Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Investigating sustainable groundwater withdrawal potential of Tabriz Plain for irrigation use with an emphasize on protection of water resources

Reza Delirhasannia[1]✉ | Sahar Kamrani[2] | Saeed Samadianfard[3] | Fatemeh Mikaeili[4]

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: delearhasannia@yahoo.com
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: saharkamrani19930808@gmail.com
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: samadianfard@gmail.com
4. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: mikailifatemeh@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: March. 9, 2024

Revised: May. 27, 2024

Accepted: Aug. 3, 2024

Published online: Nov. 2024

Keywords:
Aquifer Storage Volume,
Balance,
Cultivation Pattern,
Ground Water,
Sustainable Limit.

ABSTRACT

The amount of underground water discharge by identified wells and aqueducts in Tabriz plain is 134 MCM per year. According to the hydrograph drawn for Tabriz plain, the groundwater level has dropped by 1.394 meters for 16 statistical years (2006-2021) and 0.088 meters in the wet year (2020-2021). The results of the water balance calculation of the region showed that the plain is in a state of imbalance and the reservoir deficit was estimated at 22.74 MCM. The results of this study showed that one of the important factors of water shortage is to turn to crops with a high water requirement. So, the sustainable perception of the seven scenarios on the dominant crop pattern applied in the region which four scenarios (1) providing 80% of the water requirement of the products instead of providing full water requirement, (2) providing full water requirement while reducing the 20% cultivated area, (3) providing 90% of the water requirement of the products simultaneously with 10% reduction in their cropping area, (4) onion production due to high water requirement removal from the cropping pattern and reduction of 10% of the alfalfa cultivar and 10% Chickpea and vegetable cultivars were accepted, which are roughly proportionate to the sustainable harvesting value. The results showed that the most important solution for optimal water use is management of water use and in agricultural sector, changing the pattern of cultivation is a good way to reform the water use pattern.

Cite this article: Delirhasannia, R., Kamrani, S., Samadianfard, S., & Mikaeili, F. (2024) Investigating sustainable groundwater withdrawal potential of Tabriz Plain for irrigation use with an emphasize on protection of water resources, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (9),1565-1583. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373731.669676

© The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373731.669676

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The lack of surface water resources has caused the excessive withdrawal of underground water in many parts of the world and the sharp drop of these tables. With the increasing population, the arbitrary harvesting of these resources has increased and these natural reserves have faced a serious threat. Tabriz plain is one of the agricultural poles of East Azarbaijan province, and the water sources used in this plain for agricultural purposes include surface and underground water sources. It is important to be aware of the fluctuations of the underground water level and the optimal management in order to exploit the underground water resources in this plain. The purpose of this research is to investigate the exploitation status of the underground water source and to determine the sustainable limit of withdrawal from the Tabriz plain's underground water and to provide suitable cultivation patterns to the farmers according to the amount of water available.

Material and Methods

Tabriz plain aquifer hydrograph of each piezometer was prepared for monthly water level figures during a statistical period of 15 years. The results of Mann-Kendall test were used to investigate the hydrograph trend of Tabriz Plain. The underground water balance equation was investigated and evaluated. Then the storage volume of the aquifer including dynamic storage and static storage is determined. In order to calculate the average thickness of the saturated part of the aquifer, first maps of bedrock and depth of groundwater were prepared using geographic information system and kriging interpolation method, then the map of groundwater depth was subtracted from the map of bedrock. For each of the groundwater parameters (bedrock depth and level), five theoretical models were fitted for the data of changes in these parameters. According to the error measurement criterion and correlation coefficient, the best model was selected for the rock parameter of the groundwater floor. One of the important factors of water shortage is turning to crops with high water demand. Considering the limit of sustainable withdrawal from underground water, the cultivation pattern of the region was investigated and 7 alternative scenarios were defined for the cultivation pattern of the region.

Results

The amount of fluctuation of the underground water level of Tabriz plain was estimated using the hydrograph drawn in 16 statistical years (2001-2017) and the amount of drop in the water year (2016-2017) was 1.394 meters and 0.088 meters, respectively. During the balance period, a volume equal to 43.44 million cubic meters enters the balance area and a flow of 1.79 million cubic meters per year leaves it, and the changes in the volume of the reservoir during the water year (2016-2017) are equal to It was with -22.74 MCM (decrease in tank volume). The total storage volume of the aquifer was estimated at 996.120 MCM, which included the sum of dynamic storage (120.042 MCM) and static storage (876.078 MCM). By applying 7 scenarios on the cultivation pattern ruling the region, we came to the conclusion that these 4 scenarios, i.e. scenario 1 with the implementation (net water requirement of 0.8) with the amount of withdrawal from 158.3 sources, scenario 2-2 with the implementation of (full irrigation and a 20% reduction of the cultivated area) with a harvest amount of 158.3, scenario 2-3 with the implementation (less irrigation by 10% and a 10% reduction of the cultivated area) with a harvest amount of 160.4 and scenario 4 with a harvest amount of 160.45 approximately It has a good fit with the value of the stable limit (168.4 MCM).

Conclusions

In this research, the aim is to investigate the state of exploitation of underground water resources and to determine the sustainable limit of withdrawal from Tabriz plain's underground water and to provide suitable cultivation patterns to farmers. The hydrograph of the Tabriz plain aquifer, the groundwater balance for the water year and the total storage volume of the aquifer (including dynamic and static storage) were estimated. Then, several scenarios were used to change the cultivation pattern and reduce water consumption from underground water in the agricultural sector. By applying 7 scenarios on the cropping pattern prevailing in the region, it was found that scenarios 1, 2-2, 2-3 and 4 are almost proportional to the amount of sustainable harvest.

Author Contributions

Conceptualization, R.D., S.K., S.S. and F.M.; methodology, S.K. and F.M; software, R.D. and S.K.; validation, S.K., S.S and F.M.; formal analysis, R.D and F.M.; investigation, R.D, S.S. and S.K.; resources, S.K. and F.M.; data curation, R.D., S.K. and S.S.; writing-original draft preparation, R.D., S.K., S.S. and F.M.; writing-review and editing, R.D. and S.S.; visualization, S.K.; supervision, R.D. and S.S.; project administration, R.D.

Data Availability Statement

Data available on reseanoable request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۵، شماره ۹ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

ارزیابی پتانسیل برداشت پایدار از آب زیرزمینی دشت تبریز جهت مصارف آبیاری با تأکید بر صیانت از منابع آب

رضا دلیرحسن‌نیا[1]✉ | سحر کامرانی[2] | سعید صمدیان فرد[3] | فاطمه میکائیلی[4]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: delearhasannia@yahoo.com

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: saharkamrani19930808@gmail.com

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: samadianfard@gmail.com

۴. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: mikailifatemeh@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۱۳

تاریخ انتشار: آذر ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
مدل رفتاری،
خاک غیراشباع،
مدل‌سازی عددی،
پلاستیسیته.

چکیده

مقدار تخلیه آب زیرزمینی توسط چاه‌ها و قنات‌های شناسایی شده در دشت تبریز ۱۳۴میلیون مترمکعب در سال است. با توجه به هیدروگراف رسم شده برای دشت تبریز تراز سطح آب زیرزمینی برای ۱۶ سال آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۴)، ۱/۳۹۴متر و در سال آبی (۱۴۰۰-۱۳۹۹)، ۰/۰۸۸متر افت داشته است. نتایج محاسبه بیلان آبی منطقه نشان داد که دشت در وضعیت عدم تعادل بیلان است و کسری مخزن ۲۲/۷۴ میلیون مترمکعب برآورد شد. نتایج مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که یکی از عوامل مهم کمبود آب، روی آوردن به کشت‌هایی با نیاز آبی زیاد است. برای رسیدن به حد برداشت پایدار هفت سناریو بر روی الگوی کشت حاکم در منطقه اعمال گردید که از بین آن‌ها چهار سناریو ۱) تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی محصولات به جای تأمین نیاز آبی کامل، ۲) تأمین نیاز آبی کامل همزمان با کاهش ۲۰ درصد سطح زیر کشت محصولات، ۳) تأمین ۹۰ درصد نیاز آبی محصولات همزمان با کاهش ۱۰ درصد سطح زیر کشت آنها، ۴) محصول پیاز از الگوی کشت به خاطر نیاز آبی بالا حذف و کاهش ۱۰ درصد سطح زیر کشت یونجه و در مقابل افزایش ۱۰ درصد سطح زیر کشت نخود و سبزیجات مورد قبول واقع شدند که تقریباً تناسب زیادی با مقدار حد برداشت پایدار دارند. نتایج نشان داد که مهمترین راهکار جهت بهره‌برداری بهینه از آب، مدیریت در مصرف آب است و در بخش کشاورزی تغییر الگوی کشت بر اساس تغییر در سطح زیر کشت و تأمین نیاز آبی محصولات راهکار مناسبی برای اصلاح الگوی مصرف آب می‌باشد.

استناد: دلیر حسین نیا؛ رضا، کامرانی؛ سحر، صمدیان فرد؛ سعید، میکائیلی؛ فاطمه، (۱۴۰۳) ارزیابی پتانسیل برداشت پایدار از آب زیرزمینی دشت تبریز جهت مصارف آبیاری با تأکید بر صیانت از منابع آب، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۹)، ۱۵۸۳-۱۵۶۵. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373731.669676

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373731.669676

مقدمه

سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره مورد توجه قرار گرفته است. کمبود منابع آب سطحی سبب برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان و افت شدید سطح سفره‌های آب زیرزمینی شده است. با افزایش روزافزون جمعیت برداشت بی‌رویه از این منابع بیشتر شده و این ذخایر طبیعی با تهدید جدی مواجه بوده‌اند. با ارزیابی نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌توان در مدیریت از منابع آبی از آن بهره برد (نادریان فرد، ۱۳۹۰). کشور ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و میانگین بارش سالانه حدود۲۵۰ میلی‌متر یکی از کم آب‌ترین کشورهای جهان محسوب می‌شود. در کشور ایران منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب موردنیاز برای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت زیادی برخوردار است. اختصاص سهم حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد به بخش کشاورزی که بیش از ۸۰ درصد آن از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود، نقش عمده‌ای در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌ها دارد (Ahmadi and Sedghamiz, 2007).

