2022, Vol.9, No.2, Pages 69 to 78
Journal of Water and Sustainable Development

سال نهم، شماره ۲، ۱۴۰۱، صفحات ۶۹ تا ۷۸
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

# Methodology for Groundwater Monitoring Network Assessment and Design, Part 1: Observation-Wells Condition Evaluation; Case Study: Shirvan Aquifer, North Khorasan, Iran

**A. Joodavi[1*], Sh. Gholizadeh Sarabi[2], M. Majidi Khalilabad[1], N. Majidi Khalilabad[2], A. Ebrahimi[3], A. Ronaghi[4]**

1- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran. 2- Faculty member, Hydroinformatics Department, East Water and Environmental Research Institute (EWERI), Mashhad, Iran. 3,4- Manager and Expert of Water Resources Basic Studies, Regional Water Authority of North Khorasan, Bojnord, Iran.

*(Corresponding Author Email: atajoodavi@kashmar.ac.ir)

Received: 11-03-2022 Revised: 11-05-2022
Accepted: 30-05-2022 Available Online: 21-09-2022

## Abstract

Groundwater level monitoring networks already exist in most alluvial aquifers in Iran. A question needs to be answered as to what extent networks are able to provide proper information about the groundwater resources to meet the water resources management objectives. Therefore, it is necessary to evaluate the efficiency of the existing monitoring network and redesign it if necessary. This study has attempted to assess the condition of existing observation wells and the relationship between the wells and the aquifer by combining hydrogeological information and the results of a well-video inspection. Hydrogeological studies can reveal that the observation wells were drilled in which hydro-geological sequence (hydrofacies) and the external factors influence water level fluctuations. Moreover, observation well's video inspection operations, performed for the first time in Iran, can show the condition of the well casing and screen and the water-column length. The proposed framework was applied to evaluate the groundwater-level observation well's efficiency in Shirvan alluvial aquifer in North Khorasan province, Iran. The results showed that out of 17 observation wells in the aquifer, one well is not placed into the main aquifer, six observation wells need to be rehabilitated due to screen clogging and three observation wells are at risk of going dry.

**Keywords:** Groundwater Level Monitoring, Hydrogeological Conceptual Model, Well Video Inspection.

# روش‌شناسی ارزیابی و بازطراحی شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی، بخش اول: ارزیابی ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای (مطالعه موردی: آبخوان شیروان، خراسان شمالی)

**عطاءاله جودوی[۱*]، شیوا قلی‌زاده سرابی[۲]، میثم مجیدی خلیل‌آباد[۱]، نجمه مجیدی خلیل‌آباد[۲]، عباس ابراهیمی[۳]، اعظم رونقی[۴]**

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران. ۲- عضو هیات علمی گروه هیدروانفورماتیک، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق (EWERI)، مشهد، ایران. ۳ و ٤- به‌ترتیب مدیر و کارشناس دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، بجنورد، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: atajoodavi@kashmar.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰

## چکیده

در حال حاضر، اغلب آبخوان‌های آبرفتی در کشور دارای شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی هستند اما برای پاسخ به این سوال که آیا شبکه پایش مذکور توانسته است اهداف مدیریتی منابع آب را تامین و تصویر نسبتاً دقیق از وضعیت آبخوان‌ها را ارائه کند، نیاز به بررسی وجود دارد. بنابراین ضروری است که وضعیت و کارآمدی چاه‌های مشاهده‌ای موجود ارزیابی شود و در صورت نیاز، شبکه پایش اصلاح و یا بازطراحی شود. در این پژوهش، تلاش شده است با تلفیق اطلاعات هیدروژئولوژیکی و عملیات ویدئومتری، وضعیت ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای موجود و ارتباط آنها با آبخوان بررسی شود. مطالعات هیدروژئولوژیکی به این سوالات پاسخ می‌دهد که آیا ممکن است بیش از یک لایه آبدار در محل چاه مشاهده‌ای وجود داشته باشد و یا عوامل خارجی بر نوسانات سطح آب موثر باشد. همچنین عملیات ویدئومتری که برای اولین بار در ایران در چاه‌های مشاهده‌ای انجام شده نشان‌دهنده سلامت لوله جدار و لوله مشبک و طول ستون آب در این چاه‌ها می‌باشد. چارچوب پیشنهادی در این تحقیق، برای ارزیابی وضعیت شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی در آبخوان آبرفتی شیروان در استان خراسان شمالی به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد، از تعداد ۱۷ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود در آبخوان آبرفتی شیروان، یک حلقه به دلیل عدم ارتباط با آبخوان اصلی کارایی لازم را نداشته است، تعداد شش حلقه به دلیل گرفتگی اسکرین نیاز به احیا دارند و سه چاه مشاهده‌ای در حال خشک شدن هستند.

