



Case Study

Assessing Contribution of Human Activities and Climate Variability on Groundwater Changes (Case Study: Mahidasht Aquifer, Kermanshah Province, Iran)

Ali Fattahi Chaghabaghi¹, Ali Mohammad Akhund Ali^{2*} and Arash Azari³

¹Ph.D. Scholar, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

²Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

³Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

Article information

Received: May 22, 2023
Revised: July 06, 2023
Accepted: July 08, 2023

Keywords:

Aquifer
Change Point
Conceptual Model
Mann-Kendall Test

*Corresponding author:
aliakh@scu.ac.ir



Abstract

Revealing the contribution of each of the climatic and human factors can help the management of water resources. Firstly, trend analysis and change-point tests were performed to determine the status of the parameters affecting the groundwater resources of the Mahidasht aquifer during the period from 1981 to 2019 by using statistical methods and the Pettitt test. The GMS model was calibrated as a tool to simulate the Mahidasht aquifer system. After determining the change point, modeling of the groundwater level before and after the change point was done using the GMS model. By removing the effect of human factors in the model, the contribution of the effects of climate variability and human activities on groundwater was obtained. The results showed that there was no significant trend in annual rainfall, but the annual runoff has a significantly decreasing trend at the confidence level of 99%, and the trend of the groundwater level is also significantly decreasing at the confidence level of 99%. Pettitt change point test showed precipitation without a change point, but the runoff in 1998 and the groundwater level in 2001 had a change point. Finally, the modeling of the aquifer showed that the contribution of human activities in the reduction of the groundwater level of the Mahidasht aquifer was 78 and climate variability is 22%.

How to cite this paper: Fatahi Chaghabaghi, A., Akhund Ali, A. M., & Azari, A. (2024). Assessing contribution of human activities and climate variability on groundwater changes (Case study: Mahidasht Aquifer, Kermanshah Province, Iran). *Environ. Water Eng.*, 10(2), 275-289. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.398483.1866> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The increasing importance of groundwater resources as the most accessible source of fresh water in arid and semi-arid countries is obvious to everyone. Climatic variability and human activities are the main factors that affect the hydrological cycle. Determining the effect of these factors on the water resources system and their interaction has a great impact on future scenarios, adaptation policies, and water resources planning. Climatic variability and increasing human activities are effective on the quantity and quality of groundwater resources. Decreasing the groundwater level can have destructive effects on natural streams and related ecosystems, land subsidence, and saline water intrusion. The development of mathematical models for groundwater simulation improves the understanding of the dynamics of an aquifer system and helps to identify the effects of various factors. The investigation of the Mahidasht plain water level in the long-term statistical period shows a continuous groundwater drawdown. Adaptation and balancing policies have not had a noticeable effect on controlling this process. The objective of this research was to simulate the quantitative changes of Mahidasht aquifer groundwater using MODFLOW and investigates the contribution of human effects and climate variability on the groundwater drawdown of level.

Material and Methods

The study area of this research was the Mahidasht aquifer in Kermanshah province, in the west of Iran. Mahidasht Plain is one of the most important and fertile plains in Kermanshah province. This plain plays an important role in the province's economy from the perspective of its size, the number of users of water wells, and its geographical location. The area of the catchment is 1507 km², and the area of the aquifer is 508 km². The average rainfall, temperature, and evaporation from the pan in this plain are 422 mm, 12.8 °C, and 2007 mm, respectively. The aquifer of this plain was formed by the erosion of the marginal elevations and the accumulation of alluvial sediments. The sediments in the aquifer area consist of gravel, sand, clay, and silt and its composition is more than lime. The groundwater level of this plain is monitored using 39 observation wells. The trend of the groundwater level curves was approximately east-west. In this research, using

the Mann-Kendall method, the trend of the effective variables on the groundwater resources of the Mahidasht aquifer (rainfall, free surface evaporation, runoff, and groundwater level) during the period from 1982 to 2019 was investigated. Using the Pettitt test, the change point of precipitation, free surface evaporation, runoff, and groundwater level of the plain were calculated. Then, by training and simulating the monthly runoff using an artificial neural network in the period before the change point (1998), the runoff values after the change point were simulated. Groundwater Modeling System (GMS) software was used to simulate the Mahidasht groundwater level. To model groundwater resources based on data such as water level from 1981 to 2019, geological logs (related to exploratory wells), geophysical studies, hydrogeology and hydrology reports, precipitation data, the information on the discharge of exploitation wells and the balance of water resources in the area were used. Finally, by simulating the groundwater level using the GMS model based on two states before and after the change point, the contribution of the effects of climate variability and human activities in reducing the groundwater level of Mahidasht Plain was estimated.

Results

The long-term hydrograph shows a 25.8 m decline in water levels with an average annual reduction of 0.68 m. The results of the Mann-Kendall test on the statistical series showed that precipitation and evaporation do not have a significant trend; runoff and groundwater levels have a significant decreasing trend. Based on the results of Pettit's test to identify the change point, precipitation and evaporation without a change point, but the runoff series and the groundwater level with the breaking year (change point) of 1998 and 2001, respectively (Table 1).

The Backpropagation neural network algorithm was used to predict the amount of runoff flow in the Khersabad hydrometric station of Mereg River and the monthly time scale. The input of the neural network model of rainfall (P) and discharge (Q) factors with time delay was introduced. The neural network model with input P, P_{t-1}, P_{t-2}, P_{t-3}, Q_{t-1}, and Q_{t-2} had the best performance. The results of the error evaluation criteria in the simulation of the groundwater level of the Mahidasht aquifer in two permanent and non-permanent states showed that the model has good accuracy (Table 2). Therefore, it can be

used for conditions of non-operation of the aquifer.

Table 1 Trend and change point analysis of the precipitation series, free surface evaporation, runoff and groundwater level

Factor	MK trend test		Annual Trend	Pettitt change point analysis
	Positive significance	z		
Precipitation	-	-0.60	-0.18 (mm/year)	No Change
Free surface evaporation	-	-0.16	-0.11 (mm/year)	No Change
Runoff	0.99	-3.93	-1.04 (mm/year)	1998
Groundwater Level	0.99	-6.59	-0.7 (m/year)	2001

Table 2 Modeling error results

Error	Steady-state	Transient	Verification
R ²	0.989	0.97	0.965
MAE	0.543	0.446	0.713
RMSE	0.621	0.719	0.816

The simulation results of the Mahidasht aquifer in non-exploitation conditions showed that the contribution of climate variability and human activities on the Mahidasht groundwater drawdown for the period of 2001-2005 was 44 and 56% respectively; between 2006 and 2010 it was 22 and 78%, The period of 2011-2015 was estimated at 12 and 88% and between 2016 and 2019 at the rate of 9 and 91%.

Conclusions

The findings of this study showed that in the Mahidasht aquifer of Kermanshah province, the decrease in the groundwater level is mostly influenced by human activities and is less effective than climate variability. According to

the obtained results, the contribution of climate variability and human activities in the groundwater drawdown of this aquifer during 2001-2019 is 22 and 78%, respectively. In addition, the results showed that the runoff series in 1998 and the groundwater level of Mahidasht plain in 2001 have a change point. Factors affecting this issue include the increase in the number of permits issued between 1989 and 2001, the significant number of unauthorized wells, the lack of sufficient monitoring of the cultivation pattern, and the lack of public awareness of groundwater protection.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مطالعه موردی

سه‌م فعالیت‌های انسانی و تغییرپذیری اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی

(مطالعه موردی آبخوان ماهیدشت در استان کرمانشاه)

علی فتاحی چقباگی^۱، علی محمد آخوندعلی^{۲*} و آرش آذری^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
^۲ استاد، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
^۳ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۳/۰۱]	<p>آشکارسازی سه‌م هر یک از عوامل اقلیمی و انسانی می‌تواند به مدیریت منابع آبی کمک کند. در این پژوهش ابتدا با استفاده از روش‌های آماری وضعیت روند پارامترهای مؤثر بر منابع آب زیرزمینی دشت ماهیدشت طی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۹ تعیین و سپس با استفاده از آزمون پتیت نقطه تغییر بارش، رواناب و سطح آب زیرزمینی محاسبه شد. مدل GMS به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی آبخوان واسنجی شد. پس از تعیین نقطه تغییر، شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از نقطه تغییر با استفاده از مدل GMS انجام شد. با حذف اثر عوامل انسانی در مدل سه‌م اثرات تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر آب‌های زیرزمینی به‌دست آمد. نتایج نشان داد روند معنی‌داری در تغییر بارش سالانه وجود ندارد، اما تغییرات رواناب سالانه دارای روند کاهشی و در سطح اعتماد ۹۹٪ معنی‌دار و روند تراز سطح آب زیرزمینی نیز به‌صورت کاهشی و در سطح اعتماد ۹۹٪ معنی‌دار شده است. آزمون نقطه تغییر پتیت نشان داد بارش بدون نقطه تغییر، اما رواناب در سال ۱۹۹۸ و تراز آب زیرزمینی در سال ۲۰۰۱ دارای نقطه تغییر است. همچنین مدل‌سازی آبخوان نشان داد سه‌م فعالیت‌های انسانی در کاهش تراز آب زیرزمینی آبخوان ماهیدشت به‌صورت متوسط ۷۸ و تغییرپذیری اقلیمی ۲۲٪ بود.</p>
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۴/۱۵]	
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۴/۱۷]	
واژه‌های کلیدی: آبخوان آزمون من-کندال مدل مفهومی نقطه تغییر	
*نویسنده مسئول: aliakh@scu.ac.ir	

