Original Article, Vol. 11, No. 4, Winter, 2024, pp 55-70

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Sensitivity Analysis of The Urmia Plain Aquifer Level

K. Yousefi[1*], M. Dusti Rezaei[2], J. Ahmadaali[3]

1. Ph.D. in Water Structures, Expert in Surface Water Studies, West Azerbaijan Regional Water Company, Urmia, Iran.
2. Ph.D. in Irrigation and Drainage, Director of Basic Studies of Water Resources, West Azerbaijan Regional Water Company, Urmia, Iran.
3. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

* Corresponding Author: k.yousefi@yahoo.com

Received date: 05/09/2023 **Accepted date: 22/10/2023**

10.22034/JDMAL.2023.2010827.1434

Extended Abstract

Introduction

Water is the source of life and a strategic resource for human societies. The need for this vital resource is increasing exponentially due to the increase in population and the development of industry and agriculture. People are forced to use underground water because surface water is not generally and permanently responsive to diverse needs. A decrease in their volume and many problems have been caused by the excessive use of these resources. This crisis has caused regional crises caused by the imbalance of resources and consumption, along with climate changes, has raised the issue of integrated management of water resources more than ever. Agricultural land has been developed due to the increase in population and the need for more food. Programs without principles that rely solely on the quality and quantity of underground water resources have been harmful. Groundwater aquifers are transformed into sources of the country's needs due to the heterogeneous and untimely temporal and spatial distribution of discharges and surface water flows. In recent years, with the increase in water demand and the non-supply of a significant part of it by surface water sources, the extraction - permitted and unauthorized - of underground water sources has been given much attention; so that the level of underground aquifers has decreased dramatically across the country. The purpose of the present study was to investigate the impact of the important variables of precipitation, inflation and annual population as a representative of climatic, economic and social factors on the fluctuations of the underground water level in Urmia region.

Material and Methods

In the present study, the impact of three factors, precipitation, population and inflation, on the subsidence of the Urmia Plain aquifer has been investigated. To do this, multiple linear regressions was performed between the data of the annual loss of the groundwater level during 38 years, 1981 to 2019 with three variables of precipitation, population and inflation index of the previous year. According to the previous researches, firstly, an index of inflation has been established by comparing the average loss of the piezometric level of the underground water in

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Original Article, Vol. 11, No. 4, Winter, 2024, pp 55-70

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Urmia region as a dependent variable, with the three independent variables of the average rainfall of water year as the most important climatic factor, the annual population of the major centers of human concentration located in the Urmia plain of previous year, and the base coefficient of the annual monetary value of previous year compared to 1981 using a multivariable linear regression. Then, the outcome is compared to the outcomes of artificial neural networks such as four-layer perceptron, three-layer perceptron, and radial basis function. All three networks have an input layer with three neurons to receive the values of the three independent variables of precipitation, population and inflation. One or two hidden layers with a number of neurons, to perform calculations and process the relationship between independent and dependent variables; and an output layer with a neuron to provide the processing results i.e., the estimated aquifer subsidence rate. The data used in the present study were derived from the years 1981-2019. The reference of the aquifer level data is the hydrograph extracted from 67 piezometer wells in the area by the underground water unit of basic studies of the West Azerbaijan Regional Water Company. The annual rainfall data reference is of the Urmia camp evaporation station located in the company premises, which is well controlled and highly reliable as an indicator of rainfall changes in the region. Population data is sourced from the Iranian Statistics Center, while inflation data is sourced from the Central Bank of Iran.

Results and Discussion
According to the results of the reviewed models, despite the differences in the values of the numerical results, in all four models: multivariate linear regression, perceptron artificial neural networks of the four layers MLP:3-2-2-1, and the three layers MLP:3-5-1 and the radial basis function RBF: 3-5-1, it can be seen that the importance of the independent variables under study are population, inflation and annual precipitation respectively. It is obvious that a larger population needs more food, clothing, housing, etc., which, according to the concept of virtual water, ultimately leads to more use of the limited available water and soil resources. Economic activity, particularly agriculture, is increased due to the depreciation of currency and decrease in people's purchasing power, which is a result of the decrease in purchasing power and the depreciation of currency. This problem has also led to the change of land use of natural resources to agricultural lands that are either rainfed or irrigated. Explaining that rain fed lands cause more rainwater loss through capture and then evaporation and transpiration by plants planted by farmers. Irrigation of agricultural plants or gardens of irrigated lands - mainly with unauthorized water harvesting - ultimately leads to more water consumption. Additionally, humans have exploited underground water resources due to the inappropriate and untimely distribution of rainfall and surface water resources. Although by adopting new management methods, both social and economic, and improving water productivity, despite the increase in demand for water, despite our efforts to protect this vital, sensitive, and strategic resource, statistical studies, including the current results, demonstrate that we have not chosen the correct solutions. Considering some irreparable effects of the aquifer level drop, including irreversible changes in the mechanical characteristics of the soil, which lead to more vulnerability of infrastructures and facilities; the emphasis is placed on comprehensive water resource management and the concept of virtual water and its trade.

Keywords: Urmia plain; Ground water; Precipitation; Population; Inflation; Artificial Neural Network

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

مقاله پژوهشی، سال یازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۵۵ تا ۷۰

نشریه مدیریت بیابان

www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

واکاوی حساسیت تراز سفرهٔ آب زیرزمینی دشت ارومیه

کامران یوسفی[۱*]، مهرنگ دوستی‌رضایی[۲]، جمال احمدآلی[۳]

۱. دکتری سازه‌های آبی، کارشناس مطالعات آب‌های سطحی، شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ارومیه، ایران.
۲. دکتری آبیاری و زهکشی، مدیر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ارومیه، ایران.
۳. استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: k.yousefi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

10.22034/JDMAL.2023.2010827.1434

چکیده

توزیع ناهمگون و نابهنگام زمانی و مکانی بارش‌ها و جریانات آب سطحی، موجب تبدیل سفره‌های آب زیرزمینی به منابع ضروری کشور شده است. در سال‌های اخیر با افزایش تقاضای آب و عدم تأمین بخش قابل ملاحظه‌ای از آن توسط منابع آب سطحی، استحصال مجاز و غیر مجاز منابع آب زیرزمینی بسیار مورد توجه قرارگرفته؛ به طوری که در کل کشور سطح سفره‌های زیرزمینی با افت شدید مواجه شده است. در پژوهش حاضر میزان تأثیر سه عامل بارش، جمعیت و تورم بر اُفت آبخوان دشت ارومیه مورد بررسی قرارگرفته است. برای انجام این کار، بین داده‌های اُفت سالانه سطح سفره آب زیرزمینی در ۳۸ سال از ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۸ با سه متغیر بارش، جمعیت و شاخص تورم سال قبل رگرسیون خطی چند متغیره برقرارشد. ضریب تعیین تعدیل شده رگرسیون بیش از ۰/۸۵ بود. با توجه به ضرایب بتای استاندارد، اولویت میزان تأثیر متغیرهای مورد بررسی بر افت آبخوان عبارت از جمعیت ۰/۵۱۴ افزایشی، تورم ۰/۴۳۴ افزایشی و بارش ۰/۲۴۱- کاهشی بود. همچنین برای شبیه‌سازی معادلات، از شبکه‌های عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی RBF:3-5-1 دارای سه لایه با ۳، ۵ و ۱ نرون به ترتیب در لایه ورودی، لایه پنهان میانی و لایه خروجی و پرسپترون سه لایه MLP:3-5-1 و چهار لایه MLP:3-2-2-1 بهره‌گیری شد؛ و نتایج تأئید کننده یافته های رگرسیون بود. به عبارت دیگر بر اساس نتایج این پژوهش تأثیر تغییرات اقلیمی به ویژه بارندگی کمتر از سیاست‌ها و شرایط اجتماعی- اقتصادی بوده است. ضمناً با مقایسه مدل‌های شبیه‌سازی مذکور، بهترین برآورد مربوط به شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه MLP:3-5-1 می‌باشد.