آب‌های زیرزمینی به آب‌هایی گفته می‌شود که در لایه‌های آب‌دار و اشباع زیر زمین تجمع پیدا کرده‌اند که این منابع دومین منبع آب شیرین موجود در جهان هستند. محاسبه منابع آب جهانی نشان می‌دهد که منابع آب زیرزمینی چیزی در حدود ۰/۶ درصد از کل منابع آب و ۶۰ درصد از منابع تجدیدپذیر قابل‌دسترس را به خود اختصاص می‌دهند. منابع آب زیرزمینی در کشور ایران و بسیاری از کشورهای دیگر که آب و هوایی مشابه دارند، مهمترین منابع آب مورداستفاده در کشاورزی و شرب به شمار می‌رود. بالاترین تراز آب زیرزمینی بر روی یک سطح مشخص در زیرزمین سطح ایستابی گفته می‌شود. دو روش معمول برای تشخیص سطح ایستابی آب زیرزمینی وجود دارد: ۱) استفاده از چاهک‌های مشاهده‌ای ۲) استفاده از پیزومتر. منابع آب مورداستفاده در دشت تبریز جهت مصارف کشاورزی شامل منابع آب سطحی و زیرزمینی است. بر اساس مشاهدات و بررسی‌های انجام‌گرفته در این منطقه از جمله عوامل محدودکننده می‌توان به محدودیت آب، محدودیت خاک، محدودیت دانش فنی کشاورزان اشاره نمود که منابع آب اصلی‌ترین عامل محدودیت توسعه کشاورزی در دشت تبریز است. بنابراین آگاهی از نوسانات تراز آب زیرزمینی و مدیریت بهینه در جهت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در این دشت حائز اهمیت است. هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی وضعیت بهره‌برداری از منبع آب زیرزمینی، تعیین حد پایدار برداشت از آب زیرزمینی دشت تبریز و ارائه الگوهای کشت مناسب به کشاورزان با توجه به میزان آب موجود است.

با توجه به بررسی‌های انجام‌یافته برخی از مهم‌ترین پژوهش‌های منتشرشده در زمینه تحقیق حاضر به شرح حاضر می‌باشد: اکبری و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[1]) در آبخوان دشت مشهد پرداخته‌اند. نتایج حاکی از آن بود که در طی ۲۰ سال به میزان ۱۲/۱ متر، یعنی به‌طور متوسط هر ساله ۶۰ سانتی‌متر سطح آب کاهش داشته که آنان افزایش تعداد چاه‌ها در منطقه و خشکسالی را از جمله عوامل مؤثر در افت می‌دانند. پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی اثرات کم‌آبیاری و کاهش تخصیص آب بر تولید بخش کشاورزی استان قزوین پرداختند. در این تحقیق ابتدا با اعمال همزمان سه سناریو آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۵ درصد و کم‌آبیاری۱۰ درصد با کاهش سطح زیر کشت در دسترس تحت سناریوهای ۱۰و۲۰ درصد الگوی کشت، الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌کارگیری روش کم‌آبیاری توأم با سیاست کاهش سطح زیر کشت به حفظ و پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی استان قزوین کمک شایانی می‌کند. طباطبائی و شهیدی (۱۳۹۶) به بررسی افزایش بهره‌وری اقتصادی آب با تغییر الگوی کشت در روستای مزرعه نو در اردکان–یزد پرداختند. نتایج نشان داد که تغییر الگوی کشت راه‌کاری مناسب برای افزایش بهره‌وری از آب و اصلاح الگوی مصرف آن است. کریمی‌راد و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی پایداری توسعه آب زیرزمینی در سفره چندلایه با استفاده ۱۱ شاخص و قرائت‌های حاصل از ۱۹ چاه پرداختند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که منطقه موردمطالعه با وضعیت کمبود آب مواجه است که به معنای محدودیت در توسعه اقتصادی، سلامت و بهداشت جوامع انسانی است. شاهی دشت و عباس نژاد (۲۰۱۱) به بررسی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های استان کرمان، ارزیابی ناشی از اضافه برداشت و ارائه راه‌کارهای مفید جهت رفع مشکلات منطقه با استفاده از مدل اصلاحی IMDPA و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. بر اساس محاسبات آن‌ها، سطح آب زیرزمینی منطقه موردتحقیق از سال آبی ۸۱–۸۰ تا ۸۶–۸۵، به طور متوسط سالیانه ۹۰ سانتی‌متر افت داشته است. Ahmadi and Baghbanzade (2012) با استفاده از روش‌های IDW[2]، Kriging وRBF[3] به برآورد سطح آب‌های زیرزمینی در دشت

1. Geographic Information Systems
1. Inverse Distance Weighting
2. Radial basis function

رزن قهاوند استان همدان پرداختند و در نهایت روش کریجینگ معمولی به‌عنوان بهترین روش برای برآورد سطح آب زیرزمینی انتخاب شد. Wada et al., (2012) با مطالعاتی در سطح جهانی مقدار کل آب زیرزمینی تجدیدناپذیر را اندازه‌گیری کرده و با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی PCR-GLOBWB به شبیه‌سازی تغذیه آب زیرزمینی، از جمله جریان برگشتی از آبیاری پرداختند. نتایج نشان داد که برداشت غیرمجاز آب زیرزمینی تجدیدناپذیر در حدود ۲۰ درصد از کل نیاز ناخالص آب آبیاری می‌باشد. Dey et al., (2017) به مطالعه پایداری آب زیرزمینی قابل‌استفاده برای آبیاری، در شمال غرب بنگلادش پرداختند و از شاخص‌های محیطی، شاخص‌های اجتماعی و شاخص اقتصادی استفاده کردند که هر کدام از این موارد معیارهایی برای اندازه‌گیری اجزای هر شاخص و معیارهایی برای اطمینان از پایداری دارند که از روی آن‌ها می‌توان از پایداری آب زیرزمینی قابل‌استفاده برای آبیاری مطمئن شد. آمارهای گردآوری‌شده در این تحقیق نشان داد که کشور بنگلادش دوره‌های بارش زیادی دارد که نیازمند روش‌های فنی جهت استفاده از آب باران برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها است. Al- Khafaji et al., (2022)به بررسی استفاده بالقوه از آب‌های زیرزمینی برای اهداف آبیاری در منطقه فرات میانی بر محاسبه توزیع مکانی شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI) از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. نقشه توزیع IWQI با نقشه‌های عمق آب زیرزمینی، قابلیت زمین و تناسب آبیاری برای طبقه‌بندی و منطقه‌بندی پتانسیل استفاده از آب‌های زیرزمینی در MER[3] ادغام شد. نتایج نشان داد، اکثر MER دارای آب‌های زیرزمینی هستند که می‌توانند با محدودیت‌های کم تا متوسط مورد بهره‌برداری قرار گیرند. Lopez et al., (2022) برای بهبود درک این موضوع که استخراج آب‌های زیرزمینی در ایالات متحده ناپایدار است، یک مدل محصول شبکه‌ای را با مشاهدات ماهواره‌ای، تخمین‌های شارژ مجدد و داده‌های بررسی آب ادغام کردند تا اثرات برداشت پایدار آب زیرزمینی بر تولید کشاورزی آبی ایالات متحده را ارزیابی کنند. نتایج آن‌ها آسیب‌پذیری کشاورزی آبی ایالات متحده را در برابر پمپاژ ناپایدار آب‌های زیرزمینی نشان داد.

دشت تبریز به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی می‌باشد و زندگی بیشتر مردم در این دشت به فعالیت‌های کشاورزی وابسته است که اکثر این فعالیت‌ها بدون آب امکان‌پذیر نیست. منابع آب مورد استفاده در دشت تبریز جهت مصارف کشاورزی شامل منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. بر اساس مشاهدات و بررسی‌های انجام‌گرفته در این منطقه از جمله عوامل محدودکننده می‌توان به محدودیت آب، محدودیت خاک، محدودیت دانش فنی کشاورزان اشاره نمود که منابع آب اصلی‌ترین عامل محدودیت توسعه کشاورزی در دشت تبریز می‌باشد (بی نام، ۱۳۷۸). بنابراین آگاهی از نوسانات تراز آب زیرزمینی و مدیریت بهینه در جهت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در این دشت حائز اهمیت است. هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی وضعیت بهره‌برداری از منبع آب‌زیرزمینی و تعیین حد پایدار برداشت از آب‌زیرزمینی دشت تبریز و ارائه الگوهای کشت مناسب به کشاورزان با توجه به میزان آب موجود می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش

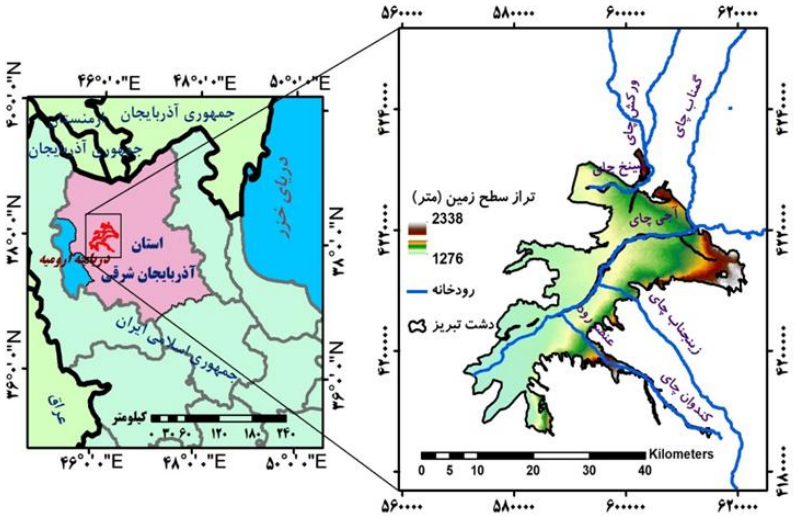
منطقه موردمطالعه

دشت تبریز با مساحت حدود ۷۲۴/۰۳ کیلومترمربع در استان آذربایجان‌شرقی بزرگترین دشت موجود در این استان می‌باشد. این دشت از شمال به دامنه‌های جنوبی کوه‌های میشو، از جنوب به دامنه‌های شمالی سهند، از شرق به محدوده شهر تبریز و از غرب به اراضی شوره‌زار و دریاچه ارومیه محدود می‌شود. تبریز در شمال‌غرب ایران در مرکز استان آذربایجان شرقی قرار دارد و در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی در دشت تبریز را نشان می‌دهد.

هواشناسی

در مطالعات بهره‌برداری از منابع آب برای هر محدوده مطالعاتی بررسی مشخصه‌های اقلیمی آن منطقه امری ضروری است. اکثر منبع تغذیه آبخوان‌ها از نزولات جوی و رواناب ناشی از این نزولات می‌باشد که برای یافتن مقدار تغذیه آبخوان باید پارامترهای هواشناسی با دقت مورد ارزیابی قرار بگیرند، چرا که این محاسبات به طور مستقیم در محاسبه بیلان مؤثر هستند. جدول (۱) بارندگی سالانه ایستگاه‌های محدوده دشت تبریز را نشان می‌دهد.

3. Middle Euphrates Region



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی در دشت تبریز.