نحوه استناد به این مقاله:

فتاحی چقباگی، علی، آخوندعلی، محمدعلی، & آذری، آرش. (۱۴۰۳). سه‌م فعالیت‌های انسانی و تغییرپذیری اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی آبخوان ماهیدشت در استان کرمانشاه). محیط‌زیست و مهندسی آب. 10(2): 275-289
<https://doi.org/10.22034/ewe.2023.39849.1858>



۱- مقدمه

افزایش فعالیت‌های انسانی، بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی مؤثر است. بسیاری از پژوهشگران، تغییرات اقلیمی را ناشی از فعالیت انسانی دانسته‌اند. موضوع تأثیر مستقیم دخالت بشر با بهره‌برداری بیش‌ازحد نرمال از منابع آب زیرزمینی کم‌تر پرداخته شده است. در این زمینه توسعه مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی آب زیرزمینی، ابزاری است که با استفاده از آن، درک رفتار دینامیک سیستم آبخوان بهبود یافته و به شناسایی اثرات عوامل مختلف بر آبخوان کمک می‌کند (Boyce et al. 2015). در پژوهشی میزان رواناب ورودی سد کرخه مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج بیانگر بیشتر بودن مشارکت اثر فعالیت انسانی در مقایسه با اثرات اقلیمی بود (Ahmadi and Delavar 2019). برای تعیین کمیت اثرات تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی در حوضه نیمه‌خشک شمال چین Jiang et al. (2019) چارچوب جدیدی ارائه دادند. نتایج این تحقیق نشان داد فعالیت‌های انسانی تأثیر غالب بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه دارد.

پژوهش‌های بسیاری در رابطه با استفاده از مدل MODFLOW و نرم‌افزار GMS^1 جهت شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی انجام شده است که بیانگر کارایی این مدل‌ها در مناطق مختلف است (Mohammadi et al. 2021). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت صحرای باغ لار توسط Yousefi et al. (2018) صورت گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد تغییر شاخص بارش مؤثر (ER^2) با خروجی‌های مدل $HadCM3^3$ در بازه زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در حالت‌های انتشار $A1B, A2, B1$ به ترتیب ۷۳/۲، ۷۶/۸ و ۳۶/۸٪ افزایش خواهد یافت. این وضعیت باعث خواهد شد که کمبود کنونی آب در دشت صحرای باغ در این دوره تشدید شود و روند افزایشی برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی که پیامد آن افت تراز آب زیرزمینی دشت است، بازمه ادامه یابد. ارزیابی تغییرات تراز سفره آب زیرزمینی دشت جعفریه با استفاده از نرم افزار GMS و مدل MODFLOW انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد متوسط افت آبخوان در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۲۰، از ۰/۲۶- به ۷/۲ m- رسیده است. این تغییر، نشان دهنده این مطلب

تغییر اقلیم در اثر افزایش دمای هوا بر شدت، مدت، توزیع، مقدار و الگوی بارش تأثیرگذار است. این پدیده می‌تواند موجب کاهش در مقدار متوسط ذخایر برف سالانه و تغییرات طولانی‌مدت پوشش گیاهی و منابع آب زیرزمینی در مقیاس حوضه‌ای شود. هم‌چنین می‌تواند کمیت و کیفیت منابع آب را تغییر و حتی کاهش دهد. به تبع آن با تغییر در الگوی مصرف و تبخیر و تعرق گیاهان، بهره‌وری محصولات کشاورزی کاهش و تقاضا جهت مصرف آب افزایش می‌یابد (Dai 2011; Rivera et al. 2018; Heim 2002). از سویی، انسان در راستای تأمین مواد غذایی و تولید انرژی، بهداشت و توریسم آبی بر استحصال منابع آب زیرزمینی تکیه می‌کند. به‌عنوان مثال، از منابع آب زیرزمینی جهت آبیاری نزدیک به $10^6 \times 10^6$ ha از اراضی قابل کشت در جهان استفاده می‌شود و بیش از ۴۰٪ از مصرف جهانی آب در بخش کشاورزی است (Siebert et al. 2010).

کاهش سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی می‌تواند اثرات مخربی بر جریان‌های طبیعی و بوم‌سازگان مرتبط، فرونشست زمین و نفوذ آب شور داشته باشد (Wada et al. 2010). افزایش جمعیت، پیشرفت‌های فناورانه و توسعه کشاورزی منجر به بهره‌برداری بیش از حد از این منابع شده و در آینده نه چندان دور دسترسی به آن را کاهش می‌دهد (Qu et al. 2020; Wreikat and Kharabsheh 2013). بنابراین حفظ بلندمدت این منبع ارزشمند، در گرو بهره‌برداری مناسب از آن در سطوح مختلف مدیریت آب زیرزمینی و استفاده مشترک با سایر منابع است (Mohan and Kuipally 2019; Cuadrado-Quesada and Rayfuse 2021). در مباحث علمی مرتبط با موضوع آب، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به‌عنوان دو دلیل مهم و مؤثر بر چرخه هیدرولوژی مطرح شده است. این عوامل باعث تغییر در جریان رودخانه‌ها و توزیع زمانی و مکانی آب در دسترس شده است. در سال‌های اخیر، تأکید بر تغییرات اقلیمی و هدف قرار دادن آن به‌عنوان علت عمده بسیاری از تغییرات منجر به کم توجهی به تأثیر فعالیت‌های مستقیم انسانی در بحث مدیریت منابع آب شده است. علیرغم اینکه تفکیک اثر تغییر پارامترهای اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر سیستم منابع آب و همچنین برهمکنش این عوامل تأثیر زیادی در سناریوسازی آینده و تصمیم‌گیری مدیران، سیاست‌های سازگاری و برنامه‌ریزی منابع آب دارد. تغییرات اقلیمی و

¹Groundwater Modeling System²Effective rainfall³Hadley Centre Coupled Model Ver. 3

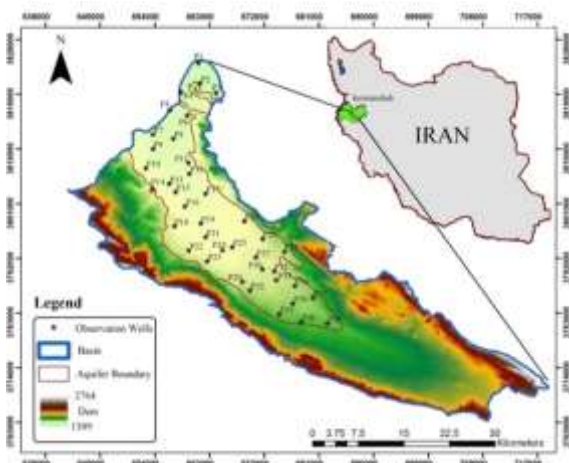
مذکور به منظور بررسی سهم اثرات انسانی و تغییرپذیری اقلیمی در افت سطح آب زیرزمینی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه آبخوان ماهیدشت در استان کرمانشاه که حدود جغرافیایی آن 34° و 3° تا 34° و 36° عرض شمالی و 46° و 32° تا 47° و 21° شرقی قرار دارد. مساحت حوزه آبخیز 1507 km^2 بوده که وسعت آبخوان این محدوده 508 km^2 است (شکل ۱). متوسط بارندگی، دما و تبخیر از تشت در این دشت به ترتیب 422 mm ، $12/8 \text{ C}^{\circ}$ و 12 mm است (Anonymous 2013).

