

Article Type

Case Study

مطالعه موردی

نوع مقاله

Effect of Smart Meters Installation on Water Table Fluctuations and Agricultural Wells Energy Consumption in Roshtkhar Plain

H. Mohammadzadeh^{1*}, M. Torshizi²

1- Professor, Groundwater and Geothermal Research Center (GRC), Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- M.Sc. Student in Hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding Author Email: mohammadzadeh@um.ac.ir

Received ➤ 28-09-2024
Revised ➤ 06-03-2025
Accepted ➤ 18-03-2025
Available Online ➤ 30-08-2025

Abstract

The dependence of the residents' livelihoods on agriculture in the Roshtkhar Plain and the increase in population have caused the indiscriminate extraction from deep wells, as the main source of water supply. The result of which was a severe drop in the water level and a critical situation in the Roshtkhar aquifer. In order to reduce the crisis, several management activities have been carried out, including the installation of smart meters (SMs) on the wells in 2015, as a subset of the rehabilitation and balancing plan. Investigating the trend of changes in 20-year hydrographs of observation wells, as well as calculated operation hours and energy consumption of their corresponding selected agricultural wells, and the graphs of the changes in energy consumption and operation hours shows a considerable decrease in the slope of the water level changes trend line after installing the SMs, compared to before installation. So that, in observation wells, which have continuous and correct statistics, there was an average decrease of 46.4% in the drop of water level after SMs installation. In addition, with installing SMs, the actual working hours and energy consumption of the selected wells have decreased by 11.7% and 22.8%, respectively, for the two similar time periods before and after installation. Due to the severe to very severe drought conditions in Roshtkhar over the past 10 years, based on SPEI drought index the climate situation did not have much effect on reducing energy consumption and operating hours of wells, as well as improving the trend of water level changes.

Keywords: Smart Meter. Water Table Fluctuations, Roshtkhar Plain.

تأثیر نصب کنتورهای هوشمند بر نوسانات سطح ایستابی و مصرف انرژی چاه‌های کشاورزی دشت رشتخوار

حسین محمدزاده^{۱*}، مهدی ترشیزی^۲

۱- استاد گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم و گروه پژوهشی تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال (متاب)، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: mohammadzadeh@um.ac.ir

تاریخ دریافت ➤ ۱۴۰۳/۰۷/۰۷
تاریخ بازنگری ➤ ۱۴۰۳/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش ➤ ۱۴۰۳/۱۲/۲۸
تاریخ انتشار ➤ ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

چکیده

وابستگی معیشت ساکنان دشت رشتخوار به کشاورزی، و افزایش جمعیت باعث برداشت بی‌رویه از چاه‌های عمیق، به عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده آب، شده که نتیجه آن افت شدید سطح ایستابی و بحرانی شدن وضعیت آبخوان دشت رشتخوار بوده است. در راستای کاهش بحران، اقدامات مدیریتی متعددی از جمله پروژه نصب کنتورهای هوشمند بر روی چاه‌های دشت در سال ۱۳۹۴، به عنوان زیرمجموعه طرح احیا و تعادل‌بخشی، انجام گردیده است. بررسی روند تغییرات سطح ایستابی در هیدروگراف‌های ۲۰ ساله چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین محاسبه ساعت کارکرد و انرژی مصرفی چاه‌های کشاورزی انتخابی متناظر آن‌ها و نمودارهای روند تغییرات مصرف انرژی و ساعت کارکرد، نشان می‌دهد که شیب خط روند تغییرات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای بعد از نصب کنتور نسبت به قبل از نصب، کاهش چشم‌گیری داشته است. بطوریکه در چاه‌های مشاهده‌ای که دارای آمار پیوسته و صحیح می‌باشند، پس از نصب کنتورها بطور میانگین کاهش ۴۶/۴ درصدی در افت سطح ایستابی ایجاد شده است. همچنین با نصب کنتورهای هوشمند، ساعت کارکرد واقعی و مصرف انرژی چاه‌های انتخابی در دو بازه زمانی مشابه ۸ ساله در قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند به ترتیب معادل ۱۱/۷ درصد و ۲۲/۸ درصد کاهش داشته است. با توجه به اینکه رشتخوار در ده سال گذشته، از نظر طبقه‌بندی شاخص خشکسالی SPEI در محدوده خشکسالی شدید تا بسیار شدید قرار داشته، روند کاهش تغییرات سطح ایستابی و تغییرات ساعت کارکرد و مصرف انرژی، نمی‌تواند نتیجه خشکسالی باشد، بلکه کاهش برداشت به دلیل نصب کنتورهای هوشمند آب به عنوان ابزار مدیریت برداشت، انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: کنتور هوشمند، نوسانات سطح ایستابی، دشت رشتخوار.

How to cite this article: Mohammadzadeh, H. & Torshizi, M. (2025). Effect of Smart Meters Installation on Water Table Fluctuations and Agricultural Wells Energy Consumption in Roshtkhar Plain. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 143-158.
<http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2409-1364>

آب‌های زیرزمینی منبع مهمی برای تأمین نیازهای آبی جوامع بشری بوده و برای مصارف مختلف خانگی، کشاورزی، تفریحی، تجاری و صنعتی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند (Abanyie و همکاران، ۲۰۱۸)، که در ایران بیش از ۵۵ درصد نیاز آبی کشور را تأمین می‌کند و سهم آن در جوامع روستایی حتی به بیش از ۸۰ درصد افزایش می‌یابد (Maghrebi و همکاران، ۲۰۲۱). عوامل طبیعی و انسانی متعدد از قبیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک، کاهش تغذیه آبخوان در اثر کاهش بارندگی، افزایش چاه‌های بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در اثر توسعه فن‌آوری حفر چاه، و افزایش نیاز آبی با رشد جمعیت، موجب برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها و کاهش سطح ایستابی آن‌ها شده است. هر چند که در سطح جهانی حدود ۷۰ درصد از آب زیرزمینی جهت کشاورزی استفاده می‌شود، اما سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به دلیل از دست دادن دسترسی به آب‌های زیرزمینی کاهش یافته و این مهم بر امنیت غذایی و معیشت کشاورزان نیز تاثیر گذار بوده است (Alam و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، در نتیجه افت سطح ایستابی بحران‌های شدیدی از قبیل کم آبی و خشک شدن منابع آبی از جمله قنات‌ها به عنوان منبع آبی حیاتی در مناطق نیمه خشک و خشک برای نیازهای کشاورزی (Bahraseman و همکاران، ۲۰۲۴)، کاهش کیفیت آب، فرونشست زمین، افزایش هزینه استخراج و پمپاژ آب ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه عوامل طبیعی خارج از کنترل انسان می‌باشند، بنابراین کاهش اثرات نامطلوب افت سطح آب زیرزمینی و بحران‌های مذکور، مستلزم کنترل برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها به عنوان مهم‌ترین عامل غیرطبیعی (انسانی) می‌باشد. کنترل کمی و بهره‌برداری ایمن از منابع آب با توجه به کمبود روزافزون آب، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، مولفه‌های حیاتی برای توسعه پایدار هر منطقه است (Nassery و همکاران، ۲۰۱۷). به منظور احیای آبخوان و تحقق کنترل و برداشت بهینه و کاهش برداشت، برنامه‌ای جامع، دقیق و عملی ضروری است تا افت سطح آب زیرزمینی کنترل شود. از این‌رو، طرح احیا و تعادل بخشی با پروژه‌های مختلفی از قبیل تغذیه مصنوعی، انسداد چاه‌های غیر مجاز و کارگذاشتن کنتور هوشمند بر روی چاه‌های بهره‌برداری در دو بخش کاهش برداشت و افزایش تغذیه منابع آب زیرزمینی با راهکارهای مدیریتی و سازه‌ای مختلف (علی‌پور، ۱۳۹۸) جهت مدیریت آبخوان‌ها به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک اجرا شده است (خدادادی بنیس و همکاران، ۱۴۰۱). نصب کنتورهای هوشمند به عنوان ابزاری

برای کنترل و مدیریت برداشت آب زیرزمینی و جلوگیری از مصرف برداشت غیرمجاز از چاه‌های آب با مصارف مختلف به عنوان یکی از ۱۵ پروژه مهم طرح احیا و تعادل بخشی یکی از این راهکارهای مهم می‌باشد (رجب‌پور و همکاران، ۱۳۸۹؛ عبدالحسین‌زاده، ۱۴۰۰).

در زمینه نصب کنتورهای هوشمند، پژوهش‌های متعددی انجام شده است. گروهی از پژوهشگران نقش کنتورهای هوشمند و طرح احیا و تعادل بخشی را کاهش افت سطح آب زیرزمینی، کاهش افت حجم آبخوان، بهبود تراز آب زیرزمینی، بهبود نسبی در شیب منحنی تراز سطح ایستابی و کاهش سطح زیر کشت و کاهش برداشت آب زیرزمینی می‌دانند (هاونگی و خزیمه‌نژاد، ۱۴۰۲؛ نیرومندفر و همکاران، ۱۳۹۹؛ اسدی و همکاران، ۱۴۰۱؛ کی‌همایون و همکاران، ۱۴۰۱؛ علیجانی و همکاران، ۱۴۰۱؛ کوثری سیوکی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Zekri و همکاران، ۲۰۱۷؛ سلیمی و همکاران، ۱۳۹۵). تعدادی دیگر از پژوهشگران به موضوع نگرش کشاورزان و رضایت‌مندی بهره‌برداران از نصب کنتور پرداخته‌اند (مولائی و ایمان‌زادته، ۱۴۰۲؛ ورمزیاری و همکاران، ۱۴۰۲؛ امیری و همکاران، ۱۴۰۱؛ عبدالحسین‌زاده، ۱۴۰۰؛ قبادپور و همکاران، ۱۳۹۷؛ فرزانه و همکاران، ۱۳۹۸). محققین مزایای نصب کنتورهای هوشمند و استفاده از فناوری اندازه‌گیری هوشمند را در کاهش انرژی مصرفی و ساعت کارکرد چاه‌ها (Mohammadzadeh و Torshizi، ۱۴۰۳؛ دانش‌پژوه و باقری، ۱۳۹۸؛ کریمی، ۱۴۰۰؛ بازاری و همکاران، ۱۳۹۵)، در کنترل قابل قبول برداشت از آبخوان‌ها (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۷)، در اثربخشی ارزیابی تلفات آب شهری (Bragalli و همکاران، ۲۰۱۹)، در کاهش حدود ۲ درصدی مصرف آب خانوارها (Daminato و همکاران، ۲۰۲۱)، در جلوگیری از مصرف مخفیانه و مازاد آب و مجبور نمودن بهره‌برداران به تغییرالگوی مصرف و نوع کشت (نی‌نیوا و همکاران، ۱۳۹۶)، و در مدیریت منابع آب (امیری، ۱۴۰۱) مؤثر می‌دانند.