جدول ۱. بارندگی سالانه (mm) ایستگاه‌های محدوده دشت تبریز (۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

بارش	نام ایستگاه				
	تبریز	مرکید	آخولا	سعیدآباد	زینجناب
ماکزیمم	۳۴۴/۸	۳۰۶	۲۹۱/۵۰	۵۱۳/۷۰	۴۲۰
متوسط (۳۰ ساله)	۲۴۰/۰۵	۲۴۸/۱۲	۲۱۷/۷۳	۳۸۲/۱۴	۳۰۰/۸۱
مینیمم	۱۵۰/۱۰	۱۷۷	۱۱۸	۱۵۵/۵۰	۱۵۱

برای بررسی منابع آب زیرزمینی مشخصه دما نقش به سزایی را ایفا می‌کند. از بین ایستگاه‌های محدوده موردمطالعه ایستگاه سینوپتیک تبریز به‌عنوان معرف دشت انتخاب‌شده و متوسط دمای ماهانه این منطقه در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر دمای ماهانه (°C) دشت تبریز از سال آبی (۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

دما	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
حداقل	۱۰/۹۳	۴/۶۱	۰/۲۷	۴/۵۱	۴/۴۱	۰/۳۸	۴/۷۵	۹/۶۸	۱۵/۲۰	۱۸/۳۱	۲۰/۷۰	۱۶/۷۱
متوسط	۱۶/۸۹	۹/۱۴	۴/۱۰	۰/۵۹	۰/۵۵	۳/۹۷	۱۰/۰۲	۱۵/۳۷	۲۱/۷۳	۲۴/۴۶	۲۶/۸۳	۲۳/۲۲
حداکثر	۲۳/۷۰	۱۴/۹۴	۹/۲۸	۳/۴۴	۴/۴۶	۹/۴۹	۱۵/۸۰	۲۱/۳۹	۲۸/۳۳	۳۱/۲۷	۳۳/۸۳	۳۰/۳۹

شبکه زهکشی منطقه

با بررسی آبدهی رودخانه‌های موجود در هر محدوده موردمطالعه می‌توان پتانسیل آب سطحی رژیم جریان را مشخص نمود. رودخانه اصلی این محدوده را تلخه رود یا آجی‌چای تشکیل می‌دهد که پس از ورود به منطقه تبریز سرشاخه‌های مهمی از جمله نهند چای، گمناب چای، سنیخ چای، مهرانه رود، سرد رود و عنصر رود (اسکو چای) به آن می‌ریزد. جدول (۳) مقادیر متوسط تغییرات دبی ماهانه در ایستگاه‌های نهند، مرکید، کمانج، سعید آباد، زینجناب و آخولا (با توجه به موجود بودن داده‌ها این ایستگاه‌ها انتخاب شده است) را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقادیر متوسط تغییرات دبی ماهانه (m^3/s) در ایستگاه‌های موردمطالعه دشت تبریز

ایستگاه	بازه زمانی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
نهند	۱۴۰۰-۱۳۶۹	۰/۲۹۹	۰/۴۸۰	۰/۴۲۲	۰/۴۸۸	۰/۶۵۶	۱/۳۸۷	۳/۷۳۵	۴/۶۸۴	۱/۸۵۰	۰/۳۶۴	۰/۲۳۲	۰/۲۹۵
مرکید	۱۴۰۰-۱۳۷۵	۰/۴۶۲	۰/۶۴۴	۱/۶۱۵	۳/۳۲۷	۵/۶۱۰	۷/۷۰۶	۱۵/۰۰۱	۲۲/۶۲۵	۵/۴۱۵	۰/۷۶۴	۰/۲۹۰	۰/۰۹۸
کمانج	۱۴۰۰-۱۳۷۸	۰/۰۸۴	۰/۰۷۹	۰/۰۵۵	۰/۰۷۶	۰/۰۵۵	۰/۲۲۶	۰/۶۵۳	۰/۹۸۰	۰/۱۶۵	۰/۱۹۱	۰/۳۰۷	۰/۰۷۴
سعید آباد	۱۴۰۰-۱۳۵۴	۰/۰۶۶	۰/۱۷۰	۰/۳۰۴	۰/۳۷۰	۰/۴۳۳	۰/۴۹۷	۰/۵۲۵	۰/۴۹۸	۰/۱۹۷	۰/۱۰۶	۰/۰۴۳	۰/۰۵۵
زینجانب	۱۴۰۰-۱۳۴۸	۴/۱۰۷	۹/۰۹۹	۱۱/۶۸۹	۱۳/۵۶۲	۱۲/۳۰۸	۱۰/۵۵۲	۱۸/۵۲۱	۴۹/۲۷۷	۶۷/۷۰۹	۱۱/۷۸۶	۳/۴۵۴	۱/۳۶۹
آخولا	۱۴۰۰-۱۳۶۹	۱/۶۱۶	۲/۹۴۱	۳/۶۰۹	۵/۱۶۱	۶/۹۸۹	۱۱/۲۷۱	۲۱/۶۷۸	۲۷/۷۷۹	۷/۶۸۸	۲/۸۹۷	۱/۶۲۵	۱/۱۵۵

روش تحلیل

در این تحقیق جهت ترسیم نقشه‌ها با خروجی‌های مختلف، از نرم‌افزار ARCGIS نسخه 10.3 استفاده شد. این نرم‌افزار قابلیت‌های برجسته زیادی جهت عملیات درون‌یابی مانند امکان انجام تحلیل‌های زمین‌آماری در حد نرم‌افزارهای نسبتاً تخصصی، امکان انجام ارزیابی متقاطع در نرم‌افزار و در نتیجه امکان انجام کلیهٔ عملیات درون‌یابی تا مرحله ارائه نقشه نهایی را دارد.

روش درون‌یابی

در این تحقیق جهت انجام عمل درون‌یابی از کریجینگ معمولی استفاده شد. کریجینگ معمولی بهترین تخمین‌گر خطی است و دارای حداقل تخمین (واریانس خطای بین مقدار واقعی و مقدار تخمین) است. معادله این روش به فرم رابطهٔ (۱) است:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \; ; \qquad (\text{شرط: } \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1)$$ رابطهٔ ۱)

که در آن $Z(x_0)$ مقدار تخمین‌گر متغیر Z در نقطه نمونه‌برداری نشده x_0، $Z(x_i)$ مقدار مشاهداتی متغیر Z در نقطه نمونه‌برداری x_i و λ_i وزن تعلق گرفته به هر مشاهده در نقطه x_i می‌باشند.

روش من-کندال[1] (MK)

این آزمون بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌نمایند. فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد.

محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع sgn و استخراج پارامتر s با استفاده از رابطهٔ (۲) حاصل می‌شود:

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sgn(x_j - x_k)$$ رابطه ۲)

n: تعداد جملات، x_j: تابع jام سری، x_k: داده kام سری داده sgn به شرح رابطهٔ (۳) معرفی می‌شود که تمامی مقادیر به‌دست‌آمده از تابع علامت (sgn)، صفر، ۱ و یا ۱- است.

$$\text{Sgn(s)} \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$ رابطهٔ ۳)

یافته‌های پژوهش

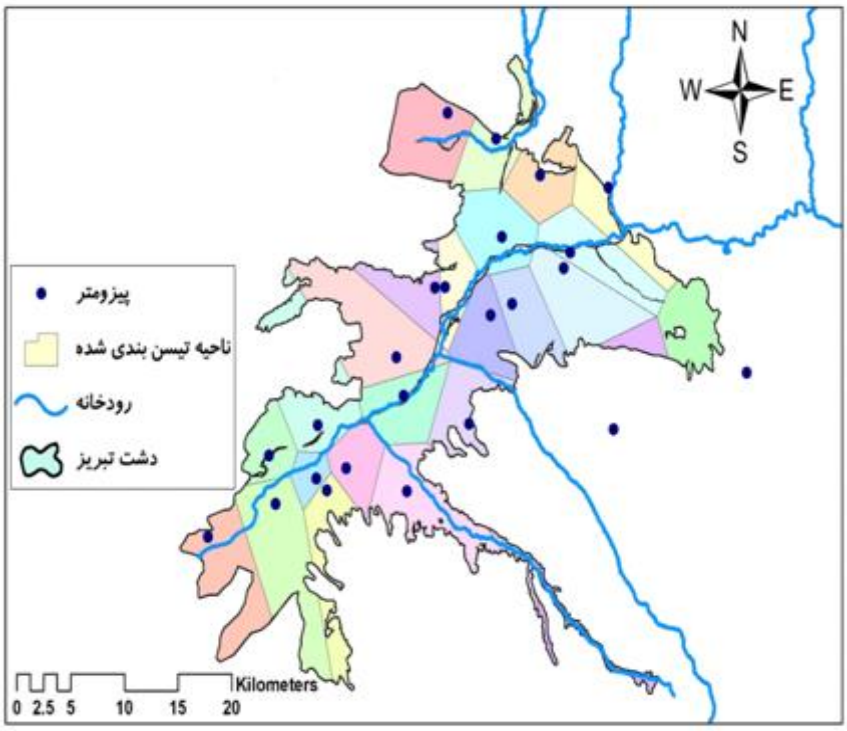
هیدروگراف آبخوان دشت تبریز

هدف از ترسیم هیدروگراف آبخوان، به دست آوردن دید کلی از روند تغییرات سطح آب زیرزمینی است. اطلاعات حاصل از چاه‌های پیزومتری اطلاعات نقطه‌ای هستند برای بسط دادن این اطلاعات نقطه‌ای به تمام سطح آبخوان از روش‌هایی استفاده می‌شود که یکی از شناخته‌شده‌ترین آن‌ها روش تیسن است. به کمک مدل تیسن برای هر چاه با توجه به موقعیت و تراکم چاه‌های اطراف، سطحی در نظر گرفته می‌شود. تیسن‌بندی محدوده دشت تبریز در شکل (۲) قابل مشاهده است. با توجه به موجود بودن داده‌ها، برای تهیه هیدروگراف دشت تبریز از داده‌های ماهانه ۲۴ پیزومتر استفاده گردیده است، لذا از طریق روش تیسن ضریب وزنی مربوط به هر یک از پیزومترها تهیه گردید.