**واژه‌های کلیدی:** چاه مشاهده‌ای، شبکه پایش، مدل مفهومی آبخوان، ویدئومتری.



**HomePage:** https://jwsd.um.ac.ir

**How to cite this article:** Joodavi A., Gholizadeh Sarabi Sh., Majidi Khalilabad M., Majidi Khalilabad N., Ebrahimi A. and Ronaghi A. 2022. Methodology for Groundwater Monitoring Network Assessment and Design, Part 1: Observation-Wells Condition Evaluation; Case Study: Shirvan Aquifer, North Khorasan, Iran. Journal of Water and Sustainable Development, 9(2): 69-78. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2203.1130

## مقدمه

«پایش» فرآیندی نظارتی با طرحی علمی و پویا بر مبنای مشاهده، اندازه‌گیری، نمونه‌برداری و ارزیابی نتایج و ثبت آن می‌باشد. همچنین فرایند بهینه‌سازی، فرایند تصمیم‌گیری برای داشتن بهترین ترکیب در بین ایستگاه‌های موجود است. پایش بلندمدت بدون در نظر گرفتن بهینه‌سازی، سبب افزایش هزینه پایش می‌شود. از این‌رو طراحی شبکه پایش منابع آب باید بر اساس اهداف مشخص و از پیش معین باشد. در میان انواع شبکه پایش منابع آب، انواع شبکه‌های پایش آب‌زیرزمینی اهمیت به‌سزایی دارند و طراحی شبکه پایش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی یک گام ضروری در تشریح وضعیت سفره آب‌زیرزمینی است. اطلاعات استخراج شده از یک شبکه پایش با طراحی صحیح باید نماینده‌ای قابل اعتماد از وضعیت کمی و کیفی آبخوان مورد مطالعه باشد (Pearson و همکاران، ۲۰۱۱؛ USGS، ۲۰۱۳).

شبکه اندازه‌گیری سطح آب‌زیرزمینی که بر مبنای چاه‌های مشاهده‌ای/پیزومتری حفاری شده در آبخوان‌ها استوار می‌شود، از مهمترین انواع پایش آب‌زیرزمینی به حساب می‌آید. این اطلاعات برای آگاهی از تغییرات ذخیره آبخوان‌ها، برآورد مؤلفه‌های بیلان آب، ارزیابی اثرات سیاست‌ها و تصمیمات گذشته بر منابع آب و در نهایت مدیریت پایای این منابع استفاده می‌شود. این شبکه در ۴۹۲ محدوده مطالعاتی کشور مشتمل بر ۶۶۸ ابخوان آبرفتی ایجاد شده است که شامل ۱۲۲۹۳ چاه مشاهده‌ای فعال می‌شود (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۹). به‌منظور دستیابی به اهداف مدیریت منابع آب، بازطراحی و توسعه سامانه پایش در این آبخوان‌ها شامل تغییر موقعیت چاه‌ها، اضافه کردن چاه‌های جدید و بازبینی فاصله زمانی برداشت داده باید مد نظر برنامه‌ریزان قرار گیرد (گنجی خرم دل و همکاران، ۱۳۹۴).

بررسی مقالات و دستورالعمل‌های داخلی و بین‌المللی با موضوع طراحی/بازطراحی و ارزیابی وضعیت شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی بیانگر این موضوع است که سه رویکرد کلی برای رسیدن به اهداف مورد نظر پیشنهاد شده است: ۱- رویکرد تعیین «تراکم هدف» برای شبکه، ۲- رویکرد استفاده از ابزارهای آماری، زمین‌آمار و بهینه‌سازی و ۳- رویکرد هیدروژئولوژیکی (مدل مفهومی). در رویکرد تعیین «تراکم هدف» برای شبکه، ساده‌ترین روش این است که یک تراکم هدف برای شبکه پایش و سنجش (برای مثال یک چاه مشاهده‌ای در هر ۲۵ کیلومتر مربع) انتخاب و شبکه هدف طراحی شود (نشریه ۵۷۷ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۹۲ و نشریه ۶۶۵ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۹۳). در روشی دیگر، بر مبنای ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان و خصوصیات منطقه (مانند تراکم چاه‌های بهره‌برداری) «تراکم هدف» ثابت نبوده و مقادیر مختلفی برای مناطق مختلف در نظر گرفته می‌شود (IGRAC، ۲۰۰۸؛Pearson و همکاران، ۲۰۱۱). در مناطقی که از کمیت و کیفیت آب‌زیرزمینی داده و اطلاعات موجود است، برای بازطراحی شبکه پایش و سنجش می‌توان از روش‌های آماری و زمین‌آمار استفاده کرد. این روش‌ها بسیار متنوع هستند و طیف وسیعی از روش‌های آماری ساده (مانند استفاده از انحراف معیار داده‌ها) تا روش‌های پیچیده‌تر زمین‌آمار و ترکیب آنها با روش‌های بهینه‌سازی را شامل می‌شوند (Manzione و همکاران، ۲۰۱۲؛Zhou و همکاران، ۲۰۱۳؛ Varouchakis و Hristopulos، ۲۰۱۳؛ Bhat و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ran و همکاران، ۲۰۱۵). لازم به ذکر است در این روش‌ها اگر نیاز باشد شبکه پایش گسترش یابد، برای تعیین محل ایستگاه‌های پایش و سنجش جدید به اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری (عمق سطح آب یا پارامترهای کیفیت آب مانند هدایت الکتریکی (EC)) نیز نیاز است. البته کاربرد روش زمین‌آمار در دشت‌هایی پاسخگو است که همگن باشند و شرایط ناهنجاری (تغییرات شدید ارتفاع سطح آب در بعضی نقاط) در آنها وجود نداشته باشد و سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای شرایط متعارف داشته باشد.

