Research Paper

Investigating Quantitative Status of Groundwater Resources in Kashan Plain, Perspective and Providing Appropriate Solutions

Hossein Khorasanizadeh[1], Hoda Ghasemieh[2]*, Mahdi Soleimani-Motlagh[3], Mohammad Mizavand[4]

1. Prof. of Mechanical Engineering- Heat and Fluids, College of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran
2. Associate Prof. of Nature Engineering, College of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran
3. Assistant Prof. of Rangeland and Watershed Management, College of Agriculture and Natural resources, Lorestan University, Khorramabad, Lorestan, Iran
4. Former Ph.D. Student of Watershed Management Sciences and Engineering, College of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

Received: 2021/05/07
Revised: 2021/06/08
Accepted: 2021/08/25

Use your device to scan and read the article online

DOI: 10.30495/wej.2023.27982.2313

Keywords:
Kashan plain aquifer, Groundwater balance, Recharge, Underground dam

Abstract

Introduction: In this research, the groundwater quantitative status in Kashan plain and its future perspective with emphasis on drinking water and health was investigated.

Methods: For this purpose, water balance components and changes in storage volume of the aquifer were calculated using balance groundwater equation for the hydrological year 2017-2018.

Findings: The results showed that the aquifer storage volume and the weighted groundwater level mean decreased more than 35 MCM and about 0.44 m, respectively. The analysis of the groundwater balance components indicated the total exploitation of Kashan plain aquifer was about 317.17 MCM in year 2017-18. Of this amount close to 88% (278.85 MCM) has been consumed in sectors of agriculture, green space, livestock and poultry, and evaporation from fishponds. The remaining 12 percent (38.32 MCM) has been used in the sectors of drinking, industrial, commercial, and service. In addition, the results of groundwater balance calculations revealed that the total discharge through the aquifer outlet was 34.87 MCM. Furthermore, the results of the scenarios used in the research indicated if the current trend of groundwater exploitation continues, the 5-year horizon of the aquifer (2018-2023) will worsen and the largest decline will occur in the western regions due to the high number of agricultural, drinking, and industrial wells. Therefore, several strategies were proposed to reduce the trend of aquifer decline, including reducing or eliminating the crop with high water requirement, reducing the gross irrigation water requirement, saving or infiltrating part of the runoff from the upper elevations, and constructing underground dam.

Citation: Khorasanizadeh H, Ghasemieh H, Soleimani Motlagh M, Mirzavand M. Investigating Quantitative Status of Groundwater Resources in Kashan Plain, Perspective and Providing Appropriate Solutions. Water Resources Engineering Journal. 2023; 15(55): 53-74.

***Corresponding author:** Hoda Ghasemieh
Address: Dept. of Nature Engineering, College of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran
Tell: +989132613779
Email: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The sharp drop of groundwater in most plains of the country and the quantitative and qualitative reduction of groundwater resources, which has been repeatedly reported by the Ministry of Energy, is a danger for the life of the country. Excessive exploitation and drilling of unauthorized wells in the past years in the plains, as well as the occurrence of droughts, are important factors in reducing the quantity and quality of groundwater resources. In this research, the groundwater quantitative status in Kashan plain and its future perspective with emphasis on drinking water and health was investigated.

Materials and Methods

The study area in this research is Kashan plain aquifer. Kashan plain is located between 51.05° and 51.54° east longitudes and 33.45° and 34.23° north latitudes. The aquifer area of Kashan plain is about 2403.15 km^2. Due to the dry climate, the Kashan plain lacks large and permanent rivers and only several seasonal rivers flow in it, and the basins of these rivers are located in the southwestern and western parts of the region. Therefore, groundwater is considered as the most important source of water in Kashan plain, which is used for various use such as drinking, agriculture, industry. Groundwater discharge from the Kashan plain aquifer is done by deep and semi-deep wells, qanats and springs. This issue affects the amount of groundwater. So, in order to investigate the quantitative status of groundwater in this region, water balance components and changes in storage volume of the aquifer were calculated using balance groundwater equation for the hydrological year 2017-2018.

Findings

The results showed that the aquifer storage volume and the weighted groundwater level mean decreased more than 35 MCM and about 0.44 m, respectively. The analysis of the groundwater balance components indicated the total exploitation of Kashan plain aquifer was about 317.17 MCM in year 2017-2018. Of this amount close to 88% (278.85 MCM) has been consumed in sectors of agriculture, green space, livestock and poultry, and evaporation from fishponds. The remaining 12 percent (38.32 MCM) has been used in the sectors of drinking, industrial, commercial, and service. In addition, the results of groundwater balance calculations revealed that the total discharge through the aquifer outlet was 34.87 MCM. Furthermore, the results of the scenarios used in the research indicated if the current trend of groundwater exploitation continues, the 5-year horizon of the aquifer (2018-2023) will worsen and the largest decline will occur in the western regions due to the high number of agricultural, drinking, and industrial wells.

Conclusion

According to the results obtained in this research, several strategies were proposed to reduce the trend of aquifer decline, including reducing or eliminating the crop with high water requirement, reducing the gross irrigation water requirement, saving or infiltrating part of the runoff from the upper elevations, and constructing underground dam. In order to apply the mentioned scenarios, all aspects of the matter, such as environmental, economic-social issues, etc. be considered Also, in the case of some of the proposed scenarios, accurate location should be specified and any possible damages should be avoided

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

The funding of this research was provided by the employer of the project (Kashan City Water and Wastewater Company).

Authors' contributions

Design and conceptualization: Hossein Khorasanizadeh, Hoda Ghasemieh.

Methodology and data analysis: Hossein Khorasanizadeh, Hoda Ghasemieh, Mahdi Soleimani Motlagh, Mohammad Mizavand.
Supervision and final writing: Hoda Ghasemieh.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بررسی وضعیت کمی منابع آب زیرزمینی دشت کاشان، چشم‌انداز و ارائه راه‌کارهای مناسب

حسین خراسانی‌زاده[۱]، هدی قاسمیه[۲*]، مهدی سلیمانی مطلق[۳]، محمد میرزاوند[۴]
۱. استاد مهندسی مکانیک- حرارت و سیالات، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۲. دانشیار مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۳. استادیار مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۴. دانش‌آموخته دکتری رشته علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، کاشان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۷
تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI: 10.30495/wej.2023.27982.2313

واژه‌های کلیدی:
آبخوان دشت کاشان، بیلان آب زیرزمینی، تغذیه، سد زیرزمینی.

چکیده

مقدمه: در این تحقیق، وضعیت کمی منابع آب زیرزمینی دشت کاشان و چشم‌انداز آن در آینده با تأکید بر شرب و بهداشت بررسی شده است.

روش: برای این منظور، با استفاده از رابطه بیلان آب زیرزمینی، اجزای بیلان و تغییرات حجم ذخیره آبخوان در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که حجم ذخیره آبخوان در این سال بیش از ۳۵ میلیون مترمکعب کاهش یافته و میانگین وزنی کاهش تراز سطح آب، ۰/۴۴ متر بوده است. همچنین نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های بیلان نشان داد که مجموع بهره‌برداری از آبخوان دشت کاشان در این سال، معادل ۳۱۷/۱۷ میلیون مترمکعب بوده که مجموع سهم کشاورزی، فضای سبز، دام و طیور و نیز تبخیر از استخرهای پرورش ماهی، ۲۷۸/۸۵ میلیون مترمکعب (حدود ۸۸ درصد از کل برداشت‌ها) به‌دست آمد. سهم بهره‌برداری در بخش‌های شرب، صنعت، تجاری، عمومی و خدمات نیز مجموعاً معادل ۳۸/۳۲ میلیون مترمکعب به‌دست آمد. محاسبات بیلان نشان داد که کل تخلیه از طریق مرزهای خروجی آبخوان، ۳۴/۸۷ میلیون مترمکعب بوده است. نتایج سناریوهای به‌کار رفته در تحقیق نیز نشان داد که اگر روند کنونی بهره‌برداری از آب زیرزمینی ادامه پیدا کند، افق ۵ ساله آبخوان (۱۳۹۷-۱۴۰۲) بدتر خواهد شد و بیشترین افت در نواحی غربی به‌دلیل تمرکز بیشتر چاه‌های بهره‌برداری کشاورزی، شرب و صنعت روی خواهد داد.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های به‌دست آمده، چندین راه‌کار برای تقلیل روند افت آبخوان شامل کاهش و یا حذف کامل سطح زیرکشت محصولات، کاهش نیاز ناخالص آبیاری، ذخیره‌سازی یا نفوذ دادن بخشی از رواناب حاصل از ارتفاعات بالادست و احداث سد زیرزمینی پیشنهاد شد.

* **نویسنده مسئول:** هدی قاسمیه
نشانی: گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
تلفن: ۰۹۱۳۲۶۱۳۷۷۹
پست الکترونیکی: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

مقدمه

افت شدید آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های کشور و کاهش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی، که به‌طور مکرر توسط وزارت نیرو گزارش شده و می‌شود، زنگ خطری برای حیات کشور است. برداشت بی‌رویه و حفر چاه‌های غیرمجاز در سنوات گذشته در دشت‌ها و همچنین وقوع خشکسالی‌ها از عوامل مهم در کاهش کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی هستند. بنابراین بررسی دقیق وضعیت کمی و کیفی آبخوان‌ها، به تدوین راه‌کارها و استراتژی‌های مدیریتی منابع آب زیرزمینی کمک می‌کند. در این زمینه، تحقیقات متعددی در مناطق مختلف در مورد منابع آب زیرزمینی انجام شده است. به طور مثال، خراسانی‌زاده و همکاران (۱) به مطالعه مقایسه‌ای مقدار مصرف آب در کاربری‌های کشاورزی، شهری و سایر موارد در آبخوان دشت کاشان پرداختند و تأثیر چگونگی برداشت بر روی منابع آب زیرزمینی از نظر کمی و کیفی و نیز وضعیت تراز و جهت آب زیرزمینی و بیلان آب زیرزمینی آبخوان دشت کاشان را بررسی نمودند که یافته‌های آنها نشان‌دهنده افت حجم ذخیره آب زیرزمینی و کاهش کیفیت منابع آب دشت مذکور بود.

قاسمیه (۲) با ارزیابی مدیریت جامع منابع آب در دشت کاشان با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نشان داد که با اجرای گزینه‌های استفاده از وسایل کاهنده مصرف، بازچرخش آب و اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای، به میزان قابل توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود و در صورتی‌که راه‌کارها با هم در منطقه اجرا شوند، نه تنها بیلان آب زیرزمینی به صفر می‌رسد؛ بلکه می‌تواند مثبت شود. وی در تحقیق خود خاطر نشان نمود که لازمه اجرای این راه‌کارها، فراهم شدن شرایط فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی است و این موضوع بسیار زمان‌بر است. رهنما و همکاران (۳) وضعیت کمی و کیفی آبخوان دشت جوین خراسان رضوی با استفاده از روش میان یابی نزدیکترین همسایه و سامانه اطلاعات جغرافیایی را بررسی کردند. یافته‌های آنها بر اساس هیدروگراف سالانه دشت مبین افت ۱۰ متری طی ۱۲ سال آمار مورد مطالعه است که شدیدترین افت حدود ۴/۵ متر به دوره ۴ ساله از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۲ مربوط است. شیرزادی و صبوحی صابونی (۴) مصرف بی رویه و نامتناسب با آب تجدید پذیر در بخش کشاورزی را عامل عدم تعادل بیلان آب حوضه‌ی آبریز نیشابور بر شمردند و نتیجه گرفتند که تغییر قیمت آب، می‌تواند باعث ایجاد انگیزه در کشاورزان در جهت تغییر الگوی کشت بهینه به سمت محصولات کم آب بر و کاهش مصرف آب شود. دلبری و همکاران (۵) با بررسی تغییرات مکانی-زمانی و پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهپایه سگزی با استفاده از روش‌های زمین آماری نشان دادند که کمترین تراز سطح آب در جنوب شرقی آبخوان و بالاترین تراز سطح آب، در مرکز، جنوب و جنوب غربی آبخوان قرار دارد. نتایج پژوهش نخعی و همکاران (۶) در زمینه بررسی تغییرات زمانی و مکانی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت سرایان در خراسان جنوبی نیز بیانگر کاهش تراز آب زیرزمینی بود که این موضوع، گویای عدم مدیریت مناسب در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی منطقه بود که ایشان در نهایت، تغییر الگوی کشت و آبیاری را به عنوان راه‌کاری مناسب پیشنهاد دادند. مقامی مقیم و تقی‌پور (۷) با بررسی عوامل مؤثر در تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت صفی‌آباد شهرستان اسفراین، نشان دادند که استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری، تغییر نوع کشت و استفاده از کنتورهای هوشمند سبب تغییرات مثبت در سطح آب‌های زیرزمینی شده است. در پژوهش‌های دیگر نیز تغییرات سطح و وضعیت بیلان آب زیرزمینی با روش‌ها و مدل‌های مختلف مطالعه شده است. به‌طور مثال، جلیلی و همکاران (۸) با بررسی تراز سطح آب زیرزمینی و برآورد اجزای بیلان براساس مدل عمومی بیلان و تعیین نیاز آبی گیاهان نشان دادند که آبخوان مطالعاتی در دشت اسلام‌آباد با کسری بیلان مواجه است و نیاز به راه‌کارهای مدیریتی از جمله کاهش سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالا دارد. مسلمی و درویشی (۹) آب زیرزمینی دشت لاور استان هرمزگان را بررسی کردند و نشان دادند که افت آب زیرزمینی این دشت حدود ۴/۲۸ متر طی ۲۰ سال با متوسط سالانه ۲۱ سانتی متر بوده است. در نهایت آنها به راهکارهای کاهش افت آب زیرزمینی از جمله حفاظت آب در بخش کشاورزی، بهبود روش های آبیاری، نصب کنتورهای حجمی، تغییر الگوی کشت، افزایش طول دوره آبیاری طی خشکسالی ها و افزایش سطح دانش بهره بردارن اشاره کرده‌اند. میرمحمدصادقی و همکاران (۱۰) با بررسی آب زیرزمینی آبخوان نجف آباد نشان دادند که افت شدید آب زیرزمینی تابع مقدار بارش منطقه مطالعه نبوده بلکه دلیل آن بهره‌برداری بی‌رویه و کاهش آب سطحی ورودی به منطقه می‌باشد و راهکار کنترل آن را کاهش برداشت و بازگرداندن آبدهی متوسط آب سطحی ورودی به دهه ۷۰، ذکر کرده‌اند. سنگین‌آبادی و همکاران (۱۱) با استفاده از مدل ترکیبی آب زیرزمینی و استفاده از شاخص‌های خشکسالی در دشت قزوین نشان دادند که آب زیرزمینی تحت تأثیر شدید برداشت قرار دارد و در ۴۷ درصد مواقع، تحت تنش خشکسالی بوده است. رضایی و همکاران (۱۲) با استفاده از نرم افزار FEFLOW و تعریف چند سناریو نشان دادند که ایجاد سد زیرزمینی به همراه ۲۰ درصد کاهش پمپاژ می تواند سطح آب زیرزمینی ایوانکی را به میزان متوسط حدود ۲/۵۳ متر افزایش دهد.