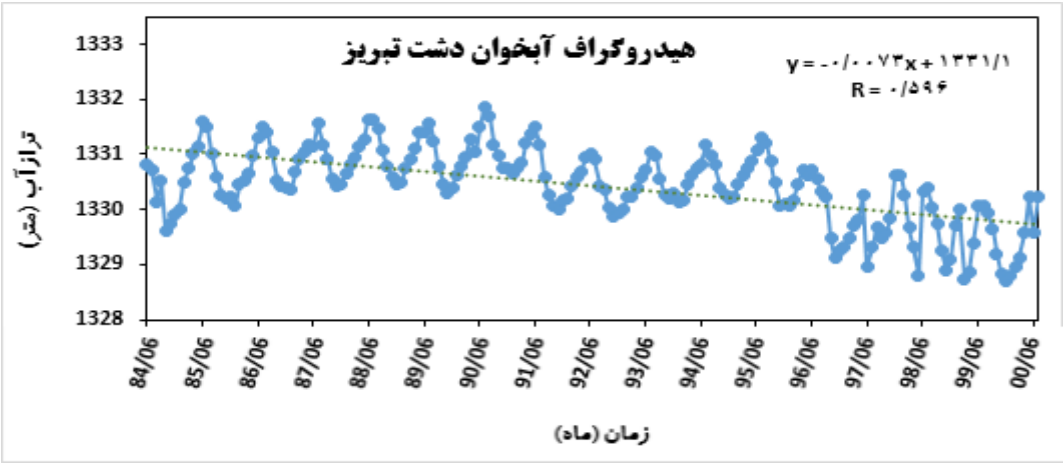
در نهایت هیدروگراف آبخوان دشت تبریز با توجه به ضرایب وزنی هر یک از پیزومترها برای ارقام ماهانه تراز سطح آب طی دوره آماری ۱۵ ساله از سال آبی (۱۳۸۵-۱۳۸۴ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹) تهیه گردید که در شکل (۳) قابل ملاحظه می‌باشد.

با ملاحظه نمودار فوق، می‌توان به مقدار نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت تبریز در ۱۶ سال آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۵) و میزان افت در سال آبی (۱۴۰۰-۱۳۹۹) پی برد.

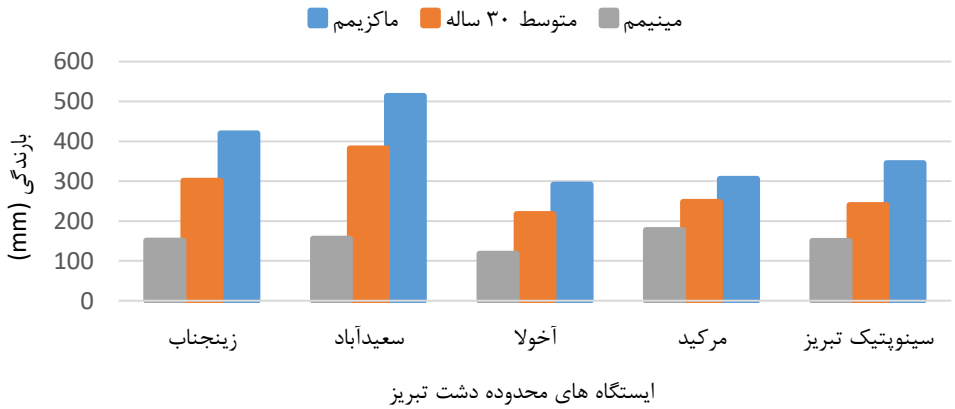
1. Mann- Kendall



شکل ۲. تیسن‌بندی محدوده دشت تبریز بر اساس ایستگاه‌های پیزومتری.



شکل ۳. هیدروگراف آبخوان دشت تبریز.



شکل ٤. نمودار تغییرات بارندگی سالانه (mm) ایستگاه‌های محدوده دشت تبریز (۱۴۰۰-۱۳۸۵)

بررسی روند هیدروگراف دشت تبریز

برای بررسی روند هیدروگراف دشت تبریز نتایج مربوط به آزمون من- کندال در جدول (۴) قابل مشاهده است.

جدول ٤. نتایج مربوط به آزمون من- کندال

Sen's slope (z)	Alpha	P value	Var (S)	S	Kendall's tau
-۰/۰۰۷ [۰/۰۴۹; -۰/۰۵۹]	۰/۰۵	۰/۰۰۰۱<	۸۱۷۴۸۱/۶۶۷	-۷۴۰۳	-۰/۳۹۵

با توجه به این که مقدار P- value کمتر از مقدار سطح معنی‌دار (۵٪) است، در نتیجه هیدروگراف آبخوان دارای روند معنی‌داری است. همچنین شیب خط روند ۰/۰۰۷- است که نشان‌دهنده‌ی روند نزولی هیدروگراف آبخوان دشت تبریز است.

بیلان آب زیرزمینی

بررسی و تبادلات آب در یک محدوده معین که بر اصل بقاء جرم در چرخه آب تأکید دارد، بیلان خوانده می‌شود. جهت محاسبه بیلان عوامل تغذیه و تخلیه در مدت زمان مشخص و محدوده مشخص که سطح بیلان نامیده می‌شود، مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند. بیلان آب زیرزمینی از رابطه زیر قابل محاسبه است (جباری و همکاران، ۱۳۸۷):

$$\pm\Delta V = (Q_{in} + Q_p + Q_r + Q_i + Q_{sw}) - (Q_Q + Q_{out} + Q_{ex} + Q_d + Q_{et}) \quad \text{رابطهٔ ۴)}$$

Q_{in} = حجم جریان آب زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان، Q_r = حجم تغذیه آبخوان از نفوذ جریانات سطحی، Q_i = حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی، Q_{sw} = حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی شرب و صنعت، Q_Q = حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی قنوات، Q_{out} = حجم آب زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان، Q_{ex} = حجم آب بهره‌برداری از آبخوان، Q_d = حجم آب زهکشی شده از آبخوان، Q_{et} = حجم آب تبخیر شده از آبخوان، $\pm\Delta V$ = تغییرات حجم ذخیره آبخوان در محدوده بیلان در سال بیلان آبی است.

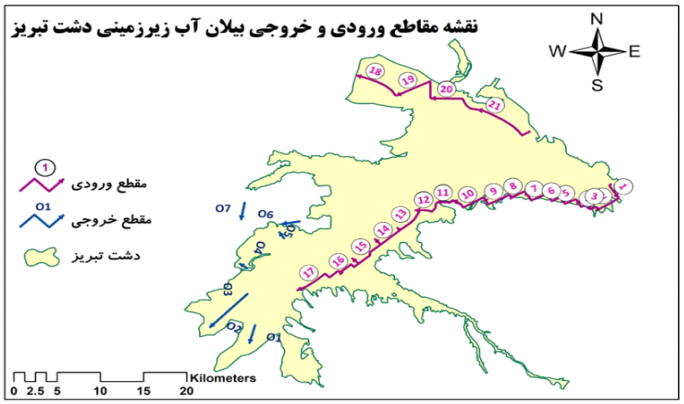
عوامل تغذیه

تغذیه از جریانات زیرزمینی ورودی

برای تعیین جریان ورودی زیرزمینی به محدوده بیلان (Q_{in})، ابتدا میزان قابلیت انتقال، گرادیان هیدرولیکی و طول هر مقطع از روی نقشه میانگین تراز سطح آب در سال بیلان مشخص می‌گردد، سپس مقدار جریان ورودی سالانه از هر مقطع بر اساس قانون دارسی محاسبه می‌شود.

$$Q = T \times I \times L \quad \text{رابطهٔ ۵)}$$

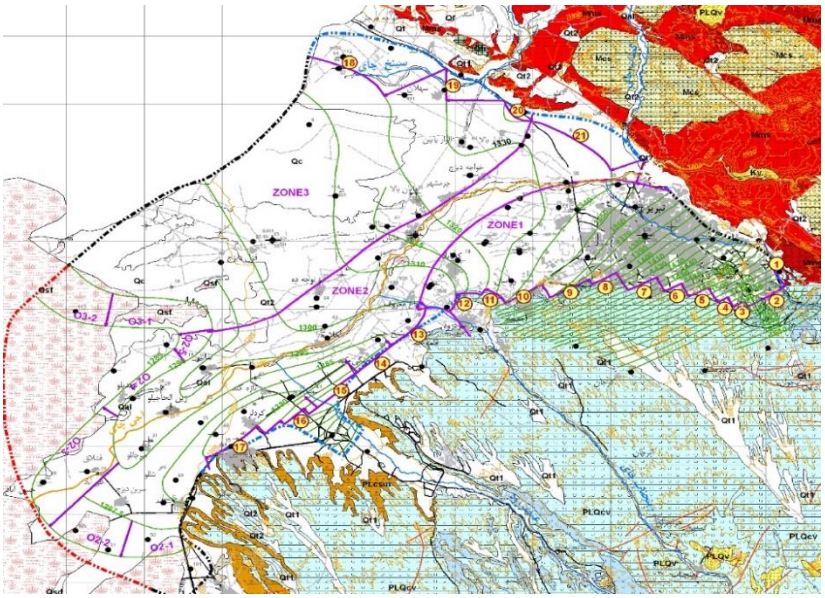
که در آن T ضریب قابلیت انتقال در هر مقطع ورودی (مترمربع بر روز)، I گرادیان هیدرولیکی (بدون بعد)، L طول مقطع جریان (متر) است. برای آبخوان دشت تبریز حجم آب ورودی (با تعداد ورودی ۲۱) به محدوده بیلان در حدود ۴۳/۴۴ میلیون مترمکعب در سال بیلان محاسبه شده است. نقشه مقاطع ورودی و خروجی بیلان آب زیرزمینی دشت تبریز در شکل (۵) و محاسبات مربوط به جریان زیرزمینی ورودی در جدول (۵) قابل ملاحظه است.



شکل ۵. مقاطع ورودی و خروجی جریانات زیرزمینی به دشت تبریز.

جدول ۵. محاسبه جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان دشت تبریز.

شماره مقطع ورودی	طول جبهه آب ورودی (m)	قابلیت انتقال متوسط (m^2/day)	گرادیان هیدرولیکی (DH/L)	حجم آب ورودی (MCM/year)
۱	۴۵۰	۱۰۰	۰/۰۱۷	۰/۲۸
۲	۲۹۰۰	۱۲۰	۰/۰۲۲	۲/۷۹
۳	۷۶۵	۱۵۰	۰/۰۲۲	۰/۹۲
۴	۷۳۰	۲۰۰	۰/۰۲۵	۱/۳۳
۵	۱۳۸۷	۲۰۰	۰/۰۲۲	۲/۳۳
۶	۱۲۲۴	۱۵۰	۰/۰۲۷	۱/۸۱
۷	۱۹۸۸	۱۵۰	۰/۰۲۷	۲/۹۴
۸	۱۷۳۱	۱۰۰	۰/۰۲۷	۱/۷۱
۹	۲۷۵۰	۷۵	۰/۰۰۸	۰/۶۰
۱۰	۲۲۵۰	۷۵	۰/۰۱۰	۰/۶۲
۱۱	۵۰۰	۲۰۰	۰/۰۱۱	۰/۴۰
۱۲	۵۵۰	۵۰۰	۰/۰۰۵	۰/۵۰
۱۳	۵۰۰۰	۸۰۰	۰/۰۰۴	۵/۸۴
۱۴	۳۰۰۰	۱۲۰۰	۰/۰۰۲	۲/۶۳
۱۵	۳۵۰۰	۱۵۰۰	۰/۰۰۱	۱/۹۲
۱۶	۳۷۵۰	۱۵۰۰	۰/۰۰۴	۸/۲۱
۱۷	۴۰۰۰	۷۵۰	۰/۰۰۳	۳/۲۹
۱۸	۵۷۱۹	۱۱۰	۰/۰۰۲	۰/۴۶
۱۹	۲۳۰۷	۱۵۰	۰/۰۰۳	۰/۳۸
۲۰	۲۴۲۸	۳۵۰	۰/۰۱۰	۳/۱۰
۲۱	۱۷۰۰	۴۰۰	۰/۰۰۶	۱/۴۹



