

Investigating the Effectiveness of the Implementation of the Reclamation and Balancing Plan and the Vulnerability of the Plan Projects (Case Study: Ardestan Plain- Isfahan Province)

Z. Keyhomayoon^{1*}, M. Hajizade², F. Alijani³

1- Assistant Professor, Geology Department, Payame Noor University, Tehran, Iran. 2, 3- Ph.D. Student and Assistant Professor, Hydrogeology, Shahid Beheshti University, Tehran.

* (Corresponding Author Email: Zkayhomayoon@pnu.ac.ir)

Received: 23-11-2022

Revised: 17-12-2022

Accepted: 26-12-2022

Available Online: 29-12-2022

بررسی اثربخشی اجرای طرح احیا و تعادل بخشی و آسیب شناسی پروژه های طرح (مطالعه موردی: دشت اردستان- اصفهان)

زهرا کی همایون^{۱*}، میثم حاجی زاده^۲، فرشاد علیجانی^۳

۱- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار هیدروژئولوژی دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.

* (نویسنده مسئول، E-Mail: Zkayhomayoon@pnu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

Abstract

The aquifer reclamation project has been developed and implemented by the Ministry of Energy with the aim of stopping the overdraft of groundwater resources. It is not possible to evaluate the effectiveness of the implementation of this project in many Iranian aquifers due to the lack of complete implementation of the project or the lack of sufficient information. The study area of the Ardestan is one of the pilot plains for the implementation of the aquifer reclamation in Isfahan province, in which, according to the available data, it is possible to evaluate the effectiveness of the implementation of this project. For this purpose, the quantitative data of the Ardestan aquifer between 2001 and 2021 were used to evaluate the effectiveness of the reclamation project. The results show that the slope of the water table curve has improved relatively in the years after reclamation, and natural factors have had the greatest impact on this improvement. In other words, the amount of groundwater saved due to reclamation shows a negligible effect on the quantity of groundwater in terms of quantity, time, and place. The review of the implementation of the reclamation projects in the Ardestan shows that the performance in some projects was zero and in other cases, the projects were implemented incompletely. Finally, the implementation of each of the projects has been analyzed based on the available data, and the reasons for the failure of the rehabilitation and balancing plan's effectiveness have been investigated.

Keywords: Reclamation and Balancing, Groundwater Resources, Representative Hydrograph, Ardestan Aquifer.

چکیده

طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی کشور با هدف بازایستادن روند اضافه برداشت و جبران کسری مخازن آب زیرزمینی توسط وزارت نیرو اجرایی شده است. ارزیابی اثربخشی اجرای این طرح در بسیاری از آبخوان های کشور به دلیل اجرا نشدن کامل طرح و یا نبود اطلاعات کافی انجام پذیر نیست. محدوده مطالعاتی اردستان یکی از دشت های پایلوت اجرای طرح احیا و تعادل بخشی آبخوان در استان اصفهان است که با توجه به داده های موجود امکان ارزیابی اثربخشی اجرای این طرح در آن وجود دارد. به این منظور، در پژوهش حاضر از داده های کمی آبخوان اردستان در بازه سال های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ به منظور ارزیابی اثربخشی اجرای طرح احیا و تعادل بخشی در این محدوده مطالعاتی استفاده شده است. پس از بررسی موبه مو کارهای تعادل بخشی انجام شده در محدوده، شامل تولید داده ها، نظارت و کنترل بهره برداری و ذخیره سازی مستقیم آب در آبخوان، تأثیر این کارها بر هیدروگراف معرف آبخوان ارزیابی شده است. نتایج نشان داد شیب منحنی تراز سطح ایستابی در سال های پس از تعادل بخشی بهبود نسبی داشته و عوامل طبیعی بیشترین تأثیر را بر این بهبود داشته است. به عبارت دیگر، حجم صرفه جویی شده آب زیرزمینی برآمده از کارهای طرح تعادل بخشی از نظر کمی، زمانی و مکانی تأثیر ناچیزی بر کمیت آب زیرزمینی نشان داد. بررسی اجرای پروژه های طرح احیا و تعادل بخشی در محدوده اردستان نشان داد، عملکرد در برخی از پروژه ها صفر بوده و در سایر موارد نیز طرح ها به طور نیمه کاره اجرا شدند. در پایان، اجرای هر یک از پروژه ها بر اساس داده های موجود آسیب شناسی شده و دلایل موفق نشدن اثربخشی طرح احیا بررسی شد.

واژه های کلیدی: احیا و تعادل بخشی، منابع آب زیرزمینی، هیدروگراف معرف، آبخوان اردستان.

میرحاجی (۱۳۹۹) در پژوهشی، میزان تأثیرگذاری کارهای انجام شده در راستای احیای آبخوان و همسو با آن، اثر پارامترهای بارندگی سالیانه و کاهش برداشت از آب زیرزمینی بر روی تغییرات تراز آبخوان دشت خوی را با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی و تجزیه و تحلیل داده‌های تراز سطح ایستابی ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد افزایش بارندگی و پس از آن کاهش برداشت از آب زیرزمینی همچنان کاراترین عامل در بهبود نسبی وضعیت کمی آبخوان در سال‌های اخیر بوده است.

خدادادی (۱۴۰۰) در پژوهشی تفصیلی طرح احیا و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی دشت شهریار با تأکید بر کنتورهای هوشمند و تغذیه مصنوعی را ارزیابی کرد. در این پژوهش، محدوده مورد مطالعه از نظر شمار کنتورهای هوشمند، به سه گستره با تعداد کنتورهای نصب شده زیاد، متوسط و کم تقسیم شد. نتایج نشان داد شیب و روند نوسانات سطح آب زیرزمینی در گستره‌های با تراکم زیاد و کم کنتور هوشمند یکسان است که نشان از کارایی ناچیز کارگذاشتن کنتور هوشمند در تعادل سطح آب زیرزمینی دارد. افزایش تراز سطح ایستابی از پایان سال ۱۳۹۷ در هر سه گستره مشاهده شد. این بهبود در گستره با شمار متوسط کارگذاشتن کنتور هوشمند به دلیل نزدیکی بیشتر با منطقه اجرای طرح تغذیه مصنوعی بیشتر رخ داد که نشان از اولویت بالای طرح‌های تغذیه مصنوعی در مقابل کنتورهای هوشمند دارد.

زنگنه و همکاران (۱۴۰۰) ارتباط بین نشست زمین به‌عنوان یک پدیده طبیعی با کاهش سطح آب زیرزمینی را بررسی کردند و یک رابطه مستقیم به‌دست آوردند. این پژوهش با هدف نگارش یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره بر پایه ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان محدوده مطالعاتی دشت ورامین با رویکرد کنترل فرونشست آبخوان و با استفاده از مدل‌های عددی و ارزیابی سناریوهای مختلف در این مدل‌ها انجام شد. راهکارهای چاره‌جویی ارائه شده در این پژوهش، ترکیبی از کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و تغذیه مصنوعی آبخوان بودند. در پایان، پژوهشگران پیشنهاد کردند به‌کار بردن راهکارهای سخت‌گیرانه برای بهره‌برداران اگرچه موجب نارضایتی است اما باتوجه‌به برگشت‌ناپذیری فرآیند فرونشست در آبخوان، باید راهکارهای چاره‌جویی به‌طور جدی استفاده شود.

Hassan و همکاران (۲۰۱۸) تأثیرات برداشت بیش از اندازه آب زیرزمینی در محدوده‌ای در شمال غربی بنگلادش را ارزیابی کردند و پیامدهای محیط‌زیستی برآمده از آن را بررسی کردند. نتایج این پژوهش با استفاده از واکاوی آماری داده‌های سطح آب زیرزمینی و بارش انجام شد و نشان داد ارتباط مستقیمی بین میزان بارش و نوسانات سطح آب زیرزمینی وجود دارد. مهمترین عامل افت تراز سطح ایستابی در این ناحیه، برداشت آب کشاورزی برای آبیاری بیان شد. در پایان، کمبود چاه‌های مشاهده‌ای برای پایش سطح آب

در سال‌های اخیر تنش بر منابع آب زیرزمینی کشور جهت تامین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف فزونی یافته است، به‌طوری‌که آب برداشت شده از چاه‌ها بسیار بیشتر از ظرفیت آب تجدیدپذیر آبخوان‌ها می‌باشد و پیامدهای محیط‌زیستی و اقتصادی-اجتماعی آن بر کسی پوشیده نیست؛ به‌طوری‌که در حال حاضر از ۶۰۹ دشت کشور بیش از ۳۰۰ دشت که بیشتر مناطق جمعیتی کشور در آن‌ها واقع شده‌اند، وضعیت ممنوعه و ممنوعه بحرانی دارند. به‌این‌ترتیب، از ۳۵ دشت استان اصفهان، ۲۷ دشت که بیشتر در مناطق پرجمعیت و قطب‌های کشاورزی و صنعت استان واقع شده‌اند، وضعیت ممنوعه و ممنوعه بحرانی پیدا کرده‌اند و این استان با متوسط حدود ۴۰۸ میلیون متر مکعب کسری مخزن آبخوان در سال، رتبه پنجم استان‌های کشور را دارد (معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵).

در سال ۱۳۹۳ طرح ملی احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی کشور در شورای عالی آب پذیرش شد که در آن وزارت نیرو با همکاری سایر سازمان‌های وابسته وظیفه احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی کشور را بر عهده گرفت (آب و آبفا وزارت نیرو، ۱۳۹۴). هدف این پژوهش به‌طور اختصاصی، ارزیابی کارایی طرح احیا و تعادل بخشی بر سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی اردستان به‌صورت پایلوت جهت ارزیابی حجم صرفه‌جویی شده در برداشت از منابع آب و تأثیر آن بر سطح آب زیرزمینی آبخوان و تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های آینده می‌باشد.