در رویکرد هیدروژئولوژیکی (مدل مفهومی)، از اطلاعات هیدروژئولوژی و قضاوت کارشناسی برای ارزیابی و طراحی شبکه پایش آب‌زیرزمینی استفاده می‌شود (Loáiciga و همکاران، ۱۹۹۲؛ Van Lanen، ۱۹۹۸). در مناطقی که پیچیدگی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی زیاد باشد، برای مثال در یک سامانه چند آبخوانه و یا آبخوان‌های کارستی، رویکردهای قبلی به تنهایی پاسخگو نیست. در این مناطق نیاز است، مطالعات دقیق‌تری در قالب تهیه مدل مفهومی آبخوان انجام گیرد. منظور از مدل مفهومی، چارچوب توصیفی و یکپارچه‌ای است که می‌توان باتوجه‌به آن داده‌ها و اطلاعات مربوط به هیدرولوژی آب‌زیرزمینی و آب سطحی را تفسیر نمود (Izady و همکاران، ۲۰۱۴). در این مطالعات، خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان(ها) با دقت مکانی نسبتاً زیاد بررسی شده و از این اطلاعات برای طراحی شبکه پایش استفاده می‌شود، به‌طوری‌که اطلاعات لازم برای بررسی ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌ها (آبخوان کارستی با آبرفتی، محصور با آزاد) یا آبخوان با توده آب سطحی (دریاچه/ دریا/ رودخانه/ تالاب)، جریان عمودی آب‌زیرزمینی، کیفیت آب‌زیرزمینی در اعماق مختلف و غیره به‌دست آید.

باتوجه‌به کمبودها و امتیازاتی که روش‌های ذکر شده دارد، بعضی پژوهشگران روش‌های تلفیقی ابداع کرده و به‌کار گرفته‌اند که بر اساس اهداف پایش و داده‌ها و اطلاعات موجود، ترکیبی از رویکردهای قبلی است. برای مثال، می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و یا نظریه اطلاعات برای تلفیق معیارها و عوامل مؤثر بر طراحی شبکه پایش که در روش‌های ساده‌تر و قدیمی‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند و ارزیابی اهمیت اطلاعات جدید در فرایند تصمیم‌گیری استفاده کرد و بر اساس مجموعه‌ای از عوامل تأثیرگذار به بازطراحی و انتخاب یک شبکه پایش بهینه اقدام

