سفره ی آب، آب زیرزمینی روی مقدار تولید نهایی آب در تولید، منهای هزینه ی واحد به ازای تغییر در نهاده ی آب. تغییرات نهایی در هزینه های پمپاژ همچنین هزینه های کل پمپاژ آب را تحت تأثیر قرار می دهد $[\delta C_w / \delta R] W_i^*$ ولی اگر هزینه ی واحد پمپاژ آب برای تکنولوژی داده شده ثابت بماند می توان از این عبارت صرف نظر کرد. بنابراین اثر یک تغییر در نهاده ی آب بواسطه ی تغییر در سطح آب های زیرزمینی به هر دو صورت مستقیم $(\delta w_i / \delta R)$ و غیرمستقیم $(\delta w_i / \delta C_w) \cdot (\delta C_w / \delta R)$ از طریق اثرات نهایی تغییر در هزینه پمپاژ روی نهاده ی آب وارد محاسبات می شود. در این رابطه بایست $(\delta w_i / \delta C_w)$ و $(\delta C_w / \delta R)$ معلوم گردد. برای تعیین $(\delta w_i / \delta C_w)$ از تابع تولید برآزش شده استفاده می گردد.

۱۰۰	۲۱	۲۱	۶۱ سال و بیشتر
-	۱۰۰	۱۰۰	جمع
Mean: ۴۹/۲۳	Sd: ۱۰/۱۹	Min: ۳۰	Max: ۷۳
۱۸	۱۸	۱۸	بی سواد
۳۸	۲۰	۲۰	خواندن و نوشتن
۶۳	۲۵	۲۵	ابتدایی
۸۴	۲۱	۲۱	راهنمایی
۹۶	۱۲	۱۲	دیپلم
۱۰۰	۴	۴	بالتر از دیپلم
-	۱۰۰	۱۰۰	جمع

که بیشترین فراوانی با ۵۲ درصد مربوط به سطح ۱-۱۰ هکتار و کمترین فراوانی نیز با ۱۶ درصد مربوط به سطح ۲۱ تا ۳۰ هکتار می باشد. ویژگی های زراعی افراد مورد مطالعه در جدول شماره ۲ آورده شده است

میانگین سابقه ی فعالیت های کشاورزی افراد مورد مطالعه ۲۹/۷۶ سال می باشد، که بیشترین فراوانی افراد با ۳۷ درصد مربوط به سطح ۲۱ تا ۳۰ سال و کمترین فراوانی نیز با ۱۷ درصد مربوط به سطح ۱۰ تا ۲۰ سال می باشند. متوسط سرانه میزان اراضی کشاورزی افراد مورد مطالعه ۱۱/۶۱ هکتار می باشد،

جدول ۲- توزیع فراوانی برنجکاران بر حسب ویژگی های زراعی

گروه	صفت	فراوانی	درصد فراوانی	درصد تجمع فراوانی
۱۰ تا ۲۰ سال	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷
سابقه فعالیت کشاورزی	۲۱ تا ۳۰ سال	۳۷	۳۷	۵۴
۳۱ تا ۴۰ سال	۲۲	۲۲	۲۲	۷۶
۴۰ سال و بیشتر	۲۴	۲۴	۲۴	۱۰۰
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-
Max: ۵۵	Min: ۱۰	Sd: ۱۰/۱۴	Mean: ۲۹/۷۶	
میزان کل اراضی	۱۰ تا ۱۰ هکتار	۵۲	۵۲	۵۲
۱۱ تا ۲۰ هکتار	۳۲	۳۲	۳۲	۸۴
۲۱ تا ۳۰ هکتار	۱۶	۱۶	۱۶	۱۰۰
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-
Max: ۳۰	Min: ۱	Sd: ۷/۵۷	Mean: ۱۱/۶۱	

(مترمکعب در هکتار)، F_o مقدار مصرف کود اوره در هکتار (کیلوگرم در هکتار)، F_p مقدار مصرف کود فسفات در هکتار (صدکیلوگرم در هکتار)، S مقدار مصرف بذر در هکتار (کیلوگرم در هکتار)، P میزان سم مورد

استفاده در هکتار (کیلوگرم در هکتار)، M میزان ماشین آلات در هکتار (ساعت در هکتار)، K تعداد نیروی کار به کار گرفته شده در هکتار (روز- نفر). متغیر P میزان سم مورد استفاده در هکتار به دلیل عدم استفاده کشاورزان مورد مطالعه از سم در تخمین تابع تولید حذف شده است. با استفاده از داده های جمع آوری شده در منطقه مورد مطالعه، تابع تولید برنج تخمین زده شده که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. R^2 و \bar{R}^2 به ترتیب ۰/۹۸۳۶ و ۰/۹۷۴۹۳ است که قدرت بالای توضیح دهنده متغیرهای مستقل را در تغییرات متغیر وابسته نشان می دهد. آماره F نیز برابر ۱۶۰/۲۴ و مدل برآوردی کاملاً معنی

برای استفاده از روش تحقیق یاد شده ابتدا باید تابع تولید محصول برنج برآورد شود. جهت برآورد مدل، انواع توابع تولید (کاب داگلاس، متعالی، لئونتیف تعمیم یافته، ترانسلوگ، درجه دوم، درجه دوم تعمیم یافته) با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی برآورد گردید. از این میان تابع تولید درجه دوم تعمیم یافته از نظر آماری و آزمون F بهترین فرم جهت رسیدن به اهداف این بررسی شناخته شد. این تابع به صورت زیر تعریف می شود:

$$Q = a + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_{ii} (x_i)^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} (x_i x_j) \quad (11)$$

در تابع بالا اگر X بتواند نهاده های مختلفی نظیر W, F_o, F_p, S, P, M, K باشد، آن گاه متغیرهای مستقل و وابسته در مدل عبارتند از: Q عملکرد تولید برنج (تن در هکتار)، W مقدار مصرف آب در هکتار

داراست. آماره دوربین واتسن تابع برآوردی نیز برابر $1/8591$ که حاکی از عدم وجود خودهمبستگی در مدل می باشد. با استفاده از این تابع به

تعیین ارزش اقتصادی آب پرداخته و مقدار $649/540$ ریال به ازای هر مترمکعب بدست آمد.

جدول ۳- نتایج برآورد تابع تولید درجه دوم تعمیم یافته برای تولید برنج.

سطح معنی داری	ضرایب تابع تولید	پارامتر	متغیر
0/0105	-11/9046	a0	عرض از مبدا
0/0040	-0/2233	aw	آب (هزار مترمکعب)
0/0003	0/5209	as	بذر (کیلوگرم)
0/0000	-5/29503	aFo	کود اوره (صد کیلوگرم)
0/0000	20/8270	aFp	کودفسفات (صد کیلوگرم)
0/0001	0/74619	aM	کار ماشینی (ساعت)
0/0777	-0/1359	aK	نیروی کار (روز-نفر)
0/0000	-0/0086	bww	توان دوم آب (هزار مترمکعب)
0/0005	-0/0083	bss	توان دوم بذر (کیلوگرم)
0/0000	-0/9724	bFoFo	توان دوم کود اوره (صد کیلوگرم)
0/0545	-0/48512	bFpFp	توان دوم کودفسفات (صد کیلوگرم)
0/0000	-0/0947	bMM	توان دوم کار ماشینی (ساعت)
0/0372	-0/0027	bKK	توان دوم نیروی کار (روز-نفر)
0/0001	0/0046	dws	اثر متقابل آب و بذر
0/0000	0/1079	dWfo	اثر متقابل آب و کود اوره
0/0000	-0/1564	dWFp	اثر متقابل آب و کودفسفات
0/0612	0/0051	dWM	اثر متقابل آب و کار ماشینی
0/0000	0/0046	dWk	اثر متقابل آب و نیروی کار
0/0000	0/0607	dSFo	اثر متقابل بذر و کود اوره
0/0000	-0/2253	dSFp	اثر متقابل بذر و کودفسفات
0/0000	-0/0129	dSM	اثر متقابل بذر و کار ماشینی
0/4407	-0/0008	dSK	اثر متقابل بذر و نیروی کار
0/2142	-0/1592	dFoFP	اثر متقابل کود اوره و کودفسفات
0/0000	0/2027	dFoM	اثر متقابل کود اوره و کار ماشینی
0/0000	-0/064	dFoK	اثر متقابل کود اوره و نیروی کار
0/0000	-0/2278	dFpM	اثر متقابل کودفسفات و کار ماشینی
0/0004	0/0555	dFpK	اثر متقابل کودفسفات و نیروی کار
0/0000	0/0167	dKM	اثر متقابل نیروی کار و کار ماشینی

$$R^2 = 9836$$

$$DW = 1/859$$

ابتدا یک چاه نمونه انتخاب گردید و اطلاعات این چاه و اطلاعات این چاه نمونه شامل عمق چاه، دبی و قطر لوله چاه از میانگین گیری این پارامترها برای کل چاه ها بدست آمد و سپس برای این چاه نمونه که دارای عمق 70 متر و متوسط دبی 22/5 لیتر بر ثانیه و قطر لوله 12 اینچ می باشد قیمت های ادوات و هزینه های سالانه تعیین شده و از آن ها برای تعیین هزینه پمپاژ هر مترمکعب آب استفاده گردید. جدول 4 سرمایه ی انباشته شده در یک چاه بهره برداری که خصوصیتی مشابه چاه بهره برداری نمونه ای مشخص شده رانشان می دهد. با در

به منظور محاسبه تابع هزینه استخراج آب، ابتدا استهلاك هزینه های ثابت با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد، که در رابطه I نرخ بهره، ارزش کنونی اقساط سالانه، n عمر مفید (سال)، P مقدار سرمایه گذاری اولیه است. که میانگین نرخ بهره سالانه، با توجه به نرخ بهره بانکی، معادل 15 درصد در نظر گرفته شد.

$$A = P \left[\frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \right] \quad (12)$$

هزینه ی سالانه مربوط به ادوات و وسایل پمپاژ آب و هزینه ی سالانه حفر چاه و خدمات و تعمیرات و ... بر میزان کل آبکشی تقسیم می شود.

قیمت نهاده/ارزش بهره وری نهایی	P/W VMP _W	۷/۵
-----------------------------------	-------------------------	-----

در پژوهش حاضر از تابع رفاه اجتماعی به عنوان ابزاری برای مقایسه ی دوره ای تغییرات درآمد در اثر تغییرات هزینه استفاده شده است. در این مطالعه به بررسی وضعیتی می پردازیم که هزینه های استخراج آب زیرزمینی به علت افزایش عمق چاه یا کاهش سطح آب زیرزمینی یافته اثر افزایش بهره برداری بی رویه از این منبع ارزشمند افزایش یافته است و سپس به بررسی این افزایش هزینه استخراج آب زیرزمینی روی درآمد فصل بعد کشاورزان پرداخته شده است. در این بخش به محاسبه ی اثر تغییر در سطح آب های زیرزمینی بر روی رفاه اجتماعی پرداخته می شود. برای این کار از رابطه ی (۱۰) استفاده می شود. برای تعیین نسبت $\delta C_W / \delta R$ یک تابع تخمین زده شده و هزینه ی پمپاژ آب را روی متغیر های مربوط به چاه های بهره برداری رگرسیون کردیم. که برای محاسبه هزینه متغیر سالانه، از طریق پرسشنامه، اطلاعات مربوط به هزینه های پرداخت شده توسط متصدی هر چاه (شامل هزینه های برق، روغن، نیروی کار و غیره) جمع آوری شده است. نتایج این رگرسیون در جدول ۶ نمایش داده شده است.

بر طبق جدول ۶، دبی بر هزینه پمپاژ چاه اثر معکوس دارد؛ یعنی با افزایش آن هزینه پمپاژ کاهش می یابد. برای عمق چاه (که معادل سطح آبکشی یا سطح آب های زیرزمینی در نظر گرفته شده است) مقدار ضریب مثبت به دست آمده است، یعنی با افزایش این پارامتر، هزینه پمپاژ آب افزایش می یابد. بین این سه متغیر رابطه خطی معنی داری وجود دارد. علاوه بر این در تابع $\delta W / \delta R$ ، $\delta W / \delta R$ نیز وجود دارد، اما در این تحقیق با توجه به این که در سال مورد تحقیق (۸۸) به طور متوسط $0/81$ متر سطح آب زیرزمینی افت داشت، کلیه متصدیان چاه بر این عقیده بودند که چون سطح ایستایی با عمق چاه تفاوت قابل توجه ای دارد. این افت تأثیر محسوسی در مقدار دبی ندارد و فقط مصرف انرژی را افزایش می دهد و هم چنین این اثر ثانویه زمانی رخ می دهد که یک تغییر در عمق چاه باعث کاهش سطح آب های زیرزمینی به زیر سطح قابل دسترس لوله های فرو رفته در چاه شود که این در طول یک فصل رشد غیر محتمل است بنابراین از مقدار $\delta W / \delta R$ در محاسبات چشم پوشی شده است.

جدول ۶- نتایج رگرسیون پمپاژ روی متغیرهای چاههای بهره برداری

متغیر	پارامتر	ضریب	انحراف استاندارد	آماره t
جزء ثابت	C	۲۹۷۴۰/۰۹*	۶۳۶/۳۹۷۲	۴۶/۷۲۱۹۷
عمق چاه (متر)	R	۶۰۸/۱۷۷۸*	۱۰۷/۴۱۹	۵/۶۰۰۹
دبی چاه (لیتر بر ثانیه)	DEBI	-۷۲۱/۱۱۴۰*	۳۵/۳۷۵۴۳	-۲۰/۳۸۴۶۰
=R2 = 2076/261 f-statistic				۰/۹۶۱۳۵۶

$$-W^* = \frac{C_W}{P_y b_{ww}} - \frac{a_w}{b_{ww}} - \frac{d_{ws}S}{b_{ww}} - \frac{d_{wF_0}F_0}{b_{ww}} - \frac{d_{wF_p}F_p}{b_{ww}} - \frac{d_{wm}M}{b_{wn}N}$$

برای استفاده از توابع فوق، محاسبه مقدار هزینه استخراج هر واحد آب C_W که شامل هزینه متغیر و استهلاک هزینه های ثابت است ضروری است، که متوسط هزینه های استخراج آب به ازای هر هزار مترمکعب

نظر گرفتن مقدار سالانه آب استخراج شده توسط بهره برداران که به طور متوسط برابر ۵۷۴۱۶۶ مترمکعب است و با استفاده از فرمول استهلاک متوسط استهلاک هزینه های ثابت استخراج هر مترمکعب آب از چاه نمونه برابر ۷۹/۶ ریال بدست آمد.

جدول ۴- هزینه های سرمایه گذاری در چاه و وسایل پمپاژ.

نام وسیله	قیمت (ریال)	طول عمر (سال)
هزینه حفر چاه	۵۴۰۰۰۰۰	۱۵
خرید و نصب لوله	۲۵۰۰۰۰۰	۱۵
شافت و غلاف	۳۱۰۰۰۰۰	۱۵
توربین و الکتروموتور	۴۰۵۰۰۰۰	۱۰
اتاقک و وسایل جانبی	۷۰۰۰۰۰	۱۵
حق امتیاز و وسایل جانبی	۱۰۸۷۰۰۰۰	۳۰
تابلوی برق	۷۵۰۰۰۰	۳۰

در جدول ۵، MP_W و VMP_W به ترتیب بهره وری نهایی و ارزش بهره وری نهایی نهاده آب می باشند. بهره وری نهایی به معنی تغییر تولید به ازای آخرین واحد نهاده می باشد و همان طور که دیده می شود اگر یک واحد اضافی آب برحسب هزار مترمکعب به کار برده شود، تولید برحسب تن $0/047$ واحد افزایش خواهد یافت. نتایج جدول نشان می دهد که از نهاده های آب کمتر از حد بهینه استفاده می شود.

جدول ۵- نتایج مربوط به محاسبه بهره وری نهاده آب.

آب (هزار مترمکعب)	نهاده متغیر	نوع بهره وری
۰/۰۴۷	MP_W	بهره وری نهایی
۶۴۹۵۴۰	VMP_W	ارزش بهره وری نهایی

*برای تعیین نسبت $\delta W / \delta C_W$ از تابع تولید برآزش شده استفاده شده است که به صورت زیر خواهیم داشت:

$$P_y \frac{\delta Q}{\delta W} = C_W (13)$$

$$P_y(a_w + b_{ww}W + d_{ws}S + d_{wF_p}F_p + d_{wF_0}F_0 + d_{wm}M + d_{wn}N) = C_W$$

سفره های آب زیر زمینی و همچنین تأثیر این بخش از آب بر سود و رفاه اجتماعی کشاورزان، لازم است اصول اقتصادی و فنون تولیدی جدید توسط مروجین کشاورزی در منطقه ترویج و برای اجرای آنها سرمایه گذاری شود. و کشاورزان منطقه را تشویق نمود تا تکنیک های تولیدی جدید را به کار برده تا در میزان مصرف آب صرفه جویی به عمل آید.

پیشنهادها

۱- با توجه به نتایج تحقیق پیشنهاد می شود برداشت از منابع زیرزمینی با مدیریت دقیق و اصولی صورت گیرد و نظارت دقیق بر میزان برداشت اعمال شود.

۲- پیشنهاد می شود دولت با اجرای سیاست محدودیت برداشت از منابع زیرزمینی آب از افت سطح این آبها جلوگیری کند و همچنین دولت می تواند در کنار سیاست فوق، برداشت های بیش از حد مصرف کنندگان را مشمول مالیات کند.

۳- اصلاح تدریجی نظام قیمت گذاری آب در بخش کشاورزی، آگاه کردن کشاورزان منطقه از آثار کاهش سطح آب های زیرزمینی و پیامد های حاصل از برداشت بی رویه آب از طریق اداره ترویج و کارشناسان جهاد کشاورزی، به کشاورزان آموزش داده شود.

۴- استفاده از سیاست های غیر قیمتی مانند اعمال محدودیت های برداشت و یا نصب کنتور حجمی بر خروجی چاه های مورد بهره برداری و ملزم کردن کشاورزان به استخراج کمتر آب در طول روز از طریق اعمال ساعت خاموشی و غیره، مهار رودخانه و روان آب های فصلی منطقه و ایجاد پوشش گیاهی برای تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می گردد.

۵- با توجه به استفاده غیر منطقی از آب و با عنایت به اینکه منابع آب نباید تنها برای نسل حاضر در نظر گرفته شود، لذا دولت برای مالکیت چاه های آب منطقه اقداماتی درست و کارشناسانه انجام دهد تا از این طریق منابع آب های زیر زمینی حفظ شوند و قبل از بروز فاجعه ای بزرگ تا حد ممکن از بروز آن جلوگیری شود.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضات آنان بوده است.

حامی مالی

هرینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: محسن موسایی، مهرداد مرادی
روش شناسی و تحلیل داده ها: محسن موسایی، مهرداد مرادی، مهسا حسین زاده
نظارت و نگارش نهایی: محسن موسایی

۸۶۱۶۹/۶ ریال می باشد. با جایگزین کردن مقادیر به دست آمده از توابع ذکر شده در بالا، در تابع رفاه اجتماعی، تغییر رفاه ناشی از افت سطح آب زیرزمینی هر کشاورز محاسبه شد. با توجه به این که متوسط افت سطح آب زیرزمینی در نمونه های مورد مطالعه طی یک سال ۸۱ سانتی متر است. این تغییر رفاه محاسبه شده است. افت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه باعث کاهش رفاه اجتماعی به اندازه ۲۵/۸۴ ریال به ازای مصرف هر مترمکعب آب شده است. این کاهش برای هر هکتار کشت برنج برابر ۱۱۱۰۲۵۷/۶۱ ریال است. مشاهده می شود که افت سالانه آب های زیرزمینی و برداشت بی رویه و آزاد از آن ها تأثیر زیادی در رفاه اجتماعی خواهد داشت. یکی دیگر از هدف های این تحقیق محاسبه کسش تقاضای نهاده آب است که می توان آن را بر اساس تابع زیر محاسبه کرد:

$$\epsilon_D = \frac{\delta W}{\delta C_W} \cdot \frac{C_W}{W} \quad (14)$$

اگر در تابع فوق به جای C_W متوسط هزینه استخراج آب بهره برداران و به جای W متوسط مقدار آب - مصرفی توسط بهره برداران و به جای $\frac{\delta W}{\delta C_W}$ معادل آن قرار داده شود، با جایگزینی مقادیر در تابع بالا، ϵ_D برابر ۰-۰/۷۲ می شود. بنابراین، میزان تقاضای آب نسبت به قیمت این نهاده کم کسش است.

نتیجه گیری

مهمترین نتایج حاصل از اجرای این تحقیق عبارتند از:

۱- براساس نتایج بدست آمده از برآورد تابع تولید درجه دوم تعمیم یافته، قیمت هر مترمکعب آب زیرزمینی در بخش کشاورزی، ۶۴۹/۵۴ ریال برآورد گردید. این ارزش، در مقایسه با متوسط هزینه های استخراج هر مترمکعب آب زیرزمینی (۸۶/۱۶۹ ریال) تفاوت قابل ملاحظه ای را نشان می دهد، که این اختلاف باعث برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی می شود. واضح است که برای کشاورزان منطقه استفاده بیشتر از آب به صرفه است و کشاورزان برای رعایت قانون حداکثر سازی سود بایستی آب بیشتری مصرف کنند و از طرفی مسئولین باید قیمت هر متر مکعب آب را به ارزش واقعی آب یا همان ارزش اقتصادی آن نزدیکتر نمایند تا منابع آب زیر زمینی حفظ شوند. با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده ارزش آب مصرفی کشاورزان منطقه محاسبه شد و بر طبق این نتایج قیمت فروش هر مترمکعب آب در شهرستان رامهرمز به طور متوسط مبلغ ۶۴۹/۵۴ ریال می باشد.

۲- برداشت بیش از حد از آب های زیرزمینی باعث کاهش افت سطح آب های مذکور در حدود ۰/۸۱ متر در منطقه مورد مطالعه گردیده است، طبق یافته های این مطالعه افت سطح آب های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه باعث کاهش سطح رفاه اجتماعی به اندازه ۲۵/۸۴ ریال به ازای مصرف هر مترمکعب آب شده است. این کاهش برای هر هکتار کشت محصول برنج ۱۱۱۰۲۵۷/۶۱ ریال است. در نتیجه افت سالانه سطح آب های زیرزمینی و برداشت بی رویه و آزاد از آن ها تأثیر زیادی بر رفاه اجتماعی خواهد داشت. که این مسئله تأثیر زیادی در سود کشاورزان و رفاه اجتماعی کلی آن ها خواهد داشت به طوری که باعث کاهش تصاعدی رفاه کشاورزان در سال بعد خواهد شد.