تحلیل کمی و مباحث مربوط به تعادل بخشی آبخوان پیشینه مطالعاتی سرشار در داخل و خارج از کشور دارد؛ در ادامه به مهمترین مطالعات انجام شده داخلی و خارجی از نظر نزدیکی موضوع پرداخته می‌شود.

عمیدپور و غلامی سفیدکوهی (۱۳۹۹) در پژوهشی مروری پیاده‌سازی پروژه‌های آبیاری نوین بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی را بررسی کردند. نتایج نشان داد، می‌توان با حفاظت آب در کشاورزی از طریق بهبود روش‌های آبیاری همراه با انجام کارهای دیگر تعادل بخشی آبخوان، میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی و پیامدهای برآمده از آن را به حداقل رساند.

بیات و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به‌منظور احیای آبخوان‌ها و اجرای کاهش برداشت در آبخوان‌های کشور به‌عنوان یکی از پروژه‌های تعادل بخشی، بهینه‌سازی الگوی کشت با رویکرد اقتصادی را انجام دادند و تغییرات سود کشاورزان در سال ۱۳۹۵ با سناریوهای کاهش برداشت به اندازه ۱، ۳ و ۵ درصد با دو دیدگاه رایج تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیرکشت را بررسی کردند. اعمال این سناریوها در نهایت تا ۳۰ درصد کاهش کسری مخزن آبخوان قزوین را نشان داد.

زیرزمینی به عنوان مهمترین بازدارنده ارزیابی‌های درست معرفی شد. Lall و همکاران (۲۰۲۰) در یک پژوهش مروری به چالش‌های آب زیرزمینی در جهان پرداختند. در این مطالعه، پژوهشگران به این جمع‌بندی رسیدند که کمبود داده‌های قابل اطمینان مهمترین چالش در زمینه مدیریت منابع آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود. هر گونه استراتژی مدیریتی بر پایه فهم وضعیت موجود سیستم اتفاق می‌افتد و نقش مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی در این میان اهمیت دارد. نکته مهم دیگر، مدیریت تغذیه آبخوان‌ها است که در کنار مدیریت برداشت باید توجه شود.

Dangar و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی دلایل و پیامدهای کاهش منابع آب زیرزمینی در هند را بررسی کردند. در این پژوهش، خودکفایی در محصولات کشاورزی مهمترین عامل اعمال تنش بر منابع آب زیرزمینی هند تعیین شد. نتایج کلی این پژوهش بیانگر تهدید امنیت آبی و غذایی هند و ناپایداری اکوسیستم و جریان‌های سطحی به دلیل کاهش منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

Senthilkumar و Gnanasundar (۲۰۲۲) در پژوهشی با مطالعه دقیق ویژگی‌های آبخوان، تعادل بخشی آبخوان‌های جنوب هند را مطالعه کردند. آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر تنش‌های زیادی برآمده از مصارف کشاورزی، خانگی و توسعه شهری قرار گرفته است. بررسی‌های انجام شده شامل تعیین هندسه آبخوان، رفتار هیدرولیکی و مدل‌سازی آبخوان‌های گسترده می‌شود. به منظور تعادل بخشی آبخوان، دو سناریو شامل جریان مداوم آب در رودخانه‌های منطقه به مدت ۱۲۰ روز در سال و احداث کانال‌های نشتی در مدل آب زیرزمینی انجام شد که هر دو سناریو بیانگر جبران کسری آبخوان این مناطق بودند.

به‌طور کلی، راهکارهای موجود به منظور تعادل بخشی آبخوان‌ها بر دو جنبه توسعه منابع جدید و مدیریت منابع موجود استوار می‌باشند. کارهای مدیریتی شامل رویکردی است که طرح جامع تعادل بخشی درپیش گرفته است و در این پژوهش نیز ارزیابی خواهد شد؛ چراکه می‌توان با مدیریت منابع موجود، با صرف هزینه کمتر به تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی دست پیدا کرد. نکات جامانده در مطالعات انجام شده را می‌توان شامل نبود جامعیت زمانی، مکانی و داده‌ای دانست؛ به این صورت که پژوهش‌های انجام شده بیشتر برای یک بازه زمانی کوتاه و با در نظر گرفتن چند عامل محدود در محاسبات و ارزیابی‌ها انجام شده است. بسیاری از موارد موجود نیز ارتباط کافی میان تغییرات کمی آبخوان و طرح‌های تعادل بخشی برقرار نکرده‌اند و تنها تغییرات کمی آبخوان براساس یک یا چند طرح تعادل بخشی را ارزیابی کردند (برای نمونه: حسینی جلفان و همکاران، ۱۳۹۹ (عملکرد توزیع آب سطحی کشاورزی)؛ رضایی و همکاران، ۱۳۹۹ (تغذیه مصنوعی)؛ خدادادی، ۱۴۰۰ (کنتورهای هوشمند)؛ عدالت و همکاران، ۱۴۰۰ (فرونشست زمین)؛ Turner و همکاران، ۲۰۱۸

(اقتصاد آب)؛ Boni و همکاران، ۲۰۲۲ (مشارکت ذی‌نفعان)). این درحالی است که در این پژوهش، همه ۱۵ پروژه طرح جامع تعادل بخشی به دقت ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

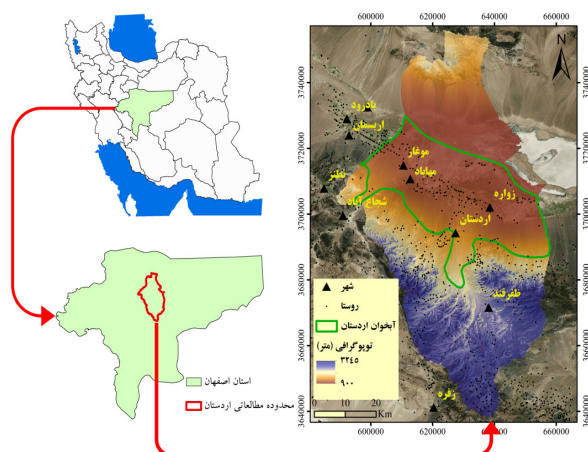
به منظور ارزیابی اثربخشی اجرای طرح احیا و تعادل بخشی آبخوان در محدوده مطالعاتی اردستان، داده‌ها و اطلاعات مربوط به هریک از پروژه‌های تعریف شده در طرح، از سازمان‌های موظف دربرگیرنده شرکت آب منطقه‌ای، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی دریافت شده است (جدول ۱). داده‌های دریافتی، صحت‌سنجی شده و کاستی‌های برآمده از همخوانی نداشتن داده‌های دریافت شده از بخش‌های مختلف برطرف شده است. نقشه‌های هم‌تراز، جهت جریان، هم‌عمق و تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت اردستان در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS 10.8.1 و Surfer 21 در دو مقطع پیش از شروع طرح تعادل بخشی در سال ۱۳۹۳ و پس از گذشت ۷ سال از اجرای طرح، تا سال ۱۴۰۰ تهیه شده است. به منظور ارزیابی کمی آبخوان اردستان جهت تعیین اثرگذاری تعادل بخشی، هیدروگراف معرف آبخوان همراه با بارش در بازه سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ و به صورت خودکار در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS 10.8.1 و Surfer 21 استخراج شده و در محیط نرم‌افزار Excel رسم شده است (شکل ۱). پس از تحلیل داده‌ها، میزان اثربخشی اجرای طرح احیا و تعادل بخشی در آبخوان اردستان بررسی و پروژه‌های طرح، آسیب‌شناسی شده است.



شکل ۱- روش کار ارزیابی اثربخشی اجرای طرح احیا و تعادل بخشی در محدوده مطالعاتی اردستان

جدول ۱- منبع و بازه زمانی داده‌های دریافت شده مربوط به هر یک از پروژه‌های طرح تعادل‌بخشی محدوده مطالعاتی اردستان

بازه زمانی داده‌های دریافتی	سازمان ارائه‌دهنده داده	داده‌های مورد نیاز
۱۴۰۰-۱۳۸۰	مدیریت مطالعات پایه منابع آب	حفر و تکمیل شبکه چاه‌های مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی (شبکه پیزومتری) و چاه‌های اکتشافی
۱۳۸۰-۱۴۰۰	معاونت حفاظت و بهره‌برداری	تهیه بیلان و به‌روزرسانی بانک اطلاعاتی محدوده‌های مطالعاتی
۱۴۰۰-۱۳۹۶		کارگذاشتن تجهیزات اندازه‌گیری الکترونیکی (On-line) بر روی ایستگاه‌ها، چاه‌های پیزومتری و منابع آب انتخابی
۱۴۰۰-۱۳۸۶		خرید و انسداد چاه‌های کم‌بازده کشاورزی
۱۴۰۰-۱۳۹۲		کارگذاشتن کنتورهای حجمی و هوشمند آب و برق کنترل برداشت از چاه‌ها
۱۴۰۰-۱۳۸۰		کنترل، نظارت و مسلوب‌المنفعه کردن چاه‌های فاقد پروانه و مضر به مصالح عمومی
		جایگزینی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با چاه‌های کشاورزی در دشت‌های ممنوعه و بحرانی
		ساماندهی شرکت‌های حفار و نصب GPS بر روی دستگاه‌های حفاری موجود در استان
		تقویت و استقرار گروه گشت و بازرسی دشت‌ها و منابع آب
		اطلاع‌رسانی و آگاه‌سازی افکار عمومی
		ایجاد و استقرار بازار محلی آب در محدوده‌های مطالعاتی
		پهنه‌بندی و بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در محدوده مطالعاتی
۱۳۹۹	اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه سپاهان (اصفهان)	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی
۱۴۰۰-۱۳۸۰	اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری	سازمان جهاد کشاورزی استان
۱۳۹۸	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی	اصفهان
۱۴۰۰-۱۳۸۰	و منابع طبیعی استان اصفهان	
		مدیریت روابط عمومی
		معاونت برنامه‌ریزی
		ایجاد و استقرار بازار محلی آب در محدوده‌های مطالعاتی
		پهنه‌بندی و بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در محدوده مطالعاتی
		اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب در دشت‌های ممنوعه و مطالعه و اجرای پروژه‌های آبخیزداری
		به‌روز نمودن سند ملی آب در محدوده‌های مطالعاتی
		ایجاد تشکلهای آب‌بران در محدوده‌های مطالعاتی و انجام حمایت‌های فنی و مالی از آنها