موخرجی (۱۳) منطقه جنوب آسیا را دارای بیشترین کاربران آب در جهان معرفی می‌کند که باعث نگرانی شدید به دسترسی آب زیرزمینی شده‌اند. مطالعه نیز بر چندین فعالیت انسانی به ویژه آبیاری (۸۰ درصد برداشت آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهد) که عامل مهم تخلیه آب زیرزمینی در بیشتر مکان های این منطقه است، تأکید می کند . علاوه بر این، مطالعه عوامل ایجاد چالش‌های بیشتر در پایداری آب‌های زیرزمینی را ناشی از متغیر بودن میزان بارندگی و وضعیت هیدرولیکی زیر سطحی بر شمرده است. رازا و همکاران (۱۴) با ارزیابی تغییرپذیری توزیع زمانی- مکانی ذخیره آب زیرزمینی در حوضه‌ی Haean کره به کمک ArcGIS نشان دادند که افزایش مصرف آب زیرزمینی باعث افت ۳۳ میلیون متر مکعبی نسبت به حجم اولیه در طی ۶ سال شده است. همچنین یافته‌های آنها نشان دادند که تغذیه سالانه ۰/۱۴ متر برای پایداری آب زیرزمینی ناچیز است از این رو توصیه شده است که با محدود کردن حفر چاهها و روی آوردن به سمت منابع آب سطحی، مصرف آب منطقی شود.

سلیمانی مطلق و همکاران (۱۵) نشان دادند که استفاده از مدل تغذیه ماهانه WetSpass-M و ترکیب آن با مدل آب زیرزمینی MODFLOW ابزاری مفید برای برآورد اجزای بیلان آب زیرزمینی و تخمین اثرات ناشی از تنش‌های طبیعی و انسانی است. ابریشم‌چی و همکاران (۱۶) نیز به‌منظور برنامه‌ریزی استفاده پایدار آب زیرزمینی در دشت نیشابور، چندین سناریوی زمانی- مکانی را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که متوسط افت ذخیره آب زیرزمینی حدود ۳۱۱ میلیون مترمکعب طی دوره ۸ ساله ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ بوده است. سایر یافته‌های آنها نشان داد که وقتی که برداشت‌های آب زیرزمینی برای تولید پایدار محدود می‌شوند، افزایش بهره‌وری آبیاری از ۳۸ درصد به ۶۰ درصد می‌تواند باعث حفظ اراضی کشاورزی و کاهش تنش اجتماعی و اقتصادی شود.

در مجموع بررسی منابع پیشین، ضرورت ارزیابی وضعیت کمی آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک را نشان می‌دهد. بهره‌برداری، مدیریت و حفاظت از منابع آب به‌ویژه منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور از جمله در منطقه دشت کاشان بسیار حائز اهمیت است. مدیریت منابع آب که حیات هزاران نفر از مردم این بخش از کشور بدان وابسته است، نیازمند شناخت آبخوان، تنش‌های وارده به آن و تعیین درست مؤلفه‌های تخلیه و تغذیه و در نهایت بیلان آب زیرزمینی است. بنابراین با بررسی عملکرد آبخوان دشت کاشان از لحاظ تخلیه و تغذیه، توجه کارشناسان و مدیران را می‌توان به شناسایی بخش‌های مختلف آبخوان و تعیین نقاط دارای پتانسیل یا فاقد پتانسیل برداشت، معطوف نمود. این موضوع به اقدامات تخصیص بهینه یا محدودیت برداشت آب زیرزمینی کمک می‌کند. علاوه بر این با شناسایی مناطق حساس به بهره‌برداری زیاد و آسیب‌پذیر آب زیرزمینی می‌توان سناریوهای سازگار با منطقه را در نظر گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در آبخوان کاشان واقع در دشت کاشان قرار گرفته است. دشت کاشان بین طول‌های شرقی ۵۱/۰۵ و ۵۱/۵۴ درجه و عرض‌های شمالی ۳۳/۴۵ و ۳۴/۲۳ درجه قرار دارد. وسعت آبخوان دشت کاشان حدود ۲۴۰۳/۱۵ کیلومترمربع است. میانگین بارندگی در دشت کاشان و متوسط درجه حرارت سالانه به‌ترتیب حدود ۱۳۷/۳۳ میلی‌متر و ۱۹/۶۸ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم دشت کاشان بر مبنای طبقه‌بندی دومارتن، خشک است. از لحاظ زمین‌شناسی، تشکیلات آندزیتی ائوسن در ارتفاعات غربی و جنوبی کاشان و تشکیلات آهکی در جنوب فین کوچک و غربی نیاسر قرار دارند. همچنین تناوب تشکیلات آهکی همراه با مارن‌های سبزرنگ الیگومیوسن در بخش‌های جنوبی و غربی کاشان، در نواحی شمالی و جنوب جوشقان، غرب فین، نواحی شمال و شمال غربی دره و قسمت غرب و شرق برزک مشاهده می‌شود. سنگ کف اصلی آبخوان از رسوبات مارن میوسن تشکیل شده و البته رسوبات سخت نشده با سیمان ضعیف، سنگ کف ناحیه کویری شرق کاشان را تشکیل می‌دهند و آبخوان آبرفتی از رسوبات کواترنری شامل شن، ماسه و رس تشکیل شده است (۱).

دشت کاشان به‌دلیل اقلیم خشک فاقد رودخانه‌های بزرگ و دائمی است و تنها چندین رودخانه فصلی در آن جریان دارد که حوضه‌های مربوط به این رودخانه‌ها، در بخش جنوب غربی و غربی منطقه قرار دارد. از جمله این رودخانه‌ها می‌توان به رودخانه‌های چمرود، قهرود و بن‌رود اشاره کرد. میانگین، حداکثر و حداقل حجم آبدهی سالانه در یک دوره طولانی‌مدت برای رودخانه قهرود به‌ترتیب معادل ۴/۱۹، ۲۳/۳۶ و ۰/۷۸ و برای رودخانه بن‌رود، ۲/۹۹، ۲۴/۷۲ و ۰/۳۴ میلیون مترمکعب برآورد شده است (۱۷). همچنین آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب در دشت کاشان محسوب شده که برای مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و سایر نیازها استفاده می‌شود. طبق بررسی‌ها و نتایج اکتشافی، آبخوان منطقه از نوع آزاد است. دشت کاشان از غرب و تا حدودی جنوب به مناطق کوهستانی (که از منابع اصلی تغذیه آبخوان محسوب شده) و در شرق و شمال شرق به دامنه‌های تپه ماهوری که رسوبات تشکیل‌دهنده این مناطق ریزدانه بوده، محدود می‌شود. در صورتی‌که سیلاب در این تپه‌ها جریان یابد، امکان نفوذ ندارد و به‌صورت جریان سطحی خارج می‌شود (۱۷). سطح آب زیرزمینی محدوده نیز، در ۵۶ چاه پیزومتری فعال به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری می‌شود.

تحقیق حاضر طی مراحل زیر انجام شده است:

۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات

در این پژوهش، آمار مربوط به بارش ماهانه و سالانه (از ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۷)، آمار چاه‌های پیزومتری (۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷) و بهره‌برداری ، آمار چاه‌های اکتشافی و نتایج آزمون پمپاژ، نقشه زمین‌شناسی، نقشه مرز آبخوان، اطلاعات مربوط به جمعیت و مصارف آب برای شرب و بهداشت، صنعت، فضای سبز، کشاورزی، دامداری و ... از اداره‌ها و سازمان‌های زیربط تهیه شد. همچنین در رابطه با مصرف آب کشاورزی، جدیدترین اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت انواع محصولات زراعی و باغی و الگوی کشت، روش و دوره آبیاری و انواع گزارش‌های مربوطه نیز جمع‌آوری شدند.

۲- بررسی بیلان منابع آب زیرزمینی

تخلیه آب زیرزمینی از آبخوان دشت کاشان، توسط چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، قنات‌ها و چشمه‌ها صورت می‌گیرد. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از آمار و اطلاعات مربوط به برداشت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی در سال آبی ۹۷ - ۱۳۹۶ برای مصارف مختلف، حجم تخلیه سالیانه مشخص شد. سپس با توجه به میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها، بیلان سالیانه منطقه محاسبه شد. توضیحات مربوط به هر کدام از مؤلفه‌های بیلان در زیربخش‌های بعدی آمده است.

الف- مؤلفه‌های ورودی جریان آب زیرزمینی

مؤلفه‌های ورودی جریان آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی عبارت از جریان ورودی جانبی، نفوذ از بارندگی و جریان‌های سطحی ایجاد شده در حوضه و آب برگشتی از مصارف مختلف هستند.

جریان ورودی جانبی

میزان حجم جریان ورودی جانبی آب زیرزمینی از ارتفاعات به آبخوان با استفاده از معادله دارسی (رابطه ۱) محاسبه شد (۱۸):

$$Q=T.L.I.t \quad (۱)$$

که در این رابطه، Q حجم جریان ورودی برحسب مترمکعب، T ضریب قابلیت انتقال برحسب مترمربع در روز، L طول مقطع ورودی جریان برحسب متر، I شیب هیدرولیکی (بدون واحد) و t دوره بیلان به روز هستند (۲).

برای محاسبه میزان جریان ورودی جانبی، ابتدا نقشه ضریب قابلیت انتقال با استفاده از اطلاعات آزمون پمپاژ چاه‌های اکتشافی در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد. سپس با استفاده از اطلاعات میانگین تراز آب چاه‌های پیزومتری در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶، نقشه شیب هیدرولیکی آبخوان تهیه شد. علاوه بر این، مسیرهای ورودی جریان با ترسیم خطوط جریان در نرم‌افزار Surfer تعیین شدند. در نهایت حجم جریان ورودی با حاصل‌ضرب نقشه ضریب قابلیت انتقال و شیب هیدرولیکی در طول مسیر جریان ورودی و اعمال دوره بیلان با استفاده از دستور Raster calculator در محیط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد.

نفوذ از بارندگی و جریان‌های سطحی ایجاد شده در حوضه

در این تحقیق برای محاسبه این مؤلفه، از معکوس رابطه بیلان استفاده شد. بدین‌منظور ابتدا با استفاده از تحلیل‌های دوبعدی آبخوان، تغییرات حجم مخزن (رابطه ۲) نسبت به تغییرات سطح ایستابی آن در محیط ArcGIS محاسبه شد (رابطه ۲). سپس با درنظر گرفتن آن در معادله کلی بیلان (اختلاف ورودی و خروجی معادل با تغییرات ذخیره) و تعیین سایر پارامترهای ورودی (شامل تغذیه جانبی آبخوان، پساب آب کشاورزی، فضای سبز و شهری) و پارامترهای خروجی (میزان خروجی جانبی آب زیرزمینی و بهره‌برداری برای مصارف مختلف)، مقدار آن محاسبه شد (۱۶).

$$dV = -S \cdot A \cdot dh \quad (۲)$$

که در این رابطه، dV تغییرات حجم مخزن به مترمکعب، S آبدهی ویژه یا ضریب ذخیره آبخوان، A وسعت آبخوان برحسب مترمربع و dh تغییرات سطح ایستابی آبخوان (افت) برحسب متر هستند.

لازم به ذکر است که تعداد نقاط اندازه‌گیری ضریب ذخیره از طریق آزمایش‌های پمپاژ در دشت مطالعاتی اندک بود. در نتیجه درون‌یابی ضریب ذخیره با استفاده از اطلاعات آزمون پمپاژ چاه‌های اکتشافی دقت کافی را نداشت، لذا با استفاده از رابطه رگرسیون خطی چندگانه (۳) بین ضریب ذخیره موجود با ضریب قابلیت انتقال و شیب هیدرولیکی با ضریب همبستگی ۷۸ درصد، نقشه تغییرات ضریب ذخیره در محیط ArcGIS تهیه شد.

$$y = 0.0000279x_1 + 0.024091x_2 + 0.007805 \quad (۳)$$

که y ضریب ذخیره، x_1 ضریب قابلیت انتقال برحسب مترمربع در روز و x_2 شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی است.

آب برگشتی از مصارف مختلف

در دشت کاشان عمده برداشت آب برای کاربری کشاورزی به طریق آبیاری غرقابی و کرتی صورت می‌گیرد. طبق گزارش مهندسین مشاور آبخوان (۱۹)، میزان تغذیه از مصرف آب کشاورزی براساس جدول فائو، حدود ۲۵ درصد آب برداشتی برای کشاورزی درنظر گرفته شد. همچنین از آنجایی که در محدوده مطالعاتی کاشان، دفع پساب عمدتاً از طریق چاه‌های جذبی صورت می‌گیرد، آب برگشتی کاربری‌های شرب و صنعت به میزان حدود ۸۰ درصد از آب مصرفی شرب و صنعت درنظر گرفته شد.

ب- مؤلفه‌های خروجی جریان آب زیرزمینی

ب-۱- جریان خروجی جانبی

براساس قانون دارسی و مشابه با روش ارائه شده در بخش محاسبه جریان ورودی جانبی آب زیرزمینی، جریان خروجی جانبی آبخوان نیز از طریق رابطه (۱) محاسبه شد.