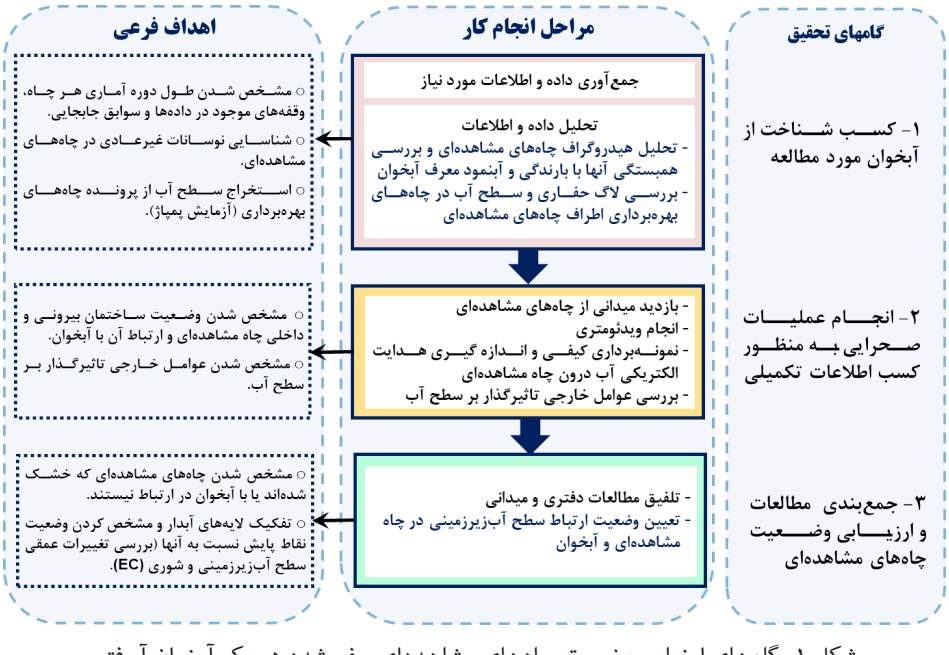
نمود (Wu و همکاران، ۲۰۱۷؛ Ghorbani و همکاران، ۲۰۲۰). تعیین تعداد چاه‌های پایش، فراوانی‌های نمونه‌برداری، عوامل اقتصادی، خطای تخمین و غیره می‌توانند از جمله اهداف مورد نظر در به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاری باشد. از این روش بیشتر در زمینه طراحی/بازطراحی شبکه پایش کیفیت/آلودگی استفاده شده است (Bierkens، ۲۰۰۶؛ Farlin، ۲۰۱۹). همچنین یکی از رویکردهای تلفیقی، استفاده از نتایج مطالعات هیدروژئولوژیکی (مدل مفهومی) و یا مدل‌های ریاضی جریان آب‌زیرزمینی در کنار به‌کارگیری ابزارهای آماری و اقتصادی است که می‌تواند نتایج مفیدی را به همراه داشته باشد (Zhou و همکاران، ۲۰۱۳؛ Thakur، ۲۰۱۷). Zhou و همکاران (۲۰۱۳) از تلفیق نتایج مطالعات هیدروژئولوژیکی که به زون‌بندی آبخوان منتج شد و ابزارهای زمین‌آماری برای ارزیابی دقت شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی در آبخوان پکن (چین) و بهسازی آن استفاده کردند.

در ایران، عمر بسیاری از چاه‌های مشاهده‌ای بیشتر از ۱۵ سال است. بیشتر با گذشت زمان، وضعیت آبخوان‌ها، کاربری اراضی و منابع و مصارف آب دچار دگرگونی می‌شوند. ضمن اینکه ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای/پیزومتری دارای طول عمر طولانی نیز ممکن است تخریب شده باشد یا منافذ اسکرین این چاه‌ها دچار گرفتگی شده باشد که در این صورت نیاز به احیای چاه وجود دارد (ASTM D5978 ، ۲۰۱۶) . بنابراین نیاز است وضعیت هر چاه مشاهده‌ای/پیزومتری و کل شبکه از جوانب مختلف بررسی شود. در ایران دستورالعملی برای ارزیابی وضعیت چاه‌های مشاهده‌ای/پیزومتری و برنامه پایش وجود ندارد. در این راستا، در پژوهش حاضر، چارچوب جدیدی برای ارزیابی و باز طراحی شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی در کشور ارائه شده است که تلفیقی از رویکرد مطالعات هیدروژئولوژیکی، عملیات میدانی و استفاده از ابزارهای آماری و زمین‌آمار است. بر اساس روش‌شناسی پیشنهادی، برای اولین بار در ایران چاه‌های مشاهده‌ای توسط ویدئومتری بازرسی شده و وضعیت لایه‌های آبدار در محل هر چاه مشاهده‌ای بررسی خواهد شد. چارچوب ارائه شده برای ارزیابی و تحلیل وضعیت شبکه پایش سطح آب زیرزمینی آبخوان شیروان (استان خراسان شمالی) به‌کار گرفته شده است.

## مواد و روش‌ها

### • چارچوب توسعه داده شده

چارچوب ارائه شده در این پژوهش، تلفیقی از رویکرد مطالعات هیدروژئولوژیکی، عملیات میدانی و استفاده از ابزارهای آماری و زمین‌آمار برای ارزیابی و بازطراحی شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی است. در واقع در این چارچوب، ارزیابی‌ها در دو سطح انجام می‌شود. در سطح اول، وضعیت ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای، ارتباط با آبخوان و کارآیی آنها در پایش سطح آب‌زیرزمینی بررسی می‌شود که موضوع این مقاله (بخش اول) بوده و گام‌های انجام کار در شکل (۱) ارائه شده است. سطح دیگر بررسی‌ها شامل ارزیابی عملکرد شبکه به‌عنوان یک «کل» است و بر اساس مدل‌های زمین‌آماری و روش احتمال پذیرش (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۲) انجام می‌شود که نتیجه آن، تعداد و مکان مناسب چاه‌های مشاهده‌ای در مقایسه با شبکه پایش فعلی ارائه می‌شود. لازم به ذکر است مطالعات دربردارنده بررسی‌های زمین‌آماری باتوجه‌به پیچیدگی روش و حجم زیاد مطالب در مقاله‌ای جدا (به‌عنوان بخش دوم این مقاله) ارائه خواهد شد.