مخازن آب زیرزمینی این دشت در اثر فرسایش ارتفاعات حاشیه‌ای و انباشت رسوبات آبرفتی دوران چهارم، تشکیل شده است. رسوبات در محدوده آبخوان متشکل از شن، ماسه، قلوه‌سنگ، رس و سیلت است و ترکیب آن بیشتر از آهک است. علاوه بر ریزش‌های جوی، آبراه‌های ناشی از چشمه‌ها و دامنه‌های اطراف سرچشمه گرفته‌اند به‌عنوان عمده‌ترین منبع تغذیه‌کننده آبخوان زیرزمینی محسوب می‌شود. اصلی‌ترین آبراه دشت رودخانه مرگ^۲ است که از بخش شرقی سرفیروزآباد سرچشمه گرفته و پس از عبور از دشت ماهیدشت در منطقه دوآب مرگ از حوضه خارج شده و به رودخانه قره‌سو می‌پیوندد. وضعیت سطح آب زیرزمینی این دشت با استفاده از اطلاعات ۳۹ حلقه چاه مشاهده‌ای پایش شد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت آبخوان ماهیدشت واقع در استان کرمانشاه، ایران
Fig. 1 Location of Mahidasht aquifer in Kermanshah Province, Iran

است که در این دوره آبخوان با شدت بیشتری افت پیدا کرده است. بیشترین افت آن در مناطق شمال غربی و جنوب شرقی منطقه بوده است (Jabalbarezi et al. 2020).

Ghamarnia et al. (2022) شبیه‌سازی عددی آبخوان دشت بیجار- دیواندره با استفاده از کد MODFLOW و تأثیرات خشک‌سالی بر تغییرات کمی آن را بررسی کردند. تحقیقات آن‌ها نشان داد با ادامه روند مدیریت کنونی در طول چند سال آینده شاهد افت شدید آبخوان و خسارت جبران ناپذیری خواهد بود. هم‌چنین نتایج شاخص SPI^1 نیز حاکی از وضعیت خشک‌سالی نزدیک نرمال بوده است. این بدان معنی است که خشک‌سالی تأثیر بسیار کم‌تری در تراز آب زیرزمینی آبخوان موردنظر در سال‌های مختلف داشته است. (Sheikha Bagem Ghaleh et al. (2023) با استفاده از نرم‌افزار GMS به مدل‌سازی عددی و تحلیل روند وضعیت کمی آبخوان مه‌آباد پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که آبخوان مه‌آباد در وضعیت مطلوبی قرار نداشته و با افزایش برداشت و کاهش بارش‌ها به‌ویژه در سال‌های اخیر وضعیت آن بدتر نیز خواهد شد. (Chen et al. (2023) در پژوهشی اثرات انسانی و آب و هوایی بر منابع آب زیرزمینی در منطقه کشاورزی آبی دشت شمال چین بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد اثر فعالیت‌های انسانی سهم به‌سزایی در کاهش سطح آب زیرزمینی خواهد داشت. آن‌ها آستانه‌ای جهت استحصال آب زیرزمینی مشخص نمودند. هم‌چنین توصیه کردند بهره‌گیری از فناوری‌های صرفه‌جویی آبیاری، در مناطق نیمه‌خشک امری بسیاری حیاتی است. این موضوع به ویژه زمانی که بارش سالانه کم است از اثرات منفی بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی کاسته می‌شود. بررسی تراز سطح آب دشت ماهیدشت در دوره آماری بلندمدت، بیانگر افت مستمر سطح آب زیرزمینی است. سیاست‌های مدیریتی نظیر ممنوعیت دشت که از سال ۲۰۰۵ اعمال گردیده، اثر محسوسی بر کنترل این روند نداشته است. این در حالی است که دشت ماهیدشت از منظر آمایش سرزمین جز مناطق استراتژیک و دارای پتانسیل توسعه معرفی شده است. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی آب زیرزمینی آبخوان ماهیدشت با استفاده از MODFLOW و واسنجی مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه آبخوان

²Mereg River

¹Standardized Precipitation Index

زیرزمینی دشت ماهیدشت برآورد شد. در شکل (۲) روش به‌کار رفته در این پژوهش به‌صورت فلوجارت نشان داده شده است.

۲-۳- آزمون‌های آماری تعیین روند و نقطه تغییر

روش‌های پارامتری و نا پارامتری ابزار مناسبی جهت بررسی و تحلیل روند در یک سری آماری است. یکی از روش‌های آماری که اقلیم‌شناسان معاصر جهت تعیین وضعیت روند از آن استفاده می‌کنند روش من-کندال است. در این آزمون به این سؤال پاسخ داده می‌شود که آیا میانه یا مقدار مرکزی یک سری آماری باگذشت زمان دچار تغییر می‌شوند یا خیر؟ (Niemann and Eltahir 2005). یکی از شرایط استفاده از این آزمون و لازمه صحیح بودن مقدار P-value این است که نباید خودهمبستگی^۲ در سری آماری موجود باشد. به این دلیل که داشتن خودهمبستگی باعث بالا رفتن تشخیص روند معنی‌دار توسط این آزمون می‌شود. این در حالی است فرض صفر صحیح است، اما در توزیع داده‌ها نیازی به نرمال بودن نیست.

در این پژوهش برای نشان دادن وجود روند تغییرات در پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه از روش من-کندال برای سری زمانی ۳۸ ساله استفاده شده است. مقادیر سری زمانی به‌صورت پیوسته و پشت سر هم با مابقی مقادیر سری مقایسه می‌شود. در آزمون من-کندال ابتدا باید مقدار S را که حاصل جمع شمارش‌ها را بیان می‌کند، مشخص نمود. این متغیر از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Yue et al. 2002).

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i) \quad (1)$$

که، x_i و x_k مقادیر پشت سر هم سری زمانی‌اند. N طول دوره آماری و $\text{Sgn}(\theta)$ نیز تابع علامت است که برابر است با (۱) یا (صفر) و یا (-۱)، اگر θ بزرگ‌تر از (صفر) مساوی یا کوچک‌تر از (صفر) باشد، به ترتیب آماره استاندارد شده آزمون Z بر اساس رابطه (۲) ارزیابی می‌شود (Yue et al. 2002).

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \rightarrow s > 0 \\ 0 \rightarrow s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \rightarrow s < 0 \end{cases} \quad (2)$$

روند منحنی‌های تراز آب زیرزمینی تقریباً شرقی- غربی بوده و رقوم آن‌ها از جنوب به شمال دشت کاهش می‌یابد. جهت جریان آب زیرزمینی در این دشت تابع شیب توپوگرافی سطح زمین است اما بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث ایجاد مخروط افت و به دنبال آن منحنی بسته تراز آب زیرزمینی در مرکز دشت شده است.



شکل ۲- فلوجارت مراحل اصلی پژوهش

Fig. 2 Study procedure flowchart

۲-۲- روش پژوهش

در این پژوهش ابتدا با استفاده از روش آماری روش من-کندال^۱ روند اثر متغیرهای مؤثر بر منابع آب زیرزمینی آبخوان ماهیدشت (بارش، دما، جریان سطحی و سطح آب-های زیرزمینی) طی دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹ بررسی شد. سپس با استفاده از آزمون پتیت^۲ نقطه تغییر بارش، جریان آب سطحی و تراز آب زیرزمینی دشت محاسبه گردید. پس از آن با آموزش و شبیه‌سازی رواناب ماهانه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در بازه زمانی قبل از نقطه تغییر (سال ۱۹۹۸)، رواناب بعد از نقطه تغییر شبیه‌سازی شد. در انتها با مدل‌سازی آب زیرزمینی بر اساس دو حالت قبل و بعد از نقطه تغییر با استفاده از مدل GMS سهم اثرات تغییر پذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در کاهش تراز آب

^۱Mann-Kendall

^۲Pettitt

^۳Autocorrelation

در این آزمون، فرض H_0 نشان‌دهنده یکنواختی داده‌ها و فرض H_1 بیانگر زمان (سال وقوع شکست) در توالی زمانی موردبررسی است. در حالتی که مقدار آماره P به دست آمده کمتر از α (مقدار سطح معنی‌داری) ۰.۵٪ باشد می‌توان استنباط کرد این نقطه تغییر در توالی زمانی، از نظر آماری در سطح معنی‌دار است. در این صورت مقدار به دست آمده P مقدار خطای رد کردن فرض H_0 یا ریسک است که اگر این خطا کمتر از ۰.۵٪ باشد نقطه تغییر معنی‌دار خواهد بود. در این آزمون با توجه به وجود غیریکنواختی می‌توان به زمان شکست (سال) رسید.

