



## Assessment of Groundwater Budget in Aspas Alluvial Aquifer of Fars Province

MohammadHossein Fakourian<sup>1</sup> | Mostafa Naderi<sup>2</sup> | GholamReza Joudaki<sup>3</sup>

1. MSc Student, Department of Surveying (Geomatics) Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Assistant professor, Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran.
3. Assistant professor, Department of Surveying (Geomatics) Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
4. Corresponding Author: [M.naderi@iasbs.ac.ir](mailto:M.naderi@iasbs.ac.ir)

Received:  
18 March 2022

Accepted:  
16 June 2022

Published:  
20 January 2024

**Keywords:**

*Alluvial aquifer,  
Aspas Plain,  
Aquifer unit hydrograph,  
Drought,  
Groundwater budget.*

**Extended abstract****Introduction**

The country's water problems, especially in recent years, have attracted the attention of many researchers in this field. The need to have information on the balance of water resources is considered vital for the management of water resources. This article has investigated the groundwater balance of the Aspas alluvial aquifer (726.81 km<sup>2</sup>) in northern Fars Province during the period 2002-2017. Therefore, the changes in the underground water level were investigated using the calculation of the alluvial aquifer balance using meteorological, hydrological, and hydrogeological data.

Drought in Iran is a climatic reality and the optimal use of water resources is considered essential. Optimum and sustainable preservation and use of water are possible only through comprehensive and comprehensive knowledge of water resources, both surface and underground. This importance is realized on the condition of providing accurate and continuous statistics and information about water resources and estimating the balance of water resources. Considering that the groundwater balance and the causes of groundwater loss in the Aspas study area have not been investigated and analyzed, and its investigation is necessary for water resources management, this research has calculated the groundwater balance using meteorology and hydrology.

**Cite this article:** Fakourian, M.H., Naderi, M. & Joudaki, G.R. (2023). Assessment of groundwater budget in Aspas alluvial aquifer of Fars Province. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (1), 51-68. DOI: <http://doi.org/10.22077/jaaq.2023.6004.1051>



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Then, the changes in the underground water level were calculated using the unit hydrograph for the alluvial aquifer of the Aspas Plain, and finally, the comparison of the changes in the groundwater level resulting from the equilibrium calculation with the hydrograph of the alluvial unit of the Aspas Plain has been calculated.

To check the drop in the underground water level, the equation of the underground water balance has been used in the alluvial aquifer. Water balance is the result of meteorology, hydrology, and hydrogeology studies, and thus many different parameters are directly or indirectly involved in its calculations. The results of the balance sheet may be positive or negative or result in equality of input and output. If the balance is positive, making decisions related to water will have more scope and otherwise it will have limitations.

The changes in aquifer storage are determined based on the difference between inputs and outputs and through the fluctuations of the underground water level including the storage coefficient and comparing the two. An increase in the underground water level or an increase in the water supply of springs and canals indicates an increase in feeding and a decrease in the water supply of canals and exploitation wells, and a drop in the water level indicates an increase in discharge and a decrease in the supply of aquifers in a certain period. The best condition of aquifer stability is the balance between aquifer feeding and discharge. The balance results were compared with the actual water level changes in the aquifer, which showed that the balance results are in good agreement with the actual water level changes. They show a decrease in the volume of underground water storage of about 29.34 million cubic meters per year, which has led to a drop in the level of underground water by 80 cm per year. Also, considering that 78% of the total components entering the Aspas alluvial aquifer are discharged through the deep and semi-deep wells in the Aspas Plain alluvial aquifer, it can be concluded that the main cause of the drop in the underground water level is the over-harvesting of the aquifer. It was through the wells in the Aspas alluvial aquifer. Of course, the recent droughts (1392-1396) cannot be considered ineffective, but it can be concluded that the main cause of the drop in the underground water level and the decrease in the storage volume of the Aspas alluvial aquifer is the excessive extraction through wells. It is suggested to reduce the extraction of underground water for better management of water resources. Reducing groundwater extraction can be done with things like reducing the area under cultivation, increasing irrigation efficiency, and cultivating crops with less water requirement.



## بررسی بیلان آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی آسپاس واقع در استان فارس

محمدحسین فکورپان<sup>۱</sup> | مصطفی نادری<sup>۲</sup> | غلامرضا جودکی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۲. استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران.
۳. استادیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

✉ نویسنده مسئول: [M.naderi@iasbs.ac.ir](mailto:M.naderi@iasbs.ac.ir)

### چکیده

مشکلات آبی کشور خصوصاً در سال‌های اخیر، توجه بسیاری از محققین این حوزه را به خود جلب کرده است. نیاز به داشتن اطلاعات بروز بیلان منابع آبی برای مدیریت منابع آب، امری حیاتی محسوب می‌شود. این مقاله به بررسی آب‌های زیرزمینی در آبخوان آبرفتی آسپاس واقع در شمال استان فارس به مساحت ۷۲۶/۸۱ کیلومترمربع برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱) پرداخته است. از این‌رو تغییرات سطح آب زیرزمینی، با استفاده از محاسبه بیلان آبخوان آبرفتی به‌وسیله داده‌های هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیلان با تغییرات سطح آب واقعی آبخوان مقایسه گردید، که نشان داد نتایج بیلان همخوانی خوبی با تغییرات واقعی سطح آب دارد. به‌طوری‌که کاهش حجم ذخیره آب زیرزمینی حدود ۲۹/۳۴ میلیون مترمکعب در سال را نشان می‌دهند، که منجر به افت سطح آب زیرزمینی به‌اندازه ۸۰ سانتی‌متر در سال شده است. همچنین با توجه به اینکه ۷۸ درصد از مجموع مؤلفه‌های ورودی به آبخوان آبرفتی آسپاس، از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق موجود در آبخوان آبرفتی دشت آسپاس تخلیه می‌شود می‌توان به این نتیجه دست یافت که عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی، برداشت بیش از حد توان آبخوان از طریق چاه‌های موجود در آبخوان آبرفتی آسپاس بوده است. البته نمی‌توان خشک‌سالی‌های اخیر طی سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۹۲) را بی‌اثر دانست اما می‌توان این‌گونه دریافت که عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی و کاهش حجم ذخیره آبخوان آبرفتی آسپاس برداشت‌های بی‌رویه از طریق چاه‌ها می‌باشد. پیشنهاد می‌شود جهت مدیریت بهتر از منابع آبی، برداشت از آب زیرزمینی کاهش یابد. کاهش برداشت از آب زیرزمینی می‌تواند با مواردی مانند کاهش سطح زیر کشت، افزایش راندمان آبیاری و کشت محصولات با نیاز آبی کمتر صورت پذیرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

### کلیدواژه‌ها:

آبخوان آبرفتی،

افت سطح آب زیرزمینی،

بیلان آب زیرزمینی،

خشک‌سالی،

دشت آسپاس.

## مقدمه

بارش سالیانه ۱۴/۶، ۲۲، ۲۱ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج حاصل از بررسی دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی، حاکی از آن است که در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۵) تعداد سال‌های ترسالی و معمولی افزایش ولی تعداد سال‌های خشک‌سالی کاهش خواهد داشت، اما در آینده دورتر (۲۰۸۵-۲۰۵۶) شرایط متفاوت خواهد بود، به‌طوری‌که دوره‌های ترسالی و معمولی تقریباً بدون تغییر خواهند بود ولی تعداد سال‌های خشک‌سالی افزایش می‌یابد و شدت آن‌ها بیشتر خواهد شد.

چوبین و همکاران (Choubin et al., 2016 a)، با استفاده از تابع هم‌بستگی متقاطع، شرایط بلند و کوتاه مدت خشک‌سالی بر روی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی آسپاس را مورد بررسی قرار دادند و تابع هم‌بستگی متقاطع نشان داد که خشک‌سالی کوتاه مدت همراه با تأخیر و خشک‌سالی بلند مدت به‌طور همزمان بر منابع آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار است.

چوبین و ملکبان (Choubin et al., 2016 b)، رابطه بین تغییر سطح آب زیرزمینی و روند شور شدن آن را برای محدوده مطالعاتی آسپاس در سال‌های (۱۳۸۹-۱۳۸۱) بررسی کردند، برای این منظور، از داده‌های هواشناسی (میانگین بارش سالیانه دشت)، داده‌های ماهانه کیفی آب زیرزمینی (هدایت الکتریکی برای بررسی شوری)، داده‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی (چاه‌های مشاهده‌ای و پیژومتری برای نشان دادن نوسانات آب زیرزمینی و وضعیت هیدروگراف‌های واحد دشت) استفاده کردند. هیدروگراف واحد دشت نشان داد که در دوره آماری (۱۳۸۹-۱۳۸۱) سطح آب‌های زیرزمینی روند نزولی داشته و متوسط افت سالانه در حدود ۰/۷ متر در سال بوده است. همچنین رابطه عکس بین روند سطح ایستایی و شوری مشاهده می‌شود. مقایسه تغییرات هدایت الکتریکی و سطح آب زیرزمینی در آبخوان نشان داد که شوری در مناطقی از دشت که سطح ایستایی کمتر است، افزایش می‌یابد.

بنابراین باید پذیرفت که خشکی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و استفاده بهینه از منابع آب یک امر ضروری به‌شمار می‌رود. حفظ و استفاده بهینه و پایدار از آب تنها از طریق شناخت جامع و همه‌جانبه منابع آب اعم از سطحی و زیرزمینی میسر است. و این مهم به‌شرط فراهم

رشد سریع جمعیت جهان و توسعه کشاورزی در دهه‌های اخیر و عدم تأمین آب‌های سطحی به نیازهای بشر، منجر به افزایش روند پمپاژ آب و در نتیجه افت سطح آب زیرزمینی و تخلیه سفره‌های زیرزمینی شده‌است. تهی شدن سفره‌های زیرزمینی پیامدهایی نظیر افزایش هزینه‌های استحصال آب، فرونشست و کاهش کیفیت آب، را در بر خواهد داشت که امروزه به یک مشکل جهانی تبدیل شده‌است (Moslemi and Darvishi, 2016).