شکل ۱- گام‌های ارزیابی وضعیت چاه‌های مشاهده‌ای حفر شده در یک آبخوان آبرفتی

**۱- بررسی مشخصات، سوابق و ارزیابی داده‌های بلندمدت چاه‌های مشاهده‌ای و تحلیل نوسانات سطح آب‌زیرزمینی**

در این مرحله در ابتدا بر اساس مطالعات قبلی، خصوصیات کلی آبخوان(ها) بررسی شد تا نوع آبخوان، تغییرات مکانی خصوصیات هیدرولیکی و وضعیت منابع و مصارف مشخص شود و شناخت کلی از هیدروژئولوژی منطقه حاصل شود. علاوه‌بر آن، لاگ حفاری چاه‌های بهره‌برداری و اکتشافی اطراف چاه‌های مشاهده‌ای و اطلاعات سطح آب در خاتمه حفاری و آزمایش پمپاژ پله‌ای از پرونده چاه‌های بهره‌برداری استخراج شد. با استفاده از این داده‌ها و اطلاعات، لایه‌بندی آبخوان و احتمال وجود سامانه چند آبخوانه بررسی می‌شود (تهیه مدل مفهومی).

همچنین در این گام، شبکه چاه‌های مشاهده‌ای به‌لحاظ تعداد، سوابق تغییرات و داده‌های سطح آب مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. طی این مرحله در ابتدا مشخصات عمومی چاه‌های مشاهده‌ای شامل موقعیت جغرافیایی، تاریخ حفر چاه، تراز سطح زمین در محل چاه، جابه‌جایی چاه و تغییرات شبکه تیسن بررسی می‌شود. سپس تغییرات سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای بر اساس داده‌های بلندمدت مطالعه شده و آبنمود سطح آب در هر چاه ترسیم شده تا همبستگی آن با بارندگی و آبنمود معرف آبخوان بررسی شود. در این مرحله نوسانات غیرعادی چاه‌های مشاهده‌ای شناسایی شد تا بررسی‌های بیشتر در مراحل بعدی انجام شود.

**۲- بررسی‌های میدانی و انجام عملیات ویدئومتری در چاه‌های مشاهده‌ای**

ویدئومتری عبارت از مشاهده ساختمان داخلی چاه از وضعیت فیزیکی لوله جدار (در چاه‌های لوله‌گذاری شده) و وضعیت لایه‌های آبخوان (آبرفتی و کارستی) در چاه‌های لوله‌گذاری نشده است. چنانچه ویدئومتر مجهز به سوندهای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، دما، pH و غیره باشد، می‌توان به مؤلفه‌های فیزیکی و شیمیایی آب نیز پی برد. در واقع ویدئومتری یك عمل چاه‌پیمایی است که خروجی آن را می‌توان به‌صورت فیلم و عکس مشاهده کرد. در این تحقیق، برای اولین بار در ایران عملیات میدانی شامل ویدئومتری و نمونه‌برداری و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) از آب داخل چاه‌های مشاهده‌ای انجام شده است. طی این عملیات وضعیت باز و بسته بودن لوله مشبک (اسکرین)، عمق شروع اسکرین، از شکل افتادگی و پارگی لوله جدار، کج شدگی و انحراف لوله جدار، پوسیدگی، میکرو ارگانیزم‌ها، خوردگی لوله جدار، عمق آب و عمق نهایی چاه بررسی می‌شود. باتوجه‌به قطر کم چاه‌های مشاهده‌ای، تجهیزات مخصوص این کار توسط شرکت فنی و مهندسی بارثاوا زمین کاوش طراحی و ساخته شد. این دستگاه امکان تصویربرداری هم‌زمان با پنج دوربین، قابلیت تنظیم سرعت حرکت دوربین و تصویربرداری در لوله با قطر شش اینچ را دارد.

همچنین در بازدیدهای میدانی، عوارض سطحی تأثیرگذار بر سطح آب آنها مانند استخرهای ذخیره آب و یا آب‌های سطحی نیز بررسی شد و هدایت الکتریکی (EC) در چاه‌های بهره‌برداری اطراف چاه‌های مشاهده‌ای نیز اندازه‌گیری شد.