۲-۴- مدل‌سازی جریان سطحی

جهت برآورد سهم تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی ابتدا جریان سطحی حوضه بر اساس مدل شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی و پیش‌بینی شد. شبکه عصبی با توجه به ساختار طراحی منعطف و شناسایی انواع روندهای خطی و غیرخطی عملکرد مناسبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی دارد. بر این اساس فاکتورهای اقلیمی باران و جریان سطحی ماه‌های گذشته به‌عنوان لایه ورودی و جریان سطحی به‌عنوان لایه خروجی به‌وسیله مدل شبکه عصبی مصنوعی برای دوره قبل از نقطه تغییر شبیه‌سازی و آموزش داده شد (۱۹۷۵-۱۹۹۸). سپس با توجه به مدل شبکه عصبی آموزش‌دیده برای بازه زمانی بعد از نقطه تغییر، صرفاً جریان سطحی حوضه متأثر از فاکتورهای اقلیمی شبیه‌سازی و به‌عنوان ورودی به مدل آب زیرزمینی داده می‌شود. در این پژوهش از شبکه عصبی MLP^Y با الگوریتم پس انتشار خطا استفاده شد.

۲-۵- مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از

نرم‌افزار GMS

برای شبیه‌سازی آبخوان ماهیدشت از مدل MODFLOW و نرم‌افزار GMS استفاده شد. نرم‌افزار GMS برای توصیف منطقه مورد مطالعه، تهیه مدل مفهومی، ایجاد شبکه، واسنجی، صحت‌سنجی و نمایش گرافیکی ابزارهای مناسبی را در اختیار کاربر می‌گذارد (Nakhaei et al. 2022). ابتدا به‌منظور ساخت مدل مفهومی دشت ماهیدشت گزارش‌های مختلف هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، لوگ‌های زمین‌شناسی (مربوط به چاه‌های اکتشافی)، مطالعات ژئوفیزیک و غیره مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از داده چاه‌های مشاهده-

که، $var(s)$ از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Yue et al. 2002).

$$var(s) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (3)$$

که، t_p تعداد مقادیر نظیر برای مقدار p ام و q تعداد مقادیر مشابه در سری است. در این پژوهش برای تعیین روند مثبت یا منفی تغییرات پارامترهای مورد مطالعه در هر ایستگاه از سطح معنی‌داری ۵ و ۱۰٪ استفاده شد.

از مهم‌ترین مراحل در تعیین تأثیرات فعالیت‌های انسانی و تغییرپذیری اقلیمی بر جریان حوضه، رطوبت خاک و سطح آب‌های زیرزمینی، شناسایی و آزمون نقاط تغییر^۱ است. آزمون پتیت توسط Pettitt (1979) برای شناسایی نقاط تغییر در یک سری زمانی توسعه داده شد. این آزمون یک آزمون نا پارامتری بوده که بدون توجه به توزیع آماری، جهت شناسایی تغییرات معنی‌دار در گرایش مرکزی سری زمانی است. به عبارتی نشانگر تغییر در رفتار یک سری آماری و اگر فرضیه‌ای در مورد زمان تغییر در سری موجود نباشد این موضوع اهمیت بالایی دارد. آماره این آزمون به صورت زیر است. ابتدا سری زمانی $U_{t,n}$ برای متغیرهای X_j و X_i به صورت رابطه (۴) به دست می‌آید (Pettitt 1979).

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (4)$$

که، شمار داده‌ها n و عدد ترتیبی داده‌های سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد از آن t است. تابع علامت $\text{sgn}(\dots)$ نیز به صورت رابطه (۵) محاسبه می‌شود. مقدار k از رابطه (۶) محاسبه شده و در رابطه (۷) جایگزین شده و آماره P به دست می‌آید (Pettitt 1979).

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$K = \max [U_{t,n}] \quad (6)$$

$$P = e^{\frac{-6K^2}{n^3+n^2}} \quad (7)$$

²Multilayer perceptron

¹Change points test

خطای مدل‌های شبکه عصبی در شبیه‌سازی رواناب سطحی و مدل MODFLOW در شبیه‌سازی آب زیرزمینی از معیارهای میانگین مطلق خطا (MAE)، معیار ناش-ساتکلیف (NSE^۱) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE^۲) استفاده شد (Boyce et al. 2015; Jiang et al. 2019).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_o - P_c| \quad (8)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_o - P_c)^2}{\sum_{i=1}^n (P_o - \bar{P}_o)^2} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_o - P_c)^2} \quad (10)$$

که، P_o ، P_c و \bar{P}_o به ترتیب متغیر مشاهداتی، متغیر محاسباتی و میانگین متغیر مشاهداتی است.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- تعیین روند و نقطه تغییر

در ابتدا سری بارش، تبخیر از سطح آزاد، رواناب و سطح آب زیرزمینی به‌دست‌آمده در حوزه آبخیز ماهیدشت طی دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹ مورد تحلیل قرار گرفتند. آزمون من-کندال برای تحلیل روند سری‌های مذکور در طول ۳۸ سال انجام شد.

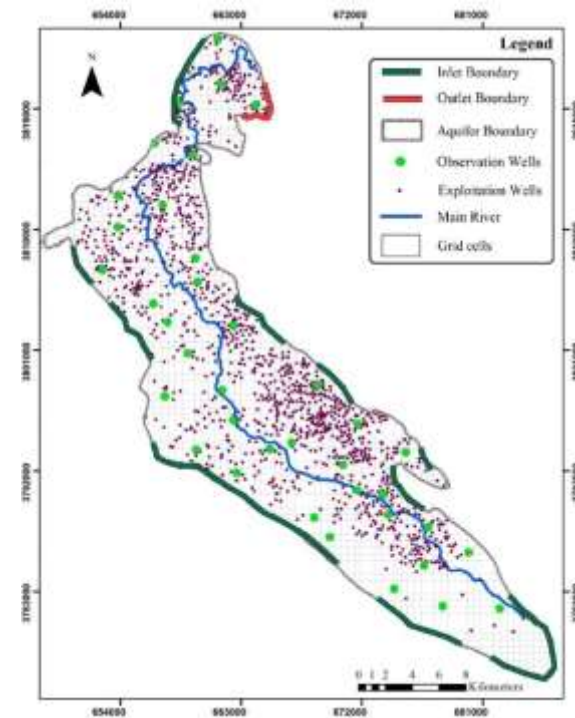
جدول ۱- نتایج آزمون‌های آماری تعیین روند و نقطه تغییر سری بارش، تبخیر از سطح آزاد، رواناب و سطح آب زیرزمینی

Table 1 Trend and change- point analysis of the precipitation series, free surface evaporation, runoff and groundwater level

Factor	MK trend test		Annual Trend	Pettitt change point analysis
	Positive significance	z		
Precipitation	-	-0.60	-0.18 (mm/yr)	No Change
Free surface evaporation	-	-0.16	-0.11 (mm/yr)	No Change
Runoff	0.99	-3.93	-1.04 (mm/yr)	1998
Groundwater Level	0.99	-6.59	-0.7 (m/yr)	2001

نتایج نشان داد که سری بارش و تبخیر روند افزایش یا کاهش معنی‌داری ندارند. رواناب و سطح آب زیرزمینی دارای

ای، اطلاعات تخلیه چاه‌های بهره‌برداری، نفوذ از بارش و نیز محاسبه بیلان منابع آب محدوده، شمای کلی سیستم به-دست آمد. جریان‌های ورودی به سیستم آب زیرزمینی دشت ماهیدشت، به‌طورکلی دربرگیرنده تغذیه از بارش، انتقال آب و تغذیه آبخوان از طریق سرشاخه‌ها و رودخانه فصلی مرگ، تغذیه آب زیرسطحی و جذب آب برگشتی آبیاری است. عمده جریان‌های خروجی دربرگیرنده جریان خروجی زیرسطحی و تخلیه از طریق چاه‌های بهره‌برداری است. مدل-سازی تراز آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای دوره آماری دو ساله (نوامبر سال ۲۰۰۱ تا اکتبر سال ۲۰۰۲) استفاده شد. با توجه به بررسی شرایط پایدار آبخوان (کمترین نوسانات)، اکتبر سال ۲۰۰۱ به‌عنوان ماه مبنا برای شرایط ماندگار انتخاب و مدل بر مبنای آن آنالیز حساسیت و واسنجی شد. در شکل (۳) مدل مفهومی آب زیرزمینی آبخوان ماهیدشت در نرم افزار GMS نشان داده شده است. در این مدل، با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی، مرز بار ورودی و خروجی آبخوان مشخص و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری، رودخانه اصلی ارائه شده است.