واژگان کلیدی: دشت ارومیه؛ آب زیرزمینی؛ بارش؛ جمعیت؛ تورم؛ شبکه عصبی مصنوعی

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

■ مقدمه

اهمیت آب شیرین به دلیل رشد جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای این منبع در سطح جهان در حال افزایش است. علیرغم افزایش تقاضا، توزیع نابرابر و محدودی از مقدار آب شیرین موجود در کره زمین وجود دارد. برآورد می‌شود که رشد روزافزون جمعیت، توسعه صنعتی، تغییرات آب و هوایی و ارتقاء سطح کشاورزی از طریق آبیاری در دهه‌های آینده، موجب تقاضای منابع آب تا سطوحی خواهد شد که برای تأمین منابع کافی برای بقای انسان دشوار خواهد بود (۱۷).

آب مایه حیات و منبع استراتژیک جوامع بشری است. با افزایش جمعیت و توسعه صنعت و کشاورزی نیاز به این منبع حیاتی به صورت فزاینده‌ای در حال رشد بوده است. به نحوی که استفاده از آب‌های سطحی پاسخگوی نیازهای متنوع نبوده و انسان وادار به مصرف آب زیرزمینی شده است. آب‌های زیرزمینی با تأمین ۳۶٪ از آب آشامیدنی و ۴۲٪ از آب کشاورزی، منبع کلیدی آب شیرین در سطح جهان است. آب‌های زیرزمینی نقشی حیاتی در حفظ بوم‌نظام‌ها و تضمین سازگاری انسان با تغییرات شدید و غیرمنتظره محیطی جهانی ایفا می‌کند، به‌ویژه هنگامیکه سامانه‌های آب‌های سطحی در مواجهه با رشد سریع جمعیت و تغییرات آب و هوایی ناپایدارتر می‌شوند. استفاده بیش‌از ظرفیت از این منابع، کاهش حجم آنها را به دنبال داشته و مشکلات زیادی را ایجاد کرده است (۲، ۳، ۱۵). این مسئله منجر به ایجاد بحران‌های منطقه‌ای ناشی از عدم موازنه منابع و مصارف شده، در کنار تغییرات جوی، بیش از پیش موضوع مدیریت یکپارچه منابع آب را مطرح کرده است (۱۶). شهرنشینی سریع، رشد جمعیت، صنعتی‌شدن، بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، توریسم و توسعه اقتصادی فشار زیادی بر منابع آب زیرزمینی ایجاد کرده است که در نهایت منجر به کاهش تراز سطح آب و نرخ تغذیه آب زیرزمینی خواهد شد. تغییرات اقلیمی هم‌چنین با تأثیرگذاری بر متغیرهای بلندمدت آب و هوایی مانند دمای هوا، بارش و تبخیر و تعرق به تهدیدی جدی برای منابع آب تبدیل شده است (۱۰). افزایش جمعیت و نیاز بیشتر به غذا باعث تغییر کاربری اراضی به منظور توسعه اراضی کشاورزی شده که اغلب بدون برنامه اصولی بوده و سرانجام بر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی اثرات زیان‌بار وارد کرده است (۷). از سوی دیگر ایرانِ امروز با افزایش میانه سنی به بیش از ۳۰ سال، در آستانه سالخوردگی قرار دارد. این مسئله منجر به اتخاذ سیاست‌های افزایش جمعیت توسط سیاست‌گذاران شده است. این موضوع در کنار محدودیت منابع، چالش‌هایی را در سطح ملی ایجاد نموده است (۲۱). لذا از آن جایی که جمعیت و توسعه پایدار رابطه معناداری با هم دارند، نظریات مختلفی بین طرفداران و مخالفان رشد جمعیت از لحاظ تعادل بین جمعیت و منابع موجود وجود دارد (۸). به این ترتیب آب یکی از چالش‌های دوران حاضر شده و در آینده نیز به عنوان یکی از مشکلات عمده جوامع بشری به حساب خواهد آمد (۱۴). به علاوه بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر منابع آب، به‌ویژه منابع آب زیرزمینی در مناطق نیمه‌خشک و خشک دارای ارزش زیادی است؛ زیرا سطح آب زیرزمینی در این مناطق تحت تأثیر شرایط اقلیمی و دخالت‌های انسانی به شدت در حال تغییر بوده است (۲۲).

گرمایش زمین تهدیدی جدی برای منابع آبی است. تغییر اقلیم می‌تواند به طور مستقیم و یا غیرمستقیم بر اجزای مختلف چرخه هیدرولوژیکی، که در آن بارش، ذوب برف، و تبخیر و تعرق با عرضه و تقاضای آب کشاورزی مرتبط هستند تأثیر بگذارد. افزایش تقاضای آب و کاهش عرضه آب سطحی ناشی از گرم شدن آب و هوا می‌تواند بر ذخیره آب‌های زیرزمینی از طریق افزایش بهره‌برداری از آن تأثیر منفی بگذارد (۱).

افزایش جمعیت و نیاز به آب برای تولیدات کشاورزی و صنعتی اهمیت آب را برای کشورهای در حال توسعه از جمله ایران دو چندان کرده است. با این حال تاکنون مطالعات اندکی به بررسی رابطه رشد اقتصادی و مصرف آب پرداخته است (۱۱). نظر به اهمیت موضوع آب و تأثیر آن بر ادامه حیات موجودات زنده با نگاه به شرایط کنونی منابع آبی، پژوهش و مطالعه در این حوزه با رویکردی آینده‌نگرانه به‌منظور افزایش افق دید و آمادگی برای مواجهه با شرایط احتمالی در آینده و نیز تدوین سیاست‌های اجرایی مناسب،

یکی از مهم‌ترین اولویت‌های علمی-پژوهشی کشور محسوب می‌شود (۲۳).

بررسی تأثیر بالقوه تغییر اقلیم و تغییرات اجتماعی و اقتصادی در امنیت آب در آینده در هیمالیای هند نشان داد که بارش سالانه در قسمت پایین دست در آینده به ترتیب ۵٪ تا ۱۰٪ و دما ۱°C تا ۱/۵۵ °C از سطح پایه افزایش خواهد یافت. پیش‌بینی‌های کاربری اراضی نشان داد که به دلیل افزایش شهرنشینی، اراضی آبی برای پنجاب ۱۰٪ تا ۳۰٪ و هاریانا ۵٪ تا ۱۰٪ کاهش می‌یابد، در حالی‌که در راجستان بین ۱۲٪ تا ۱۸٪ افزایش می‌یابد. در نتیجه، تقاضای سالانه آب آبیاری برای پنجاب ۱۰٪ و برای هاریانا ۵٪ کاهش خواهد یافت، در حالی که برای راجستان ۱۳٪ افزایش خواهد یافت (۶).

بررسی تغییرات تراز سفره آب زیرزمینی در شهرستان داراب نشان داد عوامل انسانی هم‌چون حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و استحصال زیاده از حد و عوامل طبیعی مانند بارش و تبخیر از جمله تاثیرگزارترین موارد بر تراز سطح آب زیرزمینی می‌باشد (۹). نتایج ارزیابی عامل‌های موثر بر مقدار منابع آب زیرزمینی منطقه مهران نشان داد که در سال‌های کنونی بر توسعه زمین‌های کشاورزی، نواحی قابل سکونت، زمین‌های لم یزرع و مراتع خیلی فقیر اضافه شده و به‌جای آن از مساحت مراتع فقیر کم شده است. نتایج نشان‌داد که تراز آب زیرزمینی به میزان ۱۶/۹m افت داشته و بین افت تراز آب زیرزمینی و افزایش نواحی مسکونی و زمین‌های کشاورزی ارتباط مستقیم وجود دارد؛ بنابراین افزایش زمین‌های کشاورزی و به تبع آن افزایش چاه‌های بهره‌برداری، موجب برداشت بیش از اندازه و افت آب زیرزمینی در این منطقه شده است. در ضمن نحوه تغییرات بارش، عامل دیگر در کاهش سطح آب زیرزمینی در آبخوان این دشت بوده است (۱۲).