شکل ٦. منحنی هم‌پتانسیل و موقعیت پیزومترها

تغذیه از نفوذ مستقیم ریزش‌های جوی

مقدار ریزش‌های آسمانی در نقاط مختلف منطقه بیلان تغییر کرده و در دامنه‌ها نسبت به بخش‌های میانی دشت بیشتر است. بر اساس آمار و اطلاعات دریافت شده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی و محاسبات انجام‌یافته، میانگین بارش در دشت تبریز در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۲۵۵/۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ماهیانه ۱۳/۶۱۳ درجه سانتی‌گراد است. مقادیر نفوذ مستقیم از بارش به آبخوان با بکارگیری روش فائو و استفاده از عوامل بارندگی، تبخیر-تعرق پتانسیل و درجه حرارت و از روی رابطهٔ ۶ زیر به دست می‌آید (جلیلی و

همکاران، ۱۳۹۵):

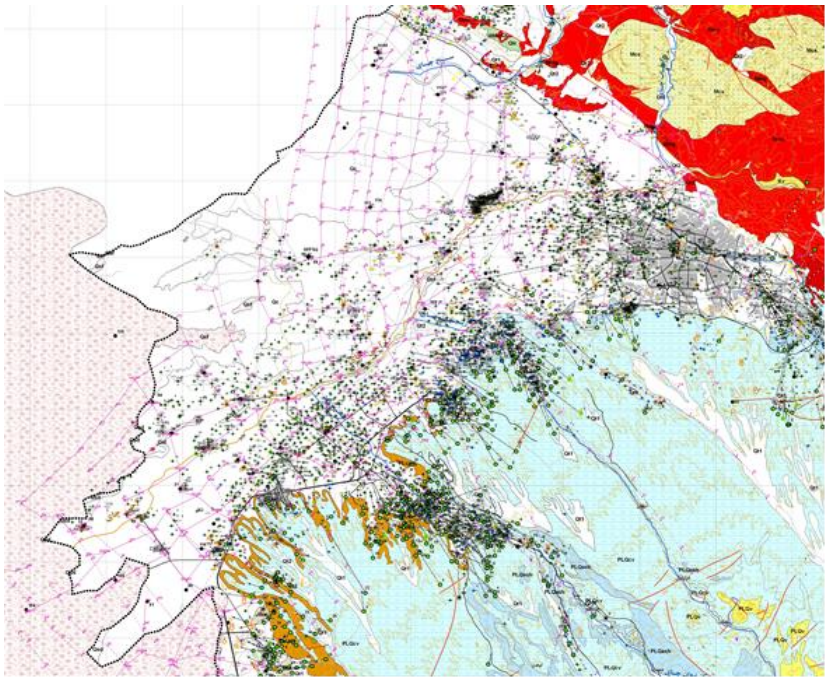
$$Q_p = 0.8 \times \sqrt{R - (C_i \times logE)}$$ رابطهٔ ۶)

Q_p : میزان آب نفوذی که به طور مستقیم از بارش به آبخوان اضافه می‌گردد (میلی‌متر)، R: میزان متوسط ماهانه بارندگی (میلی‌متر)، C_i: ضریب ثابت متناسب با درجه حرارت، E: میزان تبخیر تعرق پتانسیل (میلی‌متر).

ضریب متناسب با درجه حرارت از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$C_i = 0.0008\ T^2 + 0.0773\ T + 0.9524$$ رابطهٔ ۷)

بر این اساس میزان نفوذ در سال آبی (۱۴۰۰-۱۳۹۹)، ۱۲/۶۴۳ میلی‌متر برآورد شد. با در نظر گرفتن مساحت محدوده مطالعاتی (۷۲۴/۰۳ کیلومترمربع)، ۹/۱ میلیون مترمکعب از طریق بارش به طور مستقیم به حجم آبخوان اضافه می‌گردد.



شکل ۷. نقشه‌ی موقعیت چاه‌ها، قنات و چشمه‌ها

تغذیه ناشی از نفوذ آبیاری با آب رودخانه

با استفاده از داده‌هایی که از آب منطقه‌ای اتخاذ شده، میزان برداشت سالانه از رودخانه آجی‌چای برای آبیاری که در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۸۶/۶۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است و همچنین ضریب نفوذ آبیاری با آب رودخانه که ۲۰ درصد در نظر گرفته شد، تغذیه ناشی از این طریق ۱۷/۳۳۲ میلیون مترمکعب محاسبه گردید.

تغذیه ناشی از بازگشت آب چاه‌های کشاورزی، شرب و صنعت

بر اساس آماربرداری سازمان آب منطقه‌ای استان، ۷۵/۹۵ میلیون مترمکعب در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ از سفره جهت مصارف کشاورزی و آبیاری فضای سبز برداشت شده است، با توجه به نوع و بافت خاک، نحوه آبیاری و وضعیت اراضی ضریب نفوذ آبیاری با آب چاه ۲۰ درصد در نظر گرفته شد که در نتیجه میزان آب برگشتی که به سفره نفوذ می‌کند ۱۵/۱۹ میلیون مترمکعب است. همچنین میزان تخلیه از چاه برای مصارف شرب ۳۴/۲ میلیون مترمکعب است که از این مقدار حجمی در حدود ۲۰/۵۲ میلیون مترمکعب (با ضریب نفوذ آبیاری ۶۰ درصد) و میزان تخلیه از چاه برای مصارف صنعت ۱۹/۳ میلیون مترمکعب که با ضریب نفوذ آبیاری ۶۰ درصد ۱۱/۵۸ میلیون مترمکعب مجدداً به سفره آب زیرزمینی برگشت می‌نماید.

تغذیه ناشی از آب قنات‌ها

میزان تخلیه از آب قنات‌ها برای مصرف کشاورزی ۵/۸۵ میلیون مترمکعب است که با اعمال ضریب نفوذ آبیاری (۲۵ درصد)، ۱/۴۶ میلیون مترمکعب و تخلیه از آب قنوات برای مصرف شرب ۵/۷ میلیون مترمکعب که از این مقدار ۱/۴۲ میلیون مترمکعب مجدداً به آبخوان برگشت داده می‌شود.

عوامل تخلیه آبخوان

جریان خروجی زیرزمینی از محدوده بیلان

حجم آب خروجی که از محدوده بیلان خارج می‌شود، با استفاده از قانون دارسی ۱/۷۹ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. محاسبات مربوط به جریان زیرزمینی خروجی از آبخوان در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول ٦. محاسبه جریان زیرزمینی خروجی از آبخوان دشت تبریز.

شماره مقطع ورودی	طول جبهه آب ورودی (m)	قابلیت انتقال متوسط (m^2/day)	گرادیان هیدرولیکی (DH/L)	حجم آب خروجی (MCM/year)
۱	۵۰۰۰	۵۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۲
۲	۶۰۰۰	۵۰	۰/۰۰۱	۰/۰۹
۳	۱۰۵۰۰	۵۰	۰/۰۰۱	۰/۲۷
۴	۶۲۵۰	۵۰	۰/۰۰۵	۰/۶۰
۵	۱۰۰۰	۵۰	۰/۰۰۳	۰/۰۶
۶	۵۰۰۰	۱۰۰	۰/۰۲۴	۰/۴۳
۷	۵۰۰۰	۱۰۰	۰/۰۰۱۷	۰/۳۱

برداشت از آب زیرزمینی

با توجه به آمار و اطلاعات موجود تعداد ۱۰۶۳حلقه چاه در دشت تبریز در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ فعال بوده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. میزان تخلیه این چاه‌ها ۱۲۹/۴۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که از این مقدار با توجه به آمار شرکت آب منطقه‌ای، تعداد ۲۵ حلقه چاه مربوط به سازمان پارک‌های شهرداری است که آب آن‌ها با برداشت حدود ۷ میلیون مترمکعب برای آبیاری فضای سبز شهرداری به کار می‌رود. همچنین میزان کل تخلیه قنات برای مصارف شرب و کشاورزی ۱۱/۵۵میلیون مترمکعب است. در جدول (۷) خلاصه محاسبه بیلان آورده شده است.

جدول ۷. بیلان آب زیرزمینی آبخوان دشت تبریز در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (MCM)

شرح اجزا	دوره یک‌ساله	
	تغذیه	تخلیه
جریان زیرزمینی ورودی	۴۳/۴۴	۰
نفوذ مستقیم از ریزش‌های آسمانی	۹/۱	۰
نفوذ آبیاری با آب رودخانه آجی چای	۱۷/۳۳۲	۰
برگشت آبیاری با آب چاه‌ها	۱۵/۱۹	۰
برگشت آب مصارف شرب و صنعت	۳۲/۱	۰
برگشت آب قنوات	۲/۸۸	۰
جریان زیرزمینی خروجی	۰	۱/۷۹
برداشت چاه‌های کشاورزی	۰	۶۸/۹۵
برداشت چاه‌های شرب و صنعت		۵۳/۵
تخلیه قنوات	۰	۱۱/۵۵
برداشت چاه‌های فضای سبز	۰	۷
جمع	۱۲۰/۰۴۲	۱۴۲/۷۹
تغییرات حجم مخزن	۰	-۲۲/۷۴

با توجه به اعداد ارائه‌شده در جدول و بررسی پارامترهای ورودی و خروجی دشت می‌توان به این نتیجه رسید که بیلان در دشت تبریز در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ منفی و به میزان ۲۲/۷۴ میلیون مترمکعب خروجی‌ها از ورودی‌ها بیشتر بوده است.

تعیین حجم ذخیره آبخوان

حجم ذخیره آبخوان شامل ذخیره دینامیک و استاتیک بوده و در واقع میزان ذخیره قابل استحصال آبخوان است. ذخیره دینامیک (پویا) آب

زیرزمینی به ذخیره‌ای اطلاق می‌شود که در ارتباط با چرخه هیدرولوژیکی بوده و حجم آن در حقیقت برابر میزان تغذیه سالانه آب زیرزمینی است. حجم ذخیره آبخوان با داشتن مساحت، ضخامت بخش اشباع قابل محاسبه است. بر اساس بررسی‌های به عمل‌آمده، مساحت آبخوان دشت تبریز ۷۲۴/۰۳۰ کیلومترمربع بوده و متوسط ضریب ذخیره آبخوان ۳ درصد در نظر گرفته شده است (لایه‌ی آبدار را آزاد فرض کرده‌ایم و در غیر این صورت کمتر از $۱۰^{-۳}$ می‌شد (بی‌نام، ۱۳۸۷)).