**۳- تلفیق اطلاعات میدانی و مدل مفهومی**

در گام سوم، با تلفیق اطلاعات هیدروژئولوژیکی و میدانی، مبانی بازطراحی شبکه شامل موارد ذیل بررسی شد:

۱- از بررسی‌های مربوط به ژئوفیزیک، لاگ‌های حفاری، سطح آب و کیفیت آب چاه‌های بهره‌برداری و مشاهده‌ای مشخص می‌شود که آیا هر چاه مشاهده‌ای نماینده آبخوان اطراف خود می‌باشد؟ (آیا بیشتر از یک لایه آبدار وجود دارد؟).

۲- آیا عامل محلی مانند تغذیه مصنوعی یا ورود آب سطحی به چاه مشاهده‌ای بر نوسانات سطح آب تأثیرگذار است؟

۳- عمق نهایی و وضعیت اسکرین چاه مشاهده‌ای از نظر سالم بودن و گرفتگی منافذ چگونه است و آیا اجسام خارجی داخل چاه مشاهده‌ای وجود دارد؟

۴- عمر مفید چاه‌های مشاهده‌ای باتوجه‌به افت سطح آب چقدر است و کدام چاه‌ها نیاز به احیا و یا جابه‌جایی دارند.

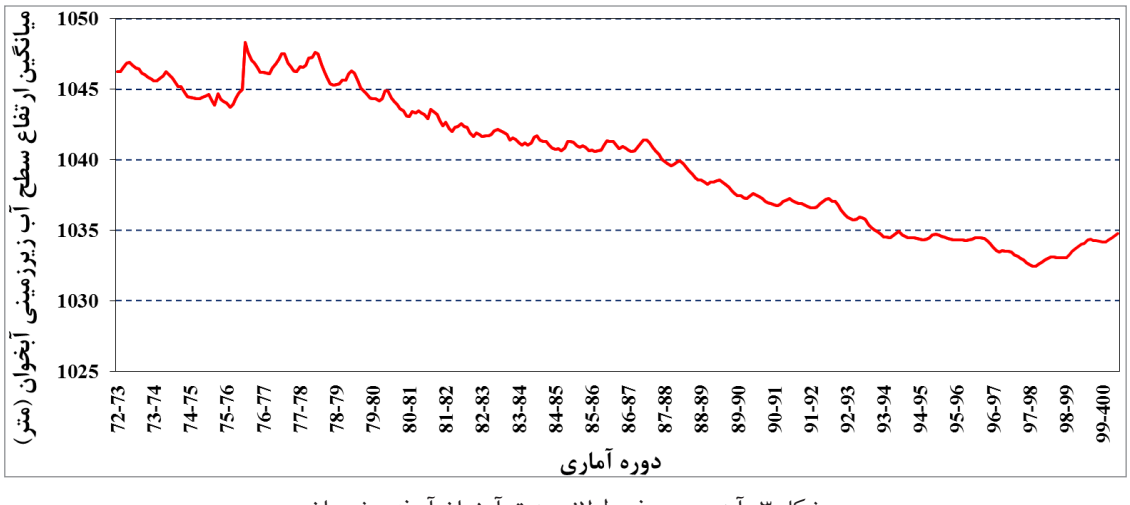
**• منطقه مورد مطالعه**

محدوده مطالعاتی قوچان-شیروان در حوضه آبریز درجه دو اترك و جنوب‌شرق استان خراسان شمالی واقع شده است (شکل ۳). به‌لحاظ اقلیم، بر اساس روش دومارتن آب‌وهوای حاکم بر این محدوده نیمه‌خشک بوده و زمستان‌های سرد و طولانی و تابستان‌های معتدل دارد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، ۱۳۹۵). این محدوده مطالعاتی دارای دو آبخوان آبرفتی به نام‌های «شیروان» و «قوچان- فاروج» می‌باشد. مساحت آبخوان آبرفتی شیروان که منطقه مورد مطالعه در این پژوهش می‌باشد برابر ۱۸۶/۴ کیلومتر مربع است.

در این آبخوان آبرفتی که یک لایه و از نوع آزاد معرفی شده است، ۲۹۷ حلقه چاه با برداشتی در حدود ۴۱/۸۵ میلیون متر مکعب در سال و شش رشته قنات با تخلیه در حدود یک میلیون متر مکعب وجود دارد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، ۱۳۹۵). همچنین در این آبخوان، ۱۷ حلقه چاه مشاهده‌ای فعال است که موقعیت آنها در شکل (۲) نمایش داده شده است. بر اساس داده‌های ثبت شده در این چاه‌های مشاهده‌ای، سطح آب‌زیرزمینی به‌طور میانگین در حدود ۹ متر در ۲۰ سال گذشته پایین رفته است (شکل ۳). همچنین، به‌طور کلی عمق سطح آب‌زیرزمینی از سمت نواحی میانی آبخوان به سمت نواحی شمال‌غربی و جنوب‌شرقی افزایش می‌یابد. بیشترین عمق آب‌زیرزمینی در حوالی چاه مشاهده‌ای مزرعه کال (۱۰۱/۴۵ متر) و کمترین عمق در حوالی چاه