بررسی تأثیر عوامل زمین‌شناسی و آب و هوایی بر مقدار و چگونگی منابع آب زیرزمینی در دشت مه‌ولات نشان داد که تغییرات چگونگی و مقدار آب‌های زیرزمینی نشان از زیاد شدن تعداد چاه‌های بهره‌برداری از راه‌های مختلف مانند افزایش زمین‌های باغی و از طرف دیگر کمبود بارش و خشکسالی‌های کنونی، موجب کاهش سطح آب زیرزمینی در این منطقه شده که در اثر آن حرکت جبهه‌های آب شور از کویرهای هم‌جوار در جنوب و غرب منطقه مطالعاتی را از طریق مسیل‌ها و کانال‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد و کیفیت آنها کاهش می‌یابد. از طرفی این پهنه‌ها از نظر کیفی با توجه به دانه‌ریز بودن رسوبات و وجود املاح فراوان و رسوبات تبخیری بی‌شک سبب کاهش نفوذ و تغذیه از سطح سفرهٔ آب زیرزمینی می‌شود. که در صورت ادامه این روند و انجام ندادن اقدامات جدی و عملی برای کاهش برداشت‌های بی‌رویه و به تعادل رساندن سفرهٔ آب زیرزمینی، در آینده‌ای نه‌چندان دور علاوه بر ایجاد و تشدید آثار نامطلوب زیست‌محیطی، شاهد آسیب شدید به کشاورزی منطقه خواهیم بود (۱۸).

بررسی روند نوسان سطح آبخوان منطقه ارومیه نشان‌دهندهٔ روند منفی تراز آب زیرزمینی در همه ایستگاه‌ها بود. بررسی شیب خط روند نشان داد که به‌طور متوسط در دشت ارومیه در دههٔ اخیر سطح آب زیرزمینی حدود ۱۹/۹cm/year در حال کاهش بوده است. اگر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در این منطقه به این شکل ادامه یابد، بحران‌های اقتصادی و اجتماعی امکان دارد در منطقه به وجود آید. با توجه به نتایج مطالعه کنونی باید با افزایش بازده آبیاری و تغذیه مصنوعی نسبت به مهار برداشت آب از منابع زیرزمینی مبادرت و سطح آب زیرزمینی را افزایش داد (۵).

بررسی عوامل تأثیرگذار بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه صفی‌آباد اسفراین نشان داد عواملی مانند خشکسالی، ازدیاد جمعیت، از روستا به شهر تبدیل شدن صفی‌آباد، مسائل فرهنگی و مانع نبودن جریمه‌های تخلفات مازاد برداشت، موجب ازدیاد برداشت و بنابراین تغییرات منفی و عواملی مانند استفاده از روش‌های مدرن آبیاری، به‌کارگیری کنتورهای هوشمند و تغییر نوع کشت، موجب تحولات سودمند در تراز آب‌های زیرزمینی شده و شیب کاهش تراز آب در این منطقه را متعادل کرده است. با انجام کارهای فرهنگی انتظار می‌رود تأثیر عوامل تعدیل‌کننده و جلوگیری‌کننده بیشتر شده و با مهار برداشت آب از آب‌های زیرزمینی، تراز آب‌های زیرزمینی این نواحی افزایش یابد (۱۵).

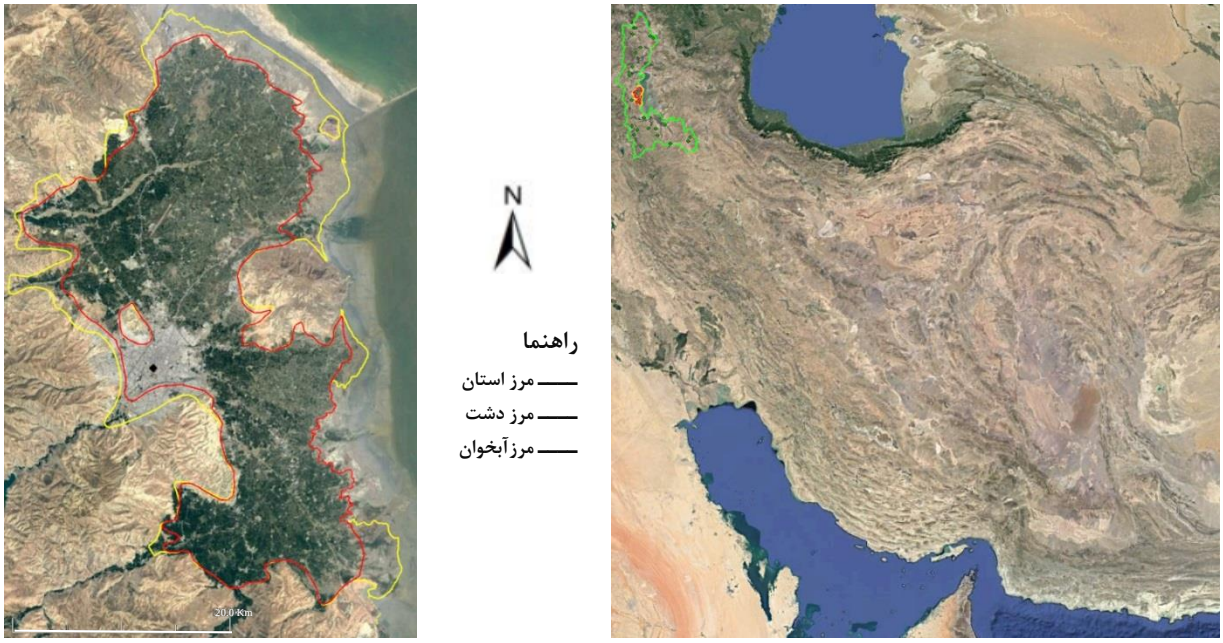
بررسی تأثیر عوامل طبیعی و انسانی بر افت سفرهٔ آب زیرزمینی در دشت میناب در طی بازه زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۹ نشان‌دهنده افت تراز آب زیرزمینی حدود ۱۰/۱۹m بوده و هم‌چنین باران و دبی جریان رودخانه در این منطقه رو به کاهش و تبخیر-تعرق پتانسیل و دما رو به افزایش هستند. مقدار اراضی مرتعی حدود ۲۲٪ کاهش و اراضی مسکونی و اراضی کشاورزی فاریاب تقریباً دو برابر شده است. هم‌چنین احداث و بهره‌برداری سد میناب از سال ۱۳۶۳ باعث کاهش جریان آب ورودی از حوزه آبخیز بالادست به دشت شده است. کاهش ۲۲٪ تغذیه آبخوان، افزایش تعداد چاه‌ها طی سه دههٔ گذشته برای مصارف کشاورزی و تهیهٔ آب شرب بندرعباس و میناب از عوامل دیگر تأثیرگذار بر افت سطح آبخوان بوده است (۴).

بررسی رابطه بین شرایط سفرهٔ آب زیرزمینی منطقه دشت ایسین بندرعباس با روند تغییرات الگوی کشت طی دورهٔ ۱۳۹۹-۱۳۸۲ نشان دهنده افزایش وسعت کاربری کشاورزی بخصوص باغ‌ها و سبزیجات و هم‌خوانی با پهنه‌هایی با بیشینه افت سطح ایستابی نشان‌دهندهٔ استخراج بی‌رویه آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی است (۲۰).

با توجه به موارد ذکر شده هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین میزان تأثیر متغیرهای مهم بارش، تورم و جمعیت سالانه به عنوان نماینده عوامل اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی بر نوسانات تراز آب زیرزمینی منطقه ارومیه بود. با توجه به بررسی‌های انجام شده، پژوهش مدون و منسجمی در این خصوص برای کشور و به ویژه دشت ارومیه انجام نشده است.

