A Modeling the Effects of Inter-basin Water Transfer on the Surface and Volume of the Aquifer of the Origin Catchment by Using WEAP Software
(Case Study: Effect of Water transfer of Behesht Abad River on Surface and Volume of Shalamar Aquifer)

Shahin Salimpour Naghani[1], Dr. Seyed Arman Hashemi Monfared[2*], Dr. Mehdi AzhdariMghadam[3]

1-Ph.D Student of Water Resources Management of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan
2-Associate Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan
3-Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan

Salimpour Naghani, Sh & Hashemi Monfared, S A & AzhdariMghadam, M. (2021). [A Modeling the Effects of Inter-basin Water Transfer on the Surface and Volume of the Aquifer of the Origin Catchment by Using WEAP Software (Case Study: Effect of Water transfer of Behesht Abad River on Surface and Volume of Shalamar Aquifer)]. *Geography and Development*, 19 (62), 183-208, http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6027
doi: http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6027

Received:27/11/2019
Accepted :24/08/2020

Keywords:
Inter-basin water transfer, Groundwater, Shalamzar Aquifer, Behesht Abad Basin, WEAP.

ABSTRACT

Inter-basin water transfer is the transfer of water from one basin to another. The basin which water is transferred to that is called the destination basin and the basin which water is transferred from that is called the origin basin. Inter-basin water transfer despite the supply of water in the destination basin, could possibly be the cause of changes in the origin and destination basins that need to be evaluated. The purpose of this study is to predict the possible effects of Behesht Abad River water transfer to the central plateau of Iran on the surface and volume of one of the aquifers in the origin basin called Shalamzar and also to provide different strategies during 30 years. For this purpose, WEAP software was used. According to the results, inter-basin water transfer can have a negative impact on the surface and volume of aquifers in the origin basin and cause a decrease in groundwater level. In order to prevent the reduction of the volume of aquifer, the maximum water transfer in normal water conditions and drought was estimated 450 and 160 MCM per year, respectively. Also, the maximum amount of transferable water according to the environmental needs in normal water conditions, was estimated about 350 MCM per year. The results of the model indicate that the rate of decrease in the volume of study aquifer in the conditions of water transfer and in case of implementation of water resources development projects during 30 years will be about 5 times.

Copyright©2021, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1- Introduction

Iran has a diverse climate. The country's water resources are very scattered. The annual rainfall distribution in the country is variable from the east and center to the north. Most of the rivers are flowing in the northern and western regions of the country. These factors, along with other factors such as population growth and industrial development, and the expansion of urban areas, have led to the consideration of inter-basin water transfer to supply the water needed by low-water areas from high-water basins of the country. Despite the water supply in low-water areas, inter-basinwatertransfer likely contains consequences on the origin and destination areas that must be

***Corresponding Author:**
Dr. Seyed Arman Hashemi Monfared
Address: Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan &Baluchestan
Tel: +98(9125397133)
E-mail: hashemi@eng.usb.ac.ir

assessable to achieve sustainable development and environmental conservation. The purpose of this study is to predict the impacts of water transfer from Behesht Abad River to Zayandehrood and Central Plateau of Iran on one of the aquifers of the origin basin called Shalamzar. to define strategies to reduce or eliminate possible damaging effects in Normal hydrology condition, drought and providing the environmental needs of the river during the next 30 years after the operation of the project.

2-Methods and Material

The study area is locating in Behesht Abad basin with an area of 430 km^2 in Chaharmahal and Bakhtiari province. 141 km^2 of the region in the field, 289 km^2 are the highlands, and 93.49 km^2 of the plain is the aquifer. Shalamzar River is A tributary of Behesht Abad River is one of the main headwaters of Karoon River. The storage capacity of the Shalamzar aquifer is about 160 MCM, which is in equilibrium in the base year (2015). The purpose of the Beheshtabad River water transfer project is to transfer an average of 746 MCM per year to supply the water needed mainly by the drinking and industrial sectors in the central plateau of Iran. WEAP software used to study the consequences of water transfer on the Shalamzar's aquifer, and different scenarios defined to evaluate the effects of water transfer in the next 30 years. In general, WEAP can be used to analyze a wide range of water resources and environmental issues. The food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO) rainfall-runoff method is used for modeling the processes related to the study area. Using crop coefficients (Kc), this method determines evapotranspiration for plants that are irrigated or fed by rain. The remaining rainfall, which does not waste evapotranspiration, is transferred to the river as runoff and part of it to groundwater.

3-Results and Discussion

After modeling the processes related to the study basin in WEAP by considering the water transfer from it and ten scenarios defined, and modeling performed for 30 years. In Scenario 1, the study aquifer volume will be reduced to approximately 68.5 MCM (57.4%) in 2045 due to water transfer, and the rate of groundwater level drop will be 25 meters. Under Scenario 2, the aquifer volume will decrease from 160.7 MCM in 2015 to about 30 MCM in 2045, and the groundwater level will drop to 46.93 meters. In scenario 3, by considering water transfer from the Behesht Abad River with the predicted volume (MCM746) and drought conditions in the basin, the study aquifer will dry up in 2027. The annual volume of aquifer reduction will be about 13 MCM. Under Scenario 4, the downstream environmental water requirement increased from 10% to 30% and then to 60% of the base flow. Considering the Environmental Water Requirement of 30% of the river flow, in the year of 2045 the storage eduction of 149.5 MCM and the water level drop of 48 meters, and in the case of 60% of the river's baseflow, the aquifer will be almost dry after 30 years. In Scenario 5, with the increase of agricultural water efficiency from 30 to 65%, the amount of aquifer volume decreasing is estimated at 83.83 MCM, which shows a decrease of 46.87 MCM compared to Scenario 2 (30% efficiency). The water demand of the origin basin from the groundwater level in the 30-year is 1258.84 million cubic meters, which in the reference scenario is 2522.78 MCM. In Scenario 6, the volume of artificial feeding of the study aquifer is estimated at 11 MCM per year to prevent its volume drawdown. Scenario 7 contains normal hydrological conditions with the minimum environmental water requirement. The maximum transferable water is estimated at 450 MCM by this Scenario. The aquifer storage will be in equilibrium over 30 years, and the environmental water requirement and water transfer will be supply By transferring this amount. The maximum amount of transferable water is estimated at 400 and 355 MCM per year, respectively, by increasing the environmental water requirement up to 30 and 60% of the river baseflow Under scenario 8. Under Scenario 9 and drought conditions in the study area, about 160 MCM of water can be transferred to the destination basin annually. By scenario 10 (gradual increase in the amount of transferable water), the

drawdown in level up to 2021. From 2022 onwards, the volume reduction trend has started, which is 65.4 MCM at the end of the 30-year.

4-Conclusion

The study results indicate the inter-basin water transfer causes the level and volume drawdown of the origin basin aquifer. In general, the rate of reduction of study aquifer volume is estimated approximately five times (81.3%) during 30 years by water transfer from the origin basin and the implementation of water resources development plans. Under some scenarios, there is a lack of water supply in various sectors, including water transfer. 50% of the water demand decreases from the groundwater of the study area By increasing the irrigated water efficiency from 30 to 65 percent. In this study, the maximum amount of transferable water under normal and drought hydrological conditions is estimated at 450 and MCM 160, respectively. The maximum amount of water transfer is estimated at approximately 355 MCM in normal hydrological conditions By considering the increase of environmental water requirement up to 30 and 60% of the river baseflow. The inter-basin water transfer from the origin basin should perform by considering its long-term hydrological consequences on its aquifers Due to the relationship and interaction of surface water and groundwater.

Keywords: Inter-basinWaterTransfer, Groundwater, Behesht Abad Basin, Shalamzar Aquifer, WEAP.

5-Refrences

- Abrishamchi, A., & Tajrishi, M. (2005). Interbasin water transfer in Iran. Paper presented at the Water conservation, reuse, and recycling: proceeding of an Iranian American workshop. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=Erohqf3RuzkC&oi=fnd&pg=PA252&ots=SLDLMEScaS&sig=E_xti5XP-TVj-STtcsMRQ9zPgvA#v=onepage&q&f=false

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109. http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm

Public Agreements: A Decision Approach to Quantity and Price. Water resources management, 18(1),75-88. https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000015390.39862.b9

- Bonacci, O., & Andrić, I. (2010). Impact of an inter-basin water transfer and reservoir operation on a karst open streamflow hydrological regime: an example from the Dinaric karst (Croatia). Hydrological processes, 24(26), 3852-3863. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.7817

- Davies, B. R., Thoms, M., & Meador, M. (1992). An assessment of the ecological impacts of inter-basin water transfers, and their threats to river basin integrity and conservation. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2(4), 325-349. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aqc.3270020404

- De Carvalho, R. C., & Magrini, A. (2006). Conflicts over water resource management in Brazil: a case study of inter-basin transfers. Water resources management, 20(2), 193-213. https://doi.org/10.1007/s11269-006-7377-3

- Feng, S., Li, L. X., Duan, Z. G., & Zhang, J. L. (2007). Assessing the impacts of South-to-North Water Transfer Project with decision support systems. Decision Support Systems, 42(4), 1989-2003. doi:https://doi.org/10.1016/j.dss.2004.11.004

- Gupta, J., & van der Zaag, P. (2008). Interbasin water transfers and integrated water resources management: Where engineering, science and politics interlock. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 33(1-2), 28-40. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706507000666

- Karamouz, M., Mojahedi, S. A., & Ahmadi, A. (2010). Interbasin Water Transfer: Economic Water Quality-Based Model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 136(2), 90-98. https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0000140

- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? Journal of Environmental Studies and Sciences, 4(4), 315-328. https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z

- Mehta, V. K., Aslam, O., Dale, L., Miller, N., & Purkey, D. R. (2013). Scenario-based water resources planning for utilities in the Lake Victoria region. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 61, 22-31. https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.02.007
- Rogers, S., Chen, D., Jiang, H., Rutherfurd, I., Wang, M., Webber, M., . . . Zhang, W. (2020). An integrated assessment of China's South-North Water Transfer Project. Geographical Research, 58(1), 49-63. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1745-5871.12361
- Shao, X., Wang, H., & Wang, Z. (2003). Interbasin transfer projects and their implications: A China case study. International Journal of River Basin Management, 1(1), 5-14. https://doi.org/10.1080/15715124.2003.9635187
- Xu, W., & Chen, C. (2020). Optimization of Operation Strategies for an Interbasin Water Diversion System Using an Aggregation Model and Improved NSGA-II Algorithm. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 146(5), 04020006. https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0001462
- Yang, H., & Zehnder, A. J. B. (2005). The South-North Water Transfer Project in China. Water International, 30(3), 339-349. https://doi.org/10.1080/02508060508691874
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005).WEAP21-A Demand-, Priority-,and Preference-Driven Water Planning Model. Water International, 30(4), 487-500. https://doi.org/10.1080/02508060508691893
- Yevjevich,V. (2001). Water Diversions and Interbasin Transfers. Water International, 26(3), 342-348. https://doi.org/10.1080/02508060108686926
- Energy, I. M. o. (2014). Studied of P providing Balance Sheets of Water Sources of Studying Area of the Aquifer Basin of Karoon, Balance Sheets of the Farsan Studying Area. In I. M. o. Energy (Ed.): Iran Ministry of Energy.(In Persian).
- The center of the water sources researches in Chahar Mahal and Bakhtiari Province (2011). (In Persian) https:/sku.ac.ir/Page/54/
- Energy, I. M. o. (2008). First Level Studies of Water Transfer Plans to Central Plateau of Iran, Reports of transferring water tunnel In: Iran Ministry of Energy. (In Persian)

مدل‌سازی اثرات انتقال آب بین‌حوضه‌ای بر سطح و حجم آبخوان حوضهٔ مبدأ انتقال با استفاده از نرم‌افزار WEAP (مطالعهٔ موردی: اثر انتقال آب رودخانهٔ بهشت‌آباد بر سطح و حجم آبخوان شلمزار)

شاهین سلیم‌پور ناغانی[۱]، دکتر سید آرمان هاشمی‌منفرد[۲*]، دکتر مهدی اژدری‌مقدّم[۳]

جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۶۲، بهار ۱۴۰۰
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۰۶
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۳
صفحات: ۲۰۸-۱۸۳

واژه‌های کلیدی:
انتقـال بین‌حوضه‌ای آب، آب زیرزمینـی، حوضهٔ بهشت‌آباد، آبخوان شلمزار، WEAP.

چکیده

انتقال بین‌حوضه‌ای آب، انتقال آب از حوضه‌ای به حوضهٔ دیگر است. حوضه‌ای که به آن آب منتقل می‌شود، حوضهٔ مقصد و حوضه‌ای که آب از آن منتقل می‌شود، حوضهٔ مبدأ نامیده می‌شود. انتقال بین‌حوضه‌ای آب با وجود تأمین آب در حوضهٔ مقصد، احتمالاً می‌تواند عامل تغییراتی در حوضه‌های مبدأ و مقصد باشد که باید مورد ارزیابی قرار گیرد. هدف از انجام این تحقیق، پیش‌بینی اثرات احتمالی انتقال آب رودخانهٔ بهشت‌آباد به فلات مرکزی ایران بر سطح و حجم یکی از آبخوان‌های منطقهٔ مبدأ انتقال به‌نام شلمزار و نیز ارائهٔ راهبردهای مختلف در مدت ۳۰ سال پس از اجرای طرح است؛ برای این منظور از نرم‌افزار WEAP استفاده شد. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، انتقال آب بین‌حوضه‌ای می‌تواند بر سطح و حجم آبخوان در منطقهٔ مبدأ انتقال تأثیر منفی داشته باشد و موجب اُفت سطح آب زیرزمینی شود. در اثر انتقال آب و با درنظرگرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع آب در حوضهٔ مبدأ، پس از گذشت ۳۰ سال حجم آبخوان از ۱۶۰/۷ میلیون مترمکعب به حدود ۳۰ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. به‌منظور جلوگیری از کاهش حجم آبخوان، حداکثر آب قابل‌انتقال از رودخانه به حوضهٔ مقصد در شرایط آبی نرمال و خشکسالی به‌ترتیب ۴۵۰ و ۱۶۰ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. همچنین میزان حداکثر آب قابل‌انتقال با توجه به نیاز زیست‌محیطی رودخانه و در شرایط آبی نرمال، حدود ۳۵۰ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. نتایج مدل حاکی از آن است که میزان کاهش حجم آبخوان مطالعاتی در شرایط انتقال آب از حوضه و در صورت اجرای طرح‌های توسعهٔ منابع آب در مدت ۳۰ سال، حدود ۵ برابر خواهدبود.