۳- با توجه به شرایط اقلیمی کشور و نیاز به کنترل میزان برداشت از

است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده

References

1. Kopai M. The importance and position of underground water in the hydrological cycle. In: Proceedings of the Second National Student Conference on Water and Soil Resources. Shiraz; 2004. <https://civilica.com/doc/9907>
2. Abrishamchi A, Tajrishi M. Management of the country's water resources demand. In: Proceedings of the first conference on methods of preventing the loss of national resources. Tehran; 2004. <https://civilica.com/doc/26600>
3. Hosseinzad H. Determining the appropriate method of water pricing in the agricultural sector, case study: Alavian dam and network. University of Tehran; 2004.
4. Chizari A, Mirzaei A, Karamatzadeh A. Determining the economic value of agricultural water using the model of the optimal cultivation pattern combining agriculture and horticulture: a case study of Barzo Shirvan Dam. *Agricultural Economics and Development*. 2006;14(2):35-60. [10.30490/aead.2006.58914](https://doi.org/10.30490/aead.2006.58914)
5. Chitsazan M, Mousavi S, Mirzaei Y. Studying the effects of drought on Ramhormoz plain aquifer. In: Proceedings of the second national conference on the effects of drought and its management solutions. Isfahan; 2009. <https://civilica.com/doc/67370>
6. Soltani G, Zibai M. Pricing of agricultural water. *Water and Development, Water Affairs Quarterly of the Ministry of Energy*. 1996;1(14):12-21. <https://sid.ir/paper/438417/fa>
7. Zare Mehrjardi M, Rezaei A, Ziyaabadi M. Evaluation of underground water with quality approach; A case study of pomegranate growers in the city of Bod. *Irrigation and water engineering scientific research quarterly*. 2012;3(10):11-18. <https://www.waterjournal.ir/article/706009d1473b54fbec58b5e5e9b19f0a760>
8. Agudelo, J.I. *The Economic Valuation of Water: principles and Methods*. 2001.
9. Ahmadian M, Inteziri A. Valuation of underground water in the agricultural exploitation of wheat farmers in Khatam city in Yazd province (Herat district). *Journal of sustainability, development and environment*. 2014;1(3):27-39. <https://www.magiran.com/p1691146>
10. Birol K, Koundouri P. Using economic valuation techniques to inform water resources management: A survey and critical appraisal of available techniques and an application. *Science of the Total Environment*. 2006;365:105-22. [10.1016/j.scitotenv.2006.02.032](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.032)
11. Joanpoor P, Keri L. Exploring the hedonic value of ambient water quality: A local watershed-based study. *Ecological Economics*. 2007;60:797-806. [10.1016/j.ecolecon.2006.02.013](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.02.013)
12. Moran D, Dann S. The economic value of water use: Implications for implementing the water framework directive in Scotland. *J Environ Manage*. 2008;87:484-96. [10.1016/j.jenvman.2007.01.043](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.043)
13. Fontes P, Carneiro A. Land suitability, water balance and agricultural technology as a geographic-technological index to support regional planning and economic studies. *Land use Policy*. 2009;26:589-98. [10.1016/j.landusepol.2008.08.010](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.08.010)
14. Khalilian p, Zare Mehrjardi M. Valuation of underground water in agricultural operations: a case study of wheat farmers in Kerman city. *Agricultural Economics and Development*. 2005. 13 (2):1-14. [10.30490/aead.2005.128570](https://doi.org/10.30490/aead.2005.128570)
15. Panahi A, Mohammadi H. Economic analysis of production and management of water demand in rice farmers of Fars province. 2007.
16. Tahamipour M, Mehrabi H, Karbasi A. The effect of reducing the level of underground water on the social welfare of producers: a case study of pistachio farmers in Zarand city. *Agricultural Economics and Development*. 2005;13(49):97-116. <https://sid.ir>

- /paper/24400/fa
18. Huang Q, Rozelle S, Howitt R. Irrigation water pricing policy in China. In: Selected paper prepared for presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Long beach, California; 2006.
<https://www.researchgate.net/publication/23506523>
 19. Huang Q, Rozelle S., Howitt R. The efficient use of data in estimating production technology: Trading off precision and heterogeneity. 2008.
https://www.researchgate.net/publication/28602357
 20. Blingnut J, Van Eyden R, Moolman C. Modelling the marginal revenue of water in selected agricultural commodities: A panel data approach. *Agrekon*. 2006;45(1):78-91. [10.1080/03031853.2006.9523735](https://doi.org/10.1080/03031853.2006.9523735)
 21. Gayatri A, Barbier E. Valuing groundwater recharge through agricultural production in hadejia. *Agricultural Economical*. 2000;22:247-59. [10.1111/j.1574-0862.2000.tb00073.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2000.tb00073.x)
 22. Brimnejad V. Extraction of water demand function from polynomial production function in agriculture sector. *Scientific Journal of Agriculture*.30(2):107-116 2007.
<https://sid.ir/paper/447375/fa>

Research Paper

Evaluation of the corrosiveness and precipitation potential in the drinking water supply wells of Gorgan city

Hasan Mazani¹, Mojtaba G. Mahmoodlu^{2*}, Nader Jandaghi³, Mostafa Raghimi⁴, Ali Heshmatpour⁵

1. Former Master Student in Watershed, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

2. Associate Professor at Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

3. Assistant Professor at Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

4. Professor at Faculty of Basic Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

5. Assistant Professor at Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Received: 2023/04/04

Revised: 2023/04/14

Accepted: 2024/01/04

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2024.31749.2383](https://doi.org/10.30495/wej.2024.31749.2383)

Keywords:

Groundwater, Water quality, Hydrogeochemistry, Water supply facilities, Gorgan city

Abstract

Introduction: Corrosion and precipitation are two problems of water quality management for the water transmission and distribution systems. Hence, the present research was conducted to investigate the potential of corrosiveness and precipitation in the drinking water supply wells of Gorgan city using some indicators.

Methods: Here, the results of chemical analysis of 63 wells supplying drinking water in spring and autumn were used. First the temporal and spatial changes of physicochemical parameters were investigated using one-way variance statistical test and IDW method, respectively. The dominant type, the origin of chemical ions, and their evolution process in Gorgan aquifer were studied. In this research, water hardness, LSI, RSI, CR and LS were used to determine the corrosion and precipitation potential of drinking water in Gorgan city. Finally, the temporal and spatial changes of indices calculated in two seasons were investigated.

Findings: The high concentration of calcium ions in groundwater, due to the recharge of the aquifer by the limestone series located in the southern highlands, has increased its hardness. The results of RSI and LSI revealed that the majority of wells are corrosive and their water has the potential to decompose CaCO_3 . Also, the corrosive property of water in the direction of groundwater movement is significantly reduced and the water precipitation property is increased. Also, 90 and 98% of the groundwater resources of Gorgan city have a corrosion ratio of less than one. Therefore, it is possible to transfer water from most wells with any type of metal pipes.

Citation: Mazani, H, G. Mahmoodlu, M, Jandaghi, N, Raghimi, M, Heshmatpour, A, Evaluation of the corrosiveness and precipitation potential in the drinking water supply wells of Gorgan city. Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (61): 52- 64.

*Corresponding author: Mojtaba Ghareh Mahmoodlu

Address: Department of Rangeland and Watershed Department, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

Tell: +989113740012

Email: m.g.mahmoodlu@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Corrosion and precipitation are two problems of water quality management for the water transmission and distribution systems. In our country, the accurate statistics of the damage amount caused by corrosion and precipitation in the water distribution network are not available, but some studies show that the water loss in the distribution network is about 30%. This is because of the decay in the water pipelines due to corrosion. Based on the global standards, the corrosion and precipitation control indicators should be determined at least once a year for the water distribution networks that use groundwater sources. Hence, the present research was conducted in 2016 to investigate the potential of corrosiveness and precipitation in the drinking water supply wells of Gorgan city using some indicators. The results of this study can identify the sanitary condition of drinking water in Gorgan city and finally minimize the damages caused by using different methods of corrosiveness control.

Materials and Methods

In this research, the results of chemical analysis of 63 wells supplying drinking water in spring and autumn of 2016 were used. Some parameters such as pH, temperature, and electrical conductivity were measured during sampling. While the amount of chemical parameters such as total dissolved solids, bicarbonate, chloride, sulfate, nitrate, nitrite, fluoride, phosphate, calcium, magnesium, sodium, potassium, and iron were measured in the chemical laboratory of Gorgan Water and Wastewater Department.

After measuring the amount of hydrochemical parameters using the current standard methods, first the temporal changes of physicochemical parameters were investigated using one-way variance statistical test. Then, using ArcGIS software and IDW method, the spatial changes of

some hydrochemical parameters in the studied area were considered.

In this research, to investigate the hydrogeochemistry of the Gorgan city aquifer, the changes in the concentration of ions in two seasons were first investigated using a box diagram. Then, the dominant type, the origin of chemical parameters, and their evolution process in Gorgan aquifer were studied using Stiff and triangular diagrams. Here, AqQa software was used to depict Stiff and triangular diagrams.

In this research, water hardness, Langelier saturation index (LSI), Ryznar stability index (RSI), corrosion ratio (CR) and Larson-Skold (LS) indices were used to determine the corrosion and sedimentation potential of drinking water in Gorgan city. Finally, the temporal and spatial changes of the indices calculated in spring and autumn of 2016 were investigated.

Findings

The recharge of the aquifer by the limestone series located in the southern highlands causes the abundance of bicarbonate anion and calcium cation concentration and then the abundance of calcium bicarbonate type in the groundwater resources of Gorgan city in every spring and autumn season. Furthermore, the high concentration of calcium ions in groundwater has increased its hardness. The infiltration of municipal sewage and salt water intrusion into the aquifer due to the high depth of the well or the high pumping rate is the most likely reason for the increase in the concentration of chlorine and sodium ions in some wells.

The results revealed that most of the water supply wells are in the hard to very hard class. The amount of dissolved solutes and subsequently, the hardness of the total water resources in the studied area increases along the path of groundwater movement towards the north of the studied area. This case is in the line with an increase in the

concentration of ions in the direction of water.

Based on the LSI, out of the 63 investigated wells, the water of only one well has neutral properties, and about 85% of the water resources have corrosive properties. The water of the rest of the wells has precipitation properties based on the LSI. This result seems obvious due to the proximity of most of the water sources to the groundwater supply area. The results of the RSI are similar to the LSI. Except for one well, which is neutral, the rest of the wells are corrosive and their water has the potential to decompose CaCO_3 . Also, based on the distribution map of LSI and RSI in the studied area, the corrosive property of water in the direction of groundwater movement is significantly reduced and the property of water precipitation is increased. This result is consistent with the increase in the amount of groundwater salts in the north direction. The results of water classification of groundwater resources of Gorgan based on LS are somewhat different from the results of LSI and RSI. So that about 55% of the wells in the spring season are not corrosive and the rest of the wells are corrosive to high corrosive.

Based on the calculated values for the corrosion ratio in spring and autumn, respectively, 90 and 98% of the groundwater resources of Gorgan city have a corrosion ratio of less than one. Therefore, it is possible to transfer water from most wells with any type of metal pipes. However, to transfer the water from the rest of the wells, pipes with high strength and resistance should be used, and it is not possible to transfer their water through the metal pipes.

Conclusion

Statistical difference in 8 physicochemical parameters in spring and autumn has caused

the variety of hydrogeochemical types and facies in these two seasons. Although the dominant type of groundwater in both spring and autumn is calcium bicarbonate.

The increase in the concentration of groundwater ions in the direction of groundwater movement to the north of the studied area has caused the water hardness to increase in the direction of groundwater movement. In general, Gorgan city groundwater is classified as hard to very hard. Also, based on the distribution map of these indicators in the studied area, the water corrosive property in the groundwater movement direction is significantly reduced and water precipitation property is increased.

The results of the paired t-test show that there is a statistical difference in the corrosion ratio, LS and LSI in spring and autumn. However, no statistical difference was observed for RSI in spring and autumn.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Hasan Mazani: collecting the data, visualization, interpretation, and chemical analyses. Mojtaba G. Mahmoodlu: supervision, writing the main draft, revising and editing the manuscript, conceptualization, chemical analyses. Nader Jandaghi: statistical analyses and conceptualization. Mostafa Raghimi: conceptualization, collecting the data. Ali Heshmatpour: visualization, revising and editing the manuscript.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل خورندگی و ترسیب در چاه‌های تامین کننده آب شرب شهر گرگان

حسن مازنی^۱، مجتبی قره‌محمودلو^{۲*}، نادر جندقی^۳، مصطفی رقیمی^۴، علی حشمت‌پور^۵

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

۴. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۵. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

چکیده

مقدمه: یکی از مشکلات مدیریت کیفی آب و همچنین سیستم‌های انتقال و توزیع آب، خورنده و یا رسوب‌گذار بودن آب است. پژوهش حاضر به منظور تعیین پتانسیل رسوب‌گذاری و خورندگی منابع آب آشامیدنی شهر گرگان در دو فصل بهار و پاییز انجام شد.

روش: در این پژوهش ابتدا از ۶۳ چاه آب شرب شهر گرگان نمونه‌برداری و ۱۷ پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب آن‌ها آنالیز شد. به منظور بررسی هیدروژئوشیمیایی منابع آبی از دیاگرام‌های استیف و مثلثی استفاده شد. سپس شاخص‌های پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم، خورندگی لانزلیه، رایزتر، لارسون-اسکلد و نسبت خورندگی منابع آب آشامیدنی شهر گرگان محاسبه و نقشه پراکندگی مکانی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش IDW تهیه شد. در نهایت با استفاده از آزمون آماری واریانس یک‌طرفه، سطح معناداری شاخص‌ها در منابع آب آشامیدنی شهر گرگان در دو فصل بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از مطالعه هیدروشیمیایی نشان داد که غلظت اکثر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در طول مسیر حرکت به سمت شمال منطقه افزایش می‌یابد. براساس نحوه پراکنش و الگوی پراکندگی نمونه‌ها در دیاگرام‌های استیف مثلثی، تیپ غالب آب زیرزمینی در حاشیه ارتفاعات Ca-HCO_3 می‌باشد. نتایج حاصل از سختی آب زیرزمینی نشان داد بیش تر منابع آبی جز آب‌های سخت تا خیلی سخت می‌باشند. هم‌چنین میزان سختی در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. براساس شاخص‌های خورندگی، در آب بیش از ۸۴٪ چاه‌ها تمایل به خورندگی وجود دارد. اگرچه خاصیت تغییرات خورندگی مشابه سختی آب است. به‌طوریکه در حاشیه ارتفاعات بیشتر و به سمت شمال با افزایش املاح، خاصیت رسوبگذاری آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. هم‌چنین نتایج آماری نشان داد که به‌جز شاخص لارسون-اسکلد در بقیه شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری در میزان شاخص‌ها در دو فصل بهار و پاییز وجود ندارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به شاخص‌های محاسبه‌شده در محدوده مورد مطالعه، خاصیت خورنده بودن آب در جهت حرکت آب زیرزمینی (به سمت شمال) کاهش چشمگیری داشته و بر خاصیت ترسیب آب افزوده می‌شود. این نتیجه با توجه به افزایش میزان املاح آب زیرزمینی در جهت شمال خصوصاً در مناطق شهری به دلیل ورود املاح ناشی از پساب‌های شهری تصفیه نشده و احتمالاً ورود جزئی آب شور لایه‌های همخوانی دارد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵

تاریخ داوری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2024.31749.2383](https://doi.org/10.30495/wej.2024.31749.2383)

واژه‌های کلیدی:

آب زیرزمینی، کیفیت آب، هیدروژئوشیمی، تأسیسات آبرسانی، شهر گرگان

* نویسنده مسئول: مجتبی قره‌محمودلو

نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

تلفن: ۰۹۱۱۳۷۴۰۰۱۲

پست الکترونیکی: m.g.mahmoodlu@gmail.com

مقدمه

یکی از مشکلات مدیریت کیفی آب و همچنین سیستم‌های انتقال و توزیع آب، خورنده و یا رسوب‌گذار بودن آب است (۱). اصولاً آب‌های رسوب‌گذار، آب‌هایی هستند که املاح محلول در آن‌ها نظیر بی‌کربنات کلسیم $(Ca(HCO_3)_2)$ به صورت کربنات کلسیم $(CaCO_3)$ در سیستم‌های آبرسانی رسوب می‌کند. این رسوب کلسیم سبب ایجاد لایه‌های ضخیم رسوبی بر روی سطوح و دیواره‌های تأسیسات تبادل حرارتی و همچنین سیستم‌های آبرسانی شهری و کشاورزی می‌شود. از این‌رو، فرآیند فوق که یکی مهم‌ترین مشکلات در بخش‌های صنعت، کشاورزی و آبرسانی شهری است. در مقابل فرآیند خوردگی یک واکنش فیزیکی-شیمیایی ناشی از تاثیر چندین عامل شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و بیولوژیکی است. پارامترهای زیادی در فرآیند خوردگی تاثیر هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان pH، درجه حرارت، سختی، اسیدیته، کلر باقی‌مانده، کل جامدات محلول، نمک‌های محلول و میکروارگانیسم‌ها در آب اشاره کرد (۲).

مطالعات نشان داده که در صورت خورنده بودن آب، لایه پوششی کربنات کلسیم در جدار داخلی لوله‌ها حل شده و سبب ورود برخی از فلزات سنگین نظیر آهن، سرب، مس، قلع و غیره از لوله‌های فلزی به داخل آب می‌گردد که این امر می‌تواند مشکلاتی را برای سلامتی مصرف‌کنندگان آب را در پی داشته باشد (۳). علاوه بر این، واکنش‌های خوردگی می‌تواند به‌طور مستقیم بر مصرف‌کننده‌های آب اثر گذاشته و موجب به حداقل رساندن باقی‌گندزدا در آب شود که این امر فعالیت زیستی میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد (۴). یکی دیگر از مشکلات فرآیند خوردگی، ایجاد حفره در لوله‌ها، کاهش عمر تأسیسات و هدر رفت آب می‌باشد که این موضوع هزینه‌های زیادی را برای کشورهای که کمبود آب دارند به دنبال خواهد داشت (۵).

تاکنون مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور بر روی خورنده یا رسوب‌گذار بودن آب شرب در سیستم‌های آبرسانی انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. اشاره کرد. در پژوهشی فریدی‌راد و قلی‌نژاد (۱) شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب تصفیه‌خانه پردیس با استفاده از پتانسیل خوردگی آب از شاخص‌های لانژلیه^۱، رایزنر^۲، خوردگی، پورکورپوس و لارسون^۳ محاسبه شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که آب ورودی به تصفیه‌خانه تمایل به خوردگی دارد. از این‌رو توصیه می‌شود خطوط انتقال و توزیع آب از به داخل تصفیه‌خانه از جنس مقاوم انتخاب شود یا اصلاح کیفیت آب انجام گیرد. در مقابل آب خروجی از تصفیه‌خانه کمی رسوب‌گذار بوده و کیفیت مطلوبی دارد. قره‌محمودلو و همکاران (۶) در پژوهشی به بررسی میزان خوردگی و رسوب‌گذاری در طول رودخانه گرگانرود در استان گلستان پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها بر اساس سنج‌های رایزنر، پورکورپوس و لارسون-اسکولد نشان داد که آب تمایل به خوردگی دارد. در مقابل براساس سنج لانژلیه آب رودخانه گرگانرود در کل طول مسیر تمایل به رسوب‌گذاری دارد. در پژوهشی ولی‌پور (۷) منابع آب زیرزمینی جنوب غرب قوچان جهت مصارف صنعتی بر اساس شاخص‌های لانژلیه،

رایزنر و پورکورپوس را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد آب زیرزمینی منطقه از لحاظ صنعتی دارای خوردگی بالایی می‌باشد. این امر در درازمدت می‌تواند سبب ایجاد خوردگی شدید به همراه کاهش عمر تأسیسات و هدر رفت آب شود. اومکا و همکاران (۸) به بررسی هیدروژن‌شیمی و پتانسیل خوردگی و ترسیب آب‌های زیرزمینی در منطقه زراعی اوگبارو واقع در نیجریه پرداختند. برای این منظور از تعدادی گمانه موجود در منطقه نمونه‌برداری و سپس تعداد ۱۷ پارامتر فیزیکوشیمیایی با روش‌های استاندارد مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج هیدروژن‌شیمیایی این پژوهش نشان از غالب بودن رخساره‌های کربناته دارد که این امر باعث افزایش سختی و نامناسب بودن آن برای استفاده در بخش لباس‌شویی دارد. نتایج حاصل از شاخص‌های خوردگی نشان داد که آب اکثر چاه‌ها بسیار خورنده و خاصیت ته‌اجمی دارد. از این‌رو استفاده از آب آن‌ها خطر بالایی در زوال سیستم‌های توزیع و ذخیره آب فلزی در منطقه اوگبارو دارد. در پژوهشی سارکار و همکاران (۹) پتانسیل خصوصیات خوردگی و ترسیب آب زیرزمینی در سفره‌های کواترنری حوضه بنگال واقع در کشور هند را با استفاده از پنج شاخص کیفی آب نظیر لانژلیه، رایزنر و بررسی کردند. نتایج هیدروژن‌شیمیایی نشان داد که $Ca-Mg-Cl$ و $Ca-Mg-HCO_3$ دو رخساره غالب آب زیرزمینی می‌باشند. نتایج حاصل از شاخص‌های خوردگی نشان داد که آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل پوسته‌پوسته شدن بالایی هستند. علاوه بر این، شاخص‌ها به لحاظ مکانی تغییرات قابل توجهی را از خود نشان می‌دهند به‌طوری‌که در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه پتانسیل خوردگی بالاتری را از خود نشان می‌دهند در حالی که قسمت شرقی تمایل پوسته‌گیری بالاتری را دارند.

به‌طور کلی فرآیند خوردگی در درازمدت علاوه بر این که می‌تواند بر سلامت انسان‌ها تاثیرگذار باشد می‌تواند مشکلات اقتصادی، اجتماعی، فنی مهندسی و زیباشناختی را به دنبال داشته باشد. در کشور ما آمار دقیقی از میزان خسارت دو پدیده خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه توزیع آب در دسترس نیست، اما برخی از بررسی‌ها نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد از آب در شبکه توزیع به دلیل پوستیدگی لوله‌ها ناشی از خوردگی هدر می‌رود (۱۰). براساس معیارهای جهانی، شاخص‌ها کنترل خوردگی و رسوب‌گذاری باید حداقل سالی یک‌بار برای شبکه‌های توزیع آب که از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌کنند تعیین گردند (۱۱). از این‌رو، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پتانسیل خوردگی و ترسیب در چاه‌های تامین کننده آب شرب شهر گرگان با استفاده از برخی شاخص‌ها در سال ۱۳۹۶ انجام شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند سبب شناسایی وضعیت بهداشتی آب شرب شهر گرگان و درنهایت با استفاده از روش‌های مختلف کنترل خوردگی موجب به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن گردد.

پژوهش حاضر با اهداف (۱) بررسی هیدروشیمی چاه‌های تامین کننده آب شرب شهر گرگان و تغییرات آن‌ها در دو فصل بهار و پاییز سال ۱۳۹۶، (۲) بررسی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی

^۱ Larson-Skold

^۱ Langelier

^۲ Ryznar

در دو دوره مورد مطالعه، (۳) تخمین شاخص‌های خوردگی و رسوبگذاری توسط شاخص‌های

پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم، خوردگی لانتزیه، رایزنر، لارسون-اسکلد و نسبت خوردگی و در نهایت (۴) بررسی سطح معناداری شاخص‌ها در منابع آب آشامیدنی شهر گرگان در دو فصل بهار و پاییز با استفاده از آزمون آماری واریانس انجام شد.