■ مواد و روش

منطقه مورد مطالعه واقع در استان آذربایجان غربی دارای مساحتی بیش از $۹۶۲km^2$ است. این منطقه در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ′۲۱ °۳۷ تا ′۴۹ °۳۷ شمالی و طول‌های جغرافیایی ′۵۷ °۴۴ تا ′۱۶ °۴۵ شرقی واقع شده است. میانگین سالانه بارندگی در این منطقه ۳۵۰mm تا ۴۰۰mm البته برای ایستگاه کمپ ارومیه در دوره مورد مطالعه ۳۷۲mm بوده و بر اساس روش کوپن این منطقه دارای اقلیم استپی نیمه خشک است. دشت مورد مطالعه در امتداد ناحیه کوهستانی شمال غربی کشور که به منطقه هموار دریاچه ارومیه ختم می‌شود، قرار دارد و عمق متوسط آبخوان در حدود ۵/۷m و افت متوسط آن در طول دوره آماری تقریباً ۰/۵m می‌باشد. در پژوهش حاضر با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش‌های قبلی و هم‌چنین بررسی‌های انجام شده، ابتدا رگرسیون خطی چند متغیره بین مقدار اُفت میانگین سالانه در پایان هر سال آبی سطح ایستابی آبخوان دشت ارومیه به عنوان متغیر وابسته با سه متغیر مستقل مقدار بارش متوسط سال آبی به عنوان مهم‌ترین عامل اقلیمی، جمعیت سالانه مربوطه به سال قبل مراکز عمده تجمع انسانی واقع در دشت ارومیه و ضریب مبنای ارزش پول سالانه مربوط به سال قبل نسبت به سال ۱۳۶۰ هجری شمسی به عنوان شاخصی از تورم برقرار شد؛ سپس نتیجه به دست آمده با نتایج حاصل از شبکه‌های عصبی مصنوعی (۱۳، ۱۹) شامل پرسپترون چهار لایه، پرسپترون سه لایه و تابع پایه شعاعی، هر سه شبکه دارای یک لایه ورودی با سه نرون برای دریافت مقادیر سه متغیر مستقل بارش، جمعیت و تورم؛ یک یا دو لایه پنهان با تعدادی نرون که در جای خود توضیح داده خواهد شد، برای انجام محاسبه‌ها و پردازش رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته؛ و یک لایه خروجی با یک نرون برای ارائه نتایج پردازش یعنی میزان اُفت آبخوان برآوردی، مقایسه شده است. داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر مربوط به سال‌های ۹۸-۱۳۶۰ بوده‌اند. مرجع داده‌های تراز سطح آبخوان، هیدروگراف مستخرج از ۶۷ چاه پیزومتر محدوده توسط واحد آب زیرزمینی مطالعات پایه شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی؛ مرجع داده‌های بارش سالانه، آمار ایستگاه تبخیرسنجی کمپ ارومیه واقع در محوطه شرکت که کنترل خوبی بر آن اعمال شده و قابلیت اعتماد بالایی دارد به عنوان شاخصی از تغییرات بارندگی منطقه، مرجع داده‌های جمعیت، مرکز آمار ایران و مرجع داده‌های تورم، بانک مرکزی کشور بوده است. بر اساس اطلاعات شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، موقعیت سفره آب زیرزمینی دشت ارومیه در شکل ۱ و مقادیر سالانه اُفت سطح آبخوان، بارش، تورم و جمعیت منطقه دشت ارومیه در جدول ۱ ارائه شده است.



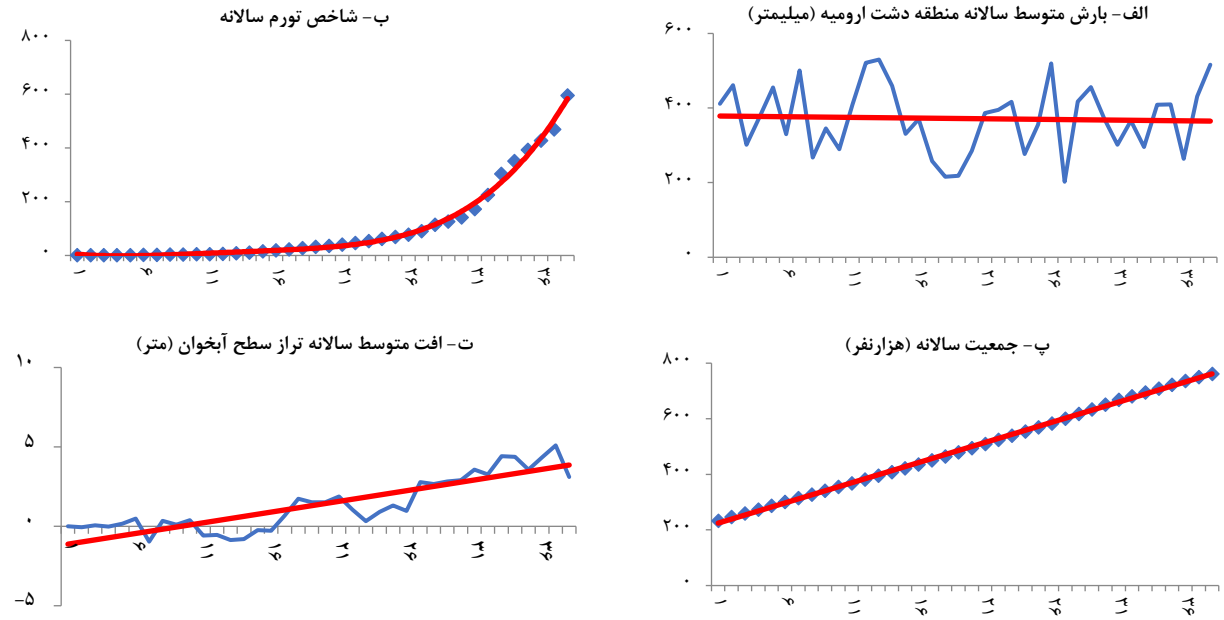
شکل ۱. موقعیت آبخوان زیرزمینی دشت ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی

جدول ۱. مقدار سالانه افت سطح آبخوان، بارش، تورم و جمعیت منطقه دشت ارومیه

سال آبی	آخرین تراز (m)	افت آبخوان (m)	بارش سالانه (mm)	شاخص تورم	جمعیت (۱۰۰۰ نفر)
۱۳۶۰-۱۳۶۱	۱۳۰۱/۳۰	۰/۰	۴۱۲	۱/۰۰	۲۳۳
۱۳۶۱-۱۳۶۲	۱۳۰۱/۳۵	-۰/۰۵	۴۶۲	۱/۱۹	۲۴۶
۱۳۶۲-۱۳۶۳	۱۳۰۱/۲۴	۰/۰۶	۳۰۲	۱/۳۷	۲۶۰
۱۳۶۳-۱۳۶۴	۱۳۰۱/۳۲	-۰/۰۲	۳۷۶	۱/۵۱	۲۷۳
۱۳۶۴-۱۳۶۵	۱۳۰۱/۱۴	۰/۱۶	۴۵۵	۱/۶۱	۲۸۷
۱۳۶۵-۱۳۶۶	۱۳۰۰/۸۲	۰/۴۸	۳۳۰	۲/۰۰	۳۰۱
۱۳۶۶-۱۳۶۷	۱۳۰۲/۲۷	-۰/۹۶	۵۰۰	۲/۵۵	۳۱۴
۱۳۶۷-۱۳۶۸	۱۳۰۰/۹۵	۰/۳۵	۲۶۸	۳/۲۹	۳۲۸
۱۳۶۸-۱۳۶۹	۱۳۰۱/۲۰	۰/۱۰	۳۴۶	۳/۸۶	۳۴۱
۱۳۶۹-۱۳۷۰	۱۳۰۰/۹۱	۰/۳۹	۲۸۹	۴/۲۱	۳۵۵
۱۳۷۰-۱۳۷۱	۱۳۰۱/۸۸	-۰/۵۷	۴۰۹	۵/۰۸	۳۶۸
۱۳۷۱-۱۳۷۲	۱۳۰۱/۸۵	-۰/۵۴	۵۲۱	۶/۳۲	۳۸۱
۱۳۷۲-۱۳۷۳	۱۳۰۲/۱۷	-۰/۸۶	۵۳۰	۷/۷۷	۳۹۵
۱۳۷۳-۱۳۷۴	۱۳۰۲/۱۲	-۰/۸۱	۴۶۰	۱۰/۵	۴۰۸
۱۳۷۴-۱۳۷۵	۱۳۰۱/۵۴	-۰/۲۴	۳۳۱	۱۵/۷	۴۲۲
۱۳۷۵-۱۳۷۶	۱۳۰۱/۵۷	-۰/۲۷	۳۷۱	۱۹/۳	۴۳۵
۱۳۷۶-۱۳۷۷	۱۳۰۰/۶۴	۰/۶۶	۲۵۸	۲۲/۷	۴۵۰
۱۳۷۷-۱۳۷۸	۱۲۹۹/۵۷	۱/۷۳	۲۱۶	۲۶/۸	۴۶۵
۱۳۷۸-۱۳۷۹	۱۲۹۹/۷۹	۱/۵۱	۲۱۸	۳۲/۲	۴۸۰
۱۳۷۹-۱۳۸۰	۱۲۹۹/۷۹	۱/۵۱	۲۸۵	۳۶/۲	۴۹۴
۱۳۸۰-۱۳۸۱	۱۲۹۹/۴۲	۱/۸۸	۳۸۷	۴۰/۳	۵۰۹
۱۳۸۱-۱۳۸۲	۱۳۰۰/۲۵	۱/۰۵	۳۹۵	۴۶/۷	۵۲۴
۱۳۸۲-۱۳۸۳	۱۳۰۰/۹۸	۰/۳۲	۴۱۷	۵۴/۰	۵۳۹
۱۳۸۳-۱۳۸۴	۱۳۰۰/۳۹	۰/۹۱	۲۷۷	۶۲/۲	۵۵۴
۱۳۸۴-۱۳۸۵	۱۳۰۰/۰۰	۱/۳۰	۳۵۶	۶۸/۷	۵۶۸
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۱۳۰۰/۳۳	۰/۹۷	۵۲۰	۷۶/۸	۵۸۳
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۱۲۹۸/۵۳	۲/۷۸	۲۰۳	۹۱/۰	۶۰۰