شکل ۳- مدل مفهومی MODFLOW

Fig. 3 MODFLOW conceptual model

۲-۶- معیارهای سنجش خطا

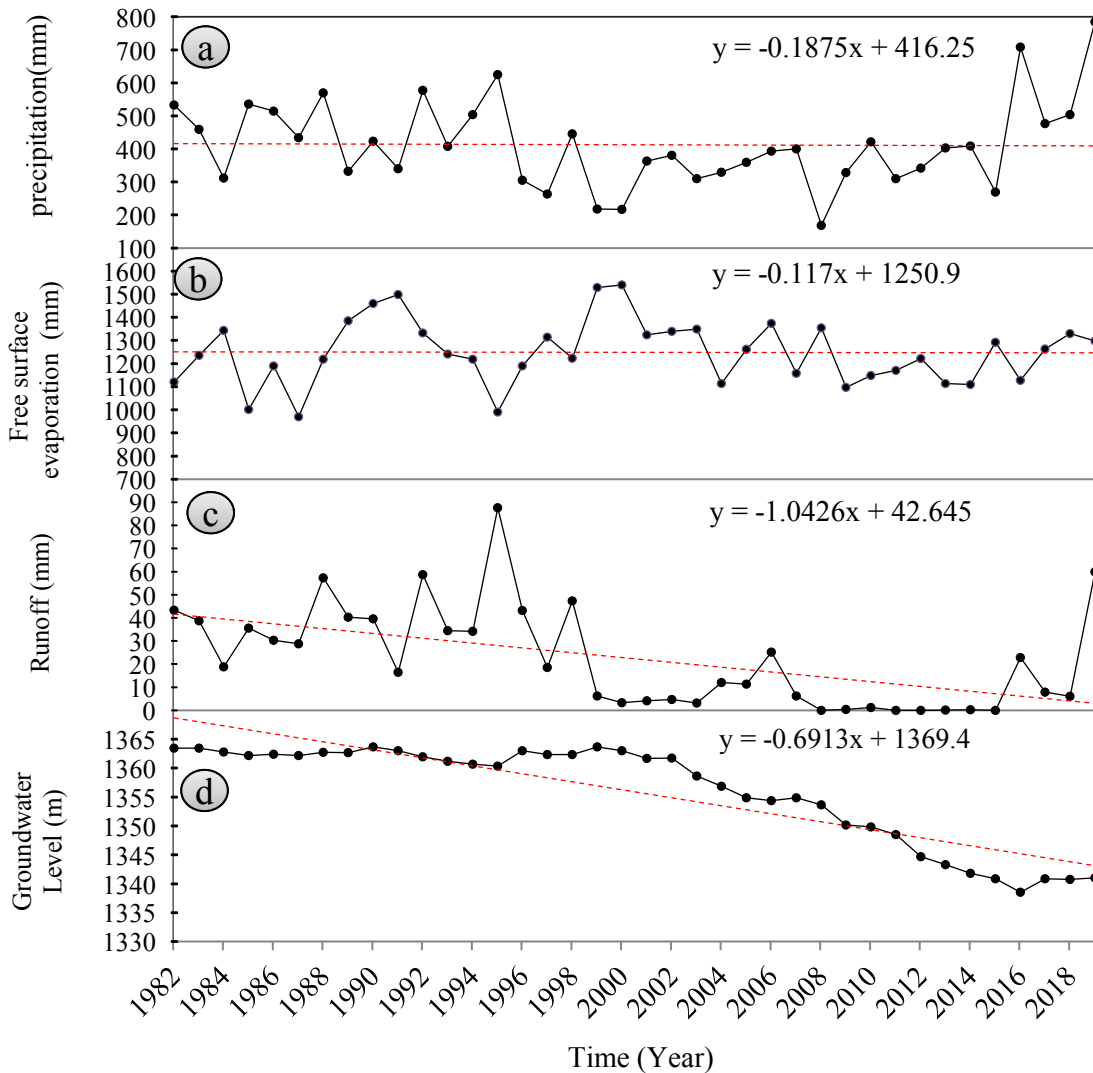
اعتبار هر مدل به‌وسیله معیارهای سنجش خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش برای بررسی و مقایسه میزان

¹Nash-Sutcliffe Efficiency

²Root Mean Square Error

رشد کاهشی قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. بر اساس نتایج آزمون پتیت برای شناسایی نقطه تغییر، بارش و تبخیر بدون نقطه تغییر، ولی سری رواناب و سطح آب زیرزمینی به ترتیب دارای سال شکست (نقطه تغییر) ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ به دست آمد (جدول ۱). (Error! Reference source not found.) مطابق (الف-Error! Reference source not found.) روند کاهشی سریع با نرخ نزولی زیاد را نشان می‌دهند.

رشد کاهشی قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. بر اساس نتایج آزمون پتیت برای شناسایی نقطه تغییر، بارش و تبخیر بدون نقطه تغییر، ولی سری رواناب و سطح آب زیرزمینی به ترتیب دارای سال شکست (نقطه تغییر) ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ به دست آمد (جدول ۱). (Error! Reference source not found.) مطابق (الف-Error! Reference source not found.) روند کاهشی سریع با نرخ نزولی زیاد را نشان می‌دهند.



شکل ۴- تغییرات: الف- بارندگی سالانه، ب- تبخیر از سطح آزاد، ج- ارتفاع رواناب و د- تراز آب زیرزمینی برای محدوده ماهیدشت (خط‌چین قرمز نشان‌دهنده روندهای خطی مربوطه است)

Fig. 4 Changes in a) annual rainfall, b) free surface evaporation, c) runoff and d) groundwater level for the Mahidasht area (red dashed line indicates the corresponding linear trends)

بررسی شد. برای این منظور ۸ شبکه پرسپترون چندلایه‌ای با ورودی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت که جدول (۲) نتیجه مقایسه خطای تولیدشده در حالت آموزش و آزمون را نشان می‌دهد. اندیس $t-1$ ، $t-2$ ، $t-3$ ، $t-4$ و $t-5$ به ترتیب زمان یک، دو، سه، چهار و ۵ ماه قبل پارامتر بارش یا دبی است که به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شد. مشاهده شد که با دخالت

۳-۲- مدل‌سازی جریان سطحی

در این پژوهش از شبکه عصبی MLP با الگوریتم پس انتشار خطا جهت پیش‌بینی میزان جریان رواناب در ایستگاه آب‌سنجی خرس آباد رودخانه مرگ و مقیاس زمانی ماهانه استفاده شد. ورودی مدل شبکه عصبی متغیرهای باران (P) و دبی (Q) با تأخیر زمانی معرفی شد. تأثیر پارامترهای ورودی بر عملکرد شبکه عصبی به‌منظور محاسبه رواناب نیز

پارامترهای ماه‌های قبل، عملکرد مدل‌ها بهبود یافته است. مدل شبکه عصبی با ورودی $(P, P_{t-1}, P_{t-2}, P_{t-3}, Q_{t-1}, Q_{t-2})$ بهترین عملکرد را در دوره آموزش و آزمون داشت. بهره‌گیری از مدل‌های شبیه‌سازی جریان سطحی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به دلیل قابلیت بازتولید ماهیت