وابستگی معیشت ساکنان دشت رشتخوار به آب زیرزمینی، باعث حفر چاه‌های متعدد آب کشاورزی و شرب و ادامه حفاری این چاه‌ها (کفشکنی و جابجایی) گردیده و در نتیجه موجب برداشت بی‌رویه، افت سطح آب زیرزمینی، تنش آبی و بحران شدید آبخوان شده است، به‌طوری‌که دشت رشتخوار، ممنوعه بحرانی اعلام شده و علت آن افت سطح آب بیان شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۸) و تمدید ممنوعیت دشت هر ۵ سال توسط وزارت نیرو پس از بررسی‌های لازم و درج آگهی انجام می‌شود. در واقع استحصال آب زیرزمینی از چاه‌های عمیق منبع اصلی تأمین کننده آب در دشت رشتخوار می‌باشد، که به موجب آن

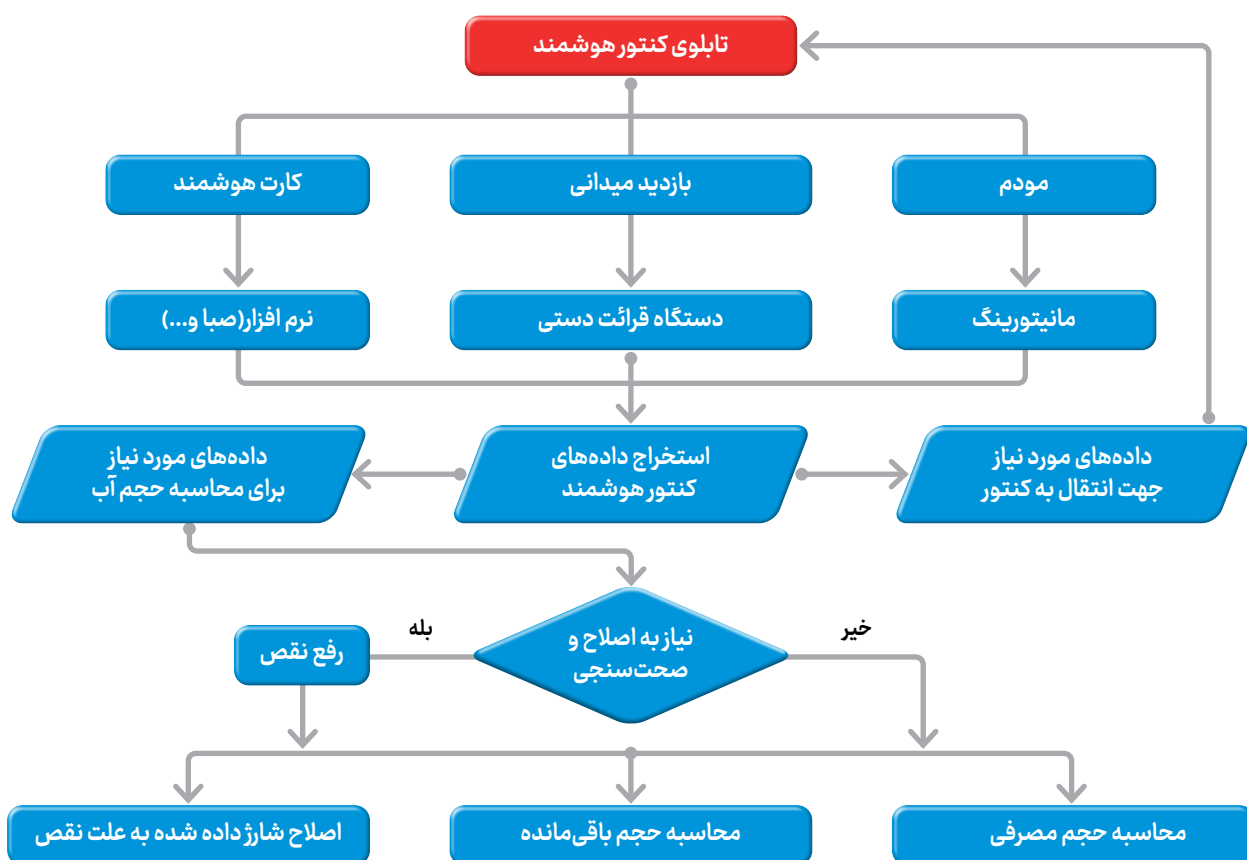
■ کنتور آب و انواع کنتور هوشمند

کنتور آب برای اندازه‌گیری پیوسته، ذخیره‌سازی اطلاعات و نمایش حجم آب عبوری از مبدل (ترانسیدوسر) استفاده می‌شود و مهم‌ترین ابزار مدیریت تقاضا و کنترل مصرف در بخش آب کشاورزی می‌باشد. کنتور آب شامل مبدل اندازه‌گیری (فلومتر^۲ دارای حسگر جریان یا حسگر حجمی)، محاسبه‌گر و دستگاه نشانگر می‌باشد. فلومتر ابزار دقیقی است که با آن میزان آب عبوری در لوله را می‌توان اندازه‌گیری کرد، در واقع دبی جریان یا حجم آب عبوری از کنتور را کنترل و به صورت مکانیکی و یا الکتریکی به محاسبه‌گر منتقل می‌کند. فلومتر انواع مختلفی (دیسک، پیستون، چرخ، توربین، سنسور الکترومغناطیسی و...) دارد. محاسبه‌گر، سیگنال‌های خروجی از مبدل را دریافت و آن‌ها را تبدیل و ذخیره‌سازی می‌کند. نشانگر، نتایج اندازه‌گیری که با یک ابزار تبدیل به داده‌های دیجیتالی می‌نماید را نشان می‌دهد. تجهیزات لازم برای استقرار و بهره‌برداری از کنتور هوشمند و روش انتقال و دریافت داده‌ها در شکل (۱) و انواع کنتورهای هوشمند آب در شکل (۲) نشان داده شده است.

وضعیت آبخوان بدتر شده، از این رو، شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی از سال ۱۳۹۴ اقدام به نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های این دشت نموده است. هدف اصلی این مقاله ارزیابی و بررسی میزان تأثیر کنتور هوشمند بر نوسانات سطح آب زیرزمینی و میزان مصرف انرژی چاه‌های کشاورزی دشت رشتخوار می‌باشد، که دارای اهمیت و ضرورت ویژه‌ای است.

بیان مسئله و فرضیات تحقیق

جهت پاسخ به این پرسش که «نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌ها، به چه میزان در کنترل و کاهش برداشت از آبخوان رشتخوار، افت سطح ایستابی و میزان مصرف انرژی دشت رشتخوار موثر بوده است؟» نیاز به ارزیابی عملکرد کنتورهای نصب شده با بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی، انرژی مصرفی و ساعت کارکرد چاه‌ها می‌باشد، که در این تحقیق به آن‌ها پرداخته شده است. در این تحقیق فرضیات زیر مورد بررسی قرار گرفت: ۱- نصب کنتورهای هوشمند باعث کاهش روند افت سطح آب زیرزمینی دشت رشتخوار شده است، ۲- نصب کنتورهای هوشمند موجب کاهش ساعت کارکرد چاه‌ها و نهایتاً کاهش مصرف انرژی برق شده است.



شکل ۱- فلوچارت روش دریافت و انتقال داده‌ها از کنتور هوشمند و تجهیزات مورد نیاز



شکل ۲- انواع کنتور هوشمند: الف) کنتور هوشمند آب و برق (مدل ۳۰۳)، ب) کنتور هوشمند الکترومغناطیس (مدل ایران مدار)، ج) کنتور هوشمند الکترومغناطیس (مدل پویاک) و د) کنتور هوشمند الکترومغناطیس (مدل ایفا صنعت)

■ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت

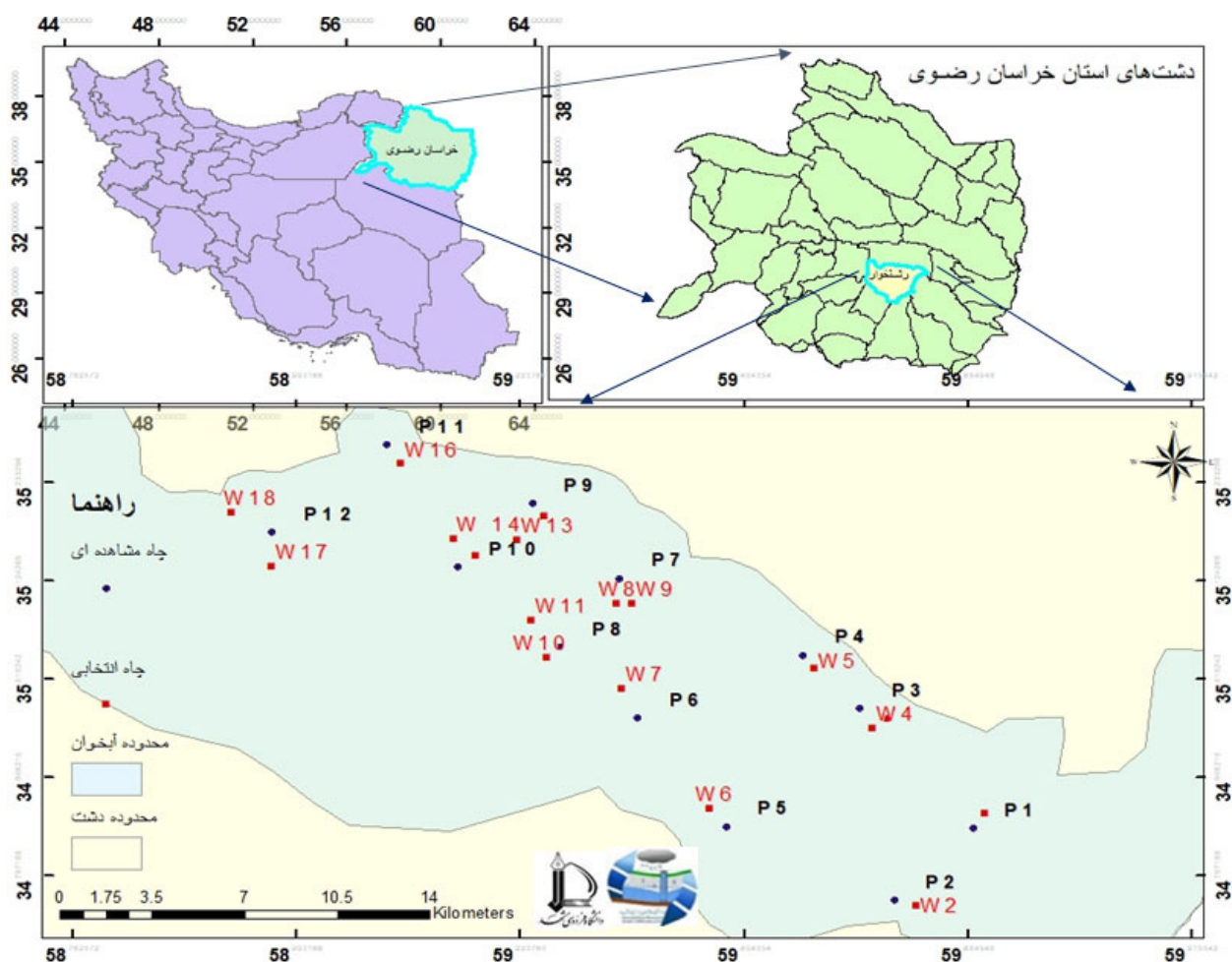
چاه‌های مشاهده‌ای^۳ و منابع انتخابی

دشت ممنوعه بحرانی رشتخوار با وسعت حدود ۲۴۰۹ کیلومتر مربع در شمال شرق ایران و مرکز استان خراسان رضوی و در حوضه آبریز فلات مرکزی، در مختصات جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۳). این دشت از شمال با محدوده تربت حیدریه، از جنوب با محدوده‌های گیسور و جنگل، از شرق با محدوده خواف و از غرب با محدوده ازغند هم‌مرز می‌باشد. شهر رشتخوار در جنوب شرق دشت، مهم‌ترین شهر و جاده مشهد به تربت حیدریه - رشتخوار، مهم‌ترین راه دسترسی به آن می‌باشد. این دشت در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده و میانگین بارندگی بلندمدت آن ۱۲۰ میلی‌متر بوده که در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ بارندگی به ۹۴ میلی‌متر رسیده است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۴۰۲).

به منظور بررسی تأثیر نصب کنتورهای هوشمند بر نوسانات سطح آب زیرزمینی و مصرف میزان انرژی در چاه‌های

کشاورزی، نیاز به تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات در بازه زمانی مناسب بوده، به طوری که داده‌ها شامل بازه قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند باشد. از این رو، دشت رشتخوار، که دارای داده‌های روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و داده‌های کنتورهای هوشمند نصب شده بر روی چاه‌های کشاورزی بود، انتخاب گردید. از داده‌های سطح آب ماهانه ۲۰ ساله (قبل و بعد از نصب کنتور هوشمند) در کلیه ۱۲ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود در دشت، جهت بررسی نوسانات سطح آب استفاده شده که موقعیت آن‌ها در شکل (۳) آمده است.

همچنین جهت بررسی تأثیر نصب کنتور هوشمند بر مصرف انرژی برق و روند تغییرات آن در چاه‌های کشاورزی و بررسی تأثیر توأمان تغییرات سطح آب و ساعت کارکرد چاه‌ها و رسم نمودارهای مربوطه، ۱۸ حلقه چاه کشاورزی که (۱) نزدیک‌ترین فاصله را به به چاه‌های مشاهده‌ای داشته باشند، (۲) دارای داده‌های آماری پیوسته و کامل‌تری باشند، (۳) در سطح آبخوان پراکنده باشند، و (۴) در محدوده با بیشترین تراکم چاه‌ها واقع شده باشند انتخاب گردید تا اثرات تحقیق را در کل آبخوان



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و منابع آب انتخابی

نوع منابع آب دشت و میزان تخلیه سالانه هر یک از چاه‌های بهره‌برداری، از سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه (آب منطقه‌ای خراسان رضوی، امور منابع آب شهرستان تربت حیدریه، امور برق و...)، مطالعات کتابخانه‌ای (کتاب، نقشه، پایان‌نامه‌ها، مقالات و پروژه‌های علمی) و مشاهدات میدانی، دریافت گردید. قبل از رسم نمودارها و نقشه‌های مورد نیاز، صحت کلیه داده‌های جمع‌آوری شده مورد بررسی قرار گرفت. رفع نقص و اصلاحات مورد نیاز در داده‌های انرژی با حذف دیماندهای نامتعارف و استفاده از دیماندهای متوسط همان سال و همچنین حذف داده‌های انرژی مصرفی با بازه مشترک و تکراری انجام گردید. ارتفاع سطح آب هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین ساعت کارکرد واقعی چاه‌های برقی و انرژی مصرفی هر یک از چاه‌های مجاور چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از داده‌های پایه، به صورت ماهانه و در بازه حدود ۲۰ ساله (قبل و بعد از نصب کنتور هوشمند) استخراج و نمودارهای ترسیم و روند تغییرات ساعت کارکرد و شیب خط، مورد تجزیه و

نشان دهد (شکل ۳). با استفاده از اشتراک و شناسه برق این چاه‌ها، داده‌های مورد نیاز (دیماندهای متوسط و انرژی مصرف کل به صورت ماهانه) درباره ۸ سال قبل و بعد از نصب کنتور هوشمند، استخراج و پس از رفع نواقص جهت بررسی ساعت کارکرد واقعی و میزان انرژی (برق) مصرفی چاه‌ها و درصد تغییرات آن‌ها استفاده شد. ساعت کارکرد ماهانه هر چاه پس از محاسبه انرژی مصرفی ماهانه چاه و تقسیم آن بر دیماندهای متوسط ماهانه محاسبه گردید و نهایتاً ساعت کارکرد و انرژی مصرفی سالانه مشخص گردید و در ادامه جهت مشاهده تغییرات اثرات متقابل ساعت کارکرد واقعی بر روند تغییرات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای، نمودار آن در بازه ۲۰ ساله ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت.

کلیه داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز مرتبط با کنتورهای هوشمند، همچون تعداد و نوع کنتور نصب شده، تاریخ نصب کنتور، وضعیت صحت کنتورهای نصب شده، همچنین اطلاعات کلی دوره‌های آماربرداری از منابع آب دشت، از قبیل تعداد و

هوشمند آب و برق (بیش از ۸۷ درصد کنتورها) و ۳۷ عدد از نوع الکترومغناطیس می‌باشد.

■ بررسی روند تغییرات ارتفاع سطح آب در چاه مشاهده‌ای و ساعت کارکرد چاه‌های متناظر انتخابی

با توجه به آمار و داده‌های موجود، هیدروگراف^۴ سطح آب در کلیه ۱۲ چاه مشاهده‌ای دشت برای بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۴۰۲-۱۳۸۲) رسم و در شکل (۵) ارائه شده است. همان گونه که شیب خط روند تغییرات سطح ایستابی با زمان (جدول ۱) نشان می‌دهد، روند کلی تغییرات سطح آب در پیزومترهای دشت کاهشی می‌باشد و این شیب کاهشی در بازه قبل از نصب کنتور (سال ۱۳۹۴) تندتر و افت سطح ایستابی بیشتر بوده است، اما با نصب کنتورها، روند کاهشی بهبود یافته است (جدول ۱). همچنین بررسی روند تغییرات ساعت کارکرد چاه‌های بهره‌برداری انتخابی متناظر با هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای (شکل ۵) و شیب محاسبه شده خط روند تغییرات ساعت کارکرد با زمان (جدول ۲)، نشان می‌دهد که بهبود روند کاهشی افت سطح ایستابی متأثر از نصب کنتور بر روی چاه‌های کشاورزی می‌باشد. پس از نصب کنتورها به طور میانگین کاهش ۴۶/۴ درصدی در افت سطح ایستابی ایجاد شده و ساعت کارکرد واقعی و مصرف انرژی چاه‌های انتخابی در دو بازه زمانی مشابه ۸ ساله در قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند به ترتیب معادل ۱۱/۷ درصد و ۲۲/۸ درصد، کاهش داشته است.