جهت محاسبه ضخامت متوسط بخش اشباع آبخوان، ابتدا نقشه‌های سنگ بستر و عمق آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (ARCGIS) و روش درون‌یابی کریجینگ تهیه، سپس نقشه عمق آب زیرزمینی از نقشه سنگ بستر کسر گردید. خروجی محاسبات در حقیقت نقشه ضخامت بخش اشباع بوده است. بر اساس محاسبات به‌عمل‌آمده، میانگین ضخامت بخش اشباع آبخوان دشت تبریز برابر ۴۵/۸۶۲ متر محاسبه گردید. با توجه به توضیحات فوق کل میزان حجم قابل استحصال آبخوان به صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳).

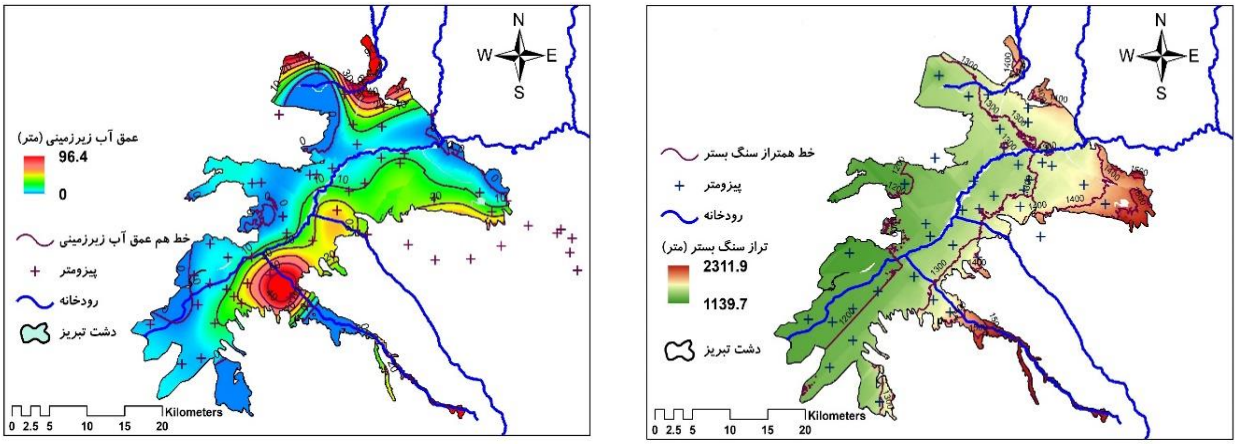
رابطهٔ ۸) ضریب ذخیره × ضخامت بخش اشباع × مساحت آبخوان = حجم ذخیره آبخوان

حجم ذخیره آبخوان دشت تبریز برابر ۹۹۶/۱۲۰ میلیون مترمکعب برآورد گردید و بخش عمده‌ای از آن ذخیره استاتیک است. بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده، میزان ذخیره دینامیک آبخوان که همان میزان تغذیه سالانه آب زیرزمینی است (با توجه به جدول ۷)، در دشت تبریز ۱۲۰/۰۴۲میلیون مترمکعب بوده است. لذا میزان ذخیره استاتیک این آبخوان حدود ۸۷۶/۰۷۸ میلیون مترمکعب است.

رابطهٔ ۹) حجم ذخیره آبخوان= ذخیره دینامیک + ذخیره استاتیک

بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده، میزان ذخیره دینامیک آبخوان دشت تبریز ۱۲۰/۰۴۲ میلیون مترمکعب بوده است. لذا میزان ذخیره استاتیک این آبخوان حدود ۸۷۶/۰۷۸ میلیون مترمکعب است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳).

(الف) (ب)



شکل ۸. نقشه تراز سنگ بسترآبخوان (الف) و نقشه عمق آب زیرزمینی (ب) دشت تبریز.

مدل‌های نظری نیم تغییر نما و ارزیابی آن‌ها

برای هر یک از پارامترهای آب زیرزمینی (عمق و تراز سنگ کف)، برای داده‌های تغییرات این پارامترها، پنج مدل نظری برازش یافت. این مدل‌های تئوری اطلاعاتی در مورد ساختار مکانی و همچنین پارامترهای ورودی جهت درون‌یابی کریجینگ به دست می‌دهند که مدل‌ها شامل مدل‌های دایره‌ای، کروی، گوسی، نمایی و سهمی درجه دو است. در اعتبارسنجی تقاطعی مقادیر تخمین‌زده‌شده با مقادیر واقعی مقایسه می‌شوند، که در انتها با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا را محاسبه نمود. نتایج حاصل از اعتبارسنجی تقاطعی در جدول (۸) آمده است. با توجه به معیار اندازه‌گیری خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R) بهترین مدل برای پارامتر سنگ کف آب زیرزمینی مدل گوسی انتخاب شد.

جدول ۸. نتایج اعتبار سنجی برای سنگ کف و عمق آب زیرزمینی آبخوان دشت تبریز

نوع مدل	سنگ کف آب زیرزمینی		عمق آب زیرزمینی	
	RMSE	R	RMSE	R
دایره‌ای	۲۰/۰۰۸	۰/۷۹۸	۱۰/۹۲۷	۰/۸۶۱
کروی	۲۰/۷۰۵	۰/۸۵۱	۱۲/۰۲۱	۰/۸۳۶
نمایی	۲۰/۹۸۰	۰/۷۶۵	۱۲/۵۶۳	۰/۷۱۲
گوسی	۱۹/۹۸۰	۰/۸۵۶	۱۱/۵۵۰	۰/۸۵۱
سهمی	۲۰/۶۷۹	۰/۷۴۹	۱۲/۱۸۰	۰/۸۳۹

با توجه به معیار اندازه‌گیری خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R) بهترین مدل برای پارامتر عمق آب زیرزمینی مدل دایره‌ای انتخاب شد.

تغییر الگوی کشت و تعیین الگوی کشت بهینه

به خاطر وضعیت نامناسب کانال‌های آبیاری در دشت تبریز، میزان هدر رفت آب بسیار بالا بوده و شیب کم اراضی و همچنین نحوه قرارگیری کانال‌ها و سرعت کم جریان آب موجب نشست رسوبات زیادی در کانال‌ها می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که مدیریت آبیاری در این دشت ضعیف است و به علت عدم نگهداری از کانال‌ها و عدم مرزبندی صحیح مزارع، آب زیادی از دست می‌رود. در جدول (۹) اصلی‌ترین گیاهان که در منطقه مورد کشت قرار گرفته‌اند به همراه نیاز آبی ناخالص آورده شده است. با توجه به جدول سالانه ۱۹۸/۴ میلیون مترمکعب از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای کشت محصولات مذکور برداشت می‌شود که از این مقدار MCM ۷۴/۸ از منابع آب زیرزمینی و MCM ۱۲۳/۶ از منابع آب سطحی برداشت می‌شود.

برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب تجدیدپذیر

در حال حاضر در ایران بیش از ۸۵ درصد از منابع آب تجدیدپذیر برداشت می‌شود. در حالی که حد مجاز برداشت بر طبق شاخص سازمان ملل، حداکثر ۴۰ درصد است.

مقدار کل برداشت از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت در آبخوان ۱۳۴ میلیون مترمکعب است که از این مقدار ۷۴/۸ میلیون مترمکعب برای مصارف کشاورزی برداشت می‌شود، در واقع سهم مصارف کشاورزی از کل آب برداشتی ۵۵/۸۲ درصد است.

راه‌حل برای کاهش مصرف آب با استفاده از شاخص سازمان ملل این است که با ۴۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بخش کشاورزی، می‌توان حدود ۳۰ میلیون مترمکعب مصرف در این بخش را کاهش داد. با این حساب آب قابل‌دسترس برای مصارف کشاورزی (حد برداشت پایدار از آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی)، ۴۴/۸۸ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود. در این حالت مجموع آب قابل‌دسترس برای همه‌ی مصارف دشت (کشاورزی، شرب و صنعت)، حدود ۱۰۴/۰۸ میلیون مترمکعب خواهد بود. در جدول (۹) اصلی‌ترین گیاهان که در منطقه مورد کشت قرار گرفته‌اند به همراه نیاز آبی ناخالص آورده شده است.

نتایج مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که یکی از عوامل مهم کمبود آب، روی آوردن به کشت‌هایی با نیاز آبی زیاد است. با در نظر گرفتن حد برداشت پایدار از آب زیرزمینی، حال باید الگوی کشت را به نحوی اصلاح کنیم که حجم برداشتی از آب زیرزمینی کاهش یافته و به ۴۴/۸ میلیون مترمکعب و مجموع برداشتی از آب سطحی و زیرزمینی از MCM ۱۹۸/۴ به MCM ۱۶۸/۴ برسد.

سناریو ۱: بر اساس تجارب سایر کشورها، در برنامه‌ریزی منابع آب لزومی به تأمین نیاز آبی ۱۰۰ درصد گیاهان وجود ندارد و ۰/۸ نیاز آبی خالص به‌عنوان یک میزان معقول در نظر گرفته می‌شود.

سناریو۲: مطابق مقاله ارزیابی کم‌آبیاری و کاهش تخصیص آب بر تولید بخش کشاورزی (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۵)، بر اساس دو روش آبیاری کامل و کم‌آبیاری ۱۰ درصد و با اعمال هم‌زمان این دو روش با کاهش سطح زیر کشت در دسترس تحت سناریوهای ۱۰و۲۰ درصد، این سناریو حاصل شد.

سناریو۳: مطابق مقاله ارزیابی سیاست‌های اصلاح الگوی کشت و مدیریت کم‌آبیاری با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم در حوضه آبریز ارس (مولوی و همکاران، ۱۳۹۵)، بر اساس روش کم‌آبیاری ۴۰ درصد و با سطح زیر کشت ثابت سناریو ۳ حاصل شده است.

سناریو ٤: با پیروی از مقاله باریکانی و همکاران (۱۳۹۰) که به تعیین الگوی کشت بهینه در دشت قزوین پرداختند، در این تحقیق نیز با روشی مشابه به تعیین الگوی کشت بهینه در دشت تبریز پرداختیم که در این سناریو محصول پیاز از الگو حذف و سطح زیر کشت

یونجه کاهش و در مقابل سطح زیر کشت نخود و سبزیجات افزایش می‌یابد.

جدول ۹. الگوی کشت و نیاز آبی ناخالص در منطقه موردمطالعه.