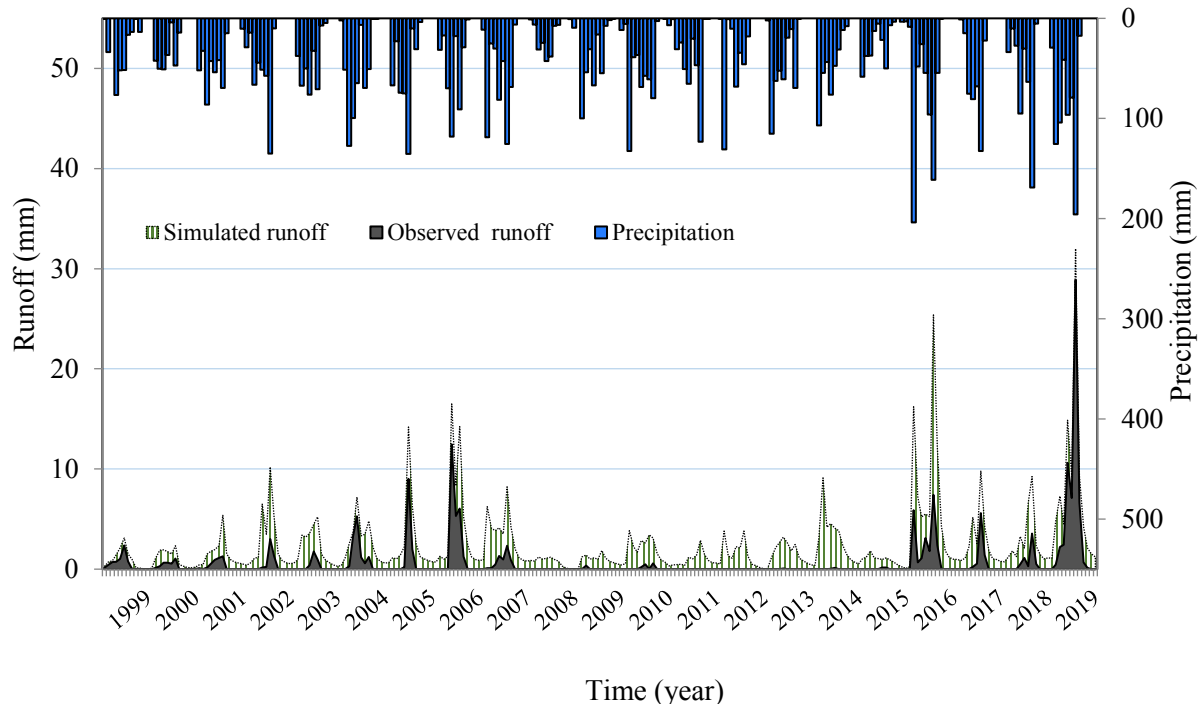
جدول ۲- ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی برای تخمین رواناب

Table 2 Evaluation of neural network models for runoff estimation

Model	Inputs	Architecture	Training			Testing		
			R ²	NSE	RMSE	R ²	NSE	RMSE
MLP-1	P	1-1-1	0.81	0.24	1.287	0.78	0.105	2.842
MLP-2	P, P _{t-1}	2-1-1	0.81	0.148	1.887	0.77	0.043	3.813
MLP-3	P, P _{t-1} , P _{t-2}	3-1-1	0.88	0.102	2.141	0.84	0.098	3.12
MLP-4	P, P _{t-1} , P _{t-2} , P _{t-3}	4-1-1	0.89	0.033	2.087	0.86	0.142	2.948
MLP-5	P, P _{t-1} , P _{t-2} , P _{t-3} , P _{t-4}	5-1-1	0.95	0.787	0.943	0.91	0.214	1.807
MLP-6	P, P _{t-1} , P _{t-2} , P _{t-3} , P _{t-4} , P _{t-5}	6-1-1	0.96	0.813	0.884	0.93	0.657	1.108
MLP-7	P, P _{t-1} , P _{t-2} , P _{t-3} , Q _{t-1}	5-1-1	0.97	0.879	0.771	0.92	0.287	1.654
MLP-8	P, P _{t-1} , P _{t-2} , P _{t-3} , Q _{t-1} , Q _{t-2}	6-1-1	0.98	0.974	0.327	0.96	0.0806	0.684

خشک‌سالی برآورد نموده است، اما در داده‌های ثبت شده به عنوان واقعیت منطقه، این رقم عدد قابل توجهی نبوده و جریان پایه بسیار اندک است. این موضوع نشان داد که اثر برداشت از آب زیرزمینی و مصرف آب در حوضه، به‌طور مستقیم بر جریان آب سطحی اثرگذار است. داده‌های مدل در دوره ترسالی با واقعیت جریان همخوانی بیشتری دارد.

با استفاده از مدل MLP-8 شبیه‌سازی جریان برای دوره بعد از نقطه تغییر بدون دخالت عوامل انسانی (۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹) نیز انجام شد که در شکل (۵) نمایش داده شده است. از این داده‌ها به‌عنوان ورودی به مدل آب زیرزمینی در مرحله تفکیک اثر عوامل انسانی و اقلیمی استفاده شد. شبیه‌سازی جریان بر اساس مدل مذکور، حداقل جریان را طی دوره



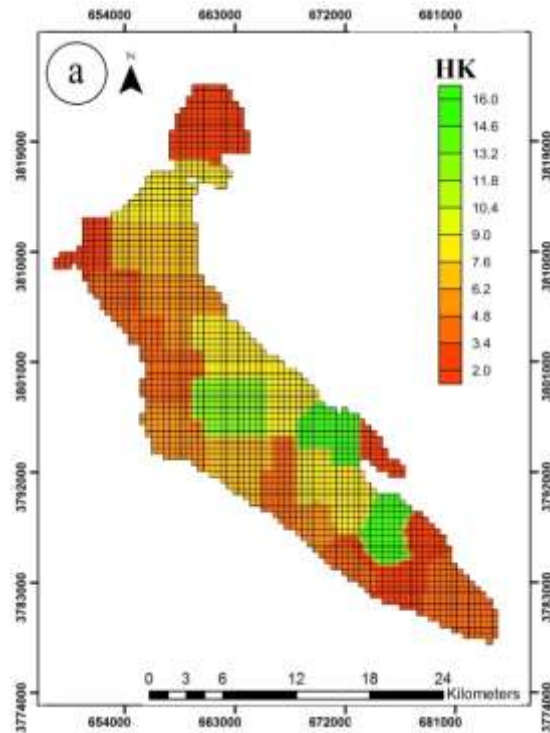
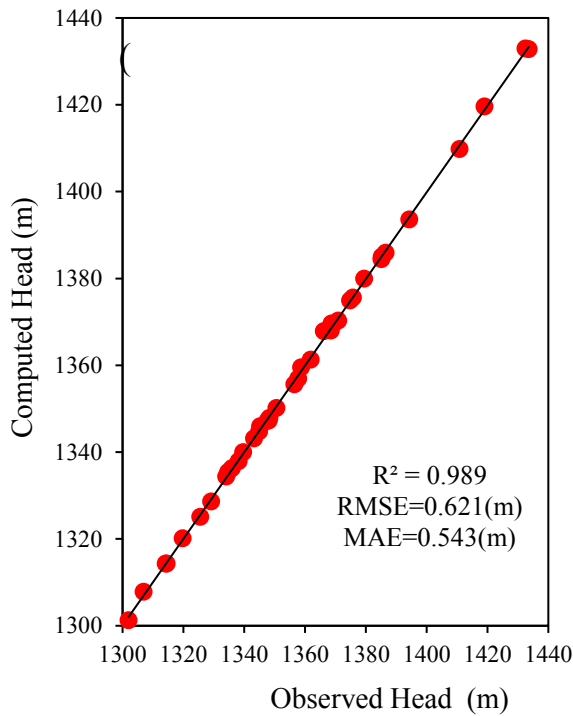
شکل ۵- رواناب پیش‌بینی شده بعد از نقطه تغییر (۱۹۹۸-۲۰۱۹)

Fig. 5 Predicted runoff after the change point (1998-2019)

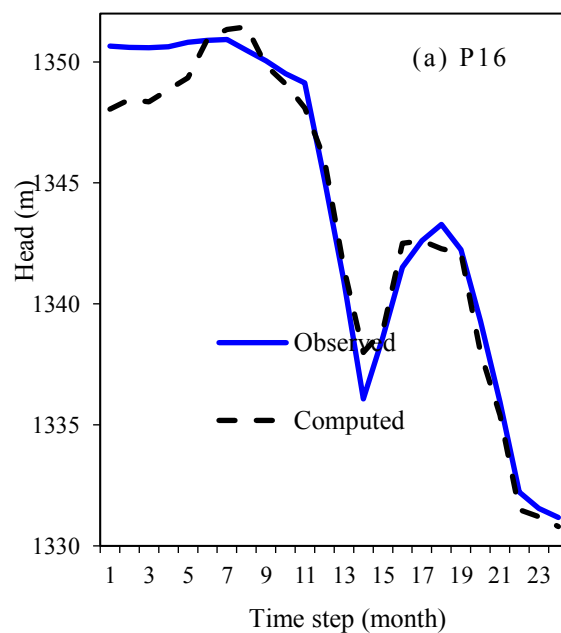
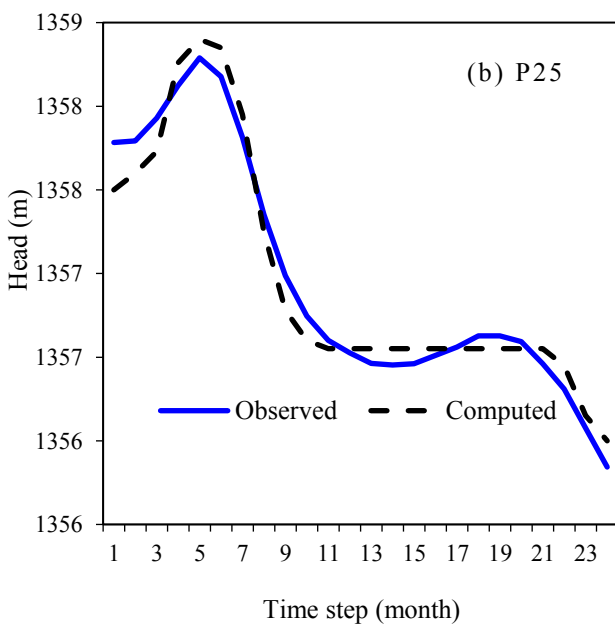
۳-۳- مدل سازی جریان آب زیرزمینی