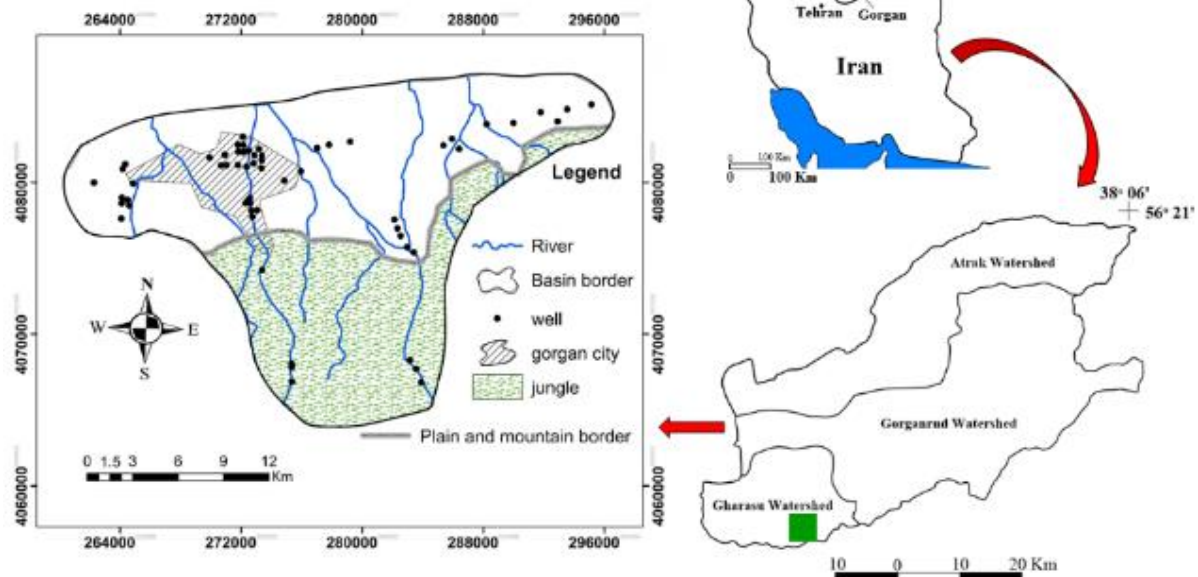
مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

شهر گرگان با موقعیت طول جغرافیایی ۵۴/۲۶ و عرض جغرافیایی ۳۶/۵۰، مساحت حدوداً ۱۶۱۵ کیلومترمربع و ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا مرکز استان گلستان می‌باشد (شکل ۱). این شهر از جنوب به استان سمنان، از شمال به شهرهای آق‌قلا و ترکمن، از شرق به شهر علی‌آباد و از غرب به کردکوی محدود می‌شود. براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، شهر گرگان نزدیک به نیم میلیون نفر جمعیت دارد. این شهر به‌تنهایی بالغ بر ۳۵ درصد جمعیت شهری استان را در خود جا داده است. شهر گرگان دارای آب‌وهوای معتدل خزری یا مدیترانه‌ای است که به‌طور معمول از غرب مازندران بارش کمتری دارد. هرچند تابستان‌های آن نسبتاً گرم و شرعی است. مهم‌ترین رودهای گرگان که به دریای خزر می‌ریزند رودهای قره‌سو، کفشگیری و زیارت هستند. آبخوان شهر گرگان (زیارت) بیشتر تحت تاثیر رسوب‌گذاری رودخانه زیارت می‌باشد

(۱۲، ۱۳). این آبخوان با مساحت تقریبی ۴۰ کیلومترمربع از زیر شهر گرگان با سمت شمال کشیده شده است. اندازه ذرات آبخوان با توجه به لاگ چاه‌های حفاری شده در منطقه از جنوب به سمت شمال کاهش می‌یابد. همچنین جهت شیب هیدرولیکی آبخوان به شمال منطقه می‌باشد (۱۲).

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

از نظر زمین‌شناسی، شهر گرگان در زون ساختاری البرز واقع شده است. از مهم‌ترین واحدهای سازندهای منطقه مورد مطالعه می‌توان به سازندهای مربوط به پالئوزوئیک شامل شیست‌های سبز گرگان، مجموعه شیست‌ها و سنگ آهک‌های ژوراسیک به همراه سنگ آهک‌های کرتاسه پایانی اشاره کرد. در این میان سازندهای لار و مزدوران با سن ژوراسیک بالایی بیشترین برونزد را در حوزه آبریز رودخانه زیارت دارد. واحدهای سنگ چینه‌ای سنوزوئیک دارای گسترش محدودی در این حوزه است که در این میان رسوبات نئوژن شامل شیل، مارن، ماسه و کنگلومرا دارای بیشترین گسترش سطحی است. نهشته‌های لسی از گسترده‌ترین رسوبات دوران چهارم است که به‌صورت تپه‌ماهوری برونزد دارد (۱۲، ۱۳).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه چاه‌های نمونه‌برداری در ایران و استان گلستان

روش پژوهش

در این پژوهش از نتایج آنالیز شیمیایی مربوط به ۶۳ حلقه چاه تامین کننده آب شرب در دو فصل بهار و پاییز سال ۱۳۹۶ استفاده شد. میزان برخی از پارامترهای نظیر pH، درجه حرارت (T) و هدایت الکتریکی (EC) در

هنگام نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. درحالی‌که میزان پارامترهای شیمیایی نظیر کل مواد جامد محلول (TDS)، بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلراید (Cl^-)، سولفات (SO_4^{2-})، نیترات (NO_3^-)، نیتریت (NO_2^-)، فلوراید (F^-)، فسفات (PO_4^{2-})، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+)، پتاسیم

(K⁺) و آهن (Fe²⁺) در آزمایشگاه شیمی اداره آب و فاضلاب گرگان اندازه‌گیری شد.

در این مطالعه مقدار برخی پارامترهایی نظیر دما، pH و هدایت الکتریکی در محل و با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر قابل حمل (WTW Multi 3430) و الکترودهای مناسب (WTW, Weilheim, Germany) تعیین شد. مقادیر مابقی پارامترها در آزمایشگاه با استفاده از روش‌های استاندارد موجود برآورد شد. برای اندازه‌گیری غلظت آنیون‌های بی‌کربنات و کلراید از روش تیتراسیون^۴ استفاده شد. در حالی که اندازه‌گیری غلظت آنیون سولفات با استفاده از روش کلرید باریم و دستگاه اسپکتروفوتومتر انجام شد. جهت اندازه‌گیری کاتیون‌ها ی سدیم و پتاسیم از روش فلیم فتومتر^۵ استفاده شد. غلظت کاتیون‌ها ی کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتراسیون تعیین شد. مقادیر آهن و منگنز نمونه‌های آب با استفاده از روش اسپکتروفوتومتر جذب اتمی (Model AA-670, Japan) اندازه‌گیری شد. غلظت آنیون‌های نیتریت، نیترات و فسفات با استفاده از اسپکتروفوتومتر (HACH, DR5000) با استفاده از روش‌های استاندارد برآورد شد و در نهایت غلظت فلوراید نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از دستگاه یون کروماتوگراف (Metrohm 861) تعیین شد (۱۴).

پس از اندازه‌گیری مقدار پارامترهای هیدروشیمیایی، تغییرات زمانی و مکانی پارامترها به با استفاده روش آماری از آزمون آماری واریانس یک‌طرفه به بررسی سطح معناداری پارامترها و استفاده از نرم‌افزار ArcGIS (روش IDW) بررسی شد (۱۵). هدف اصلی از انتخاب این روش تعیین مقدار پارامترهای بررسی شده در مناطقی بود که در آن‌ها نمونه‌برداری انجام نشده است. این کار نیز با توجه به نقاط همسایه و با میانگین‌گیری از نقاط نمونه که در همسایگی هر نقطه مجهول قرار دارند انجام شده است. در این پژوهش به منظور تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی شهر گرگان از شاخص‌های خوردگی لانتزیه، رایزنر، نسبت خوردگی و لارسون-اسکلد استفاده شد. در نهایت تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های محاسبه‌شده در سال بهار و پاییز ۱۳۹۶ بررسی شد.

۳-۲- شاخص‌های خوردگی و ترسیب

سختی آب: این شاخص معیار مهمی برای ارزیابی کیفیت آب در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد. از نظر پزشکی، آب سخت باعث بروز سنگ کلیه، اختلالات قلبی-عروقی و شیوع برخی از انواع سرطان می‌شود (۱۶). در بخش صنعت، آب‌های سخت هم‌چنین می‌توانند سبب تشکیل رسوب و پوسته در آبگرمکن‌ها، لوله‌های انتقال آب، پمپ‌های چاه‌ها، دیگ‌های بخار و هم‌چنین وسایل پخت‌وپز شوند. سختی کل (برحسب CaCO₃) نمونه‌های آب را می‌توان بر اساس غلظت دو یون کلسیم و منیزیم و با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد (۱۷):

$$[CaCO_3] = 2.5[Ca^{2+}] + 4.1[Mg^{2+}] \quad (1)$$

^۴Titration method

سنجه اشباع لانتزیه (LSI): این شاخص مدلی است مشتق شده از مفهوم تئوریک اشباع و شاخصی از درجه اشباع آب با کربنات کلسیم را ارائه می‌نماید. میزان شاخص لانتزیه مفهوم اشباع را با استفاده از pH به‌عنوان یک متغیر اصلی بیان می‌نماید. این شاخص تاثیر پارامترهایی نظیر کلسیم، قلیائیت کل، جامدات محلول و دما را در محاسبه مقادیر pH اشباع (pHS) نشان می‌دهد. LSI می‌تواند به‌عنوان تغییر موردنیاز pH جهت رسیدن آب به تعادل تعبیر گردد. شاخص اشباع لانتزیه از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد (۱۸):

$$LSI = pH - pH_s \quad (2)$$

سنجه اشباع رایزنر: این شاخص نوع اصلاح‌شده‌ی شاخص لانتزیه است که برخلاف نوع لانتزیه مقادیر آن مثبت می‌باشد وضعیت آب برای مقادیر مختلف شاخص رایزنر در جدول ۳ مشخص شده است. شاخص رایزنر از رابطه (۳) تعیین مقدار می‌شود. در این رابطه مقادیر pHS با استفاده از pH واقعی، غلظت یون‌های کلسیم و بی‌کربنات، TDS و دما محاسبه می‌گردد (۱۹).

$$RSI = 2pH_s - pH \quad (3)$$

نسبت خوردگی CR: این نسبت جهت ارزیابی خوردگی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. CR را می‌توان طبق رابطه زیر محاسبه نمود چنانچه CR کوچکتر از ۱ باشد انتقال آب با هر نوع لوله بلامانع است، اما اگر CR بزرگتر از ۱ باشد نمی‌توان از لوله‌های فلزی برای انتقال استفاده نمود.

$$CR = \left[\left(\frac{Cl}{35.5} \right) + 2 \left(\frac{SO_4}{96} \right) \right] / \left[\frac{2(HCO_3 + CO_3)}{100} \right] \quad (4)$$

سنجه لارسون-اسکلد (LS): این رابطه بر اساس مجموع غلظت کلراید و سولفات به قلیائیت (مجموع کربنات و بی‌کربنات) به‌دست می‌آید (۱).

$$LS = (Cl + SO_4) / (HCO_3 + CO_3) \quad (5)$$

بر اساس رابطه (۵) چنانچه LS کمتر از ۰/۸ باشد آب خاصیت خوردگی ندارد در صورتی که بین ۰/۸ تا ۱/۲ باشد آب خورنده است چنانچه بیش از ۱/۲ باشد آب خوردگی بالایی دارد.

نتایج

هیدروشیمی: در این پژوهش به منظور بررسی تفاوت آماری بین پارامترهای فیزیکی-شیمیایی چاه‌های آب شرب شهر گرگان در دو دوره موردبررسی (فصل بهار و پاییز) از آزمون T زوجی در سطح احتمال ۰/۰۵ در محیط نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شد. از بین فاکتورهای موردبررسی ۸ پارامتر Ca، NO₃، HCO₃، SO₄، Cl، EC، TDS و TH در دو فصل بهار و پاییز اختلاف معنی‌دار مشاهده شده است و برای سایر فاکتورها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. کلسیم و بی‌کربنات (که وابسته به غلظت کلسیم است) می‌تواند به دلیل نرخ تغذیه متفاوت آبخوان توسط جبهه کوهستان باشد. اختلاف غلظت نیترات، سولفات، کلراید و در پی آن TDS و EC می‌تواند نتیجه فعالیت‌های بشری نظیر

^۵ Flame photometer

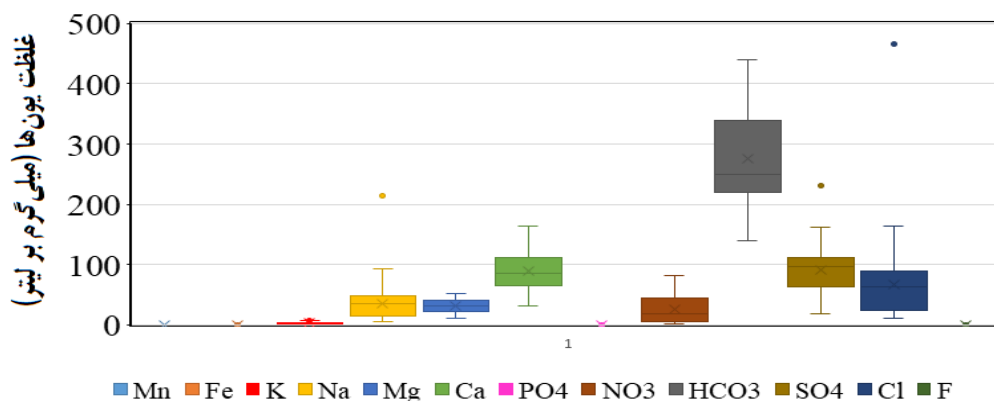
هم‌چنین براساس دیاگرام‌های مثلثی تجمع بیشتر نمونه‌ها در داخل مثلث‌های است که غنی از کلسیم و بی‌کربنات هستند (شکل ۳). با توجه به اینکه دو یون کلسیم و منیزیم بیشترین غلظت را در منابع آب زیرزمینی شهر گرگان دارند، نتایج مربوط به دیاگرام‌های مثلثی بدیهی به نظر می‌رسد. براساس مثلث کاتیون‌ها تعداد تنها دو نمونه‌ها تمایل به سمت مرکز مثلث دارند. از این رو این دو نمونه فاقد یک کاتیون غالب هستند. در چاه شماره ۹ میزان آنیون و کاتیون غالب آب زیرزمینی به ترتیب کلر و سدیم می‌باشند. با توجه به اینکه که محدوده مورد مطالعه بر روی مخروط افکنه رودخانه زیارت قرار دارد و می‌بایست دارای تیپ مناطق تغذیه باشند نفوذ آب شور به داخل آبخوان به دلیل عمق بالای چاه و یا نرخ بالای پمپاژ محتمل‌ترین دلیل برای افزایش غلظت یون‌های کلر و بی‌کربنات می‌باشد.

براساس الگوی پراکنش یون‌ها در آب زیرزمینی، غلظت اکثر پارامترها در جهت حرکت آب زیرزمینی به سمت شمال محدوده مورد مطالعه در حال افزایش می‌باشد. با توجه به شکل ۴، بیش‌ترین غلظت پارامترهای نظیر سولفات، کلسیم و هدایت الکتریکی که نقش مهمی در ایجاد خوردگی و ترسیب آب زیرزمینی دارند در محدوده شهر گرگان و در قسمت منطقه مسکونی با بافت قدیم مشاهده نمود. البته این امر علاوه بر نفوذ پساب‌های شهر می‌تواند نتیجه برداشت بیش‌ازحد آب زیرزمینی و احتمالاً نفوذ آب شور لایه‌های زیرین باشد.

نفوذ پساب‌های شهری و صنعتی، نفوذ آب شور در نتیجه‌ی برداشت بیش‌ازحد از سفره باشد.

به منظور بررسی هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی شهر گرگان از آنالیز شیمیایی ۱۲ پارامتر فیزیکوشیمیایی استفاده شد (شکل ۲). نتایج نشان داد آنیون بی‌کربنات و کاتیون کلسیم به ترتیب بیشترین مقدار را در منابع آب زیرزمینی شهر گرگان دارند. این امر می‌تواند در نتیجه تغذیه آبخوان توسط مجموعه سنگ آهک‌های مربوط به دوران ژوراسیک (سازندهای لار و مزدوران) به همراه سنگ آهک‌های کرتاسه پایانی باشد که عمدتاً دارای ترکیب کربنات کلسیم هستند. علاوه بر این، چون یون کلسیم یکی از عناصر اصلی در افزایش میزان سختی آب زیرزمینی است (رابطه ۱)، می‌توان انتظار داشت که آب زیرزمینی آبخوان گرگان از سختی بالایی برخوردار باشند.

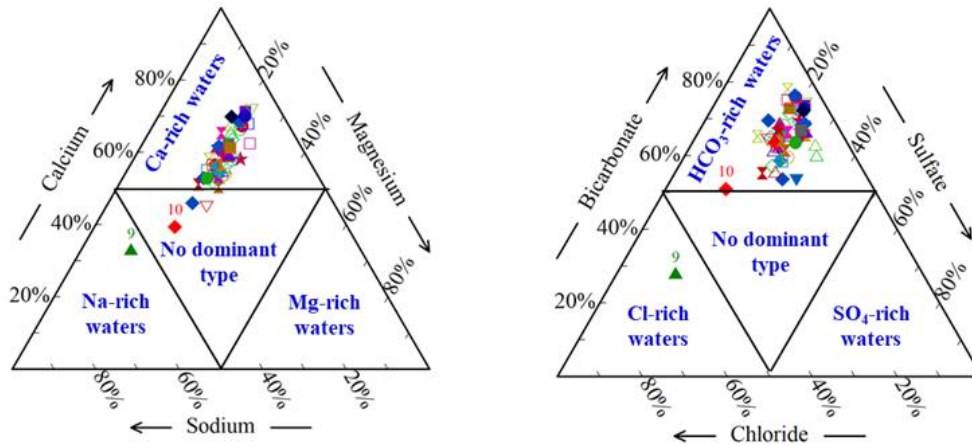
به منظور بررسی تیپ منابع آب زیرزمینی شهر گرگان از دیاگرام استیف استفاده شد. براساس دیاگرام استیف آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصل بهار به ترتیب سه تیپ شیمیایی $Ca-HCO_3$ ، $Na-Cl$ و $Ca-Cl$ دارد و در فصل پاییز چهار رخساره شامل $Ca-HCO_3$ ، $Mg-HCO_3$ ، $Na-$ و HCO_3 را نشان می‌دهند (جدول ۱). نتایج حاصل از بررسی فراوانی تیپ آب مربوط به منابع آب زیرزمینی شهر گرگان نشان داد که تیپ غالب منطقه مورد مطالعه در فصل بهار و پاییز بی‌کربنات کلسیک است. غالب بودن تیپ آب در آب زیرزمینی ارتباط مستقیم با غلظت یون‌های آب دارد. از آنجایی که یون‌های کلسیم و بی‌کربنات در آب زیرزمینی آبخوان شهر گرگان فراوان است، غالب بودن تیپ بی‌کربنات کلسیک بدیهی می‌باشد.



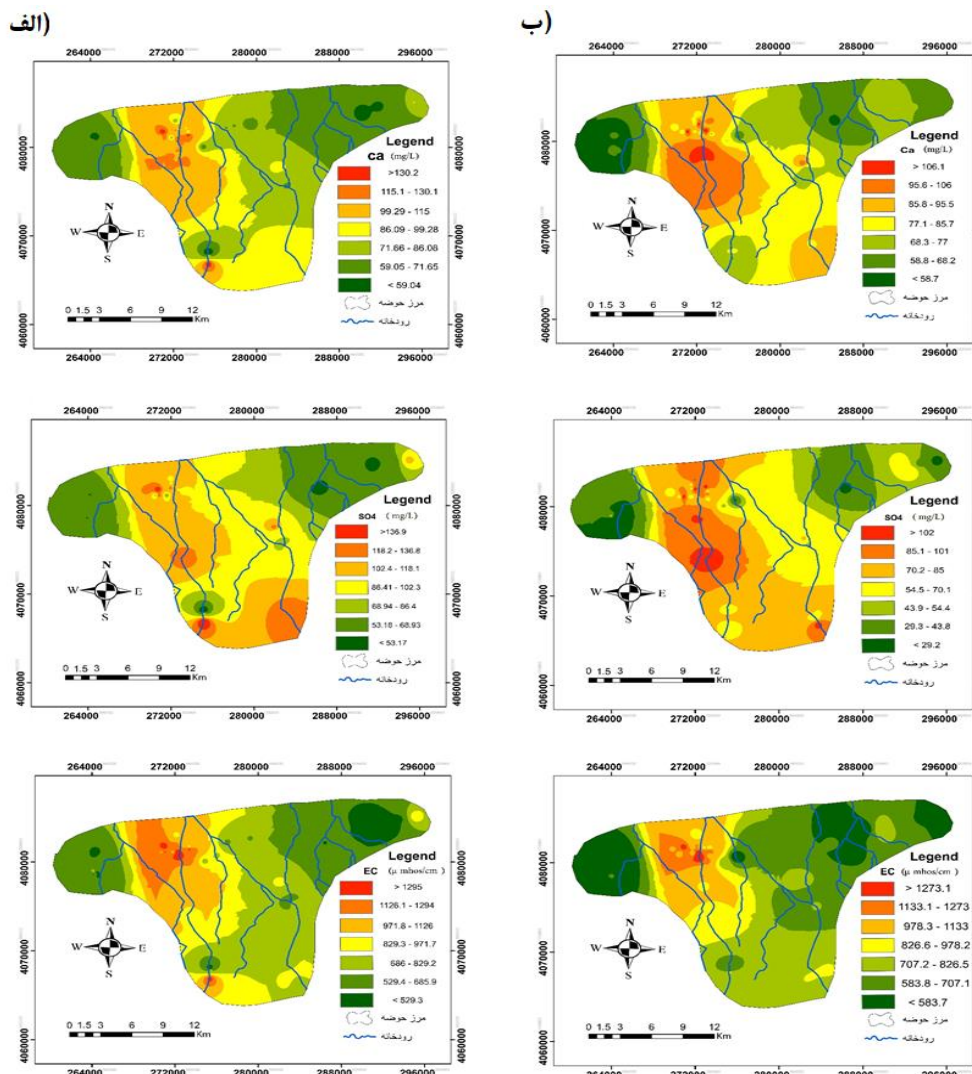
شکل ۲: دیاگرام جعبه‌ای غلظت متوسط یون‌های آب زیرزمینی

جدول ۱: تیپ آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه در فصل‌های بهار و پاییز

فصل	تیپ‌های آب	تعداد چاه	شماره چاه	درصد تیپ نمونه‌ها
بهار	$Ca-HCO_3$	۶۱	بقیه چاه‌ها	۹۶/۸
	$Na-Cl$	۱	۹	۱/۶
	$Ca-Cl$	۱	۱۰	۱/۶
پاییز	$Ca-HCO_3$	۵۷	بقیه چاه‌ها	۹۰/۵
	$Na-Cl$	۱	۹	۱/۶
	$Mg-HCO_3$	۴	۲۰، ۱۴، ۳، ۱	۶/۳
	$Na-HCO_3$	۱	۱۷	۱/۶



شکل ۳: دیاگرام مثلثی منابع آب زیرزمینی شهر گرگان



شکل ۴: تغییرات مکانی و زمانی برخی از پارامترهای شیمیایی در منابع آب زیرزمینی شهر گرگان (الف: بهار و ب: پاییز)

چاه در پاییز در رده آب‌های سبک (۰-۵۰ mg/L) طبقه‌بندی می‌شود. بیشتر چاه‌های تامین‌کننده آب در رده سخت (۲۰۱-۳۰۰ mg/L) تا خیلی سخت (>۳۰۰ mg/L) قرار می‌گیرد. با توجه به غلظت بالای یون کلسیم

شاخص‌های خوردگی و ترسیب

سختی آب: در این پژوهش ابتدا میزان سختی کل در منابع آب زیرزمینی شهر گرگان بررسی شد (جدول ۲). نتایج نشان داد تنها یک

طبقه‌بندی سختی آب زیرزمینی شهر گرگان براساس میزان کلسیم نسبت به سختی کل متنوع‌تر می‌باشد به‌طوری‌که سختی آب براساس این شاخص از آب‌های سبک تا خیلی سخت طبقه‌بندی می‌شود. اگرچه براساس این طبقه‌بندی بیشتر منابع آب زیرزمینی شهر گرگان در رده نسبتاً سخت تا سخت قرار می‌گیرد. برخلاف طبقه‌بندی براساس سختی

در اکثر چاه‌های آب زیرزمینی این امر بدیهی به‌نظر می‌رسد. هم‌چنین تغییرات سختی در هر دو فصل بهار و پاییز تقریباً مشابه است که این امر به‌دلیل غلظت مشابه یون‌های کلسیم و منیزیم در دو فصل بهار و پاییز می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت میزان سختی کل محاسبه‌شده در محدوده مورد مطالعه در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. این مورد با افزایش میزان غلظت یون‌ها در جهت آب مطابقت دارد.

جدول ۲: طبقه‌بندی سختی آب زیرزمینی شهر گرگان براساس میزان کربنات کلسیم و غلظت یون کلسیم

سختی	کربنات کلسیم (mg/l)						کلسیم (mg/l)		
	طبقه‌بندی ۱			طبقه‌بندی ۲			مقدار	بهار	پاییز
	مقدار	بهار	پاییز	مقدار	بهار	پاییز			
سبک	۰-۵۰	۰	۱	۰-۷۵	۰	۱	۰-۲۰	۰	۰
نسبتاً سبک	۵۱-۱۰۰	۰	۰	-	۰	۰	۲۱-۴۰	۱	۱
کمی سخت	۱۰۱-۱۵۰	۱	۱	-	۰	۰	۴۱-۶۰	۵	۱۳
نسبتاً سخت	۱۵۱-۲۰۰	۰	۰	۷۶-۱۵۰	۱	۱	۶۱-۸۰	۲۴	۲۱
سخت	۲۰۱-۳۰۰	۲۶	۲۶	۱۵۱-۳۰۰	۲۶	۲۶	۸۱-۱۲۰	۲۵	۲۷
خیلی سخت	>۳۰۰	۳۶	۳۶	>۳۰۰	۳۶	۳۶	>۱۲۰	۸	۱

لايه‌های تحتانی از میزان خورنده بودن آب کاسته شده و تمایل آب بر رسوبگذاری افزایش می‌یابد.