مقدمه

کشور ایران از آب‌وهوای متنوعی برخوردار است. میزان بارش سالانه، حدود ۴۱۳ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که البته میزان و پراکندگی آن در سطح کشور بسیار متفاوت است. تغییرات بارش از کمتر از ۵۰ میلی‌متر در مرکز ایران تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در ساحل دریای خزر متغیر است. متوسط بارندگی در سطح کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال است که کمتر از یک‌سوم میانگین جهانی است. بیش از ٪۶۵ کشور دارای اقلیم خشک، ٪۲۰ نیمه‌خشک و بقیهٔ مناطق دارای آب‌وهوای مرطوب یا نیمه‌مرطوب است؛ بنابراین منابع آب موجود کشور، دارای پراکندگی زیادی است (*Madani, 2014:316*). اغلب رودخانه‌های پرآب در غرب و شمال کشور واقع شده و مناطق مرکزی و شرق کشور همواره با مسئلهٔ کمبود آب مواجه بوده‌اند. این عوامل امکان انتقال آب بین‌حوضه‌ای را در کشور فراهم می‌آورد. این طرح‌ها ممکن‌است دارای اثرات متفاوت اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی باشند (*Abrishamchi & Tajrishi, 2005: 260; Karamouz, Mojahedi, & Ahmadi, 2010: 90*)

۱-دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران Shahin.Salimpour@pgs.usb.ac.ir
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران (نویسنده مسئول) hashemi@eng.usb.ac.ir
۳- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران mazhdary@eng.usb.ac.ir

و ممکن است تعادل کیفیت و کمّیت آب را در منطقهٔ مبدأ مختل کرده (*Wei, Yang, Abbaspour, Mousavi, & Gnauck, 2010:2*) و حتی باعث ایجاد اختلاف بین مناطق مبدأ و مقصد شود (*Yang & Zehnder, 2005:342*)؛ ازاین‌رو برای دستیابی به یک توسعهٔ پایدار، باید این طرح‌ها بررسی و ارزیابی شوند (*Abrishamchi & Tajrishi, 2005:269*). چنین پروژه‌هایی اغلب در مرحلهٔ برنامه‌ریزی از لحاظ فنی ارزیابی می‌شوند،اما معمولاً ازنظر تأثیرات زیست‌محیطی ارزیابی آن‌ها کم یا ضعیف است (*Davies, Thoms, & Meador, 1992:326*).

انتقال آب بین‌حوضه‌ای عبارت است از برداشت، انحراف یا پمپاژ آب سطحی و زیرزمینی از یک حوضه و تخلیهٔ همه یا بخشی از آن در حوضه‌ای دیگر. پیشینهٔ تاریخی طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای در جهان زیاد نبوده و تقریباً در یک قرن اخیر آغاز شده‌است. یویچ[1] (۲۰۰۱) مشکلات ناشی از انتقال آب بین حوضه‌ای بین کشورهای مختلف را بررسی کرده و مشخصه‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی را از پارامترهای بسیار مؤثر در این مبحث می‌داند (*Yevjevich, 2001:342-348*).

شائو[2] و وانگ[3] (۲۰۰۳) امکان انتقال آب بین حوضه‌های آبریز رودخانه‌های زرد و یانگ‌ته‌سه[4] را در راستای طرح انتقال آب از شمال به جنوب چین، بررسی کرده‌اند. آن‌ها اثرات‌این‌طرح را بر قوانین آب،روندسیاست‌گذاری، روش‌های موجود مدیریت حوضه‌های آبریز و همچنین محیط-زیست آن‌ها، مورد ارزیابی قرار داده‌اند (*Shao,Wang & Wang, 2003:5-14*).

بالسترو[5] (۲۰۰۴) مسائل اقتصادی ناشی از میزان آب قابل‌انتقال و نیز قیمت عادلانهٔ آن را بررسی کرد و با درنظرگرفتن نیازهای گیرنده و تأمین‌کنندهٔ آب، رویکرد تصمیم‌گیری برای تعیین حجم و قیمت ارائه داد (*Ballestero, 2004: 75-88*).

کاروالو[6] و ماگرینی[7] (۲۰۰۶) انتقال بین‌حوضه‌ای را به‌عنوان تضادی در مدیریت منابع آب در برزیل معرفی کرده و نتیجه‌گرفتند که این‌روشِ تأمین آب، دارای عدم اطمینان سیاسی، اداری و قانونی است (*De Carvalho & Magrini, 2006: 193-213*).

فنگ[8] و همکاران (۲۰۰۷) برای بررسی اثرات اقتصادی- اجتماعی طرح انتقال آب جنوب به شمال چین، یک سیستم پشتیبانی در تصمیم‌گیری تهیه و ارائه کرده‌اند که آسیب‌پذیری منابع آب موجود را ارزیابی می‌کند (*Feng, Li, Duan, & Zhang, 2007: 1983-2003*).

گوپتا[9] و واندر زاگ[10] (۲۰۰۸) انتقال آب بین‌حوضه‌ای را از دیدگاه‌های مختلف علمی مورد ارزیابی قرار داده و تلاش کردند تا به این سؤال پاسخ دهند که آیا چنین نقل و انتقالاتی با مفهوم مدیریت یکپارچهٔ منابع آب سازگار است یا خیر (*Gupta & van der Zaag, 2008:28-40*).

بوناچی[11] وآندریچ[12] (۲۰۱۰)تأثیر انتقال‌آب‌بین‌حوضه‌ای‌و توسعهٔ مخزن سد را بر رژیم هیدرولوژیکی جریان رودخانه بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تأثیرات ناشی از انتقال آب باعث ایجاد تغییرات ناگهانی در رژیم‌های هیدرولوژیکی بخش‌های پایین‌دست رودخانه‌های مورد مطالعه می‌شوند (*Bonacci & Andrić, 2010: 3852-3863*).

مهتا[13] و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل WEAP[14] به بررسی تأمین و تقاضای آب مناطق شهری

1-Yevjevich
2-Shao
3-Wang
4-Yangtze
5-Ballestero

6-Carvalho
7-Magrini
8-Feng
9-Gupta
10-Van der Zaag
11-Bonacci
12-Andrić
13-Mehta
14-Water Evaluation And Planning System

درحومهٔ دریاچهٔ ویکتوریا پرداختند. راهبردهای تعریف شده تا سال ۲۰۵۰ را پوشش داده‌اند که در این راهبردها تأمین و تقاضای آب، درآمدها و هزینه‌ها مورد ارزیابی قرارگرفته‌اند (*Mehta, Aslam, Dale, Miller, & Purkey, 2013: 22-31*).

ژو[1] و چن[2] (۲۰۲۰) برای به‌حداکثررساندن مزایای مزایای استفاده از سیستم انتقال آب بین‌حوضه‌ای، یک مدل تجمع ذرات و الگوریتم NSGA-II بهبودیافته برای ایجاد استراتژی‌های عملیاتی برای انتقال آب و تخصیص آن طراحی کردند. آن‌ها انتقال آب به شهر شنژن[3] چین را مورد مطالعه قرار دادند و راهبردهای مختلف تأمین آب را با الگوریتم بهبودیافته بهینه کردند (*Xu & Chen, 2020:1-10*).

راجرز[4] و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی باعنوان ارزیابی یکپارچهٔ پروژهٔ انتقال آب جنوب به شمال چین به ارزیابی تأثیرات مختلف آن، ازجمله مدیریت آب، مسائل حقوقی آن، کیفیت آب، تأثیر آن بر جمعیت و افزایش‌شهرنشینی، مسائل زیست‌محیطی آن پرداختند. نتایج نشان داد که فرصت‌ها و مسئولیت‌های مشخص شده در پروژهٔ نامتوازن و نابرابر هستند. با اینکه این طرح ممکن است استفادهٔ بیش ازحد از آب‌های زیرزمینی را کاهش دهد، اما از لحاظ مصرف انرژی بسیار پرهزینه است و پایداری طرح را زیر سؤال می‌برد (*Rogers et al, 2020:1-15*).

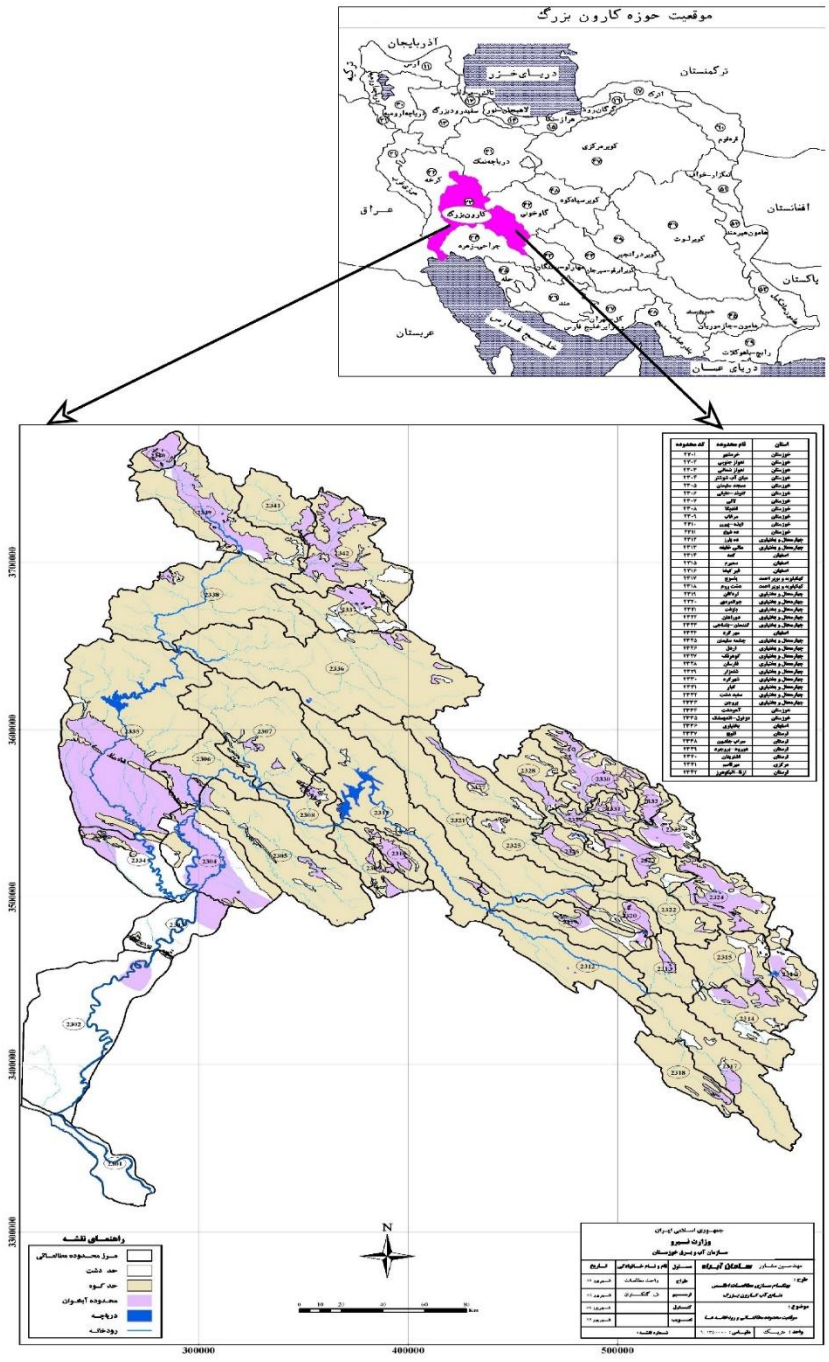
استان چهارمحال و بختیاری با بارش نسبتاً زیاد سرچشمهٔ اصلی دو رودخانهٔ کارون و زاینده‌رود است. به‌دلیل ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی استان، درصد زیادی از بارش به‌صورت رواناب از طریق سرشاخه‌های زاینده‌رود، دز و کارون از استان خارج‌شده و بیشتر مصارف آب به‌ویژه در زیرحوضهٔ بهشت‌آباد وابسته به منابع آب زیرزمینی است. این موضوع اهمیت مدیریت و نگهداری از منابع آب زیرزمینی این منطقه را چند برابر می‌کند. اهداف مطالعهٔ حاضر، پیش‌بینی اثرات انتقال آب رودخانهٔ بهشت‌آباد به حوضهٔ زاینده رود و فلات مرکزی ایران برروی یکی از آبخوان‌های حوضهٔ مبدأ انتقال به‌نام شلمزار، تعریف راهبردهایی درجهت کاهش یا رفع اثرات منفی احتمالی و نهایتاً برآورد میزان حداکثر آب قابل‌انتقال از حوضه با درنظرگرفتن شرایط هیدرولوژیکی نرمال، خشکسالی و نیز تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه در طول ۳۰ سال آتی پس از بهره‌برداری از طرح است. برای این‌منظور از نرم‌افزار WEAP استفاده و با استفاده از آن راهبردهای مختلف به‌منظور ارزیابی اثرات انتقال آب در مدت ۳۰ سال آینده تعریف شد.