ب-۲- آب مصرفی کشاورزی

میزان بهره‌برداری از آب زیرزمینی در دشت کاشان برای کشاورزی به‌دلایل مختلف از جمله نبود آماربرداری دقیق ماهانه یا سالانه، فقدان کنتور هوشمند بر روی اکثر چاه‌ها یا نبود آمار دقیقی در مورد چاه‌های غیرمجاز به‌صورتی‌که قابل استناد باشد؛ مشخص نیست. به همین دلیل، برای برآورد میزان آب بهره‌برداری شده برای کشاورزی در سال آبی ۹۷ -۱۳۹۶ از طریق آمار سطح زیر کشت و نیازهای خالص و ناخالص محصولات کشت شده در سطح دشت کاشان (شامل مزارع و باغ‌ها در حواشی و داخل خود شهر کاشان و بخش مرکزی آن و تمامی توابع شهرستان آران و بیدگل) از سازمان‌های جهاد کشاورزی شهرستان‌های کاشان و آران و بیدگل، استعلام‌های لازم انجام و سپس محاسبه صورت گرفت (۲۰ و ۲۱).

ب-۳- آب مصرفی دام و طیور

آب مصرفی دام و طیور در محدوده‌های کاشان و نیز آران و بیدگل مربوط به سال آبی ۹۷ - ۱۳۹۶ نیز، به تفکیک هر نوع دام و براساس تعداد اعلام شده از سازمان‌های جهاد کشاورزی شهرستان‌های کاشان و آران و بیدگل محاسبه شد.

در این تحقیق، اطلاعات نوع و تعداد دام و طیور از اداره‌های جهاد کشاورزی کاشان و آران و بیدگل اخذ شد (۲۰ و ۲۱) و براساس نیاز آبی شبانه‌روز برای هر نوع دام یا طیور، میزان مصرف آب آن‌ها در سال ۹۷ - ۱۳۹۶ تعیین شد. قابل ذکر است تفکیک تعداد گاو شیری نسبت به گاو و گوساله گوشتی مشابه با تحقیقات قبلی خراسانی زاده و همکاران (۱) در نظر گرفته شد. همچنین برای تعیین میزان مصرف آب برای هر واحد دامی طی یک شبانه‌روز از جدول‌های استاندارد تهیه شده توسط سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی (۱۸) استفاده شده است.

ب-٤- آب مصرفی شرب، خدمات، صنعت و فضای سبز

آمار مربوط به میزان آب مصرفی کاربری‌های شرب، خدمات، صنعت و فضای سبز سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ از شرکت آب و فاضلاب کاشان، مدیریت‌های منابع آب شهرستان‌های کاشان و آران و بیدگل و شهرداری‌های کاشان و آران و بیدگل استعلام شد و در محاسبه بیلان لحاظ شد (۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵).

ب-٥- تبخیر از سطح استخرهای آبزیان

برای محاسبه این مؤلفه، ابتدا تبخیر سالانه از سطح آب برای منطقه مطالعاتی محاسبه شد. برای این منظور، تبخیر از تشتک در ماه‌های مختلف از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کاشان استخراج و سپس با اعمال ضریب اصلاحی تشتک کلاس A (به طور متوسط ۰/۷)، میزان سالانه تبخیر از سطح آب در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ محاسبه شد (۲۶). سپس با لحاظ کردن این میزان تبخیر و اطلاع از تعداد واحدهای آبزیان در محدوده‌های کاشان و آران و بیدگل که متوسط مساحت تقریبی آن‌ها، ۱۰۰ مترمربع با عمق متوسط یک متر است، مجموع تبخیر در سطح استخرهای آبزیان واقع در منطقه محاسبه و در معادله بیلان استفاده شد (۲۰ و ۲۱).

۳- تعیین چشم‌انداز تأمین آب شرب و بهداشتی منطقه و ارائه راه‌کارهای مناسب

تدوین چشم‌انداز تأمین آب شرب و بهداشتی براساس بررسی شرایط حاکم بر منابع آب زیرزمینی و ارائه راه‌کارهای مناسب در دشت کاشان می‌تواند به مدیریت برداشت‌های مختلف از سفره به‌منظور حفاظت از آن ومحیط زیست منطقه کمک نماید. بنابراین با توجه به روند تغییرات کمی و کیفی و آخرین وضعیت سفره، سناریوهایی برای تعیین چشم‌انداز درنظر گرفته شدند که عبارتند از: الف- سناریوی ادامه روند افت سطح آب زیرزمینی در ۵ ساله اخیر، ب- سناریوی تجهیز اراضی به سیستم‌های نوین آبیاری، ج- سناریوی ذخیره رواناب حاصل ارتفاعات، د- سناریوی ذخیره بخشی از تغذیه جانبی به آبخوان.

در سناریوی ج برای محاسبه رواناب حاصل از ارتفاعات بالادست از رابطه لیسی (رابطه ۴) به شرح زیر استفاده شد (۲۷).

$$R = \frac{P}{1 + \frac{304.8}{P} \times (\frac{F}{Z})} \quad (۴)$$

که در این رابطه، R رواناب سالانه به متر، P میانگین بارندگی سالانه، F پارامتر مربوط به تداوم بارش و Z ضریب وابسته به خصوصیات فیزیوگرافی است. مقادیر $\frac{F}{Z}$ در جدول ۱ ارائه شده‌اند (۲۷).

جدول ۱- مقادیر $\frac{F}{Z}$ (۲۷)

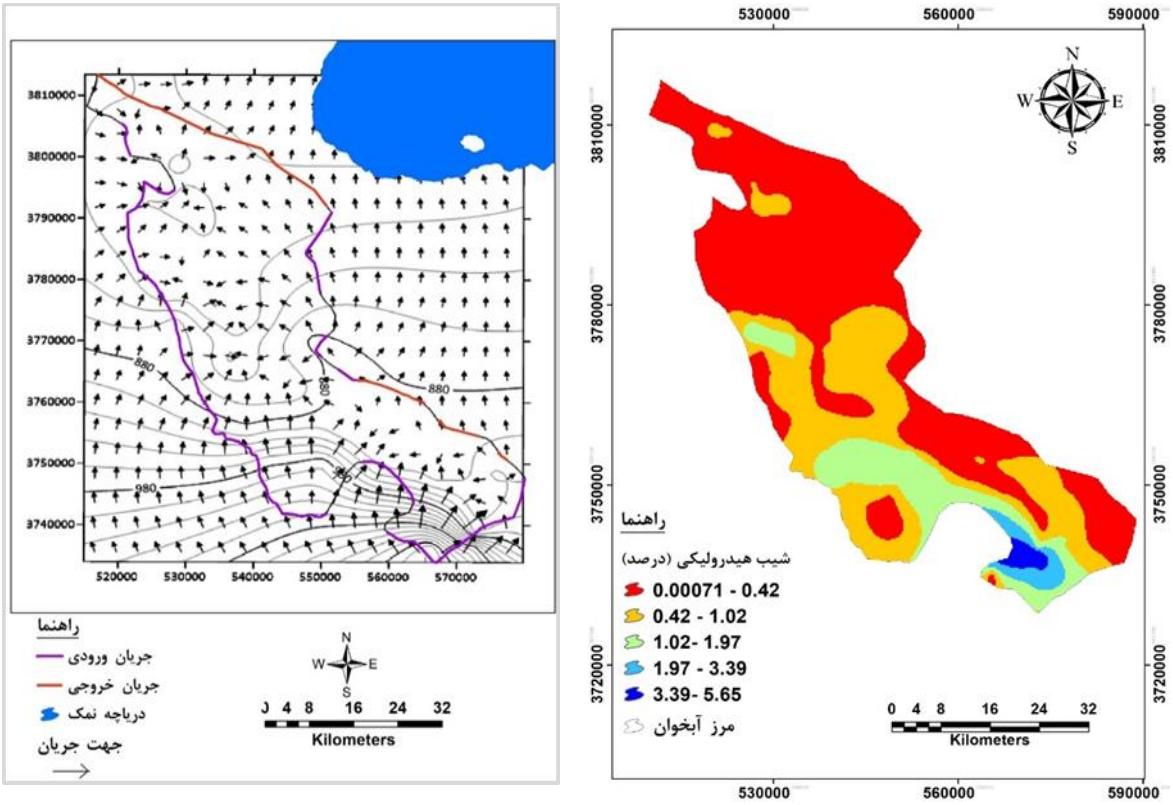
نوع اراضی حوزه آبخیز	دوام بارش		
	طولانی	متوسط	کوتاه
شامل فلات‌ها، دشت‌های مسطح با خاک‌های عمیق و پوشش گیاهی مناسب	۶	۴	۲
تا حدودی مسطح با خاک نیمه‌عمیق و پوشش گیاهی مرتعی	۲/۵	۱/۶۷	۰/۸۳
تپه‌های نسبتاً مرتفع با خاک کم‌عمق و پوشش گیاهی نسبتاً ضعیف	۱/۵	۱	۰/۵
اراضی شنی همراه با مقدار سنگریزه با شیب زیاد در ارتفاعات	۰/۸۸	۰/۵۸	۰/۲۳
اراضی سنگلاخی با ارتفاع و شیب زیاد بدون پوشش گیاهی	۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۱۴

نتایج

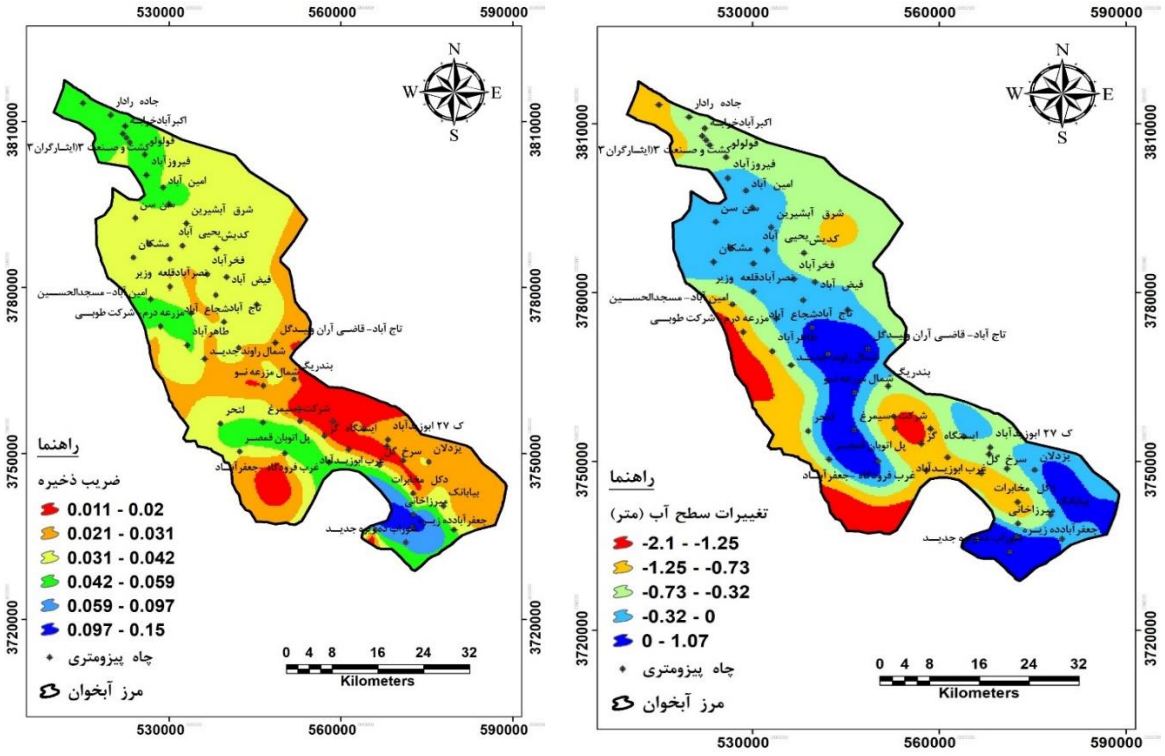
جهت جریان آب زیرزمینی

به‌منظور بررسی مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی، ابتدا مرزهای ورودی و خروجی آبخوان براساس شیب هیدرولیکی و جهت جریان آب زیرزمینی بر مبنای میانگین تراز آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در ۵۵ چاه پیزومتری در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶، به دلیل کم بودن خطای درون‌یابی با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ در نرم‌افزارهای ArcGIS و Surfer ترسیم شد (شکل ۲). نتایج نشان داد شیب هیدرولیکی آبخوان در بخش جنوب آبخوان بیشترین مقدار (حدود ۵/۶۵ درصد) را دارد. این شیب به سمت شمال و شمال شرقی کم می‌شود، به‌طوری‌که نزدیک به مرز خروجی و دریاچه نمک به حدود ۰/۰۱ درصد کاهش می‌یابد. جهت آب زیرزمینی به‌طور کلی از جنوب غربی به سمت شمال شرقی است. منشأ تغذیه آبخوان عمدتاً از سمت جنوب و جنوب غربی آبخوان است و تغذیه جانبی آبخوان در ارتفاعات آهکی فین و لتحر نیز قابل توجه است. به‌همین دلیل ورود جریان در امتداد مرز غربی کاملاً مشهود است. همچنین نتایج مبین این است که جهت جریان از جنوب، جنوب شرق، غرب و جنوب غرب به سمت دشت کاشان است، ولی مرز شمال شرقی به‌عنوان مرز خروجی آبخوان شناخته می‌شود و به‌طور کلی آب زیرزمینی از سمت دشت کاشان به سمت دریاچه نمک جریان دارد. جهت جریان‌های آب زیرزمینی در محدوده بسیار جزیی از شمال غربی آبخوان به‌صورت واگرا است که نشان‌دهنده نفوذ رواناب‌ها و در نتیجه تغذیه آب زیرزمینی در این محدوده است. همچنین مطابق شکل (۱)، جهت جریان آب زیرزمینی در قسمتی از بخش‌های مرکزی، شمال غرب، غرب و جنوب شرقی آبخوان از وضعیت عمومی، که همان از سمت جنوب غربی به سمت شمال شرقی است، خارج شده و به سمت نقاط خاصی همگرا شده است. همگرا بودن خطوط جریان آب زیرزمینی نشان‌دهنده این است که در این مناطق، تمرکز چاه‌های بهره‌برداری زیاد است و برداشت زیادی صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال خطوط جریان در نواحی جنوبی و غربی ابوزیدآباد (امتداد جاده ابوزیدآباد)، حالت همگرا دارند که نشان‌دهنده بهره‌برداری زیاد از آب زیرزمینی است. در ناحیه‌ای بین کاشان، راوند و آران و بیدگل نیز مخروط‌های افت کوچکی تشکیل شده که نشان‌دهنده تمرکز زیاد چاه‌ها و بهره‌برداری زیاد از

آبخوان است. خطوط جریان در نواحی نصرآباد، مشکان، آب شیرین و سن‌سن نیز وضعیت همگرا دارند.