در شاخص خوردگی لارسون-اسکلد نقش آنیون‌های سولفات، کلراید و گونه‌های کربناته و بی‌کربناته بر تمایل آب به خوردگی در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل از طبقه‌بندی آب منابع آب زیرزمینی شهر گرگان براساس شاخص لارسون-اسکلد (LS) تا حدودی با نتایج دو شاخص قبل (لانژلیه و رایزنر) متفاوت می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه‌شده از این شاخص در جدول ۳، در حدود ۵۵٪ از چاه‌های در فصل بهار خاصیت خوردگی ندارند و بقیه چاه‌ها دارای خاصیت خوردگی تا خوردگی بالا هستند. اما این وضعیت در فصل پاییز تغییر کرده و از خاصیت خوردگی چاه‌ها کاهش می‌یابد و بر خاصیت رسوبگذار بودن آن‌ها افزوده می‌شود. به‌طوری‌که بیش از ۹۸ درصد چاه‌ها در این فصل خاصیت خوردگی ندارند

در این پژوهش نسبت خوردگی نیز برای منابع آب زیرزمینی شهر گرگان محاسبه شد (جدول ۳). با توجه به مقادیر محاسبه شده برای این نسبت در فصل بهار و پاییز به ترتیب ۹۰ و ۹۸ درصد از منابع آب زیرزمینی شهر گرگان دارای نسبت خوردگی کمتر از یک می‌باشد. از این رو انتقال آب بیشتر چاه‌ها با هر نوع لوله‌های فلزی امکان‌پذیر می‌باشد. اما برای انتقال آب باقی مانده چاه‌ها می‌بایست از لوله‌هایی با استحکام و مقاومت بالا استفاده شود و انتقال آب آن‌ها به وسیله لوله‌های فلزی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

کل، نتایج حاصل از طبقه‌بندی براساس کلسیم نشان داد که تغییرات نسبتاً جزئی در فصل بهار و پاییز دیده می‌شود که این امر با توجه به تغییرات جزئی یون کلسیم در دو فصل مورد مطالعه بدیهی به نظر می‌رسد.

در این پژوهش مقادیر شاخص‌های کیفیت آب در بخش صنعت (لانژلیه، رایزنر، لارسون-اسکلد و نسبت خوردگی) برای منابع آب زیرزمینی شهر گرگان محاسبه شد (جدول ۳). با توجه به شاخص لانژلیه از ۶۳ چاه بررسی شده تنها آب یک چاه دارای خاصیت خنثی ($LSI=0$) می‌باشد و در حدود ۸۵ درصد از منابع آبی دارای خاصیت خورنده ($LSI<0$) هستند. آب بقیه چاه‌ها (در حدود ۱۴ درصد) براساس شاخص لانژلیه دارای خاصیت رسوبگذار هستند ($LSI>0$). این نتیجه با توجه به هم‌جواری اکثر منابع آبی با منطقه تغذیه آب زیرزمینی بدیهی بنظر می‌رسد. با توجه به نقشه پراکنش شاخص لانژلیه در محدوده مورد مطالعه، خاصیت خورنده بودن آب در جهت حرکت آب زیرزمینی (به سمت شمال) کاهش چشمگیری داشته و بر خاصیت ترسیب آب افزوده می‌شود. این نتیجه با توجه به افزایش میزان املاح آب زیرزمینی در جهت شمال همخوانی دارد.

نتایج شاخص رایزنر هم مشابه شاخص لانژلیه می‌باشد. به‌طوری‌که بجز یک چاه که خاصیت خنثی ($7<RSI<6$) دارد مابقی چاه‌ها خاصیت خوردگی ($RSI>7$) دارند و آب آن‌ها پتانسیل تجزیه $CaCO_3$ را دارد (جدول ۳). هم‌چنین براساس نقشه پراکنش این شاخص، در جهت حرکت آب زیرزمینی خصوصاً در مناطق شهری به‌دلیل ورود املاح ناشی از پساب‌های شهری تصفیه نشده و احتمالاً ورود جزئی آب شور

جدول ۳: طبقه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی شهر گرگان با استفاده از شاخص‌های LSI، RSI، CR و LS در فصول بهار و پاییز سال ۱۳۹۶

طبقه‌بندی	مقدار شاخص	تعداد چاه		درصد چاه		شاخص
		بهار	پاییز	بهار	پاییز	
آب فوق اشباع بوده و تمایل به رسوب CaCO_3 دارد	$LSI > 0$	۹	۹	۱۴/۲۹	۱۴/۲۹	لانزلیه (LSI)
آب خنثی می‌باشد	$LSI = 0$	۱	-	۱/۵۹	-	
آب تحت اشباع بوده و پتانسیل تجزیه CaCO_3 را دارد	$LSI < 0$	۵۳	۵۴	۸۴/۱۲	۸۵/۷۱	رایزنر (RSI)
آب فوق اشباع بوده و تمایل به رسوب CaCO_3 دارد	$RSI < 6$	-	-	-	-	
آب خنثی می‌باشد	$6 < RSI < 7$	-	۱	-	۱/۵۹	لارسون-اسکلد (LS)
آب تحت اشباع بوده و پتانسیل تجزیه CaCO_3 را دارد	$RSI > 7$	۶۳	۶۲	۱۰۰	۹۸/۴۱	
آب خاصیت خوردگی ندارد	$LSI < 0.8$	۳۵	۶۲	۵۵/۵۶	۹۸/۴۱	نسبت خوردگی (CR)
آب خورنده است	$0.8 < LSI < 1.2$	۲۱	۱	۳۳/۳۳	۱/۵۹	
آب خاصیت خوردگی بالایی دارد	$LSI > 1.2$	۷	-	۱۱/۱۱	-	نسبت خوردگی (CR)
انتقال آب با هر نوع لوله بدون مانع است	$CR < 1$	۵۷	۶۲	۹۰/۴۸	۹۸/۴۱	
انتقال آب با لوله فلزی مجاز نیست	$CR > 1$	۶	۱	۹/۵۲	۱/۵۹	

جدول ۴: مقادیر p-value آزمون T زوجی برای شاخص‌های محاسبه شده در فصل بهار و پاییز

نام شاخص	رایزنر (RSI)	لارسون-اسکلد (LS)	لارسون-اسکلد (LS)	نسبت خوردگی (CR)
مقدار p-value	۰/۱۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور ارزیابی پتانسیل خوردگی و ترسیب در چاه‌های آب شرب شهر گرگان در دو فصل بهار و پاییز انجام شد. وجود اختلاف آماری در ۸ پارامتر فیزیکی-شیمیایی در دو فصل بهار و پاییز باعث تنوع تیپ و رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی در این دو فصل شده‌است. به‌طوریکه در فصل بهار به ترتیب سه تیپ شیمیایی Ca-HCO_3 ، Ca-Cl و Na-Cl مشاهده شد. اما در فصل پاییز به چهار رخساره Ca-HCO_3 ، Mg-HCO_3 ، Ca-HCO_3 و Na-Cl تغییر کرده‌است. اگرچه تیپ غالب آب زیرزمینی در هر دو فصل بهار و پاییز بی‌کربنات کلسیم است. همچنین براساس نمودار مثلثی تجمع بیشتر نمونه‌ها در داخل مثلث‌های است که دارای غنی از کلسیم و بی‌کربنات هستند. پراکندگی مکانی پارامترهای فیزیکی-شیمیایی نشان داد که غلظت بیشتر پارامترها در جهت حرکت آب زیرزمینی به سمت شمال و خصوصا در محدوده شهر گرگان به دلیل واکنش آب-سنگ، تغذیه آب زیرزمینی توسط پساب‌های شهری و در برخی مناطق نفوذ آب شور لایه‌های تحتانی به بیشترین مقدار خود رسیده‌است. افزایش میزان غلظت یون‌های آب زیرزمینی خصوصا کلسیم و منیزیم در جهت حرکت آب زیرزمینی به سمت شمال منطقه مورد مطالعه باعث شده‌است که میزان سختی کل و سختی ناشی از کلسیم در جهت حرکت آب زیرزمینی افزایش یابد. به‌طور کلی آب زیرزمینی شهر گرگان در رده سخت تا خیلی سخت قرار می‌گیرد. همچنین تغییرات سختی کل در هر دو فصل بهار و پاییز تقریباً مشابه است. برخلاف طبقه‌بندی براساس سختی کل، نتایج حاصل از طبقه‌بندی براساس کلسیم نشان

داد که تغییرات نسبتاً جزئی در فصل بهار و پاییز دیده می‌شود. براساس شاخص‌های لانزلیه و رایزنر بیشتر منابع آبی دارای خاصیت خورنده هستند و آب آن‌ها پتانسیل تجزیه CaCO_3 را دارد. این امر با توجه به هم‌جواری اکثر منابع آبی با منطقه تغذیه آب زیرزمینی بدیهی بنظر می‌رسد. با توجه به نقشه پراکنش این شاخص‌ها در محدوده مورد مطالعه، خاصیت خورنده بودن آب در جهت حرکت آب زیرزمینی (به سمت شمال) کاهش چشمگیری داشته و بر خاصیت ترسیب آب افزوده می‌شود. این نتیجه با توجه به افزایش میزان املاح آب زیرزمینی در جهت شمال خصوصا در مناطق شهری به دلیل ورود املاح ناشی از پساب‌های شهری تصفیه نشده و احتمالاً ورود جزئی آب شور لایه‌های همخوانی دارد.

نتایج حاصل از طبقه‌بندی آب منابع آب زیرزمینی شهر گرگان براساس شاخص لارسون-اسکلد تا حدودی با نتایج دو شاخص قبل (لانزلیه و رایزنر) متفاوت می‌باشد. به‌طوریکه در حدود ۵۵ درصد از چاه‌های در فصل بهار خاصیت خوردگی ندارند و بقیه چاه‌ها دارای خاصیت خوردگی تا خوردگی بالا هستند. اما این وضعیت در فصل پاییز تغییر کرده و از خاصیت خوردگی چاه‌ها کاهش می‌یابد و بر خاصیت رسوبگذار بودن آن‌ها افزوده می‌شود. به‌طوریکه بیش از ۹۸ درصد چاه‌ها در این فصل خاصیت خوردگی ندارند. نتایج آزمون تی جفت شده نشان از وجود اختلاف آماری شاخص‌های نسبت خوردگی، لارسون-اسکلد و لانزلیه در دو فصل بهار و پاییز دارد. اما برای شاخص رایزنر اختلاف آماری در دو فصل بهار و پاییز مشاهده نشد.

قسمتی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان "بررسی هیدروژئوشیمی و آلودگی آبخوان شهر گرگان" و حمایت مالی دانشگاه گنبدکاووس می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: مجتبی قره‌محمودلو
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: مجتبی قره‌محمودلو، نادر جندقی، مصطفی رقیمی
نظارت و نگارش نهایی: مجتبی قره‌محمودلو، علی حشمت‌پور، حسن مازنی

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Faridirad F, Gholinezhad M. Investigating corrosion and scaling Indices of potable water in city of Pardis water treatment plant. *Journal of Water & Wastewater Science and Engineering*. 2021; 6(3): 16-24. [In Persian]
2. Refait P, Jeannin M, Sabot R, Antony H, Pineau S. (2015). Corrosion and cathodic protection of carbon steel in the tidal zone: Products, mechanisms and kinetics. *Corrosion Science*. 2021; 90: 375-382.
3. Palazzo A, van der Merwe J, Combrink G. The accuracy of calcium-carbonate-based saturation indices in predicting the corrosivity of hot brackish water towards mild steel. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015; 115 (12):1229-1238.
4. Vasconcelos HC, Fernández-Pérez BM, González S, Souto RM, Santana JJ. Characterization of the corrosive action of mineral waters from thermal sources: a case study at Azores Archipelago, Portugal. *Water*. 2015; 7 (7): 3515-3530.
5. Reyes, A., Letelier, M., Delaiglesia, R., Gonzalez, B. Lagos, G. (2008). Microbiologically induced corrosion of copper pipes in low-pH water. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 61, 135-141.
6. Ghareh Mahmoodlu, M., Jandaghi, N., Sayadi, M. Investigating the factors affecting corrosion and precipitation changes along Gorganroud River, Golestan Province, *Environmental Science Quarterly*. 2021; 19 (2): 71-90 [In Persian].
7. Fazel Valipour ME. Evaluation of underground water resources southwest of Qochan (Razavi Khorasan Province) for drinking and industrial purposes based on quality indicators. *New Approaches in Civil Engineering*. 2021; 5(3): 68-81. [In Persian].
8. Omeka ME, Egbueri JC, Unigwe CO. Investigating the hydrogeochemistry, corrosivity and scaling tendencies of groundwater in an agrarian area (Nigeria) using graphical, indexical and statistical modelling. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022; 15 (13): p.1233.
9. Sarkar B, Islam A, Das BC, Nandy S. Corrosion and scaling potential of groundwater in Quaternary aquifers of Bengal Basin, India. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022; 15 (12): p.1152.
10. Nabizadeh Nodehi R, Mesdaghinia AR, Nasser S, Hadi M, Soleimani H, Bahmani P. Analysis of water corrosion tendency in water supply system using qualitative

با توجه به مقادیر محاسبه شده برای این نسبت خوردگی در فصل بهار و پاییز به ترتیب ۹۰ و ۹۸ درصد از منابع آب زیرزمینی شهر گرگان دارای نسبت خوردگی کمتر از یک می‌باشد. از این‌رو انتقال آب بیشتر چاه‌ها با هر نوع لوله‌های فلزی امکان‌پذیر می‌باشد. اما برای انتقال آب باقی مانده چاه‌ها می‌بایست از لوله‌هایی با استحکام و مقاومت بالا استفاده شود و انتقال آب آن‌ها به وسیله لوله‌های فلزی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

بدین وسیله از شرکت آب و فاضلاب شهر گرگان به منظور در اختیار گذاشتن آمار کیفی چاه‌ها تشکر و قدردانی می‌شود. این مقاله حاصل

- indices and calcium carbonate precipitation potential index. Iranian Journal of Health and Environment. 2017; 9 (4): 457-470. [In Persian]
11. Hoseinzadeh E, Yusefzadeh A, Rahimi N, Khorsandi H. Evaluation of corrosion and scaling potential of a water treatment plant. Archives of Hygiene Sciences. 2013; 2 (2): 41-47.
 12. Raghimi M, Rahimi Chakdel A, Ghareh Mahmoodlu M, Shahpasandzadeh M, Khademi SM. The effects of geological factors on chemical quality of drinking water of Gorgan, Iran, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 2008; 15(1): 1-13. [In Persian]
 13. Mazani H. Investigation of hydrogeochemistry and contamination of Gorgan aquifer. MSc Thesis, Gonbad Kavous University. 2022. [In Persian]
 14. Ghezelsifloo E, Raghimi M, Mahmoodlu MG, Rahimi-Chakdel A, Khademi SMS. Saltwater intrusion in drinking water wells of Kordkuy, Iran: an integrated quantitative and graphical study. Environmental Earth Sciences. 2021; 80 (16): p.520.
 15. Izanloo S, Ghareh Mahmoodlu M, Jandaghi N, Ghorbani Vaghei H. Evaluation of Saturated Hydraulic Conductivity Changes in Surface and Subsurface Layers of Loess Soils of East of Golestan Province, Applied Soil Research. 2022; 10(2): 103-119. [In Persian]
 16. Durvey VS, Sharma LL, Saini VP, Sharma BK. Handbook on the Methodology of Water Quality Assessment. Rajasthan Agriculture University, India. 1991.
 17. Bhat MA, Wani AS, Vijay K, Jyotirmaya S, Dinesh T, Sanswal R. An overview of the assessment of groundwater quality for irrigation. Journal of Agricultural Science and Food Research. 2018; 9 (1): 1-9.
 18. You SH, Tseng DH, Guo GL. A case study on the wastewater reclamation and reuse in the semiconductor industry. Resources, Conservation and Recycling. 2001; 32: 73-81.
 19. Marangou V S, Savvides K. First desalination plant in Cyprus-product water aggressivity and corrosion control. Desalination. 2001; 138 (1-3): 251-258.

Research Paper

Applying project management knowledge and hybrid algorithm in predicting the time and cost of completing dam projects

Reza Bakhshi¹, Sina Fard Moradinia^{*1,2}, Rasool Jani^{1,2}, Ramin Vafaei Poor Sorkhabi^{1,2}

1. Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2. Robotics and Soft Technologies Research Center, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Received: 2022/12/10

Revised: 2023/01/16

Accepted: 2024/01/05

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2024.31317.2374](https://doi.org/10.30495/wej.2024.31317.2374)

Keywords:

Hybrid algorithm, EDAC, Kalman filter, Cost prediction, Dam construction

Abstract

Introduction: Precisely predicting the time and cost of completing projects is vital because the lack of a proper estimation will be accompanied by an irrational upsurge in the exact execution costs compared to the set budget. Using the earned value method (EVM) to predict the time and cost of projects is prevalent. However, using this method alone highlights good accuracy in predicting time and cost of projects. Consequently, models based on EVM were developed.

Methods: The present article was developed using the EVM method and hybrid algorithms to predict the time and cost of completing projects. To attain this goal, the data from four dams, A, B, C, and D, were used to build models, and the data of the under-construction dam E were used to validate the models resulting from the modeling stage. To this end, the parameters earned schedule (Month), earned value (\$), actual progress (%), and actual cost (%) are used as inputs for predicting time and for predicting cost, as well as these parameters, time is also defined as input of hybrid algorithms.

Findings: Comparing the consequences of the hybrid algorithms in the training and test stage designates the high accuracy of the LSSVM-PSO model compared to the LSSVM-GA. The low variance in the error values of these two stages for this model suggests its high generalization ability on unseen data. The use of these hybrid models in forecasting the time for the E dam gave a prior warning for the delay in the completion of the project in the first month. Likewise, in cost predicting, the LSSVM-PSO and LSSVM-GA models issued an early warning in the seventh and ninth months, respectively, for the non-conformity of the project cost with the planned cost. This is while the Kalman filter stated the primary warning to predict the project's completion time in the seventh month, and this model gave no warning regarding the planned cost. Comparing these results with the periodical reports of the E dam construction project designates the excellent performance of hybrid models, particularly the LSSVM-PSO model.

Citation: Reza Bakhshi, Sina Fard Moradinia, Rasool Jani, Ramin Vafaei Poor Sorkhabi. Applying project management knowledge and hybrid algorithm in predicting the time and cost of completing dam projects. Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (61): 65- 85.

Corresponding author: Sina Fard Moradinia

Address: 1. Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

2. Robotics and Soft Technologies Research Center, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Tell: +989143142619, <https://orcid.org/0000-0003-3539-7311>

Email: fardmoradinia@iaut.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

It is hard to complete a project on time with a planned cost. Project monitoring and control include project progress processes so that potential problems are recognized over time and, if indispensable, operations are considered to resolve them. To this end, it is essential to frequently measure and evaluate the project performance and determine its variance from the planned baseline. The primary prediction before the start of the project is considered the basic plan for completing the project in the indicated time and budget. From the time the project starts, the project performance is assessed in line with time and cost compared to the initial plan. The challenges in construction projects have obliged project managers to use techniques and models to control and predict their cost and time. According to this forecast, the project manager determines that the project needs minor alteration or significant adjustment and problem-solving. Though, advanced techniques are not used for this aim. This leads to not correctly forecasting the cost and completion time of the projects and, as a result, inappropriate control of the project. Consequently, numerous researchers have used statistical analysis methods such as multiple regression, methods based on probabilities such as Monte Carlo simulation, and methods based on artificial intelligence.

Materials and Methods

To carry out this study, information on four dam projects' timing and costs built in different regions of Iran was collected. Because of the confidentiality of their information, these dams were named A, B, C, and D. These dams have a total of 383 data points that were considered for the training of intelligent hybrid models and 306 data points (80% of the total data) were considered for the training stage and 77 data points (20% of the total data) for the hybrids model test. Data from another dam (dam E) will also validate the models. Fifteen months have passed since the construction of the E dam began, and the progress report for the

fifteenth month has been submitted. Consequently, there are 15 data points available for this dam. Based on the plan and preliminary design presented, the complete construction of this dam will take about 31 months and cost about 590,146.82 dollars. Accompanied by LSSVM-GA and LSSVM-COA hybrid models, the Kalman filter will also be used to forecast the completion time and cost of the E project. To apply these models, it is essential to calculate the obtained value indices for the collected data.

Findings

Cumulative distribution functions (CDFs) have been used in the article to designate the input and output data (time and cost forecast). CFD for Earned Schedule (ES) is about 22% for $ES < 6.6$ and about 53% for $6.6 < ES < 37.8$, 28% for $EV < 209323$, and about 56% for $209323 < EV < 14020973$ and for the rest of the data this value, $EV > 14020973$ is about 16%. The CFD value for Time (t) as $t < 14$ is about 14%, and for $14 < t < 85$, it is about 54%, and for the rest of the data, this value for $t > 85$ is about 32%. The value of CFD for Cost Ratio (CR) as $CR < 0.039$ is about 18%, and for $0.039 < CR < 0.666$, it is about 65%, and for the rest of the data, this value of $ES > 0.666$ is about 17%. Regarding this analysis, CFDs are usually distributed for four variables ES, EV, t, and CR.

The CFD value for Actual Progress (AP) in the form of $AP < 0.0027$ is about 33%, and for $0.0027 < AP < 0.037$, it is about 60%, and for the rest of the data, this value $AP > 0.037$ is about 7%. The value of CFD for Actual Cost (AC) as $AC < 0.0015$ is about 35%, and for $0.0015 < AC < 0.058$, it is about 79%, and for the rest of the data, this value $AC > 0.058$ is about 4%. According to this analysis, CFDs are not generally distributed for these two parameters.

Discussion

To do modeling, first, the type of kernel function must be determined for the LSSVM algorithm. Applying simple LSSVM with diverse kernel functions based on the RMSE criterion disclosed that LSSVM with RBF kernel function has higher accuracy in estimating cost ratio and EDAC than other

kernel functions. On the other hand, it can be understood that the error of models with RBF and MLP kernel functions is meaningfully less than models with Polynomial and Linear kernel functions. This shows that there is a complex nonlinear relationship between inputs and outputs.

By setting the controllable parameters of PSO and GA optimization algorithms and applying hybrid LSSVM with these algorithms on the training data, it was shown that both optimization algorithms converged to the solution in less than 50 iterations. The cross-diagram evaluation of LSSVM-PSO and LSSVM-GA algorithms revealed that both models have high performance in the training and testing stages. The results attained by applying these algorithms to the validation data also have good accuracy. However, the dispersion of data points in this stage is more than in the training and test stages. Comparing the RMSE values for LSSVM-PSO and LSSVM-GA algorithms in estimating the completion time of projects by stages designates that the error of LSSVM-PSO in all three stages of training, testing, and validation is lower than LSSVM-GA. Furthermore, the slight difference between the error values in this model's two training and testing stages compared to LSSVM-GA shows the ability to generalize this model to other projects or unseen data. The higher accuracy of the LSSVM-PSO model compared to LSSVM-GA in the validation stage approves this claim.

The predicted EDAC profile based on LSSVM-PSO and LSSVM-GA hybrid models for the validation data (E dam project) indicated that the lower limit values predicted by both algorithms are more than planned. This shows that the project did not proceed according to the plan in the first month. Examining the reports of this project has also designated the same. Both algorithms mutually cover the project's completion time of 52 to 62 months from its initiation. Indeed, the output value of LSSVM-PSO and LSSVM-GA models show the project completion time as 57 and 59 months, respectively.