منطقهٔ مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقهٔ عرض‌شمالی و ۴۹ و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقهٔ طول‌شرقی در جنوب‌غربی کشور قرار گرفته‌است. در تقسیم‌بندی حوضه‌ای، کشور به ۶ حوضهٔ اصلی تقسیم شده که ازجملهٔ آن‌ها می‌توان به حوضهٔ آبریز خلیج‌فارس-دریای عمان و حوضهٔ آبریز فلات مرکزی اشاره کرد. این استان در بخشی از حوضهٔ آبریز کارون بزرگ و حوضهٔ گاوخونی واقع است (شکل ۱)؛ براین‌اساس می‌توان در استان، ۹ واحد هیدرولوژیک اصلی انتخاب کرد که در شکل ۲ ارائه شده‌است. همان‌گونه که در شکل‌های ۱و۲ ملاحظه می‌شود، حوضهٔشلمزار زیرحوضهٔ بهشت‌آباد با وسعت ۴۳۰ کیلومترمربع و در قسمت شرق حوضه واقع شده‌است (*کد ۲۳۲۹ درشکل ۱*). ۱۴۱ کیلومترمربع از وسعت محدوده را دشت، ۲۸۹ کیلومتر مربع را ارتفاعات و ۹۳/۴۹ کیلومترمربع از وسعت دشت را نیز آبخوان تشکیل می‌دهد.

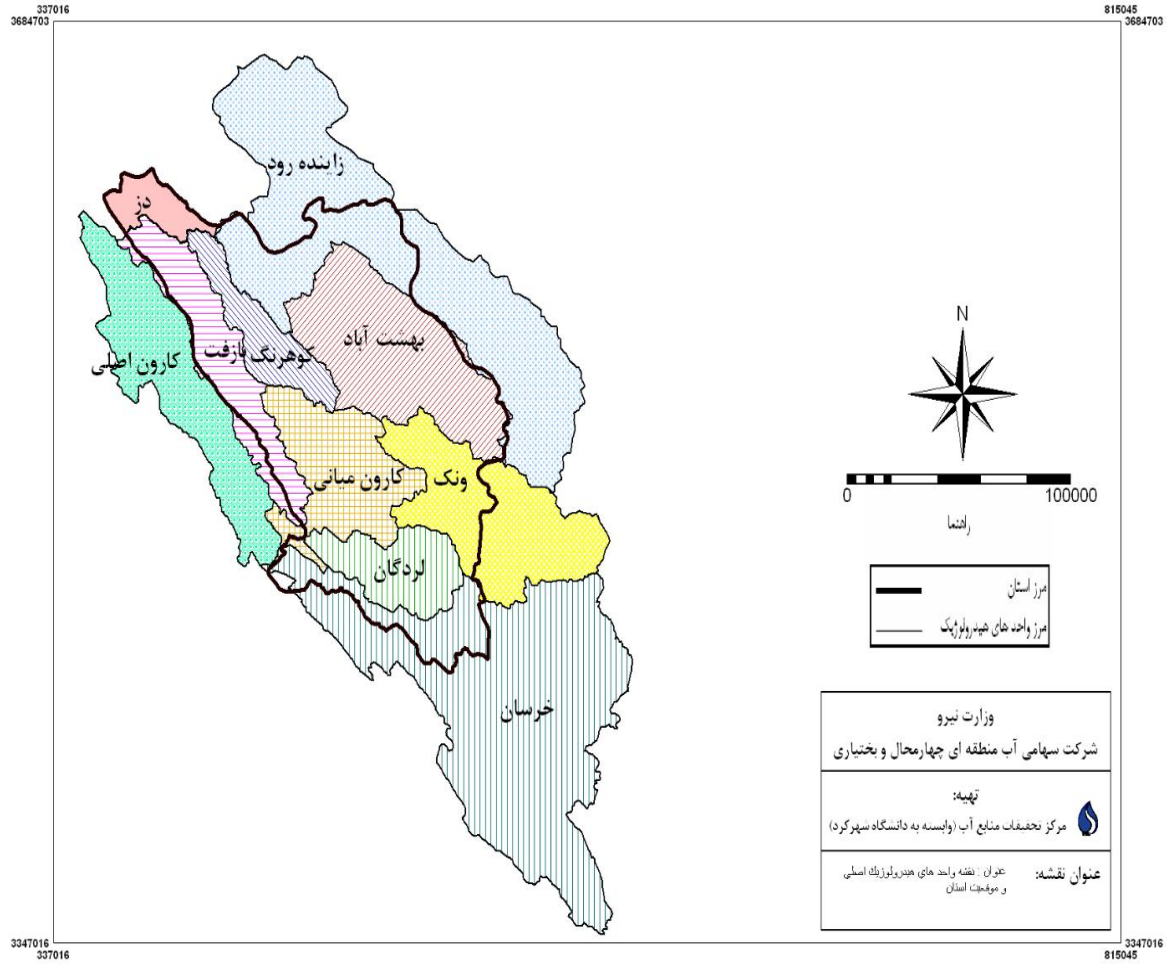
1-Xu
2-Chen
3-Shenzhen
4-Rogers

رودخانهٔ شلمزار شاخه‌ای از رودخانهٔ بهشت‌آباد یکی از شاخه‌های اصلی رودخانهٔ کارون است. این رودخانه دارای جریانی دائمی بوده و نقش مهمی در تأمین آب اراضی بخش شلمزار دارد *(شرکت مدیریت منابع آب ایران، بیلان آب محدودهٔ شلمزار، ۱۳۹۰)*.



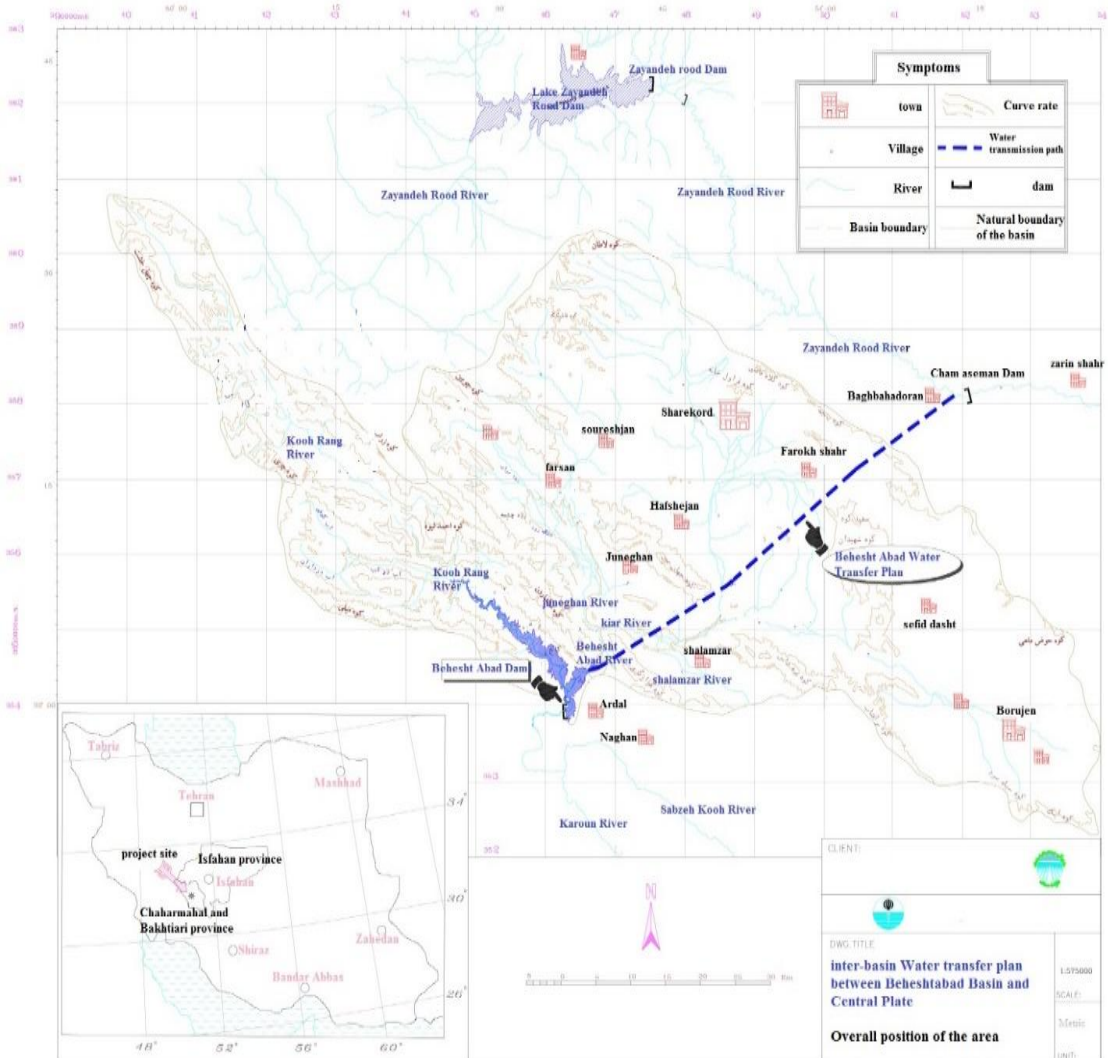
شکل ۱: حوضهٔ کارون بزرگ و موقعیت محدودهٔ مطالعاتی شلمزار با کد ۲۳۲۹

مأخذ: شرکت مدیریت منابع آب ایران، بیلان آب محدودهٔ شلمزار، ۱۳۹۰



شکل ۲: واحدهای اصلی هیدرولوژیک استان چهارمحال و بختیاری

مآخذ: مرکز تحقیقات منابع آب استان وابسته به دانشگاه شهرکرد، ۱۳۹۰



شکل ۳: موقعیت جغرافیایی طرح انتقال آب بین‌حوضه‌ای بهشت‌آباد از حوضهٔ مبدأ به حوضهٔ مقصد

مأخذ: وزارت نیرو، مطالعات مرحلهٔ اول طرح انتقال آب، ۱۳۸۷

هدف از طرح انتقال آب رودخانهٔ بهشت‌آباد، به‌صورت متوسط انتقال حدود ۷۴۶ میلیون مترمکعب آب در سال به‌منظور تأمین آب موردنیاز عمدتاً بخش‌های شرب و صنعت در فلات مرکزی ایران است. شکل ۳ موقعیت طرح انتقال آب را نشان می‌دهد *(وزارت نیرو، مطالعات مرحلهٔ اول طرح انتقال آب، ۱۳۸۷)*.

روش انجام تحقیق

در طول دههٔ اخیر، اتخاذ رویکردی یکپارچه دربارهٔ توسعهٔ منابع آب و درنظرگرفتن طرح‌های تأمین آب در چهارچوب مسائل مربوط به‌مدیریت مصرف، کیفیت آب و حفظ اکوسیستم‌ها ضروری به نظر می‌رسد. نرم‌افزار WEAP ابزاری برای برنامه‌ریزی یکپارچهٔ منابع آب است. مزیت اصلی این نرم‌افزار، رویکرد یکپارچهٔ آن در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن درراستای سیاست‌ها است. WEAP در معادلات خود، مسائل مربوط به نیاز (الگوهای مصرف آب، هزینه‌ها و تخصیص) را همگام با مسائل مربوط به منابع (جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، مخازن و انتقال‌های آب) لحاظ کرده

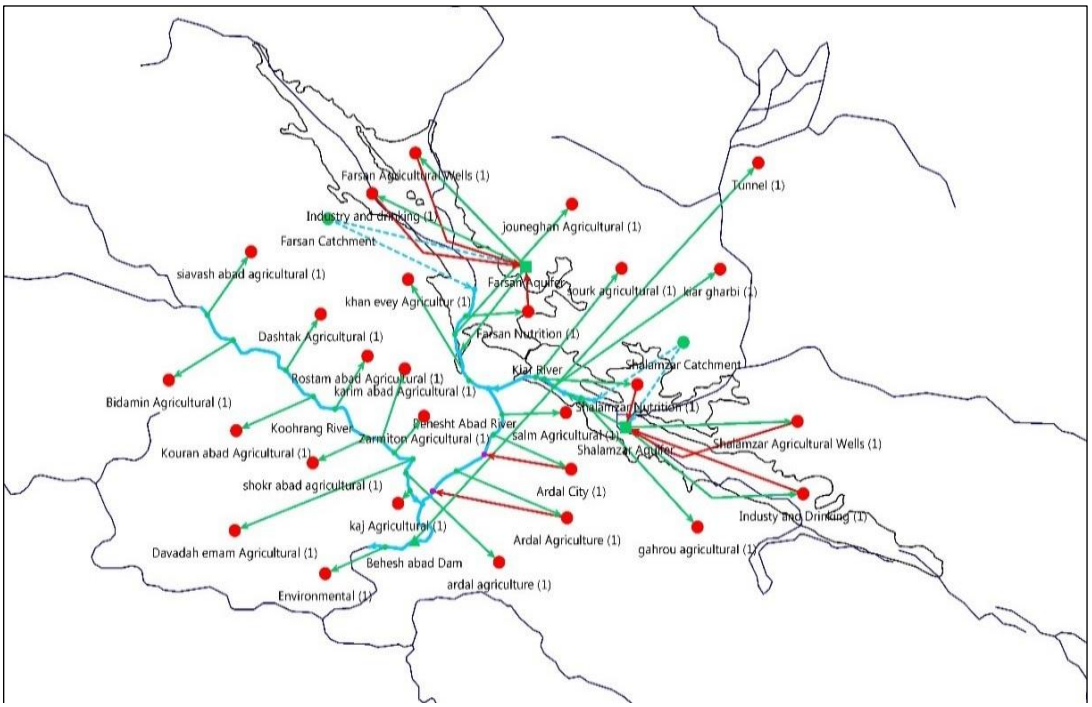
و براساس معادلات پایهٔ بیلان آبی عمل‌می‌کند.از WEAP می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل، سیستم‌های رودخانه‌ای مرزی و پیچیده بهره برد و به‌طور کلی کاربردهای آن طیف وسیعی از مسائل مدیریت منابع آب و زیست‌محیطی را شامل می‌شود *(Yates et al., 2005: 488)*.