مشاهده‌ای جنوب کارخانه قند (۶ متر) مشاهده شده است (ثبت شده در اسفندماه، ۱۳۹۹). تراز سطح آب‌زیرزمینی نشان می‌دهد، جهت کلی جریان از نواحی شمالی (حاشیه ارتفاعات) به سمت مناطق مرکزی می‌باشد. بیشترین و کمترین مقدار تراز آب‌زیرزمینی به‌ترتیب در چاه‌های مشاهده‌ای شمال‌شرق الله‌آباد (۱۱۰۴/۶۲ متر) و مزرعه کال (۱۰۰۱/۲۳ متر) ثبت شده است.

شکل ۲- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی شیروان ـ قوچان و شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی در آبخوان آبرفتی شیروان

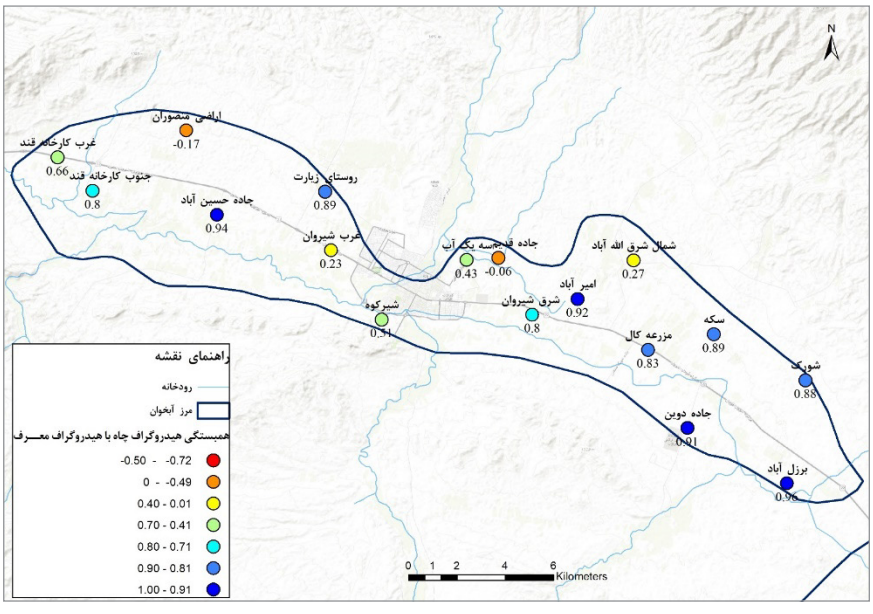



شکل ۳- آبنمود معرف طولانی‌مدت آبخوان آبرفتی شیروان

## نتایج و بحث

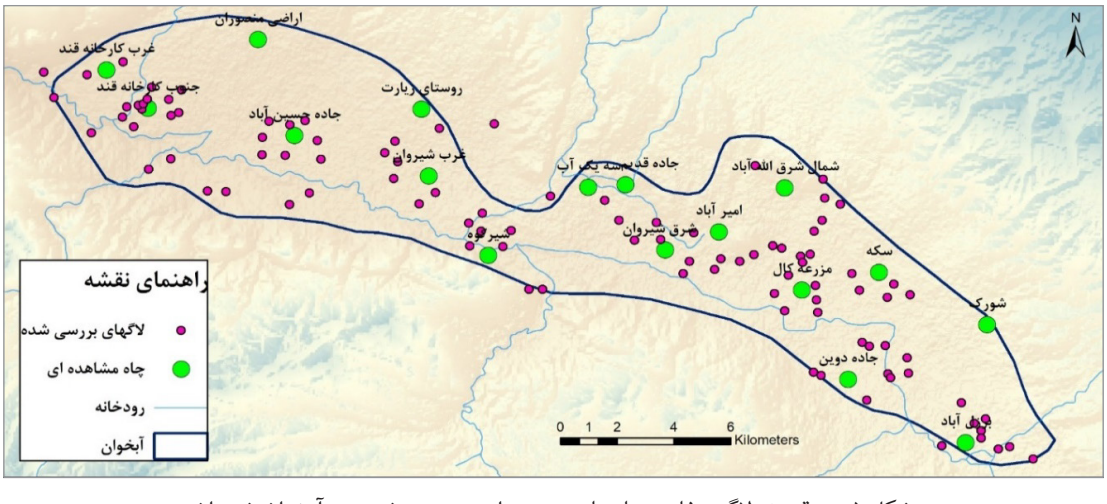
### • بررسی‌های هیدروژئولوژیکی

تغییرات سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای بر اساس داده‌های بلندمدت و همبستگی آن با بارش و آبنمود معرف آبخوان بررسی شد (شکل ۴). نتایج نشان داد پنج چاه مشاهده‌ای همبستگی پایینی با آبنمود معرف (کمتر از ۵۰ درصد) دارند که نشان دهنده رفتار متفاوت آنها با اکثریت چاه‌های مشاهده‌ای (میانگین آبخوان) می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد، رفتار متفاوت این چاه‌ها به‌دلیل عدم ارتباط با آبخوان یا وجود عوامل محلی نبوده بلکه آنها در محل‌های تغذیه آبخوان (نواحی شمالی) در نزدیکی ارتفاعات قرار گرفته‌اند و بین این چاه‌ها با یکدیگر همبستگی وجود دارد (شکل ۴).