شکل ۱- نقشه‌های شیب هیدرولیکی و خطوط هم‌پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی براساس میانگین تراز ایستابی سال آبی ۹۷ - ۱۳۹۶



شکل ۲- نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی شهریور ۹۷ نسبت به مهر ۹۶ و نقشه ضریب ذخیره آبخوان

بیلان آب زیرزمینی و تغییرات حجم ذخیره آب زیرزمینی

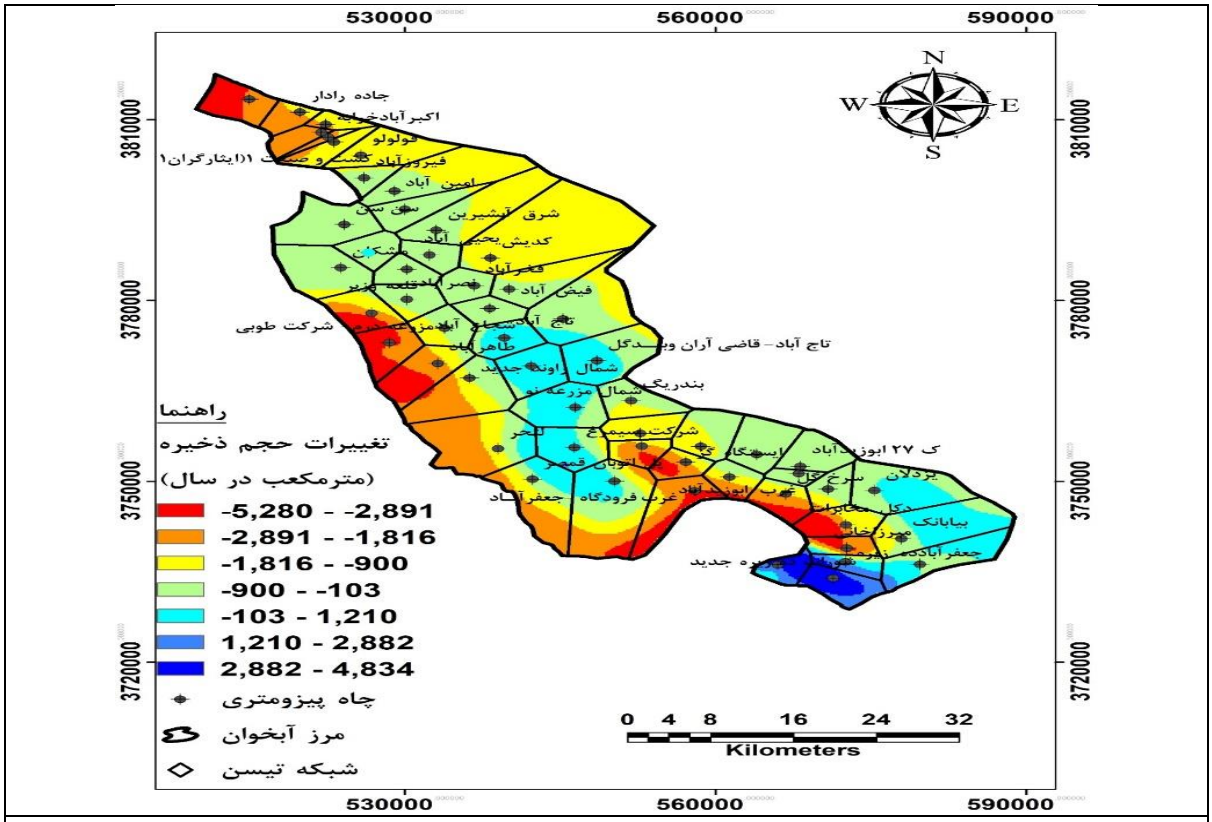
به‌منظور محاسبه بیلان آب زیرزمینی، ابتدا تغییرات حجم ذخیره آبخوان بر مبنای معادله مبتنی بر تحلیل دو بعدی آبخوان محاسبه شد. سپس مؤلفه‌های ورودی و خروجی بیلان براساس روابط و معادلات ارائه شده مطابق با روش تحقیق محاسبه شدند.

تغییرات حجم ذخیره آبخوان با استفاده از لایه تغییرات سطح آب زیرزمینی سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ (تغییرات سطح آب در شهریور ۹۷ نسبت به مهر ۹۶) و لایه ضریب ذخیره آبخوان (بر اساس رابطه‌ی ۳) محاسبه شد (شکل ۲). لایه‌های ورودی موردنیاز بر اساس روش درون‌یابی کریجینگ در ArcGIS ساخته شدند. براساس نقشه ضریب ذخیره آبخوان، دامنه ضریب ذخیره از حدود ۰/۰۱ در حواشی کیلومتر ۱۰ ابوزیدآباد و ایستگاه گز تا ۰/۱۵ در جعفرآباد دەزیره متغیر است. همچنین میانگین وزنی ضریب ذخیره در دشت کاشان با توجه به سطح تأثیر برابر با ۰/۰۳۷ به‌دست آمد.

شکل (۳)، شبکه تیسن هر چاه پیزومتری و نرخ تغییرات حجم ذخیره آبخوان را به‌صورت مکانی و در مقیاس سلولی با ابعاد ۲۵۰ در ۲۵۰ متر در طول سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. مطابق با این نقشه، بیشترین افت حجم ذخیره آبخوان در حاشیه غرب آبخوان با دامنه ۱۸۱۶ تا ۵۲۸۰ مترمکعب در سال اتفاق افتاده و کمترین آن در محدوده‌هایی از جمله شجاع‌آباد، دهنار، یحیی‌آباد، نصرآباد، قلعه‌وزیر، امین‌آباد، سن‌سن و مشکان با دامنه ۱۰۳ تا ۹۰۰ مترمکعب در سال اتفاق افتاده است. بیشترین افزایش حجم ذخیره آب نیز با دامنه ۲۸۸۲ تا ۴۸۳۴ مترمکعب در سال در جنوب آبخوان در حوالی جعفرآباد دەزیره، شوراب دەزیره جدید و شجاع‌آباد چالقره جدید اتفاق افتاده است.

محاسبه حجم کل تغییرات ذخیره آبخوان در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ بر اساس نقشه ضریب ذخیره و تغییرات سطح آب نشان داد که آبخوان با افت قابل توجه به میزان ۳۵/۳ میلیون مترمکعب مواجه بوده است. مقدار این حجم به تفکیک محدوده تحت تأثیر هر چاه محاسبه شد که نتایج آن نشان داد بیشترین کاهش حجم تغییرات ذخیره در حوالی کدیش به میزان ۳/۶۳ میلیون مترمکعب اتفاق افتاده است. البته قابل ذکر است که مساحت تحت تأثیر این چاه زیاد و حدود ۱۶۸ کیلومتر مربع است. اولویت بعدی متعلق به نواحی لتحر با ۲/۴ میلیون مترمکعب کاهش در حجم ذخیره است. دامنه افت در حجم ذخیره آب زیرزمینی از ۲/۱۷ تا ۰/۷۵ میلیون مترمکعب در حوالی روبروی شرکت گالوانیزه، طاهرآباد، مزرعه درم– طوبی، غرب فرودگاه جعفرآباد، غرب حسین‌آباد میش‌مست، شمال راوند، پل اتوبان قمصر، امین‌آباد– مسجدالحسین، دکل مخابرات، امین‌آباد، شرق آب‌شیرین، سرخ گل و قولولو، تثبیت شن، ایستگاه گز و اکتشافی جعفرآباد اتفاق افتاده است.

در سایر مکان‌های آبخوان، این حجم کمتر از ۰/۷۵ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود، به‌گونه‌ای‌که در شمال مزرعه نو به صفر رسیده است. البته افزایش حجم آب زیرزمینی (از ۱/۷۱ تا ۰/۰۵ میلیون مترمکعب) در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ نیز به‌ترتیب در شبکه تحت تأثیر چاه‌های شوراب دەزیره جدید، شجاع‌آباد چالقره جدید، جعفرآباد دەزیره، جاده آران– نوش‌آباد، شرکت سیمرغ، جنوب حسین‌آباد شیبانی و تاج‌آباد برآورد شده است.



شکل ۳- نقشه نرخ تغییرات حجم ذخیره آبخوان

مؤلفه های خروجی آب زیرزمینی

مطابق با آمار دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی کاشان و آران و بیدگل، سطح زیر کشت محصولات مختلف زراعی و باغی و همچنین نیاز آبی آن‌ها در دشت کاشان برای محدوده شهر کاشان و بخش مرکزی شهرستان کاشان به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ و برای کلیه توابع شهرستان آران و بیدگل به‌ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. براساس آمار دریافتی، مقدار راندمان آبیاری به روش غرقابی ۴۰ درصد و برای روش‌های نوین در بخش زراعی ۶۵ درصد و در بخش باغی ۹۰ درصد تعیین شده است. از آن‌جا که محدوده شهر کاشان و بخش مرکزی آن و تمامی مناطق شهرستان آران و بیدگل در منطقه اقلیمی دشت کاشان واقع شده‌اند، مقدار نیاز آبی و راندمان آبیاری محصولات کشاورزی در محدوده آران و بیدگل مشابه با محدوده کاشان در نظر گرفته شد. مقدار کل نیاز ناخالص در هر هکتار، معادل با کل مصرف آب در بخش کشاورزی در هر هکتار است که حاصل تقسیم نیاز خالص بر راندمان آبیاری است. با در نظر گرفتن سطح زیر کشت هر محصول و میزان نیاز آبی ناخالص آن محصول در هر هکتار، مقدار کل آب مصرفی آن محصول در منطقه حاصل شده است.

طبق جدول‌های ۲ تا ۵، محصولات زراعی پرمصرف در محدوده‌های کاشان و آران و بیدگل به‌ترتیب یونجه، پنبه، گوجه‌فرنگی، پیاز، هندوانه، خربزه، طالبی و گرمک هستند و در بین محصولات باغی، بیشترین نیاز آبی مربوط به پسته، انار، خرمالو، هلو و سیب است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با اعمال آبیاری‌های نوین با بهره‌وری ۶۵ درصد در بخش زراعی و ۹۰ درصد در بخش باغی به‌طور قابل ملاحظه‌ای نیاز آبیاری کاهش می‌یابد و نشان می دهد که توسعه آبیاری به روش‌های نوین به مدیریت مصرف آب در منطقه کمک زیادی می‌نماید. براساس جدول‌های ۲ تا ۵ کل مصرف آب محصولات کشاورزی با سیستم‌های آبیاری سنتی و نوین برای محدوده‌های کاشان و آران و بیدگل به‌ترتیب ۹۸/۰۱ و ۱۷۳/۹ میلیون مترمکعب به‌دست آمد. از این مقادیر برای محدوده کاشان حدود ۴۸/۰۱ و ۵۰ میلیون مترمکعب و برای محدوده آران و بیدگل حدود ۷۱/۳ و ۱۰۲/۶ میلیون مترمکعب به‌ترتیب مربوط به بخش‌های زراعی و باغی است.

براساس طبقه‌بندی بر مبنای نوع آبیاری برای محدوده کاشان در بخش زراعی حدود ۴۲/۸۷ و ۵/۱۴ میلیون مترمکعب و در بخش باغی حدود ۳۹ و ۱۱ میلیون مترمکعب به‌ترتیب مربوط به روش‌های غرقابی و نوین بوده است. همچنین برای محدوده آران و بیدگل در بخش زراعی حدود ۶۹/۵ و ۱/۸ میلیون مترمکعب و برای بخش باغی ۹۸/۶۸ و ۳/۹۲ میلیون مترمکعب به‌ترتیب مربوط به روش‌های آبیاری غرقابی و نوین بوده است. در مجموع می‌توان گفت که غالباً در منطقه آبیاری با روش سنتی یا غرقابی انجام می‌شود و سهم آبیاری به روش نوین بسیار ناچیز است.

قابل ذکر است که منابع تأمین‌کننده آب کشاورزی محصولات مختلف در دشت کاشان، چاه‌های کشاورزی به تعداد ۲۵۳ حلقه در محدوده شهر کاشان و بخش مرکزی شهرستان کاشان و ۲۳۷ حلقه در محدوده شهرستان آران و بیدگل هستند. علاوه بر این بخشی از این نیاز آبی در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ از طریق چشمه و قنات‌های موجود در دشت مطالعه به میزان حدود ۴/۴۳ میلیون مترمکعب تأمین شده است.