Scrutinizing the distribution of data points in the cross diagram of the actual and predicted cost ratio values of LSSVM-PSO and LSSVM-

GA hybrid models for training, testing, and validation stages revealed that both models perform well in target parameter prediction. However, the LSSVM-GA model performed better in the test phase. The comparison of the error values of these models by stages shows that the LSSVM-PSO model has a better performance than the other model. The slight variance between the error values of the training and testing stages in the LSSVM-PSO model compared to the LSSVM-GA model is indicative of the ability to generalize the model to other projects, and the excellent performance of this model in the validation stage confirms this statement. The projected cost profile for the E dam construction project based on EDAC was calculated with the help of LSSVM-PSO and LSSVM-GA models. Regarding the lower error of the LSSVM-PSO model compared to the LSSVM-GA model in these two stages, the range of changes between the lower and upper limits is smaller. Based on these calculations, the LSSVM-PSO model has issued an initial warning in the seventh month for the project cost to be far from the planned cost. This is while the results of the LSSVM-GA model issued this initial warning in the ninth month. The continuance of the forecasting process likewise reveals that the tools used by the project manager could not issue this initial warning to revise the operational plan. According to the construction reports review of this dam, the managers have confirmed the increase in the costs of the termination of the operation in the 13th month since the beginning of the project.

The probability profile of EDAC and the cost obtained from the Kalman model for project E disclosed that regarding this model's output, the project's completion time up to the fifth month from the start time was according to the plan. Nonetheless, over time, the predicted completion time is significantly different from the planned time for the project, so in the seventh month, the model issues an initial warning for taking more time to complete the project than the planned time. The output of the Kalman model for the cost of completing the project is in line with the planned cost, but from the tenth month onwards, the cost projected by the model gradually deviates from the

planned cost. This model has not issued any warning for irretrievable deviation of the project completion cost from the planned cost.

Conclusion

The current study used LSSVM-PSO and LSSVM-GA hybrid algorithms to predict project completion time and cost. The data from four built dams were used to develop these models. These data were divided into training data (80% of the total data) and test data (20% of the total data). The data of another dam, whose progress report was submitted until the 15th month, was used to validate the developed models. Next, the Kalman filter was used for the validation data to evaluate the hybrid models in time and cost prediction.

Using hybrid algorithms revealed that they have good accuracy in the model training and testing phase to predict the time and cost of completing the projects. Likewise, the low difference between the LSSVM-PSO model in these two stages indicated the high generalizability of this model compared to the LSSVM-GA model, which was confirmed by the excellent performance of this model in the validation stage. Regarding the results of applying these two models on the E dam for EDAC, it was found that the LSSVM-PSO and LSSVM-GA models predicted the impossibility of completing the project within the planned period by announcing the early warning in the first month. This finding is in line with the periodic reports recorded for this project. The result of applying these two models for cost prediction also disclosed the better performance of the LSSVM-PSO model in the training and test stages. The low error variance between the training and test stages also showed the high generalization capability of this model compared to the LSSVM-GA model on unseen data. Applying these models to the E dam data strongly confirmed this claim. The early warning for the deviation of the project completion cost from the planned cost for the E dam in the LSSVM-PSO and LSSVM-GA models was issued in the seventh and ninth months, respectively. Based on the output of the

LSSVM-PSO and LSSVM-GA model, the completion time of the E dam project is predicted to be 57 and 59 months, respectively, and the completion cost is 1014000 and 1054000 dollars, respectively. In the meantime, the result of applying the Kalman filter in the time prediction on the validation data announces the initial warning for schedule delay in the seventh month. However, it does not announce a warning for increasing the project cost more than the planned program's cost. The Kalman model predicts the completion time and cost of the E dam project in the 15th month as 52 months and 623 thousand dollars, respectively.

Comparing the hybrid models with the Kalman model discloses that the hybrid models have more acceptable results with the periodic reports provided for the E project due to the training based on several dams' data. Unquestionably, it should be noted that regarding the delays that were used in several projects in the training phase of hybrid models, the resulting models are very conservative. This is while the Kalman model was developed only based on the project's limited data and past trends. Consequently, using hybrid models, particularly LSSVM-PSO, is exceedingly recommended to predict the time and cost of project completion.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بکارگیری دانش مدیریت پروژه و الگوریتم هیبریدی در پیش‌بینی زمان و هزینه تکمیل پروژه‌های سدسازی

رضا بخشی^۱، سینا فرد مرادی نیا^{۲*}، رسول جانی^۳، رامین وفائی‌پور سرخابی^۴
 ۱- گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
 ۲- مرکز تحقیقات رباتیک و فناوری‌های نرم، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده

مقدمه: یکی از وظایف مدیر پروژه، کنترل پروژه با استفاده از دو فاکتور زمان و هزینه می‌باشد. این دو اهرم از مهمترین کلیدهای کنترلی پروژه به منظور استفاده بهینه از منابع می‌باشد.

روش: در این تحقیق روش جدیدی با بکارگیری ارزش کسب شده و الگوریتم‌های هیبریدی برای پیش‌بینی زمان و هزینه تکمیل پروژه‌های سدسازی توسعه داده شد. برای این منظور گزارشات مالی و زمان‌بندی پنج سد A، B، C، D و E گردآوری شدند. ارزش کسب شده، پیشرفت واقعی، برنامه کسب شده و هزینه واقعی برای هر ماه از گزارشات این سدها استخراج شد. سپس از پارامترهای چهار سد (A تا D) به عنوان ورودی در توسعه مدل‌هایی برای پیش‌بینی زمان با استفاده از الگوریتم حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان (LSSVM) و تلفیق شده با الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و ژنتیک (GA) استفاده گردید.

یافته‌ها: مقایسه نتایج حاصل از این مدل‌های در مرحله آموزش نشان داد که الگوریتم LSSVM-PSO از دقت بالاتری برخوردار است. در ادامه برای توسعه مدل پیش‌بینی‌کننده هزینه با استفاده از الگوریتم‌های هیبریدی علاوه بر پارامترهای ورودی استفاده شده در مرحله، زمان پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها نیز به عنوان ورودی الگوریتم‌ها تعریف شد. مقایسه نتایج این مرحله نیز نشان داد که الگوریتم LSSVM-PSO از دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. در ادامه برای اعتبارسنجی مدل‌های توسعه داده شده، این مدل‌ها برای پیش‌بینی زمان و هزینه در پروژه ساخت سد E استفاده شد. نتایج نشان داد که الگوریتم LSSVM-PSO نسبت به سایر الگوریتم‌های هیبریدی از دقت بالاتری در تخمین زمان اتمام پروژه برخوردار است که نشان دهنده قابلیت تعمیم بالای این مدل برای پیش‌بینی زمان سایر پروژه‌های ساخت سد است. این در حالی است که برخلاف انتظار این مدل از دقت کمتری در پیش‌بینی هزینه اتمام پروژه ساخت سد E نسبت به مدل MLP-PSO برخوردار است که نشان می‌دهد پیش‌بینی هزینه از پیچیدگی بالاتری برخوردار است و بکارگیری مدل‌ها در این مسئله بایستی با احتیاط بیشتری صورت گیرد. برای ارزیابی بیشتر نتایج مدل‌های هیبریدی از روش احتمالاتی فیلتر کالمن نیز برای پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه استفاده شد که نتایج آن حاکی از دقت بالاتر مدل‌های حاصل از الگوریتم‌های هیبریدی است.

نتیجه‌گیری: مدل LSSVM-PSO می‌تواند با دقت بالاتری نسبت به روش‌های مرسوم به پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه بپردازد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹

تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2024.31317.2374](https://doi.org/10.30495/wej.2024.31317.2374)

واژه‌های کلیدی:

الگوریتم هیبریدی، ارزش کسب شده، پیش‌بینی هزینه، سدسازی

* نویسنده مسئول: سینا فرد مرادی نیا

نشانی: ۱- گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ایران.

۲- مرکز تحقیقات رباتیک و فناوری‌های نرم، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

تلفن: ۰۹۱۴۳۱۴۲۶۱۹

پست الکترونیکی: fardmoradnia@iaut.ac.ir

مقدمه

تکمیل یک پروژه در زمان‌بندی مناسب با هزینه برنامه‌ریزی شده بسیار دشوار است و این امر مستلزم استفاده از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده دقیق و بروزرسانی زمان‌بندی با پیشرفت پروژه است. وجود هر گونه خطا در پیش‌بینی اولیه زمان تکمیل پروژه می‌تواند بودجه انجام پروژه را تحت شعاع قرار دهد. برای این منظور لازم است عملکرد پروژه به صورت منظم اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گیرد و واریانس آن از خط مبنای برنامه‌ریزی شده مشخص گردد. پیش‌بینی اولیه قبل از آغاز پروژه به عنوان طرح مینا برای تکمیل پروژه در زمان و بودجه مشخص لحاظ می‌شود و از زمان شروع پروژه، عملکرد پروژه به لحاظ زمانی و هزینه نسبت به طرح اولیه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

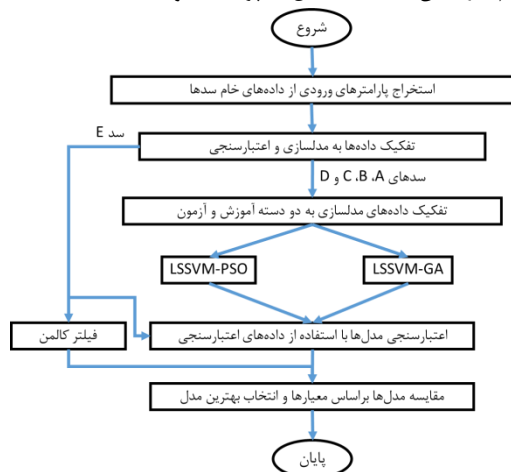
چالش‌های موجود در پروژه‌های ساخت و ساز، مدیران پروژه‌ها را مجبور به استفاده از تکنیک‌ها و مدل‌هایی برای کنترل و پیش‌بینی هزینه و زمان آن‌ها نموده است. براساس این پیش‌بینی، مدیر پروژه تعیین می‌کند که پروژه نیاز به اصلاح جزئی دارد یا نیاز به اصلاح اساسی و حل مشکلات دارد [۱]. محققان بسیاری به استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل آماری نظیر رگرسیون چندگانه، روش‌های مبتنی بر احتمالات مانند شبیه‌سازی مونت کارلو و روش‌های هوش مصنوعی روی آورده‌اند. تداوم در این پژوهش‌ها و ارائه مدل‌های جدید نشان می‌دهد که هنوز به یک مدل جامع و با دقت مناسب که برای کارفرما و پیمانکار رضایت بخش باشد حاصل نشده است. در جدول ۱ به برخی از تحقیقات انجام گرفته اشاره شده است.

جدول ۱- مطالعات انجام شده برای پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه

محققین	روش مورد استفاده	شاخص‌های پیش‌بینی	نوع پیش‌بینی
آتالا و هگز [۲]	شبکه‌های عصبی و رگرسیون	متغیرهای محیطی	هزینه ساختمان
کیم و همکاران [۳]	روش رگرسیونی، شبکه‌های عصبی و استنتاج مبتنی بر مورد	ویژگی‌های ساختمان	هزینه ساختمان
ویلموت و می [۴]	شبکه‌های عصبی	مختصات برنامه اولیه پروژه	هزینه اتوبان
کیم و رینشمیت [۵]	فیلتر کالمن و روش بیزین	شاخص‌های ارزش کسب شده	زمان پروژه با داده‌های مصنوعی
سونمز [۶]	شبکه‌های عصبی	متغیرهای مربوط به ساختمان، مکان و شرایط ساخت وساز	هزینه ساختمان
وانگ و همکاران [۷]	ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی	۶۴ متغیر مربوط به وضعیت ابتدایی پروژه	احتمال موفقیت هزینه و زمان ساختمان
چنگ و همکاران [۸]	ماشین بردار پشتیبان، منطق فازی و الگوریتم ژنتیک	شاخص‌های ارزش کسب شده	هزینه ساختمان
واترز و وانگوک [۹]	روش رگرسیون بردار پشتیبان	شاخص‌های ارزش کسب شده	زمان و هزینه
کیم [۱۰]	روش بیزین	شاخص‌های ارزش کسب شده	هزینه پروژه
مرتاجی و همکاران [۱۱]	تحلیل نقطه تغییر	شاخص‌های ارزش کسب شده	زمان و هزینه پروژه
اخباری [۱۲]	شبیه‌سازی مونت کارلو و شبکه عصبی	شاخص‌های ارزش کسب شده	زمان و هزینه پروژه با داده‌های مصنوعی
جیانگ [۱۳]	شبکه عصبی پسرو به همراه انتخاب ویژگی	۶ متغیر از وضعیت ابتدایی پروژه	هزینه پروژه
نجفی و همکاران [۱۴]	اعداد خاکستری	شاخص‌های ارزش کسب شده	زمان و هزینه پروژه
سلطان و اشرفی [۱۵]	روش‌های آماری	شاخص‌های ارزش کسب شده	زمان و هزینه پروژه
خلف و همکاران [۱۶]	الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات	۸ متغیر مربوط به وضعیت ابتدایی پروژه	زمان و هزینه پروژه

کاهش ریسک تخمین زمان و هزینه پروژه	بکارگیری مفهوم طبقه‌بند	تصمیم‌گیری چند معیاره	اسدآبادی و زویکیل [۱۷]
زمان و هزینه پروژه	شاخص‌های ارزش کسب شده	شبکه عصبی پرسپترون چند لایه هیبریدی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری	بخشی و همکاران [۱۸]

E بهره برده خواهد شد. در ادامه به تشریح آماده‌سازی داده‌ها و الگوریتم‌های هیبریدی مورد استفاده در این مطالعه، مطابق با روش انجام کار نشان داده شده شکل ۱، پرداخته خواهد شد.



شکل ۱- فرآیند انجام مطالعه.

آماده‌سازی داده‌ها

برای مدل‌سازی زمان اتمام پروژه از ورودی‌های ارزش کسب شده (EVM)، پیشرفت واقعی، برنامه‌ریزی کسب شده (ESM) و هزینه واقعی استفاده خواهد شد. بنابراین برای اطلاعات گردآوری شده از عملیات ساخت پروژه‌های سد، بصورت ماهانه این داده‌ها استخراج شدند. پیشرفت و هزینه واقعی مورد استفاده در این مطالعه بصورت درصدی از زمان و هزینه برنامه‌ریزی شده اولیه در نظر گرفته شده است.

روش زمان‌بندی کسب شده روی سه متغیر عملکردی پایه- ارزش کسب شده (EV)، هزینه واقعی (AC) و ارزش برنامه‌ریزی شده (PV)، به منظور ارزیابی اینکه پروژه کجاست و کجا قرار بوده باشد- تکیه دارد. با استفاده از این متغیرها کارایی یک پروژه از نظر شاخص عملکرد زمان‌بندی ($SPI=EV/PV$) و شاخص عملکرد هزینه ($GPI=EV/AC$) اندازه‌گیری می‌شود. پیش‌بینی ارزش کسب شده براساس این اصل بنیادی است که عملکرد گذشته، بهترین شاخص در دسترس برای قضاوت در مورد عملکرد آینده پروژه است. برای نمونه، زمانی که کارایی آینده مشابه کارایی گذشته در نظر گرفته شود، تخمین در زمان تکمیل ($EAC(t)$) با مشخص بودن بودجه در زمان اتمام (BAC) و کارایی هزینه گزارش شده در زمان t ، به صورت رابطه ذیل محاسبه می‌شود [۲۳-۲۴-۲۵]:

ارزیابی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در پژوهش‌های اندکی به پیش‌بینی همزمان زمان و هزینه اتمام پروژه پرداخته شده است. علاوه بر این مقایسه روش‌های آماری و هوش مصنوعی در پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه‌ها، حاکی از دقت بالای مدل‌های هوشمند است. از میان روش‌های هوشمند، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. هیبرید این الگوریتم‌ها با الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری در سایر مطالعات نشان داده است که استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری به عنوان الگوریتم‌های آموزش دهنده موجب بهبود دقت مدل‌های نهایی می‌گردد [۱۹-۲۰-۲۱]. بخشی و همکاران [۱۸] از مدل‌های هیبریدی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات برای پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه استفاده کردند و نشان دادند که هیبرید الگوریتم‌های پیش‌بینی کننده و بهینه‌سازی می‌تواند عملکرد آن‌ها را در فرآیند پیش‌بینی بهبود ببخشد. براین اساس، در این مطالعه از هیبرید حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان ($LSSVM^1$) با الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO^2) و ژنتیک (GA^3) برای پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه‌های سدسازی با بکارگیری شاخص‌های ارزش کسب شده استفاده خواهد شد که براساس دانش ما تاکنون برای پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه بکار نرفته است. بنابراین می‌توان گفت نوآوری تحقیق در استفاده از مدل هیبریدی LSSVM-PSO و LSSVM-GA در پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه است [۲۲].

روش انجام مطالعه

به منظور انجام این مطالعه اطلاعات مربوط به زمان‌بندی و هزینه‌های انجام پروژه‌های چهار سد ساخته شده در نواحی مختلف ایران گردآوری شد که به دلیل محرمانه بودن اطلاعات آن‌ها، این سدها A, B, C و D نامگذاری شدند. این سدها در مجموع دارای ۳۸۳ نقطه داده هستند که برای آموزش مدل‌های هیبریدی هوشمند در نظر گرفته شدند و از این تعداد ۳۰۶ نقطه داده (۸۰٪ کل داده) برای مرحله آموزش و ۷۷ نقطه داده (۲۰٪ کل داده) برای آزمون مدل‌های هیبریدی لحاظ شدند. از داده‌های سد دیگر (یعنی سد E) نیز برای اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده خواهد شد. از شروع عملیات احداث سد E پانزده ماه می‌گذرد و گزارش پیشرفت ماه پانزدهم آن ارائه شده است؛ بنابراین تعداد ۱۵ نقطه داده برای این سد موجود است. براساس برنامه و طرح اولیه ارائه شده احداث کامل این سد حدود ۳۱ ماه زمان و در حدود ۵۹۰۱۴۶/۸۲ دلار هزینه دربر خواهد داشت. در این مطالعه برای اعتبارسنجی نتایج مدل‌های هیبریدی، از فیلتر کالمن نیز برای پیش‌بینی زمان و هزینه تکمیل پروژه

³ Genetic Algorithm

¹ Least Square Support Vector Machine

² Particle Swarm Optimization

که در آن z_k بردار مشاهدات، H ماتریس مشاهدات و v_k بردار نوفه مشاهدات است که فرض می‌شود دارای توزیع گاوسی با میانگین صفر و کوواریانس R ، یعنی $v_k \sim \mathcal{N}(0, R)$ باشد.

حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان

ماشین‌های بردار پشتیبان ابزارهای محاسباتی قدرتمند برای یادگیری نظارت شده هستند که برای حل مسائل طبقه‌بندی و تخمین توابع غیرخطی توسط سوپکین و وندل‌وال معرفی شده‌اند [۳۰]. روش بردار پشتیبان برای رگرسیون به منظور حل یک مسئله بهینه‌سازی محدب، بلخص یک مسئله برنامه‌ریزی کوادراتیک، فرموله شده است. این امر در نتیجه بکارگیری تابع ε -insensitive loss و پنینک حاصل می‌شود که در آن، مسئله بهینه‌سازی به عنوان نامعادله مقید فرموله و در شرایط Mercer به منظور ارتباط فضای ویژگی‌های غیرخطی نگاشت شده به تابع کرنل انتخاب شده، بهره‌برداری می‌شود. یکی از معایب رگرسیون بردار پشتیبان هزینه محاسباتی بالای آن به دلیل حل یک مسئله برنامه‌ریزی کوادراتیک است. معرفی نسخه حداقل مربعات رگرسیون بردار پشتیبان یک پیشرفت بزرگ برای رفع این عیب بوده است. در واقع، در این نسخه نیاز به حل یک سیستم خطی به جای مسئله برنامه‌ریزی کوادراتیک در رگرسیون بردار پشتیبان استاندارد است.

با در نظر گرفتن یک دیتاست آموزش $\{x_i, y_i\}, i = 1, 2, \dots, N$ ، که در آن داده‌های ورودی دارای n بعد $x_i \in R^n$ و داده خروجی یک بعدی $y_i \in R$ ، در یک الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان، رگرسیونی از فرمول بردارهای ماشین پشتیبان به صورت رابطه (۶) شکل می‌گیرد.

$$y = w^T \phi(x) + b \quad (6)$$

که در آن w بردار وزن، b ترم بایاس و $\phi(x)$ تابع کرنلی است داده‌های ورودی را به فضای ویژگی با ابعاد بالاتر نگاشت می‌کند. تابع کرنل می‌تواند خطی، چند جمله‌ای، تابع شعاعی پایه و پرسپترون چند لایه باشد. تابع هزینه C نیز به صورت رابطه (۷) کمینه‌سازی می‌شود.

$$\min C(w, e) = \frac{1}{2} w^T w + \frac{1}{2} \gamma \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (7)$$

$$\text{Subject to: } y = w^T \phi(x) + b + e_i$$

در اینجا γ پارامتر تنظیم است که برای بدست آوردن مدلی با دقت بالا نیاز است مقدار بهینه آن تعیین شود. این پارامتر بین کاهش خطای یادگیری و صافی سازش ایجاد می‌کند. این بهینه‌سازی معمولاً با الگوریتم لاگرانژین فرموله شده به شکل رابطه (۸) حل می‌شود.

$$L(w, b, e, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + \gamma \sum_{i=1}^N e_i^2 - \sum_{i=1}^N \alpha_i \{w^T \phi(x) + b + e_i - y_i\} \quad (8)$$

$$EAC(t) = BAC/CPI(t) \quad (1)$$

روش ارزش برنامه‌ریزی روی ماتریس عملکردی، مشابه ارزش کسب شده، تکیه دارد؛ اما برنامه‌ریزی کسب شده روی واریانس برنامه‌ریزی روی بعد زمان بجای بعد ارزش منحنی پیشرفت تجمعی تمرکز دارد. ارزش برنامه‌ریزی در زمان t ($ES(t)$) به عنوان زمان برنامه‌ریزی شده برای تکمیل ارزش حاصل شده ($EV(t)$) گزارش شده در زمان t گزارش‌گیری تعریف می‌شود. با مشخص بودن منحنی ارزش برنامه‌ریزی شده ($PV(t)$) و ارزش کسب شده ($EV(t)$) در زمان t ، $ES(t)$ با رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۲۳-۲۴-۲۵]:

$$PV(ES(t)) = EV(t) \quad \text{or} \quad ES(t) = PV[EV(t)]^{-1} \quad (2)$$

زمان تخمینی در اتمام پروژه ($EDAC(t)$) پیش‌بینی شده در زمان t ، براساس ترم مدت برنامه‌ریزی شده پروژه (PD) و برنامه‌ریزی کسب شده در زمان t محاسبه می‌شود (رابطه (۳)) [۲۳].

$$EDAC(t) = t + \frac{PD - ES(t)}{ES(t)/t} = \frac{PD}{ES(t)/t} \quad (3)$$

الگوریتم‌های پیش‌بینی‌کننده

به دلیل دقت بالا، سرعت بالای حل مسئله و همچنین مصرف کمتر منابع محاسباتی [۲۶] الگوریتم حداقل مربعات خطا ماشین بردار پشتیبان، در این تحقیق از این الگوریتم پیش‌بینی‌کننده استفاده خواهد شد. البته برای ارزیابی نتایج این روش‌ها از فیلتر کالمن نیز بهره برده خواهد شد. در ادامه به تشریح هر یک از این الگوریتم‌ها پرداخته خواهد شد.

فیلتر کالمن

فیلتر کالمن یک الگوریتم بازگشتی است که برای تخمین وضعیت حقیقی، اما پنهان سیستم دینامیکی در حضور مشاهدات نوفه‌دار استفاده می‌شود. فیلتر کالمن فرم نسبتاً ساده‌ای دارد و نیازمند قدرت محاسباتی کوچکی است. از اینرو به صورت گسترده در مسائل پیش‌بینی و کنترل مورد استفاده قرار گرفته است [۲۷].