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی اردستان

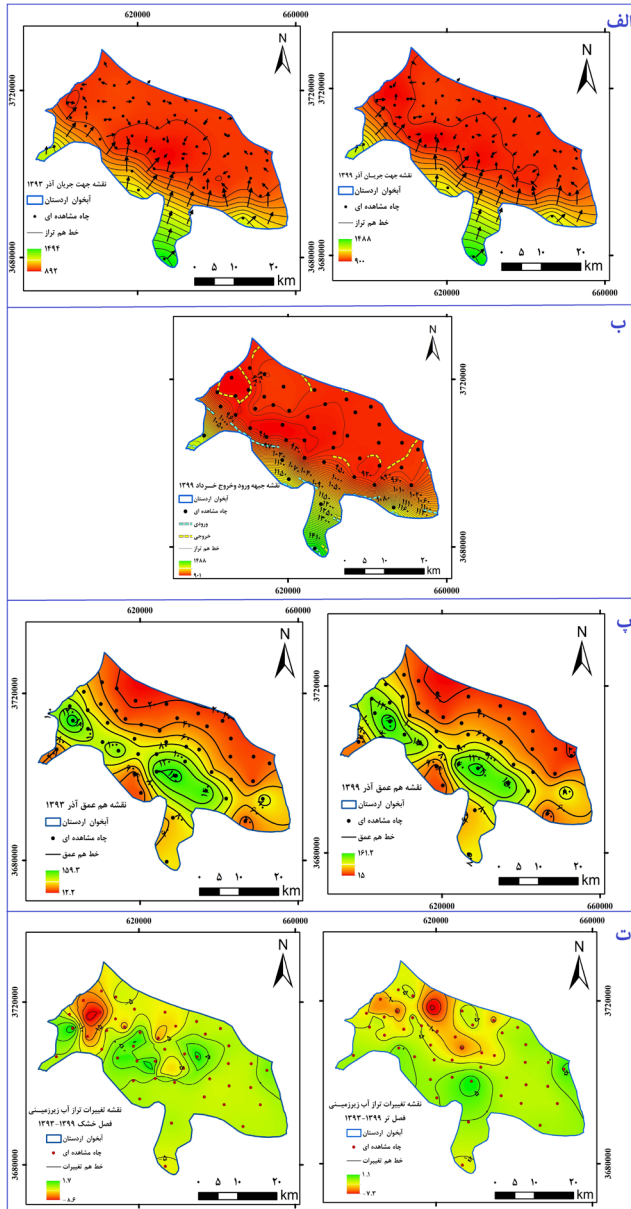
• گستره مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی اردستان با کد ۴۸۰۱ و وسعت ۴۳۷۶ کیلومتر مربع در شمال غرب حوضه آبریز کویر سیاه کوه واقع شده است. وسعت دشت در این محدوده ۲۱۹۲ کیلومتر مربع و وسعت ارتفاعات آن ۲۱۸۴ کیلومتر مربع است. شهرهای اردستان، زواره و مهاباد در این محدوده مطالعاتی واقع شده اند (شکل ۲). آبخوان آبرفتی اردستان با مساحت ۱۳۹۱ کیلومتر مربع بیشتر از سمت ارتفاعات جنوبی و مخروط‌های افکنه دامنه ارتفاعات تغذیه شده و در پایان به مرداب دق سرخ تخلیه می‌شود.

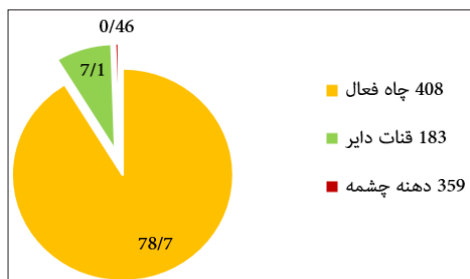
هیدروژئولوژی آبخوان اردستان

نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی تفاوت توجهی در آغاز و پایان دوره تعادل بخشی، هم در اندازه‌های آستانه و هم در نحوه توزیع خطوط تراز و پراکنش مناطق دارای کمترین و بیشترین تراز سطح ایستابی، نشان می‌دهند (شکل ۳-الف). به‌طور کلی، حداکثر تراز سطح ایستابی در سال ۱۳۹۹ کاهش یافته است و منحنی بسته حداقل تراز آب زیرزمینی، گستره‌ای بسیار وسیع‌تر، از غرب تا شرق آبخوان را در بر گرفته است؛ درحالی‌که مناطقی که حداقل تراز سطح ایستابی در سال ۱۳۹۳ تنها در مرکز آبخوان وجود داشته است. جهت عمومی جریان آب زیرزمینی از جنوب غرب به سمت شمال شرق (کفه دق سرخ) می‌باشد. درحالی‌که گسترش منحنی بسته حداقل تراز آب زیرزمینی باعث شده است، جهت‌های فرعی آب به سمت میدان‌های چاهی موجود در محدوده اردستان به سمت مוגار ایجاد شود. به‌عبارت‌دیگر، به دلیل تمرکز بیشتر چاه‌های بهره‌برداری در این ناحیه، تخلیه آبخوان در این بخش نسبت به بخش‌های دیگر آبخوان بیشتر است و میدان چاهی گفته شده، باعث تغییر جهت جریان آب زیرزمینی به صورت موضعی به سمت غرب مוגار شده است (شکل ۳-ب). براساس نقشه تراز آب زیرزمینی دشت اردستان منحنی‌های تراز روند عمومی جنوب شرق-شمال غرب دارند. منحنی‌های با تراز حداکثر و حداقل به ترتیب در حاشیه جنوبی و مرکزی آبخوان اردستان گسترش دارند. تراکم منحنی‌ها در جنوب دشت، وجود تغذیه جانبی از ارتفاعات جنوبی را نشان می‌دهد. مقطع خروجی آب زیرزمینی در بخش‌های شمالی و غربی آبخوان واقع شده است (شکل ۳-پ). پراکنش نقشه‌های هم‌عمق آب زیرزمینی تا حدودی منطبق بر تغییرات تراز آب زیرزمینی در این بازه زمانی می‌باشد. بیشترین عمق آب زیرزمینی منطبق با کمترین تراز سطح ایستابی بوده و در مرکز آبخوان واقع شده است. به‌طور کلی، عمق آب زیرزمینی در آبخوان اردستان از ۱۵ تا ۱۶۱ متر در نوسان است. نقشه‌های تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان اردستان در دو مقطع قبل و بعد از اجرای طرح تعادل بخشی بیانگر بیشینه کاهش تراز ۸ متری در سطح آب زیرزمینی در دوره ۷ ساله تعادل بخشی می‌باشد. کاهش تراز آب زیرزمینی در نواحی غربی آبخوان بیانگر سهم بیشتر میدان چاهی غرب مוגار (به علت تمرکز بیشتر چاه‌های بهره‌برداری در این ناحیه) در تخلیه آبخوان نسبت به بخش‌های دیگر آبخوان است (شکل ۳-ت).

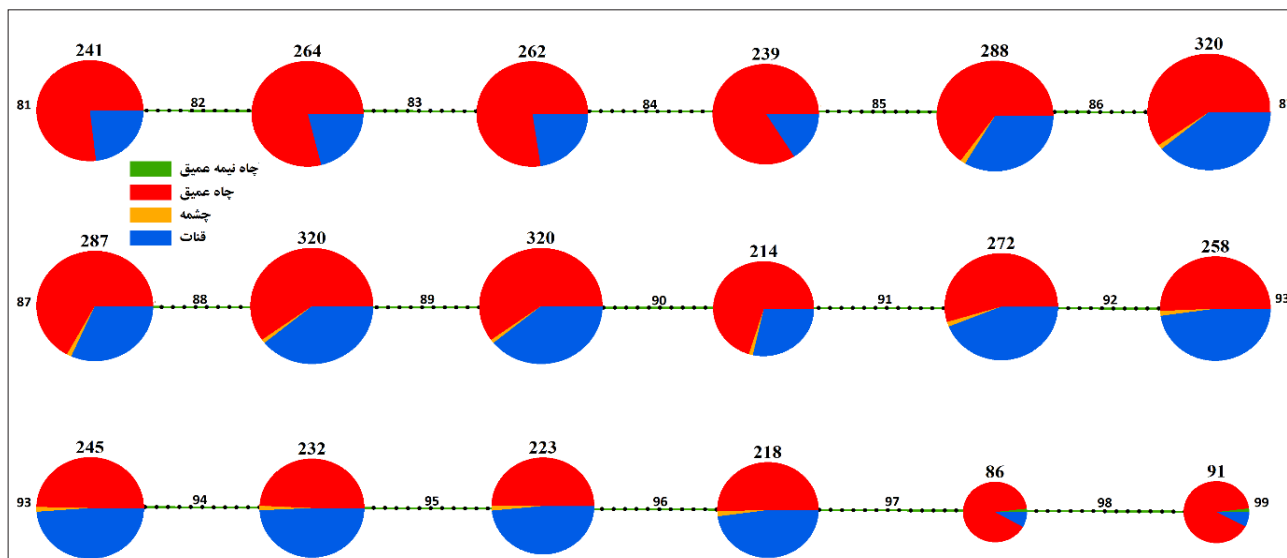
در آبخوان اردستان تعداد ۴۶ حلقه چاه مشاهده‌ای وجود دارد که ۱۵ چاه مشاهده‌ای از سال ۱۳۹۷ و یک چاه از سال ۱۳۹۲ وارد شبکه داده‌برداری شده‌اند. تخلیه سالانه از منابع آب زیرزمینی دشت اردستان در شکل (۴) ارائه شده است. بیش از ۵۰ درصد از تخلیه آبخوان اردستان توسط چاه‌های عمیق انجام می‌شود (شکل ۵). بیشتر از ۹۰ درصد تخلیه آبخوان به مصارف کشاورزی می‌رسد و سایر مصارف از قبیل شرب و به ویژه صنعت در مقابل مصرف بخش کشاورزی ناچیز است.