جدول ۲- سطح زیرکشت و نیاز آبی محصولات زراعی محدوده شهر کاشان و بخش مرکزی کاشان (آمار جهادکشاورزی کاشان(۲۰))

محصول	سطح زیر کشت (هکتار)			نیاز آبی هر هکتار (مترمکعب)			کل مصرف (میلیون مترمکعب)	
	دشت کاشان	غرقابی	نوین	خالص	ناخالص (۴۰٪)	ناخالص (۶۵٪)	ناخالص (۴۰٪)	ناخالص (۶۵٪)
گندم	۷۲۴	۵۴۴	۱۸۰	۳۴۲۰	۸۵۵۰	۵۲۶۲	۴/۶۵	۰/۹۵
جو	۹۳۲	۸۳۲	۱۰۰	۲۵۳۰	۶۲۳۵	۳۸۹۲	۵/۲۶	۰/۳۹
پنبه	۲۵۲	۲۴۰	۱۲	۶۹۵۰	۱۷۳۷۵	۱۰۶۹۲	۴/۱۷	۰/۱۳
سبزی	۵۲۱	۵۰۹	۱۲	۴۰۶۰	۱۰۱۵۰	۶۲۴۶	۵/۱۷	۰/۰۷
صیفی	۵۳۹	۴۲۱	۱۱۸	۴۸۷۰	۱۲۱۷۵	۷۴۹۲	۵/۱۳	۰/۸۸
بادمجان	۱۴۸	۱۰۰	۴۸	۴۹۲۰	۱۲۳۰۰	۷۵۶۹	۱/۲۳	۰/۳۶
گوجه	۱۱۱	۱۱۱		۶۸۳۰	۱۷۰۷۵	۱۰۵۰۸	۱/۹	
باقلا	۳۳۳	۲۱۳	۱۲۰	۴۵۲۰	۱۱۳۰۰	۶۹۵۴	۲/۴۱	۰/۸۳
ذرت	۶۴	۴۴	۲۰	۵۲۲۰	۱۳۰۵۰	۸۰۳۱	۰/۵۷	۰/۱۶
کلزا	۲۰	۲۰		۳۴۲۰	۸۵۵۰	۵۲۶۲	۰/۱۷	
یونجه	۲۷۴	۱۷۴	۱۰۰	۸۸۹۰	۲۲۲۲۵	۱۳۶۷۷	۳/۸۷	۱/۳۷
انواع لوبیا	۵۸	۵۸		۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۶۱۵۴	۰/۵۸	
نخود	۴۴	۴۴		۳۷۸۰	۹۴۵۰	۵۸۱۵	۰/۴۲	
پیاز	۹۵	۹۵		۶۴۵۰	۱۶۱۲۵	۹۹۲۳	۱/۵۳	
شلغم‌و چغندر	۳۹	۳۹		۳۱۴۰	۷۸۵۰	۴۸۳۱	۰/۳۱	
سایر علوفه	۸۵	۸۵		۵۰۰۰	۱۲۵۰۰	۷۶۹۲	۱/۰۶	
گیاهان دارویی	۵۰۰	۵۰۰		۳۵۰۰	۸۷۵۰	۵۳۷۵	۴/۳۸	
زعفران	۱۲	۱۲		۲۰۰۰	۵۰۰۰	۳۰۷۷	۰/۰۶	
جمع کل							۴۲/۸۷	۵/۱۴

جدول ۳- سطح زیرکشت و نیاز آبی محصولات باغی محدوده شهر کاشان و بخش مرکزی کاشان

(آمار جهادکشاورزی کاشان (۲۰))

محصول	سطح زیر کشت (هکتار)			نیاز آبی هر هکتار (مترمکعب)			کل مصرف (میلیون مترمکعب)	
	دشت کاشان	غرقابی	نوین	خالص	ناخالص (۴۰٪)	ناخالص (۹۰٪)	ناخالص (۴۰٪)	ناخالص (۹۰٪)
پسته	۸۸۰	۵۸۰	۳۰۰	۸۸۳۰	۲۲۰۷۵	۹۸۱۱/۱	۱۲/۸	۲/۹۴
آلوچه	۴۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۶۵۰۰	۱۶۲۵۰	۷۲۲۲/۲	۳/۲۵	۱/۴۴
قیسی	۳۴۰	۲۴۰	۱۰۰	۶۵۰۰	۱۶۲۵۰	۷۲۲۲/۲	۳/۹۰	۰/۷۲
انار	۸۶۰	۴۰۰	۴۶۰	۸۷۸۰	۲۱۹۵۰	۹۷۵۵/۶	۸/۷۸	۴/۴۹
سیب	۲۷	۲۷		۷۵۳۰	۱۸۸۲۵	۸۳۶۶/۷	۰/۵۱	
انجیر	۴۵	۴۵		۷۳۰۰	۱۸۲۵۰	۸۱۱۱/۱	۰/۸۲	
خرمالو	۱۰	۱۰		۸۵۰۰	۲۱۲۵۰	۹۴۴۴/۴	۰/۲۱	
هلو	۶	۶		۸۰۰۰	۲۰۰۰۰	۸۸۸۸/۹	۰/۱۲	
انگور	۱۰۰	۸۰	۲۰	۷۴۶۰	۱۸۶۵۰	۸۲۸۸/۹	۱/۴۹	۰/۱۷
بادام	۶۵	۶۵		۷۳۴۰	۱۸۳۵۰	۸۱۵۵/۶	۱/۱۹	
زیتون	۲۰۵	۱۲۵	۸۰	۷۰۰۰	۱۷۵۰۰	۷۷۷۷/۸	۲/۱۹	۰/۶۲
توت	۲	۲		۹۰۰۰	۲۲۵۰۰	۱۰۰۰۰	۰/۰۵	
زردآلو	۱۰	۵	۵	۷۳۴۰	۱۸۳۵۰	۸۱۵۵/۶	۰/۰۹	۰/۰۴
گل محمدی	۲۶۰	۲۲۵	۳۵	۶۵۰۰	۱۶۲۵۰	۷۲۲۲/۲	۳/۶۶	۰/۲۵
گلخانه	۱۸	۱۸		۵۰۰۰	۱۲۵۰۰	۵۵۵۵/۶	۰/۲۳	
جمع کل							۳۹	۱۱

جدول ٤- سطح زیرکشت و نیاز آبی محصولات زراعی محدوده شهرستان آران و بیدگل

(آمار جهادکشاورزی آران و بیدگل (۲۱))

محصول	سطح زیر کشت (هکتار)			نیاز آبی* هر هکتار (مترمکعب)			کل مصرف (میلیون مترمکعب)	
	دشت آران و بیدگل	غرقابی	نوین	خالص	ناخالص (۴۰٪)	ناخالص (۶۵٪)	ناخالص (۴۰٪)	ناخالص (۶۵٪)
گندم	۸۵۰	۸۵۰		۳۴۲۰	۸۸۵۵۰	۵۲۶۱/۵	۷/۳	
جو	۳۲۰۰	۳۲۰۰		۲۵۳۰	۶۲۳۵	۳۸۹۲/۳	۲۰	
ارزن	۱۰۰	۱۰۰		۵۰۲۲	۱۲۵۵۵	۷۷۲۶	۱/۳	
هندوانه	۴۰	۴۰		۶۱۳۸	۱۵۳۴۵	۹۴۴۳	۰/۶	
خربزه	۴۰	۴۰		۵۵۸۰	۱۳۹۵۰	۸۵۸۴/۶	۰/۶	
طالبی و گرمک	۴۲۰	۲۱۶	۲۰۴	۵۵۸۰	۱۳۹۵۰	۸۵۸۴/۶	۳	۱/۸
خیار	۳۰	۳۰		۴۸۳۶	۱۲۰۹۰	۷۴۴۰	۰/۴	
انواع کدو	۲	۲		۴۸۳۶	۱۲۰۹۰	۷۴۴۰	۰	
پیاز	۹۰	۹۰		۶۴۵۰	۱۶۱۲۵	۹۹۲۳/۱	۱/۵	
گوجه فرنگی	۵	۵		۶۸۳۰	۱۷۰۷۵	۱۰۵۰۷/۷	۰/۱	
بادمجان	۱۰۰	۱۰۰		۴۹۲۰	۱۲۳۰۰	۷۵۶۹/۲	۱/۲	
باقلا	۱۰۰	۱۰۰		۴۵۲۰	۱۱۳۰۰	۶۹۵۳/۸	۱/۱	
سایر سبزیجات	۴۵۰	۴۵۰		۴۰۶۰	۱۰۱۵۰	۶۲۴۶/۲	۴/۶	
یونجه	۷۰۰	۷۰۰		۸۸۹۰	۲۲۲۲۵	۱۳۶۷۶/۹	۱۵/۶	
ذرت علوفه ای	۲۵۰	۲۵۰		۵۷۶۶	۱۴۴۱۵	۸۸۷۰/۷	۳/۶	
شلغم و چغندر علوفه‌ای	۲۵۰	۲۵۰		۳۱۴۰	۷۸۵۰	۴۸۳۰/۸	۲	
کنجد	۵	۵		۳۸۶۴	۹۶۶۰	۵۹۴۴/۶	۰	
تنباکو	۲	۲		۷۴۴۰	۱۸۶۰۰	۱۱۴۴۶/۲	۰	
پنبه	۳۵۰	۳۵۰		۶۹۵۰	۱۷۳۷۵	۱۰۶۹۲/۳	۶/۱	
آفتابگردان آجیلی	۴۰	۴۰		۵۵۸۰	۱۳۹۵۰	۸۵۸۴/۶	۰/۶	
سایر محصولات	۱۵	۱۵		۳۶۲۷	۹۰۶۷/۵	۵۵۸۰	۰/۱	
جمع کل							۶۹/۵	۱/۸

* با توجه به واقع شدن شهرستان آران و بیدگل در یک منطقه اقلیمی، نیاز آبی و راندمان آبیاری مشابه محدوده کاشان در نظر گرفته شد.

جدول ۵- سطح زیرکشت و نیاز آبی محصولات باغی محدوده شهرستان آران و بیدگل

(آمار جهادکشاورزی آران و بیدگل (۲۱))

محصول	سطح زیر کشت (هکتار)			نیاز آبی* هر هکتار (مترمکعب)			کل مصرف (میلیون مترمکعب)	
	دشت آران و بیدگل	غرقابی	نوین	خالص	ناخالص (۴۰٪)	ناخالص (۹۰٪)	ناخالص (۴۰٪)	ناخالص (۹۰٪)
پسته	۴۱۰۰	۳۷۶۵/۶۳	۳۳۴/۳۷	۸۸۳۰	۲۲۰۷۵	۹۸۱۱/۱	۸۳/۱۳	۳/۲۸
انار	۲۱۰	۱۹۶/۳۸	۱۳/۶۲	۸۷۸۰	۲۱۹۵۰	۹۷۵۵/۶	۴/۳۱	۰/۱۳
زعفران	۸۵	۸۵		۲۰۰۰	۵۰۰۰	۲۲۲۲/۲	۰/۴۳	
باغات مخلوط	۴۰۰	۴۰۰		۷۱۰۰	۱۷۷۵۰	۷۸۸۸/۹	۷/۱	
گل محمدی	۷۰		۷۰	۶۵۰۰	۱۶۲۵۰	۷۲۲۲/۲۲		۰/۵۱
محصولات گلخانه	۷	۷		۵۰۰۰	۱۲۵۰۰	۵۵۵۵/۵۵	۰/۰۹	
گیاهان دارویی	۴۱۵	۴۱۵		۳۵۰۰	۸۷۵۰	۳۸۸۸/۸۹	۳/۶۳	
جمع							۹۸//۶۸	۳/۹۲

* با توجه به واقع شدن شهرستان آران و بیدگل در یک منطقه اقلیمی، نیاز آبی و راندمان آبیاری مشابه محدوده کاشان در نظر گرفته شد.

طبق آمار اخذ شده از شهرداری کاشان، آبیاری فضای سبز در محدوده کاشان از طریق ۱۸ حلقه چاه با دبی متوسط ۸ لیتر در ثانیه صورت می‌گیرد که با در نظر گرفتن میزان متوسط ساعت آبیاری ۱۵ ساعت و تعداد روزهای آبیاری ۳۰۰ روز در سال، میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی به میزان حدود ۲،۳۳۲،۸۰۰ مترمکعب در یک سال آبی برآورد شد (۲۵).

طبق آمار دریافتی از شهرداری آران و بیدگل، میزان کل آب مصرفی در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ برای ۱۷۰ هکتار فضای سبز حدود ۱،۷۶۲،۵۶۰ مترمکعب اعلام شده است (۲۳). براساس آمار اخذ شده از شرکت آب و فاضلاب کاشان، مجموع آب تأمین شده در بخش آبرفتی آبخوان (دشت کاشان) در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ برای بخش‌های خانگی، تجاری، صنعتی، اداری و دولتی، عمومی و مذهبی، مدارس، بنایی، نانوایی، گرمابه و سایر خدمات شهری، حدود ۲۹/۱۵ میلیون مترمکعب بوده است. لازم به ذکر است که فقط بخش کمی از نیاز برخی از صنایع در مناطقی از دشت کاشان توسط شرکت آب و فاضلاب کاشان تأمین می‌شود و عمده آب مصرفی صنایع منطقه از چاه‌های حفر شده اختصاصی، با مجوز صنعتی از مدیریت منابع آب شهرستان‌های کاشان و آران و بیدگل، تأمین می‌شود. در آمار شرکت آب و فاضلاب کاشان، مصارف خانگی، صنعتی و تجاری در محدوده کاشان (شامل شهر کاشان و شهرک‌های غرب) به‌ترتیب حدود ۱۸/۸۵، ۱/۲۳۷ و ۰/۵۸ میلیون مترمکعب و برای محدوده آران و بیدگل (شامل شهر آران و بیدگل، نوش‌آباد، سفیدشهر و ابوزیدآباد) به‌ترتیب ۵/۳۸، ۰/۲۷۳ و ۰/۱۵ میلیون مترمکعب بوده است. در دشت کاشان مطابق آمار شرکت آب و فاضلاب کاشان در مجموع ۲۶/۴۷ میلیون مترمکعب آب در بخش‌های خانگی، صنعتی و تجاری مصرف شده است، همچنین حدود ۲/۶۸ میلیون مترمکعب آب در بخش‌های اداری و دولتی، عمومی، بنایی، نانوایی، نیروهای مسلح، مدارس، مذهبی، گرمابه و سایر موارد مصرف شده است. مدیریت منابع آب کاشان و آران و بیدگل به‌ترتیب مصرف ۴ و ۳/۰۸ میلیون مترمکعب را برای بخش صنعتی واقع در دشت کاشان اعلام کرده‌اند. در نتیجه مجموع سالیانه مصرف آب صنعتی در دشت ۸/۵۹ میلیون مترمکعب است. علاوه بر آمار فوق، میزان آب شرب و بهداشتی روستایی در روستاهای بخش مرکزی کاشان و روستاهای آران و بیدگل به‌ترتیب ۰/۵۲ و ۱/۵۷ میلیون مترمکعب بوده است. با توجه به آمار مذکور، مجموع کل آب شرب و بهداشتی شهری و روستایی، خدمات و صنعت در منطقه معادل با ۳۸/۳۲ میلیون مترمکعب بوده است. لازم به ذکر است که ۶ میلیون مترمکعب از مجموع آبی که توسط شرکت آب و فاضلاب کاشان در همه بخش‌ها تأمین شده است مربوط به آب انتقالی از زاینده‌رود است.

نیاز آبی سالانه دام و طیور در سال ۹۷ – ۱۳۹۶ در محدوده‌های کاشان و آران و بیدگل به‌ترتیب برابر ۱/۴ و ۱/۳۴ میلیون مترمکعب برآورد شده است (جدول‌های ۶ و ۷).