در تحقیق حاضر که مطالعهٔ موردی و زیرمجموعهٔ روش تحقیق توصیفی است، با استفاده از نرم‌افزار WEAP حوضهٔ مطالعاتی شلمزار و انتقال آب از رودخانهٔ بهشت‌آباد برای ۳۰ سال آینده (از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۴۵ میلادی) مدل‌سازی شد و اثرات احتمالی انتقال آب بر حجم آبخوان مطالعاتی در این افق زمانی پیش‌بینی شد. برای این منظور فرض شد که انتقال آب از سال ۲۰۱۵ که سال پایهٔ مدل‌سازی است، صورت می‌پذیرد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل: میزان حجم آب برداشت‌های گوناگون و تأمین نیازهای مختلف از محل آب‌های زیرزمینی و سطحی به‌صورت سالانه شامل: بخش کشاورزی، صنعت، شرب، نرخ رشد جمعیت منطقه، داده‌های مربوط به آبخوان مورد مطالعه شامل: حجم آن (جدول شمارهٔ ۲)، میزان بارش و تبخیر سالیانهٔ منطقه (جداول شمارهٔ ۱ و ۳) و نیز حجم‌آب پیش‌بینی‌شده در مطالعات اولیهٔ طرح درجهت انتقال از حوضه - یعنی به‌طور متوسط ۷۴۶ میلیون مترمکعب در سال- هستند. با استفاده از داده‌های فوق که در جداول شمارهٔ ۱، ۲ و ۳ ارائه شده‌است و نیز معادلات بیلان آب، حوضهٔ شلمزار با استفاده از روش بارش- رواناب سازمان‌کشاورزی و غذا ملل متحد (FAO[1]) در WEAP مدل‌سازی شد.

در ادامه با فرض اینکه بهره‌برداری از طرح انتقال آب از سال ۲۰۱۵ آغاز و به‌مدت ۳۰ سال - یعنی تا سال ۲۰۴۵ میلادی- ادامه یابد، با تعریف راهبردهای گوناگون برای منطقهٔ مبدأ انتقال به پیش‌بینی اثرات انتقال آب بین‌حوضه‌ای بر حجم آبخوان شلمزار در مدت ۳۰ سال پرداخته شد. در این تحقیق سال ۲۰۱۵ به‌عنوان شرایط موجود به مدل معرفی و ۱۰ راهبرد نیز تعریف شد. هدف از تعریف و مدل‌سازی این راهبردها، برآورد حجم آب قابل‌انتقال از حوضهٔ مبدأ به حوضهٔ مقصد، تعیین اثرات این انتقال برروی آبخوان منطقهٔ مورد مطالعه و همچنین کاهش اثرات مخرب احتمالی انتقال آب از حوضهٔ مورد مطالعه بود. این راهبردها با توجه به‌شرایط هیدرولوژیکی حوضه، تأمین یا عدم‌تأمین نیازها آبی، ازجمله نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانه، رشد جمعیت، افزایش سطح زیرکشت و نیز رشد صنعت در حوضهٔ مبدأ در طول ۳۰ سال آینده تعریف و مدل‌سازی شدند.

در شکل ۴ شماتیک مدل‌سازی حوضهٔ مورد مطالعه در WEAP شامل: نقاط نیاز، گره‌های برداشت آب شامل: آب سطحی و زیرزمینی، انتقال آب از حوضهٔ مبدأ، آب برگشتی از مصارف شرب، صنعت و کشاورزی به آب‌های سطحی و زیرزمینی، نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانه و نیز مخزن نشان داده شده‌است. درواقع شماتیک در مدل WEAP از ابزارهای مبتنی بر GIS تشکیل شده‌است و فایل‌های وکتور یا رستر GIS را می‌توان به لایه‌های پیش‌زمینه اضافه کرد *(Yates et al., 2005:489)*.

1-Food and Agriculture Organization of the united nations



شکل ۴: شماتیک و اجزای مدل‌سازی منطقهٔ مورد مطالعه در نرم‌افزار WEAP شامل موقعیت رودخانهٔ بهشت‌آباد، گره‌های نیاز و برداشت آب، انتقال آب، آب برگشتی و نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

روش مدل‌سازی حوضه

برای مدل‌سازی فرایندهای مربوط به حوضهٔ مورد مطالعه از روش بارش- رواناب مربوط به سازمان کشاورزی و غذا (FAO) در WEAP استفاده شد. این روش با به‌کاربردن ضرایب گیاهی (Kc[1])، تبخیر- تعرق را برای گیاهانی که آبیاری یا توسط باران تغذیه می‌شوند،تعیین می‌کند.باقی‌ماندهٔ بارندگی که به‌وسیلهٔ تبخیر- تعرق مصرف نمی‌شود، به‌عنوان رواناب به رودخانه و قسمتی از آن به آب زیرزمینی منتقل می‌شود.

روش بارش- رواناب

روش بارش- رواناب راهی ساده برای محاسبهٔ رواناب به‌صورت تفاوت میان بارش و تبخیر و تعرق گیاه است و درواقع قسمتی از بارش است که در روند تبخیر و تعرق قرار نمی‌گیرد و تبدیل به رواناب برای تأمین دبی پایه می‌شود. همان‌طورکه در معادلهٔ ۱ ملاحظه می‌شود، تبخیر و تعرق گیاه (ETc[2]) با ضرب تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo[3]) در ضریب کشت (Kc) برای هرنوع کاربری برآوردمی‌شود که در (ETo) اثر شرایط مختلف آب‌وهوایی و درضریبKc خصوصیات محصول و گیاه گنجانده می‌شود. اثر تعرق محصول و تبخیر خاک در یک ضریب محصول واحد به‌نام ضریب کشت (Kc) ادغام شده‌است. (معادلهٔ ۱)

(Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998:90)

$$ETc = Kc^{*} ETo \qquad \text{معادلهٔ ۱}$$

ضریب Kc شامل ویژگی‌های محصول و میانگین اثرات تبخیر از خاک است. مقادیر میانگین ضرایب محصول واحد (Kc) برای حداکثر ارتفاع متوسط گیاه و محصولات مختلف بدون تنش و مناطق دارای آب و

1-Crop coefficient

2-Crop evapotranspiration
3-Reference crop evapotranspiration

هوای نیمه‌مرطوب برای استفاده در معادلهٔ Penman-Monteith فائو (معادلهٔ ۱) از جداول مقالهٔ شمارهٔ ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو به‌دست می‌آید (*Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998:110-114*).

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) را می‌توان با معادله‌ای که در ابتدا توسط پنمن- مانتیس[1] ارائه شده و سپس توسط آلن[2] توسعه یافته، محاسبه کرد (معادلهٔ ۲) (*Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998:65*):

معادلهٔ ۲:

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma(\frac{900}{T+273})u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

که در آن ET0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mmd^{-1})، R_n تابش خالص در سطح زمین [$MJ\ (M^2\ D)^{-1}$]، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (^oC)، G چگالی شار گرمایی خاک [$MJ\ (M^2\ D)^{-1}$]، u_2 میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متر در ۲۴ ساعت (ms^{-1})، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، ea فشار بخار واقعی (kPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار-دما[kPa^oC^{-1}] و γ ضریب رطوبتی (سایکومتری) [kPa^oC^{-1}] هستند (*Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998:65*).

معادلات مربوط به بیلان آب

درادامه، معادلات مربوط به بیلان آب استفاده‌شده در محاسبات این بخش آورده شده‌است که در آن‌ها زیرنویس LC به‌معنی پوشش زمین و HU واحد هیدرولوژیکی، I آبیاری‌شده و NI آبیاری‌نشده است (*Sieber & Purkey, 2007:196*):

معادلهٔ ۳ $$PrecipAvailableForET_{LC} = Precip_{HU} * Area_{LC} * 10^{-5} * PrecipEffective_{LC}$$

معادلهٔ ۴ $$ETpotential_{LC} = ETreference_{HU} * Kc_{LC} * Area_{LC} * 10^{-5}$$

معادلهٔ ۵ $$PrecipShortfall_{LC,I} = Max(0, ETpotential_{LC,I} - PrecipAvailableForET_{LC,I})$$

معادلهٔ ۶ $$SupplyRequirement_{LC,I} = (1 / IrrFrac_{LC,I}) * PrecipShortfall_{LC,I}$$

معادلهٔ ۷ $$SupplyRequirement_{HU} = \Sigma_{LC,I}\ SupplyRequirement_{LC,I}$$

چهار معادلهٔ آخر برای محاسبهٔ مقدار آب اضافی استفاده می‌شود (منظور، اضافه بر مقدار بارش موجود است) که برای تأمین آب موردنیاز برای تبخیر- تعرق مربوط به پوشش زمین و کل واحد هیدرولوژیکی مورد نیاز است و این در حالی است که راندمان آبیاری را نیز مدنظر قرار می‌دهد (*Sieber & Purkey, 2007:197*):

معادلهٔ ۸ $Supply_{HU}$ = براساس روش تخصیص منابع WEAP محاسبه می‌شود

معادلهٔ ۹ $$Supply_{LC,I} = Supply_{HU} * (SupplyRequirement_{LC,I} / SupplyRequirement_{HU})$$

معادلهٔ ۱۰ $$ETActual_{LC,NI} = Min(ETpotential_{LC,NI}, PrecipAvailableForET_{LC,NI})$$

معادلهٔ ۱۱ $$ETActual_{LC,I} = Min\ ETpotentia_{lLC,I}, PrecipAvailableForET_{LC,I} + IrrFrac_{LC,I} * Supply_{LC,I}$$

معادلهٔ ۱۲ $$EF_{LC} = ETActual_{LC} / ETpotential_{LC}$$

روانابی که به آب زیرزمینی و آب سطحی تبدیل می‌شود، از معادلات زیر به‌دست می‌آید (*Sieber & Purkey, 2007:197*):

معادلهٔ ۱۳
$$Runoff_{LC} = Max\,(0, PrecipAvailableForET_{LC} - ETpotential_{LC}) + (Precip_{LC} * (1 - PrecipEffective_{LC})) + (1 - IrrFrac_{LC,I}) * Supply_{LC,I}$$

معادلهٔ ۱۴
$$RunoffToGW_{HU} = \Sigma_{LC}\,(Runoff_{LC} * RunoffToGWFraction_{LC})$$

معادلهٔ ۱۵
$$RunoffToSurfaceWater_{HU} = \Sigma_{LC}\,(Runoff_{LC} * (1 - RunoffToGWFraction_{LC}))$$

تعریف پارامترهای فوق به شرح زیر است *(Sieber & Purkey, 2007:197)*:

Area	مساحت پوشش زمین (هکتار)
Precip	بارندگی (میلی‌متر)
PrecipEffective	بارش مؤثر (برحسب درصد): درصدی از بارندگی که می‌تواند برای محاسبهٔ تبخیر-تعرق استفاده شود.
PrecipAvailableForET	بارندگی دردسترس برای تبخیر-تعرق
Kc	ضریب گیاهیِ سازمان غذا و کشاورزی (فائو)
ETreference	تبخیر-تعرق گیاه مرجع
ETpotential	تبخیر-تعرق پتانسیل
PrecipShortfall	کمبود تبخیر-تعرق اگر فقط بارندگی در نظر گرفته شود.
IrrFrac	درصدی از آب تأمین‌شده که برای تبخیر-تعرق دردسترس است.
SupplyRequirement	احتیاجات آبیاری محصول
Supply	میزان آب تأمین‌شده برای آبیاری
EF	کسری از تبخیر-تعرق پتانسیل که برآورده شده‌است.
Runoff	رواناب حاصل از یک پوشش زمین
RunoffToGW	روانابی که به آب زیرزمینی تبدیل می‌شود.
RunoffToSurfaceWater	روانابی که به آب سطحی تبدیل می‌شود.

برای محاسبهٔ شاخص‌های فوق و نیز مدل‌سازی حوضه و آبخوان، از داده‌های موجود در جداول ۱ تا ۳ استفاده شد.