ادامهٔ جدول ۱. مقدار سالانه افت سطح آبخوان، بارش، تورم و جمعیت منطقه دشت ارومیه

سال آبی	آخرین تراز (m)	افت آبخوان (m)	بارش سالانه (mm)	شاخص تورم	جمعیت (۱۰۰۰ نفر)
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۱۲۹۸/۶۵	۲/۶۶	۴۱۸	۱۱۴	۶۱۷
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۱۲۹۸/۴۸	۲/۸۲	۴۵۶	۱۲۶	۶۳۴
۱۳۸۹-۱۳۹۰	۱۲۹۸/۳۹	۲/۹۱	۳۷۲	۱۴۲	۶۵۱
۱۳۹۰-۱۳۹۱	۱۲۹۷/۷۳	۳/۵۷	۳۰۲	۱۷۳	۶۶۷
۱۳۹۱-۱۳۹۲	۱۲۹۸/۰۴	۳/۲۷	۳۶۶	۲۲۵	۶۸۱
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۱۲۹۶/۸۸	۴/۴۲	۲۹۶	۳۰۳	۶۹۵
۱۳۹۳-۱۳۹۴	۱۲۹۶/۹۳	۴/۳۸	۴۰۹	۳۵۱	۷۰۹
۱۳۹۴-۱۳۹۵	۱۲۹۷/۷۳	۳/۵۷	۴۱۰	۳۹۲	۷۲۲
۱۳۹۵-۱۳۹۶	۱۲۹۶/۹۷	۴/۳۴	۲۶۴	۴۲۸	۷۳۶
۱۳۹۶-۱۳۹۷	۱۲۹۶/۲۱	۵/۰۹	۴۳۲	۴۶۹	۷۵۰
۱۳۹۷-۱۳۹۸	۱۲۹۸/۱۹	۳/۱۲	۵۱۶	۵۹۵	۷۶۱



شکل ۲. روند تغییرات سالانه متغیرهای مستقل و وابسته در طول دوره آماری ۹۸-۱۳۶۰

جدول ۲. چکیده مدل رگرسیون خطی چند متغیره

خطای معیار برآورد	ضریب تبیین تعدیل شده R^2	ضریب تبیین R^2
۰/۶۵۸	۰/۸۵۳	۰/۸۶۵

■ نتایج و بحث

در ابتدا برای حصول دید کلی نسبت به تغییرات هر یک از متغیرها در طول دوره آماری در جدول ۱، نمودارهای مربوطه در شکل ۲ ارائه می‌گردد.

همان طوریکه در نمودارهای شکل ۲ دیده می‌شود، به جز مقدار بارش که دارای روند کاهشی بسیار ملایم و حتی نامحسوسی است، دیگر متغیرها دارای روند افزایشی بارز و مشخصی می‌باشند.

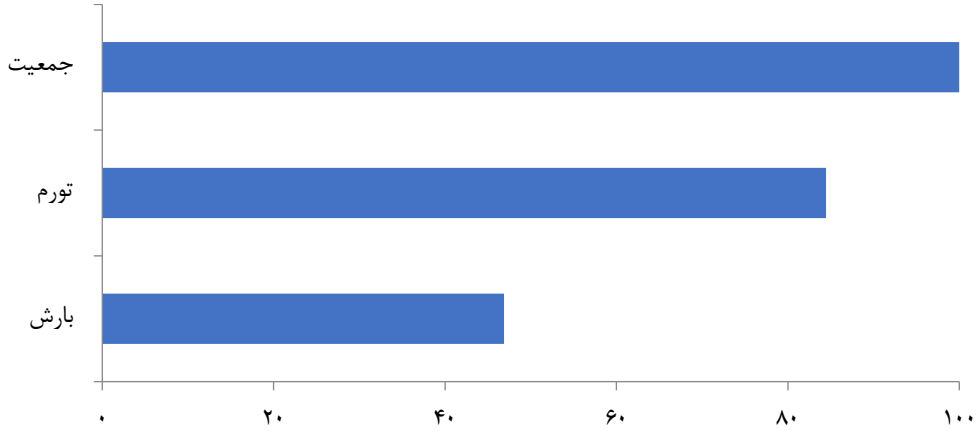
نتایج رگرسیون خطی چند متغیره بین مقدار اُفت میانگین سالانه تراز ایستابی سفره آب زیرزمینی دشت ارومیه بعنوان متغیر وابسته و مقدار بارش، جمعیت و شاخص تورم میانگین سالانه بعنوان متغیرهای مستقل می‌باشد (شکل ۲ و جداول ۲، ۳ و ۴).

جدول ۳. تحلیل واریانس مدل رگرسیون خطی چند متغیره

	مجموع مربعات	درجه آزادی	متوسط مربعات	F	معنی داری
رگرسیون	۹۴/۵۳۶	۳	۳۱/۵۱۲	۷۲/۶۹۸	۰/۰۰۰
باقیمانده	۱۴/۷۳۸	۳۴	۰/۴۳۳		
کل	۱۰۹/۲۷۴	۳۷			

جدول ۴. ضرایب مدل رگرسیون خطی چند متغیره

	ضرایب خام		ضرایب استاندارد شده	t	معنی داری
	ضرایب	خطای معیار	Beta		
عرض از مبداء	-۰/۱۳۸	۰/۷۴۷		-۰/۱۸۵	۰/۸۵۴
بارش	-۰/۰۰۴۵۶	۰/۰۰۱	-۰/۲۴۱	-۳/۷۰۹	۰/۰۰۱
تورم	۰/۰۰۴۸۵	۰/۰۰۱	۰/۴۳۴	۳/۷۹۳	۰/۰۰۱
جمعیت	۰/۰۰۵۴۷	۰/۰۰۱	۰/۵۱۴	۴/۵۱۰	۰/۰۰۰



شکل ۳. تحلیل حساسیت مدل رگرسیون خطی چند متغیره

مقدار سطح معنی‌داری مدل رگرسیون خطی چند متغیره در سطح اعتماد ۵٪، ۱٪ و کمتر از آن مناسب بوده به عبارت دیگر مقدار معنی‌داری کلی مدل تا سه رقم اعشار ۰/۰۰۰، هم‌چنین برای هر کدام از متغیرهای مستقل وارد شده به مدل نیز سطح معنی‌داری در سطوح اعتماد ۵٪، ۱٪ و کمتر از آن قابل قبول می‌باشد به عبارت دیگر مقدار معنی‌داری تا سه رقم اعشار به ترتیب: ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۰ برای متغیرهای بارش، تورم و جمعیت (جدول ۳).

با توجه به ضرایب بتای استاندارد شده مندرج در جدول ضرایب، مقدار اهمیت متغیرهای مستقل در برآورد متغیر وابسته به شرح ذیل می‌باشد (جدول ۴ و شکل ۳).