فیلتر کالمن برای تخمین حالت‌ها^۴ مبتنی بر سیستم‌های دینامیکی خطی در فرمت فضای حالت استفاده می‌شود. فرآیند مدل ارزیابی حالت از زمان $k-1$ تا زمان k به صورت ذیل تعریف می‌شود [۲۸]:

$$x_k = Fx_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \quad (4)$$

که در آن F ماتریس انتقال حالت است که روی بردار حالت قبلی، یعنی x_{k-1} اعمال می‌شود و B ماتریس کنترل ورودی است که روی بردار کنترل u_{k-1} اعمال می‌شود و w_{k-1} بردار نوفه فرآیند است که فرض می‌شود دارای توزیع گاوسی با میانگین صفر و کوواریانس Q ، یعنی $w_{k-1} \sim \mathcal{N}(0, Q)$ است.

رابطه بین حالت و مشاهدات در گام فعلی زمان با جفت شدن مدل فرآیند با مدل مشاهدات به صورت رابطه (۵) توصیف می‌شود [۲۹].

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (5)$$

4 states

طبیعی توسعه داده شده‌اند. این الگوریتم‌ها بر روی ساختارهای رشته‌ای، مانند ساختارهای بیولوژیکی، عمل می‌کنند که با گذر زمان مطابق قواعد بقای بهترین‌ها با استفاده از نرخ تغییر ساختار اطلاعات تصادفی تغییر می‌یابند. از اینرو، در هر نسل، یک رشته جدید با استفاده از بخشی از مناسب‌ترین اعضای مجموعه قدیمی ایجاد می‌شود.

الگوریتم ژنتیک همانند سایر الگوریتم‌های تاملی با ایجاد یک جمعیت اولیه از کروموزم‌ها که به صورت تصادفی تولید شده‌اند آغاز می‌شود. سپس این کروموزم‌ها با تابع هدف ارزیابی می‌شوند و به عنوان کروموزم‌های والدین براساس مقدار تابع هزینه‌ای که دارند در فرآیند تولید مثل شرکت می‌کنند. شانس کروموزم‌هایی که دارای مقدار هزینه کمتری هستند نسبت به سایر کروموزم‌ها بیشتر است. در ادامه از عملگر جهش برای ترکیب جواب‌های فعلی استفاده می‌شود. با توجه به ماهیت تصادفی این عملگر احتمال گیر افتادن در نقاط بهینه محلی را به حداقل می‌رساند. استفاده از نخبه‌گرایی می‌تواند تضمین نماید که با اعمال این فرآیند بهترین جمعیت بعدی حداقل به خوبی جمعیت فعلی خواهد بود [۳۲].

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) یکی از مهم‌ترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند در حوزه هوش ازدحامی است که توسط کندی و ابرهات ارائه شد. این الگوریتم متاهیورستیک برای بهینه‌سازی توابع پیوسته غیرخطی مناسب است [۳۳]. در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات اعضای جمعیت به صورت مستقیم با هم در ارتباط هستند و از طریق اشتراک اطلاعات با یکدیگر و یادآوری بهترین جواب خود، به حل مسئله می‌پردازند [۲۰].

هدف الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات تعیین موقعیت مکانی است که به ازای آن تابع هزینه دارای کمترین مقدار است. این الگوریتم متشکل از تعدادی ذرات است که هر کدام دارای پنج ویژگی سرعت (V)، موقعیت (x)، هزینه، بهترین موقعیت (Pb) و کمترین هزینه هستند. در اولین تکرار، سرعت و موقعیت هر ذره به صورت تصادفی تعیین و براساس موقعیت آن، مقدار هزینه مشخص می‌شود. هزینه بدست آمده در تکرار اول به عنوان کمترین هزینه و موقعیت فعلی هر ذره به عنوان بهترین موقعیت آن در نظر گرفته می‌شوند. براساس مقایسه کمترین هزینه هر ذره با سایر ذرات، بهترین موقعیتی (G_B) که دارای کمترین هزینه در اجتماع ذرات است مشخص می‌شود. در تکرار بعدی (t+1) سرعت ذره نام براساس موقعیت، سرعت و بهترین موقعیت خود و همچنین بهترین موقعیت اجتماع در تکرار قبلی (t) با استفاده از رابطه (۱۷) تعیین می‌شود.

$$V_i(t+1) = wV_i(t) + c_1r_1(Pb_i(t) - x_i(t)) + c_2r_2(G_B(t) - x_i(t)) \quad (17)$$

در این رابطه: w وزنی است که به عنوان اینرسی شناخته شده و برای تنظیم سرعت ذرات در هر تکرار استفاده می‌شود. c1 و c2 بترتیب ضریب یادگیری فردی و اجتماعی هستند و، r_1 و r_2 اعداد تصادفی یکنواخت در بازه [۰، ۱] می‌باشند [۳۳].

که در آن α_i ضرب لاگرانژی هستند که می‌توانند مثبت یا منفی باشند. این‌ها با محدودیت‌های برابری کاهن-تاکلر که در روابط (۹) تا (۱۴) لیست شده‌اند تعیین می‌شوند [۳۱].

$$\frac{\partial L}{\partial w} = 0 \rightarrow w = \sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi(x_i) \quad (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial b} = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^N \alpha_i = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial L}{\partial e_i} = 0 \rightarrow \alpha_i = \gamma e_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha_i} = 0 \rightarrow w^T \varphi(x_i) + b + e_i - \gamma = \gamma e_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (12)$$

بنابراین بردار وزن به صورت زیر حاصل خواهد شد:

$$w = \sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi(x_i) = \sum_{i=1}^N \gamma e_i \varphi(x_i) \quad (13)$$

وزن‌ها به عنوان ترکیب‌های خطی از مضارب لاگرانژی برای داده‌های ورودی آموزش تعریف می‌شوند جایگذاری رابطه (۱۳) در رابطه (۶)، منجر به ایجاد رابطه (۱۴) می‌شود که در آن $K(x_i, x)$ تابع کرنل می‌باشد. عملکرد حداقل مربعات رگرسیون بردار پشتیبان بسیار وابسته به تابع کرنل مورد استفاده و مقادیر هابیر پارامترها است [۲۰].

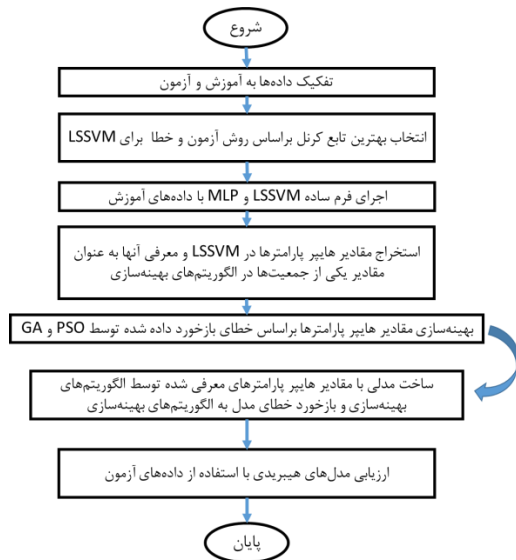
$$y = \sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi(x_i)^T \varphi(x) + b = \sum_{i=1}^N \alpha_i K(x_i, x) + b \quad (14)$$

الگوریتم‌های بهینه‌سازی

الگوریتم‌های بهینه‌سازی را می‌توان به دو دسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی طبقه‌بندی نمود. هرچند الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت کارایی لازم را ندارند. در اینگونه مسائل استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرابتکاری از دسته الگوریتم‌های تقریبی نشان داده است که می‌تواند از دقت و کارایی بالایی برخوردار باشد. در این مطالعه، به دلیل نیاز به تنظیمات کمتر، راحتی پیاده‌سازی و همچنین کارایی بالای محاسباتی الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات [۳۱] از این الگوریتم برای آموزش الگوریتم حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان بهره برده خواهد شد. برای قیاس نتایج این هیبریدسازی، الگوریتم حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان با الگوریتم ژنتیک، که یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی است، نیز هیبرید خواهد شد. در ادامه به تشریح هر یک از این الگوریتم پرداخته خواهد شد.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک الگوریتم‌های جستجوی تصادفی هستند که براساس تلاش‌های انجام شده برای کپی مکانیزم انتخاب و ژنتیک



شکل ۲- نحوه تعیین مقادیر بهینه هایپر پارامترهای الگوریتم‌های پیش‌بینی کننده با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری

نتایج

برای انجام مدلسازی هوشمند به منظوره پیش‌بینی زمان و هزینه تکمیل پروژه، ابتدا براساس داده‌های خام مربوط به زمان‌بندی و هزینه‌های انجام شده در هر ماه، پارامترهای زمان‌بندی کسب شده (ماه)، ارزش کسب شده (دلار)، پیشرفت واقعی (٪)، هزینه واقعی (٪)، زمان (ماه) و نسبت هزینه محاسبه شدند. در جداول ۲ و ۳ برخی شاخص‌های آماری توصیفی برای پارامترهای ورودی و هدف به ترتیب برای پیش‌بینی زمان و هزینه با الگوریتم‌های هیبریدی ارائه شده است. با توجه به ناهمگونی مقیاس و واحد پارامترهای ورودی، این داده‌ها با استفاده از رابطه (۱۹) بین صفر و یک نرمالایز شدند. البته بجای هزینه در این مطالعه از نسبت هزینه- که نسبت هزینه انجام شده تجمعی تا ماه مورد محاسبه به مقدار هزینه لازم برای اتمام پروژه در ماه‌های آتی براساس برنامه اولیه می‌باشد- استفاده شد.

$$X_n = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (19)$$

در این رابطه X_n مقدار نرمالایز شده، X مقدار اندازه‌گیری شده یا محاسبه شده و X_{max} و X_{min} به ترتیب مقادیر کمینه و بیشینه پارامتر مورد بررسی هستند.

موقعیت جدید ذره در تکرار فعلی به اندازه سرعت جدید از موقعیت در تکرار قبلی فاصله خواهد داشت. این فرآیند در رابطه (۱۸) به وضوح نشان داده شده است.

$$x_i(t+1) = x_i(t) + V_i(t+1) \quad (18)$$

براساس موقعیت جدید، هزینه برای هر ذره مجدد محاسبه و با مقایسه هزینه جدید با کمترین هزینه خود، در صورتی که کمترین هزینه بیشتر از هزینه در تکرار فعلی باشد مقدار کمترین هزینه و بهترین موقعیت ذره بروزرسانی خواهد شد. همزمان با اعمال این عملیات هزینه فعلی هر ذره نیز با کمترین هزینه اجتماع در تکرار قبلی مقایسه خواهد شد و در صورتی که مقدار هزینه فعلی ذره کمتر از هزینه اجتماع باشد مقدار بهترین موقعیت اجتماع نیز به روزرسانی خواهد شد. این عملیات تا رسیدن به شرط خاتمه ادامه می‌یابد.

هیبرید الگوریتم‌های بهینه‌ساز و پیش‌بینی کننده

علاوه بر، تعیین نوع تابع کرنل مناسب در LSSVM، اختصاص مقادیر مناسب به هایپر پارامترها نیز عملکرد آن‌ها را به شدت تحت شعاع قرار می‌دهد. بنابراین همراه با تعیین نوع تابع کرنل مناسب، لازم است مقادیر بهینه‌ای به هایپر پارامترها تخصیص داده شود. از طرفی مطالعات انجام شده در مقایسه الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلاسیک و متاهوریستیک نشان داد که الگوریتم‌های متاهوریستیک از قدرت بالایی در دست‌یابی به جواب بهینه در مسائل غیرخطی و پیچیده برخوردارند. بنابراین از الگوریتم‌های متاهوریستیک GA، PSO و برای بهینه‌سازی مقادیر هایپر پارامترها استفاده خواهد شد.

در این مطالعه ابتدا، نوع تابع کرنل LSSVM براساس روش سعی و خطا تعیین خواهد شد. براین اساس تعداد هایپر پارامترها یا به عبارتی تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری در الگوریتم‌های بهینه‌سازی مشخص می‌شود. در هر تکرار، الگوریتم‌های بهینه‌سازی مقادیری را برای هایپر پارامترها تعیین خواهند کرد. براساس مقادیر تعیین شده، مدلسازی با داده‌های آموزش انجام می‌شود. با مقایسه خروجی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده خطا محاسبه می‌شود. این مقدار خطا به الگوریتم متاهوریستیک بازخورد داده می‌شود تا براساس تابع هدف تعریف شده (کمینه‌سازی خطا) مقادیر هایپر پارامترها در تکرار بعدی بهبود یابد. این حلقه تا محقق شدن شرط خاتمه در جریان است. براساس مقادیر هایپر پارامترها در آخرین تکرار، مدل ایجاد شده و با داده‌های آزمون مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. شکل ۲. Error! Reference source not found. نحوه هیبرید الگوریتم‌های بهینه‌سازی با الگوریتم‌های پیش‌بینی کننده را در قالب فلوجارت نشان می‌دهد.

جدول ۲- توصیف آماری متغیرهای ورودی برای پیش بینی زمان.

ویژگی هدف	ویژگی‌های ورودی				شاخص آماری
	زمان	هزینه واقعی	پیشرفت واقعی	ارزش کسب شده	
T	AC	AP	EV	ES	علائم
ماه	درصد	درصد	دلار	ماه	واحد
۶۳/۴۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۵/۴۹ میلیون	۲۴/۲۸	میانگین
۴۴/۵۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۸/۵۴ میلیون	۲۱/۶۴	انحراف استاندارد
۱/۰۰	۰	۰	۰	۰/۰۳	کمینه
۱۶۷/۰۰	۰/۳۰	۰/۱۶	۳۲/۱۰ میلیون	۸۱/۲۹	بیشینه
۰/۵۲۷۰	۷/۱۲۳۴	۳/۶۸۶۲	۱/۶۰۳۰	۰/۹۸۵۰	چولگی
-۰/۷۸۷۹	۷۴/۲۸۴۴	۱۷/۶۵۰۴	۱/۲۷۳۱	-۰/۲۱۱۵	کشیدگی

جدول ۳- توصیف آماری متغیرهای ورودی برای پیش بینی هزینه.

ویژگی هدف	ویژگی‌های ورودی				شاخص آماری
	نسبت هزینه	زمان	هزینه واقعی	پیشرفت واقعی	
CR	T	AC	AP	EV	ES
-	ماه	درصد	درصد	دلار	ماه
۰/۳۴	۶۳/۴۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۵/۴۹ میلیون	۲۴/۲۸
۰/۳۴	۴۴/۵۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۸/۵۴ میلیون	۲۱/۶۴
۰	۱/۰۰	۰	۰	۰	۰/۰۳
۱/۴۰	۱۶۷/۰۰	۰/۳۰	۰/۱۶	۳۲/۱۰ میلیون	۸۱/۲۹
۱/۲۱۰۰	۰/۵۲۷۰	۷/۱۲۳۴	۳/۶۸۶۲	۱/۶۰۳۰	۰/۹۸۵۰
۰/۷۹۰۰	-۰/۷۸۷۹	۷۴/۲۸۴۴	۱۷/۶۵۰۴	۱/۲۷۳۱	-۰/۲۱۱۵

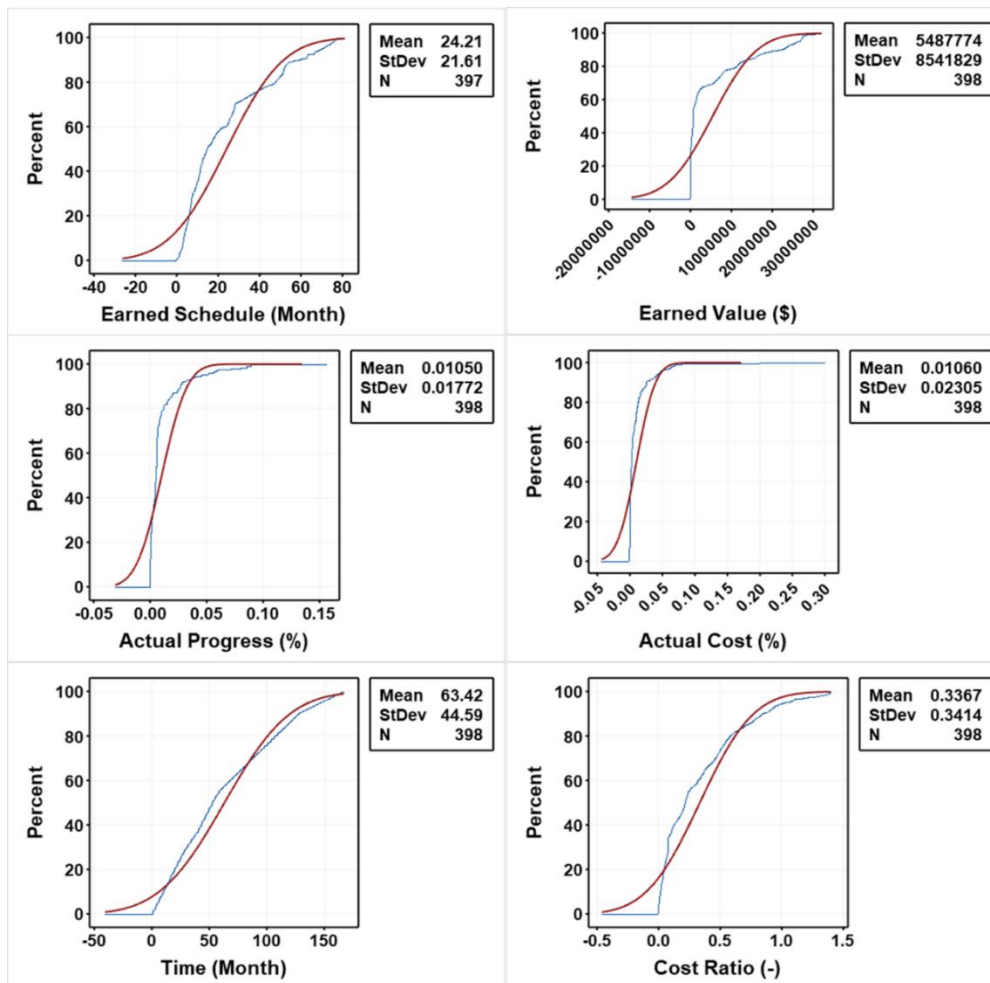
تابع توزیع تجمعی برای زمان به صورت $t < 14$ حدود ۱۴٪ و برای $t < 85$ حدود ۳۲٪ می‌باشد. مقدار تابع توزیع تجمعی برای نسبت هزینه به صورت $CR < 0.039$ حدود ۱۸٪ و برای $CR < 0.666$ حدود ۶۵٪ و برای باقیماندهی داده‌ها، این مقدار $CR > 0.666$ در حدود ۱۷٪ می‌باشد. براساس شکل ۳ میزان تابع توزیع تجمعی برای چهار پارامتر متغیر شامل برنامه کسب شده، ارزش کسب شده، زمان و نسبت هزینه به طور نرمال توزیع می‌شوند.

مقدار تابع توزیع تجمعی برای پیشرفت واقعی به صورت $AP < 0.0027$ حدود ۳۳٪ و برای $AP\% < 0.037$ حدود ۶۰٪ و برای باقیماندهی داده‌ها این مقدار $AP\% > 0.037$ در حدود ۷٪ می‌باشد. مقدار تابع توزیع تجمعی برای هزینه واقعی به صورت $AC\% < 0.0015$ حدود ۳۵٪ و برای $AC\% < 0.058$ حدود ۷۹٪ و برای باقیماندهی داده‌ها این مقدار $AC\% > 0.058$ در حدود ۴٪ می‌باشد. براساس شکل ۴ میزان تابع توزیع تجمعی برای این دو پارامتر به طور نرمال توزیع نمی‌شوند.

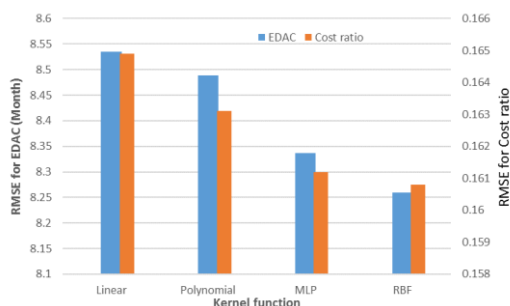
به منظور توصیف داده‌های ورودی و خروجی (پیش‌بینی زمان و هزینه) در مقاله از توابع توزیع تجمعی استفاده شده است. در شکل ۳ نمودار توزیع ۳۹۸ مجموعه داده ورودی و خروجی استفاده شده در این مقاله نشان داده شده است. مقدار تابع توزیع تجمعی با استفاده از رابطه (۲۰) محاسبه شد.

$$F_X(x) = P(X \leq x), \text{ for all } x \in R \quad (20)$$

در این رابطه x دامنه مقدار متغیر داده؛ X مقدار متغیر x در یک رکورد داده خاص و R مجموعه داده سوابق داده‌ها می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود در شکل ۳، مقدار تابع توزیع تجمعی برای برنامه کسب شده به صورت $ES < 6.6$ حدود ۲۲٪ و برای $ES < 37.8$ حدود ۵۳٪ و برای باقیماندهی داده‌ها این مقدار $ES > 37.8$ در حدود ۱۵٪ می‌باشد. مقدار تابع توزیع تجمعی برای ارزش کسب شده به صورت $EV < 209323$ حدود ۲۸٪ و برای $EV < 14020973$ حدود ۵۶٪ و برای باقیماندهی داده‌ها این مقدار $EV > 14020973$ در حدود ۱۶٪ می‌باشد. مقدار



شکل ۳- تابع توزیع تجمعی متغیرهای ورودی و مقادیر خروجی برای پیش‌بینی هزینه و زمان: برنامه کسب شده، ارزش کسب شده، پیشرفت واقعی، هزینه واقعی، زمان و نسبت هزینه (خط آبی) و برای توزیع‌های طبیعی که با میانگین صفر و انحراف معیار یک تعریف می‌شوند (خط قرمز).



شکل ۴- مقایسه عملکرد LSSVM ساده با توابع کرنل مختلف در تخمین EDAC و Cost ratio براساس RMSE

با توجه به مشخص شدن نوع تابع کرنل در الگوریتم LSSVM، الگوریتم PSO و GA بایستی مقادیر بهینه γ و σ^2 را، با هدف کمینه‌سازی خطای بین مقادیر پیش‌بینی و واقعی، مشخص نمایند. بنابراین تعداد متغیرهای تصمیم در این الگوریتم‌های بهینه‌سازی برابر دو خواهد بود. پارامتر γ برای افزایش عملکرد مدل روی داده‌های آموزش و کاهش پیچیدگی

برای انجام مدلسازی لازم است ابتدای کار، نوع تابع کرنل مشخص گردد. بدین منظور الگوریتم LSSVM با توابع کرنل مختلف به صورت جداگانه برای ساخت مدل با استفاده از داده‌های مدلسازی بکار برده شد. در شکل ۴ عملکرد LSSVM ساده با توابع کرنل مختلف براساس معیار RMSE نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود LSSVM با تابع کرنل RBF نسبت به سایر توابع کرنل از دقت بالاتری در تخمین EDAC و cost ratio برخوردار است. از طرفی مشاهده می‌شود که خطای مدل‌هایی با توابع کرنل RBF و MLP نسبت به مدل‌هایی با توابع کرنل Linear و Polynomial بصورت چشمگیری کمتر است. این امر نشان می‌دهد که رابطه غیرخطی پیچیده‌ای بین ورودی‌های و خروجی‌های وجود دارد.