ایران سرزمینی خشک با نزولات جوی بسیار کم است، به‌طوری‌که میانگین بارندگی سالانه در سطح خشکی‌های کره‌زمین حدود ۸۶۰ میلی‌متر تخمین زده می‌شود و متوسط بارندگی سالانه در ایران، تقریباً رقمی معادل ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. ملاحظه می‌شود که بارندگی در ایران حتی کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در سطح دنیا است. علاوه بر این زمان ریزش نزولات جوی و محل ریزش آن‌ها نیز با نیاز بخش کشاورزی، که مصرف‌کننده اصلی آب در کشور می‌باشد، مطابقت ندارد. اکثر شهرهای ایران هم در مناطقی واقع هستند که به رودخانه‌هایی که جریان آب آن‌ها مستقیماً از رواناب حاصله از بارندگی‌ها تأمین شده باشد، دسترسی ندارند. بنابراین باید پذیرفت که خشکی در ایران یک واقعیت اقلیمی است. برای زیستن در خشکی چاره‌کار شناخت اقلیم و سازگاری با آن است (Alizadeh, 2013). امروزه، پدیده‌ی تغییر اقلیم کاملاً مشهود است؛ به‌طوری‌که ذوب گسترده‌ی یخ‌ها، کاهش پوشش برف، افزایش دمای هوا و تغییر در تعداد و طول دوره‌های خشک‌سالی، سیلاب و الگوهای بارش از شواهد تغییر اقلیم هستند (Ehsani et al., 2017; Huber et al., 2011; Pachauri et al., 2014).

نادری (Naderi, 2013)، مخاطرات سیل و خشک‌سالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت شرایط تغییر اقلیم در شمال استان فارس را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه، داده‌های روزانه ۲۲ مدل گردش عمومی برای ۶ ایستگاه هواشناسی توسط مدل آماری LARS-WG برای دوره‌ی (۲۰۲۶-۲۰۸۵) ریزمقیاس شده‌اند. نتایج نشان دهنده این است که دمای متوسط سالانه ۱/۸، ۲/۴، ۳/۴ درجه نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۷۸-۲۰۰۵) تحت سه سناریوی RCP8/5, RCP4/5, RCP 2/6 افزایش و

نمایش داده شده است.

جهت بررسی افت سطح آب زیرزمینی، در آبخوان آبرفتی از معادله بیلان آب زیرزمینی استفاده شده است. بیلان آب، حاصل نتایج مطالعات هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی است و بدین ترتیب پارامترهای مختلف و زیادی به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در محاسبات آن دخالت دارد. نتایج بیلان ممکن است مثبت یا منفی و یا برابری ورودی و خروجی را در پی داشته باشد. در صورت مثبت بودن بیلان، انجام تصمیمات مرتبط با آب از حیثه عمل بیشتری برخوردار بوده و در غیر این صورت محدودیت‌هایی را در پی خواهد داشت.

تغییرات ذخیره آبخوان، براساس اختلاف ورودی‌ها و خروجی‌ها و از طریق نوسانات سطح آب زیرزمینی و لحاظ کردن ضریب ذخیره و مقایسه این دو، مشخص می‌شود. افزایش سطح آب زیرزمینی و یا افزایش آبدهی چشمه‌ها و قنات بیانگر افزایش تغذیه و کاهش آبدهی قنات و چاه‌های بهره برداری و افت سطح آب بیانگر افزایش تخلیه و کاهش تغذیه آبخوان در یک دوره مشخص است. بهترین شرایط پایداری آبخوان، تعادل بین تغذیه و تخلیه آبخوان می‌باشد (Fars Regional Water Joint Stock Company, 2015).

بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی براساس رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد:

$$\pm \Delta V = (Q_{In} + Q_{Is}) - (Q_W + Q_E + Q_D) \quad (1)$$

$\Delta V$  = تغییرات حجم ذخیره آبخوان

$Q_{In}$  = حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی به آبخوان

$Q_{Is}$  = تغذیه از سطح آبخوان

$Q_W$  = حجم برداشت و تخلیه از طریق چاه‌ها، قنات‌ها، چشمه‌های آبرفتی آبخوان

$Q_E$  = حجم تبخیر از آب‌های زیرزمینی آبخوان

$Q_D$  = حجم زهکشی از آبخوان توسط رودخانه

تغذیه از سطح آبخوان که شامل نفوذ از آب‌های متفاوت است. طبق معادله زیر است:

بودن آمار و اطلاعات دقیق و مستمر از منابع آب و تخمین بیلان منابع آب تحقق می‌یابد.

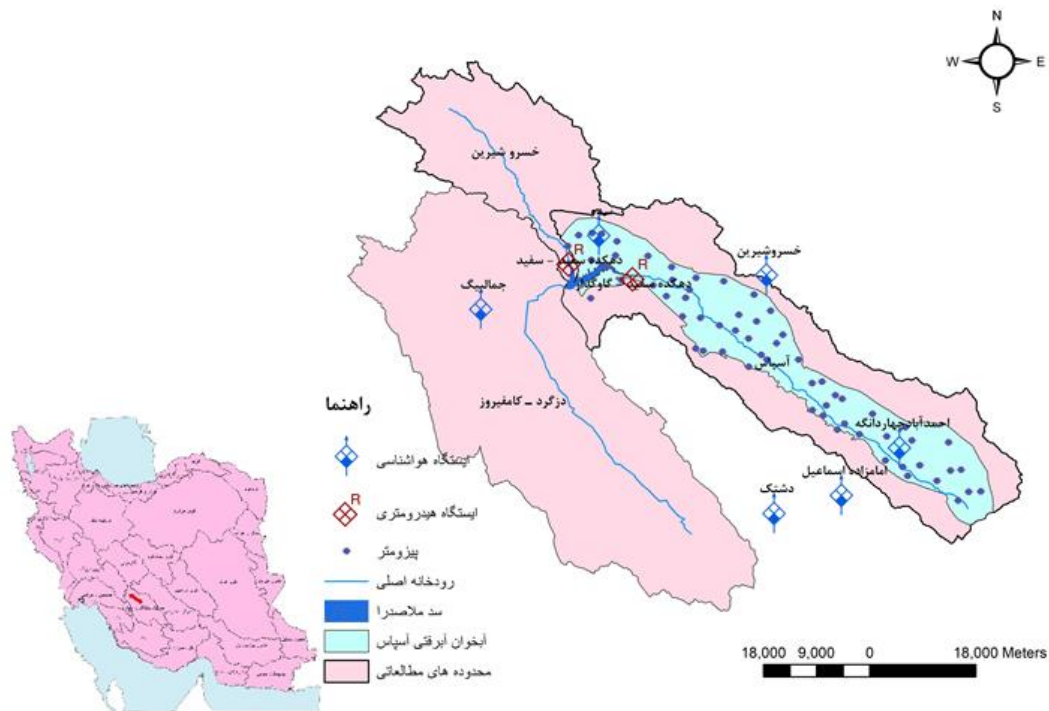
باتوجه به اینکه در محدوده مطالعاتی اسپاس، بیلان آب زیرزمینی و علل افت آب زیرزمینی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار نگرفته است و بررسی آن برای مدیریت منابع آب امری ضروری است این مطالعه به محاسبه بیلان آب زیرزمینی با استفاده داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی برای آبخوان آبرفتی دشت اسپاس، محاسبه تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از هیدروگراف واحد برای آبخوان آبرفتی دشت اسپاس و در نهایت مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از محاسبه بیلان با هیدروگراف واحد آبخوان آبرفتی دشت اسپاس پرداخته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، محدوده مطالعاتی اسپاس می‌باشد که در شمال غربی حوضه آبریز دریاچه طشک، بختگان و مهارلو واقع شده است. مساحت کل محدوده اسپاس برابر ۱۵۹۰/۰۳ کیلومترمربع است که از این میزان ۷۸۵/۷۲ کیلومترمربع دشت، ۷۹۵/۶۹ کیلومترمربع ارتفاعات و ۸/۶۲ کیلومترمربع دریاچه ملاصدرا می‌باشد. حداکثر ارتفاع منطقه اسپاس برابر ۳۴۹۵ متر و حداقل ارتفاع برابر ۲۰۶۱ متر است. محدوده مطالعاتی اسپاس دارای آبخوان آبرفتی به مساحت ۷۲۶/۸۱ کیلومترمربع با ارتفاع متوسط ۲۱۸۶/۵ متر می‌باشد. متوسط بارش سالانه در آبخوان اسپاس با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه (ایستگاه هواشناسی سده، خسرو شیرین، جمال بیگ، امامزاده اسماعیل، دشتک و احمدآباد چهاردانگه)، ۴۰۱ میلی‌متر در سال محاسبه شده است (شکل ۱).

آبخوان آبرفتی اسپاس، دارای ۶۲ پیزومتر با پراکندگی نسبتاً مناسب می‌باشد که به صورت ماهانه این پیزومترها توسط سازمان مدیریت منابع آب ایران مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. در شکل ۱ موقعیت و پراکندگی چاه‌های پیزومتر موجود در آبخوان محدوده مطالعاتی اسپاس



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی

Fig 1 Study area and weather stations

حوضه آبریز، یک محدوده مطالعاتی و یا یک آبخوان در زمان معین می‌باشد. کلیه آب‌هایی که در یک زمان معین وارد یک محدوده خاص می‌گردند، یا در آن محدوده به مصرف می‌رسند یا ذخیره شده و یا به صورت‌های مختلف از محدوده خارج می‌گردند. به‌طور کلی، مبنای بیلان آب، بر عوامل ورودی و خروجی استوار است. اختلاف عوامل ورودی و خروجی بیلان آب، بیانگر تغییرات ذخیره منابع آب سطحی و زیرزمینی محدوده مورد نظر می‌باشد. هرچه دوره زمانی محاسبه بیلان طولانی‌تر باشد عوامل بیلان به دلیل نزدیکی به شرایط متوسط اقلیمی به‌حالت پایدار نزدیک‌تر می‌شوند ( Fars Regional Water Joint Stock Company, 2015).

#### مولفه‌های ورودی به آبخوان

حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی به آبخوان ( $Q_{In}$ ) به‌منظور محاسبه حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی به آبخوان محدوده مطالعاتی آسپاس، با وجود شبکه پیزومتر و ضریب قابلیت انتقال، نقشه‌های هم‌پتانسیل آب زیرزمینی رسم شده‌است و با توجه به این اطلاعات، جهت جریان ترسیم و ورودی‌ها و خروجی‌ها مشخص شد (شکل

$$Q_{I_s} = (Q_P + Q_R + Q_I + Q_{S_w}) \quad (2)$$

$Q_P$  = حجم نفوذ از بارش بر سطح آبخوان

$Q_R$  = حجم تغذیه از جریان‌های سطحی یا رودخانه‌ها

$Q_I$  = حجم نفوذ از آب مصرفی کشاورزی

$Q_{S_w}$  = حجم نفوذ از آب مصرفی شرب و صنعت

تغییرات ذخیره آبخوان، در بیلان‌های با حالت متعادل (مجموع ورودی‌ها با مجموع خروجی‌ها برابر باشد) صفر است. تغییرات ذخیره آبخوان، در بیلان‌هایی که مجموع خروجی‌ها از مجموع ورودی‌ها بیشتر باشد منفی است ( Fars Regional Water Joint Stock Company, 2015).