با توجه به نتایج: قدر مطلق ضرایب استاندارد شده بتا ۰/۲۴۱، ۰/۴۳۴ و ۰/۵۱۴ به ترتیب مربوط به بارش، تورم و جمعیت، و ترتیب اولویت و اهمیت متغیرهای مستقل در برآورد متغیر وابسته یعنی مقدار افت سالیانه تراز سفره آب زیرزمینی در دشت ارومیه عبارتند از: جمعیت، تورم و بارش (جدول ۴ و شکل ۳).

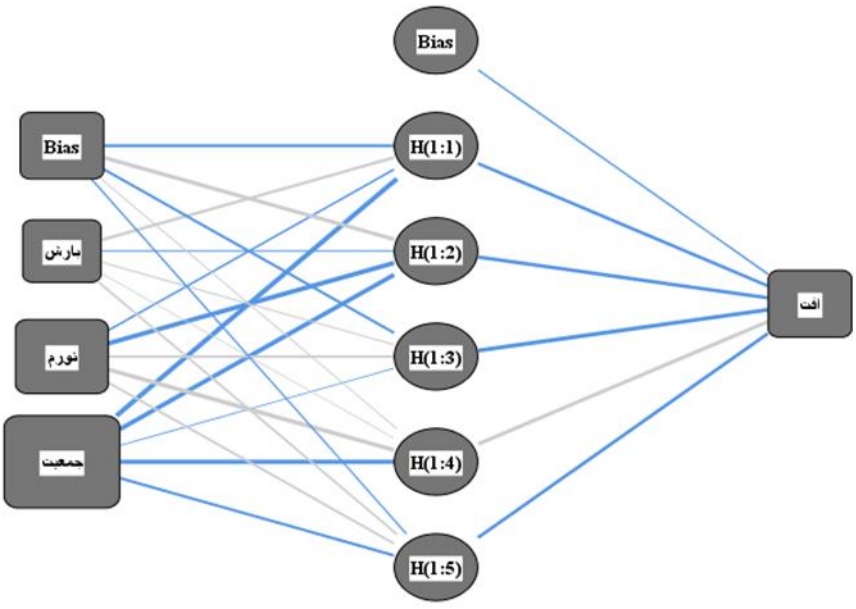
یادآوری می‌شود که ضرایب استاندارد شده بتا مربوط به مقدار تأثیر هر کدام از متغیرهای مستقل استاندارد شده موجود در مدل بر تغییر متغیر وابسته استاندارد شده می‌باشد.

در پژوهش حاضر بر مبنای تئوری شبکه‌های عصبی مصنوعی و هم‌چنین بررسی محققان قبلی (۱۳، ۱۹)، بهترین ساختار شبکه برای مساله مورد نظر انتخاب و عملیات ریاضی و آماری لازم بر روی آن انجام گردیده که نتایج آن به شرح توضیحات زیر است:

نتایج شبیه‌سازی مدل روابط متغیرهای وابسته و مستقل با بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه MLP:3-5-1 دارای ۳، ۵ و ۱ به ترتیب تعداد نرون‌ها در لایه اول ورودی، دوم پنهان و سوم خروجی به شرح ذیل می‌باشد (جداول ۵ و ۶ و شکل‌های ۴ و ۵). تعداد نرون‌ها در لایه‌های ورودی و خروجی متناظر با تعداد متغیرهای ورودی یعنی سه متغیر بارش، جمعیت و تورم و خروجی یعنی یک متغیر اُفت آبخوان و تعداد نرون‌ها در لایه‌های پنهان میانی به‌صورت سعی و خطا از تعداد نرون‌های مختلف و نهایتاً انتخاب تعداد بهینه برای کمترین خطای نتایج محاسباتی در مقایسه با مقادیر مشاهداتی به دست آمده است. شایان ذکر است پارامترهای اریبی مقادیر آستانه مدل پایه شبکه می‌باشند.

جدول ۵. اطلاعات مقدماتی شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه

بارش	۱		
تورم	۲	متغیرها	
جمعیت	۳		لایه ورودی
۳		تعداد واحدها بدون اریبی	
استانداردسازی		روش تعدیل متغیرها	
۱		تعداد لایه های پنهان	
۵		تعداد واحدهای لایه پنهان بدون اریبی	لایه پنهان
تانژانت هایپربولیک		تابع فعال سازی	
اُفت	۱	متغیرهای وابسته	
۱		تعداد واحدها	
استانداردسازی		روش تعدیل متغیر وابسته	لایه خروجی
همانی		تابع آتش	
مجموع مربعات		تابع خطا	



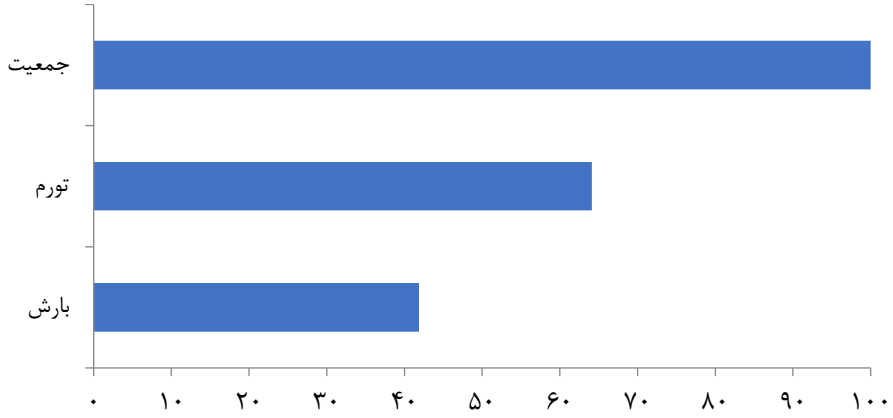
شکل ۴. دیاگرام شبکه پرسپترون سه لایه

جدول ۶. خلاصه نتایج مدل پرسپترون سه لایه

۱/۰۲	مجموع مربعات خطا
۰/۰۵۵	خطای نسبی

نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه نیز مؤید نتایج رگرسیون خطی چند متغیره در مورد تحلیل حساسیت مدل یا به عبارت دیگر میزان اهمیت متغیرهای مستقل در تعیین تغییرات متغیر وابسته می‌باشد: همان ترتیب اولویت و اهمیت متغیرهای جمعیت، تورم و بارش.

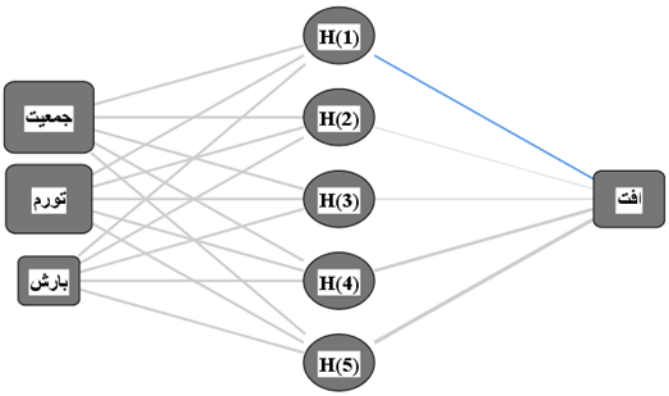
برای تصدیق بهتر این یافته‌ها از مدل شبکه عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی RBF:3-5-1 نیز استفاده شده است. نتایج این مدل به شرح ذیل می‌باشد (جداول ۷ و ۸ و شکل‌های ۶ و ۷). باز هم ترتیب اولویت و اهمیت جمعیت، تورم و بارش قابل رؤیت است (شکل ۷).