اعتبارسنجی در تخمین زمان اتمام پروژه برای مدل‌های LSSVM-PSO و LSSVM-GA در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود هر دو مدل در مراحل آموزش و آزمون از عملکرد بالایی برخوردار بوده‌اند. به نظر می‌رسد نتایج حاصل از اعمال این الگوریتم‌ها روی داده‌های اعتبارسنجی نیز از دقت خوبی برخوردار باشد هرچند پراکندگی نقاط داده در این مرحله نسبت به مراحل آموزش و آزمون بیشتر است. مقایسه مقادیر کمی معیارهای ارزیابی برای الگوریتم‌های LSSVM-PSO و LSSVM-GA در تخمین زمان اتمام پروژه‌ها به تفکیک دیتاست‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود خطای LSSVM-PSO در هر سه مرحله آموزش، آزمون و اعتبارسنجی نسبت به LSSVM-GA کمتر است. علاوه بر این، اختلاف کم مقادیر خطا در دو مرحله آموزش و آزمون این مدل نسبت به LSSVM-GA، نشان دهنده قابلیت تعمیم این مدل بر روی سایر پروژه‌ها یا داده‌های دیده نشده است. دقت بالاتر مدل LSSVM-PSO نسبت به LSSVM-GA در مرحله اعتبارسنجی تأیید کننده این ادعا است.

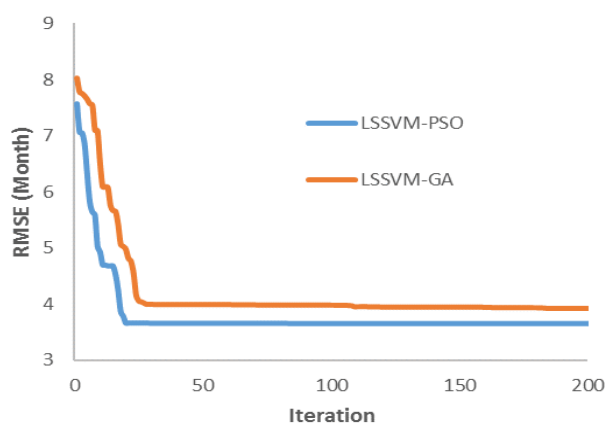
مدل استفاده می‌شود. مقدار بالا برای این پارامتر نشان دهنده little regularization است که منجر به حصول یک مدل غیرخطی تر خواهد شد. پارامتر σ^2 روی تعداد همسایگی‌ها در مدل تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، مقدار بالای این پارامتر به معنی همسایه‌های بیشتر در مدل است از اینرو یک مدل غیرخطی تر بدست خواهد آمد. بنابراین عملکرد و رفتار مدل بسیار وابسته به مقادیر این پارامترها است.

برای تنظیم پارامترهای قابل کنترل در الگوریتم PSO و GA از روش آزمون و خطا استفاده شد. در جدول ۴ نتایج تحلیل حساسیت روی پارامترهای قابل تنظیم این الگوریتم‌ها نشان داده شده است. تعداد تکرارهای الگوریتم‌ها برابر ۲۰۰ در نظر گرفته شد؛ هرچند بررسی‌ها نشان داد که در تکرارهای کمتر الگوریتم‌ها به جواب بهینه همگرا می‌شوند.

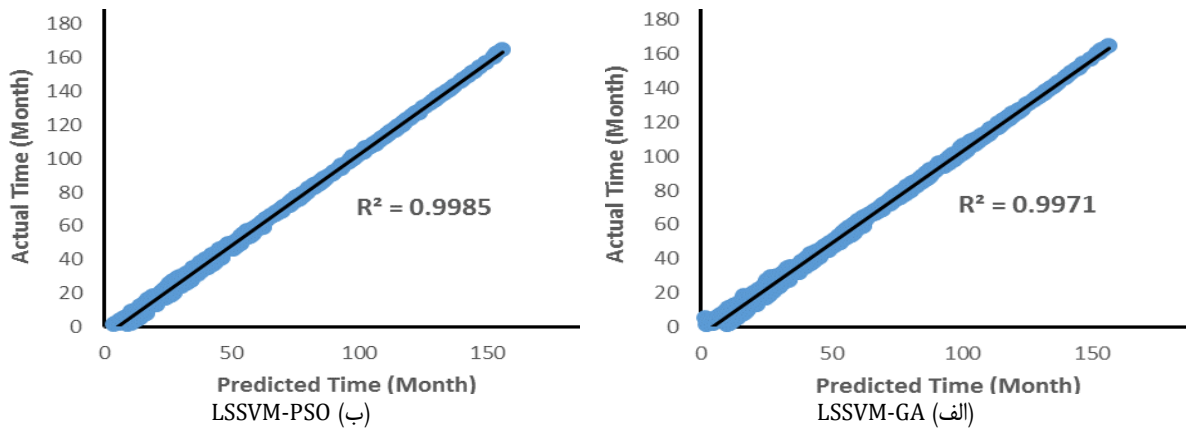
در شکل ۵ روند کاهش خطا در تکرارهای مختلف این الگوریتم‌ها برای تخمین زمان اتمام پروژه در مرحله آموزش نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود هر دو الگوریتم در تعداد تکرارهای کمتر از ۵۰ به جواب همگرا شده است. نمودارهای متقاطع مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی برای مراحل آموزش، آزمون و

جدول ۴- مقادیر پارامترهای کنترلی الگوریتم‌های بهینه‌سازی GA و PSO برای تخمین زمان و هزینه پروژه‌ها

مقادیر پارامترهای قابل کنترل الگوریتم‌های بهینه‌سازی به تفکیک الگوریتم	پارامترها	الگوریتم بهینه‌سازی
LSSVM		
۱۰۰	اندازه ازدحام	الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)
۲/۰۵	ضریب یادگیری فردی	
۲/۰۵	ضریب یادگیری جمعی	
۰/۹۷	ضریب اطلاقکاک	
۱۱۰	جمعیت	الگوریتم ژنتیک (GA)
چرخ رولت	روش انتخاب	
یکنواخت (p = 1)	تقاطع	
یکنواخت (p=0.07)	جهش	
۰/۱۰	نرخ جهش	
۲	فشار انتخاب	



شکل ۵- نمودار تغییرات خطا در تکرارهای مختلف برای الگوریتم‌های LSSVM-GA و LSSVM-PSO



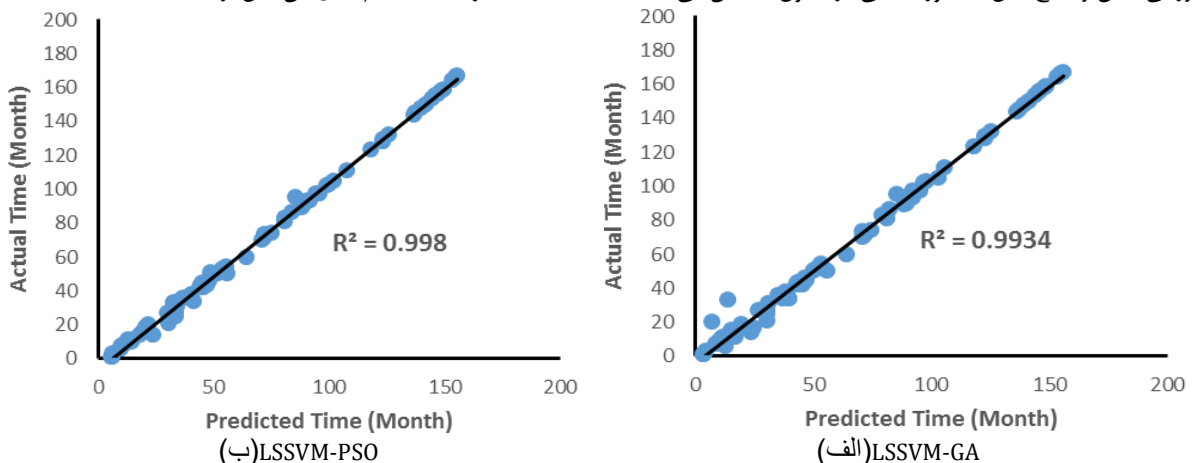
شکل ۶- نمودارهای متقاطع مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی در تخمین زمان اتمام پروژه برای الگوریتم‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA، در مرحله آموزش

جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله آموزش براساس معیارهای مختلف در تخمین زمان اتمام پروژه‌ها

نام مدل	APD (%)	AAPD (%)	SD	RMSE	R-square
LSSVM-PSO	-۱۸/۱۸۵۶	۲۰/۲۸۷۸	۳/۶۴۳۸	۳/۶۶۱۴	۰/۹۹۸۵
LSSVM-GA	-۱۶/۰۳۰۱	۱۹/۱۳۳۱	۳/۹۲۴۹	۳/۹۲۰۳	۰/۹۹۷۱

در مرحله آزمون نیز مدل‌های هیبریدی LSSVM-PSO نسبت به نوع متناظرش LSSVM-GA از دقت بالاتری برخوردار بودند. این امر نشان می‌دهد الگوریتم LSSVM-PSO از توانایی بالاتری در مدل‌سازی مسائل غیرخطی و پیچیده دارا است. الگوریتم هیبریدی LSSVM-PSO نسبت به LSSVM-GA در این مرحله نیز از دقت بالاتری برخوردار است که حکایت از قابلیت تعمیم بالای این مدل دارد.

نتایج بکارگیری مدل‌های آموزش دیده برای پیش‌بینی زمان اتمام پروژه بر روی داده‌های آزمون در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود نقاط داده در مدل‌های هیبریدی مربوط به الگوریتم LSSVM-PSO از پراکندگی کمتری نسبت به LSSVM-GA برخوردار هست و تمامی آن‌ها نزدیک به خط برازش شده قرار دارند؛ بررسی دقیق‌تر نتایج مدل‌ها بصورت کمی در جدول ۶ نشان می‌دهد

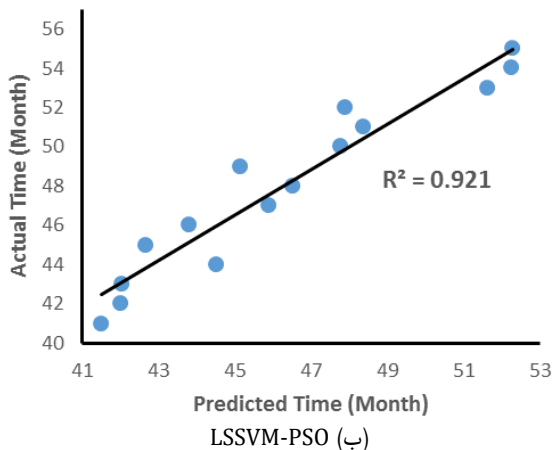


شکل ۷- نمودارهای متقاطع مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی در تخمین زمان اتمام پروژه برای الگوریتم‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله آزمون

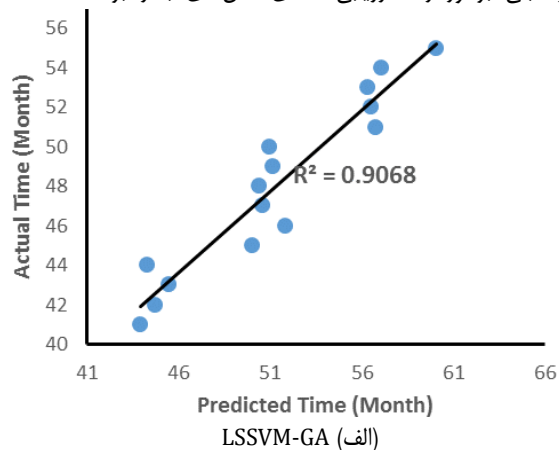
جدول ۶- نتایج ارزیابی مدل‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله آزمون براساس معیارهای مختلف در تخمین زمان اتمام پروژه‌ها

نام مدل	APD (%)	AAPD (%)	SD	RMSE	R-square
LSSVM-PSO	-۲۲/۸۶۰۹	۲۶/۲۱۳۳	۵/۲۴۳۶	۵/۲۱۱۴	۰/۹۹۸۰
LSSVM-GA	-۱۲/۹۴۷۳	۱۹/۹۲۲۸	۵/۷۸۵۶	۵/۹۰۰۳	۰/۹۹۳۴

بصورت کمی در جدول ۷ ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود مدل هیبریدی LSSVM-PSO نسبت به مدل هیبریدی LSSVM-GA از خطای کمتری برخوردار هست که نشان دهنده قابلیت تعمیم بالاتر این مدل دارد.



در شکل ۸ نمودارهای متقاطع زمان پیش‌بینی شده برای اتمام پروژه با زمان واقعی برای اتمام آن برای داده‌های اعتبارسنجی (سد E) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود همه مدل‌ها از ضریب تعیین بالایی در پیش‌بینی زمان اتمام پروژه برای داده‌های اعتبارسنجی برخوردارند. ارزیابی خطای مدل‌های بکار برده شده



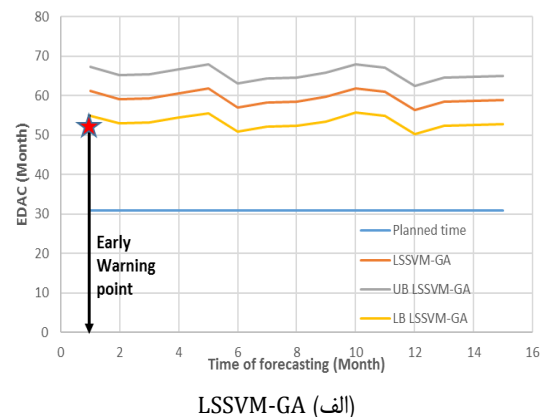
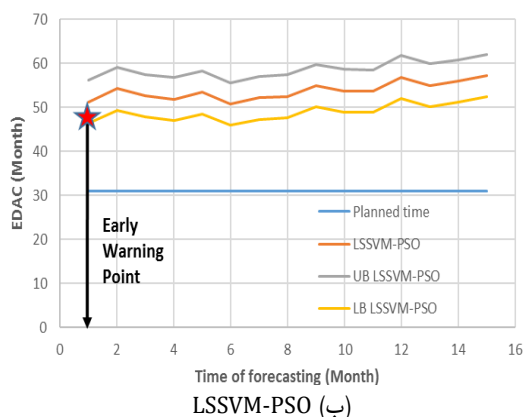
شکل ۸- نمودارهای متقاطع مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی در تخمین زمان اتمام پروژه برای الگوریتم‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله اعتبارسنجی

جدول ۷- نتایج ارزیابی مدل‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله اعتبارسنجی براساس معیارهای مختلف در تخمین زمان اتمام پروژه‌ها

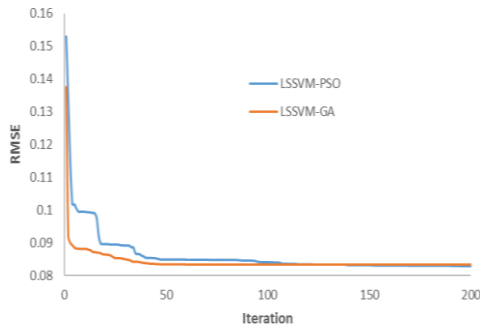
R-square	RMSE	SD	AAPD (%)	APD (%)	نام مدل
۰/۹۲۱۰	۲/۹۳۸۲	۱/۹۶۳۶	۵/۰۹۰۴	۴/۴۲۸۸	LSSVM-PSO
۰/۹۰۶۸	۳/۷۲۳۷	۱/۶۴۹۴	۶/۹۸۴۶	-۶/۹۸۴۶	LSSVM-GA

در این شکل مشاهده می‌شود مقادیر LB پیش‌بینی شده با همه مدل‌ها بیشتر از برنامه‌ریزی شده می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که پروژه در ماه اول طبق برنامه پیش‌نرفته است. مقدار خروجی مدل‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA و به ترتیب زمان خاتمه پروژه را برابر ۵۷ و ۵۹ ماه نشان می‌دهند.

در شکل ۹ پرو فایل EDAC پیش‌بینی شده براساس مدل‌های هیبریدی LSSVM-PSO، LSSVM-GA برای داده‌های اعتبارسنجی (پروژه سد E) نشان داده شده است. در این شکل بازه تغییرات EDAC بین مرز پایین (LB) و بالا (UB) براساس خطایی که هر دو مدل در مرحله آموزش و آزمون مدل داشته‌اند در نظر گرفته شده است. همانطور که

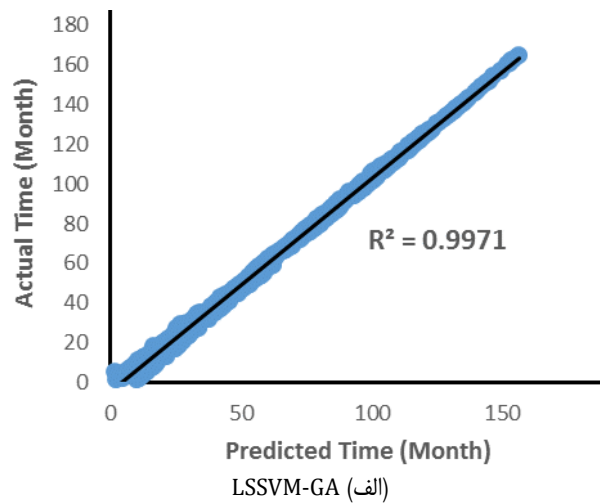
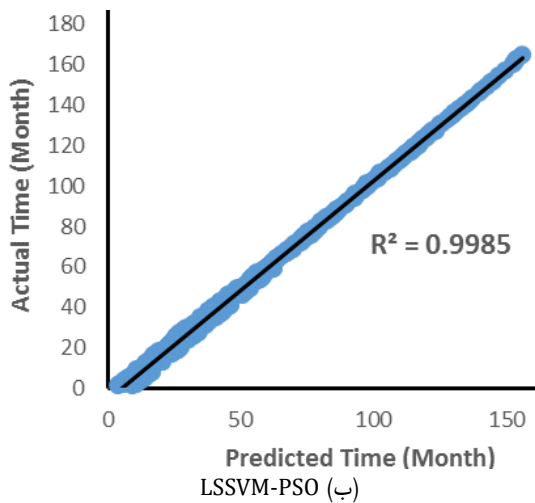


شکل ۹- پرو فایل EDAC براساس مدل‌های هیبریدی برای پروژه ساخت سد E



شکل ۱۰- نمودار تغییرات خطا در تکرارهای مختلف برای الگوریتم‌های LSSVM-GA و LSSVM-PSO

تغییرات خطا در تکرارهای مختلف الگوریتم‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در پیش‌بینی نسبت هزینه برای مرحله آموزش در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای الگوریتم LSSVM تقریباً در تکرار حدود ۱۲۰ با مقدار خطای کمتری نسبت به الگوریتم‌های مشابه همگرا می‌شوند. نمودارهای متقاطع مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده نسبت هزینه برای مدل‌های هیبریدی بکار برده شده در مرحله آموزش در شکل ۱۱ نشان داده شده است. بررسی پراکندگی نقاط داده در همه این مدل‌ها نشان از عملکرد خوب مدل‌های هیبریدی LSSVM در پیش‌بینی پارامتر هدف دارد.



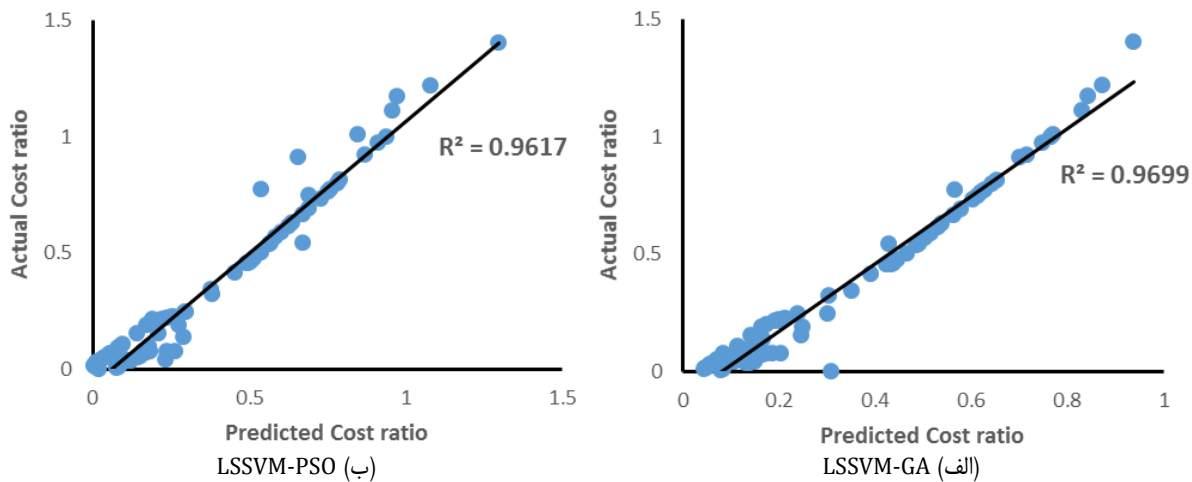
شکل ۱۱- نمودارهای متقاطع مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی در تخمین هزینه اتمام پروژه برای الگوریتم‌های LSSVM-PSO، PSO، LSSVM-GA در مرحله آموزش

جدول ۸- نتایج ارزیابی مدل‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله آموزش براساس معیارهای مختلف در تخمین هزینه اتمام پروژه‌ها

R-square	RMSE	SD	AAPD (%)	APD (%)	نام مدل
۰/۹۹۸۵	۰/۰۸۲۹	۰/۰۸۳۰	۱۰۳/۲۴۹۷	-۸۹/۹۷۸۴	LSSVM-PSO
۰/۹۹۷۱	۰/۰۸۳۳	۰/۰۸۲۹	۱۵۱/۰۵۸۰	-۱۴۲/۳۲۳۰	LSSVM-GA

هزینه، مقادیر را کم برآورد نموده است در حالی که در مدل LSSVM-PSO این مسئله چندان محسوس نیست. مقایسه کمی مدل‌ها براساس معیارهای خطای ارائه شده در جدول ۹ نشان می‌دهد که مدل LSSVM-PSO از دقت بالاتر و خطای کمتر در مقایسه با الگوریتم LSSVM-GA در این مرحله برخوردار بوده است.