#### نتایج و بحث

بیلان آب یک محدوده، حاصل نتایج مطالعات هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی است و بدین ترتیب پارامترهای مختلف و زیادی به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در محاسبات آن دخالت دارد. بیلان آب، تراز نامه بین عوامل ورودی و عوامل خروجی آب در یک



$I =$  شیب متوسط جریان یا گرادیان هیدرولیکی که از تقسیم اختلاف ارتفاع دو منحنی تراز متوالی بر متوسط فاصله افقی در منحنی تراز مقطع به دست می‌آید که بدون بعد می‌باشد (درصد).

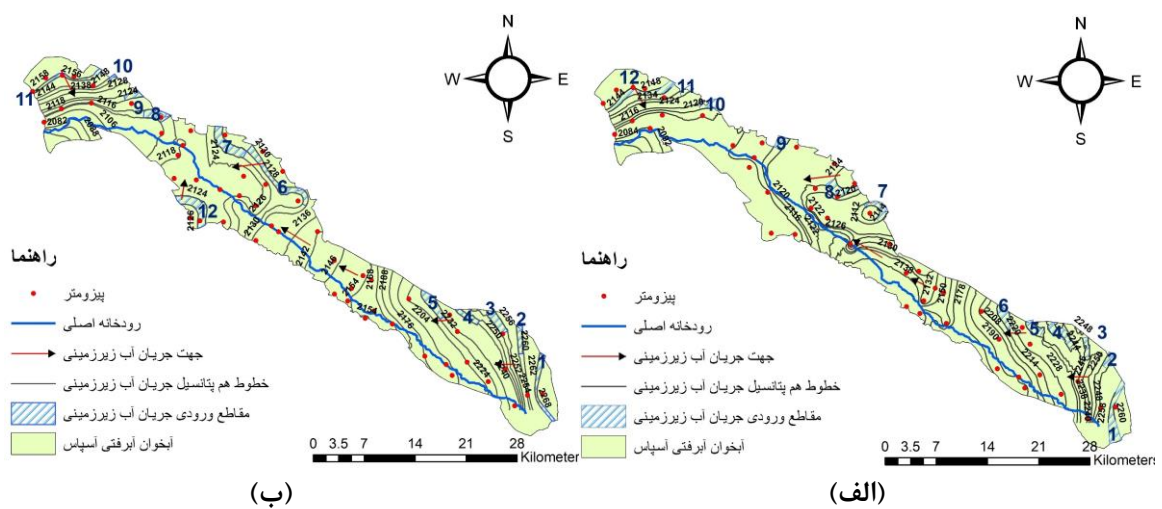
بر این اساس، میزان حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی به آبخوان برای هر سال به تفکیک در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد و همین‌طور میزان میانگین حجم جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان آسپاس ۵۶/۸۷ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده‌است.

(۲) و با استفاده از معادله دارسی (رابطه ۲) میزان جریان ورودی زیرزمینی به آبخوان آبرفتی آسپاس برای دوره شانزده‌ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۱) محاسبه شده‌است.

$$Q_{In} = L \times I \times T \times t \quad (3)$$

$L =$  طول مقطع جریان ورودی (برحسب متر)  
 $T =$  ضریب قابلیت انتقال متوسط در مقطع ورودی (محاسبه شده توسط آزمایش پمپاژ، بر حسب متر مربع بر روز (Fars Regional Water Joint Stock Company, 2015))

$t =$  دوره بیلان (بر حسب روز)



شکل ۲. نقشه‌ی هم‌پتانسیل آب زیرزمینی سال ۱۳۸۱ (الف) و ۱۳۹۶ (ب).

Fig 2. groundwater level and flow direction maps for 2002 and 2017

جدول ۱. حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی سالانه به آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱).

Table 1. Annual Groundwater Inflow to Aspas Aquifer During 2002-2017

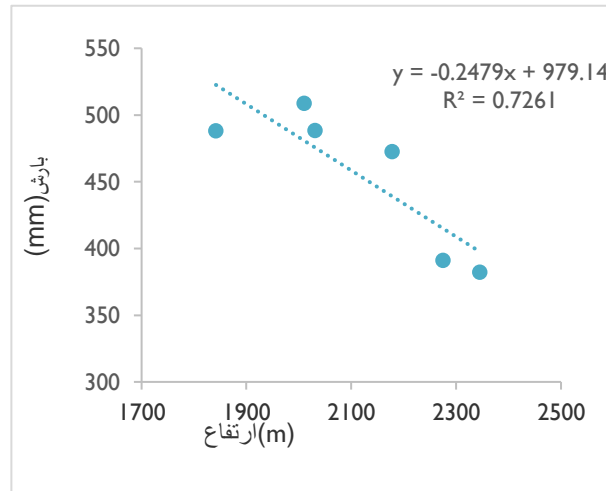
| سال آبی                            | ۸۱-۸۲  | ۸۲-۸۳  | ۸۳-۸۴  | ۸۴-۸۵  | ۸۵-۸۶  | ۸۶-۸۷  | ۸۷-۸۸  | ۸۸-۸۹  | ۸۹-۹۰ |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی (MCM) | ۶۲/۹۳۳ | ۶۱/۴۳۷ | ۶۳/۰۴۳ | ۶۰/۰۰۲ | ۶۲/۵۱۷ | ۵۸/۸۶۵ | ۵۸/۰۳۳ | ۵۴/۶۶۵ |       |
| سال آبی                            | ۹۰-۸۹  | ۹۱-۹۰  | ۹۲-۹۱  | ۹۳-۹۲  | ۹۴-۹۳  | ۹۵-۹۴  | ۹۶-۹۵  | ۹۷-۹۶  |       |
| حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی (MCM) | ۵۲/۶۴۶ | ۵۳/۹۷  | ۶۷/۷۸۴ | ۵۳/۷۶۳ | ۴۹/۲۶۷ | ۵۲/۶۹۳ | ۵۳/۸۸۷ | ۴۴/۴۸۲ |       |

۱۰۰۰ متر ۲۴۷ میلی‌متر از میزان بارش باران کاسته می‌شود. باتوجه به اینکه میانگین ارتفاع آبخوان آسپاس برابر ۲۱۸۶/۵ متر می‌باشد و همچنین ایستگاه هواشناسی سده ارتفاعی نزدیک به ارتفاع میانگین آبخوان دارد و همچنین دارای موقعیت مناسب است. این ایستگاه به عنوان ایستگاه معرف آبخوان معرفی شد. میانگین بارش

نفوذ مستقیم بارش به آبخوان آبرفتی آسپاس ( $Q_p$ ) با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و ارتفاع ایستگاه‌های موجود در منطقه (ایستگاه‌های سده، خسروشیرین، جمال بیگ، دشتک، امامزاده اسماعیل و احمدآباد چهاردانگه) رابطه‌ی بین ارتفاع و بارش محاسبه شد، که نمایانگر این است که با افزایش ارتفاع به‌اندازه

با توجه به مساحت آبخوان و ضریب نفوذ مستقیم بارش به آبخوان، میزان حجم نفوذ مستقیم بارش به آبخوان برای این دوره (۱۳۸۱-۱۳۹۶) محاسبه شد.

سالیانه در ایستگاه سده (ایستگاه معرف آبخوان) برابر ۴۰۳/۲۳ میلی‌متر در سال است در نتیجه متوسط بارندگی سالیانه در منطقه ۴۰۱/۱۶ میلی‌متر در سال محاسبه شد،

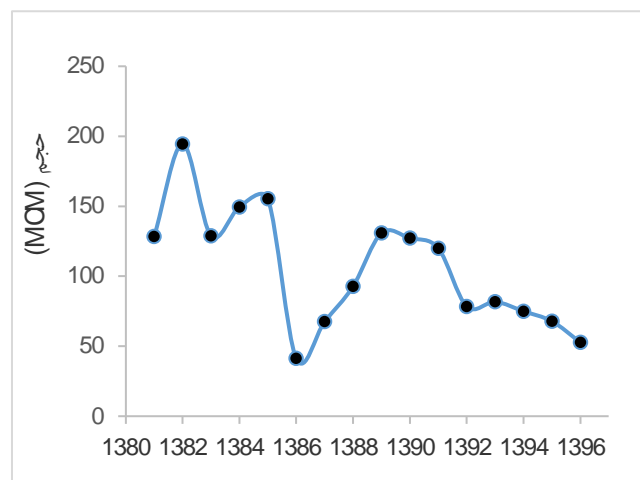


شکل ۳. تغییرات بارش نسبت به ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی.

Fig 3. Precipitation lapse rate based on weather station data

برآورد شد، در نتیجه حجم متوسط بارندگی سالیانه برای سال‌های آبی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ برابر ۲۹۲/۸۳ میلیون متر مکعب در سال محاسبه شد. با توجه به ضریب نفوذ ۳۶/۱۴ درصدی بارش (سازمان مدیریت منابع آب ایران)، به‌طور متوسط، سالانه ۱۰۵/۸۳ میلیون متر مکعب به‌طور مستقیم از طریق بارش موجب تغذیه آبخوان می‌شود، که میزان حجم نفوذ یافته از طریق بارش به آبخوان آبرفتی آسپاس، برای هر سال در جدول ۲، ارائه شده‌است.

با توجه به اینکه در سال ۱۳۸۶ سد ملاصدرا در منطقه‌ی آسپاس به بهره‌برداری رسیده است، میزان مساحت آبخوان آسپاس از ۷۳۳/۸۶۵ به ۷۲۶/۸۰۸ کاهش پیدا کرد، این بدین معناست که میزان بارش مستقیم روی سد ملاصدرا از سال ۱۳۸۶ به‌بعد به‌صورت مجزا محاسبه شده است. با این تفاسیر حجم متوسط سالیانه بارندگی از سال‌های آبی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ برابر، ۴۱۸/۷۹ میلیون متر مکعب در سال برآورد شد و همچنین برای سال‌های آبی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ برابر ۲۳۵/۵۷ میلیون متر مکعب در سال



شکل ۴. حجم نفوذ از بارش به آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۸۱-۱۳۹۶).