شکل ۵. تحلیل حساسیت مدل پرسپترون سه لایه

جدول ۷. اطلاعات مقدماتی شبکه عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی

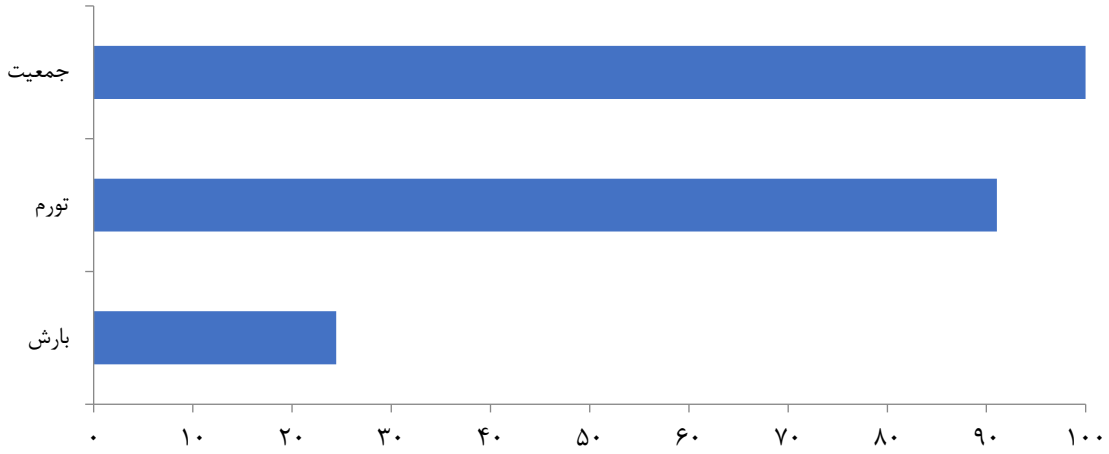
جمعیت	۱		
تورم	۲	متغیرها	
بارش	۳		لایه ورودی
۳		تعداد واحدهای محاسباتی	
استانداردسازی		روش تعدیل متغیرها	
۵		تعداد واحدها	لایه پنهان
سافت ماکس		تابع آتش	
اُفت	۱	متغیر وابسته	
۱		تعداد واحدها	
استانداردسازی		روش تعدیل متغیر وابسته	لایه خروجی
همانی		تابع آتش	
مجموع مربعات		تابع خطا	



شکل ۶. دیاگرام شبکه تابع پایه شعاعی

جدول ۸. خلاصه نتایج مدل تابع پایه شعاعی

مجموع مربعات خطا	۲/۱۸
خطای نسبی	۰/۱۱۸



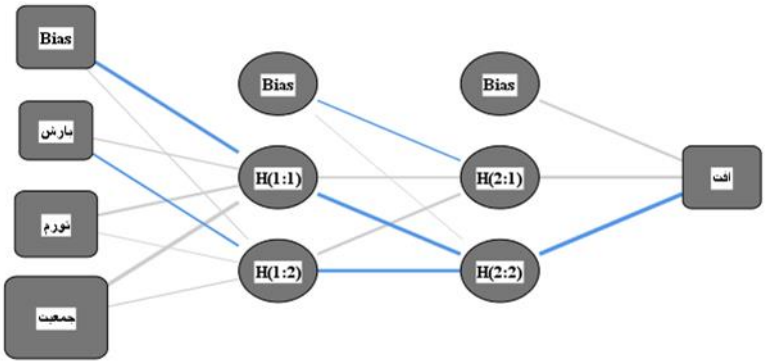
شکل ۷. آنالیز حساسیت مدل شبکه عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی

جدول ۹. اطلاعات مقدماتی شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چهار لایه

بارش	۱	متغیرها	لایه ورودی
تورم	۲		
جمعیت	۳		
۳	تعداد واحدها بدون اریبی	لایه‌های پنهان	
استانداردسازی	روش تعدیل متغیرها		
۲	تعداد لایه‌های پنهان		
۲	تعداد واحدها بدون اریبی در لایه اول		
۲	تعداد واحدها بدون اریبی در لایه دوم		
تانژانت هایپربولیک	تابع آتش		
اُفت	۱	متغیر وابسته	لایه خروجی
۱	تعداد واحدها		
استانداردسازی	روش تعدیل متغیر وابسته		
همانی	تابع آتش		
مجموع مربعات	تابع خطا		

در پایان نتایج مدل شبیه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چهار لایه MLP:3-2-2-1 با ۳، ۲، ۲ و ۱ به‌ترتیب تعداد نرون‌ها در لایه اول ورودی، دوم و سوم پنهان و چهارم خروجی به شرح ذیل می‌باشد (جداول ۹ و ۱۰ و شکل‌های ۸ و ۹). این بار نیز ترتیب اولویت جمعیت، تورم و بارش قابل رؤیت است (شکل ۹).

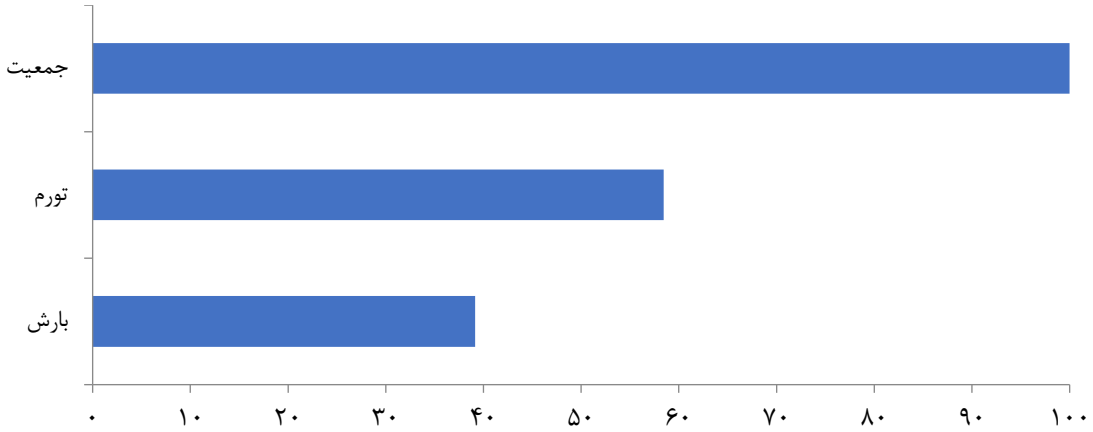
در اینجا نتایج عددی چهار مدل مورد بررسی به نام همبستگی چهار متغیره و شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چهار لایه، پرسپترون سه لایه و تابع پایه شعاعی به صورت یکجا و با هم برای مقایسه کلی نشان داده شده است (شکل ۱۰). با توجه به شکل مذکور و هم‌چنین سایر نتایج (جداول ۳، ۶، ۸ و ۱۰) بهترین برآورد مربوط به شبکه پرسپترون سه لایه می‌باشد.



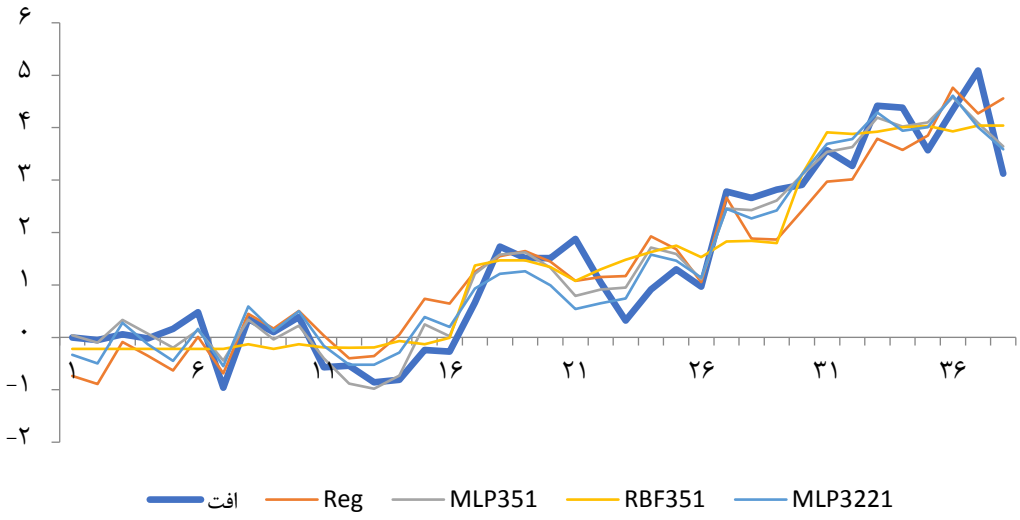
شکل ۸. دیاگرام شبکه پرسپترون چهار لایه

جدول ۱۰. خلاصه نتایج مدل پرسپترون چهار لایه

مجموع مربعات خطا	۱/۳۸
خطای نسبی	۰/۰۷۵



شکل ۹. تحلیل حساسیت مدل پرسپترون چهار لایه



شکل ۱۰. مقایسه نتایج عددی چهار مدل مورد مطالعه: میزان افت بر حسب m در سال‌های مختلف

■ نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از مدل‌های فوق علیرغم تفاوت‌هایی در مقادیر نتایج عددی، در هر چهار مدل همبستگی خطی چند متغیره، شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چهار MLP:3-2-2-1 و سه لایه MLP:3-5-1 و تابع پایه شعاعی RBF:3-5-1 ملاحظه می‌شود که میزان اهمیت متغیرهای مستقل مورد مطالعه به ترتیب عبارت است از: جمعیت، تورم و بارش سالانه. با توجه به تأثیر کمتر عوامل طبیعی نسبت به بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب، بدیهی است که جمعیت زیادتر، نیاز بیشتری به غذا، پوشاک، مسکن و ... دارد که با توجه به مفهوم آب مجازی نهایتاً منجر به استفاده بیشتر از منابع محدود آب و خاک در دسترس می‌شود (۹). توضیح اینکه اراضی دیم موجب تلفات بیشتر آب باران از طریق گیرش و سپس تبخیر و تعرق توسط گیاهان کاشته شده توسط کشاورزان می‌شود؛ همچنین آبیاری گیاهان زراعی یا باغی اراضی آبی عمدتاً با برداشت آب غیر مجاز در پایان موجب مصرف آب بیشتر می‌شود. به علاوه، توزیع نامناسب و نابهنگام بارندگی و منابع آب سطحی، انسان را به بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی هدایت نموده است. با توجه به برخی تأثیرهای جبران ناپذیر افت سطح آبخوان، از جمله تغییرات تقریباً برگشت‌ناپذیر مشخصات مکانیکی خاک که منجر به آسیب‌پذیری بیشتر سازه‌ها و تأسیسات زیربنایی می‌شود، توجه به مدیریت جامع منابع آب و در وهله اول مفهوم آب مجازی و تجارت آن مورد تأکید می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌گردد تأثیر اقدام‌های مدیریتی مختلف در قالب آمایش سرزمین، بازار آب و تجارت آب مجازی ... بر بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرارگیرد.

■ سپاسگزاری

بدینوسیله از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی، به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در پژوهش حاضر تقدیر و تشکر می‌شود.

■ References

1. Alam, S., Gebremichael, M., Li, R., Dozier, J., & Lettenmaier, D. P. (2019). Climate change impacts on groundwater storage in the Central Valley, California. *Climatic Change, 157*(3-4), 387-406. DOI: https://doi.org/10.1007/s10584-019-02585-5
2. Amanambu, A. C., Obarein, O. A., Mossa, J., Li, L., Ayeni, S. S., Balogun, O., ... & Ochege, F. U. (2020). Groundwater system and climate change: Present status and future considerations. *Journal of Hydrology, 589*, 125163. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125163
3. Ashraf, S., Nazemi, A., & AghaKouchak, A. (2021). Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. *Scientific reports, 11*(1), 9135. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-021-88522-y
4. Bahari Meimandi, J., Bazrafshan, O., Esmaelpour, Y., Shekari, M., & Zamani, H. (2023). Study the effect of natural and anthropogenic factors on the ground water falling in the Minab plain. *Desert Management, 11*(1), 1-18. DOI: 10.22034/JDMAL.2023.2000814.1412 [In Persian]
5. Behmanesh, J. (2016). Investigation of groundwater level changes trend (Case Study: Urmia plain). *Journal of Water and Soil Conservation, 22*(4), 67-84. [In Persian]
6. Dau, Q. V., & Kuntiyawichai, K. (2021). Assessment of potential impacts of climate and socio-economic changes on future water security in the Himalayas, India. *Geographia Technica, 16*(2), 1-18. DOI: 10.21163/GT_2021.162.01
7. Emadodin, S., Shadieemajd, N., & Arekhi, S. (2020). Analysis of the impact of land use change on groundwater level drop (Case study: Mahidasht, Kermanshah province). *Journal of Natural Environmental Hazards, 9*(25), 125-142. DOI: 10.22111/JNEH.2020.31698.1565 [In Persian]

8. Etaat, J. (2011). Population and sustainable development in Iran. *Social welfare journal, 11*(42), 7-36. [In Persian]

9. Ghaedi, S., & Agah, S. (2018). Evaluation the impact of natural and human factors on the underground water level of Darab County. *Journal of Natural Environmental Hazards, 7*(16), 145-160. DOI: 10.22111/JNEH.2017.3198 [In Persian]

10. Ghimire, U., Shrestha, S., Neupane, S., Mohanasundaram, S., & Lorphensri, O. (2021). Climate and land-use change impacts on spatiotemporal variations in groundwater recharge: A case study of the Bangkok area, Thailand. *Science of The Total Environment, 792*, 148370. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148370

11. Heidari, M., Khademaliozadeh, A., & Khorsandi, M. (2020). Investigating the effect of economic growth on water resources consumption; in the framework of the environmental kuznets curve EKC (case study: selected countries 1992-2012). *Agricultural Economics Research, 12*(45), 163-180. [In Persian]

12. Heidarizad, Z., Mohamadi, A., & Yaghobi, S. (2019). Evaluating the groundwater status of mehran plain and factors affecting the quantity of these resources. *Hydrogeology, 3*(2), 59-68. DOI: 10.22034/HYDRO.2019.6175 [In Persian]

13. Hosseini, S. A., Mesgari, A., & Salari Fonoodi, M. R. (2016). *Artificial neural networks in hydrology and meteorology*. Zanjan: Azarkalk publications. [In Persian]

14. Hosseinpour, S., Dehghani, A. A., Zahiri, A. R., Hajbari, A. R., & Meftah Halaghi, M. (2013). *Investigating the impact of population growth on water consumption and underground water resources in Gorgan city*. The First National Conference of Water Use Optimization, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. [In Persian]

15. Maghami Moghim, G., & Taghipour, A. A. (2022). Investigating the effective factors on changing groundwater levels of Safi Abad plain of Esfarayneh. *Desert Ecosystem Engineering, 8*(22), 27-42. DOI: 10.22052/DEEJ.2018.7.22.11 [In Persian]

16. Mahmoudi, P., Shakiba, H., & Sargolzaee Moghadam, F. (2008). *Investigating the impact of population growth on groundwater resources in Zahedan city.* The First International Conference on Water Crisis, Zabol University, Zabol, Iran. [In Persian]

17. Mensah, J. K., Ofosu, E. A., Akpoti, K., Kabo-Bah, A. T., Okyereh, S. A., & Yidana, S. M. (2022). Modeling current and future groundwater demands in the White Volta River Basin of Ghana under climate change and socio-economic scenarios. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 41*, 101117. DOI: 10.1016/j.ejrh.2022.101117

18. Najafzadeh, H., Zehtabian, G., Khosravi, H., & Golkarian, A. (2015). The Effect of Climatic and Geology Parameters on Groundwater Resources Quantitative and Qualitative (Case Study: Mahvelat). *Iranian journal of Ecohydrology, 2*(3), 325-336. DOI: 10.22059/IJE.2015.57301 [In Persian]

19. *Neurosolution software User's Guide: (Version 7.1.1).* (2015). NeuroDimension, Inc., USA.

20. Salehi, M., Mahdavi, R., Rezai, M., Nafarzadegan, A. R., & Ghorbani, M. (2023). Study of the relation between the status of the Isin Bandar Abbas plain aquifer and land use changes. Desert Management, 11(1), 95-116. DOI: 10.22034/JDMAL.2023.1990499.1409 [In Persian]

21. Sayyah, M., Aghaee Dizaj, P., & Mahmoudof, M. S. (2017). The relationship between population policies with the country's water resources situation. *Population, 24* (99 and 100), 25-46. [In Persian]

22. Yousefi, A. H., Nasiri, B., Karampour, M., & Malekian, A. (2019). Investigating the effect of climate change on changes in the groundwater level of dry areas, a case study: Bagh Desert plain. *Physical Geography Quarterly, 11*(42), 97-112. [In Persian]

23. Zinati Fakhrabad, M. M., & Asghari Moghadam, M. (2021). Future study of security consequences of water resources crisis in border areas of Iran. *Geography and Human Relationships, 4*(3), 1-17. DOI: 10.22034/GAHR.2021.301648.1602 [In Persian]