ردیف	گیاه	سطح زیر کشت (%)	سطح زیر کشت (ha)	۸۰٪ نیاز آبی خالص (m^3/ha)	نیاز آبی ناخالص (راندمان ۴۸٪) (m^3/ha)	برداشت سالانه MCM	سطح زیر کشت (%)	سطح زیر کشت (ha)	۸۰٪ نیاز آبی خالص (m^3/ha)	نیاز آبی ناخالص (راندمان ۴۸٪) (m^3/ha)	برداشت سالانه MCM
		الگوی کشت منطقه					سناریو ۱				
۱	گندم	۵۳/۳۳	۹۶۰۰	۴۰۵۰	۸۴۳۸	۸۱	۵۳/۳۳	۹۶۰۰	۳۲۴۰	۶۷۵۰	۶۴/۸
۲	جو	۱۲/۴۴	۲۲۴۰	۳۸۲۵	۷۹۶۹	۱۷/۸۵	۱۲/۴۴	۲۲۴۰	۳۰۶۰	۶۳۷۵	۱۴/۲
۳	نخود	۲/۹۶	۵۳۳	۵۸۵۰	۱۲۱۸۸	۶/۵	۲/۹۶	۵۳۳	۴۶۸۰	۹۷۵۰	۵/۱
۴	یونجه	۱۲/۷۳	۲۲۹۳	۹۰۰۰	۱۸۷۵۰	۴۳	۱۲/۷۳	۲۲۹۳	۷۲۰۰	۱۵۰۰۰	۳۴/۳
۵	پیاز	۱۲/۴۲	۲۲۳۶	۷۵۱۵	۱۵۶۵۶	۳۵	۱۲/۴۲	۲۲۳۶	۶۰۱۲	۱۲۵۲۵	۲۸
۶	سبزیجات	۴/۱۵	۷۴۷	۶۱۶۵	۱۲۸۴۴	۹/۶	۴/۱۵	۷۴۷	۴۹۳۲	۱۰۲۷۵	۷/۶
۷	باغات	۱/۹۵	۳۵۲	۷۴۲۵	۱۵۴۶۸	۵/۴۵	۱/۹۵	۳۵۲	۵۹۴۰	۱۲۳۷۵	۴/۳
۸	مجموع	۱۰۰	۱۸۰۰۱	۴۳۸۳۰	۹۱۳۱۳	۱۹۸/۴	۱۰۰	۱۸۰۰۱	۳۵۰۶۴	۷۳۰۵۰	۱۵۸/۳
		سناریو ۲-۱: آبیاری کامل و کاهش ۱۰٪ سطح زیر کشت					سناریو ۲-۲: آبیاری کامل و کاهش ۲۰٪ سطح زیر کشت				
۱	گندم	۵۳/۳۳	۸۶۴۰	۴۰۵۰	۸۴۳۸	۷۲/۹	۵۳/۳۳	۷۶۸۰	۴۰۵۰	۸۴۳۸	۶۴/۸
۲	جو	۱۲/۴۴	۲۰۱۶	۳۸۲۵	۷۹۶۹	۱۶	۱۲/۴۴	۱۷۹۲	۳۸۲۵	۷۹۶۹	۱۴/۲
۳	نخود	۲/۹۶	۴۷۹/۷	۵۸۵۰	۱۲۱۸۸	۵/۸	۲/۹۶	۴۲۶/۴	۵۸۵۰	۱۲۱۸۸	۵/۱
۴	یونجه	۱۲/۷۳	۲۰۶۳/۷	۹۰۰۰	۱۸۷۵۰	۳۸/۶	۱۲/۷۳	۱۸۳۴/۴	۹۰۰۰	۱۸۷۵۰	۳۴/۳
۵	پیاز	۱۲/۴۲	۲۰۱۲/۴	۷۵۱۵	۱۵۶۵۶	۳۱/۵	۱۲/۴۲	۱۷۸۸/۸	۷۵۱۵	۱۵۶۵۶	۲۸
۶	سبزیجات	۴/۱۵	۶۷۲/۳	۶۱۶۵	۱۲۸۴۴	۸/۶	۴/۱۵	۵۹۷/۶	۶۱۶۵	۱۲۸۴۴	۷/۶
۷	باغات	۱/۹۵	۳۱۶/۸	۷۴۲۵	۱۵۴۶۸	۴/۹	۱/۹۵	۲۸۱/۶	۷۴۲۵	۱۵۴۶۸	۴/۳
۸	مجموع	۱۰۰	۱۶۲۰۱	۴۳۸۳۰	۹۱۳۱۳	۱۷۸/۳	۱۰۰	۱۴۴۰۱	۴۳۸۳۰	۹۱۳۱۳	۱۵۸/۳
		سناریو ۳-۲: کم‌آبیاری ۱۰٪ و کاهش ۱۰٪ سطح زیر کشت					سناریو ۴-۲: کم‌آبیاری ۱۰٪ و کاهش ۲۰٪ سطح زیر کشت				
۱	گندم	۵۳/۳۳	۸۶۴۰	۳۶۴۵	۷۵۹۳/۷۵	۶۵/۶	۵۳/۳۳	۷۶۸۰	۳۶۴۵	۷۵۹۳/۷۵	۵۸/۳
۲	جو	۱۲/۴۴	۲۰۱۶	۳۴۴۲/۵	۷۱۷۱/۸	۱۴/۴	۱۲/۴۴	۱۷۹۲	۳۴۴۲/۵	۷۱۷۱/۸	۱۲/۸
۳	نخود	۲/۹۶	۴۷۹/۷	۵۲۶۵	۱۰۹۶۸/۷۵	۵/۲	۲/۹۶	۴۲۶/۴	۵۲۶۵	۱۰۹۶۸/۷۵	۴/۶
۴	یونجه	۱۲/۷۳	۲۰۶۳/۷	۸۱۰۰	۱۶۸۷۵	۳۴/۸	۱۲/۷۳	۱۸۳۴/۴	۸۱۰۰	۱۶۸۷۵	۳۰/۹
۵	پیاز	۱۲/۴۲	۲۰۱۲/۴	۶۷۶۳/۵	۱۴۰۹۰/۶۲	۲۸/۳	۱۲/۴۲	۱۷۸۸/۸	۶۷۶۳/۵	۱۴۰۹۰/۶۲	۲۵/۲
۶	سبزیجات	۴/۱۵	۶۷۲/۳	۵۵۴۸/۵	۱۱۵۵۹/۳۷	۷/۷	۴/۱۵	۵۹۷/۶	۵۵۴۸/۵	۱۱۵۵۹/۳۷	۶/۹
۷	باغات	۱/۹۵	۳۱۶/۸	۶۶۸۲/۵	۱۳۹۲۱/۸۷	۴/۴	۱/۹۵	۲۸۱/۶	۶۶۸۲/۵	۱۳۹۲۱/۸۷	۳/۹
۸	مجموع	۱۰۰	۱۶۲۰۱	۳۹۴۴۷	۸۲۱۸۱/۲	۱۶۰/۴	۱۰۰	۱۴۴۰۱	۳۹۴۴۷	۸۲۱۸۱/۲	۱۴۲/۶
		سناریو ۳					سناریو ۴				
۱	گندم	۵۳/۳۳	۹۶۰۰	۲۴۳۰	۵۰۶۳	۴۸/۶	۶۱/۲۸	۹۶۰۰	۴۰۵۰	۸۴۳۸	۸۱
۲	جو	۱۲/۴۴	۲۲۴۰	۲۲۹۵	۴۷۸۱	۱۰/۷	۱۴/۳	۲۲۴۰	۳۸۲۵	۷۹۶۹	۱۷/۸۵
۳	نخود	۲/۹۶	۵۳۳	۳۵۱۰	۷۳۱۳	۳/۹	۳/۷	۵۸۶/۳	۵۸۵۰	۱۲۱۸۸	۷/۱
۴	یونجه	۱۲/۷۳	۲۲۹۳	۵۴۰۰	۱۱۲۵۰	۲۵/۷	۱۳/۱۷	۲۰۶۳/۷	۹۰۰۰	۱۸۷۵۰	۳۸/۶
۵	پیاز	۱۲/۴۲	۲۲۳۶	۴۵۰۹	۹۳۹۴	۲۱	–	–	–	–	–
۶	سبزیجات	۴/۱۵	۷۴۷	۳۶۹۹	۷۷۰۶	۵/۷	۵/۲	۸۲۱/۷	۶۱۶۵	۱۲۸۴۴	۱۰/۵
۷	باغات	۱/۹۵	۳۵۲	۴۴۵۵	۹۲۸۱	۳/۲	۲/۲۴	۳۵۲	۷۴۲۵	۱۵۴۶۸	۵/۴
۸	مجموع	۱۰۰	۱۸۰۰۱	۲۶۲۹۸	۵۴۷۸۸	۱۱۸/۸	۱۰۰	۱۵۶۶/۷	۴۳۸۳۰	۹۱۳۱۳	۱۶۰/۴۵

بحث

نتیجه‌ای که می‌توان از اعمال ۷ سناریو بر روی الگوی کشت موجود (جدول ۹) گرفت این است که با اعمال سناریو ۱ مقدار کل آب برداشتی از منابع MCM ۱۵۸/۳ برآورد شد که با توجه به مقدار حد برداشت پایدار با اعمال شاخص (۴۰ درصد)، ۱۶۸/۴ میلیون مترمکعب