Fig 4. Groundwater recharge from precipitation during 2002-2017



جدول ۲. حجم نفوذ از بارش به آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۸۱-۱۳۹۶).

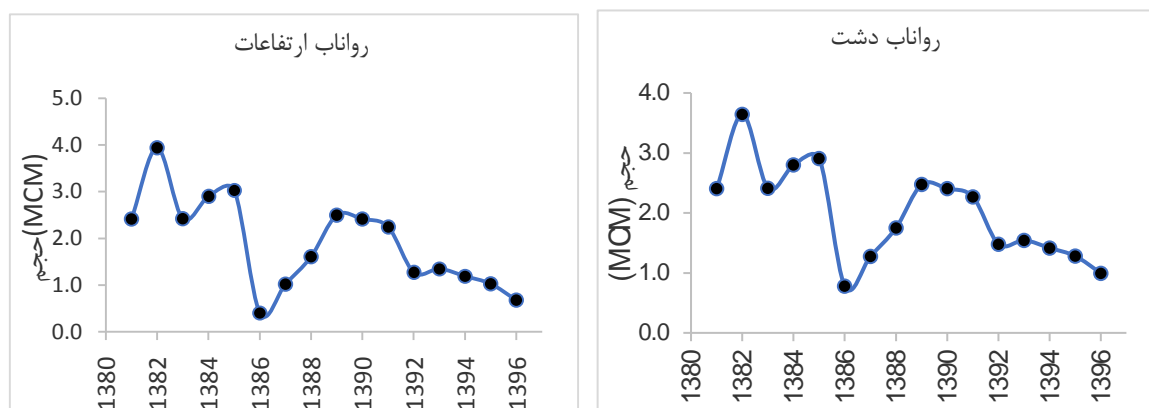
Table 2. Groundwater recharge from precipitation during 2002-2017

| سال آبی                             | ۸۱-۸۲   | ۸۳-۸۲   | ۸۴-۸۳   | ۸۵-۸۴   | ۸۶-۸۵   | ۸۷-۸۶  | ۸۸-۸۷  | ۸۹-۸۸  |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| حجم بارش نفوذ یافته به آبخوان (MCM) | ۱۲۸/۵۰۵ | ۱۹۴/۵۱۸ | ۱۲۸/۸۷۶ | ۱۴۹/۵۱۰ | ۱۵۵/۳۴۵ | ۴۱/۴۰۳ | ۶۷/۶۹۶ | ۹۲/۸۳۳ |
| سال آبی                             | ۹۰-۸۹   | ۹۱-۹۰   | ۹۲-۹۱   | ۹۳-۹۲   | ۹۴-۹۳   | ۹۵-۹۴  | ۹۶-۹۵  | ۹۷-۹۶  |
| حجم بارش نفوذ یافته به آبخوان (MCM) | ۱۳۰/۹۲۰ | ۱۲۷/۲۴۳ | ۴۲۰/۰۴۶ | ۷۸/۵۱۸  | ۸۱/۸۵۴  | ۷۵/۱۰۳ | ۶۷/۹۵۹ | ۵۹/۹۰۸ |

معادل ۹/۵ درصد کل رواناب (سازمان مدیریت منابع آب ایران) است و به‌طور میانگین نفوذ از رواناب ارتفاعات و دشت به آبخوان برابر ۳/۸۸ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده‌است. تغییرات حجم نفوذ از رواناب دشت و ارتفاعات به آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۸۱-۱۳۹۶) در شکل ۵ و جدول ۳ و ۴ به تفکیک هر سال نمایش داده شده‌است.

### نفوذ از رواناب به آبخوان آبرفتی آسپاس ( $Q_R$ )

میزان متوسط رواناب حاصل از ارتفاعات منطقه آسپاس با مساحت ۷۹۵/۶۹ کیلومتر مربع برابر ۱۹/۹۷ میلیون متر مکعب در سال و میزان متوسط رواناب دشت محدوده مطالعاتی آسپاس با مساحت ۷۸۵/۷۲ کیلومتر مربع برابر ۲۰/۹۵ میلیون متر مکعب در سال است. و با توجه به ضریب نفوذ از جریان‌های سطحی و رواناب به آبخوان، که



شکل ۵. حجم نفوذ از رواناب دشت و ارتفاعات به آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۸۱-۱۳۹۶).

Fig 5. Groundwater recharge from runoff (plain and highlands) during 2002-2017

جدول ۳. حجم نفوذ از رواناب دشت و ارتفاعات به آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۸۱-۱۳۹۶).

Table 3. Groundwater recharge from runoff over plain during 2002-2017

| سال آبی                                  | ۸۱-۸۲ | ۸۳-۸۲ | ۸۴-۸۳ | ۸۵-۸۴ | ۸۶-۸۵ | ۸۷-۸۶ | ۸۸-۸۷ | ۸۹-۸۸ |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| حجم نفوذ رواناب دشت به آبخوان (MCM)      | ۲/۴۰۵ | ۳/۶۴۵ | ۲/۴۱۲ | ۲/۸۰۰ | ۲/۹۱  | ۰/۷۷۷ | ۱/۲۷۵ | ۱/۷۵۲ |
| سال آبی                                  | ۹۰-۸۹ | ۹۱-۹۰ | ۹۲-۹۱ | ۹۳-۹۲ | ۹۴-۹۳ | ۹۵-۹۴ | ۹۶-۹۵ | ۹۷-۹۶ |
| حجم نفوذ رواناب دشت به آبخوان (MCM)      | ۲/۴۷۵ | ۲/۴۰۵ | ۲/۲۶۸ | ۱/۴۸۲ | ۱/۵۴۴ | ۱/۴۱۶ | ۱/۲۸  | ۰/۹۹۵ |
| حجم نفوذ رواناب ارتفاعات به آبخوان (MCM) | ۲/۴۱  | ۳/۹۳۷ | ۲/۴۱۸ | ۲/۸۹۶ | ۳/۰۳۱ | ۰/۴۰۳ | ۱/۰۱۷ | ۱/۶۰۵ |
| سال آبی                                  | ۹۰-۸۹ | ۹۱-۹۰ | ۹۲-۹۱ | ۹۳-۹۲ | ۹۴-۹۳ | ۹۵-۹۴ | ۹۶-۹۵ | ۹۷-۹۶ |
| حجم نفوذ رواناب ارتفاعات به آبخوان (MCM) | ۲/۴۹۵ | ۲/۴۰۹ | ۲/۲۴۱ | ۱/۲۷  | ۱/۳۴۸ | ۱/۱۹۱ | ۱/۰۲۴ | ۰/۶۷۲ |

کشاورزی از طریق چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوت موجود در آبخوان آبرفتی آسیاس برداشت شده‌است که از این میزان آب مصرفی، با توجه به ضریب نفوذ از آب کشاورزی (۲۷ درصد) (سازمان مدیریت منابع آب ایران)، ۵۶/۷۲۵ میلیون متر مکعب سالانه به ذخیره آبخوان باز می‌گردد. میزان حجم نفوذ از آب مصرفی کشاورزی به آبخوان آبرفتی آسیاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱) در جدول ۴ به تفکیک هر سال نمایش داده شده‌است.

### تغذیه از آب مصرفی کشاورزی ( $Q_I$ )

آب بهره برداری شده از آبخوان معمولاً به مصرف کشاورزی، شرب و صنعت می‌رسد. بخشی از هر نوع مصرف در صورتی که در همان محدوده به مصرف برسد مجدداً به ذخیره آبخوان باز می‌گردد. نفوذ از آب مصرفی کشاورزی به نوع روش، نوبت و نحوه آبیاری، جنس و نفوذپذیری خاک و نوع گیاه بستگی دارد. به‌طور متوسط ۲۱۲/۵۷ میلیون متر مکعب در سال، آب برای مصارف

جدول ۴. حجم نفوذ از آب مصرفی کشاورزی به آبخوان آبرفتی آسیاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱)

Table 4. Groundwater recharge from irrigation (irrigation return flow) during 2002-2017

| سال آبی                                   | ۸۱-۸۲  | ۸۲-۸۳  | ۸۳-۸۴  | ۸۴-۸۵  | ۸۵-۸۶  | ۸۶-۸۷  | ۸۷-۸۸  |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| حجم نفوذ آب مصرفی کشاورزی به آبخوان (MCM) | ۶۰/۱۳  | ۶۰/۲۴۶ | ۶۰/۳۶۲ | ۶۰/۴۷۸ | ۶۰/۵۹۴ | ۶۰/۷۱۱ | ۶۰/۸۲۷ |
| سال آبی                                   | ۹۰-۸۹  | ۹۱-۹۰  | ۹۲-۹۱  | ۹۳-۹۲  | ۹۴-۹۳  | ۹۵-۹۴  | ۹۶-۹۵  |
| حجم نفوذ آب مصرفی کشاورزی به آبخوان (MCM) | ۵۹/۱۵۹ | ۵۷/۳۷۴ | ۵۵/۵۹۰ | ۵۳/۸۰۵ | ۵۲/۰۲۰ | ۵۰/۲۳۶ | ۴۸/۴۵۱ |

میلیون متر مکعب صرف شرب و صنعت می‌شود که با توجه ضریب نفوذ (۸۰ درصد) (سازمان مدیریت منابع آب ایران)، ۳/۱۴ میلیون متر مکعب در سال وارد آبخوان آسیاس می‌شود. میزان حجم نفوذ از آب مصرفی شرب و صنعت به آبخوان آبرفتی آسیاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱) در جدول ۵ قابل مشاهده می‌باشد.