جدول ۱: اطلاعات هواشناسی حوضهٔ مورد مطالعه

میانگین بارش سالانه (mm)		میانگین دمای سالانه (°C)	
دشت	ارتفاعات	دشت	ارتفاعات
۵۸۵/۳۹	۶۵۶/۶	۱۱/۸	۱۱/۵۱

مأخذ: شرکت مدیریت منابع آب ایران، بیلان آب محدودهٔ شلمزار، ۱۳۹۰

جدول ۲: حجم ذخایر آب زیرزمینی در محدودهٔ مطالعاتی

آبخوان	وسعت (Km^2)	ضخامت متوسط (m)	ضریب ذخیرهٔ متوسط (درصد)	حجم اولیهٔ آبخوان (MCM)	وضعیت آبخوان
شلمزار	۹۳/۴۹	۷۰	۳	۱۶۰/۶۹	در حالت تعادل

مأخذ: شرکت مدیریت منابع آب ایران، بیلان آب محدودهٔ شلمزار، ۱۳۹۰

جدول ۳: مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل و واقعی، بارندگی کل و مؤثر سالانه در محدودهٔ مطالعاتی

نام حوضه	مساحت منطقه (Km^2)	متوسط تعداد روزهای بارندگی در سال (روز)	تعداد روزهای دارای تبخیر واقعی (روز)	متوسط بارندگی سالانه (mm)	متوسط تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه (mm)	متوسط تبخیر- تعرق واقعی سالانه (mm)	متوسط بارندگی مؤثر سالانه (mm)	متوسط Kc برای‌گیاهان کوچک طبق جداول فائو
شلمزار	۴۳۰	۸۱	۱۳۹	۵۸۵/۳۹	۱۲۶۵/۱۱	۲۹۸/۹۲	۲۸۶/۴۷	۰/۹۰ -۱/۰۵

مأخذ: شرکت مدیریت منابع آب ایران، بیلان آب محدودهٔ شلمزار، ۱۳۹۰

تدوین راهبردها

پس از مدل‌سازی فرایندهای مربوط به حوضهٔ مورد مطالعه و معرفی آبخوان و حوضه به مدل WEAP و نیز درنظرگرفتن انتقال آب از حوضه، به‌منظور کاهش اثرات احتمالی انتقال آب برروی آبخوان حوضهٔ مبدأ، تعیین حجم انتقال آب بهینه در شرایط هیدرولوژیکی نرمال و خشکسالی، تأمین نیازهای آبی توسعهٔ منابع آب حوضهٔ مبدأ و نیز تأمین نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانه، ۱۰ راهبرد به شرح ذیل تعریف و برای ۳۰سال مدل‌سازی انجام شد.در گام‌اول چارچوب زمانی، مرزهای مکانی، اجزای سیستم و پیکربندی مسئله در WEAP برقرار شده و در مرحلهٔ دوم شرایط موجود که یک تصویر کلی از تقاضای واقعی آب، منابع و عرضهٔ موردنیاز برای سیستم است، ایجاد شد. در این مسئله سال۲۰۱۵ به‌عنوان شرایط موجود در نظر گرفته شد و تمام اطلاعات سیستم (مانند: نیاز، داده‌های منابع و...) در شرایط موجود به مدل داده شدند و راهبردها براساس شرایط موجود تعریف شدند. راهبرد نشان می‌دهد که چگونه سیستم در آینده و در طول زمان و مکان، در یک مشخصات اقتصادی- اجتماعی و در یک شرایط مشخصی از سیاست‌گذاری درگیر می‌شود. راهبردها می‌توانند نیازهای آبی و قیمت‌ها و حتی عوامل محیطی را ارزیابی کنند. همهٔ راهبردها از یک سالِ پایه شروع می‌شوند و ازنظر موضوع، راهبردها می‌توانند موضوعات وسیعی را شامل شوند. در این مسئله افق زمانی موردنظر ۳۰ سال است که یک افق بلندمدت در برنامه‌ریزی منابع آب است.

راهبردهای تعریف‌شده در این مسئله عبارت‌اند از:

*راهبرد۱(سناریومرجع):*این‌راهبرد به‌صورت پیش‌فرضی وجود دارد که داده‌های شرایط موجود را تا انتهای دورهٔ زمانی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ (افق زمانی ۳۰ ساله) منظور کرده و به‌عنوان مبنای مقایسه با سایر راهبردهایی که در آن‌ها تغییراتی در داده‌های سیستم داده‌شده، به‌کار می‌رود. در این راهبرد اثرات انتقال آب که به‌طور متوسط سالانه ۷۴۶ میلیون مترمکعب در مطالعات طرح تعیین شده‌است،بر حجم آبخوان‌شلمزار در شرایط آبی نرمال، بدون درنظر گرفتن طـرح‌های توسعهٔ منابع آب و تحت شرایط کنونی (سالِ پایه) برای ۳۰ سال آینده تعیین می‌شود.

راهبرد ۲: در این راهبرد اثرات انتقال آب برروی حجم آبخوان منطقهٔ مبدأ انتقال (آبخوان شلمزار) با میزانی که در طرح پیش‌بینی شده‌است، یعنی سالانه به‌طور متوسط حدود ۷۴۶میلیون‌مترمکعب (حداکثر ظرفیت) تعیین می‌شود.این راهبرد دربرگیرندهٔ طرح‌های توسعهٔ منابع آب منطقهٔ مبدأ انتقال آب، شامل افزایش سطح زیرکشت زمین‌های کشاورزی و افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه و همچنین با درنظرگرفتن طرح‌های برداشت و انتقال از آب‌های سطحی پیش‌بینی‌شده در افق ۳۰ سال آینده به‌منظور توسعهٔ منابع آبی، در شرایط آبی نرمال است.

راهبرد ۳: تعیین اثرات انتقال آب با حداکثر میزان پیش‌بینی‌شده با درنظرگرفتن توسعهٔ منابع آبی شامل آب زیرزمینی و سطحی برای شرایط خشکسالی در طول مدت ۳۰ سال آینده.

راهبرد ۴: افزایش نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانهٔ بهشت‌آباد: در حالت کلی در این تحقیق نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانه برابر با حداقل میزان آن، یعنی ۱۰ درصد میانگین درازمدت دبی پایهٔ آن درنظر گرفته شد.در این راهبرد نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست ابتدا از ۱۰ درصد به ۳۰ درصد و سپس میزان آن به ۶۰ درصد افزایش داده شد و نتایج با حالت حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه (۱۰ درصد دبی پایه) مقایسه شد.

راهبرد ۵: راهبرد اصلاح مصرف کشاورزی در حوضهٔ مبدأ انتقال (افزایش راندمان آب کشاورزی در حوضهٔ مبدأ).

راهبرد ۶: برآورد میزان حجم سالانهٔ تغذیهٔ مصنوعی آبخوان مذکور درجهت جلوگیری از روند نزولی کاهش حجم آن درصورت انتقال آب با حداکثر ظرفیت (۷۴۶ میلیون مترمکعب در سال).

*راهبرد ۷:*برآورد حداکثر میزان آب قابل‌انتقال در شرایط آبی نرمال و با درنظرگرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع آب در حوضهٔ مبدأ انتقال که باعث اُفت سطح آبخوان حوضهٔ مبدأ انتقال در طول مدت ۳۰ سال نشود.

راهبرد ۸: برآورد حداکثر میزان آب قابل‌انتقال با درنظر گرفتن افزایش نیاز زیست‌محیطی رودخانه و طرح‌های توسعهٔ منابع آب در حوضهٔ مبدأ انتقال در شرایط آبی نرمال.

راهبرد ۹: برآورد حداکثر میزان حجم آب قابل‌انتقال در شرایط خشکسالی و با درنظرگرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع آب در حوضهٔ مبدأ انتقال که باعث اُفت سطح آبخوان حوضهٔ مبدأ در طول مدت ۳۰ سال نشود.

راهبرد ۱۰: افزایش تدریجی آب قابل‌انتقال در طی چند سال از میزان حداکثر به‌دست‌آمده در راهبرد هفتم تا میزان تعیین‌شده در مطالعات اولیهٔ طرح به‌منظور جلوگیری از روند کاهش حجم آبخوان.

نتایج و بحث

راهبرد۱ (مرجع): این راهبرد به‌صورت پیش‌فرض وجود دارد که داده‌های شرایط موجود را تا انتهای دورهٔ زمانی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ (افق زمانی ۳۰ ساله) منظور کرده و به‌عنوان مبنای‌مقایسه با سایر راهبردهایی که در آن‌ها تغییراتی در داده‌های سیستم داده‌شده، به‌کار می‌رود. راهبردی مرجع، اثرات انتقال آب در طی مدت ۳۰ سال را با حداکثر ظرفیتی که در مطالعات طرح پیش‌بینی شده، برروی آبخوان شلمزار، همراه با عواملی مثل برداشت از آب زیرزمینی، آب‌های سطحی و مصارف آب را تا انتهای افق زمانی تحت شرایط موجود و با فرض عدم اجرای طرح‌های جدید توسعهٔ منابع آب بررسی خواهدکرد. درواقع می‌توان گفت شاخص اصلی در این راهبرد تعیین اثرات انتقال آب با میزان حجمی که در مطالعات اولیهٔ پروژه تعیین شده است، بدون درنظرگرفتن طرح‌های توسعه‌ای برای ۳۰ سال آینده است. در این راهبرد اثرات انتقال آب (متوسط سالانه ۷۴۶میلیون‌مترمکعب) بر حجم آبخوان شلمزار در شرایط آبی نرمال، بدون درنظرگرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع آب و تحت شرایط کنونی (سال پایه) تعیین شد. حجم آبخوان مطالعاتی در سال ۲۰۱۵ برابر با ۱۶۰/۷ میلیون مترمکعب است که تحت انتقال آب در سال ۲۰۴۵حجم آن به‌حدود ۶۸/۵ میلیون مترمکعب (حدود ۵۷/۴ درصد) کاهش می‌یابد. در این حالت میزان اُفت سطح ایستابی آب زیرزمینی برابر با ۲۵ متر خواهدبود (شکل ۵).

راهبرد ۲ انتقال آب با حجم پیش‌بینی‌شده در مطالعات اولیهٔ طرح (۷۴۶میلیون مترمکب درسال) با درنظر گرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع آب و شرایط آبی نرمال: در این راهبرد اثرات انتقال آب برروی حجم آبخوان شلمزار با میزانی که در طرح پیش‌بینی شده است، تعیین‌شد. این‌راهبرد دربرگیرندهٔ طرح‌های توسعهٔ منابع

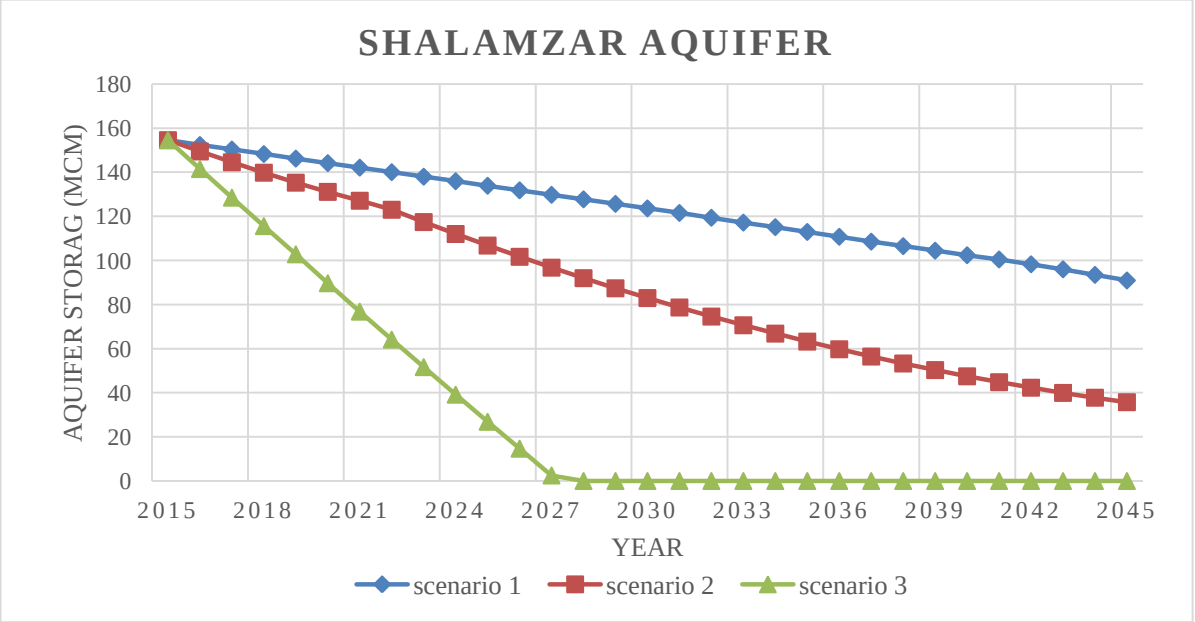
آب‌منطقهٔ مبدأ انتقال‌آب،شامل افزایش سطح زیرکشت، افزایش نرخ جمعیت، صنعت و افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه و همچنین با درنظرگرفتن طرح‌های برداشت و انتقال از آب‌های سطحی پیش‌بینی‌شده در افق ۳۰ سال آینده به‌منظور توسعهٔ منابع آبی، در شرایط هیدرولوژیکی نرمال است. راهبرد ۲ درواقع همان راهبرد مرجع است، با این تفاوت که در این راهبرد طرح‌های توسعهٔ منابع آب درنظر گرفته شده‌است. همان‌طورکه در شکل ۵ مشخص است، تحت این راهبرد حجم آبخوان از میزان ۱۶۰/۷ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۵، به حدود ۳۰ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۴۵ کاهش یافته‌است. در این حالت میزان اُفت سطح ایستابی آب زیرزمینی برابر با ۴۶/۹۳ متر خواهدبود.