در شکل ۱۲. Error! Reference source not found. نمودارهای متقاطع مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده نسبت هزینه با استفاده از مدل‌های هیبریدی برای داده‌های آزمون نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود مدل LSSVM-GA در نسبت‌های هزینه پایین مقادیر را بیش برآورد و در مقادیر بالاتر نسبت



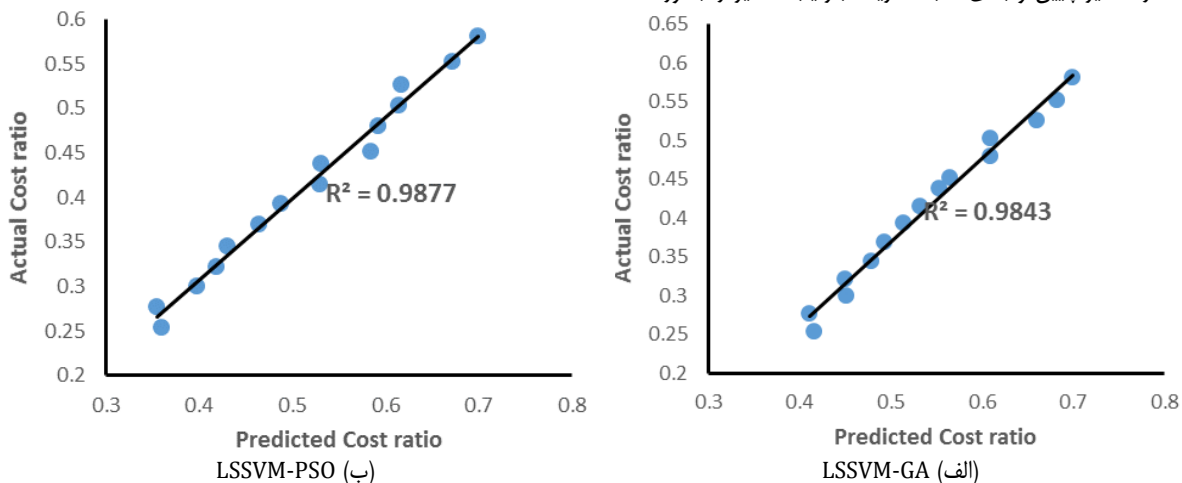
شکل ۱۲- نمودارهای متقاطع مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی در تخمین هزینه اتمام پروژه برای الگوریتم‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله آزمون

جدول ۹- نتایج ارزیابی مدل‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله آزمون براساس معیارهای مختلف در تخمین هزینه اتمام پروژه‌ها

نام مدل	APD (%)	AAPD (%)	SD	RMSE	R-square
LSSVM-PSO	-۱۳۳/۳۰۰	۱۴۶/۴۰۶۱	۰/۰۸۲۴	۰/۰۸۳۲	۰/۹۶۱۷
LSSVM-GA	-۷۹۴/۶۴۶۰	۸۱۰/۱۱۳۵	۰/۱۲۶۱	۰/۱۲۸۵	۰/۹۶۹۹

محسوسی بیش‌برآورد و کم برآورد نموده‌اند. وجود این مسئله برای مدل LSSVM-PSO نیز بصورت کم‌رنگتری قابل تشخیص است. خطای مدل‌ها در مرحله اعتبارسنجی در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

مقایسه نمودارهای متقاطع مقادیر واقعی و پیش‌بینی نسبت هزینه با مدل‌های آموزش دیده بر روی داده‌های سد E در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود مدل LSSVM-GA در مقادیر پایین و بالای نسبت هزینه، بترتیب مقادیر را بصورت

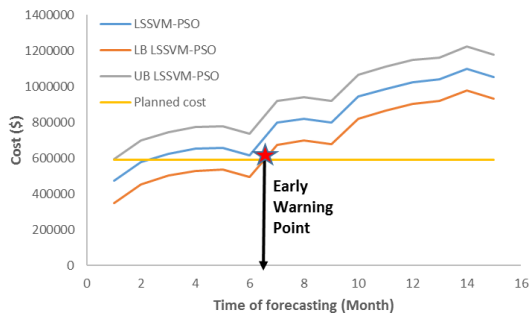


شکل ۱۳- نمودارهای متقاطع مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی در تخمین هزینه اتمام پروژه برای الگوریتم‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله اعتبارسنجی

جدول ۱۰- نتایج ارزیابی مدل‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA در مرحله اعتبارسنجی براساس معیارهای مختلف در تخمین هزینه اتمام پروژه‌ها

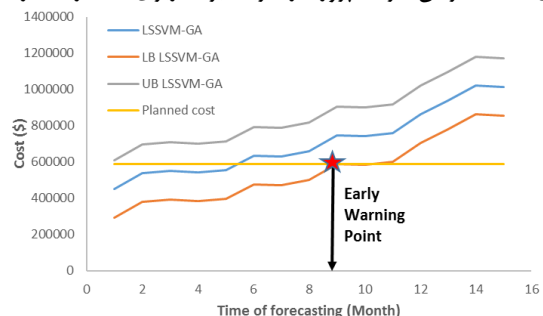
نام مدل	APD (%)	AAPD (%)	SD	RMSE	R-square
LSSVM-PSO	-۲۶/۰۰۴۰	۲۶/۰۰۴۰	۰/۱۰۴۷	۰/۱۰۴۰	۰/۹۸۷۷
LSSVM-GA	-۳۳/۵۶۴۱	۳۳/۵۶۴۲	۰/۱۲۴۷	۰/۱۲۸۸	۰/۹۸۴۳

کرده‌اند. مدل LSSVM-PSO هشدار اولیه سریع‌تری را برای بازبینی هزینه کرده‌ها ارائه داده است. ادامه روند پیش‌بینی نیز گویای این مطلب است که ابزارهای مورد استفاده توسط مدیر پروژه نتوانسته است این هشدار اولیه را صادر نماید تا در برنامه عملیاتی تجدید نظرگردد. براساس بررسی گزارش‌های ساخت این سد، مدیران در ماه ۱۳م از زمان آغاز پروژه نیز افزایش هزینه‌های خاتمه عملیات را تأیید کرده‌اند.



LSSVM-PSO (ب)

پروفایل هزینه پیش‌بینی شده برای پروژه ساخت سد E بر مبنای EDAC و با کمک چهار مدل LSSVM-GA، LSSVM-PSO در شکل ۱۴ نشان داده شده است. در این شکل نیز محدود احتمالی هزینه پیش‌بینی شده با استفاده از خطای مدل‌ها در مرحله آموزش و آزمون محاسبه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود مدل‌های LSSVM-PSO، LSSVM-GA، PSO بترتیب در ماه‌های هفتم، هشتم هشدار اولیه را برای فاصله گرفتن هزینه پروژه از هزینه برنامه‌ریزی شده را صادر

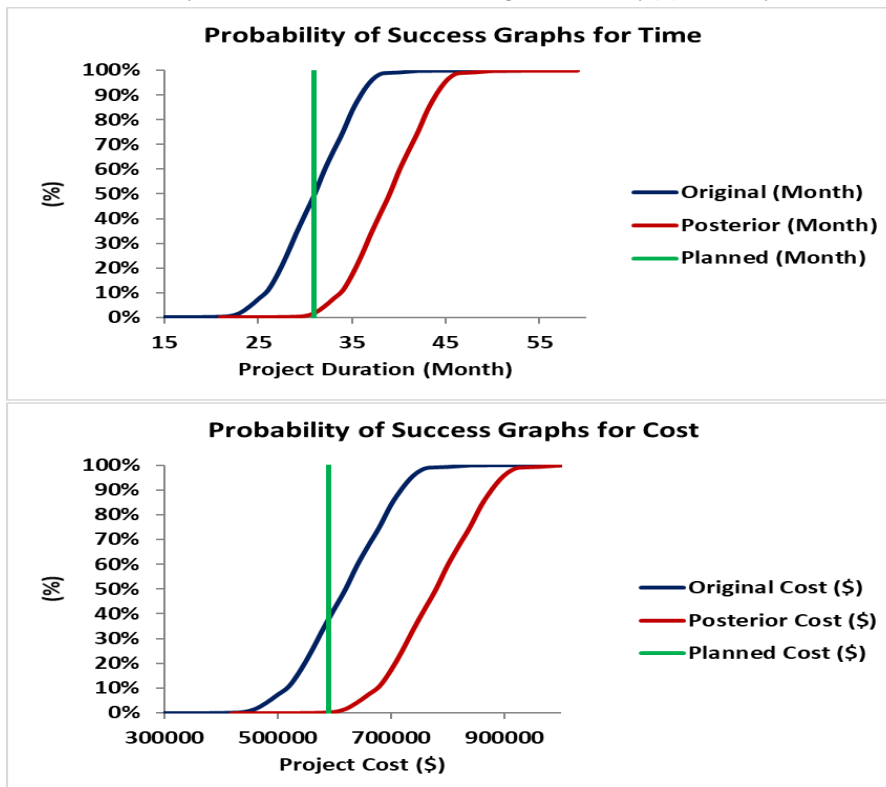


LSSVM-GA (الف)

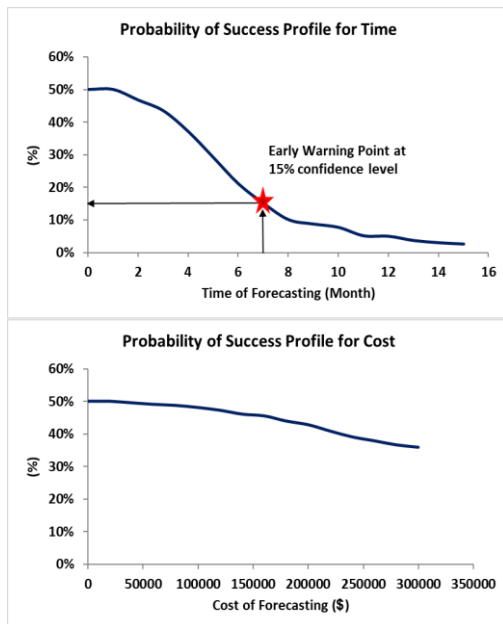
شکل ۱۴- پروفایل تخمین هزینه بر مبنای EDAC و با استفاده از مدل‌های هیبریدی برای پروژه ساخت سد E

مشخص و با هزینه در نظر گرفته شده با سطح اطمینان ۹۰٪ باشد. همانطور که در این شکل مشخص است انجام این پروژه با زمان و هزینه برنامه‌ریزی شده برای این پروژه که به ترتیب ۳۱ ماه و ۵۹۰۱۴۶٫۸۲ دلار می‌باشد براساس خروجی مدل فیلتر کالمن با احتمال موفقیت ۵۰٪ همراه است. این در حالی است که احتمال اتمام پروژه با هزینه برنامه‌ریزی شده حدود ۴۰٪ است.

در ادامه فیلتر کالمن روی داده‌های اعتبارسنجی (یعنی سد E) اعمال شد. در شکل ۱۵ نمودار احتمال موفقیت حاصل از فیلتر کالمن بترتیب برای پیش‌بینی زمان و هزینه نشان داده شده است. در این شکل منحنی‌های احتمالاتی original و posterior احتمال موفقیت پروژه در زمان و هزینه مشخص را نشان می‌دهند. این نمودارها می‌تواند پاسخگوی سؤالاتی نظیر احتمال موفقیت اتمام پروژه در یک زمان



شکل ۱۵- نمودار احتمال موفقیت برای پیش‌بینی زمان و هزینه با استفاده از فیلتر کالمن



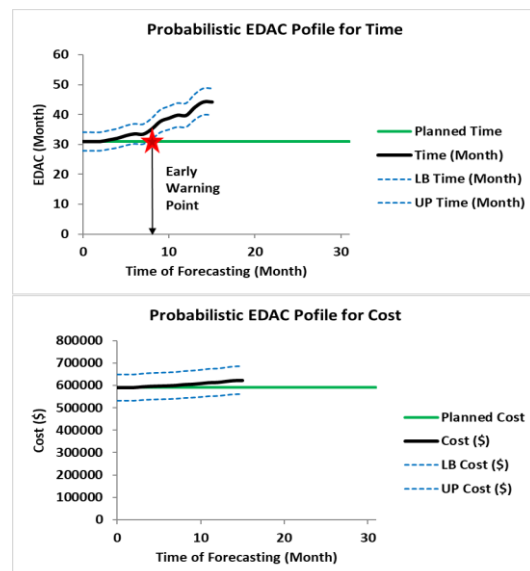
شکل ۱۷- احتمال موفقیت در پروفایل زمان و هزینه با استفاده از فیلتر کالمن

نتیجه گیری

در این مطالعه الگوریتم‌های هیبریدی LSSVM-GA و LSSVM-PSO با کمک از مفاهیم ارزش زمانی برای پیش‌بینی زمان خاتمه و هزینه انجام پروژه‌ها استفاده شد. برای توسعه این مدل‌ها از داده‌های چهار سد ساخته شده استفاده شد. این داده‌ها به دو گروه داده‌های آموزش (80% کل داده‌ها) و آزمون (20% از کل داده‌ها) تفکیک شدند. برای اعتبارسنجی مدل‌های توسعه داده شده نیز از داده‌های سد دیگری که تا ماه ۱۵ گزارش پیشرفت آن ارائه شده بود استفاده گردید. در ادامه فیلتر کالمن نیز برای ارزیابی مدل‌های هیبریدی در پیش‌بینی زمان و هزینه، بر روی داده‌های اعتبارسنجی اعمال شد.

نتایج بکارگیری الگوریتم‌های هیبریدی نشان داد که مدل‌های حاصل از دقت خوبی در مراحل آموزش و آزمون برای پیش‌بینی زمان اتمام پروژه‌ها برخوردار هستند. اختلاف کمتر خطای مدل LSSVM-PSO نسبت به مدل دیگر در پیش‌بینی زمان اتمام پروژه در این دو مرحله حاکی از قابلیت تعمیم بالای این مدل دارد؛ که این امر با عملکرد خوب این مدل در مرحله اعتبارسنجی مورد تأیید قرار گرفت. بکارگیری تمامی مدل‌های آموزش دیده روی داده‌های اعتبارسنجی نیز نشان داد که براساس پیشرفت حاصل شده در ماه اول، مدت زمان انجام پروژه بسیار بیشتر از برنامه زمان‌بندی اولیه خواهد بود و هشدار اولیه توسط تمامی مدل‌های هیبریدی در ماه اول فعال شد. این در حالی است که هشدار اولیه براساس پیش‌بینی فیلتر کالمن، در ماه هفتم فعال می‌شود. مدت زمان اتمام پروژه ساخت سد E برای مدل‌های هیبریدی LSSVM-PSO و LSSVM-GA بترتیب برابر با ۵۷ و ۵۹ است. این در حالی است که نتیجه اعمال فیلتر کالمن در پیش‌بینی زمان بر روی داده‌های

در شکل ۱۶ پروفایل احتمالی EDAC و هزینه حاصل از مدل کالمن برای پروژه E نشان داده شده است. بازه LB و UB در این شکل با سطح اطمینان ۹۰٪ مشخص شده است. براساس خروجی این مدل زمان اتمام پروژه تا ماه پنجم از زمان شروع مطابق برنامه‌ریزی انجام شده بوده است. اما با گذشت زمان، زمان خاتمه پیش‌بینی شده از زمان برنامه‌ریزی شده برای اتمام پروژه به صورت چشمگیری فاصله می‌گیرد. گونه‌ای که مدل در ماه هفتم هشدار اولیه را برای بیشتر زمان بردن انجام پروژه از زمان برنامه‌ریزی شده را صادر می‌کند. خروجی مدل کالمن برای هزینه اتمام پروژه مطابقت خوبی با هزینه برنامه‌ریزی دارد؛ اما از ماه دهم به بعد هزینه پیش‌بینی شده توسط مدل به صورت آرامی از هزینه برنامه‌ریزی شده فاصله می‌گیرد. این مدل هیچ‌گونه هشدار را برای فاصله گرفتن غیرقابل جبران هزینه اتمام پروژه از هزینه برنامه‌ریزی شده را صادر نکرده است.



شکل ۱۶- پروفایل احتمالی EDAC برای پیش‌بینی زمان و هزینه با استفاده از فیلتر کالمن

شکل ۱۷ به منظور تعیین احتمال موفقیت در پروفایل هزینه و زمان با روش فیلتر کالمن مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این منحنی می‌توان درصد احتمال موفقیت پروژه در مدت زمان برنامه‌ریزی شده به هنگام اعلام هشدار اولیه را پیش‌بینی کرد. برای نمونه نتایج حاصله از این منحنی در ماه هفتم نشان می‌دهد که احتمال موفقیت به منظور دستیابی به مدت زمان برنامه‌ریزی شده برای این پروژه، ۱۵٪ می‌باشد. به هنگام اعلام هشدار اولیه در تأخیر برنامه زمان‌بندی، تدابیر لازم را برای جبران آن و تجدید برنامه‌ریزی انجام شده در نظر گرفت.

داشت مدل‌های حاصل بسیار محافظه‌کارانه عمل می‌کنند. این در حالی است که مدل کالمن تنها براساس داده‌های محدود خود پروژه و براساس روند گذشته آن توسعه داده شده است. بنابراین استفاده از مدل‌های هیبریدی بویژه LSSVM-PSO برای پیش‌بینی زمان اتمام پروژه به شدت توصیه می‌شود.

پیشنهادات

با توجه به دقت و قابلیت تعمیم بالای الگوریتم‌های یادگیری عمیق در پیش‌بینی، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از این الگوریتم‌ها بهره گرفته شود. البته لازم به ذکر است که بکارگیری این الگوریتم‌ها نیازمند حجم داده بیشتری است.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: سینا فرد مرادی نیا؛ رضا بخشی
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: سینا فرد مرادی نیا؛ رضا بخشی؛ رسول جانی، رامین وفایی پور
نظارت و نگارش نهایی: سینا فرد مرادی نیا؛ رضا بخشی. رسول جانی، رامین وفایی پور سرخابی

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

اعتبارسنجی، هشدار اولیه برای تأخیر در برنامه‌زمانبندی را در ماه هفتم اعلام می‌کند. لازم به ذکر است که این مدل زمان اتمام پروژه را برابر ۵۲ ماه پیش‌بینی می‌کند. براساس ارزیابی‌های انجام شده توسط مدیران پروژه، زمان اتمام پروژه حدود ۵۵ ماه خواهد بود که نتایج مدل‌های هیبریدی نسبت به مدل کالمن به واقعیت نزدیک‌تر بوده است.

آموزش الگوریتم‌های هیبریدی برای پیش‌بینی نسبت هزینه پروژه‌ها در مراحل آموزش و آزمون نیز نشان داد که الگوریتم LSSVM-PSO از دقت بالاتری برخوردار است. همچنین مدل LSSVM-GA در مقادیر پایین و بالای نسبت هزینه بطور چشمگیری، بترتیب، مقادیر را بیش برآورد و کم برآورد می‌نمایند. هر چند این مسئله در نتایج مدل LSSVM-PSO نیز مشاهده گردید؛ ولی نسبت به مدل دیگر از شدت کمتری برخوردار است. با توجه به دقت پایین‌تر مدل‌ها در پیش‌بینی هزینه‌ها نسبت به پیش‌بینی زمان، می‌توان گفت بکارگیری مدل‌های هیبریدی در پیش‌بینی هزینه پروژه‌ها نیازمند احتیاط بیشتری است. این مسئله می‌تواند ناشی از متأثر بودن هزینه‌های پروژه به عوامل مختلفی باشد که در ورودی‌های مدل‌ها بکار نرفته است. هشدار اولیه برای فاصله گرفتن هزینه عملیات ساخت سد از هزینه برنامه‌ریزی شده برای مدل‌های LSSVM-PSO و LSSVM-GA بترتیب در ماه‌های هفتم و هشتم صادر شده است. این در حالی است که نتیجه اعمال فیلتر کالمن در پیش‌بینی هزینه بر روی داده‌های اعتبارسنجی، هیچ‌گونه هشدار اولیه‌ای برای فاصله گرفتن هزینه کردها از هزینه‌های برنامه‌ریزی شده اعلام نمی‌کند.

مقایسه مدل‌های هیبریدی با مدل کالمن نشان می‌دهد که مدل‌های هیبریدی با توجه به آموزشی که براساس داده‌های چند سد ساخته شده داشتند نتایج قابل قبول‌تری با گزارشات دوره‌ای ارائه شده برای انجام پروژه E دارند. البته لازم به ذکر است که با توجه به تأخیرهایی که در چند پروژه استفاده شده در مرحله آموزش مدل‌های هیبریدی وجود

1242.

References

- Gowan, J. A., Mathieu, R. G., & Hey, M. B. 2006. Earned value management in a data warehouse project. *Information management & computer security*, 14(1), 37-50.
- Attalla, M., & Hegazy, T. (2003). Predicting cost deviation in reconstruction projects: Artificial neural networks versus regression. *Journal of construction engineering and management*, 129(4), 405-411.
- Kim, G. H., An, S. H., & Kang, K. I. 2004. Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. *Building and environment*, 39(10), 1235-
- Wilmot, C. G., & Mei, B. 2005. Neural network modeling of highway construction costs. *Journal of construction engineering and management*, 131(7), 765-771.
- Kim, B. C., & Reinschmidt, K. F. 2010. Probabilistic forecasting of project duration using Kalman filter and the earned value method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(8), 834-843.
- Sonmez R. 2011. Range estimation of construction costs using neural networks with bootstrap prediction intervals. *Expert Syst Appl.*; 38(8):9913-7.
- Wang Y-R, Yu C-Y, Chan H-H. 2012. Predicting construction cost and schedule success using artificial neural networks

- ensemble and support vector machines classification models. *Int J Proj Manag.*30(4):470-8.
8. Cheng M-Y, Hoang N-D, Roy AF V, Wu Y-W. 2012. A novel time-dependend evolutionary fuzzy SVM inference model for estimating construction project at completion. *Eng Appl Artif Intell.* 25(4):744-52.
 9. Wauters M, Vanhoucke M. 2014. Support vector machine regression for project control forecasting. *Autom Constr.*47:92-106.
 10. Kim B-C. 2015. Integrating risk assessment and actual performance for probabilistic project cost forecasting: a second moment Bayesian model. *IEEE Trans Eng Manag.* 62(2):158-70.
 11. Mortaji STH, Noorossana R, Bagherpour M. 2015. Project completion time and cost prediction using change point analysis. *J Manag Eng.* 31(5):4014086.
 12. Akhbari M. 2018. Project time and cost forecasting using monte carlo simulation and artificial neural networks. *Int J Ind Eng Prod Res.* 29(2):231-9.
 13. Jiang Q. 2019. Estimation of construction project building cost by back-propagation neural network. *J Eng Des Technol.*
 14. Najafi S, Moosavirad SH, Ariaifar S. 2019. Predicting the project time and costs using EVM based on gray numbers. *Eng Constr Archit Manag.*
 15. Soltan S, Ashrafi M. 2020. Predicting project duration and cost, and selecting the best action plan using statistical methods for earned value management. *J Proj Manag.* 5(3):157-66.
 16. Khalaf TZ, Çağlar H, Çağlar A, Hanoon AN. 2020. Particle swarm optimization based approach for estimation of costs and duration of construction projects. *Civ Eng J.*6(2):384-401.
 17. Asadabadi MR, Zwikael O. 2021. Integrating risk into estimations of project activities' time and cost: A stratified approach. *Eur J Oper Res.* 291(2):482-90.
 18. Bakhshi R, Moradina SF, Jani R, Poor RV. 2022. Presenting a Hybrid Scheme of Machine Learning Combined with Metaheuristic Optimizers for Predicting Final Cost and Time of Project. *KSCE J Civ Eng.*1-16.
 19. Anemangely M, Ramezanzadeh A, Tokhmechi B, Molaghab A, Mohammadian A. 2018. Drilling rate prediction from petrophysical logs and mud logging data using an optimized multilayer perceptron neural network. *J Geophys Eng.*15(4):1146-59.
 20. Mehrad M, Bajolvand M, Ramezanzadeh A, Neycharan JG. 2020. Developing a new rigorous drilling rate prediction model using a machine learning technique. *J Pet Sci Eng.*192:107338.
 21. Sabah M, Mehrad M, Ashrafi SB, Wood DA, Fathi S. 2021. Hybrid machine learning algorithms to enhance lost-circulation prediction and management in the Marun oil field. *J Pet Sci Eng.*198:108125.
 22. Kennedy J, Eberhart R. 1995. Particle swarm optimization. In: *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks.* IEEE. p. 1942-8.
 23. Czarnigowska A. 2008. Earned value method as a tool for project control. *Bud i Archi.*3(2):15-32.
 24. Lipke W. 2014. Introduction to earned schedule. *PM World J.*3(11):8-9.
 25. Kim B-C, Reinschmidt KF. 2011. Combination of project cost forecasts in earned value management. *J Constr Eng Manag.* 137(11):958-66.
 26. Wang, H. and Hu, D., 2005. October. Comparison of SVM and LS-SVM for regression. In *2005 International conference on neural networks and brain (Vol. 1, pp. 279-283).* IEEE.
 27. Welch G, Bishop G. 1995. An introduction to the Kalman filter.
 28. Suykens JAK, Vandewalle J. 1999. Least squares support vector machine classifiers. *Neural Process Lett.* 9(3):293-300.
 29. Vapnik V. 2013. *The nature of statistical learning theory.* Springer science & business media.
 30. Duan K, Keerthi SS, Poo AN. 2003. Evaluation of simple performance measures for tuning SVM hyperparameters. *Neurocomputing.* 51: 41-59.
 31. Couceiro, M., Ghamisi, P., Couceiro, M. and Ghamisi, P., 2016. Particle swarm optimization. *Fractional order darwinian particle swarm optimization: Applications and evaluation of an evolutionary algorithm,* pp.1-10.
 32. Coello CAC, Lamont GB, Van Veldhuizen DA. 2007. *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems.* Vol. 5. Springer.
 33. Clerc M. 2010. *Particle swarm optimization.* Vol. 93. John Wiley & Sons.



Water Resources Engineering



Volume 17- Issue 61- Summer 2024

- **Identifying the consequences of water reduction in Zanjan township from the perspective of farmers**
- **The effect of climate change on meteorological drought using the data of the Sixth Climate Change Report (Case study: Shiraz city)**
- **Economic productivity of water and profitability of fodder production of cowpea, mung bean and guar under normal irrigation and drought stress conditions**
- **Valuation of Underground Waters in Agricultural Stakeholders The study of rice farmers of Ramhormoz city, Khuzestan province**
- **Evaluation of the corrosiveness and precipitation potential in the drinking water supply wells of Gorgan city**
- **Applying project management knowledge and hybrid algorithm in predicting the time and cost of completing dam projects**