شکل ۳- نقشه‌های الف) تراز و جهت جریان، ب) جبهه‌های ورودی و خروجی، پ) هم‌عمق و ت) تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان اردستان برای سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۹ (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۹-الف)



شکل ۴- منابع آب زیرزمینی دشت اردستان بر حسب تخلیه سالانه میلیون متر مکعب (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۹-الف)



شکل ۵- میزان تخلیه آبخوان اردستان (۱۳۸۱-۱۳۹۹)، اندازه دایره‌ها، تخلیه کل آبخوان در هر سال را نشان می‌دهد که بر حسب میلیون متر مکعب ارائه شده است (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۹-الف)

دارد. تمرکز چاه‌های بهره‌برداری با تخلیه سالانه بیشتر از ۰/۲ میلیون متر مکعب در این محدوده، باعث شده یک منحنی بسته در نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی با کمترین تراز سطح ایستابی شکل گیرد (شکل ۳-الف).

بیشترین مصرف چاه‌های مجاز در محدوده مطالعاتی اردستان، مربوط به بخش کشاورزی می‌باشد و در مقابل تخلیه کل چاه‌های مجاز، می‌توان از تخلیه چاه‌های غیرمجاز صرف نظر کرد؛ علاوه بر این، بیش از نیمی از چاه‌های غیرمجاز متروکه بوده و آبدهی ندارند (جدول ۲).

کم‌وبیش همه چشمه‌ها و قنات‌ها در ارتفاعات جنوبی محدوده مطالعاتی قرار دارند. بیش از ۵۶۰ چاه بهره‌برداری در گستره آبخوان آبرفتی اردستان وجود دارد که بیشتر از ۵۰ درصد تخلیه کل آبخوان را شامل می‌شود. بیشترین تمرکز چاه‌های بهره‌برداری در نوار مرکزی آبخوان اردستان به صورت شرقی-غربی است که برابر با تمرکز جمعیت و آبادی‌ها در این محدوده می‌باشد. بیشترین افت سطح ایستابی نیز در همین گستره ایجاد شده است که نشان از نقش مهم چاه‌ها و تخلیه مصنوعی در مقابل تخلیه‌های ناشی از چشمه‌ها و قنات‌ها

جدول ۲- تخلیه چاه‌های مجاز و غیرمجاز محدوده مطالعاتی اردستان بر حسب میلیون متر مکعب، به تفکیک نوع مصرف براساس آخرین آماربرداری کلی منابع آبی (۱۳۹۷)، تعدادی از چاه‌ها هم‌زمان به منظور مصارف گوناگون استفاده می‌شوند (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۷)

نوع چاه	کشاورزی	شرب	صنعت	فضای سبز	سایر	متروکه	مجموع
مجاز	تعداد ۲۴۲	۴۶	۱۸	۳۰	۷۵	۷۰	۴۳۸
تخلیه	۶۶/۸۳	۵/۵۹	۱	۱/۴۲	۲/۲۱	۰	۷۷/۰۲
غیرمجاز	تعداد ۱۶	۱۴	۰	۳	۱۴	۴۳	۸۷
تخلیه	۱/۴۷	۰/۱۷	۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۰	۱/۶۸

در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۷، از ۱۱۰ میلیون متر مکعب به ۷۵ میلیون متر مکعب رسیده است (شکل ۵). علت این موضوع را می‌توان به کاهش توان طبیعی آبخوان در تخلیه آب زیرزمینی نسبت داد که با کاهش آبدهی قنات‌ها و چشمه‌ها تایید می‌شود، در این صورت، تخلیه مصنوعی آبخوان توسط چاه، بیشترین نسبت تخلیه را به خود اختصاص می‌دهد که در آبخوان اردستان، از حدود ۵۰ درصد تا سال ۱۳۹۷ به بیش از ۹۰ درصد در سال‌های پس از آن رسیده است.

نتایج و بحث

مقادیر تخلیه از آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی اردستان از سال ۱۳۹۰ روند کاهشی پیدا کرده است. این تخلیه‌ها در سال ۱۳۹۸ به کمترین اندازه خود رسیده و کاهش نزدیک به ۵۰ درصدی داشته است. نکته قابل توجه، کاهش بیش از ۹۰ درصدی تخلیه قنات‌ها و چشمه‌ها در سال گذشته شده، است. درحالی‌که تخلیه چاه‌ها با روند بسیار ملایم‌تری کاهش پیدا کرده است، برای نمونه

علاوه بر این، در سال‌های پس از اجرای طرح تعادل بخشی، حداقل تراز سطح ایستابی ثبت شده در آبخوان، بالغ بر ۸ متر به نسبت سال‌های پیش از اجرای طرح، کاهش یافته است و منحنی بسته حداقل تراز آب از ناحیه مرکزی آبخوان به نوار مرکزی و به صورت شرقی-غربی گسترش یافته است (شکل ۳-ت). این موضوع نشان از تخلیه نامتوازن و مصنوعی آبخوان توسط شبکه چاه‌های بهره‌برداری (بیشتر عمیق) دارد که بیشتر در نوار مرکزی آبخوان در محدوده زواره، اردستان و موغار متمرکز شده‌اند. پذیرشی بر این گزاره، قنات‌ها و به‌ویژه چشمه‌های موجود در محدوده مطالعاتی می‌باشند که به‌عنوان مجاری طبیعی تخلیه آب‌های زیرزمینی شناخته شده و پس از سال ۱۳۹۴ کاهش آبدهی نسبی را نشان می‌دهند (شکل ۵).

پروژه تغذیه مصنوعی ظفرقند اردستان از سال ۱۳۸۵ در حال بهره‌برداری است و از سال ۱۳۹۷ توانسته سالانه بیش از ظرفیت اسمی خود (یک میلیون متر مکعب) تغذیه انجام دهد. بیشترین تغذیه انجام شده در سال‌های بعد از تعادل بخشی در سال ۱۳۹۹ به مقدار حدود سه میلیون متر مکعب می‌باشد (جدول ۳). علاوه بر این، طرح تغذیه مصنوعی روستاهای نیسیان و کهنک واقع در جنوب شهر اردستان از سال ۱۳۶۹ در حال اجرا است. این طرح که با شیوه نهرهای موازی در حال انجام است، ظرفیت تغذیه کمتر از یک میلیون متر مکعب در سال را دارد و به‌منظور تقویت آبدهی قنات‌ها و چاه‌های روستاهای گفته شده انجام می‌شود.

جدول ۳- حجم تغذیه و اعتبار هزینه شده پروژه تغذیه مصنوعی ظفرقند اردستان در بازه زمانی اجرای طرح تعادل بخشی (۱۳۹۳-۱۴۰۰) (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۹-ب)

سال	حجم آبدگیری ابراز شده (میلیون متر مکعب)	میزان تغذیه انجام شده (میلیون متر مکعب)	اعتبار هزینه شده از آغاز (میلیون ریال)
۱۳۹۳	۰/۵۸	۰/۵۶۳	۲۰۰۰
۱۳۹۴	۰/۷۵	۰/۷۲۸	۲۰۰۰
۱۳۹۵	۰/۹۱	۰/۸۸۳	۲۰۰۰
۱۳۹۶	۰/۴۳	۰/۴۱۷	۲۰۰۰
بهار ۱۳۹۷	۰/۶۵	۰/۶۳۱	۲۰۰۰
زمستان ۱۳۹۷	۱/۲	۱/۱۴	۲۰۰۰
بهار ۱۳۹۸	۰/۵۷	۰/۵۵۳	۲۰۰۰
زمستان ۱۳۹۸	۱	۰/۹۷	۲۰۰۰
بهار ۱۳۹۹	۰/۸۳	۰/۸۰۵	۲۰۰۰
پاییز ۱۳۹۹	۱/۲۷	۱/۲۳۵	۳۰۵۰
زمستان ۱۳۹۹	۱/۱	۱/۰۶۷	۳۹۸۰
بهار ۱۴۰۰	۰/۱۲۸	۰/۱۲۴	۳۹۸۰

تصفیه‌خانه اردستان واقع در مرکز دشت اردستان با روش برکه تثبیت و ظرفیت پساب تولیدی ۴۰۰۰ متر مکعب در روز در حال فعالیت است (جدول ۴). تصفیه‌خانه اردستان به‌صورت اسمی توان صرفه‌جویی سالانه ۱/۵ میلیون متر مکعب آب را دارد؛ در حالی که براساس جدیدترین اطلاعات، در تابستان ۱۴۰۱، روزانه ۱۷۵۰ متر مکعب پساب، یعنی کمتر از نصف ظرفیت اسمی خود، خروجی دارد. علاوه بر این، تنها قرارداد رسمی استفاده از این پساب با مجتمع فولاد اردستان به میزان ۷۸۰ متر مکعب در روز بسته شده است که در مقابل برداشت سالانه از آبخوان درصد بسیار ناچیزی را شامل می‌شود.