جدول ٦- نیاز آبی سالانه دام و طیور در محدوده شهر کاشان و بخش مرکزی شهرستان کاشان آمار جهادکشاورزی کاشان (۱۸ و ۲۰)

دام و طیور	تعداد	نیاز آبی سالانه (لیتر بر واحد دام یا طیور)	مجموع کل مصرف (میلیون‌مترمکعب)
مرغ تخم‌گذار گوشتی و پولت	۲۳۴۱۵۰۰	۲۷۹	۰/۶۵۳
گوسفند، بره و بز	۴۲۹۹۳	۳۳۷۶	۰/۱۴۵
گاو شیری	۹۰۰۰	۴۵۶۲۵	۰/۴۱
گاو و گوساله گوشتی	۸۰۰۰	۲۴۰۹۰	۰/۱۹۲
جمع کل			۱/۴

همچنین در محدوده کاشان و آران بیدگل طبق آمار اداره‌های جهاد کشاورزی این دو شهرستان به‌ترتیب تعداد ۵۵۶ و ۵۲ واحد استخر پرورش آبزیان وجود دارد که با حاصل‌ضرب در سطح تقریبی آنها (۱۰۰ مترمربع) و تبخیر سطح آب سالیانه منطقه، مقدار تبخیر از سطح آنها مشخص شد. بدین‌ترتیب، مقدار تبخیر از سطح استخرهای موجود در کاشان ۰/۱۱ و در آران و بیدگل ۰/۰۱ میلیون مترمکعب و در مجموع ۰/۱۲ میلیون مترمکعب است

در پنج زیر بخش قبلی، میزان برداشت‌ها از آبخوان دشت کاشان برای نیازهای مختلف مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند. خلاصه یافته‌های به‌دست آمده مربوط به بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی دشت کاشان در موارد مختلف در جدول ۸ ارائه شده است. مطابق ارقام جدول ۸ در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ از مجموع ۳۱۷/۱۷ میلیون مترمکعب برداشت از آبخوان آب زیرزمینی دشت کاشان در مجموع مقدار ۲۷۸/۸۵ میلیون متر مکعب برای کشاورزی، فضای سبز، دام و طیور و استخرهای پرورش ماهی بوده است که حدود ۸۸ درصد (۸۷/۹۲ درصد) از کل برداشت‌ها را شامل می‌شود و مصرف در سایر بخش‌ها فقط ۱۲ درصد بوده است.

جدول ۷- نیاز آبی سالانه دام و طیور در محدوده آران و بیدگل آمار جهادکشاورزی آران و بیدگل (۱۸ و ۲۱)

دام و طیور	تعداد	نیاز آبی سالانه (لیتر بر واحد دام یا طیور)	مجموع کل مصرف (میلیون مترمکعب)
مرغ گوشتی	۸۹۵۰۰۰	۲۱۹	۰/۱۹۶
گوسفند، بره و بز	۸۰۰۰۰	۳۳۷۶	۰/۲۷
مرغ تخم‌گذار	۴۴۷۰۰۰	۲۵۵/۵	۰/۱۱۴
گاو شیری	۱۰۰۰۰	۴۵۶۲۵	۰/۴۵۶
گاو و گوساله گوشتی	۱۰۰۰۰	۲۴۰۹۰	۰/۲۴
اسب	۲۶۲	۲۵۵۵۰	۰/۰۰۶۶
شترمرغ	۱۲۰۰	۱۰۰۰۰	۰/۰۱۲
شتر	۱۰۰۰	۱۴۶۰۰	۰/۰۱۴۶
بوقلمون	۹۲۰۰	۳۶۵	۰/۰۰۳۳۵
پولت	۷۰۰۰۰	۳۶۵	۰/۰۲۵
کندوی زنبور عسل	۱۲۶۸	۲ لیتر روزانه به مدت ۷ ماه از اردیبهشت تا آخر آبان‌ماه معادل ۴۳۰ لیتر	۰/۰۰۰۵۴
جمع کل			۱/۳۴

مؤلفه‌های ورودی آب زیرزمینی

میزان حجم جریان ورودی جانبی آب زیرزمینی از ارتفاعات به آبخوان با استفاده از معادله دارسی و مطابق روش تحقیق ذکر شده محاسبه شد. لازم به ذکر است که مرزهای ورودی قبلاً در شکل ۱ نمایش داده شد. مقدار جریان ورودی مطابق با معادله دارسی به اندازه ۱۷۶/۱۴ میلیون مترمکعب (حدود ۵۶ درصد کل تغذیه) برآورد شد. مقدار نفوذ از بارندگی و جریان سطحی ایجاد شده در حوضه به روش معکوس رابطه بیلان و حجم تغییرات ذخیره (۳۵/۳- میلیون مترمکعب) با استفاده از معادله مبتنی بر تحلیل‌های دو بعدی آبخوان به‌دست آمد. بر این اساس مقدار این مؤلفه برابر ۴۰/۸۸ میلیون مترمکعب (حدود ۱۳ درصد تغذیه) برآورد شد.

جدول ۸- میزان بهره‌برداری از آبخوان دشت کاشان برای بخش های مختلف در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶ (۲۸ و ۲۹)

نوع مصرف	میزان برداشت (میلیون متر مکعب)	درصد از کل برداشت (٪)
کشاورزی	۲۷۱/۹	۸۵/۷۳
فضای سبز شهری	۴/۰۹	۱/۲۹
شرب و بهداشتی شهری (خانگی) (۲۸ و ۲۹)	۲۴/۲۳	۷/۶۴
شرب و بهداشتی روستایی (خانگی) (۲۸ و ۲۹)	۲/۰۹	۰/۶۶
تجاری	۰/۷۳	۰/۲۳
اداری و عمومی و ...	۲/۶۸	۰/۸۴
صنعت	۸/۵۹	۲/۷۱
دام وطیور	۲/۷۴	۰/۸۶
تبخیر از استخرهای پرورش ماهی	۰/۱۲	۰/۰۴
جمع کل	**۳۱۷/۱۷**	**۱۰۰**

براساس گزارش مهندسین مشاور آبخوان (۱۹)، حدود ۲۵ درصد آب مصرفی کشاورزی به‌عنوان پسابی که مجدداً به آبخوان برمی‌گردد در نظر گرفته شد. از آنجایی که میزان آب مصرفی کشاورزی مطابق با نیاز ناخالص آبیاری (۲۰ و ۲۱) برای کشت‌های مختلف در سطح منطقه ۲۷۱/۸ میلیون مترمکعب به‌دست آمد، پساب آب مصرفی کشاورزی با اعمال ضریب ۲۵ درصد، حدود ۶۷/۹۵ میلیون مترمکعب برآورد شد. در مجموع آب برگشتی کشاورزی و فضای سبز با احتساب پساب حاصل از آب مصرفی فضای سبز (۱/۰۲ میلیون متر مکعب) حدود ۶۸/۹۷ میلیون متر مکعب به‌دست آمد. همچنین بر مبنای مطالعه مهندسین مشاور آبخوان (۱۹) تغذیه آبخوان از طریق برگشت آب مصرفی شهری (شرب و بهداشت) و صنعت معادل ۸۰ درصد آب مصرفی لحاظ شد. میزان کل آب مصرفی شرب، صنعت و خدمات در سال آبی ۹۶ – ۱۳۹۷ در محدوده دشت کاشان حدود ۳۸/۳۲ میلیون مترمکعب بوده است.

بنابراین با احتساب ضریب فوق حدود ۳۰/۶۵۶ میلیون مترمکعب از این آب به آبخوان برمی‌گردد.

خلاصه اجزای بیلان و تغییرات ذخیره آبخوان

جدول ۹، خلاصه اجزای بیلان و تغییرات ذخیره آبخوان دشت کاشان را نشان می‌دهد. مطابق با این جدول تغییرات ذخیره آبخوان در دشت کاشان، منفی و برابر ۳۵/۳۹- میلیون مترمکعب به‌دست آمد، یعنی مقدار بهره‌برداری بیش‌تر از تغذیه است. این بدین‌معنی است که با استخراج آب زیرزمینی برای مصارف مختلف علاوه بر مصرف ذخیره دینامیک آبخوان، ذخیره استاتیک آبخوان تحت تأثیر قرار گرفته و کاهش یافته است. مقایسه بهره‌برداری در بخش‌های مختلف نشان می دهد که مصرف آب زیرزمینی در بخش کشاورزی، بخصوص برای محصولات با نیاز آبی بالا، علت اصلی تنش وارده به آبخوان است.

جدول ۹- خلاصه اجزای بیلان و تغییرات ذخیره آبخوان دشت کاشان در سال آبی ۹۷ – ۱۳۹۶

اجزای بیلان	مقادیر ورودی (میلیون مترمکعب)	مقادیر خروجی (میلیون مترمکعب)
نفوذ از بارش و سیلاب ایجاد شده در حوضه	۴۰/۸۸	
جریان ورودی جانبی آب زیرزمینی	۱۷۶/۱۴	
آب برگشتی از کشاورزی و فضای سبز	۶۸/۹۷	
آب برگشتی از مصارف شرب و بهداشتی، خدمات و صنعت	۳۰/۶۵۶	
جریان خروجی آب زیرزمینی		۳۴/۸۷
تخلیه چاه، چشمه، قنات جهت مصارف کشاورزی و فضای سبز		۲۷۵/۹۹
تخلیه چاه، چشمه، قنات و آب انتقالی جهت مصارف شرب و بهداشتی، خدمات و صنعت		۳۸/۳۲
مصرف دام و طیور		۲/۷۴
تبخیر از سطح استخرهای آبزیان		۰/۱۲
جمع	۳۱۶/۶۴۶	۳۵۲/۰۴
تغییرات حجم مخزن	**حدود ۳۵/۳۹- میلیون مترمکعب***	

* اعداد داخل جدول، گرد شده است.

** بعضی اطلاعات این بخش مربوط به منابع (۲۸) و (۲۹) است.

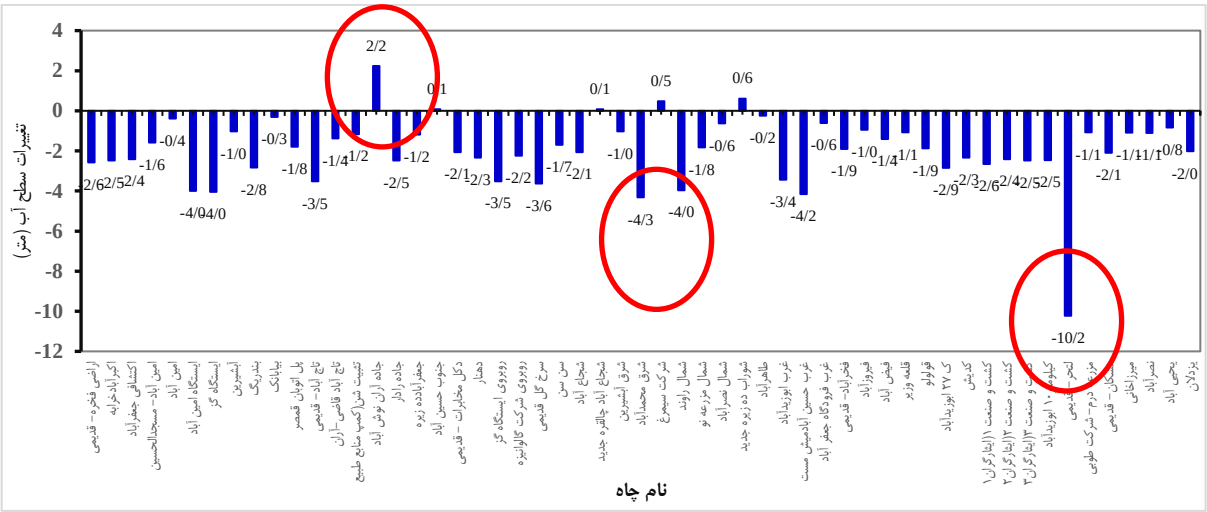
چشم‌انداز منابع آب آبخوان دشت کاشان

به‌منظور پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت کاشان در آینده، چندین سناریو در نظر گرفته شد و واکنش آب زیرزمینی نسبت به آن‌ها سنجیده شد که به شرح زیر است.

- سناریوی ادامه روند افت سطح آب زیرزمینی در ۵ ساله اخیر

به‌منظور بررسی چشم‌انداز کمی آبخوان ابتدا فرض شد که تمامی مؤلفه‌های مربوط به تغذیه سفره و برداشت آب از سفره دشت کاشان بدون هیچ تغییری باقی بمانند. یکی از ارکان این سناریو بر این اصل استوار است که هیچ اقدامی برای کاهش سطح کاشت محصولات آب‌بر و تغییر روش و الگوی آبیاری در مزارع و باغ‌های دشت کاشان انجام نشود و لذا کاهش افت آبخوان در ۵ سال بعد از سال ۱۳۹۷ (افق ۱۴۰۲) مشابه با روند افت در ۵ سال قبل از آن باشد. برای این منظور، سطح آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری شهریورماه ۱۳۹۷ از شهریورماه ۱۳۹۲ کسر گردید و افت ۵ سال گذشته محاسبه شد. سپس لایه آن در GIS با روش درون یابی کریجینگ ساخته شد. آنگاه بر اساس سناریوی مذکور، افت بدست آمده از تراز سطح آب زیرزمینی در شهریورماه ۹۷ کسر شد و بر این اساس میزان تغییر تراز سطح آب زیرزمینی در شهریورماه ۱۴۰۲ در مناطق مختلف دشت کاشان تعیین شد (شکل ۴). براساس نمودار شکل ۴ با فرض سناریوی مذکور، بخش عمده‌ای از سطح آبخوان نسبت به شهریورماه ۹۷ افت سطح آب زیرزمینی را تجربه خواهند نمود و فقط در مکان‌هایی نظیر جاده آران- نوش‌آباد (۲/۲۴ متر)، شوراب ده‌زیره (۰/۶۱ متر)، شرکت سیمرغ (۰/۴۷ متر) و شجاع‌آباد چالقره (۰/۰۸ متر)، افزایش سطح آب رخ خواهد داد. با توجه به شکل (۵) نیز پیش‌بینی‌ها نشان داد که بیشترین افت آبخوان در افق ۱۴۰۲ نسبت به تراز آب زیرزمینی در شهریورماه ۹۷ در حوالی چاه لتحر حدود ۱۰/۲۲ متر، در شرق محمدآباد (۴/۳۲ متر)، در غرب حسین‌آباد میش-مست (۴/۱۶ متر) و در ایستگاه گز (۴/۰۴ متر) اتفاق خواهد افتاد. سایر مکان‌های آبخوان با افت کمتری نسبت به مناطق مذکور مواجه خواهند شد. البته لازم به ذکر است که نتایج بررسی کیفی آب زیرزمینی در حال حاضر نیز نشان‌دهنده این است که آب زیرزمینی در اکثر نقاط دشت برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب نیست. لذا با ادامه روند کاهشی سطح آب زیرزمینی و اختلاط بیشتر لایه‌های شور پایینی با لایه‌های بالایی، وضعیت کیفی آب از وضعیت کنونی نیز وخیم‌تر خواهد بود.