است، این سناریو تقریباً مورد قبول است. سناریو ۲-۱ به دلیل برداشت بیش از حد پایدار (۱۶۸/۴ MCM)، که ۱۷۸/۳ میلیون مترمکعب برآورد شده نقض می‌شود. سناریو ۲-۲ به خاطر مقدار برداشت از منابع آب (۱۵۸/۳) نسبت به مقدار برداشت حد پایدار که تقریباً در تناسب هستند، این سناریو مورد قبول واقع می‌شود. با اعمال سناریو ۲-۳ بر روی الگوی کشت، تقریباً مقدار آب برداشتی با مقدار حد برداشت پایدار تناسب دارد که در این سناریو مقدار برداشت از منابع ۱۶۰/۴ میلیون مترمکعب برآورد شده است. سناریو ۲-۴ نیز به خاطر کاهش بیش از حد از مقدار برداشت پایدار که ۱۴۲/۶ MCM برآورد شده نقض می‌شود. سناریو ۳ که با کم‌آبیاری ۴۰ درصد و سطح زیر کشت ثابت تغییر در الگوی کشت انجام شده بود به دلیل کاهش مقدار آب برداشتی (۱۱۸/۸ MCM)، نسبت به مقدار برداشت حد پایدار نقض می‌شود. سناریو ۴ که از مقاله باریکانی و همکاران (۱۳۹۰) اتخاذ شده بود، به خاطر تناسب مقدار آب برداشتی (با اعمال سناریو)، (۱۶۰/۴۵) با مقدار آب برداشت حد پایدار این سناریو قابل‌قبول است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش هدف بررسی وضعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و تعیین حد پایدار برداشت از آب‌های زیرزمینی دشت تبریز و ارائه الگوهای کشت مناسب به کشاورزان است. هیدروگراف ۱۶ ساله برای آبخوان دشت تبریز، بیلان آب زیرزمینی برای سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و حجم کل ذخیره آبخوان (شامل ذخیره دینامیک و استاتیک) برآورد شد. سپس برای تغییر الگوی کشت و کاهش آب مصرفی از آب زیرزمینی در بخش کشاورزی، از چندین سناریو استفاده شد. از ترسیم هیدروگراف می‌توان به مقدار نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت تبریز در ۱۶ سال آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۵) و میزان افت در سال آبی (۱۴۰۰-۱۳۹۹) پی برد که به ترتیب برابر ۱/۳۹۴ متر و ۰/۰۸۸ متر برآورد شد. بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده، میزان ذخیره دینامیک آبخوان دشت تبریز ۱۲۰/۰۴۲ میلیون مترمکعب و میزان ذخیره استاتیک این آبخوان حدود ۸۷۶/۰۷۸ میلیون مترمکعب است. با اعمال ۷ سناریو بر روی الگوی کشت حاکم بر منطقه به این نتیجه رسیدیم که این ۴ سناریو یعنی سناریو ۱ با مقدار برداشت از منابع ۱۵۸/۳ میلیون مترمکعب، سناریو ۲-۲ با مقدار برداشت ۱۵۸/۳ میلیون مترمکعب، سناریو ۳-۲ با مقدار برداشت ۱۶۰/۴ میلیون مترمکعب و سناریو ۴ با مقدار برداشت ۱۶۰/۴۵ میلیون مترمکعب تقریباً تناسب زیادی با مقدار برداشت حد پایدار (۱۶۸/۴ MCM) دارد. با توجه به این که بیش‌ترین میزان آب برداشتی از منابع آب زیرزمینی صرف آبیاری زمین‌های کشاورزی می‌شود، با حفاظت آب در کشاورزی و بهبود روش‌های آبیاری بعلاوه انجام اقداماتی همچون اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس، حذف محصولات زراعی که نسبت به آب مصرفی درآمد کمتری دارند، عدم صدور مجوزهای جدید حفاری، کنترل دقیق در برداشت از منابع آب زیرزمینی با نصب کنتور می‌توان میزان افت سطح آب زیرزمینی و پیامدهای ناشی از آن را به حداقل رساند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

اکبری، مرتضی؛ جرگه، محمدرضا و مدنی سادات، حمید (۱۳۸۸). بررسی افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: آبخوان دشت مشهد). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۴ (۱۶)، ۷۸-۶۳.

باریکانی، الهام؛ احمدیان، مجید و خلیلیان، صادق. (۱۳۹۰). بهره‌برداری بهینه پایدار از منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی (دشت قزوین). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲ (۲۵)، ۲۵۳-۲۶۲.

بی‌نام. (۱۳۷۸). مطالعات مرحله اول دشت تبریز. مهندسین مشاور قدس نیرو. وزارت نیرو. جلد ۲.

بی‌نام. (۱۳۸۷). مطالعات آب زیرزمینی دشت تبریز. مهندسین مشاور یکم امور منابع آب. شرکت آب منطقه-ای استان آذربایجان شرقی. جلد ۱.

پرهیزکاری، ابوذر؛ صبوحی، محمود؛ احمدپور، محمود و بدیع برزین، حسین (۱۳۹۵). ارزیابی اثرات کم‌آبیاری و کاهش تخصیص آب بر تولید بخش کشاورزی استان قزوین. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲ (۳۰)، ۱۷۴-۱۸۴.

جباری، پریسا؛ قنبرپور، محمدرضا و اشبه، علیرضا (۱۳۸۷). ارزیابی و تعیین بیلان آب زیرزمینی آبخوان آزاد دشت ساری- نکا. (مدیریت ژایدار بلایای طبیعی). پنجمین همایش ملی آبخیزداری ایران.

جلیلی، خلیل؛ مرادی، حمید رضا و بزرگ حداد، امید (۱۳۹۵). تحلیل بیلان آب زیرزمینی مبتنی بر دیدگاه کشاورزی پایدار در دشت اسلام‌آباد. فصلنامه پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۲۵ (۷)، ۱۲۷-۱۱۱.

شاهی دشت، علیرضا و عباس‌نژاد، احمد (۱۳۹۰). ارائه‌ی راهکارهای مدیریتی منابع آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان. فصلنامه زمین‌شناسی

کاربردی، ۷ (۲)، ۱۴۶- ۱۳۱.
طباطبائی، مصطفی و شهیدی، علی (۱۳۹۶). بررسی افزایش بهره‌وری اقتصادی آب با تغییر الگوی کشت در روستای مزرعه نو در اردکان یزد. نشریه پژوهش‌های آب در کشاورزی، ۱(۳۱)، ۱۲۰-۱۲۷.
کریمی، حاجی؛ نادری، فتح‌الله و نیک‌سرشت، لیلا. (۱۳۹۳). مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت مهران در استان ایلام از طریق تعیین حجم و میزان بهره‌وری از آن. فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، ۷(۴)، ۹۸-۱۰۶.
کریمی راد، ایمان؛ ابراهیمی، کیومرث و عراقی‌نژاد، شهاب (۱۳۹۸). ارزیابی پایداری توسعه آب زیرزمینی در سفره چندلایه (مطالعه موردی: آبخوان استان گلستان). نشریهٔ علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۹ (۴)، ۱۴۶- ۱۳۳.
مولوی، حسین؛ لیاقت، عبدالمجید و نظری، بیژن (۱۳۹۵). ارزیابی سیاست‌های اصلاح الگوی کشت و مدیریت کم‌آبیاری با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز ارس). مجله مدیریت آب و آبیاری، ۲ (۶)، ۲۱۷-۲۳۶.
نادریان فر، محمد؛ انصاری، حسین؛ ضیائی، علی نقی و داوری، کامران (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی درحوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف. نشریهٔ علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱ (۳)، ۳۷- ۲۲.

REFERENCES

Ahmadi, Sh., & Sedghamiz, A. (2007). Geostatistical analysis of spatial and temporal variation of groundwater level. Environmental Monitoring and Assessment, 129, 277-294. https://doi.org/10.1007/s10661-006-9361-z.

Ahmadi, M., & Baghbanzade Dezfouli, A. (2012). A Geo-statistical Approach to the change proucedure stady of under-Groundwater table in a GIS framework, case study: Razan-Ghahavand plain, Hamadan province, Iran. Journal of Academic and Applied studies, 11: 56-69.

Ahmadian, M., Barikani, A., & Khalilian, P. (2011). Optimal Sustainable Use of groundwater in Agricultural sector: Case Study Subsector in Qazvin Basin). Journal of Agricultural Economics and Development (Agricultural Sciences and Industries), 2 (25), 262-253. https://doi.org/10.22067/JEAD2.V1390I2.9717. (In Persian).

Akbari, M., Jirga, M., & Madani Saadat, H. (2009). Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer). Journal of Soil and Water Conservation Research, 4)16(, 63-78. (In Persian).

Al Khafaji, M., · Alwan, I., Khalaf, A., Ahmad Bhat., Sh., & Kuriqi, A. (2022). Potential use of groundwater for irrigation purposes in the Middle Euphrates region, Iraq. Sustainable Water Resources Management, 8(7), 157. https://doi.org/10.1007/s40899-022-00749-3.

Anonymous. (2000). Studies of the first stage of Tabriz Plain. Quds Niro Consulting Engineers. Ministry of Power. Volume 2. (In Persian).

Anonymous. (2009). Tabriz plain groundwater studies. First consulting engineers for water resources affairs. Regional Water Company of East Azarbaijan Province. volume 1. (In Persian).

Dey, N.C., Saha, R., Parvez, M., Bula, S.K., Islam, A.S., Paul, J.K., and Hossain, M. (2017). Sustainability of groundwater use for irrigation of dry-season crops in northwest Bangladesh. Groundwater for sustainable Development, 4, 66-77. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.02.001.

Jabbari, P., Ganbarpour, M.R., and Ashban, A.R. (2009). Evaluation of the Groundwater Aquifer Balance Sari-free Plain Neka. Iran's Fifth National conference on science and Engineering Watershed, Gorgan.

Jalili, Kh., & Moradi, H. R., & Bozorg Hadad, O. (2016). Analysis of groundwater balance based on sustainability of agriculture approach in Islamabad plain. Journal of Irrigation and Water Engineering, 7 (1), 110- 127. (In Persian).

Karimi, H., Naderi, F., & Nik Sarasht, L. (2013Managment of grand water resources in plain Mehran by appointment volume and amount using of therfrom. Urban Ecology Research Quarterly, 7) 4(, 106-98. https://doi.org/20.1001.1.25383930.1392.4.7.7.4. (In Persian).

Karimirad, I., Ebrahimi, K., & Araghinejad, Sh. (2019). Evaluation of Sustainability of Groundwater development in a Multilayer Aquifer (case study: Aquifer of Golestan province). Journal of Irrigation and Water Engineering, 9 (4), 133- 146. https://doi.org/10.22125/IWE.2019.90257. (In Persian).

Lopez, J. R., Winter, J. M., Elliott, J., Ruane, A.C., Porter, Ch., Hoogenboom, G., Anderson, M., & Hain, CH. (2022). Sustainable Use of Groundwater May Dramatically Reduce Irrigated Production of Maize, Soybean, and Wheat. Earth's Future, 10 (1). https://doi.org/10.1029/2021EF002018.

Molvi, H., Liaqat, A. A., & Nazari, B. (2017 Assessment of policies of changes in cropping pattern and deficit irrigation management using system dynamics modeling (Case study: Aras basin). Journal of Water and

Irrigation Management, 2 (6), 217-236. https://doi.org/10.22059/JWIM.2017.63781. (In Persian).

Naderian Far, M., Ansari, H., Ziaie, A.N., & davary, K. (2011). Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour. Journal of Irrigation and Water Engineering, 1 (3), 22-37. (In Persian).

Parhishkari, A., Sabohi, M., Ahmadpour, M., & Badie Barzin, H. (2016). Assessment of the Effects of Deficit Irrigation and Decrease in Water Allocation on Agricultural Sector Production in Qazvin Province. Journal of water research in agriculture, 2 (30), 174-184. https://doi.org/10.22092/jwra.2016.106642. (In Persian).

Resources in Kerman province. Applied Geology Quarterly, 7 (2), 131-146. (In Persian).

Shahidasht, A., & Abbasnejad, A. (2011). Present of Management Solution for Groundwater.

Tabatabai, M., & Shahidi, A. (2017). Increasing Economic Productivity of Water by Changing the Cropping Pattern in Mazreano Village in Ardakan-Yazd. Journal of water research in agriculture, 1(31), 120-127. https://doi.org/10.22092/jwra.2017.109912. (In Persian).Wada, Y., VanBeek, L.P.H., & Bierkens, M.F.P. (2012). Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A globlal assessmen-t. Water Resources Research, 48 (6), 1-18. https://doi.org/10.1029/2011WR010562.