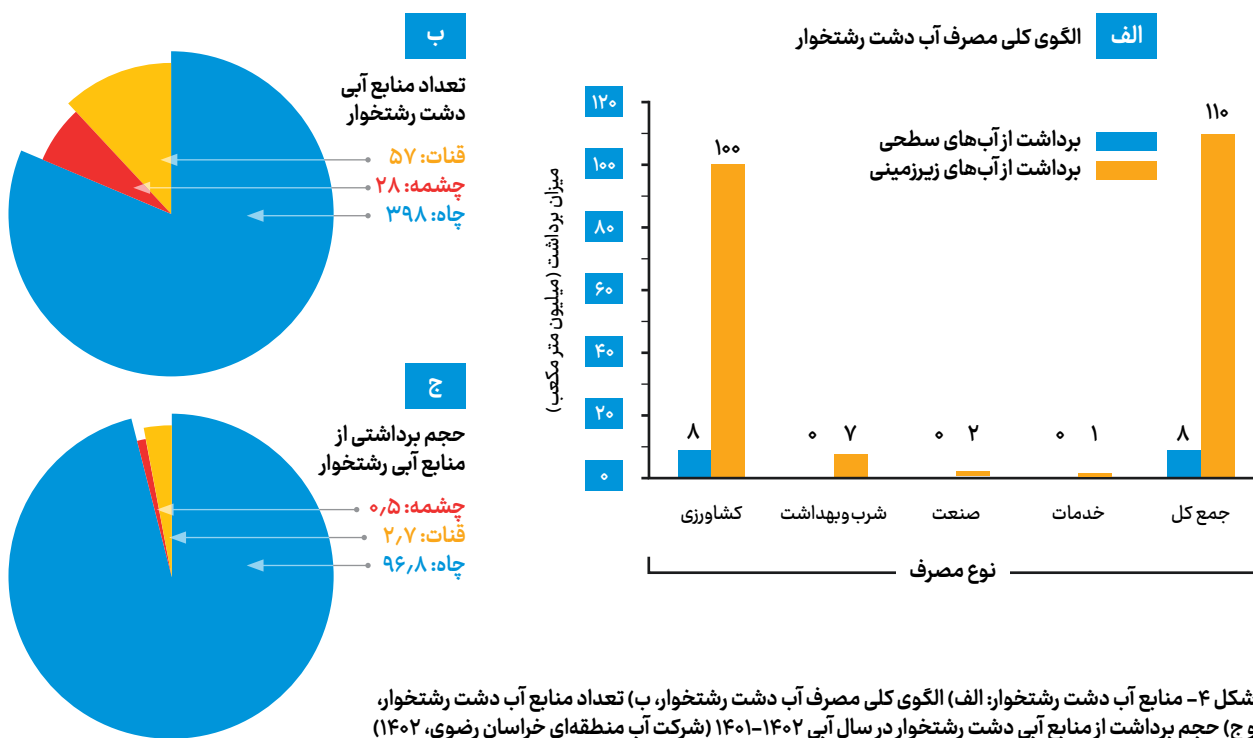
تحلیل قرار گرفت. با استفاده از داده‌های سطح آب ماهانه، هیدروگراف هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای دشت در نرم‌افزار Excel رسم و روند تغییرات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای دشت رشتخوار و میزان افت سطح آب در قبل و بعد نصب کنتور هوشمند، مورد بررسی قرار گرفت.

■ منابع آب دشت رشتخوار

آبخوان آزاد دشت رشتخوار، واقع در بخش مرکزی محدوده، حدود ۸۱۳ کیلومتر مربع از محدوده رشتخوار را در بر می‌گیرد. ضخامت آبخوان حدود ۱۱۰ متر و رسوبات تشکیل‌دهنده آبرفت‌ها در دامنه ارتفاعات، نسبتاً دانه‌درشت بوده و به سمت دشت، دانه‌ریزتر می‌شود. بر اساس داده‌های آماری شرکت آب منطقه‌ای، بیش از ۹۰ درصد برداشت از آب زیرزمینی این دشت (۱۰۶/۸ میلیون متر مکعب) از طریق ۳۹۸ حلقه چاه و کمتر از ۱۰ درصد آن توسط قنوات (۵۷ رشته) و چشمه‌های منطقه (۲۸ دهنه) صورت می‌گیرد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی ۱۴۰۲). براساس گزارش مرکز آمار ایران در کشور ۹۲/۴ درصد کل آب مصرفی در بخش کشاورزی می‌باشد (درگاه الکترونیکی ملی آمار، ۱۳۹۹). الگوی مصرف آب دشت رشتخوار در شکل (۴) آمده است.

نتایج و بحث

بطور کلی، در دشت رشتخوار بر روی ۳۰۳ حلقه چاه، کنتورهای هوشمند نصب شده است، که ۲۶۶ عدد از نوع کنتورهای



جدول ۱- مشخصات و روند تغییرات ارتفاع سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای، قبل و بعد از نصب کنتور (کلیه چاه‌ها در بخش ۵ ۴۰ قرار دارند).

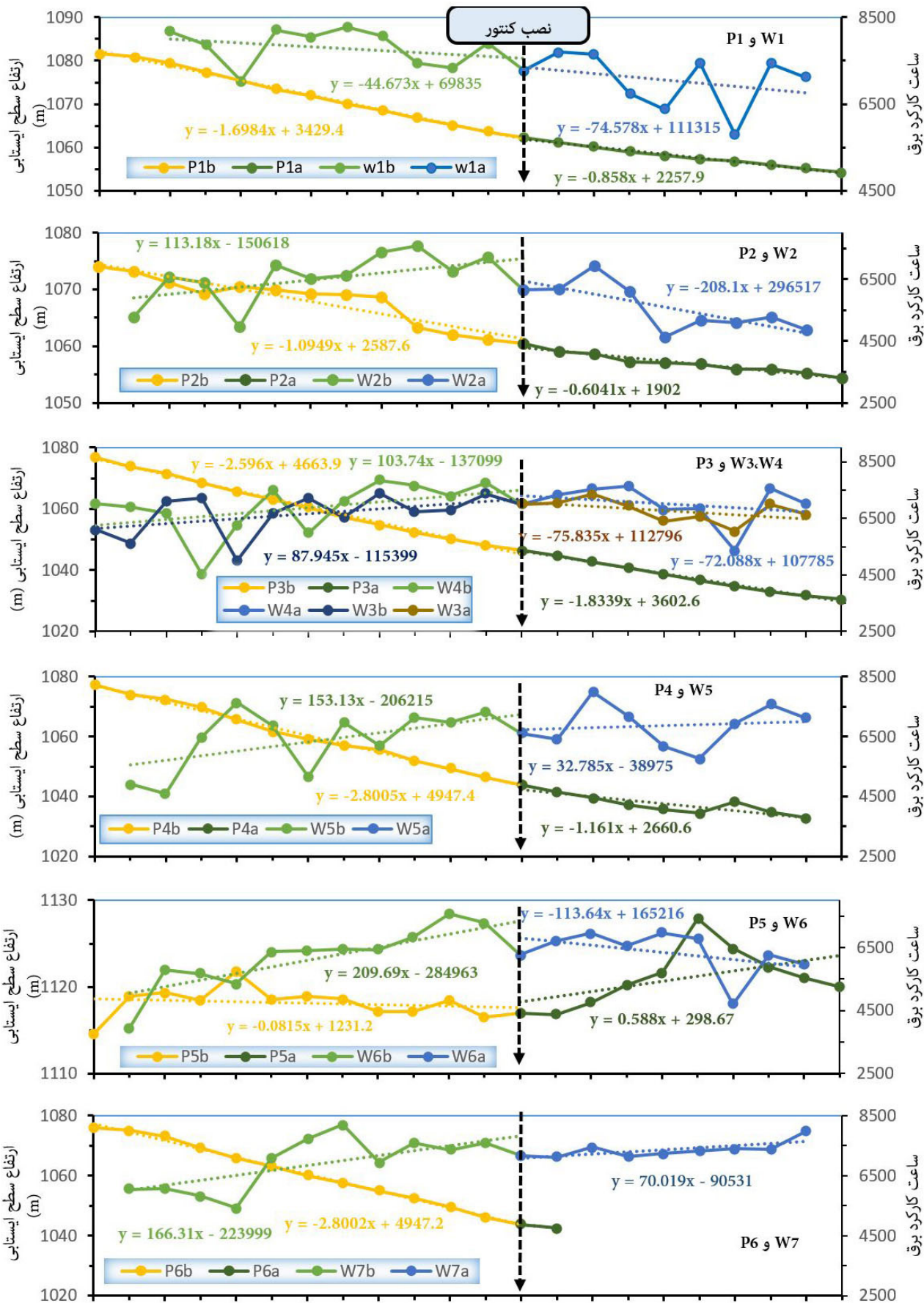
مشخصات مشاهده‌ای					شیب خط روند تغییرات سطح ایستابی با زمان		میزان افت سطح آب (m) در بازه زمانی مشابه	
علامت	نام	XUTM	YUTM	ارتفاع (m)	قبل از نصب	بعد از نصب	قبل نصب	بعد نصب
P1	اسلام‌آباد	۷۳۴۱۲۵	۳۸۷۸۱۱۴	۱۱۶۲	-۱/۷	-۰/۸۶	-۱۵/۸۹	-۷/۹۸
P2	سرآسیاب	۷۳۱۱۳۱	۳۸۷۵۱۵۵	۱۱۰۵	-۱/۰۹	-۰/۰۶	-۹/۹۹	-۶/۱۴
P3	علی‌آباد دامن جدید	۷۲۹۸۳۱	۳۸۸۳۰۱۲	۱۱۸۰	-۲/۰۶	-۱/۰۸	-۲۳/۷۰	-۱۵/۸۸
P4	علی‌آباد دامن قدیم	۷۲۷۷۰۴	۳۸۸۵۱۵۱	۱۲۱۰	-۲/۰۸	-۱/۰۲	-۲۳/۵۱	-۱۰/۹۹
P5	کاظم‌آباد	۷۲۴۷۶۰	۳۸۷۸۱۷۷	۱۱۳۹	-۰/۰۸	۰/۵۹	-۲/۰۹	۳/۱۳
P6	گیل‌آباد	۷۲۱۴۲۴	۳۸۸۲۶۰۲	۱۱۴۶	-۲/۰۸	خشک	۲۷/۰۱	خشک
P7	سنگان	۷۲۰۷۴۲	۳۸۸۸۳۱۳	۱۱۷۷	-۲/۰۹	-۱/۰۶	-۱۷/۰۴	-۹/۴۸
P8	کت	۷۱۸۴۸۵	۳۸۸۵۵۰۷	۱۱۵۶	-۲/۰۸	-۱/۰۷	-۲۱/۴۵	-۱۳/۷۹
P9	ملک‌آباد	۷۱۷۳۰۰	۳۸۹۲۳۰۰	۱۲۲۲	-۲/۰۹	-۲	-۲۶/۶۶	-۱۷/۰۲
P10	محمدآباد	۷۱۴۵۹۳	۳۸۸۸۷۷۱	۱۱۶۰	-۳/۰۱	-۱/۰۷	-۲۷/۳۶	-۱۶/۱۴
P11	دوراهی جنگل	۷۱۱۹۱۵	۳۸۹۳۷۷۴	۱۲۲۷	-۰/۳۳	۰/۰۱	-۵/۱۲	-۰/۷۳
P12	سیوکی	۷۰۷۵۵۷	۳۸۹۰۲۰۱	۱۱۷۲	-۱/۰۶	خشک	-۱۳/۷۹	خشک