### تغذیه از آب مصرفی شرب و صنعت ( $Q_{Sw}$ )

میزان قابل توجهی از تخلیه‌هایی که به هر طریقی از آبخوان صورت می‌گیرد صرف کشاورزی می‌گردد، حال بخشی از آن نیز صرف صنعت و شرب شهری و روستایی می‌گردد که این مولفه هم دارای یک ضریب نفوذ می‌باشد که به‌نحوی موجب تغذیه آبخوان منطقه مورد مطالعه می‌شود. در منطقه آسیاس به‌طور میانگین سالانه ۳/۹۳

جدول ۵. حجم نفوذ از آب مصرفی شرب و صنعت به آبخوان آبرفتی آسیاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱)

Table 5. Municipal-industrial return flow during 2002-2017

| سال آبی                                      | ۸۱-۸۲ | ۸۲-۸۳ | ۸۳-۸۴ | ۸۴-۸۵ | ۸۵-۸۶ | ۸۶-۸۷ | ۸۷-۸۸ |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| حجم نفوذ آب مصرفی شرب و صنعت به آبخوان (MCM) | ۴/۲۰۰ | ۳/۸۸۰ | ۳/۵۶۱ | ۳/۲۴۲ | ۲/۹۲۳ | ۲/۶۰۴ | ۱/۹۵۸ |
| سال آبی                                      | ۹۰-۸۹ | ۹۱-۹۰ | ۹۲-۹۱ | ۹۳-۹۲ | ۹۴-۹۳ | ۹۵-۹۴ | ۹۶-۹۵ |
| حجم نفوذ آب مصرفی شرب و صنعت به آبخوان (MCM) | ۲/۲۳۴ | ۲/۵۱۱ | ۲/۷۸۷ | ۳/۰۶۴ | ۳/۳۴۰ | ۳/۶۱۷ | ۳/۸۹۳ |

می‌شوند و برای مصارف کشاورزی، شرب، صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور میانگین سالانه ۱۷۶/۸۵ میلیون متر مکعب، آب از طریق چاه‌های موجود در آبخوان آبرفتی آسیاس تخلیه شده‌است. همین‌طور به‌ترتیب ۴/۶۰، ۱۰/۶۰ میلیون متر مکعب در سال از چشمه‌های آبرفتی و قنات آبرفتی، از آبخوان آبرفتی آسیاس تخلیه شده‌است. میزان حجم تخلیه آب زیرزمینی

### مولفه‌های خروجی از آبخوان

#### برداشت و تخلیه از طریق چاه‌ها، قنات‌ها، چشمه‌های آبرفتی آبخوان ( $Q_w$ )

یکی از مهم‌ترین مواردی که موجب تخلیه آب‌های زیرزمینی یک منطقه می‌شود چاه‌ها هستند. چاه‌ها منابعی هستند که برای دسترسی به آب‌های زیرزمینی به‌صورت دستی یا ماشینی و به‌صورت عمیق یا نیمه عمیق حفر

از طریق چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات موجود در آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱) به ترتیب در جداول ۷ و ۸ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۶. حجم تخلیه آب زیرزمینی از طریق چاه‌ها و چشمه‌ها در آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱)  
Table 6. Groundwater abstraction rate by wells in Aspas alluvial aquifer during 2002-2017

| سال آبی                                    | ۸۱-۸۲   | ۸۳-۸۲   | ۸۴-۸۳   | ۸۵-۸۴   | ۸۶-۸۵   | ۸۷-۸۶   | ۸۸-۸۷   | ۸۹-۸۸   |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| حجم تخلیه به‌وسیله چاه‌ها از آبخوان (MCM)  | ۱۷۹/۷۶۳ | ۱۸۱/۸۵۵ | ۱۸۳/۹۴۷ | ۱۸۶/۰۳۹ | ۱۸۸/۱۳۱ | ۱۹۰/۲۲۳ | ۱۹۲/۳۱۵ | ۱۹۴/۴۰۸ |
| سال آبی                                    | ۹۰-۸۹   | ۹۱-۹۰   | ۹۲-۹۱   | ۹۳-۹۲   | ۹۴-۹۳   | ۹۵-۹۴   | ۹۶-۹۵   | ۹۷-۹۶   |
| حجم تخلیه به‌وسیله چاه‌ها از آبخوان (MCM)  | ۱۸۸/۲۳۳ | ۱۸۲/۰۵۸ | ۱۷۵/۸۸۳ | ۱۶۹/۷۰۸ | ۱۶۳/۵۳۳ | ۱۵۷/۳۵۸ | ۱۵۱/۱۸۳ | ۱۴۵/۰۰۸ |
| سال آبی                                    | ۸۱-۸۲   | ۸۳-۸۲   | ۸۴-۸۳   | ۸۵-۸۴   | ۸۶-۸۵   | ۸۷-۸۶   | ۸۸-۸۷   | ۸۹-۸۸   |
| حجم تخلیه به‌وسیله چشمه‌ها از آبخوان (MCM) | ۷/۵۰۲   | ۶/۶۸۹   | ۵/۸۷۶   | ۵/۰۶۳   | ۴/۲۵۰   | ۳/۴۳۷   | ۲/۶۲۴   | ۱/۸۱۳   |
| سال آبی                                    | ۹۰-۸۹   | ۹۱-۹۰   | ۹۲-۹۱   | ۹۳-۹۲   | ۹۴-۹۳   | ۹۵-۹۴   | ۹۶-۹۵   | ۹۷-۹۶   |
| حجم تخلیه به‌وسیله چشمه‌ها از آبخوان (MCM) | ۲/۴۲۰   | ۳/۰۲۷   | ۳/۶۳۴   | ۴/۲۴۱   | ۴/۸۴۸   | ۵/۴۵۵   | ۶/۰۶۲   | ۶/۶۶۹   |

جدول ۷. حجم تخلیه آب زیرزمینی از طریق قنات آبرفتی در آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱) (سازمان مدیریت منابع آب ایران)

Table 7. Discharge of qanats in Aspas alluvial aquifer during 2002-2017

| سال آبی                                   | ۸۱-۸۲  | ۸۳-۸۲  | ۸۴-۸۳  | ۸۵-۸۴  | ۸۶-۸۵  | ۸۷-۸۶ | ۸۸-۸۷ | ۸۹-۸۸ |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| حجم تخلیه به‌وسیله چاه‌ها از آبخوان (MCM) | ۳۳/۲۲۰ | ۲۹/۰۷۹ | ۲۴/۹۳۸ | ۲۰/۷۹۷ | ۱۶/۶۵۶ | ۱۵/۱۵ | ۸/۳۷۴ | ۴/۲۳۲ |
| سال آبی                                   | ۹۰-۸۹  | ۹۱-۹۰  | ۹۲-۹۱  | ۹۳-۹۲  | ۹۴-۹۳  | ۹۵-۹۴ | ۹۶-۹۵ | ۹۷-۹۶ |
| حجم تخلیه به‌وسیله چاه‌ها از آبخوان (MCM) | ۳/۸۴۱  | ۳/۴۵۰  | ۳/۰۵۹  | ۲/۶۶۸  | ۲/۲۷۷  | ۱/۸۸۶ | ۱/۴۹۵ | ۱/۱۰۴ |

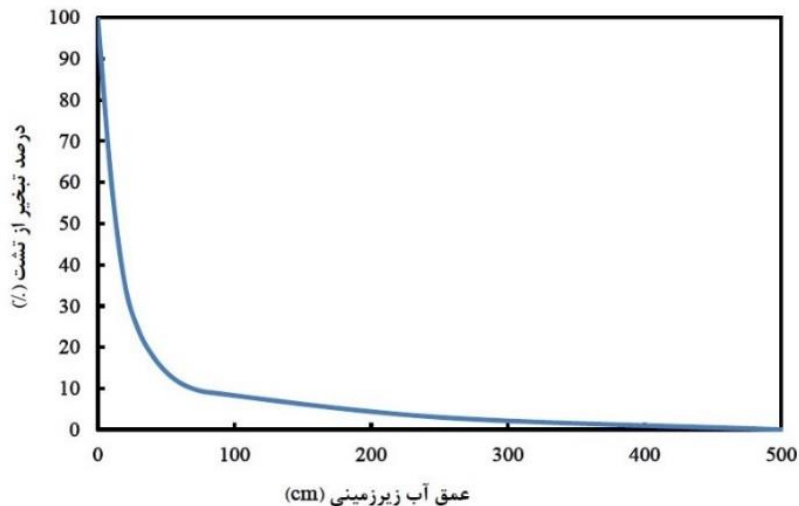
دوره، و تخمین مساحت منطقه تبخیر از آب زیرزمینی ۱ تا ۳ متر و ۳ تا ۴ متر به‌ترتیب با وسعت ۴/۳۱ و ۱۳/۷۴ کیلومتر مربع، متوسط تبخیر از آب زیرزمینی ۱/۰۳ میلیون متر مکعب در سال محاسبه شده‌است. نقشه‌های هم‌عمق به‌کمک شبکه چاه‌های پی‌زومتر موجود در منطقه، واضح است که با توجه به افت سطح آب زیرزمینی برای سال ۱۳۸۷-۱۳۹۶ میزان تبخیر از آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی آسپاس کاهش یافته و بسیار ناچیز است (شکل ۷).

میزان حجم تبخیر از آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱) در جدول ۸ قابل مشاهده است.

### میزان تبخیر از آب‌های زیرزمینی ( $Q_E$ )

تبخیر از آب زیرزمینی به عمق سطح آب، نوع و بافت خاک، درجه حرارت محیط، پوشش گیاهی، شدت باد، رطوبت نسبی هوا و غلظت املاح آب بستگی دارد. عمق سطح آب عامل اصلی است که هر چه به سطح زمین نزدیک‌تر باشد، مقدار تبخیر از آب زیرزمینی نیز بیشتر می‌شود. شکل ۶ رابطه بین تغییرات عمق آب زیرزمینی و درصد تبخیر از تشت را نمایش می‌دهد (Zare et al., 2001).

با توجه به داده‌های ایستگاه تبخیر سنجی سده و رسم نقشه‌های هم‌عمق آب زیرزمینی به‌کمک چاه‌های مشاهداتی موجود در آبخوان آبرفتی آسپاس برای این

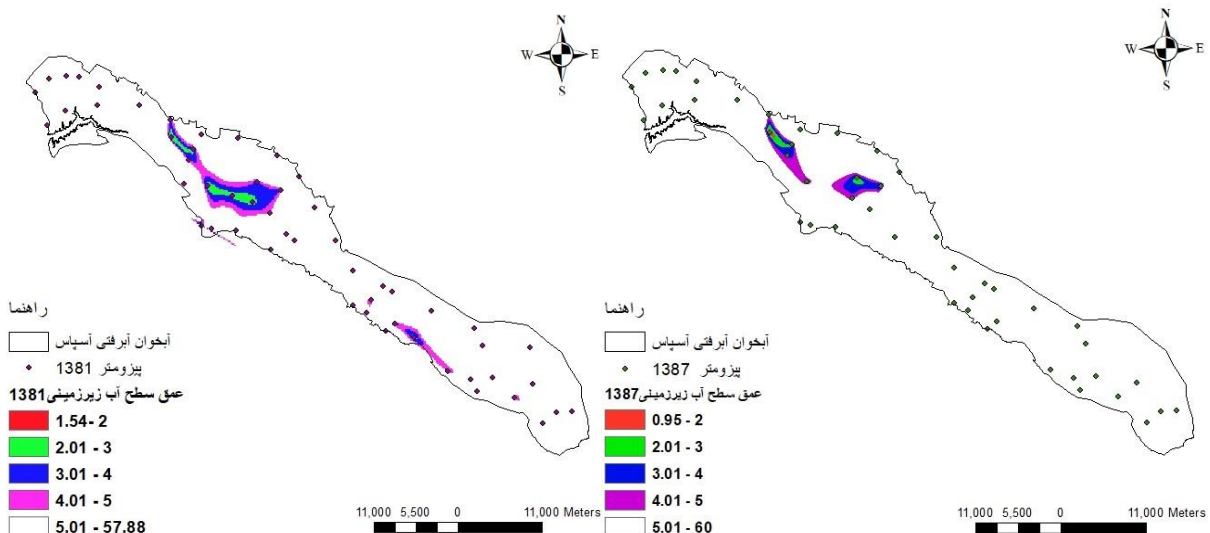


شکل ۶. رابطه بین عمق آب زیرزمینی و درصد معادل تبخیر از تشت (زارع و همکاران، ۲۰۰۱)  
**Fig 6. Ratio of groundwater/pan evaporation versus groundwater depth**