جدول ۴- اطلاعات کلی تصفیه‌خانه اردستان

روش تصفیه	برکه تثبیت
جمعیت تحت پوشش طرح	۲۰۰۰۰ نفر
ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه	۴۰۰۰ متر مکعب در روز
میزان پساب خروجی تیر ۱۴۰۱	۱۷۵۰ متر مکعب در روز
قرارداد مجتمع فولاد اردستان	۷۸۰ متر مکعب در روز

در مورد استفاده از پساب تصفیه شده در بخش‌های مختلف کشاورزی یا صنعت این نکته قابل توجه است که علاوه بر ظرفیت اسمی و واقعی بسیار پایین تصفیه‌خانه اردستان در مقابل کل حجم آب خروجی از آبخوان، مقایسه پارامترهای کیفی پساب تصفیه‌خانه اردستان و استانداردهای محیط‌زیست در بخش کشاورزی و تغذیه مصنوعی نشان می‌دهد که پارامترهای pH، BOD و COD در هر دو حالت حداکثر و حداقل میزان خود در طول یک سال از مقدار استاندارد تجاوز نمی‌کنند، در حالی که میزان کلیفرم مدفوعی بیش از ۵۰ برابر میزان استاندارد می‌باشد. در بخش صنعت نیز به جز pH، مقادیر پارامترهای مواد معلق و COD در طول یک سال تا سه برابر مقادیر استاندارد می‌رسد (مهندسین مشاور آگستران میهن، ۱۳۹۶). علاوه بر بحث کیفیت آب خروجی، میزان پساب خروجی به‌منظور استفاده در بخش‌های کشاورزی، صنعت و تغذیه مصنوعی بسیار پایین است. هرچند وجود تصفیه‌خانه اردستان از نظر اقتصادی و کاهش تنش بر منابع آب زیرزمینی برتری دارد اما محدودیت‌های فنی موجود در سیستم تصفیه‌خانه باتوجه به استاندارد مصرف‌کنندگان در کیفیت پساب خروجی قابل توجه است. در نتیجه، باتوجه به ویژگی‌های کیفی پساب خروجی، قابلیت استفاده از آن در بخش شرب به هیچ‌عنوان وجود ندارد. باتوجه به اهمیت بسیار بالای پارامترهای کیفی به‌ویژه کلیفرم مدفوعی و میزان بسیار زیاد آن در پساب خروجی تصفیه‌خانه و همچنین دبی خروجی پایین، استفاده از این پساب در بخش کشاورزی و تغذیه مصنوعی با محدودیت جدی روبه‌رو است. این محدودیت در بخش صنعت قابل توجه

است و به نظر می‌رسد بخش صنعت تنها درخواست کننده مصرف پساب تصفیه‌خانه اردستان باشد. شهرک‌های صنعتی مهاباد، اردستان و زواره اردستان نزدیک‌ترین صنایع در محدوده تصفیه‌خانه اردستان می‌باشند که می‌توانند در تخصیص پساب این تصفیه‌خانه مورد توجه قرار گیرند. درحالی‌که تنها قرارداد رسمی به میزان ۷۸۰ متر مکعب در روز با مجتمع فولاد اردستان بسته شده است. استفاده نکردن از حداکثر توان تصفیه‌خانه و پاسخ ندادن به نیازهای صنعت و کشاورزی و محدودیت‌های فنی در تولید پساب با کیفیت از جمله مهم‌ترین دلایل کارایی نداشتن این تصفیه‌خانه در تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی می‌باشد که امکان جایگزینی با چاه‌های کشاورزی و یا تغذیه

مصنوعی آبخوان را از میان می‌برد. تعداد چاه‌های پر شده و حجم صرفه‌جویی شده در سال‌های پس از تعادل بخشی (۱۳۹۴-۱۴۰۰) نسبت به سال‌های پیش از آن رشد چشمگیری پیدا کرده است (جدول ۵). نکته قابل توجه این است که مجموع تخلیه همه چاه‌های غیرمجاز نسبت به چاه‌های مجاز قابل صرف نظر کردن است و با فرض انسداد همه آن‌ها، تأثیر چندانی بر کمیت آب زیرزمینی نخواهد گذاشت. سالانه به‌طور متوسط نزدیک به ۰/۳۵ میلیون متر مکعب در تخلیه آب زیرزمینی در سال‌های اجرای طرح تعادل بخشی صرفه‌جویی شده است، درحالی‌که در این بازه زمانی، سالانه در حدود ۲۰۰ میلیون متر مکعب آب از آبخوان اردستان تخلیه شده است.

جدول ۵- تعداد چاه‌های غیرمجاز پر شده و حجم صرفه‌جویی ناشی از آن در محدوده مطالعاتی اردستان (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۹-الف)

توضیحات	حجم صرفه‌جویی شده (هزارمترمکعب)	تعداد چاه‌های پر شده			سال
		کل	کشاورزی	شرب	
مجموع سال‌های قبل از تعادل بخشی	۷/۵	۱	۰	۰	۱۳۸۶
	۰	۰	۲	۰	۱۳۸۷
	۰	۰	۰	۰	۱۳۸۸
تعداد چاه‌های پر شده: ۱۱	۷/۲	۰	۲	۱	۱۳۸۹
حجم صرفه‌جویی شده: ۲۱/۵	۶	۰	۰	۱	۱۳۹۰
هزار متر مکعب	۰	۰	۱	۰	۱۳۹۱
	۰	۰	۰	۱	۱۳۹۲
	۰/۹	۰	۲	۰	۱۳۹۳
مجموع سال‌های بعد از تعادل بخشی	۷/۵	۰	۳	۰	۱۳۹۴
	۱۷۲۸	۴	۰	۲	۱۳۹۵
	۳/۹	۳	۵	۴	۱۳۹۶
تعداد چاه‌های پر شده: ۴۰	۷۱۵/۷	۰	۲	۳	۱۳۹۷
حجم صرفه‌جویی شده: ۲۴۸۲	۱۱/۲	۰	۵	۱	۱۳۹۸
هزار متر مکعب	۱۱/۷	۰	۰	۶	۱۳۹۹
	۳/۹۶	۰	۲	۰	۱۴۰۰

تعداد کنتورهای هوشمند کارگذاشته شده از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ در مجموع به ۶۷ شماره می‌رسد. با فرض ثابت بودن شمار چاه‌های بهره‌برداری و با استناد به تعداد ۵۲۵ حلقه چاه براساس آخرین آماربرداری سال ۱۳۹۷، تنها ۱۳ درصد چاه‌های موجود به کنتور هوشمند مجهز شده‌اند (جدول ۶). نتایج اطلاعات به‌دست آمده از اجرای طرح تعادل بخشی برآمده از اصلاح و تعدیل پروانه چاه‌های کشاورزی در محدوده مطالعاتی اردستان نشان می‌دهد در بازه سال‌های پس از تعادل بخشی،

سالانه به‌طور متوسط در حدود کمتر از دو میلیون متر مکعب صرفه‌جویی در میزان تخلیه آبخوان رخ داده است (جدول ۷).

جدول ۶- تعداد کنتورهای هوشمند کارگذاشته شده از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ در محدوده مطالعاتی اردستان (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۹-ب)

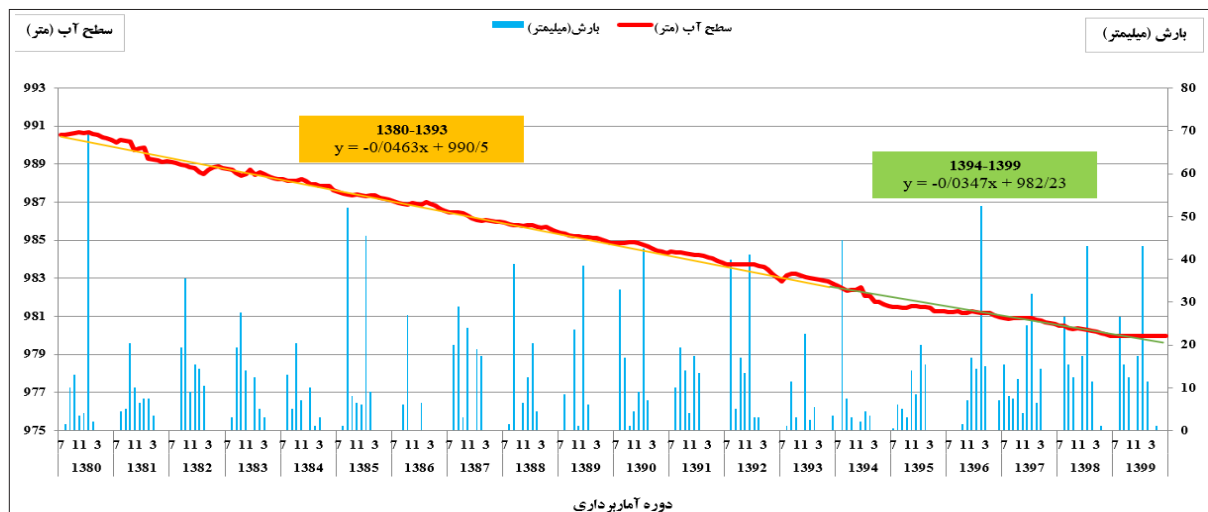
سال	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	مجموع
شمار	۲	۲۳	۱۷	۱۸	۷	۶۷

جدول ۷- اصلاح و تعدیل پروانه چاه‌های کشاورزی در محدوده اردستان (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۹-ب)

سال	تعداد	تخلیه سالانه (میلیون متر مکعب)	حجم صرفه‌جویی شده (میلیون متر مکعب)
۱۳۹۵	۱۶	۳/۷۳	۰/۹۳
۱۳۹۶	۳۰	۷/۶۵	۱/۶۶
۱۳۹۷	۶۱	۱۶/۱۶	۳/۵
۱۳۹۸	۵۵	۱۴/۴۴	۳/۱۳
۱۳۹۹	۱۶	۳/۶	۰/۷۹
۱۴۰۰	۱۸	۲/۲۹	۰/۴۹
مجموع	۱۹۳	۴۷/۹۲	۱۰/۳۷

می‌دهد (شکل ۶). شیب منحنی هیدروگراف از سال ۱۳۹۴ تاکنون، کم‌وبیش نسبت به سال‌های پیش از شروع تعادل‌بخشی کاهش یافته است. به‌منظور تعیین اثر کارهای تعادل‌بخشی بر این قسمت از منحنی هیدروگراف، باید مجموع حجم‌های صرفه‌جویی شده برآمده از تعادل‌بخشی را در نظر گرفت. در مجموع، در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰، کمتر از ۱۱ میلیون متر مکعب صرفه‌جویی در تخلیه آبخوان ایجاد شده است، در همین بازه زمانی، در مجموع حدود ۱۴۵۰ میلیون متر مکعب تخلیه از آبخوان انجام شده است که می‌توان از حجم صرفه‌جویی شده در مقابل این مقدار صرف‌نظر کرد. علاوه‌بر این، کاهش تخلیه سالانه از آبخوان طی سال‌های تعادل‌بخشی، با اندازه‌های صرفه‌جویی شده از تعادل‌بخشی همخوانی ندارد. نکته مهم، کاهش چشمگیر تخلیه از چشمه‌ها و قنات‌ها به‌ویژه در سال‌های ۹۸ و ۹۹ است (شکل ۵).