راهبرد ۳ انتقال آب با حجم پیش‌بینی‌شده در مطالعات اولیهٔ طرح (حداکثر ظرفیت) و با درنظر گرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع‌آب و شرایط خشکسالی: این راهبرد شامل انتقال آب با حجم پیش‌بینی‌شده در مطالعات طرح (حداکثر ظرفیت برابر MCM ۷۴۶) همراه با درنظرگرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع آب و در شرایطی که منطقهٔ مورد مطالعه تحت خشکسالی باشد. این راهبرد همانند راهبرد ۲ است که در آن طرح‌های توسعهٔ‌منابع آب‌سطحی و زیرزمینی نیز لحاظ شده‌است، با این تفاوت که در این راهبرد فرض بر این استوار است که محدودهٔ مطالعاتی شلمزار در طول افق زمانی ۳۰ ساله دچار خشکسالی شود. در این حالت میزان بارش طبیعتاً کاهش خواهد یافت. در محدودهٔ شلمزار میزان بارش در شرایط‌خشکسالی نسبت‌به شرایط هیدرولوژیکی نرمال حدود ۳۷ درصد کاهش نشان می‌دهد. در جدول ۳ میزان بارش در شرایط آبی نرمال و خشکسالی برای محدودهٔ مطالعاتی آورده شده‌است. آمار جدول ۴ در یک دورهٔ ۳۰ ساله از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ اندازه‌گیری شده‌است.

جدول ۴: بارش سالیانه در شرایط مختلف سال آبی محدودهٔ مطالعاتی

نام محدودهٔ مطالعاتی	نام واحد هیدرولوژیک	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)	
		شرایط آبی نرمال	خشکسالی
شلمزار	بهشت‌آباد	۵۳۸/۴	۳۹۴

مأخذ: شرکت مدیریت منابع آب ایران، بیلان آب محدودهٔ شلمزار، ۱۳۹۰

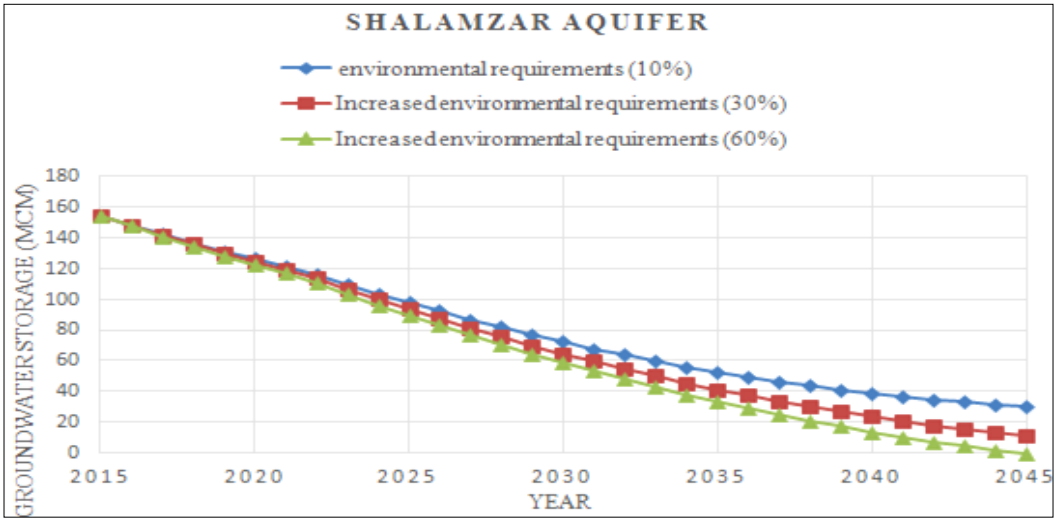


شکل ۵: پیش‌بینی روند کاهش حجم آبخوان محدودهٔ مطالعاتی تحت راهبردهای ۱، ۲ و ۳ طی مدت ۳۰ سال

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

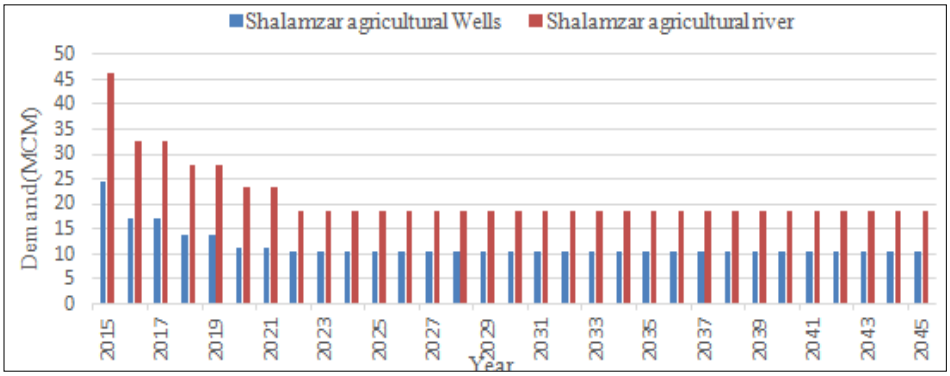
همان‌گونه که در شکل ۵ مشخص است، درصورتی‌که آب با میزان حجم پیش‌بینی‌شده از رودخانهٔ بهشت‌آباد منتقل شود و در طول ۳۰ سال نیز شرایط خشکسالی وجود داشته باشد، آبخوان شلمزار در سال ۲۰۲۷ یعنی ۱۲ سال پس از بهره‌برداری، خشک خواهدشد. در این حالت میزان کاهش حجم آبخوان شلمزار سالانه حدود ۱۳ میلیون مترمکعب خواهدبود.

راهبرد۴ افزایش نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانهٔ بهشت‌آباد: در این راهبرد نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانهٔ بهشت‌آباد افزایش داده شد. در حالت کلی در این تحقیق نیاز زیست‌محیطی رودخانه برابر با حداقل میزان آن، یعنی حفظ زیستگاه رودخانه در بدترین شرایط و به میزان ۱۰ درصد میانگین درازمدت دبی پایه در نظر گرفته شد. دبی پایهٔ رودخانهٔ بهشت‌آباد بعد از اتصال رودخانهٔ کوهرنگ به آن برابر با ۱۰۷۰ میلیون مترمکعب در سال است (وزارت نیرو، مطالعات مرحلهٔ اول طرح انتقال آب، ۱۳۸۷) که در تمامی راهبردها به‌جز راهبرد حاضر حداقل نیاز زیست‌محیطی ۱۰۷ میلیون مترمکعب لحاظ شد. در این راهبرد نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست از ۱۰درصد به ۳۰ درصد که درواقع حالت متوسط تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه است، افزایش داده شد و سپس میزان آن به ۶۰ درصد که حفاظت زیست‌بوم رودخانه در شرایط عالی است، افزایش داده شد و نتایج با حالت حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه در شکل ۶ مقایسه گردید. در شرایط حفظ زیستگاه با کیفیت متوسط پس از گذشت ۳۰ سال در سال ۲۰۴۵ میزان کاهش حجم ۱۴۹/۵ میلیون مترمکعب و اُفت سطح ایستابی ۴۸ متر به‌دست می‌آید. در حالت حفظ زیستگاه با کیفیت عالی همان‌طورکه در شکل ۶ مشخص شده‌است، آبخوان پس از طی ۳۰ سال تقریباً خشک خواهدشد.

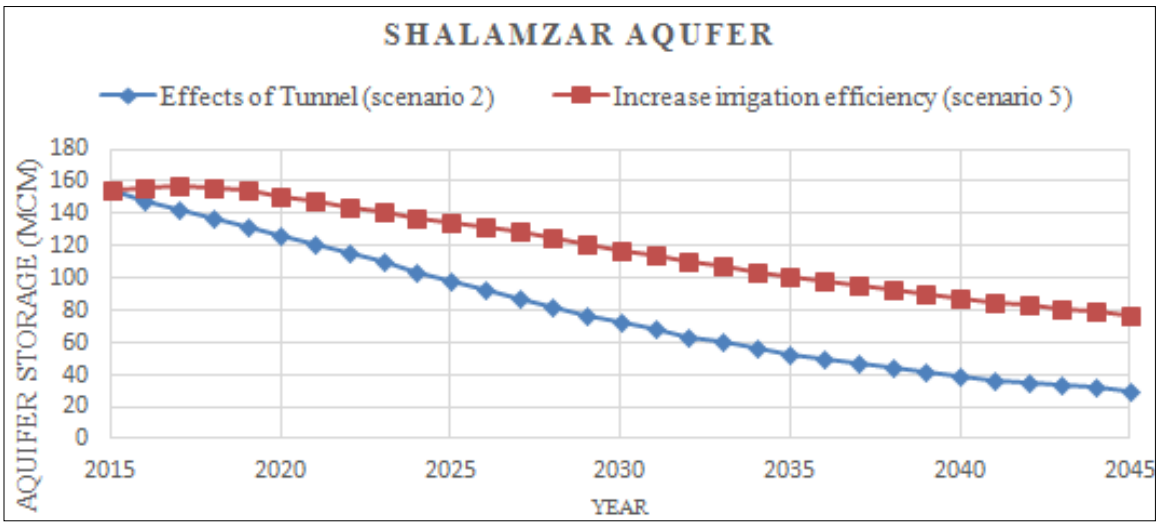


شکل ۶: روند کاهش حجم آبخوان با افزایش۳۰ و ۶۰ درصد نیاز زیست‌محیطی و مقایسه با راهبرد کمترین نیاز زیست‌محیطی *(تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)*

راهبرد ۵ اصلاح مصرف کشاورزی در حوضهٔ مبدأ انتقال (افزایش راندمان آب کشاورزی): در این راهبرد اصلاح مصرف آب کشاورزی (افزایش راندمان آب کشاورزی) حوضهٔ موردمطالعه درنظر گرفته شده‌است. هدف از این‌راهبرد کاهش اتلاف آب دربخش‌کشاورزی از محل آب‌های زیرزمینی و سطحی و نیز نشان‌دادن تأثیرات روش‌های نوین در سیستم آبیاری به‌منظور کاهش اثرات منفی انتقال آب بر آبخوان محدودهٔ مطالعاتی است.انتظار می‌رود که باکاهش سرانهٔ مصرف کشاورزی، نیاز تأمین نشدهٔ بخش کشاورزی، شرب، صنعت به‌طور چشم‌گیری کاهش پیدا کند و اثر مثبتی برروی روند کاهش حجم آبخوان بگذارد. راندمان کشاورزی در حوضهٔ شلمزار در سال پایهٔ (۲۰۱۵) برابر با ۳۰ درصد است که در این راهبرد ۶۵درصد درنظر گرفته‌شده‌است. افزایش راندمان در طی ۸ سال و هر دو سال یک‌بار صورت می‌گیرد (شکل ۷). با اعمال این راهبرد، میزان اُفت حجم آبخوان ۸۳/۸۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد که نسبت‌به راهبرد ۲ (راندمان ۳۰درصد)، ۴۶/۸۷ میلیون مترمکعب کاهش نشان می‌دهد. اُفت سطح ایستابی نیز ۳۰ متر به‌دست می‌آید. در شکل ۸ روند کاهش حجم آبخوان شلمزار در راهبرد افزایش راندمان کشاورزی با راهبرد دوم مقایسه شده‌است. با اصلاح الگوی کشاورزی، نیاز آبی منطقهٔ مبدأ انتقال از محل آب زیرزمینی در افق ۳۰ساله به میزان ۱۲۵۸/۸۴ میلیون مترمکعب است که در راهبرد مرجع (سناریوی مرجع) این مقدار ۲۵۲۲/۷۸ میلیون مترمکعب است؛ بنابراین در بخش تأمین نیازها نیز اعمال این راهبرد اثرات مثبتی دارد.



شکل ۷: تقاضای آبی پیش‌بینی‌شده در راهبرد افزایش راندمان آب کشاورزی از محل آب‌های سطحی و زیرزمینی محدودهٔ موردمطالعه *(تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵)*



شکل ۸: مقایسهٔ کاهش حجم آبخوان شلمزار در راهبرد افزایش راندمان کشاورزی با راهبرد ۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

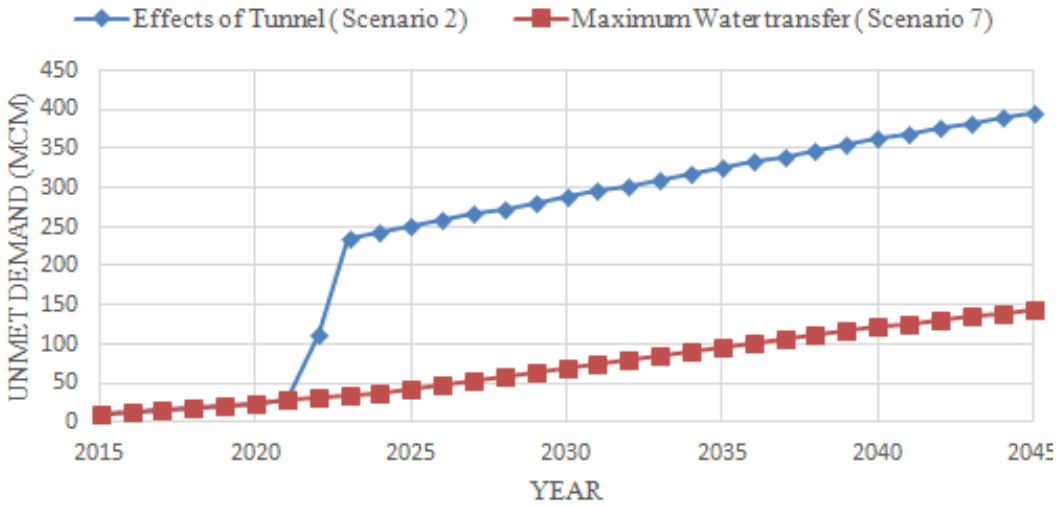
راهبرد ۶ برآورد میزان حجم سالانهٔ تغذیهٔ مصنوعی آبخوان مذکور به‌منظور جلوگیری از روند نزولی کاهش حجم آن درصورت انتقال آب با حداکثر ظرفیت آب: در این راهبرد میزان حجم سالانهٔ تغذیهٔ مصنوعی آبخوانِ مورد مطالعه، به‌منظور جلوگیری از روند نزولی کاهش حجم آن، انتقال آب با حداکثر ظرفیت (سالانه ۷۴۶ میلیون متر مکعب) درحالی برآورد شد که حجم تغذیهٔ مصنوعی برابر با ۱۱ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد (جدول ۵). این میزان آب را می‌توان با احداث سدهای ذخیره‌ای به‌منظور ذخیرهٔ سیلاب و پخش آن تأمین کرد.