براساس نتایج این سناریو، آبخوان دشت کاشان نه تنها به هیچ‌وجه امکان توسعه و افزایش بهره‌برداری را برای مصارف مختلف ندارد، بلکه نیاز است میزان بهره‌برداری با اقداماتی نظیر استفاده از روش‌های کاهش مصرف آب در کاربری‌های مختلف کاهش چشم‌گیر پیدا نماید. این اقدامات می‌تواند استفاده از وسایل کاهنده مصرف آب و استفاده از کنتورهای هوشمند برای کنترل برداشت‌ها، بازچرخش آب و استفاده از آب‌های غیرمتعارف در کاربری‌های صنعتی، اجرای سیستم نوین آبیاری، تغییر الگوی کشت، حذف و ممنوعیت یا کاهش قابل ملاحظه سطح زیر کشت محصولات پرآب کشاورزی مثل یونجه، پنبه، گوجه‌فرنگی، پیاز، هندوانه، خربزه، طالبی و گرمک و در بخش محصولات باغی، کاهش سطح و تعداد باغ‌های پسته، انار، خرمالو، هلو و سیب باشد. این اقدامات شاید نتواند به‌طور کلی افت تراز سطح آب زیرزمینی را متوقف کند، اما باعث خواهد شد که سرعت افت کاهش یابد.

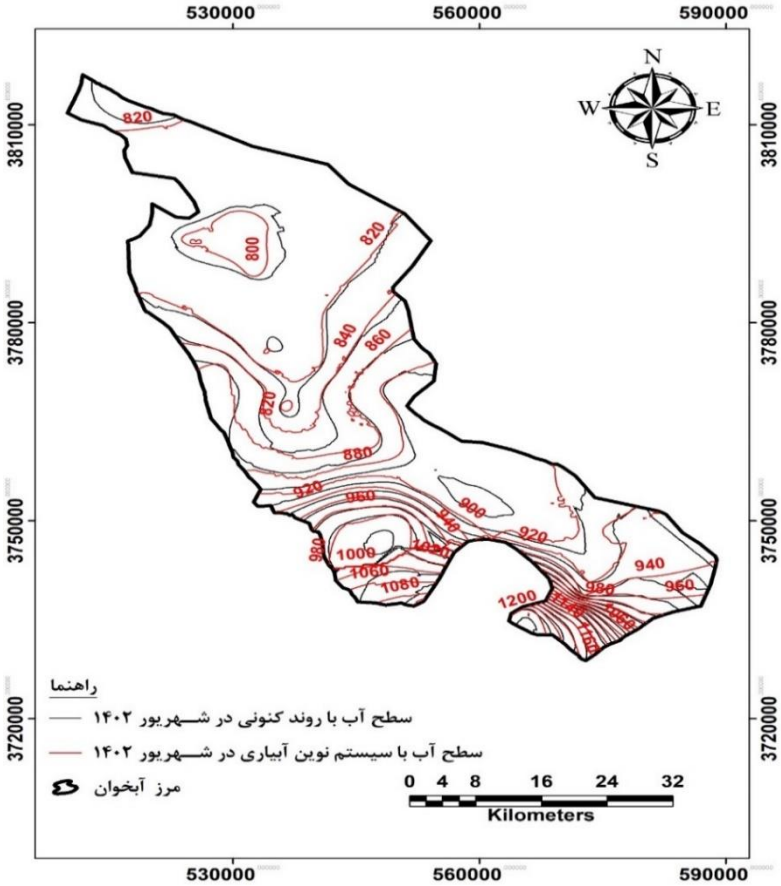


شکل ٤- پیش‌بینی افت در افق شهریورماه ۱۴۰۲ در چاه‌های مختلف

- سناریوی تجهیز اراضی به سیستم‌های نوین آبیاری

در این سناریو فرض شد نیمی از اراضی آبی کشاورزی شهرستان‌های کاشان و آران و بیدگل، که به‌صورت غرقابی آبیاری می‌شوند، به سیستم‌های نوین آبیاری مجهز شوند ولی مقادیر تغذیه ثابت بماند. به-دلیل اجرای این سیستم‌ها برای مزارع و باغ‌ها در محدوده کاشان و آران و بیدگل به‌ترتیب ۱۹/۱۲ و ۴۰/۶۹ میلیون مترمکعب آب در هر سال صرفه‌جویی خواهد شد. در این سناریو، نیاز آبی محصولات

براساس راندمان ۴۰ درصد در آبیاری غرقابی و ۶۵ و ۹۰ درصد در آبیاری نوین برای بخش‌های زراعی و باغی محاسبه شد و مقدار آب قابل ذخیره از تفاضل نیاز آبی در شرایط غرقابی و نوین به‌دست آمد. لازم به ذکر است که ذخیره این مقدار آب مدیریت شده بر روی تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده تحت تأثیر هر چاه بهره‌برداری، اثر خواهد کرد و در فصل مشترک محدوده تحت تأثیر چاه‌ها، این اثر دو برابر خواهد بود. براساس نظر علیزاده (۲۶)، مقدار شعاع تأثیر هر چاه به سادگی قابل اندازه‌گیری نیست، ولی در عمل از ۱۰۰ تا ۵۰۰ در نظر گرفته می‌شود. برای اعمال این سناریو، ابتدا مساحت تحت تأثیر هر چاه بهره‌برداری با فرض شعاع تأثیر ۳۰۰ متر، محاسبه شد. سپس عمق آب ذخیره شده با تقسیم حجم کل آب ذخیره شده از طریق سیستم‌های نوین آبیاری بر مجموع مساحت محدوده تحت تأثیر همه چاه‌ها به‌دست آمد. سپس مقدار آن طی ۵ سال آینده محاسبه و به سطح آب زیرزمینی شهریورماه ۹۷ اضافه شد و به این ترتیب سطح آب زیرزمینی در افق شهریورماه ۱۴۰۲ به‌دست آمد. نتایج واکنش سطح آب زیرزمینی به سناریوی فوق نشان داد که مقدار افزایش سطح آب زیرزمینی در محدوده تحت تأثیر چاه‌های بهره‌برداری در مناطق کاشان و آران و بیدگل به‌ترتیب برابر ۰/۲۷ و ۰/۵۸ متر در هر سال و در افق ۵ سال آینده (شهریورماه ۱۴۰۲)، ۱/۳۵ و ۲/۹ متر خواهد بود. برای فهم بهتر، در شکل ۵ خطوط تراز سطح آب زیرزمینی مربوط به سناریوی دوم (خطوط قرمز) با خطوط تراز سطح آب مربوط به سناریوی اول (خطوط مشکی) مقایسه شده است. نتایج مبین این است که در بیشتر محدوده آبخوان، ترازهای قرمزرنگ از ترازهای مشکی رنگ فاصله گرفته‌اند؛ این بدین‌معنی است که ترازهای با سطوح بالاتر، جایگزین ترازهای با سطوح پایین‌تر شده‌اند. همچنین به‌دلیل صرفه‌جویی آب حاصل از سناریوی اجرای سیستم‌های نوین آبیاری در بخش‌هایی که تمرکز چاه‌های بهره‌برداری زیاد است، مقدار این فاصله بیشتر است. بنابراین به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که با اجرای این روش از وسعت مناطق با تراز پایین سطح آب زیرزمینی کاسته می‌شود.



شکل ۵- پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی حاصل از دو سناریوی متفاوت در شهریورماه ۱۴۰۲

نکته حائز اهمیت دیگر این است که اگرچه نتیجه اثر اجرای این سناریو بر سطح آب زیرزمینی در افق ۱۴۰۲ و حتی افق‌های طولانی‌تر تا حدودی مفید خواهد بود، اما با توجه به روند افت طولانی‌مدت آبخوان، زمان زیادی لازم است تا سطح آب زیرزمینی به حالت نرمال برگردد. بنابراین همراه با اجرایی شدن این سناریو لازم است برای مدیریت آب زیرزمینی و تأمین میزان آب مورد نیاز برای مصارف مختلف به‌ویژه بخش شرب و بهداشتی، راه‌کارهای عملی دیگری از جمله انتقال آب از بیرون حوضه به منطقه دشت نیز بررسی و اجرایی شوند.

- سناریوی ذخیره رواناب حاصل از ارتفاعات غربی و جنوبی

سناریویی که می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مطرح شود این است که می‌توان بخش عمده‌ای از رواناب حاصل از ارتفاعات را در مکان‌های غربی و جنوبی دشت ذخیره نمود و سپس برای بخشی از نیازهای مختلف کشاورزی و همچنین برای مصارف شرب و بهداشتی تخصیص داد تا از این طریق افت سطح آب در مکان‌های پرتنش کاهش یابد. برای این منظور، حجم رواناب حاصله از ارتفاعات مطابق روش لیسی محاسبه شد. در روش لیسی، مقدار $\frac{F}{Z}$ با توجه به جدول ۱ و نیز خصوصیات فیزیوگرافی ارتفاعات بالادست و تداوم بارش در منطقه، ۰/۵ درنظر گرفته شد. سطح اراضی ارتفاعات بالادست منطقه مطالعاتی، حدود ۴۲۵۴ کیلومترمربع است و میانگین بارش در سال ۹۷ - ۱۳۹۶ حدود ۱۵۸/۴ میلی‌متر برآورد شد. بنابراین با در نظر گرفتن مقادیر فوق، مقدار رواناب با روش لیسی، حدود ۶۳/۴۴ میلیون متر مکعب به‌دست آمد که با استفاده از سازه‌های آبخیزداری یا سامانه‌های پخش سیلاب می‌توان این حجم رواناب را ذخیره نمود.

- سناریوی ذخیره بخشی از تغذیه جانبی به آبخوان

در این تحقیق میزان تغذیه ورودی آب زیرزمینی به آبخوان که عمدتاً در جنوب و جنوب غربی آبخوان صورت می‌گیرد، حدود ۱۷۶ میلیون مترمکعب برآورد شد؛ اما با توجه به اینکه کیفیت آب زیرزمینی در اکثر بخش‌های منطقه مطالعاتی برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب نیست، می‌توان بخشی از آب تغذیه شده را قبل از ورود به مکان‌های پایین‌تر دشت که دارای منابع آبی با رده‌های پایین کیفی است، با احداث سد زیرزمینی کنترل نمود و عمدتاً برای بخش شرب و بهداشتی تخصیص داد. این سناریو می‌تواند به‌عنوان یک راه‌کار اجرایی بررسی و پیشنهاد شود؛ به شرط اینکه مکان‌یابی دقیق آن مطالعه و مدل‌سازی شود.

بحث و نتیجه‌گیری

الف- بررسی جهت جریان آب زیرزمینی نشان داد که آب زیرزمینی، روندی جنوب غربی- شمال شرقی دارد. این موضوع مبین این است که منشأ تغذیه عمدتاً در نواحی جنوب و جنوب غربی آبخوان است و تغذیه جانبی نیز در ارتفاعات آهکی فین و لتحر صورت می‌گیرد. براساس ترسیم خطوط جریان، مرز شمال شرقی آبخوان مرز خروجی آبخوان است و آب زیرزمینی کاشان را به سمت دریاچه نمک تخلیه می‌نماید و بر خلاف برخی حدس و گمان‌ها و نتایج تحقیقات قبلی خراسانی‌زاده و همکاران (۱)، ورود آب از سمت سفره آب شور مجاور (دریاچه نمک) به آبخوان دشت کاشان وجود ندارد. این بخش نتایج با یافته‌های میرزاوند (۱۷) مطابق دارد.

ب- بررسی نتایج مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی نشان داد که تشخیص مقدار مصرف آب کشاورزی با تکیه بر اندازه‌گیری مستقیم به‌دلیل عدم نصب کنتور هوشمند بر روی کلیه چاه‌ها، خرابی برخی از کنتورهای موجود و یا عدم پایش و اندازه‌گیری مرتب، دقت بالایی ندارد. لذا در این تحقیق از طریق محاسبه معکوس و مطابق با آمار ادارات جهاد کشاورزی منطقه برای محصولات مختلف باغی و زراعی با لحاظ نمودن میزان بهره‌وری ۴۰ درصد برای آبیاری غرقابی و ۶۵ و ۹۰ درصد برای آبیاری نوین در بخش‌های زراعی و باغی، نیاز آبی کلیه محصولات کشاورزی در محدوده دشت کاشان محاسبه شد. نتایج مبین این است که در بخش کشاورزی و فضای سبز در سال آبی ۹۷ - ۱۳۹۶، حدود ۲۷۵/۹۹ میلیون مترمکعب آب مصرف شده است، که معادل حدود ۸۷/۰۲ درصد از کل برداشت‌ها از منابع آب زیرزمینی در منطقه است. مجموع مصارف شرب، بهداشت، صنعت، تجاری، عمومی و خدمات حدود ۱۲ درصد از کل برداشت از آبخوان و معادل ۳۸/۳۲ میلیون مترمکعب است. کمتر از ۱ درصد کل تخلیه معادل ۲/۷۴ میلیون مترمکعب برای شرب دام و طیور و ۰/۱۲ میلیون مترمکعب از طریق تبخیر از استخرهای آبزیان مصرف شده است. حدود ۶ میلیون مترمکعب از مجموع آب تأمین شده توسط شرکت آب و فاضلاب کاشان برای مصارف مختلف نیز مربوط به آب انتقالی زاینده‌رود به کاشان است. همچنین حدود ۱۱ درصد از کل تخلیه آب در این سال (معادل ۳۴/۸۷ میلیون مترمکعب) از سفره دشت به جریان خروجی جانبی آب زیرزمینی مربوط می‌شود که بالغ بر ۲۸ میلیون مترمکعب آن از طریق مرز شمال شرقی آبخوان وارد دریاچه نمک می‌شود. به طور کلی بر اساس محاسبات انجام شده بخش عمده مصرف منابع آب زیرزمینی مربوط به کشاورزی در منطقه است. در سایر تحقیقات نظیر مسلمی و درویشی (۹)، و رضایی و همکاران (۱۲) نیز به پرمصرف بودن این بخش تأکید شده است.