جدول ۸. حجم تبخیر از آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۸۱-۱۳۹۶)

**Table 8. groundwater evaporation during 2002-2017**

| سال آبی                                  | ۸۱-۸۲ | ۸۳-۸۲ | ۸۴-۸۳ | ۸۵-۸۴ | ۸۶-۸۵ | ۸۷-۸۶ | ۸۸-۸۷ | ۸۹-۸۸ |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| حجم تخلیه به‌وسیله تبخیر از آبخوان (MCM) | ۱/۰۰۱ | ۲/۰۴۹ | ۲/۲۰۳ | ۲/۹۹۵ | ۲/۶۹۲ | ۳/۶۸۹ | ۰/۵۷۹ | ۰/۲۴۳ |
| سال آبی                                  | ۹۰-۸۹ | ۹۱-۹۰ | ۹۲-۹۱ | ۹۳-۹۲ | ۹۴-۹۳ | ۹۵-۹۴ | ۹۶-۹۵ | ۹۷-۹۶ |
| حجم تخلیه به‌وسیله تبخیر از آبخوان (MCM) | ۰/۱۶۸ | ۰/۲۲۰ | ۰/۲۵۷ | ۰/۲۷۸ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۲ |



شکل ۷. نقشه‌های هم عمق آب زیرزمینی برای سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۷

**Fig. 7. groundwater depth for years 2002 and 2008**

ایجاد ایستگاه هیدرومتری در ابتدا و انتهای رودخانه جهت اندازه‌گیری دبی رودخانه می‌باشد. با توجه به اینکه ایستگاه‌های هیدرومتری دشت آسپاس فاقد اطلاعات کاملی است نمی‌توان از این روش استفاده کرد. با توجه به

زهکشی از آبخوان توسط رودخانه ( $Q_D$ ) در دشت آسپاس رودخانه کر جریان دارد و جریان سطحی از محدوده‌های مجاور وارد منطقه نمی‌شود. یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای محاسبه زهکشی آب زیرزمینی،

رودخانه و ذوب برف در منطقه می‌باشد، با تعریف یک بیلان برای رودخانه می‌توان میزان زهکشی را محاسبه نمود (رابطه ۴).

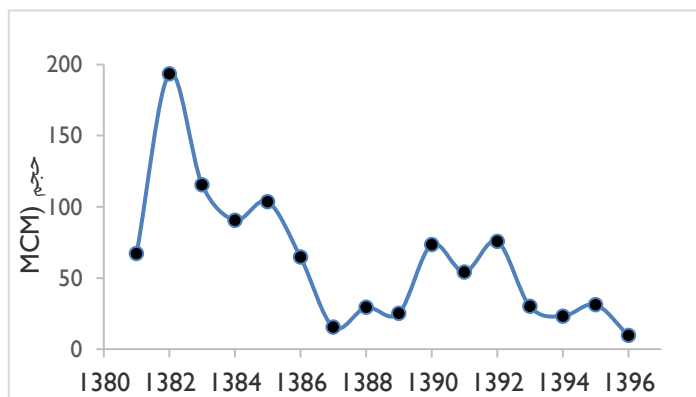
$$D = Q_a - R - S - SP \quad (5)$$

$Q_a$  بیانگر میزان حجم آب وارد شده به سد از رودخانه منطقه آسپاس یا به عبارتی میزان حجم آبی که از طریق رودخانه منطقه آسپاس از محدوده خارج می‌شود،  $R$  مجموع رواناب ارتفاعات و دشت،  $D$  زهکشی از آب زیرزمینی،  $S$  میزان آب حاصل از ذوب برف و  $SP$  میزان حجم آب بلااستفاده چشمه‌های آبرفتی و آهکی در محدوده می‌باشد. در منطقه آسپاس در مسیر رودخانه، آب توسط رودخانه از آبخوان زهکش می‌شود و موجب تخلیه آبخوان به اندازه ۶۲/۷۰ میلیون متر مکعب در سال می‌شود. میزان تغییرات حجم زهکشی رودخانه از آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱) در شکل ۸ و جدول ۹ قابل مشاهده است.

اینکه رودخانه منطقه آسپاس وارد سد ملاصدرا می‌شود، می‌توان با تعریف یک بیلان ساده، مقدار زهکشی را محاسبه کرد. به طوری که ورودی سد تنها از سه طریق صورت می‌گیرد (بارش مستقیم روی سد، ورودی از طریق رودخانه منطقه آسپاس و ورودی از طریق رودخانه منطقه خسرو و شیرین)، می‌توان به کمک رابطه ۳، میزان حجم آب وارد شده به سد از رودخانه منطقه آسپاس را محاسبه کرد (شکل ۱).

$$Q_a = Q_s - Q_k - Q_b \quad (4)$$

$Q_a$  بیانگر میزان حجم آب وارد شده به سد ملاصدرا از رودخانه منطقه آسپاس،  $Q_k$  بیانگر میزان حجم آب وارد شده به سد از رودخانه منطقه خسرو شیرین،  $Q_b$  برابر میزان حجم بارش مستقیم در مخزن سد ملاصدرا و  $Q_s$  برابر میزان کل حجم ورودی آب به سد ملاصدرا می‌باشد. با توجه اینکه آب رودخانه منطقه آسپاس ( $Q_a$ )، حاصل از زهکشی آب زیرزمینی، رواناب ارتفاعات و دشت، دبی بلااستفاده چشمه‌های آبرفتی و آهکی وارد شده به



شکل ۸. حجم زهکشی رودخانه از آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱)

Fig 8. Groundwater drainage by the river in Aspas alluvial aquifer during 2002-2017

جدول ۹. حجم زهکشی رودخانه از آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال‌های آبی (۱۳۹۶-۱۳۸۱)

Table 9. groundwater drainage by river in Aspas alluvial aquifer during 2002-2017

| سال آبی                                  | ۸۱-۸۲  | ۸۲-۸۳   | ۸۳-۸۴   | ۸۴-۸۵  | ۸۵-۸۶   | ۸۶-۸۷  | ۸۷-۸۸  | ۸۸-۸۹  |
|--|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|
| حجم تخلیه به وسیله زهکشی از آبخوان (MCM) | ۶۷/۱۷۵ | ۱۹۳/۴۳۸ | ۱۱۵/۵۳۹ | ۹۰/۶۷۷ | ۱۰۳/۶۸۵ | ۶۴/۷۳۶ | ۱۵/۵۴۴ | ۲۹/۳۸۸ |
| سال آبی                                  | ۹۰-۸۹  | ۹۱-۹۰   | ۹۲-۹۱   | ۹۳-۹۲  | ۹۴-۹۳   | ۹۵-۹۴  | ۹۶-۹۵  | ۹۷-۹۶  |
| حجم تخلیه به وسیله زهکشی از آبخوان (MCM) | ۲۵/۲۳۴ | ۷۳/۵۳۵  | ۵۴/۲۹۰  | ۷۵/۷۷۹ | ۳۰/۰۴۸  | ۲۳/۲۴۱ | ۳۱/۳۵۲ | ۹/۶۷۳  |

رابطه ۶، تغییرات سطح آب زیرزمینی برای هر سال، قابل محاسبه می‌باشد، که این مقادیر در جدول ۱۲، قابل مشاهده است.

$$\Delta H = \Delta V / (A \times S) \quad (۶)$$

$$\Delta H = \text{تغییرات سطح آب زیرزمینی}$$

$$\Delta V = \text{تغییرات حجم ذخیره آبخوان}$$

$$A = \text{مساحت آبخوان آبرفتی}$$

$$S = \text{ضریب ذخیره آبخوان}$$

### تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از بیلان

با استفاده از کسر مجموع عوامل خروجی (تخلیه از آبخوان) از مجموع عوامل ورودی (تغذیه آبخوان) تغییرات حجم ذخیره آبخوان برای دوره بیلان (۱۳۸۱-۱۳۹۶) قابل محاسبه می‌باشد. جدول ۱۰، میانگین تغییرات حجم ذخیره توسط بیلان برای این دوره را نشان می‌دهد که برابر ۲۹/۳۴۴- می‌باشد که بیانگر این است که در طی این دوره، سطح آب زیرزمینی کاهش یافته است. با استفاده از

جدول ۱۰. میانگین سالانه مولفه‌های بیلان طی دوره (۱۳۸۱-۱۳۹۶)

Table 10. mean annual values of water balance components from 2002-2017

| ۷۲۶/۸۰۸ | وسعت آبخوان آبرفتی آسپاس           |                        |  |
|---------|------------------------------------|------------------------|--|
| ۲۵۵/۷۹۶ | مجموع تخلیه آبخوان                 | تخلیه از آبخوان آبرفتی |  |
| ۱/۰۳۴   | تبخیر آب زیرزمینی                  |                        |  |
| ۶۲/۷۰۸  | تخلیه توسط زهکشی                   |                        |  |
| ۱۹۲/۰۵۳ | تخلیه توسط چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوت  |                        |  |
| ۲۲۶/۴۵۲ | مجموع تغذیه آبخوان                 | تغذیه به آبخوان آبرفتی |  |
| ۳/۱۴۲   | نفوذ از آب شرب و صنعت به آبخوان    |                        |  |
| ۵۶/۷۲۵  | نفوذ از آب مصرفی کشاورزی به آبخوان |                        |  |
| ۱۰۵/۸۲۷ | نفوذ مستقیم از طریق بارش           |                        |  |
| ۳/۸۸۸   | نفوذ از رواناب دشت و ارتفاعات      |                        |  |
| ۵۶/۸۷۱  | جریان‌های زیرزمینی ورودی به آبخوان |                        |  |
| -۲۹/۳۴۴ | تغییرات حجم ذخیره آبخوان (MCM)     |                        |  |