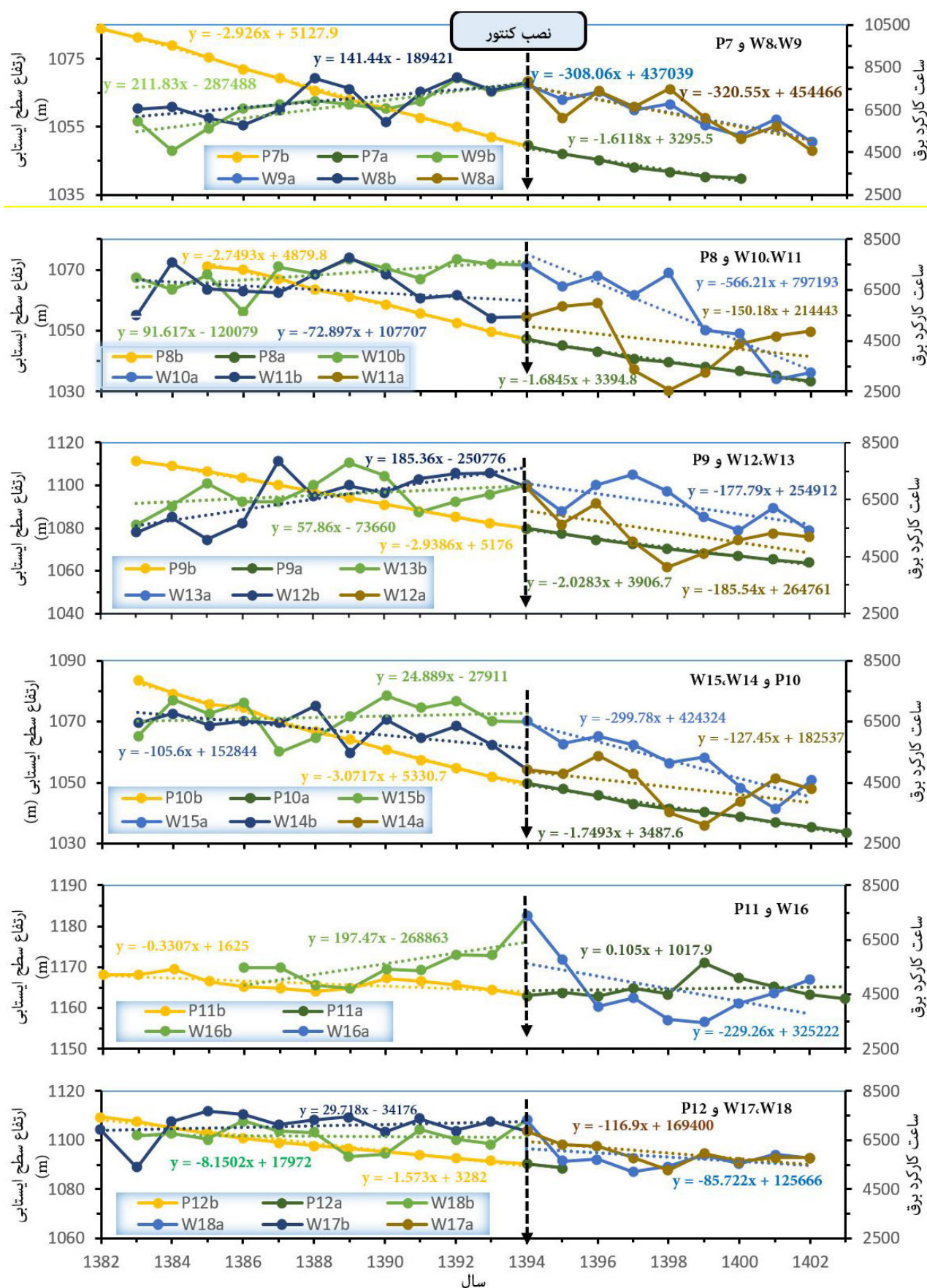
سال ۱۳۹۸ و ابتدای سال ۱۳۹۹ بوده که شاهد افزایش سطح آب در محدوده این چاه مشاهده‌ای بوده‌ایم. البته نوع آبرفت محدوده چاه انتخابی نیز در این تغییرات، تأثیر داشته است. همچنین با بررسی و بازدید میدانی از محل چاه مشاهده‌ای دوراهی جنگل مشخص گردید که علت نوسانات زیاد سطح ایستابی آن مربوط به وضعیت زمین‌شناسی و درشت‌دانه بودن رسوبات منطقه و همچنین نزدیکی آن به مسیل‌های فصلی می‌باشد. به‌طوری که بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ به دلیل کاهش بارندگی‌ها، از میزان تغییرات کاسته شده است. اما آنچه بعد از سال ۱۳۹۸ مشهود است، ناشی از افزایش میزان بارندگی در زمستان ۱۳۹۸ و بهار ۱۳۹۹ می‌باشد. لازم به یادآوری است که دو چاه مشاهده‌ای P6 و P12، پس از نصب کنتورها خشک و فاقد داده بوده و روند افزایشی سطح آب پس از نصب کنتورها در چاه P5، متأثر از عوامل خارجی همچون آبیاری اراضی و نفوذ آب به درون چاه ... بوده است.

روند تغییرات ارتفاع سطح ایستابی در ۶ چاه مشاهده‌ای اسلام‌آباد، سرآسیاب، سنگان، علی‌آباد قدیم، کت و محمدآباد، تقریباً دارای الگوی مشابه و تا قبل از نصب کنتور (سال ۱۳۹۴) دارای شیب بیشتری است که به دلیل مصرف نامتعارف و عدم رعایت حق‌آبه‌ها بوده است. اما از سال ۱۳۹۴ به بعد، با نصب کنتورهای هوشمند و مدیریت مصارف از شدت شیب کاهشی کاسته شده است. پیرو مشاهدات بازدید میدانی، علت روند تغییرات متفاوت سطح ایستابی در چاه مشاهده‌ای کاظم‌آباد، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و نزدیکی به چاه بهره‌برداری و همچنین قرار داشتن چاه مشاهده‌ای در داخل اراضی کشاورزی است که آبیاری اراضی آن و روشنی یا خاموشی چاه و تغییرات شدید مقطعی مربوط به وضعیت بارندگی بر سطح آب تأثیرگذار بوده است. تغییرات روند سطح ایستابی در چاه مشاهده‌ای علی‌آباد قدیم در سال‌های ۱۳۹۹ به بعد، صرفاً به دلیل بارندگی‌های انتهای

جدول ۲- روند تغییرات ساعت کارکرد و مصرف انرژی سالانه چاه‌های بهره‌برداری انتخابی متناظر با چاه‌های مشاهده‌ای