شبه سازی آب های زیرزمینی آبخوان ماهیدشت با استفاده از داده های ۳۹ چاه مشاهده ای در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار انجام شد. شکل (۶-الف) نتایج واسنجی شده پارامتر هدایت هیدرولیکی و شکل (۶-ب) همبستگی تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی را در شرایط ماندگار نشان می دهد. پس از واسنجی، هدایت هیدرولیکی بین ۱/۵ m/d

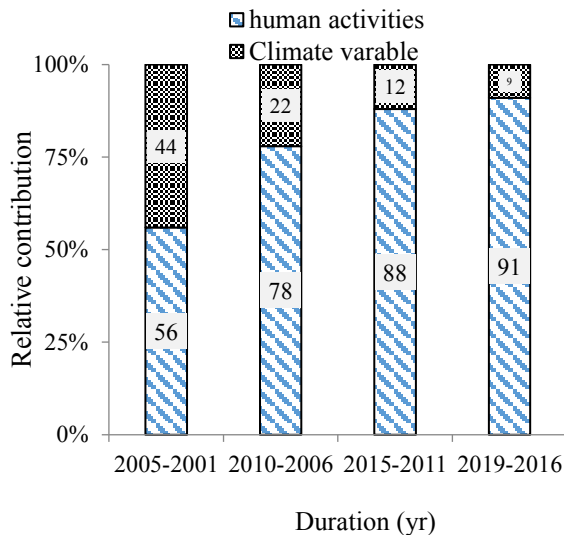
تا ۱۶ m/d برآورد شد. (Zare (2008) این متغیر را بین ۲ تا ۱۲ m/d در پژوهشی در زمینه امکان تغذیه مصنوعی با استفاده از مدل مفهومی و ریاضی در آبخوان دشت ماهیدشت به دست آورد. مقادیر معیارهای ارزیابی خطا ضریب همبستگی، RMSE و MAE در این مرحله به ترتیب ۰/۹۸۹، ۰/۶۲۱ و ۰/۵۴۷ به دست آمد که بیانگر دقت مناسب مدل است.



شکل ۶- الف) نتایج واسنجی شده هدایت هیدرولیکی و ب) همبستگی تراز آب زیرزمینی
 Fig. 6 a) calibrated value of hydraulic conductivity and b) correlation of groundwater level



نتایج نشان داد سهم مشارکت تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در افت تراز آب زیرزمینی ماهیدشت برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۰۱ به ترتیب ۲۲ و ۷۸٪ بدست می‌آید. شکل (۸) تفکیک این سهم در دوره‌های ۵ ساله را نشان می‌دهد.



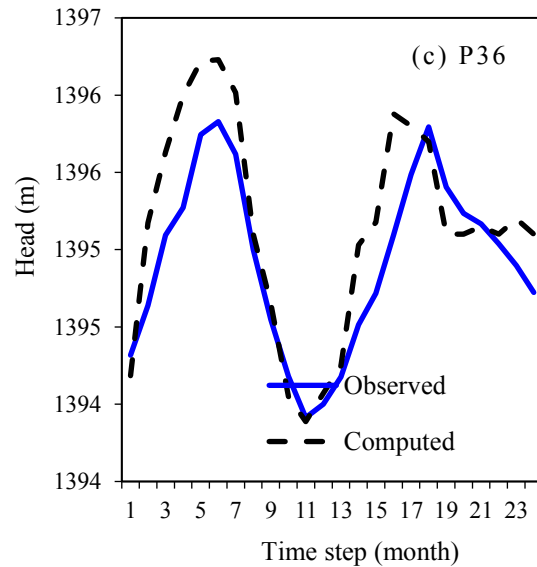
شکل ۸- سهم مشارکت تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در افت تراز آب زیرزمینی ماهیدشت

Fig. 8 Relative contributions of climate variability and human activities to groundwater drawdown of Mahidasht

تاکنون هیچگونه پژوهشی بر روی ارزیابی سهم تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر روی منابع آب زیرزمینی ماهیدشت انجام نشده است. اما پژوهش انجام شده توسط (Ahmadi (2018) در خصوص آشکارسازی و نسبت‌دهی تغییر اقلیم و تفکیک اثرات انسانی و اقلیمی در حوزه آبخیز رودخانه کرخه نیز مؤید نسبت سهم ۴۷ به ۵۳٪ متغیرهای اقلیمی به فعالیت‌های انسانی در افت ارتفاع آب زیرزمینی زیرحوضه قره‌سو (حوضه آبخیز ماهیدشت یکی از زیرحوضه‌های قره‌سو است) است همچنین در پژوهشی Khalaj et al. (2019) به بررسی تاثیر عوامل انسانی و اقلیمی بر تغییرات تراز و کیفیت آب زیرزمینی در مناطق نیمه خشک (دشت مهاباد) پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد عوامل انسانی عامل غالب بر تغییرات کمی و کیفی آبخیز دشت مهاباد است.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش ارزیابی سهم فعالیت‌های انسانی و تغییرپذیری اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی آبخیز ماهیدشت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج زیر قابل بیان است:



شکل ۷- شبیه‌سازی چاه‌های مشاهده‌ای شماره الف) ۱۶، ب) ۲۵ و ج) ۳۶

Fig. 7 Simulation of observation water table at observation well a) 16, b) 25, and c) 36

مدل در حالت غیر ماندگار نیز برای ۲۴ گام زمانی و از نوامبر ۲۰۰۱ اجرا و واسنجی شد. نتایج شبیه‌سازی چاه‌های مشاهده‌ای شماره ۱۶، ۲۵ و ۳۶ واقع در سه ناحیه مختلف در آبخیز در شکل (۷) آورده شده است. در این مرحله نیز مقادیر معیارهای ارزیابی خطا شامل ضریب همبستگی، RMSE و MAE قابل قبول بوده و به ترتیب ۰/۷۱۹، ۰/۹۷ و ۰/۴۴۶ به دست آمد. این موضوع نشان‌دهنده انطباق مناسب مدل با تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخیز ماهیدشت است. موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در شکل (۱) ارائه شده است.

به‌منظور برآورد سهم هر یک از عوامل اقلیمی و انسانی، با شناسایی نقطه تغییر رواناب و تراز آب زیرزمینی به دو دوره تقسیم شد. دوره پایه (دست‌نخورده) از ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۸ برای رواناب و ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۱ برای تراز آب زیرزمینی و دوره تغییر (دست‌خورده) از ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ برای رواناب و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ برای تراز آب زیرزمینی تقسیم شد. سال پایه برای تراز آب زیرزمینی با در نظر گرفتن حداقل نوسانات و کمترین اثر بهره‌برداری و شرایط اقلیمی نرمال، سال ۱۹۸۵ انتخاب شد. پس‌از آن از مدل آب زیرزمینی تهیه شده بر اساس نتایج شبیه‌سازی رواناب به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی در سال‌های بعد از نقطه تغییر رواناب در شرایط عدم بهره‌برداری اجرا شد.

۴- روند زمانی تغییرات سهم مشارکت تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در افت تراز آب زیرزمینی ماهیدشت نشان می‌دهد برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۰۱ سهم برای فعالیت‌های انسانی از ۵۶٪ به ۹۱٪ رسیده است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولیدشده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۱- نتایج تحلیل روند سری آماری ۳۸ ساله این محدوده به روش من-کندال نشان داد که سری بارش و تبخیر بدون روند معنی‌دار است. سری آماری رواناب و سطح آب زیرزمینی دارای روند کاهشی قابل ملاحظه‌ای می‌باشند.

۲- آزمون شناسایی نقطه تغییر پیتت نشان داد، سری آماری بارش و تبخیر بدون نقطه تغییر بوده، اما سری رواناب و تراز آب زیرزمینی درای نقطه تغییر به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ است.