جدول ۱۱. محاسبه سطح آب زیرزمینی حاصل از بیلان

Table 11. groundwater level estimates using water balance equation

| سال آبی | تغییرات حجم ذخیره آبخوان ( $\Delta V$ ) (MCM) | تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از بیلان ( $\Delta H$ ) (m) | سطح آب زیرزمینی حاصل از بیلان (m) |
|---------|---|--|-----------------------------------|
| ۱۳۸۱    | -۲۸,۰۷۹                                       | -۰,۷۶۵   | ۲۱۶۷,۱۷۵                          |
| ۱۳۸۲    | -۸۵,۴۴۶                                       | -۲,۳۲۹   | ۲۱۶۶,۴۱۰                          |
| ۱۳۸۳    | -۷۱,۸۳۰                                       | -۱,۹۵۸   | ۲۱۶۴,۰۸۱                          |
| ۱۳۸۴    | -۲۶,۶۴۳                                       | -۰,۷۲۶   | ۲۱۶۲,۱۲۴                          |
| ۱۳۸۵    | -۲۸,۰۹۶                                       | -۰,۷۶۶   | ۲۱۶۱,۳۹۸                          |
| ۱۳۸۶    | -۱۰۹,۸۳۹                                      | -۳,۰۲۳   | ۲۱۶۰,۶۳۲                          |
| ۱۳۸۷    | -۲۸,۳۰۳                                       | -۰,۷۷۹   | ۲۱۵۷,۶۰۹                          |
| ۱۳۸۸    | -۱۶,۳۲۸                                       | -۰,۴۴۹   | ۲۱۵۶,۸۳۱                          |
| ۱۳۸۹    | ۳۰,۰۳۳  | ۰,۸۲۶  | ۲۱۵۶,۳۸۱                          |
| ۱۳۹۰    | -۱۶,۳۷۹                                       | -۰,۴۵۱   | ۲۱۵۷,۲۰۸                          |
| ۱۳۹۱    | ۱۳,۵۹۳  | ۰,۳۷۴  | ۲۱۵۶,۷۵۷                          |
| ۱۳۹۲    | -۶۰,۷۷۳                                       | -۱,۶۷۲   | ۲۱۵۷,۱۳۱                          |



|          |        |         |         |
|----------|--------|---------|---------|
| ۲۱۵۵,۴۵۹ | -۰,۳۱۴ | -۱۱,۴۰۲ | ۱۳۹۳    |
| ۲۱۵۵,۱۴۵ | -۰,۱۰۴ | -۳,۷۹۶  | ۱۳۹۴    |
| ۲۱۵۵,۰۴۰ | -۰,۳۷۵ | -۱۳,۶۲۸ | ۱۳۹۵    |
| ۲۱۵۴,۶۶۵ | -۰,۳۴۶ | -۱۲,۵۸۳ | ۱۳۹۶    |
|          | -۰,۸۰  | -۲۹,۳۴۴ | میانگین |

$$\Delta h = \frac{\sum(A_i \times h)}{A} \quad (7)$$

$\Delta h$  میانگین سطح آب زیرزمینی برای هر سال،  $A_i$  مساحت هر پلی گون حاصل از پلی گون بندی تیسن و  $h$  سطح آب زیرزمینی مشاهده شده توسط چاه‌های پیزومتر و  $A$  مساحت کل آبخوان آسپاس هیدروگراف واحد آبخوان محدوده مطالعاتی آسپاس برای سال‌های (۱۳۸۱-۱۳۹۶) نشانگر آن است که سطح آب زیرزمینی در این دوره ۱۶ ساله حدوداً ۱۳ متر افت داشته است که برای هر سال حدوداً ۸۲ سانتی متر در سال می‌باشد. جدول ۱۲ به محاسبه سطح آب زیرزمینی حاصل از هیدروگراف آبخوان پرداخته است که تراز آب زیرزمینی برای هر سال قابل مشاهده می‌باشد.

### محاسبه تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از هیدروگراف واحد آبخوان

به‌طور کلی در آبخوان آبرفتی دشت آسپاس، با وجود ۶۲ پیزومتر، ۴۹ پیزومتر دارای دیتاها با دوره زمانی بیلان برای این پروژه موجود است که از این ۴۹ پیزومتر برای رسم هیدروگراف واحد آبخوان نیز استفاده شده است. برای برخی چاه‌های پیزومتر در ماه‌ها مختلف به دلایلی نظیر شرایط آب و هوایی نامناسب و... اندازه‌گیری‌های پیزومتر صورت نگرفته که با استفاده از اینترپوله کردن داده‌ها این مسئله حل شده است. با استفاده از میانگین گیری وزنی (پلی گون بندی تیسن)، سطح اثر هر کدام از چاه‌های پیزومتر در آبخوان مشخص شد (رابطه ۷).

جدول ۱۲. محاسبه سطح آب زیرزمینی حاصل از هیدروگراف آبخوان

Table 12. groundwater level estimates using water balance equation

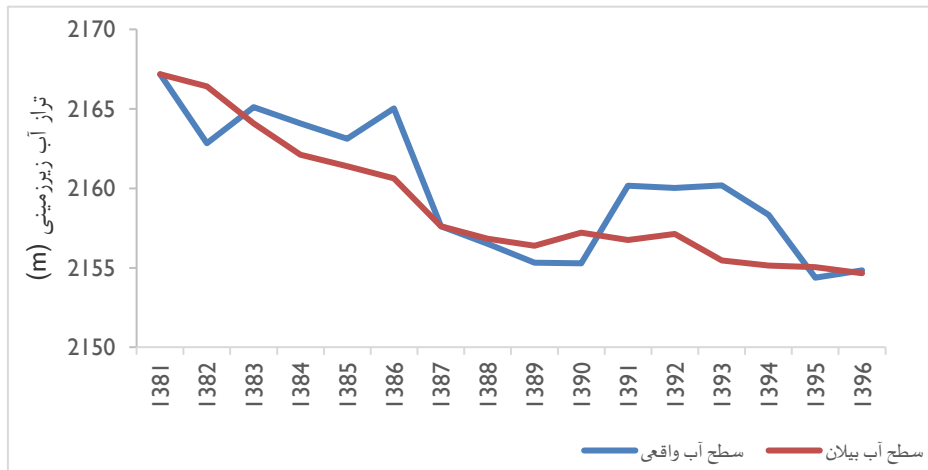
| سال آبی                   | ۸۱-۸۲   | ۸۲-۸۳   | ۸۳-۸۴   | ۸۴-۸۵   | ۸۵-۸۶   | ۸۶-۸۷   | ۸۷-۸۸   | ۸۸-۸۹   |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| سطح آب زیرزمینی واقعی (m) | ۲۱۶۷/۷۵ | ۲۱۶۲/۸۵ | ۲۱۶۵/۱۲ | ۲۱۶۴/۰۸ | ۲۱۶۳/۱۳ | ۲۱۶۵/۰۳ | ۲۱۵۷/۶۱ | ۲۱۵۶/۵۰ |
| سال آبی                   | ۹۰-۸۹   | ۹۱-۹۰   | ۹۲-۹۱   | ۹۳-۹۲   | ۹۴-۹۳   | ۹۵-۹۴   | ۹۶-۹۵   | ۹۷-۹۶   |
| سطح آب زیرزمینی واقعی (m) | ۲۱۵۵/۳۳ | ۲۱۵۵/۲۷ | ۲۱۶۰/۱۶ | ۲۱۶۰/۰۲ | ۲۱۶۰/۱۸ | ۲۱۵۸/۳۴ | ۲۱۵۴/۳۷ | ۲۱۵۴/۸۳ |

ذخیره آبخوان با استفاده از اطلاعات هیدروگراف واحد آبخوان برابر ۲۹/۹۶- میلیون متر مکعب است. در نتیجه تغییرات حجم ذخیره آبخوان آبرفتی آسپاس حاصل از بیلان که برابر ۲۹/۳۴۴- محاسبه شده است با نتایج حاصل از هیدروگراف واحد همخوانی مناسبی دارد.

شکل ۹، به مقایسه بین سطح آب زیرزمینی حاصل از هیدروگراف واحد (واقعی) و سطح آب زیرزمینی حاصل از بیلان پرداخته است که هر دو نمودار نشان دهنده کاهش سطح آب زیرزمینی به‌طور میانگین حدود ۸۰ سانتی متر در سال است.

### مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از بیلان و هیدروگراف واحد

با توجه به اینکه با استفاده نتایج حاصل از هیدروگراف واحد آبخوان آسپاس تراز واقعی آب زیرزمینی محاسبه شده است (جدول ۱۲) در نتیجه تغییرات سطح آب زیرزمینی نیز قابل محاسبه می‌باشد سپس با استفاده از رابطه ۵، تغییرات حجم ذخیره آبخوان با استفاده از هیدروگراف واحد آبخوان محاسبه شد براساس اطلاعات دریافت شده از گزارشات آب منطقه‌ای میزان ضریب ذخیره آبخوان آبرفتی آسپاس حاصل از آزمایش پمپاژ ۵ درصد لحاظ شده است. بر این اساس میزان تغییرات حجم