مشخصات چاه‌های متناظر با هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای					شیب تغییرات مصرف انرژی		شیب تغییرات ساعت کارکرد	
موقعیت	فاصله (متر)	کلاسه	نام	علامت	بعد نصب	قبل نصب	بعد نصب	قبل نصب
NE	۷۳۰	۶۰۱۳۴۲	اسلام‌آباد	W1	-۰/۲	-۰/۰۵	-۷۵	-۴۵
SE	۸۸۰	۶۰۱۲۰۵	سراسیاب	W2	-۰/۰۳	۰/۰۱	-۲۰۸	۱۱۳
SE	۱۱۲۰	۶۰۱۰۹۴	علی‌آبادجدید	W3	-۰/۱۶	-۰/۱۳	-۷۵	۸۸
SE	۹۵۰	۶۰۱۰۹۳	علی‌آبادجدید	W4	-۰/۰۳	-۰/۲۰	-۷۲	۱۰۴
SE	۷۰۰	۶۰۱۱۲۷	علی‌آبادقدیم	W5	-۰/۱۴	۰/۰۶	۳۳	۱۵۳
NW	۹۴۰	۶۰۱۲۹۱	کاظم‌آباد	W6	-۰/۱۹	۰/۲۱	-۱۱۴	۲۱۰
NW	۱۳۰۰	۶۰۱۰۴۵	گیل‌آباد	W7	۰/۰۶	-۰/۲۴	۷۰	۱۶۶
SE	۱۱۴۰	۶۰۱۲۲۶	سنگان	W8	-۰/۳۱	-۰/۰۲	-۳۲۰	۱۴۱
SW	۱۰۶۰	۶۰۱۲۹۴	سنگان	W9	-۰/۲۶	-۰/۰۸	-۳۰۸	۲۱۲
SW	۶۵۰	۶۰۱۲۰۲	کت	W10	-۰/۳۸	۰/۰۰۵	-۵۶۶	۹۲
NE	۱۵۰۰	۶۰۱۲۸۴	کت	W11	۰/۰۹	-۰/۱۱	-۱۵۰	-۷۳
SE	۶۹۰	۶۰۱۱۱۶	ملک‌آباد	W12	-۰/۳۴	۰/۳۶	-۱۸۵	۱۸۵
SW	۱۶۵۰	۶۰۱۱۷۷	ملک‌آباد	W13	-۰/۰۹	۰/۱۰	-۱۷۸	۵۸
N	۱۱۵۰	۶۰۱۲۷۹	محمدآباد	W14	-۰/۱۵	-۰/۳۴	-۱۲۷	-۱۰۶
NE	۸۱۰	۶۰۱۲۷۶	محمدآباد	W15	-۰/۲۳	-۰/۱۵	-۳۰۰	۲۵
SE	۹۳۰	۶۰۱۱۵۱	دوراهی جنگل	W16	-۰/۱۳	۰/۱۵	-۲۲۹	۱۹۸
S	۱۴۴۰	۶۰۱۱۶۳	سیوکی	W17	۰/۰۹	-۰/۱۶	-۱۱۷	۳۰
NW	۱۷۰۰	۶۰۱۲۳۳	سیوکی	W18	-۰/۱۲	-۰/۱۳	-۸۶	-۸





شکل ۵- روند تغییرات ارتفاع سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای (P) و ساعت کارکرد چاه‌های انتخابی متناظر آن‌ها (W)

■ بررسی روند تغییرات انرژی مصرفی چاه‌های انتخابی قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند

در سال ۱۴۰۲ از کل مصرف برق کشور (۳۳۲۸۱۸ میلیون کیلووات ساعت)، حدود ۴۶۴۰۰ میلیون کیلووات ساعت در بخش کشاورزی بوده است و الگوی مصرف برق ایران در سال ۱۴۰۲ به ترتیب ۳۶/۶، ۳۱، ۹/۱، ۱۴، ۱/۵ و ۷/۸ درصد در مصارف خانگی، صنعتی، عمومی، کشاورزی، معابر و سایر مصارف ۷/۸ بوده است و در استان خراسان رضوی بخش کشاورزی با مصرف ۲۲/۲ درصد انرژی، پس از مصارف صنعتی و خانگی در رتبه سوم قرار دارد (وزارت نیرو، ۱۴۰۳).

جهت بررسی نقش نصب کنتورهای هوشمند بر تغییرات مصرف انرژی در چاه‌های برقی کشاورزی دشت رشتخوار، انرژی مصرفی ۱۸ حلقه چاه انتخابی در بازه سال‌های قبل و بعد از نصب کنتور، محاسبه و نمودارهای مربوطه ترسیم و شیب خط تغییرات محاسبه گردید. با توجه به داده‌های بدست آمده (جدول ۲) و نمودارهای ترسیمی (شکل ۷)، مشاهده می‌شود مصرف انرژی پس از نصب کنتور کاهش داشته است و شیب خط تغییرات مصرف انرژی در بیش از ۷۰ درصد از چاه‌ها پس از نصب کنتور کاهش بیشتری داشته و به عبارت دیگر مصرف انرژی قبل از نصب، به مراتب بیشتر از بازه پس از نصب کنتور بوده است.

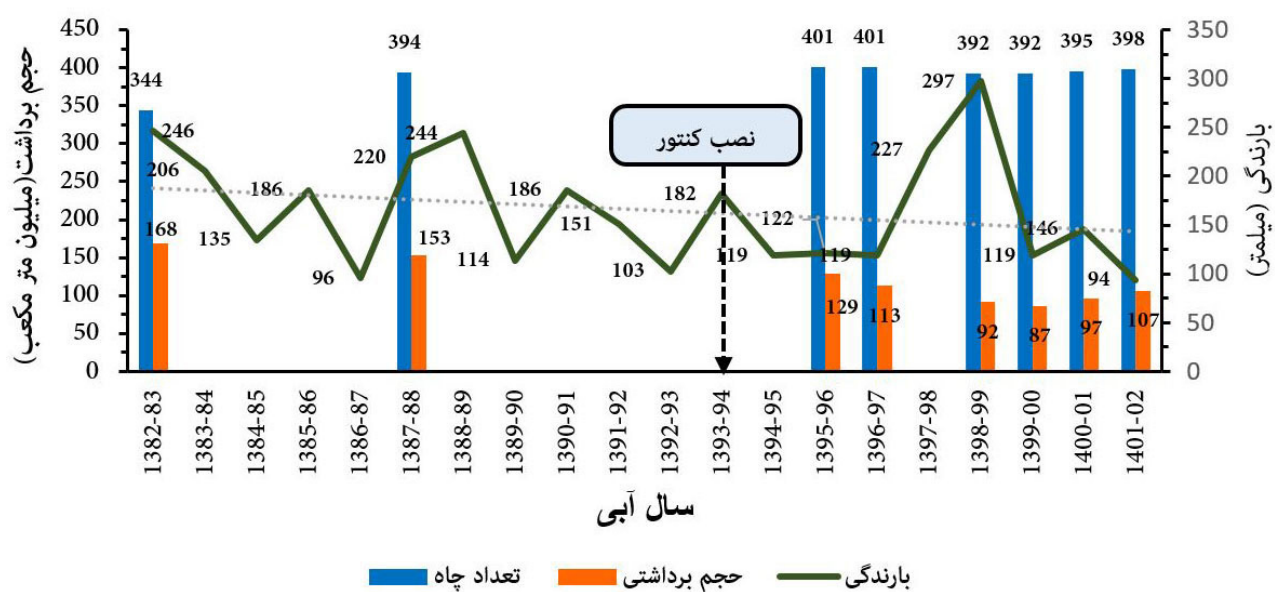
عوامل متعددی در کاهش مصرف انرژی و ساعت کارکرد چاه‌ها و همچنین بهبود روند تغییرات سطح آب مؤثر است که مهم‌ترین آن‌ها شامل: کاهش برداشت از منابع، تغییر نوع منصوبات بهره‌برداری و بهینه‌سازی منصوبات چاه، تغییر نوع کشت، تغییر در تعداد چاه‌های بهره‌برداری و شرایط اقلیمی و بارندگی می‌باشد. با در نظر گرفتن اینکه در بیش از ۹۰ درصد چاه‌های انتخابی، نوع پمپ و لوله‌ها در بازه مورد مطالعه تغییر نداشته است، بنابراین، نوع منصوبات، علت کاهش مصرف انرژی و بهبود روند کاهشی سطح آب زیرزمینی نبوده است. از طرفی دیگر، تغییر نوع کشت را می‌توان به عنوان یکی از نتایج نصب کنتور هوشمند با افزایش آگاهی بهره‌برداران از محدود بودن منابع آب و سهمیه اختصاصی آب دانست و مواردی همچون افزایش عمق (پمپاژ از عمق بیشتر)، اجرای خط انتقال آب و آبیاری تحت فشار در چاه‌های کشاورزی اتفاق افتاده که روند مصرف انرژی را افزایش می‌کند. به‌طوری‌که علت افزایش انرژی مصرفی در چاه‌های W14، W11، W4، W2

حفاری و افزایش عمق بوده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده (شکل ۶) در دشت رشتخوار تغییرات چشمگیری در تعداد چاه‌های بهره‌برداری ایجاد نشده است که بر روند مصرف انرژی و ساعت کارکرد مؤثر باشد. در نتیجه عامل اصلی کاهش شیب روند تغییرات ساعت کارکرد، مصرف انرژی و نوسانات سطح آب، کاهش برداشت بوده است که توسط نصب کنتورهای هوشمند آب به عنوان ابزار مدیریت برداشت انجام شده است.