ج- بررسی نتایج مؤلفه‌های ورودی آب زیرزمینی نشان داد که عمده تغذیه سفره از مرزهای جنوبی و غربی آبخوان حدود ۵۶ درصد کل تغذیه و معادل ۱۷۶/۱۴ میلیون مترمکعب است و حدود ۲۵ درصد از پساب مصارف کشاورزی و فضای سبز معادل ۶۸/۹۷ میلیون مترمکعب است. همچنین حدود ۱۰ درصد نسبت به کل جریان ورودی از طریق پساب حاصل از مصرف شرب، خدمات و صنعت معادل ۳۰/۶۵۶ میلیون مترمکعب به آبخوان برگشته است که این رقم معادل ۸۰ درصد کل مصرف صنعتی، خدماتی، شرب و بهداشتی است. همچنین تغذیه از طریق بارش و جریان سطحی ایجاد شده در حوضه، حدود ۱۳ درصد کل تغذیه و معادل ۴۰/۸۸ میلیون مترمکعب برآورد شده است. علاوه بر این تغییرات حجم ذخیره آبخوان در سال آبی ۹۷ - ۱۳۹۶ نشان داد که حجم ذخیره آب زیرزمینی حدود ۳۵/۳۹ میلیون مترمکعب افت کرده است. همچنین نتایج مقایسه تغییرات ذخیره آبخوان در سال آبی ۹۷ - ۱۳۹۶ با تحقیق صورت گرفته توسط خراسانی‌زاده و همکاران (۱) نشان داد که کاهش سالیانه حجم ذخیره آبخوان نسبت به سال آبی ۸۴ - ۱۳۸۳ به اندازه ۳/۴۲ میلیون مترمکعب بیشتر شده است. بیلان مربوط به سال آبی ۸۴ - ۱۳۸۳ تغییرات حجم ذخیره آبخوان را برابر ۳۱/۹۷- میلیون مترمکعب نشان داده است. این موضوع نشان‌دهنده بهره‌برداری بیشتر از آبخوان و کاهش کمی منابع آب و در نتیجه، وخیم‌تر شدن وضعیت منطقه مطالعاتی از نظر دسترسی به آب در آینده است. در سایر پژوهش‌ها برای مثال میرمحمدصادقی و همکاران (۱۰)، سنگین‌آبادی و همکاران (۱۱)، رازا و همکاران (۱۴)، فلاح و همکاران (۳۰) و نیز

فیتس و همکاران (۳۱) بهره‌برداری بی‌رویه را نیز عامل مهم افت منابع آب زیرزمینی ذکر کرده اند که در راستای با نتایج این بخش تحقیق می‌باشد.

د- تغییرات حجم ذخیره افت آب زیرزمینی به‌صورت مکانی نشان داد که کدیش به‌دلیل مساحت بالای شبکه تیسن، دارای بیشترین افت حجم ذخیره حدود ۳/۶۳ میلیون مترمکعب است و سپس لتحر به‌دلیل تمرکز بالای تعداد چاه‌ها و برداشت بیش از حد آب زیرزمینی با ۲/۴ میلیون مترمکعب کاهش حجم ذخیره آب زیرزمینی مواجه بوده است. به همین ترتیب کاهش در حجم ذخیره آب زیرزمینی از ۲/۱۷ تا ۰/۷۵ میلیون مترمکعب در حوالی روبروی شرکت گالوانیزه، طاهرآباد، مزرعه درم- طوبی، غرب فرودگاه جعفرآباد، غرب حسین‌آباد میش‌مست، شمال راوند، پل اتوبان قمصر، امین‌آباد- مسجدالحسین، دکل مخابرات، امین-آباد، شرق آب‌شیرین، سرخ گل و قولولو، تثبیت شن، ایستگاه گز و اکتشافی جعفرآباد قابل ملاحظه است. کاهش ذخیره در مابقی مکان‌های آبخوان مثل فیض‌آباد، میرزاخانی، جاده رادار، کشت و صنعت ۳ و ۱، ایستگاه امین‌آباد، روبروی ایستگاه گز، مشکان و .... کمتر از ۰/۷۵ میلیون مترمکعب بوده است. اگرچه این مقادیر نسبت به سایر مکان‌های اشاره شده در بالا، دارای تغییرات افت ذخیره کمتری است، در برخی از آنها شدت و یا نرخ آن نسبت به مساحت محدوده زیاد است. به‌طور کلی نرخ یا شدت افت ذخیره در سال در حاشیه غرب آبخوان به‌ویژه در مزرعه درم-طوبی، امین‌آباد- مسجدالحسین، غرب حسین‌آباد میش‌مست، بالادست لتحر، روبروی شرکت گالوانیزه، میرزاخانی، غرب ابوزیدآباد، روبروی ایستگاه گز بالا بوده است.

ه- بررسی نتایج پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی ۵ سال آینده در افق ۱۴۰۲ نشان داد چنانچه افت سطح آب زیرزمینی با روند کنونی ۵ سال اخیر ادامه یابد نه تنها امکان افزایش سطح آب زیرزمینی در هیچ جای آبخوان وجود ندارد، بلکه بیشترین افت احتمالاً در محدوده لتحر حدود ۱۰/۲۲ متر، شرق محمدآباد (۴/۳۲ متر)، غرب حسین‌آباد میش‌مست (۴/۱۶ متر) و ایستگاه گز (۴/۰۴ متر) نسبت به شهریور ۱۳۹۷ اتفاق خواهد افتاد و افت زیر ۴ متر در سایر مکان‌های آبخوان به‌جز جاده آران- نوش‌آباد، شوراب ده‌زیره، شرکت سیمرغ و شجاع‌آباد چالقره تجربه خواهد شد. این مطلب مبین این است که اشتغال در آینده تحت تأثیر کمبود آب قرار خواهد گرفت و ممکن است فرصت‌های شغلی زیادی در زمینه کشاورزی با این روند افت آبخوان در آینده‌ای نزدیک از دست رود. بنابراین باید تلاش شود سایر سناریوهای چشم‌انداز برای افزایش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی مورد توجه قرار گیرند.

و- به‌منظور به‌کارگیری سناریوهای ذکر شده باید صکلیه جوانب امر مانند مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی- اجتماعی و ... مد نظر قرار گیرد و در مورد بعضی سناریوهای مطرح شده، مکان‌یابی دقیق صورت گیرد و از هر گونه خسارات احتمالی جلوگیری نمود.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

منابع مالی تحقیق حاضر توسط کارفرمای طرح (شرکت آب و فاضلاب شهرستان کاشان) تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: حسین خراسانی‌زاده، هدی قاسمیه؛
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: حسین خراسانی‌زاده، هدی قاسمیه، مهدی سلیمانی مطلق، محمد میرزاوند؛
نظارت و نگارش نهایی: هدی قاسمیه.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Khorasani Zadeh, H., Delkhah, A., and Mazrouei, A. 2007. A comparative study of agricultural and urban water consumptions and the investigation of the quantitative and qualitative effects of harvesting from the groundwater resources of Kashan plain and future predictions. Final report of the research project (Employer: Kashan Water and Wastewater Company). [In Persian].
2. Ghasemieh, H. 2010. Integrated water resources management using DSS (Case study: Kashan basin). Ph.D. thesis of watershed management sciences and engineering, University of Tehran, Tehran, 194 p. [In Persian].
3. Rahnama, H., Ghanbarpoor, M.R., Habibnejad Roshan, M., and Dadrasi Sabzevar, A. 2012. Study the qualitative and quantitative condition of the groundwater resources (Case study: Jovain plain, Khorasan Razavi province. Geography and Territorial Spatial Arrangement, 2(3): 31-46. [In Persian].
4. Shirzadi, S. and Sobohi Saboni, M. 2015. Evaluation of stability and balance of aquifer (Case study of Neishabor). Journal of Agricultural Economic Research, 6(24): 107-128. [In Persian].
5. Delbari, M., Boostanian, M., and Afrasiab, P. 2016. Analysis of spatial-temporal changes and zoning of the groundwater level in Kohpayeh-Segzi aquifer (Isfahan province) using geostatistical methods.

Journal of GEOGRAPHIC SPACE, 15(52):305-324. [In Persian].
6. Nakhaie Nejad, S., Zehtabian, Gh., Malekian, A., and Khosravi, H. 2017. A survey on spatial and temporal variations of groundwater quality and quantity in Sarayan plain in South Khorasan province. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 24(2): 268-279. [In Persian].
7. Maghami Moghim, Gh., and Taghipour, A.A. 2018. Investigating the effective factors on changing groundwater levels of Safi Abad plain of Esfarayneh. Desert Ecosystem Engineering, 8(22): 27-42. [In Persian].
8. Jalili, Kh., Moradi, H., and Bozorg Haddad, O. 2016. Analysis of groundwater balance based on sustainability of agriculture approach in Islamabad plain. Journal of Irrigation and Water Engineering, 7(1): 110-127. [In Persian].
9. Moslemi, H., and Darvishi, R. 2018. Strategies to reduce groundwater level decline (The case study of Lavar plain in Hormozgan province). Land Management Journal, 5(2): 125-135. [In Persian].
10. Mirmohammadsadeghi, M.M., Ebrahimi, B., and Pasandi. M. 2018. Groundwater depletion and stream-aquifer interaction (Case study: The Najafabad aquifer in Zayanderoud river basin). Journal of Water and Soil Science, 22(2):107-125. [In Persian].
11. Sanginabadai, H., Saghafian, B., and Delavar, M. 2019. Monitoring and assessing characteristics of groundwater drought in aquifers with negative balance. Iran-Water Resources Research, 15(3): 155-166. [In Persian].
12. Rezaee, S., Javadi, S., and Kardan Moghaddam, H. 2020. Assessment of groundwater resources management solutions by finite element in numerical simulation. Hydrogeology, 5(2): 32-42. [In Persian].
13. Mukherjee, A. 2018. Overview of the groundwater of South Asia. In: Mukherjee A. (eds) Groundwater of South Asia. Springer Hydrogeology. Springer, Singapore.
14. Raza, M., Lee, JY., and Kwon, K.D. 2019. Estimation of quantitative spatial and temporal distribution for groundwater storage in agricultural basin of Korea: Implications for rational water use. Environmental Earth Sciences, 78: 169.
15. Soleimani-Motlagh, M., Ghasemieh, H., Talebi, A., Abdollahi, Kh., and Dragoni, W. 2020. Groundwater budget deficit caused by drought and overexploitation. Water Supply, 20(2): 621-632.
16. Abrishamchi, A., Khakbazan Fard, F., and Taghavi, A. 2020. Planning for groundwater sustainable use: A case study in Nishapur plain, Iran, Agricultural Water Management, 229: 105835.
17. Mirzavand, M. 2018. Determine the origin and mechanism of groundwater salination in Kashan plain using isotope and hydro-geochemical methods. Ph. D thesis of watershed management sciences and engineering, University of Kashan, Kashan, Iran, 324p. [In Persian].
18. Research and educational planning organization in the Ministry of Education. 2018. Specialized technical knowledge (Field of livestock affair). Printing and publishing company of Iranian textbooks, 157 p. [In Persian].
19. Abkhan consulting engineers. 2013. Water resources balance report of Kashan studied area. IRAN Water Resources Management Company, 58 p. Abkhan consulting engineers. 2013. Water resources balance report of Kashan studied area. IRAN Water Resources Management Company, 58 p.
20. Statistics report related to cultivated area and statistics of livestock and poulty for crop year of 2017-2018. Letter No. 97640/10680 dated 19/1/2019, from Agriculture-Jahan director of Kashan city to the managing director of Kashan Water and Wastewater Company. [In Persian].
21. Report of agriculture areas equipped with modern irrigation systems in the water year of 2017-2018. Letter No. 97300/5358 dated 16/12/2018 from Agriculture-Jahad director of Aran and Bidgol to managing director of Kashan Water and Wastewater Company. [In Persian].
22. Annual rural drinking water volume report in Aran and Bidgol during October 2017 to September 2018. Letter No. 97/30/405 dated 29/12/2019 reffering to letter No. 97/18957 dated 17/9/2018. [In Persian].
23. Report of the total annual consumed water volume for 170 ha municipality green space in Aran and Bidgol during water year of 2017-2018. Aran and Bidgol municipality

letter No. 22428 dated 29/12/2018 to the manageing director of Kashan water and Wastewater company. [In Persian].
24. Report of total annual drinking consumed water volume in rural areas of Kashan plain during October 2017 to September 2018. Letter No. 97/170/1176 dated 24/12/2018 from Kashan ABFA director to managing director of Kashan Water and Wastewater Company [In Persian].
25. Green space water consumption report reffering to letter 97/18962 dated 20/12/2018. [In Persian].
26. Alizadeh, A. 2016. The Principle of Applied Hydrology. Imam Reza international university press, 942p. [In Persian].
27. Negaresh, H., and Shahhoseini, M. 2017. Investigating the estimating methods of annual discharge and floods in Tigh-Ab basin of Kash city. Journal of GEOGRAPHIC SPACE, 36: 255-282. [In Persian].
28. Report related to urban water consumption and wells, quality control during October 2017 to September 2018. Letter No 97/36702 dated 25/2/2019 from human resources and planning deputy of Kashan Water and Wastewater Company. [In Persian].
29. Water resources report of Kashan city during October 2017 to September 2018 reffering to letter 97/504/126 dated 18/12/2018. [In Persian].
30. Fallah, S., Ghobadinia, M., Shokrgozar Darabi, M., and Ghorbani Dashtaki, Sh. 2012. A study on sustainability of groundwater resources of Darab plain, Iran. Journal of Water Research in Agriculture, 26(2): 161-172. [In Persian].
31. Fitts, C.R. 2002. Groundwater Science. Second Edition. Academic press. UK. 405p.