براساس هیدروگراف معرف آبخوان اردستان، تراز سطح ایستابی در طول بازه مطالعاتی ۲۰ساله، حدود ۱۰ متر افت نشان



شکل ۶- هیدروگراف معرف آبخوان اردستان در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰

همانطور که پیشتر بررسی شد، مجموع حجم صرفه‌جویی شده برآمده از انسداد چاه‌های غیرمجاز در طول سال‌های پس از تعادل‌بخشی، در مقابل حجم تخلیه سالانه محدوده اردستان تقریباً ناچیز است (جدول ۵). همچنین، کنترهای هوشمند کارگذاشته شده تاکنون شمار بسیار ناچیزی از کل چاه‌های موجود در محدوده را پوشش می‌دهد (جدول ۶). به‌این‌ترتیب، تنها می‌توان اصلاح و تعدیل پروانه‌های چاه‌های کشاورزی را به‌عنوان عامل ظاهری کاهش شدت افت تراز سطح ایستابی در دشت نسبت داد (جدول ۷). کم‌وبیش همه مطالعات پیشین نشان داده‌اند بیشترین تأثیر روی تراز سطح ایستابی برآمده از برداشت از چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد، علاوه‌براین، با یک تقریب اندک، همه این برداشت را می‌توان به چاه‌های مجاز کشاورزی نسبت داد که پروانه بهره‌برداری دارند و اضافه‌برداشت از حد پروانه

کاهش آبدهی این منابع آبی، به‌ویژه چشمه‌ها به‌عنوان یک مسیر طبیعی خروج آب از آبخوان، کاهش توان طبیعی آبخوان و کاهش ذخیره دینامیک آن را نشان می‌دهد. به‌این‌ترتیب، دلایل کاهش تخلیه و یا به‌عبارت‌دیگر، کاهش مصرف آب زیرزمینی را می‌توان با اولویت بالایی به کاهش توان طبیعی آبخوان نسبت داد. علاوه‌براین، بارش سالانه در سال‌های ۱۳۹۶ به بعد افزایش یافته است که به تغذیه بیشتر آبخوان انجامید (شکل ۶). کارهای دیگر برنامه تعادل‌بخشی که تأثیر مستقیم بر کاهش تخلیه آبخوان می‌گذارد، (مانند ایجاد بازار محلی آب و جایگزینی پساب‌های صنعتی برای آبیاری کشاورزی) نیز در محدوده مطالعاتی اردستان انجام نشده است. به‌این‌ترتیب، تنها عوامل طبیعی و کاهش تجمعی ذخیره آبخوان را می‌توان عامل کاهش در مقادیر تخلیه از آبخوان و کاهش شیب منحنی هیدروگراف معرف آبخوان دانست.

نیز در آن‌ها دیده می‌شود. در نتیجه، به‌منظور تعادل بخشی آبخوان‌ها، کنترل این چاه‌ها باید با اولویت بالایی مورد توجه قرار گیرد. در این راستا، دو بحث ساعت کارکرد و آبدهی چاه مطرح می‌شود که در محاسبه حجم تخلیه از آبخوان موثر است. به دلیل نبود امکانات لازم برای اندازه‌گیری دبی و نبود تجربه و دانش کافی در داده‌پردازان، صحت و دقت آمار موجود برای دبی و میزان تخلیه، خطای بالایی دارد. همچنین ساعت کارکرد عامل مهمی است که براساس خود اظهاری مالک و یا مجاورین در فرم داده‌برداری ثبت می‌شود. باتوجه به اینکه مالکین چاه‌ها به اهمیت ساعت کارکرد آگاه نیستند، در صورتی که داده‌بردار نیز واکاوی لازم را انجام ندهد، ساعت واقعی کارکرد به‌دست نخواهد آمد.

۲۷ درصد از کل چاه‌ها در محدوده مطالعاتی اردستان کنتور ندارند (جدول ۸). شمار کنتورهای هوشمند کارگذاشته در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ نیز درصد بسیار پایینی را از کل چاه‌های بدون کنتور در بر می‌گیرد. این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که در هنگام محاسبه حجم صرفه‌جویی شده از تعدیل و اصلاح پروانه‌ها، ساعت کارکرد و دبی تخلیه مندرج در پروانه چاه، پیش و پس از اصلاح و تعدیل به‌عنوان مبنای محاسبات در نظر گرفته می‌شوند، که با وجود تجهیز نبودن همه چاه‌ها به کنتور هوشمند، هیچ تضمینی برای صحت اعداد و ارقام گفته شده وجود ندارد. علاوه بر این، ملزم نمودن مصرف‌کنندگان به رعایت دبی و ساعت کارکرد در طول سال نیز هیچگونه ضمانت اجرایی ندارد. تقریباً در سه دوره اخیر آماربرداری کلی (۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۷)، به تدریج دبی‌های میانگین کاهش یافته‌اند (جدول ۸)؛ درحالی‌که مصرف‌کنندگان، به‌ویژه کشاورزان، معمولاً از حداکثر توان چاه برای استخراج آب استفاده می‌کنند و کاهش دبی در آماربرداری‌های سال‌های اخیر (۱۳۹۰ و ۱۳۹۷) را بیشتر می‌توان به کاهش توان طبیعی آبخوان نسبت داد، کاهش تخلیه قنات‌ها و چشمه‌ها تقریباً با نسبت مشابه و هم‌زمان با کاهش تخلیه چاه‌ها این گزاره را تایید می‌کند. منابع گفته شده، به‌ویژه چشمه‌ها، به‌عنوان مجاری طبیعی و بدون اعمال نیرو برای خروج آب از آبخوان در نظر گرفته می‌شوند که کارهای تعادل بخشی

آبخوان‌ها در مورد آن‌ها درست نیست و تنها ذخیره دینامیک آبخوان است که خروجی آن‌ها را کنترل می‌کند. دبی میانگین همه چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌هایی که به‌عنوان منابع انتخابی پایش کمی انتخاب شده‌اند در طول بازه مطالعاتی ۲۰ ساله این پژوهش روند رو به افتری را نشان می‌دهد. در نتیجه، آمار و ارقام و محاسبات انجام شده به‌منظور تعیین میزان آب صرفه‌جویی شده در اثر تعدیل پروانه‌های کشاورزی، شاید به‌صورت تئوری درست باشد، اما شواهد موجود، صحت آن‌ها را اثبات نمی‌کنند. نکته مهمتر این است که ساعت کارکرد نوشته شده در پروانه‌های مصرفی هیچگونه مبنای علمی و دقیقی ندارد، چراکه برای همه محدوده‌ها و الگوهای کشت متفاوت، یکسان است. این عدد کم‌وبیش در بیشتر پروانه‌ها، ۳۰۰۰ و در شماری ۶۰۰۰ ساعت گفته شده است. در مناطق خشک مانند استان اصفهان، ۳۰۰۰ ساعت برای مصرف یک نوبت کشت در سال، بیش از نیاز و برای بیش از یک نوبت کشت در سال کافی نیست، علاوه بر اینکه نوع کشت نیز در ساعت کارکرد و دبی تأثیر بسیاری دارد.

تعداد کل چاه‌ها و پروانه‌های بهره‌برداری در محدوده مطالعاتی اردستان در دهه گذشته افزایش داشته است (جدول ۸)؛ در حالی‌که محدوده اردستان وضعیت ممنوعه دارد و نباید مجوز جدیدی برای حفر و بهره‌برداری در آن‌ها صادر شود. با وجود رشد تعداد چاه‌ها از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷، تخلیه کلی آبخوان کاهش یافته است، این موضوع را می‌توان با تعداد چاه‌های متروکه مرتبط دانست (جدول ۸). تعداد چاه‌های متروکه نیز در دهه گذشته افزایش قابل توجهی پیدا کرده است که نشان از کاهش توان آبخوان دارد، چراکه بیشتر، چاه‌هایی متروکه می‌شوند که عمق کم داشته و یا امکان کف‌شکنی به هر دلیلی در آن‌ها وجود نداشته است. در محدوده مطالعاتی اردستان، سهم تخلیه چاه‌های عمیق که برداشت از آن‌ها با نیروی برق یا دیزل و به لطف کف‌شکنی در سال‌های گذشته انجام می‌شود، نسبت به سایر موارد تخلیه آبخوان مانند چاه‌های نیمه‌عمیق و کم‌عمق و یا چشمه‌ها و قنات‌ها در تخلیه کل آبخوان افزایش داشته است و در سال‌های اخیر، کم‌وبیش بیش از ۹۰ درصد تخلیه آبخوان را به خود اختصاص می‌دهد.