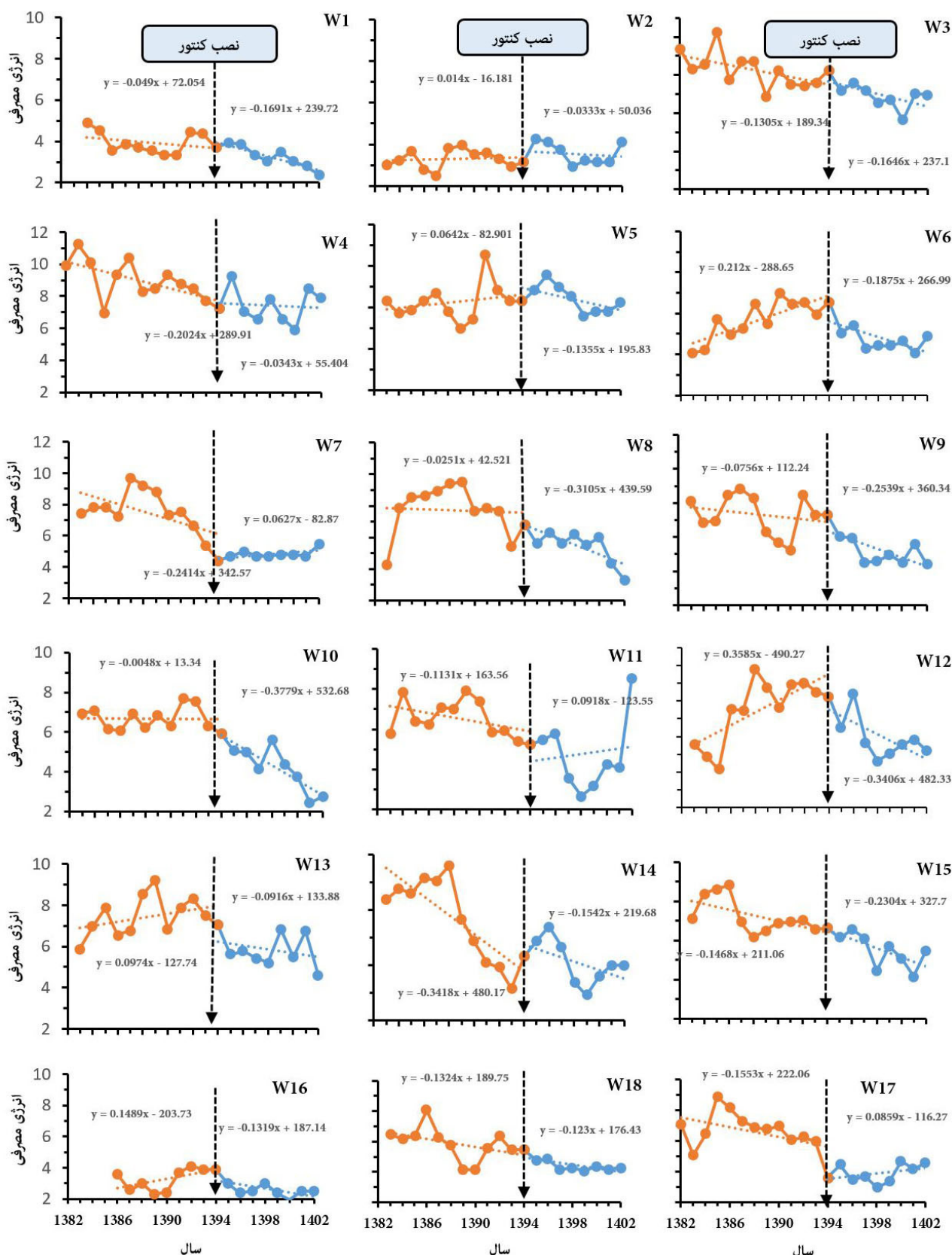
علاوه بر آن، با توجه به نتایج مطالعات و نقشه پهنه‌بندی شاخص SPEI خشکسالی هواشناسی استان خراسان رضوی برای دوره ۱۰ ساله که توسط مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران سازمان هواشناسی کشور ارائه شده است (درگاه الکترونیکی اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، ۱۴۰۳)، رشتخوار در طبقه خشکسالی شدید تا بسیار شدید واقع شده است، بنابراین، این شرایط اقلیمی خشک، نیاز آبی بیشتر و پیرو آن افزایش ساعت روشنی چاه‌ها و مصرف بیشتر انرژی را در پی دارد نه روند کاهشی، که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد. همچنین با توجه به نمودارهای ترسیمی (شکل ۶)، شیب خط روند تغییرات بارندگی، تقریباً منفی بوده است که خود نشان‌دهنده کاهش بارندگی پس از نصب کنتور بوده که موجب نیاز آبی بیشتر و افزایش ساعت کارکرد و مصرف انرژی می‌شود. افزایش محدود بارندگی در برخی سال‌ها نمی‌تواند نقش اصلی را در روند کاهشی ساعت کارکرد و مصرف انرژی پس از نصب کنتور داشته باشد. با این که در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ الی ۹۷-۱۳۹۶، بارندگی تغییر زیادی نداشته و پس از آن ۲ سال متوالی افزایش بارندگی دیده می‌شود، اما حجم برداشتی کاهش یافته است (شکل ۶).

به طور کلی، نتایج این تحقیق (جدول ۲ و نمودارهای مصرف تغییرات مصرف انرژی و ساعت کارکرد - شکل ۷ و شکل ۵)، نشان می‌دهد نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های کشاورزی نقش اصلی را در کاهش مصرف انرژی و ساعت کارکرد (افزایش خاموشی چاه‌ها) و بهبود روند کاهشی سطح آب در مدیریت برداشت از آب‌های زیرزمینی داشته است. حتی همان طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، پس از نصب کنتور حجم برداشتی از کل چاه‌های دشت نسبت به قبل از نصب کنتور کاهش داشته است که نقش کنتورهای نصب شده را نشان می‌دهد.

بارندگی، تعداد چاه‌ها و حجم برداشت از آنها در دشت رشتخوار



شکل ۶- بارندگی، تعداد چاه‌ها و حجم برداشت از آن‌ها در دشت رشتخوار



شکل ۷- روند تغییرات انرژی مصرفی (برحسب ۱۰۰۰ مگاوات ساعت-MV/H) در چاه‌های انتخابی متناظر با چاه‌های مشاهده‌ای

۴. اصلاح و بروزرسانی قوانین و مقررات برخورد با تخلفات مرتبط با کنتورهای هوشمند اعم از دستکاری کنتور، فک پلمپ و...

سیاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به دلیل حمایت‌های پژوهشی در قالب طرح شماره ۶۲۴۳۱ و از دفتر مطالعات شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و مدیریت امور منابع آب شهرستان تربت حیدریه بابت همکاری و در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز، تشکر می‌گردد. همچنین از آقایان مهندس امیدفر و سمت‌بهار، کارشناسان حفاظت و بهره‌برداری و کنتور هوشمند امور منابع آب شهرستان تربت حیدریه جهت مشاوره کارشناسی تقدیر می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

1. Transducer
2. Flowmeter
3. Observation well
4. Hydrograph
5. Zone
6. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، افت سطح ایستابی در چاه‌های دشت رشتخوار ادامه دارد، اما پس از نصب کنتورهای هوشمند بر روی چاه‌های کشاورزی در سال ۱۳۹۴، روند کاهشی سطح آب زیرزمینی در آبخوان ممنوعه بحرانی رشتخوار کندتر شده است. ۹ حلقه چاه مشاهده‌ای دشت رشتخوار پس از سال ۱۳۹۴ به‌طور میانگین کاهش افت ۴۶/۴ درصدی را نسبت به قبل از نصب کنتور هوشمند داشته است، که کاهش ساعت کارکرد چاه‌های انتخابی متناظر با چاه‌های مشاهده‌ای، مؤید این موضوع می‌باشد. بررسی ساعت کارکرد چاه‌های انتخابی در دو بازه مشابه (۸ ساله) نشان می‌دهد که میانگین و مجموع ساعت کارکرد چاه‌های انتخابی به ترتیب از ۶۸۱۲ و ۹۸۰۹۵۵ ساعت (قبل از نصب کنتورهای هوشمند) به ۶۰۱۸ و ۸۶۶۵۶۷ ساعت (بعد از نصب کنتورهای هوشمند) رسیده است که معادل ۱۱/۷ درصد کاهش یافته است. از طرفی با توجه به اینکه مواردی همچون افت سطح آب و متعاقب آن پمپاژ آب از عمق بیشتر، پمپاژ آب به اراضی بالادست، افزایش خط انتقال آب در تعدادی از چاه‌های انتخابی وجود دارد که افزایش مصرف انرژی را در پی دارد، پس از نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های کشاورزی همان‌طور که محاسبه انرژی مصرفی چاه‌های انتخابی و نمودارهای مربوطه نشان می‌دهد، در اکثر چاه‌ها، مصرف انرژی روند کاهشی داشته است و با نصب کنتورهای هوشمند، میانگین و مجموع انرژی مصرفی در دو بازه مشابه (۸ ساله) به ترتیب از ۶۵۰ و ۹۳۵۷۸ مگاوات ساعت به ۴۹۱ و ۷۲۲۶۳ مگاوات ساعت، (یعنی کاهش حدود ۲۲/۸ درصد) پس از نصب کنتورهای هوشمند رسیده است.

پیشنهادهای

با توجه به اهمیت حفاظت از آبخوان‌ها، به خصوص در دشت‌های ممنوعه بحرانی همانند دشت رشتخوار، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. توجه به مسائل ترویجی و فرهنگ‌سازی در زمینه بحران‌های ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و تبیین نقش کنتورها در مدیریت برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی و کاهش مخاطرات آبی موجود
۲. نصب کنتور هوشمند آب بر روی تمام چاه‌های بهره‌برداری
۳. بازدید دوره‌ای از کنتورهای نصب شده، به روزرسانی و رفع نواقص آن‌ها

بر روی چاه‌ها در دشت مشهد در ابعاد کنترل کمیت برداشت‌ها و تأثیر اقتصادی و مالی آن (مطالعه موردی: دشت مشهد). طرح پژوهشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران.