جدول ۵: حجم برآوردشدهٔ تغذیهٔ آبخوان به‌منظور جلوگیری از اُفت سطح آن

نام آبخوان	میزان حجم تغذیهٔ مصنوعی (میلیون مترمکعب در سال)
شلمزار	۱۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

راهبرد ۷ برآورد حداکثر میزان آب قابل‌انتقال در شرایط آبی نرمال و با درنظرگرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع آب در حوضهٔ مبدأ به‌منظور جلوگیری از اُفت سطح آبخوان: در این راهبرد حداکثر میزان آب قابل انتقال در شرایط آبی نرمال و با درنظرگرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع‌آب در حوضهٔ مبدأ برآورد شد. در مطالعات طرح انتقال آب، میزان آب قابل‌انتقال سالانه به‌طور متوسط ۷۴۶میلیون‌مترمکعب‌درنظر گرفته شد.همان‌طور که در راهبردهای قبل ملاحظه شد، این میزان آب انتقالی باعث کاهش سطح ایستابی آبخوان منطقهٔ مبدأ انتقال شده و همچنین در آینده باعث افزایش نیاز تأمین‌نشده در این محدوده خواهدشد؛ بنابراین این حجم آب انتقالی با توجه به ظرفیت تولید آب در منطقهٔ مبدأ بیشتر از حجمی است که قابلیت انتقال دارد. در این راهبرد حداکثر آب قابل‌انتقال به حوضهٔ مقصددرشرایط آبی نرمال و باحداقل نیاز زیست‌محیطی برابر با ۴۵۰میلیون مترمکعب در سال برآورد شده‌است. درنتیجه با انتقال این مقدار آب، حجم ذخیرهٔ آبخوان در طی ۳۰ سال در حالت تعادل قرار خواهد گرفت. همچنین نیاززیست‌محیطی رودخانه و انتقال آب تأمین خواهدشد و کمترین میزان عدم نیاز وجود خواهدداشت (شکل ۹).



شکل ۹: نمودار مقایسهٔ نیازهای تأمین‌نشدهٔ راهبرد ۷ با راهبرد ۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

راهبرد ۸ برآورد حداکثر میزان آب قابل انتقال با درنظر گرفتن افزایش نیاز زیست‌محیطی رودخانه و طرح‌های توسعهٔ منابع آب در حوضهٔ مبدأ در شرایط آبی نرمال: در این راهبرد حداکثر میزان آب قابل‌انتقال با درنظر گرفتن افزایش نیاز زیست‌محیطی رودخانه و طرح‌های توسعهٔ منابع آب در حوضهٔ مبدأ در شرایط آبی نرمال به‌دست آمد. برای این کار میزان نیاز زیست‌محیطی رودخانه افزایش داده‌شده‌است و با توجه به افزایش نیاز زیست‌محیطی، حداکثر آب قابل‌انتقال برآورد شد. در راهبرد ۷ حداکثر آب قابل‌انتقال در حالت کمترین نیاز زیست‌محیطی رودخانه برآورد شد. در این راهبرد نیاز زیست‌محیطی به دو حالت نیاز زیست‌محیطی رودخانه برای حفظ زیست‌گاه با کیفیت متوسط، یعنی ۳۲۱ میلیون مترمکعب در سال و حالت دوم افزایش نیاز زیست‌محیطی برای حفظ زیستگاه با کیفیت عالی، یعنی ۶۰ درصد دبی رودخانهٔ بهشت‌آباد برابر با ۶۴۲ میلیون مترمکعب در سال در نظر گرفته شد که به‌ترتیب حداکثر میزان آب قابل انتقال ۴۰۰ و ۳۵۵ میلیون‌مترمکعب درسال برآورد شد. در این حالت حجم آبخوان مورد مطالعه مانند سال پایه (۲۰۱۵) در حالت پایدار باقی می‌ماند (جدول ۶).

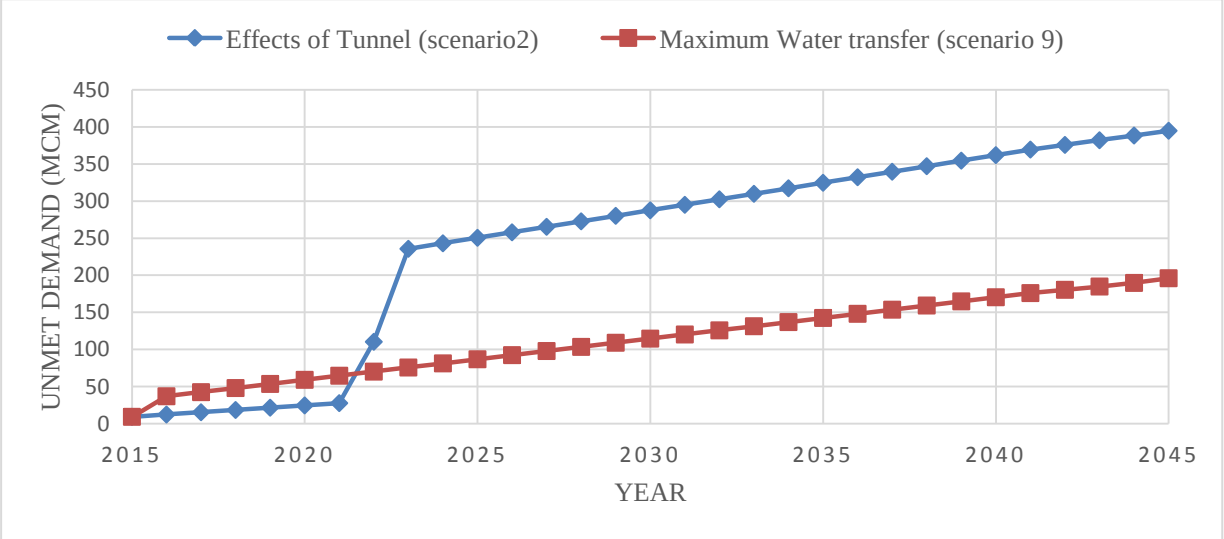
جدول ۶: برآورد حداکثر آب قابل‌انتقال با درنظرگرفتن افزایش نیاز زیست‌محیطی رودخانه

میزان افزایش نیاز زیست‌محیطی	حداکثر آب قابل‌انتقال
۳۰ درصد دبی بلندمدت رودخانهٔ بهشت‌آباد	۴۰۰ میلیون مترمکعب در سال
۶۰ درصد دبی بلندمدت رودخانهٔ بهشت‌آباد	۳۵۵ میلیون مترمکعب در سال

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

راهبرد ۹ برآورد حداکثر میزان حجم آب قابل‌انتقال در شرایط خشکسالی و با درنظر گرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع آب در حوضهٔ مبدأ به‌منظور جلوگیری از اُفت سطح آبخوان: این راهبرد شامل برآورد حداکثر میزان حجم آب قابل‌انتقال در شرایط خشکسالی و با درنظرگرفتن طرح‌های توسعهٔ منابع آب در حوضهٔ

مبدأ انتقال است که باعث اُفت سطح آبخوان شلمزار در مدت ۳۰ سال نشود. این راهبرد درواقع راهبرد ۷ است، با این تفاوت که در طول افق زمانی ۳۰ سال شرایط خشکسالی بر حوضهٔ مبدأ انتقال آب حاکم باشد. همان‌طورکه در راهبرد ۳ نیز گفته‌شد، درحالت خشکسالی درمحدودهٔ شلمزار میزان بارش نسبت‌به شرایط نرمال حدود ۳۷ درصد کاهش نشان می‌دهد. در این حالت به‌منظور تأمین نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانه، تأمین نیاز کامل بخش انتقال آب و همچنین برای اینکه در بقیهٔ بخش‌ها کمترین عدم تأمین نیاز را داشته باشیم، سالانه می‌توان تنها حدود ۱۶۰ میلیون مترمکعب آب را به حوضهٔ مقصد منتقل کرد که این میزان در مطالعات طرح دیده نشده و در همهٔ حالات میزان آب قابل انتقال ۷۴۶ میلیون متر مکعب درسال به‌صورت متوسط پیش‌بینی شده است. در شکل ۱۰ تأمین نیاز بخش‌های مختلف در این راهبرد با راهبرد ۲ مقایسه شده‌است.

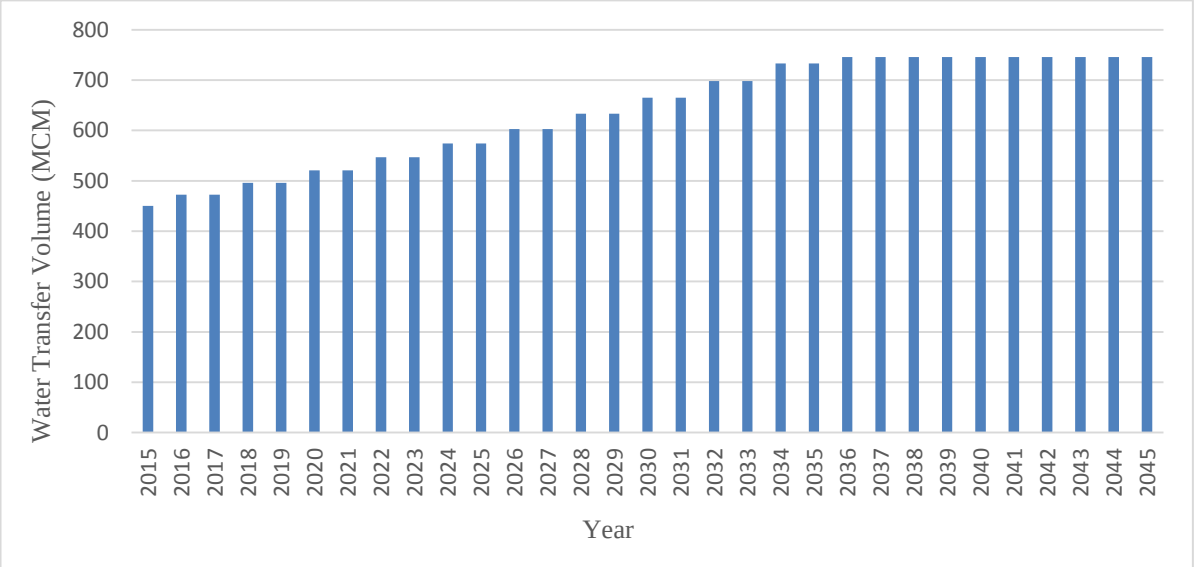


شکل ۱۰: مقایسهٔ نیازهای تأمین‌نشدهٔ راهبرد ۹ با راهبرد ۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

راهبرد ۱۰ افزایش تدریجی آب قابل‌انتقال در طی چند سال از میزان حداکثر برآوردشده در راهبرد هفتم تا میزانی تعیین‌شده در مطالعات اولیهٔ طرح:

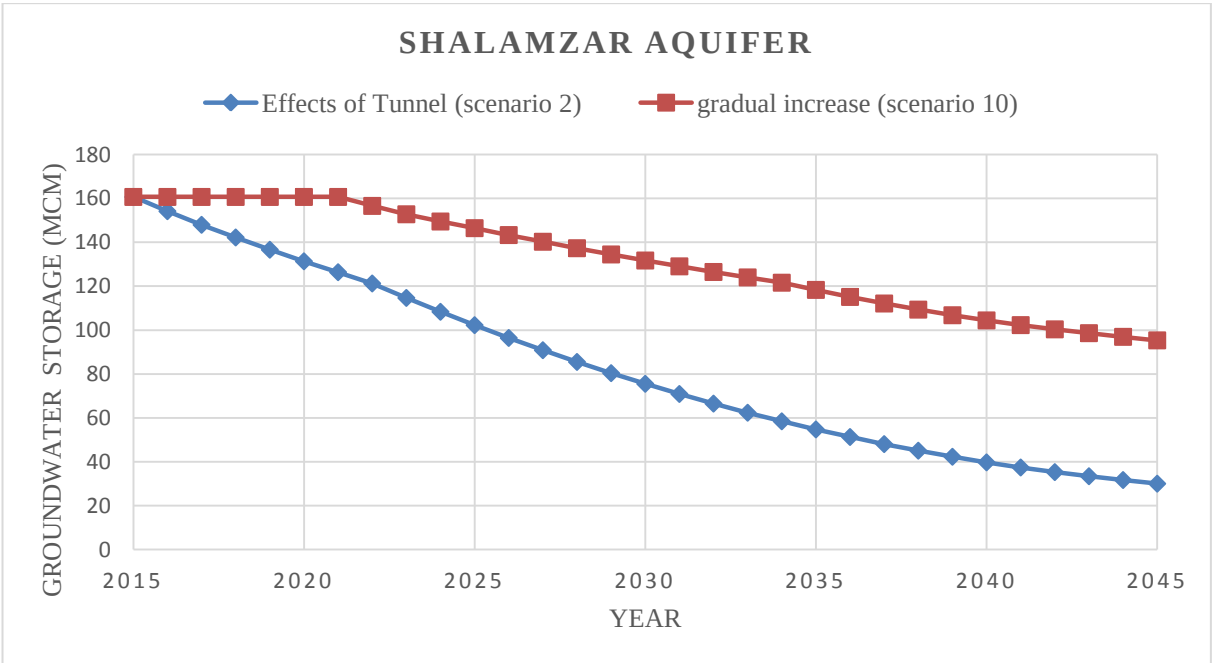
هدف از این راهبرد افزایش تدریجی آب قابل‌انتقال در طی چند سال است تا به حوضه اجازه داده شود تنش‌های ناشی از انتقال آب را جبران کند؛ برای این منظور، از مقدار بهینهٔ انتقال آب در راهبرد ۷ (۴۵۰ میلیون مترمکعب در سال) تا مقدار پیش‌بینی‌شده در مطالعات طرح (۷۴۶میلیون مترمکعب در سال) هر دو سال به میزان ۵ درصد به حجم آب انتقالی افزوده می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: افزایش تدریجی میزان آب قابل‌انتقال از مقدار بهینهٔ محاسباتی تا میزان پیش‌بینی‌شده در مطالعات طرح

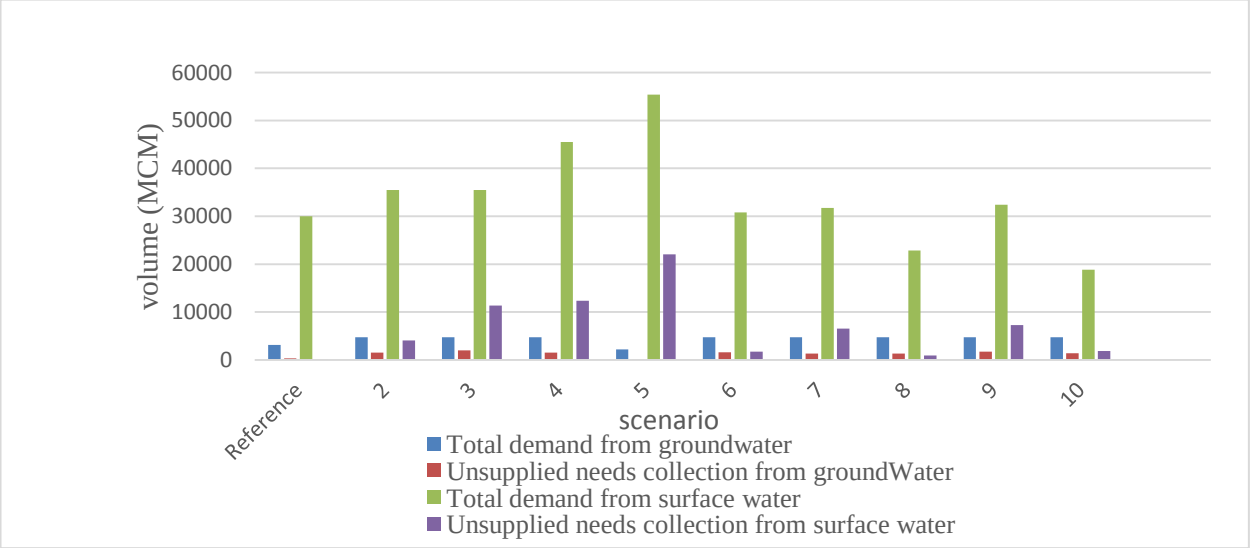
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

در شکل ۱۲ روند تغییرات حجم آبخوان شلمزار تحت این راهبرد نشان داده شده‌است که تا سال ۲۰۲۱ بدون اُفت سطح پیش‌بینی می‌شود. از سال ۲۰۲۲ به‌بعد، روند کاهش حجم شروع شده و برابر با ۶۵/۴ میلیون‌مترمکعب در پایان افق ۳۰ ساله است. درنهایت در شکل ۱۳ کل تقاضای آبی و عدم تأمین نیازها در بخش‌های مختلف حوضه نشان داده شده‌است.



شکل ۱۲: مقایسهٔ روند کاهش حجم آبخوان شلمزار راهبرد ۱۰ با راهبرد ۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۱۳: تقاضای آبی و عدم‌تأمین نیاز بخش‌های مختلف حوضهٔ مبدأ از محل آب‌های سطحی و زیرزمینی در طول ۳۰ سال

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

نتیجه

در سناریوی مرجع، حدود ۵۷/۴ درصد حجم آبخوان در اثر انتقال آب کاهش می‌یابد. تحت اعمال راهبرد ۲ حدود ۸۱/۳ درصد حجم آبخوان کاهش خواهد یافت. اگر در طول افق زمانی ۳۰ ساله حوضهٔ مبدأ انتقال از نظر شرایط هیدرولوژیکی در وضعیت خشکسالی قرار داشته باشد، با انتقال آب به میزان پیش‌بینی‌شده، ۱۲ سال پس از بهره‌برداری از طرح، آبخوان خشک خواهدشد. با افزایش نیاز زیست‌محیطی به‌منظور حفظ زیستگاه با کیفیت متوسط، میزان کاهش حجم آبخوان پس از گذشت ۳۰ سال نسبت‌به حالت حداقل نیاز زیست‌محیطی، ۱۹ میلیون مترمکعب افزایش نشان می‌دهد. با افزایش نیاز زیست‌محیطی برای حفظ زیستگاه در شرایط عالی، با انتقال آب به میزان ۷۴۶ میلیون مترمکعب، پیش‌بینی می‌شود آبخوان مطالعاتی پس از گذشت ۳۰ سال خشک شود. با افزایش راندمان آب کشاورزی از ۳۰ به ۶۵ درصد، حدود ۵۰ درصد تقاضای آبی از محل آب زیرزمینی محدودهٔ مطالعاتی کاهش پیدا می‌کند. با توجه به نتایج، اصلاح الگوی مصرف کشاورزی می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری برای مقابله با اثرات انتقال آب بر حجم آبخوان انتخاب شود، اما از لحاظ تأمین نیاز تقاضاهای آبی در بخش‌های مختلف کارآمدتر بوده و عدم تأمین نیاز طرح‌های توسعهٔ منابع آب کمتر از راهبرد ۲ است. برای تأمین اُفت حجم آبخوان، حجم تغذیهٔ مصنوعی سالانه ۱۱ میلیون مترمکعب برآورد شد. حداکثر آب قابل‌انتقال براساس حداقل نیاز زیست‌محیطی بدون اُفت حجم آبخوان، برابر با ۴۵۰ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده‌است که با میزان محاسبه‌شده در مطالعات طرح، اختلاف زیادی دارد. در راهبرد۸، در صورت افزایش نیاز زیست‌محیطی به میزان ۳۰ و ۶۰ درصد دبی بلندمدت رودخانه، حداکثر آب قابل‌انتقال به‌ترتیب ۴۰۰ و ۳۵۵میلیون‌مترمکعب درسال پیش‌بینی می‌شود. در شرایط خشکسالی در محدودهٔ مطالعاتی، برای جلوگیری از اُفت حجم آبخوان، تأمین حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه و انتقال آب و نیز کمترین

عدم‌تأمین نیاز در سایر بخش‌ها، حجم آب قابل‌انتقال حدود ۱۶۰میلیون مترمکعب درسال برآورد شد. با اعمال سیاست افزایش تدریجی آب قابل‌انتقال، روند کاهش حجم آبخوان نسبت‌به راهبرد دوم، حدود ۵۰ درصد بهبود یافته و اِعمال این سناریو تا حدودی کارآمد به‌نظر می‌رسد. با توجه به نتایج مدل‌سازی، درصورت عدم‌انتقال آب از حوضه و توسعهٔ طرح‌های منابع آب، حجم آبخوان تا سال ۲۰۲۲ ثابت باقی خواهدماند و بعدازآن سالانه حدود ۲/۲۵ میلیون مترمکعب کاهش نشان می‌دهد که در پایان افق ۳۰ ساله میزان کاهش حجم آن ۲۹/۹ میلیون مترمکعب و میزان اُفت سطح ایستابی آن ۹/۶ متر پیش‌بینی می‌شود. نتایج مدل حاکی از آن است که میزان کاهش حجم آبخوان مطالعاتی در شرایط انتقال آب از حوضه و درصورت اجرای طرح‌های توسعهٔ منابع آب در طول مدت ۳۰ سال حدود ۵ برابر خواهدبود.

منابع

- Abrishamchi, A., & Tajrishi, M. (2005). Interbasin water transfer in Iran. Paper presented at the Water conservation, reuse, and recycling: proceeding of an Iranian American workshop. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=Erohqf3RuzkC&oi=fnd&pg=PA252&ots=SLDLMEScaS&sig=E_xti5XP-TVj-STtcsMRQ9zPgvA#v=onepage&q&f=false
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109. http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm
- Ballestero, E. (2004). Inter-Basin Water Transfer Public Agreements: A Decision Approach to Quantity &Price. Water resources management, 18(1),75-88. https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000015390.39862.b9
- Bonacci, O., & Andrić, I. (2010). Impact of an inter- basin water transfer and reservoir operation on a karst open streamflow hydrological regime: an example from the Dinaric karst (Croatia). Hydrological processes, 24(26), 3852-3863. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.7817
- Davies, B. R., Thoms, M., & Meador, M. (1992). An assessment of the ecological impacts of inter-basin water transfers, and their threats to river basin integrity and conservation. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2(4), 325-349. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aqc.3270020404
- De Carvalho, R. C., & Magrini, A. (2006). Conflicts over water resource management in Brazil: a case study of inter-basin transfers. Water resources management, 20(2), 193-213. https://doi.org/10.1007/s11269-006-7377-3
- Feng, S., Li, L. X., Duan, Z. G., & Zhang, J. L. (2007). Assessing the impacts of South-to-North Water Transfer Project with decision support systems. Decision Support Systems, 42(4),1989-2003. doi:https://doi.org/10.1016/j.dss.2004.11.004
- Gupta, J., & van der Zaag, P. (2008). Interbasin water transfers and integrated water resources management: Where engineering, science and politics interlock. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 33(1-2), 28-40. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706507000666
- Karamouz, M., Mojahedi, S. A., & Ahmadi, A. (2010). Interbasin Water Transfer: Economic Water Quality-Based Model. Journal of Irrigation&Drainage Engineering, 136(2), 90-98. https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0000140
- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? Journal of Environmental Studies&Sciences, 4(4), 315-328. https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z

- Mehta, V. K., Aslam, O., Dale, L., Miller, N., & Purkey, D. R. (2013). Scenario-based water resources planning for utilities in the Lake Victoria region. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 61, 22-31. https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.02.007
- Rogers, S., Chen, D., Jiang, H., Rutherfurd, I., Wang, M., Webber, M., . . . Zhang, W. (2020). An integrated assessment of China's South-North Water Transfer Project. Geographical Research, 58(1), 49-63. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1745-5871.12361
- Shao, X., Wang, H., & Wang, Z. (2003). Interbasin transfer projects and their implications: A China case study. International Journal of River Basin Management, 1(1), 5-14. https://doi.org/10.1080/15715124.2003.9635187
- Sieber, J., & Purkey, D. (2007). Water evaluation and planning system user guide for weap21. Stockholm Environment Institute, US Center. http://www.weap21.org/
- Wei, S., Yang, H., Abbaspour, K., Mousavi, J., & Gnauck, A. (2010). Game theory based models to analyze water conflicts in the Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project in China.Water Research,44(8),2499-2516. https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.01.021
- Xu, W., & Chen, C. (2020). Optimization of Operation Strategies for an Interbasin Water Diversion System Using an Aggregation Model and Improved NSGA-II Algorithm. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 146(5), 04020006. https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0001462
- Yang, H., & Zehnder, A. J. B. (2005). The South-North Water Transfer Project in China. Water International, 30(3), 339-349. https://doi.org/10.1080/02508060508691874
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005). WEAP21—A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model. Water International, 30(4), 487-500. https://doi.org/10.1080/02508060508691893
- Yevjevich, V. (2001). Water Diversions and Interbasin Transfers. Water International, 26(3), 342-348. https://doi.org/10.1080/02508060108686926
- شرکت مدیریت منابع آب ایران، مطالعات بهمگام‌سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوضهٔ آبریز کارون بزرگ (۱۳۹۰). بیلان آب محدودهٔ مطالعاتی شلمزار، جلد ۳.
- مرکز تحقیقات منابع آب استان چهارمحال و بختیاری وابسته به دانشگاه شهرکرد، ۱۳۹۰. https://sku.ac.ir/Page/54/
- وزارت نیرو، مطالعات مرحلهٔ اول طرح انتقال آب به فلات مرکزی ایران (۱۳۸۷). جلد ۳۶ (گزارش‌های تونل انتقال آب).