جدول ۸- اطلاعات کلی چاه‌های محدوده مطالعاتی اردستان در سه دوره آماربرداری سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۷

سال آمار	کل چاه	کل تخلیه سالانه (میلیون مترمکعب)	دارای پروانه حفر	متروکه	دارای پروانه بهره‌برداری	دارای پروانه کف‌شکنی	میانگین دبی (لیتر بر ثانیه)	دارای کنتور سالم	دارای کنتور خراب	بدون کنتور
۱۳۸۵	۵۰۵	۱۸۸/۷	-	-	-	۲۳/۲	-	-	-	-
۱۳۹۰	۶۳۲	۱۴۱/۵	۳۲۵	۱۹	۲۸۵	۹۸	۱۳/۵	۱۱۲	۱۴	۵۰۶
۱۳۹۷	۵۲۵	۷۸/۷	-	۱۱۷	۴۳۸	-	۱۶	۳۳۱	۷	۱۲۷

علاوه بر اقداماتی که تا این مرحله بررسی شد، پیرامون سند ملی آب در محدوده اردستان نیز نکات دارای اهمیتی وجود دارد. بیشتر پهنه کشاورزی محدوده مطالعاتی اردستان در مناطق زواره، اردستان و مهاباد قرار دارد. گندم، جو و انار به ترتیب بیشترین سطح زیر کشت محدوده اردستان را شامل می‌شوند. گیاهان زراعی غالب شامل جو، گندم، یونجه، شلغم، چغندر، ارزن، ذرت، پیاز، کلزا، کنجد، باقلا، زیره، پنبه، هندوانه، خربزه و خیار و گیاهان باغی غالب شامل انار، زردآلو، گیلاس، آلبالو، زیتون، گلابی، انگور، خرما، پسته، انجیر، گردو و بادام می‌باشند. منبع اصلی آب کشاورزی در مناطق کوهستانی، قنات و در دشت، چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق است. همه محصولات کشاورزی کشت شده در محدوده اردستان با توجه به وضعیت آب‌وهوایی محدوده مانند تبخیر و تعرق بالا، بیشترین نیاز آبی خالص در سطح استان را دارد. پیرامون به‌روزرسانی سند ملی آب در استان اصفهان، جدیدترین اطلس نیاز آبی خالص محصولات زراعی و باغی استان اصفهان در سال ۱۳۹۸ تهیه شده است. نتایج جدید بیانگر افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی کشت شده در محدوده اردستان به نسبت سند ملی پیشین است. برای نمونه، نیاز آبی محصولات غالب محدوده اردستان شامل گندم، یونجه و انار، به ترتیب ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر در سال افزایش را نشان می‌دهند (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان

اصفهان، ۱۳۹۸). باین‌وجود، کمبودها و کاستی‌هایی نیز در این مطالعه وجود دارد که در جدول (۹) به آن‌ها اشاره شده است. در بخش اطلاع‌رسانی طرح احیا و تعادل‌بخشی علاوه بر بخش داناب که شمار بسیاری از دانش‌آموزان و معلمان استان اصفهان را تحت پوشش قرار می‌دهد، برنامه اطلاع‌رسانی و آگاهی‌رسانی برای دیگر گروه‌های مردم جامعه هر سال انجام می‌شود. این نشست‌ها با سازمان‌هایی مانند قوه قضاییه، نیروی انتظامی، روحانیون، شهرداری مرکز استان، نمایندگان مجلس، صنعت آب و برق (آبفا و برق)، استانداری، جهاد کشاورزی، اداره کل محیط‌زیست و نمایندگان بهره‌برداران منابع آب و تشکل‌های مرتبط انجام می‌شود. علاوه بر این جلسات اطلاع‌رسانی در طرح احیا و تعادل‌بخشی تولیدات و محتواهای رسانه‌ای قابل توجهی مانند موشن، تیزر، پوستر و غیره نیز تولید و منتشر می‌شود و سالانه گزارش‌ها و برنامه‌های مصاحبه از مدیرعامل، مدیران و کارشناسان در صدا و سیما تهیه و منتشر می‌شود. سوال مهم در این باره این است که کارهای گفته شده تا چه اندازه توانسته سواد آبی مسئولان و دیگر گروه‌های مردم را تقویت کند و چه معیارهایی برای سنجش این مهم در نظر گرفته شده است؟ ارزیابی پروژه‌ها و کارهای طرح احیا و تعادل‌بخشی در محدوده مطالعاتی اردستان در جدول (۹) جمع‌بندی شده است.

جدول ۹- ارزیابی اجرای پروژه‌های طرح احیا و تعادل‌بخشی در محدوده مطالعاتی اردستان

توضیحات	انجام شده (+) انجام نشده (-)	طرح
بیشترین کمبود در بحث تعادل‌بخشی آبخوان به تولید و تدقیق داده‌ها مربوط است؛	+	حفر و تکمیل شبکه چاه‌های مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی (شبکه پیژومتری) و چاه‌های اکتشافی
بیان آب زیرزمینی به‌طور منظم در دشت اردستان تهیه می‌شود؛ آماربرداری سراسری به‌صورت سالانه در دشت انجام نمی‌شود؛ درستی و دقت داده‌هایی که در بیان استفاده می‌شود گنگ است؛ خلاصه وضعیت محدوده (داده‌برداری) به‌صورت تخمینی و براساس تعمیم چاه‌های کمی منتخب محدوده تهیه می‌شود که نمی‌تواند بازتاب واقعی اطلاعات کامل آبخوان باشد.	+	تهیه بیان و به‌روزرسانی بانک اطلاعاتی محدوده‌های مطالعاتی
تنها در یک مطالعه توسط سازمان زمین‌شناسی استان اصفهان، بیشینه فرونشست برابر با ۷۹ میلی‌متر برآورد شده است؛ شروع فرونشست نشان از بیان منفی منابع آب زیرزمینی دارد؛ رصد سالانه فرونشست (با استفاده از تکنیک‌های راداری و مدل‌سازی) به‌صورت پیوسته انجام نمی‌شود.	+	پهنه‌بندی و بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در محدوده مطالعاتی
توجهی به روش‌های دیگر تغذیه مصنوعی در کنار استفاده از جریان‌های سیلابی رودخانه‌ها و مسیل‌های موجود نشده است؛ کندی پیشرفت کار در احداث و اجرای پروژه‌های پخش سیلاب مشهود است؛ حجم آب تغذیه شده در مقابل حجم کل آب مصرفی در آبخوان ناچیز است؛ مطالعات جدیدی درباره امکان‌سنجی و اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و آبخیزداری در بازه طرح تعادل‌بخشی انجام نشده است؛ اثرگذاری پروژه‌های تغذیه مصنوعی نیازمند صرف هزینه‌های زیاد است.	+	اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب در دشت‌های ممنوعه و مطالعه و اجرای پروژه‌های آبخیزداری

توضیحات	انجام شده (+) انجام نشده (-)	طرح
کارهای انجام شده از نظر شمار و حجم آب صرفه جویی شده در طول سالهای پس از تعادل بخشی، قابل توجه نیست (آسیب شناسی این کارها به صورت ویژه در متن مقاله بررسی شده است).	+	خرید و انسداد چاههای کم بازده کشاورزی
	+	کارگذاشتن کنتورهای حجمی و هوشمند آب و برق کنترل برداشت از چاهها
	+	کنترل، نظارت و مسلوب المنفعه کردن چاههای فاقد پروانه و مضر به مصالح عمومی
محاسبات براساس اطلاعاتی که یکبار وارد شده و قابلیت به روزرسانی ندارند انجام می شود و اگر هم به هنگام سازی این اطلاعات ممکن باشد، تنها اطلاعات ایستگاهها قابل تغییر است.	+	به روز نمودن سند ملی آب در محدوده های مطالعاتی
بسیاری از روشهای برآورد تبخیر-تعرق در شرایط اقلیمی و داده های مختلف در دسترس، نتایج دقیقی تولید نمی کند و لازم است در شرایط مختلف معادلات متفاوتی به کار گرفته شود.		
کم و بیش تاریخهای کشت یک یا چند محصول برای دشت های مختلف ثابت فرض می شود. با توجه به تغییر شرایط آب و هوایی از سالی به سال دیگر و حتی تفاوت دما از مکانی به مکان دیگر، زمان کشت در سطح هر منطقه متفاوت است.		
الگوی کشت در هر منطقه براساس سیاست های ملی و منطقه ای، منابع آب و خاک و ضوابط بهره برداری مطلوب و دیگر عوامل مؤثر از ضروریات است که متأسفانه به طور کامل و جدید در سندهای پیشین به آن پرداخته نشده است.		
امکان استفاده از سیستم تعیین نیاز آبی به طور مستقیم توسط افراد (کشاورز) وجود ندارد، به عبارت دیگر، افزایش بهره وری کشاورزی نیازمند ایجاد یک مزرعه هوشمند است که پتانسیل این قابلیت را داشته باشد.		
معیار و شاخصی به منظور ارزیابی کارهای انجام شده در برنامه اطلاع رسانی و منتشر نشدن خروجی نشست های برگزار شده وجود ندارد؛ این نکته که اطلاع رسانی در رابطه با هنجارهای اجتماعی و محیط زیستی برآمده از کمبود آب بسیار کارآتر از ارائه اطلاعات در مورد چگونگی صرفه جویی آب است در برنامه های اطلاع رسانی کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ نیاز به برگزاری دوره های آموزشی تخصصی ویژه کارکنان دفاترهای حفاظت در شرکت آب منطقه ای، کارکنان گروه های گشت و بازرسی، کارشناس های ناظر بخش خصوصی و سایر مدیران و مسئولان بخش آب و بخش های مرتبط دیگر روشن است.	+	اطلاع رسانی و آگاه سازی افکار عمومی
از نظر کمیت و به ویژه کیفیت آب خروجی تصفیه خانه اردستان، این امکان وجود ندارد.	-	جایگزینی پساب تصفیه خانه های فاضلاب با چاه های کشاورزی در دشت های ممنوعه و بحرانی
براساس جدول زمانی طرح تعادل بخشی، این کار باید تا پایان سال ۱۴۰۰ به نتیجه می رسد.	-	نصب تجهیزات اندازه گیری الکترونیکی (On-line) بر روی ایستگاهها، چاه های پیژومتری و منابع آب انتخابی
در مجموع تعداد ۱۳۰ شرکت حفار مجهز به GPS در کل استان اصفهان وجود دارد که پیش از آغاز طرح تعادل بخشی تجهیز شده بودند و در مدت انجام طرح کار جدیدی درباره ساماندهی آنها انجام نشده است.	-	ساماندهی شرکت های حفار و نصب GPS بر روی دستگاه های حفاری موجود در استان
سرمایه گذاری در بحث راهکارهای اجتماعی و مشارکتی، مهمترین کار در مدیریت و تعادل بخشی آبخوانها است که کاری در این مورد در دشت اردستان انجام نشده است.	-	ایجاد و استقرار بازار محلی آب در محدوده های مطالعاتی
		ایجاد تشکلهای آب بران در محدوده های مطالعاتی و انجام حمایت های فنی و مالی از آنها