- عبدالحسین‌زاده، فائزه. (۱۴۰۰). تأثیر نصب کنتور هوشمند چاه‌های آب زیرزمینی بر تغییر رفتار کشاورزان شهرستان تربت حیدریه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- علی‌پور، اکبر. (۱۳۹۸). مدیریت توأم منابع و تقاضای آب با هدف متعادل‌سازی سطح آب زیرزمینی در دشت نیشابور. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- علیجانی، فرشاد، موسوی، سیده فاطمه، و محمدی، هادی. (۱۴۰۱). بررسی اثرات طرح احیا و تعادل بخشی بر آب‌های زیرزمینی دشت قلعه‌تل، شمال شرق خوزستان. آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۳۹-۴۸. doi: 10.22067/jwsd.v9i3.2212.1196
- فرزانه، محمدرضا، باقری، علی، و مومنی، فرشاد. (۱۳۹۸). نقد رویکرد حاکم بر طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی و پیشنهاد راهکار جایگزین جهت پیاده‌سازی در محدوده مطالعاتی رفسنجان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۶(۱)، ۱۶۹-۱۸۵. doi: 10.22069/jwsc.2019.11318.2586
- قبادپور، روشنگر، اسکندری، فرزاد، و جلالی، محمد. (۱۳۹۷). رضایت‌مندی کشاورزان از نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های آب زیرزمینی (مورد مطالعه: دهستان ماهیدشت استان کرمانشاه). اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۲(۱)، ۴۳-۵۵. doi: 10.22067/jead2.v32i1.66512
- کریمی، مریم. (۱۴۰۰). مطالعه و بررسی تأثیر هوشمندسازی مدیریت و کنترل منابع آب از راه دور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشگاه آزاد فومن، ایران.
- کوثری سیوکی، علی، علوی‌مقدم، سیدمحمدرضا، و بینا، کیوان. (۱۳۹۶). اثر نصب کنتور هوشمند بر روند افت تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان مه‌ولات). دوازدهمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی، کمیسیون چهارم: سرزمین پایدار یافته‌های نوین در مهندسی عمران و محیط زیست، مشهد. <https://civilica.com/doc/716797>
- کی‌همایون، زهرا، حاجی‌زاده، میثم، و علیجانی، فرشاد. (۱۴۰۱). بررسی اثربخشی اجرای طرح احیا و تعادل بخشی و آسیب شناسی پروژه‌های طرح (مطالعه موردی: دشت اردستان-اصفهان). آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۲۵-۳۸. doi: 10.22067/jwsd.v9i3.2211.1191
- مولائی، مرتضی، و ایمان‌زاد تپه، مهسا. (۱۴۰۲). بررسی عوامل مؤثر بر رضایت‌مندی از نصب کنتورهای هوشمند چاه‌های آب زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳(۳)، ۳۴۰-۳۵۴. doi: 10.22125/iwe.2023.169899
- نینوا، سیدپدرام، عزیزی کاشانتویی، معصومه، خالدیان، ولید و فغانی، علی. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر نصب کنتورهای هوشمند آب و برق بر روی چاه‌های آب (مطالعه موردی: دشت‌های شرق استان کردستان). سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه (تقاضا محوری آب)، کرج. <https://civilica.com/doc/738141>
- نیرومندفر، فریبا، خزیمه‌نژاد، حسین، و خاشعی سیوکی، عباس.

- اسدی، اسماعیل، صادق‌زاده، پریسا، مجنون، ابوالفضل، و صمدیان، مرتضی. (۱۴۰۱). بررسی اثربخشی طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی براساس روش فازی-تاپسیس (مطالعه موردی: دشت ارومیه). مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۳)، ۴۸۳-۴۹۶. doi: 10.22059/jwim.2022.337823.960
- امیری، سپیده، و میرک‌زاده، علی اصغر. (۱۴۰۱). بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش کنتورهای هوشمند آب در بین کشاورزان دشت ماهیدشت. فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۲(۳)، ۳۶-۵۳. doi: 10.22126/atwe.2022.7873.1020
- امیری، سپیده. (۱۴۰۱). مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در کشاورزی با تأکید بر کنتور هوشمند آب. هفتمین کنگره بین‌المللی توسعه کشاورزی و محیط زیست با تأکید بر برنامه توسعه ملل، تهران. <https://civilica.com/doc/1492790>
- بازاری، ساره، ثمین، محمد، و نصیریان، علی. (۱۳۹۵). مدیریت بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی دشت سرایان با استفاده از نصب کنتور هوشمند آب و برق. چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران. <https://civilica.com/doc/611895>
- خدادادی بنیس، ملیحه، ناصری، حمیدرضا، و نیک‌پیمان، یاسر. (۱۴۰۱). ارزیابی طرح احیاء و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی دشت شهریار با تأکید بر کنتورهای هوشمند. آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۴۹-۵۶. doi: 10.22067/jwsd.v9i3.2212.1197
- دانش‌پژوه، امیرجواد، و باقری، رحیم. (۱۳۹۸). اثر طرح تعادل بخشی بر رفتار هیدروژئولوژیکی دشت رخ، خراسان رضوی. دومین همایش بین‌المللی زیست‌شناسی و علوم زمین، همدان. <https://civilica.com/doc/1002002>
- درگاه الکترونیکی اداره کل هواشناسی خراسان رضوی. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی شاخص SPEI خشکسالی هواشناسی استان خراسان رضوی برای دوره ۱۰ ساله. <https://razavimet.ir> / تاریخ بازدید: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱
- درگاه الکترونیکی ملی آمار. (۱۳۹۹). اصلاح الگوی مصرف جلد ۲: آب، دارو، نان. <http://amar.org.ir/statistical-information?statid=21000> تاریخ بروزرسانی: ۱۳۹۹/۰۸/۲۰
- رجب‌پور، حسین، گلزارنژاد، محمدرضا، و اسماعیلی، علی. (۱۳۸۹). کنتور هوشمند آب و برق، راهکاری برای تحول در میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی. نخستین همایش ملی بررسی دستاوردهای پژوهشگران علوم زمین ایران، تهران. <https://civilica.com/doc/87881>
- سلیمی، محمدرضا، و نعمتی، غلامرضا، و بکی، مینا. (۱۳۹۵). تأثیر اجرای طرح تعادل بخشی بویژه نصب کنتور هوشمند بر بهبود هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان باد - خالداًباد. دومین همایش ملی عمران، معماری، شهرسازی و مدیریت انرژی، اردستان. <https://civilica.com/doc/633847>
- شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۴۰۲). سیمای آب شهرستان رشتخوار سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲. وزارت نیرو، ایران.
- طاوسی، مجتبی، گلکار حمزه‌ای یزدی، حمیدرضا، و میربلوکی، مجید. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد کنتورهای هوشمند نصب شده

- Abanyie, S.K., Ampofo, S., Douli, N.B., & Boateng, T. (2018). Geospatial assessment of groundwater quality in the savelugu-nanton municipality, northern Ghana. *African Journal of Applied Research (AJAR)*, 4(1), 93-105. <https://doi.org/10.26437/ajar.04.01.2018.09>
- Alam, M. F., Pavelic, P., Sikka, A., Krishnan, S., Dodiya, M., Bhadaliya, P., & Joshi, V. (2023). Energy consumption as a proxy to estimate groundwater abstraction in irrigation. *Groundwater for Sustainable Development*, 23, 101035. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101035>
- Bragalli, C., Neri, M., & Toth, E. (2019). Effectiveness of smart meter-based urban water loss assessment in a real network with synchronous and incomplete readings. *Environmental Modelling & Software*, 112, 128-142. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.10.010>
- Bahraseman, S. E., Firoozzare, A., Zhang, C., Yousefian, N., Skominas, R., Barati, R., & Azadi, H. (2024). Reviving the forgotten legacy: Strategies for reviving qanats as sustainable solutions for agricultural water supply in arid and semi-arid regions. *Water research*, 265, 122138. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122138>
- Daminato, C., Diaz-Farina, E., Filippini, M., & Padrmeter, N. (2021). Based urban water loss assessment in a real network with synchronous and incomplete readings. To appear in: *Envithe Canary Islands. Resource and Energy Economics*, 64(3), 101221. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2021.101221>
- Zekri, S., Madani, K., Bazargan-Lari, M. R., Kotagama, H., & Kalbus, E. (2017). Feasibility of adopting smart water meters in aquifer management: An integrated hydro-economic analysis. *Agricultural Water Management*, 181, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.022>
- Maghrebi, M., Noori, R., Partani, S., Araghi, A., Barati, R., Farnoush, H., & Torabi Haghighi, A. (2021). Iran's groundwater hydrochemistry. *Earth and Space Science*, 8(8), e2021EA001793. <https://doi.org/10.1029/2021EA001793>
- Mohammadzadeh, H. & Torshizi, M. (1403). Effect of Smart Water Meters (SWM) Installation on Water Table Fluctuations in the Roshtkhar Plain. 2nd Regional Symposium on innovation in Science and Technology, Mashhad, Iran. <https://civilica.com/doc/2184292>
- Nassery, H. R., Adinehvand, R., Salavitarbar, A., & Barati, R. (2017). Water management using system dynamics modeling in semi-arid regions. *Civil Engineering Journal*, 3(9), 766-778. <https://doi.org/10.21859/cej-030913>
- (۱۳۹۹). بررسی معیارهای مدیریتی و هیدروژئولوژیکی بر تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی دشت سرایان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۴)، ۲۱۰-۲۲۸. doi: 10.22125/iwe.2020.110087
- ورمزیاری، حجت، کردعلیوند، سمیه، و کشاورز، محمدابراهیم. (۱۴۰۲). ارزیابی طرح هوشمندسازی چاه‌های آب کشاورزی در شهرستان داراب؛ با رویکرد هیدروژئولوژی اجتماعی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۷(۴)، ۶۷۱-۶۸۴. dor: 20.1001.1.20087942.1402.17.4.6.6
- وزارت نیرو. (۱۴۰۳). آمار تفصیلی صنعت برق ایران، توزیع نیروی برق در سال ۱۴۰۲. شرکت مادر تخصصی توانیر، معاونت تحقیقات و منابع انسانی، دفتر فناوری اطلاعات و امنیت فضای مجازی. ایران.
- وزارت نیرو. (۱۳۹۸). دشت‌های ممنوعه کشور. شرکت مدیریت منابع آب، معاونت حفاظت و بهره‌برداری، دفتر حفاظت و بهره‌برداری منابع آب و امور مشترکین. ایران.
- هاونگی، مجید، و خزیمه‌نژاد، حسین. (۱۴۰۲). ارزیابی اجرای طرح احیاء و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی با تأکید بر نصب کنتورهای هوشمند (مطالعه موردی: دشت بشرویه خراسان جنوبی). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰(۲)، ۱۶۱-۱۷۱. doi: 10.22069/jwsc.2023.21147.3631