۳- در آبخوان ماهیدشت استان کرمانشاه کاهش تراز آب زیرزمینی بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی (استحصال آب زیرزمینی) بوده و کمتر تحت تأثیر تغییر پذیری اقلیمی است.

References

- Ahmadi, H. (2018). Detection and attribution of climate change and separating the impacts of climate change and human activities in the Karkheh river catchment area under uncertainty. Master Dissertation, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. 148 pp. [In Persian].
- Ahmadi, H., & Delavar, M. (2019). Comparison of different approaches to separating human and climatic impacts on run-off changes in basins. *Iran. J. Ecohydrol.*, 6(4), 943-955. DOI: [10.22059/ije.2019.283700.1139](https://doi.org/10.22059/ije.2019.283700.1139) [In Persian].
- Anonymous (2013). Water balance studies of the Karkheh, Mahidasht study area in the year 2010-2011. Water balance report. *Iran Water Resources Management Company*. Accessed on 22.02.2022. available at: <https://www.wrm.ir/> [In Persian].
- Boyce, S. E., Nishikawa, T., & Yeh, W. W. (2015). Reduced order modeling of the Newton formulation of MODFLOW to solve unconfined groundwater flow. *Adv. Water Resour.*, 83, 250-262. DOI: [10.1016/j.advwatres.2015.06.005](https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.06.005)
- Chen, H., Wu, M., Duan, Z., Zha, Y., Wang, S., Yang, L., Zou, L., Zheng, M., Chen, P., Cao, W., & Zhang, W. (2023). Forecasting the human and climate impacts on groundwater resources in the irrigated agricultural region of North China Plain. *Hydrol. Processes.*, 37(3). e14853. DOI: [10.1002/hyp.14853](https://doi.org/10.1002/hyp.14853)
- Cuadrado-Quesada, G., & Rayfuse, R. (2019). Towards Sustainability in Groundwater Use: An Exploration of Key Drivers Motivating the Adoption and Implementation of Policy and Regulation. *Environ. Law.*, 32(1). 111-137. DOI: [10.1093/jel/eqz020](https://doi.org/10.1093/jel/eqz020)
- Dai, A. G. (2011). Drought under global warming: A review. *WIREs Clim Change*, 2(1), 45-65. DOI: [10.1002/wcc.81](https://doi.org/10.1002/wcc.81)
- Dehghani, N., Wafakhah, M. & Behrmand, Abdolreza. (2015). Precipitation-runoff modeling using artificial neural network and fuzzy-adaptive neural network in Kesilian watershed. *Watershed. Manag. J.*, 7(13), 128-137. DOI: [10.18869/acadpub.jwmr.7.13.137](https://doi.org/10.18869/acadpub.jwmr.7.13.137). [In Persian].
- Ghamarnia, Gh., Enayati, S., & Amini, A. (2022) Numerical Simulation of Bijar-Divandere Plain Aquifer Using MODFLOW Code and Investigation in the Effects of Drought on Its Quantitative Changes. *Environ. Water Eng.*, 8(1).15-30. DOI: [10.22034/jewe.2021.285092.1562](https://doi.org/10.22034/jewe.2021.285092.1562) [In Persian].
- Heim, R. R. (2002). A review of twentieth century drought indices used in the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 83(8). 1149-1165. DOI: [10.1175/1520-0477-83.8.1149](https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1149)
- Jabalbarezi, B., Zehtabian, Gh., Tavili, A., & Khosravi, H. (2020). Ation of Changes in Groundwater Level of Jafaria Plain Using

- GMS Software and MODFLOW Code. *Iran. J. Watershed. Manag. Sci. and Eng.*, 14(50). 51-58. [In Persian].
- Jiang. S., Wang. M., Ren. L., Xu. C., Yuan. F., Liu. Y., & Shen. H. (2019). A framework for quantifying the impacts of climate change and human activities on hydrological drought in a semiarid basin of Northern China. *Hydrol. Process.*, 33. 1075–1088. DOI: [10.1002/hyp.13386](https://doi.org/10.1002/hyp.13386)
- Khalaj, M., Kholghi, M., Saghafian, B., & Bazrafshan, J. (2019). Investigation about climate change and human activity effects on groundwater level and groundwater quality in semiarid region, *Iran- Water Resour. Res.*, 15(2), 278-290. DOI: [20.1001.1.17352347.1398.15.2.21.0](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1398.15.2.21.0) [In Persian].
- Mohammadi, A. & Ghaeini-Hessaroyeh. M. (2021). Groundwater Modeling of Astaneh-Kuchesfehan Aquifer. *Irrig. Sci. and Eng.*, 44(3). 29-44. DOI: [10.22055/jise.2020.22058.1582](https://doi.org/10.22055/jise.2020.22058.1582) [In Persian].
- Mohan, S. & Kuipally, N. (2021). *Groundwater and Conjunctive Use Management*. Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-60147-8_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60147-8_23)
- Nakhaei, M., Hasani, A., Moghimi, H., & Abbasnovinpour, E. (2022). Predicting the effects of overuse on Zarandieh plain aquifer (Markazi province, Iran) using GMS software. *Hydrogeol.*, 6(2), pp. 13-29. DOI: [10.22034/hydro.2022.13017](https://doi.org/10.22034/hydro.2022.13017) [In Persian].
- Niemann. JD. & Eltahir. E. (2005). Sensitivity of regional hydrology to climate changes. with application to the Illinois river basin. *Water Resour. Res.*, 41(7). DOI: [10.1029/2004WR003893](https://doi.org/10.1029/2004WR003893)
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *J. R. Stat. Soc.*, 28(2), 126–135. DOI: [10.2307/2346729](https://doi.org/10.2307/2346729)
- Poonia. V. & Tiwari. Hari.Lal. (2020). Rainfall-runoff modeling for the Hoshangabad Basin of Narmada River using artificial neural network. *Arab. J. Geosci.*, 13(944). DOI: [10.1007/s12517-020-05930-6](https://doi.org/10.1007/s12517-020-05930-6)
- Qu. X., Alvarez. P. J. J., & Li. Q. (2013). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Res.* 47 (12). 3931–3946. DOI: [10.1016/j.watres.2012.09.058](https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.058).
- Rivera. J. A., Araneo. D. C., Penalba. O. C., & Villalba, R. (2018). Regional aspects of stream flow droughts in the Andean rivers of Patagonia. Argentina. Links with large-scale climatic oscillations. *Hydrol. Res.*, 49(1). 134–149. DOI: [10.2166/nh.2017.207](https://doi.org/10.2166/nh.2017.207)
- Sheikha BagemGhaleh. S., Babazadeh. H., Rezaei. H., & Sarai Tabrizi. M. (2023). Numerical modeling and trend analysis of Mahabad aquifer quantitative status. *Water Soil. Manage. Model.*, 3(2). 1-17. DOI: [10.22098/mmws.2022.11275.1113](https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11275.1113) [In Persian]
- Siebert. S., Burke. J., Faures. J. M., Frenken. K., Hoogeveen. J., Döll. P., & Portmann. F. T. (2010). Groundwater use for irrigation – a global inventory. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14. 1863–1880. DOI: [10.5194/hess-14-1863-2010](https://doi.org/10.5194/hess-14-1863-2010)
- Wada. Y., van Beek. L. P. H., van Kempen. C. M., Reckman. J. W. T. M., Vasak. S., & Bierkens, M. F. P. (2010). Global depletion of groundwater resources. *Geophys. Res. Lett.* 37 (20). DOI: [10.1029/2010GL044571](https://doi.org/10.1029/2010GL044571)
- Wreikat, M & Kharabsheh, A. (2020). Impact of over-pumping on groundwater resources sustainability at Amman Zarqa basin, Jordan: a case study of arid areas affected by Syrian refugee's crisis. *Environ Earth Sci.*, 79(19). DOI: [10.1007/s12665-019-8768-0](https://doi.org/10.1007/s12665-019-8768-0)
- Yousefi. A., Nasiri. B., Karampour. M., & Malekian, A. (2018). Investigating climate change on changes in groundwater level in dry areas. case study: Bagh Desert. *Q. J. Phys. Geogr.*, 11(42): 97-112. DOI: [20.1001.1.20085656.1397.11.42.7.5](https://doi.org/10.1001.1.20085656.1397.11.42.7.5) [In Persian].
- Yue. S., Pilon. P., & Cavadias. G. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *J. Hydraul.*, 259(1-4), 254-271. DOI: [10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7).
- Zare, M. (2008). Investigating the possibility of artificial recharge using a conceptual and mathematical model in Mahidasht plain aquifer. Master Thesis, University of Razi, Kermanshah, Iran. 145 pp. [In Persian].