بیات، م.ج.، جوادی، س.، هاشمی شاهدانی، م.، حسینی، ی. و بنی‌حیب، ا. ۱۳۹۹. تعادل‌بخشی آبخوان با روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی و برنامه‌ریزی مثبت ریاضی در دشت قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۱۴): ۱۳۳۶-۱۳۴۷.

حسینی جلفان، م.، هاشمی شاهدانی، م. و جوادی، س. ۱۳۹۹. ارزیابی میزان تأثیرگذاری سامانه کنترل خودکار توزیع آب سطحی کشاورزی به‌منظور کاهش برداشت و تعادل‌بخشی آبخوان در شرایط کم‌آبی (مطالعه موردی: کانال اصلی شبکه آبیاری قزوین)، نشریه آب و آبیاری، ۱۰(۲): ۲۸۱-۲۹۹.

خدادادی، م. ۱۴۰۰. ارزیابی طرح احیا و تعادل‌بخشی آب‌های زیرزمینی دشت شهریار با تأکید بر کنتورهای هوشمند. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

رضایی، س.، جوادی، س. و کاردان‌مقدم، ح. ۱۳۹۹. ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد اجزای محدود در شبیه‌سازی عددی. هیدروژئولوژی، ۲(۲): ۳۲-۴۲.

زنگنه، م.، سرائی تیریزی، م.، خسروجردی، ا. و صارمی، ع. ۱۴۰۰. اثربخشی راهکارهای تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی برای کنترل فرونشست (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی ورامین). مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۷): ۱۷۳۶-۱۷۵۱.

شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان. ۱۳۹۷. اطلاعات آماربرداری سراسری سال ۱۳۹۷، معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان. اصفهان.

شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان. ۱۳۹۹-الف. آمار خلاصه وضعیت محدوده‌های مطالعاتی استان اصفهان، معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان. اصفهان.

شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان. ۱۳۹۹-ب. گزارش اندازه‌گیری منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی اردستان (۴۸۰۱). معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان. اصفهان.

عدالت، ع.، خداپرست، م. و محمدرجیبی، ع. ۱۴۰۰. بررسی اثرات تغییر تراز آب زیرزمینی آبخوان بر پدیده فرونشست و راهکارهای تعادل‌بخشی آبخوان (مطالعه موردی: دشت علی آباد قم). نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۳(۵): ۱-۲۲.

عمیدپور، ز. و غلامی سفیدکوهی، م.ع. ۱۳۹۹. تأثیر سیستم آبیاری نوین بر تعادل‌بخشی به منابع آب زیرزمینی. پنجمین همایش ملی دانش و فناوری علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست. موسسه سام ایرانیان، تهران.

بررسی هیدروگراف ۲۰ ساله آبخوان اردستان نشان می‌دهد که باوجود افت سه متری منحنی هیدروگراف معرف در سال‌های پس از تعادل‌بخشی، شیب منحنی به‌صورت نسبی بهبود پیدا کرده است. تخلیه آب زیرزمینی از چهار سال پیش از شروع کارهای تعادل‌بخشی (۱۳۹۰) به تدریج کاهش یافته و در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به کمتر از نصف تخلیه میانگین آبخوان، یعنی در حدود ۱۰۰ میلیون متر مکعب می‌رسد. مجموع حجم صرفه‌جویی به‌دست آمده برآمده از طرح‌های تعادل‌بخشی که به‌صورت مستقیم بر کمیت آبخوان اثر می‌گذارند، شامل اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب، کارگذاشتن کنتورهای هوشمند، انسداد چاه‌های غیرمجاز و کم‌بازده و جایگزینی پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب، از ۱۱ میلیون متر مکعب در طول سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ بیشتر نمی‌شود؛ درحالی‌که در این مدت، سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون متر مکعب تخلیه از آبخوان صورت می‌گیرد و کارهای دیگر طرح تعادل‌بخشی که تأثیر مستقیم بر کاهش تخلیه آبخوان می‌گذارد، شامل ایجاد بازار محلی آب و جایگزینی پساب‌های صنعتی برای آبیاری کشاورزی نیز در محدوده مطالعاتی اردستان انجام نشده است. علاوه‌براین، از نظر زمانی و کمی، تأثیر مثبتی در منحنی هیدروگراف آبخوان اردستان در مدت اجرای طرح تعادل‌بخشی مشاهده نشده و نوسانات آن تنها ارتباط مستقیمی با رخداد‌های بارش نشان می‌دهد. در بازه زمانی مد نظر این پژوهش، آبدهی قنات‌ها و چشمه‌های محدوده مطالعاتی که بیانگر تخلیه طبیعی آبخوان می‌باشند، به شدت کاهش یافته است، نمونه‌ای از موارد موجود، کاهش بیش از ۹۰ درصدی آبدهی چشمه‌ها و قنات‌ها در دو سال انتهایی بازه مطالعاتی هیدروگراف است. بر این اساس، کاهش توان طبیعی آبخوان و ذخیره دینامیک ارتفاعات تغذیه‌کننده منابع آبی از جمله قنات‌ها و چشمه‌ها، نیاز به کف‌شکنی بیشتر چاه‌ها در محدوده آبخوان و افزایش بیشینه ۸ متری افت سطح ایستابی در سال‌های پس از انجام کارهای تعادل‌بخشی، این موضوع را تأیید می‌کند که کارهای برنامه تعادل‌بخشی و نظارت بر انجام درست و فنی آن‌ها نیاز به توجه بیش از پیش در محدوده مطالعاتی اردستان دارد.

سپاسگزاری

این پژوهش با سفارش و حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان (دفتر مطالعات پایه منابع آب) در راستای حل چالش‌های کشور در زمینه تعادل‌بخشی آب‌های زیرزمینی انجام شد. به این وسیله از حمایت آن شرکت قدردانی می‌شود.

- Perspective on Groundwater Management in Four Water-Stressed Mediterranean Areas: Priorities and Challenges. *Land*, 11: 738.
- Dangar S., Asoka A. and Mishra V. 2021. Causes and implications of groundwater depletion in India: A review. *Hydrology*, (596): 126103.
- Hasan M.R., Mostaf M.G., Rahman N., Saiful Islam S. and Islam M. 2018. Groundwater Depletion and its Sustainable Management in Barind Tract of Bangladesh. *Environmental Sciences*, 12: 247-255.
- Lall U., Josset L. and Russ T. 2020. A Snapshot of the World's Groundwater Challenges. *Annual Review of Environment and Resources*, (45)1: 171-194.
- Senthilkumar M. and Gnanasundar D. 2022. Aquifer characterization and hydrogeological modeling for devising groundwater management strategies for the Chennai aquifer system, southern India. *Environment Earth Science*, 81: 187.
- Turner S.W.D., Hejazi M., Yonkofski C., Kim S.H. and Kyle P. 2018. Influence of groundwater extraction costs and resource depletion limits on simulated global nonrenewable water withdrawals over the twenty-first century. *Earth's Future*, 7: 123-135.
- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان. ۱۳۹۸. اطلس نیاز آبی خالص محصولات زراعی و باغی استان اصفهان. سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان.
- معاونت آب و آبفا وزارت نیرو. ۱۳۹۴. مجموعه دستورالعمل‌های طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی، دفتر نظام‌های بهره‌برداری و حفاظت آب و آبفا وزارت نیرو.
- معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۹۵. دشت‌های ممنوعه کشور، شرکت مدیریت منابع آب ایران.
- میرحاجی، ن. ۱۳۹۹. ارزیابی اثربخشی اقدامات طرح احیا و تعادل بخشی بر کمیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت خوی). دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های دانش‌بنیان در علوم زمین. دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- مهندسین مشاور آبگستران میهن. ۱۳۹۶. طرح مطالعات جامع پساب استان اصفهان، برنامه‌ریزی منابع و مصارف پساب فاضلاب تصفیه‌خانه اردستان. معاونت طرح و توسعه شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان.
- Boni R., Teatini P., Zoccarato C., Guardiola-Albert C., Ezquerro P., Bru G., Tomás R., Valdes-Abellan J., Pla C., Navarro-Hernández M.I. Elçi A. Çaylak B. Hakan Ören A. Shatanawi KH. Hind Mohammad A. Abu Hajar H. Letterio T. Genovesi R. Hreisha H. Al-Mimi Q. and Meisina C. 2022. Stakeholders'