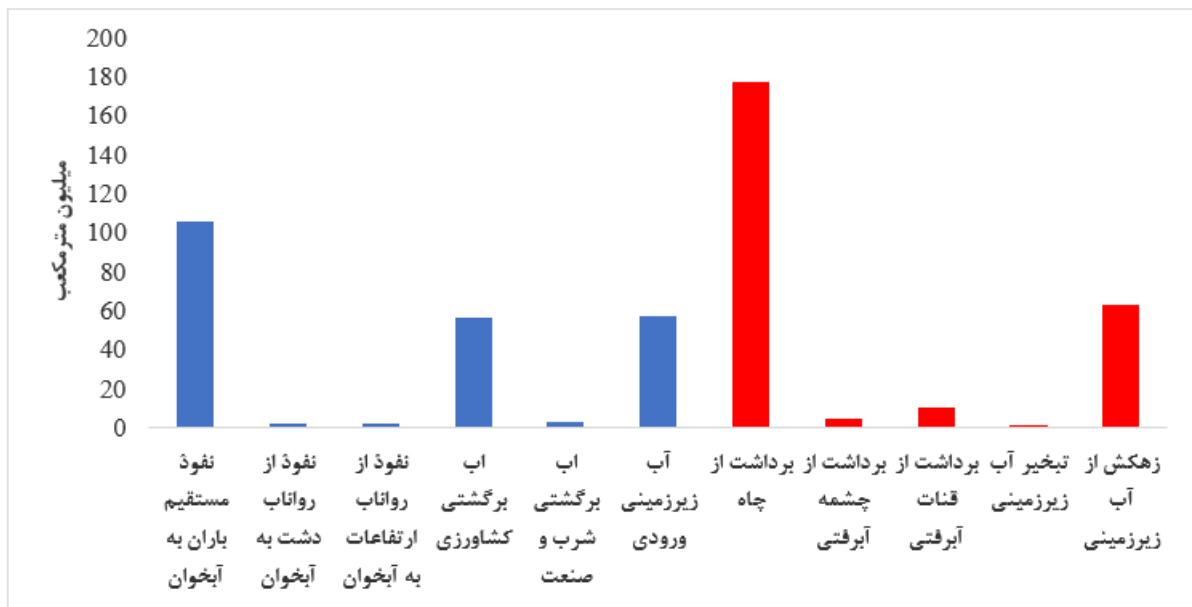


شکل ۹. مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی سالانه حاصل از بیلان با مقادیر مشاهداتی (هیدروگراف واحد آبخوان)

Fig 9. Comparison between annual groundwater level estimated by water balance and observed groundwater level

می‌شود که از این مقدار حدود ۱۷۶/۸۵۳ میلیون مترمکعب از طریق چاه‌ها تخلیه می‌شود این بدین معنی است که به‌طور میانگین ۷۸ درصد از میزان تغذیه آب زیرزمینی توسط برداشت از طریق چاه‌ها تخلیه می‌شود که می‌تواند به‌خوبی بیانگر این موضوع باشد که برداشت‌های بی‌رویه از طریق چاه‌ها نقش به‌سزایی در افت و کاهش سطح آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارد.

شکل ۱۰ عواملی که موجب تخلیه و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود را به‌خوبی نمایش می‌دهد. مهم‌ترین عامل که در تغذیه آب‌های زیرزمینی نقش دارند نزولات جوی هستند و مهم‌ترین عامل که در تخلیه آب‌های زیرزمینی نقش دارند به برداشت‌های حاصل از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق مربوط می‌شود. همان‌طور که در جدول ۱۰ قابل مشاهده است به‌طور میانگین سالانه ۲۲۶/۴۵۲ میلیون مترمکعب آب موجب تغذیه آبخوان



شکل ۱۰. میانگین سالانه عوامل تغذیه و تخلیه آب‌زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس طی دوره (۱۳۹۶-۱۳۸۱)

Fig 10. Annual average of groundwater recharge and discharge factors of Aspas alluvial aquifer during (2002-2017)

نداشته باشد و در این مطالعه از میانگین ضرایب قابلیت انتقال حاصل از دو گزارش استفاده شده است.

### نتیجه گیری

در این مطالعه ابتدا با استفاده از شبکه پیزومترهای موجود در آبخوان آبرفتی دشت آسپاس، هیدروگراف واحد آبخوان رسم شد که نشان دهنده کاهش حجم ذخیره آبخوان، به طور میانگین به اندازه ۲۹/۹۶ میلیون متر مکعب در سال است و منجر به افت سطح آب زیرزمینی حدود ۸۲ سانتی متر در سال می شود. سپس تغییرات سطح آب زیرزمینی با محاسبه بیلان به کمک ایستگاه های هواشناسی و داده های هیدرولوژی و هیدروژئولوژی مورد بررسی قرار گرفت. در روش محاسبه بیلان آبخوان به وسیله داده های هواشناسی و هیدرولوژی، کاهش حجم ذخیره آبخوان به طور میانگین ۲۹/۳۴ میلیون متر مکعب در سال و افت سالانه سطح آب حدود ۸۰ سانتی متر برآورد شد. که با مقایسه نتایج این دو روش با یکدیگر، می توان به صحت نتایج حاصل شده از روش بیلان آبخوان به کمک داده های هواشناسی و هیدرولوژی پی برد.

بررسی های صورت گرفته بیانگر افت مداوم سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی آسپاس می باشد. با توجه به محاسبات و بررسی ها، میزان میانگین مجموع مولفه های ورودی به آبخوان آبرفتی آسپاس در این دوره شانزده ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۶) برابر ۲۲۶/۴۵ میلیون متر مکعب در سال می باشد و همچنین میانگین برداشت از طریق چاه های موجود در آبخوان برابر ۱۷۶/۸۵۳ میلیون متر مکعب در سال محاسبه شده است، که بیانگر این موضوع است که ۷۸ درصد از مجموع مولفه های ورودی به آبخوان آبرفتی آسپاس، از طریق چاه ها تخلیه می شوند. در نتیجه عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی و کاهش حجم ذخیره آبخوان محدوده مطالعاتی آسپاس برداشت های بیش از حد توان آبخوان توسط چاه های موجود در آبخوان می باشد. البته خشک سالی های سال های اخیر (۱۳۹۶-۱۳۹۲) هم در کاهش و افت سطح آب زیرزمینی بی اثر نبوده است اما نمی توان آن را عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی و کاهش ذخیره آبخوان آبرفتی آسپاس دانست.

### مقایسه نتایج حاصل از بیلان آب زیرزمینی با نتایج حاصل از گزارش به همگام سازی بیلان منابع آب

باتوجه به نتایج حاصل از گزارش به همگام سازی بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی آسپاس که توسط شرکت سهامی آب منطقه ای فارس دریافت شده است نتایج برای محدوده مطالعاتی آسپاس از سال آبی ۷۶-۷۵ تا پایان سال آبی ۹۰-۸۹ محاسبه شده است البته طبق گزارش، از مهر ۱۳۷۷ تا بهمن ۱۳۷۹ آمار و اطلاعات از وضعیت آب های زیرزمینی دشت آسپاس موجود نیست. با این حال در این گزارش برای این دوره مجموع تخلیه از آب زیرزمینی ۲۷۸/۶۳ میلیون متر مکعب تخمین زده شده است که از این میزان کمتر از ۱ درصد مربوط به تبخیر از آب زیرزمینی، ۲۵ درصد مربوط به تخلیه از طریق زهکشی و ۷۴ درصد مربوط به تخلیه از طریق چاه، چشمه و قنات می باشد. نتایج حاصل شده از این مطالعه که در جدول ۱۰ قابل ملاحظه می باشد نیز میزان تبخیر از آب زیرزمینی، تخلیه از زهکشی و تخلیه از طریق چاه، چشمه و قنات را به ترتیب برابر ۱ درصد، ۲۵ درصد و ۷۴ درصد تخمین زده است که نتایج تخلیه آب زیرزمینی حاصل از این مطالعه با گزارش آب منطقه ای بسیار مشابه می باشد. همچنین مجموع تغذیه آب زیرزمینی که در گزارش به همگام بیلان منابع آب تخمین زده شده برابر ۲۶۷/۰۴ میلیون متر مکعب می باشد که از این مقادیر کمتر از ۱ درصد مربوط به نفوذ از طریق شرب و صنعت، ۲۵ درصد مربوط به نفوذ از آب زراعی، ۲ درصد مربوط به نفوذ از جریان های سطحی، ۳۵ درصد مربوط به نفوذ از بارندگی و ۳۷ درصد مربوط به جریان های زیرزمینی ورودی می باشد که با مقایسه با نتایج این مطالعه مقدار نفوذ از شرب، نفوذ از آب زراعی، نفوذ از جریان سطحی، نفوذ از بارندگی و جریان های زیرزمینی ورودی به ترتیب برابر ۱/۵ درصد، ۲۵ درصد، ۲ درصد، ۴۶/۵ درصد و ۲۵ درصد می باشد. دلایلی که می تواند اختلاف ایجاد شده بین جریان های زیرزمینی ورودی حاصل از این مطالعه و گزارش را توجیه کند می توان به این نکات اشاره کرد که گزارش آب منطقه ای برای دوره ۸۹-۷۵ می باشد اما دوره بیلان در این مطالعه برای سال آبی ۸۱ تا ۹۶ می باشد و اینکه در گزارش عنوان شده است ضرایب قابلیت انتقال ممکن است دقت کافی را

از سازمان مدیریت منابع آب ایران جهت در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز تشکر می‌کنند.

*Research Journal*, 14(1), 85-97. [In Persian].  
 Choubin, B., Malekian, A. & Sajedi-Hosseini, F. (2016) A. Lag-Time and Effect of Meteorological Drought on the Groundwater Level, *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. [In Persian].  
 Choubin, B. & Malekian, A. (2016) B. Relationship between Fluctuations in the Water Table and Aquifer Salinization (Case Study: Aquifer Aspas-Fars Province), *Iranian Scientific Association of Desert Management and Control*. [In Persian].  
 Fars Regional Water Joint Stock Company. (2015) of Carrying Out Studies on The Watershed Balance of Tashk-Bakhtegan and Maharlo Lakes (Aspas), *Iran Water Resources Management Company, Ministry of Energy*. [In Persian].  
 Zare, M., Raeisi, E., & Mirbagheri, S. M. (2001). Determination of Groundwater Evaporation Using Pan Evaporimeter Data in Different Depths to the Water Table and Soil Texture Conditions. *In New Approaches Characterizing Groundwater Flow* (Pp. 1319-1323).

## سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های دانشگاه زنجان و دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان کمال تشکر را داشته و

## منابع

Moslemi, H., & Darvishi, R. (2016). Solutions to Reduce the Level of Underground Water, Laver Plain. *Journal of Land Management*. [In Persian].  
 Alizadeh, A. (2013). Principles of Applied Hydrology, Astan Quds Razavi Printing and Publishing Institute. [In Persian].  
 Ehsani, N., Vörösmarty, C. J., Fekete, B. M., & Stakhiv, E. Z. (2017). Reservoir Operations under Climate Change, Storage Capacity Options to Mitigate Risk. *Journal of Hydrology*. 555: 435-446.  
 Huber, M., & Knutti, R. (2011). Anthropogenic And Natural Warming Inferred from Changes in Earth's Energy Balance, *Nature Geoscience*. 5: 31-36.  
 Pachauri, R. K., & Meyer, L. (2014). Intergovernmental, Panel, On Climate Change. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III To The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5). Geneva, Switzerland. 1-151.  
 Naderi, M. (2013). The Flood and Drought Events over Arid and Semi-Arid Regions under Climate Change: Northern Fars Province, *Iranian Water*