شکل ۴- همبستگی آبنمود چاه‌های مشاهده‌ای با آبنمود معرف آبخوان شیروان

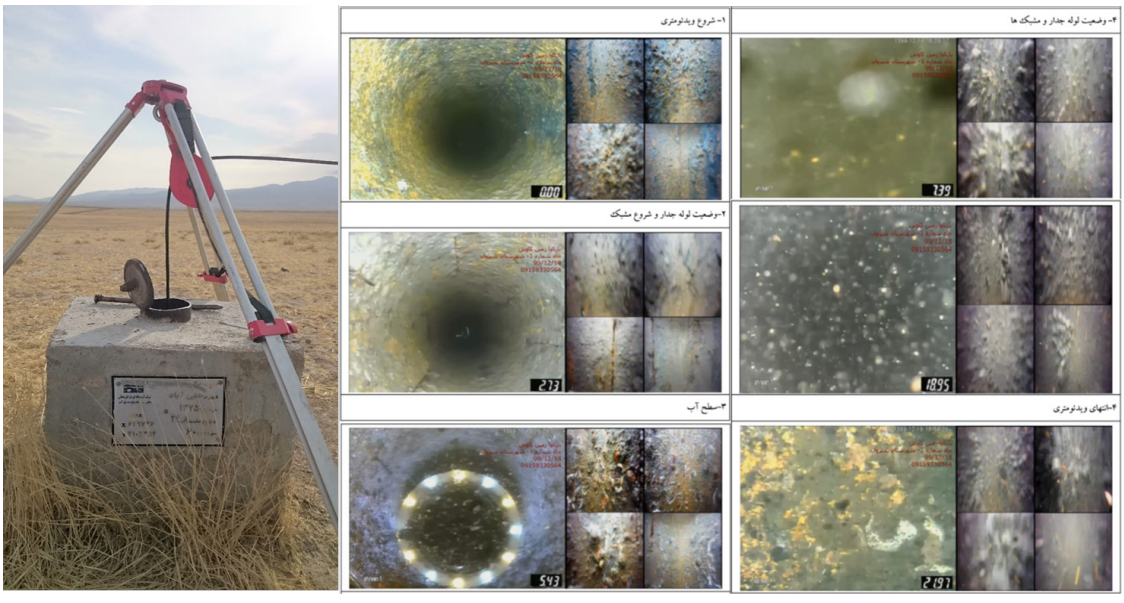
در گام بعدی، لاگ حفاری و آزمایش پمپاژ پله‌ای ۱۳۰ چاه بهره‌برداری در اطراف چاه‌های مشاهده‌ای از پرونده آنها استخراج شد (شکل ۵). اطلاعات سطح آب‌زیرزمینی در خاتمه حفاری و در هنگام آزمایش پمپاژ پله‌ای با در نظر گرفتن تاریخ ثبت داده با سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای مقایسه شد. بررسی‌ها نشان داد تناقضی بین سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای و چاه‌های بهره‌برداری به جز در اطراف چاه مشاهده‌ای «جنوب کارخانه قند» مشاهده نمی‌شود. در چاه‌های بهره‌برداری با فاصله کمتر از ۱۰۰۰ متر از چاه مشاهده‌ای«جنوب کارخانه قند» چندین عمق آب (بین یک تا ۴۵ متر) ثبت شده است. همچنین لاگ‌های حفاری موجود، در این ناحیه از آبخوان، تناوب لایه‌های رسی با لایه‌های درشت دانه‌تر را نشان می‌دهند که می‌تواند عامل وجود سطح آب متفاوت در چاه‌های با عمق مختلف باشد. در نتیجه این چاه مشاهده‌ای نماینده آبخوان نبوده و در صورتی که برای شبکه اهمیت دارد باید دوباره حفر شود.



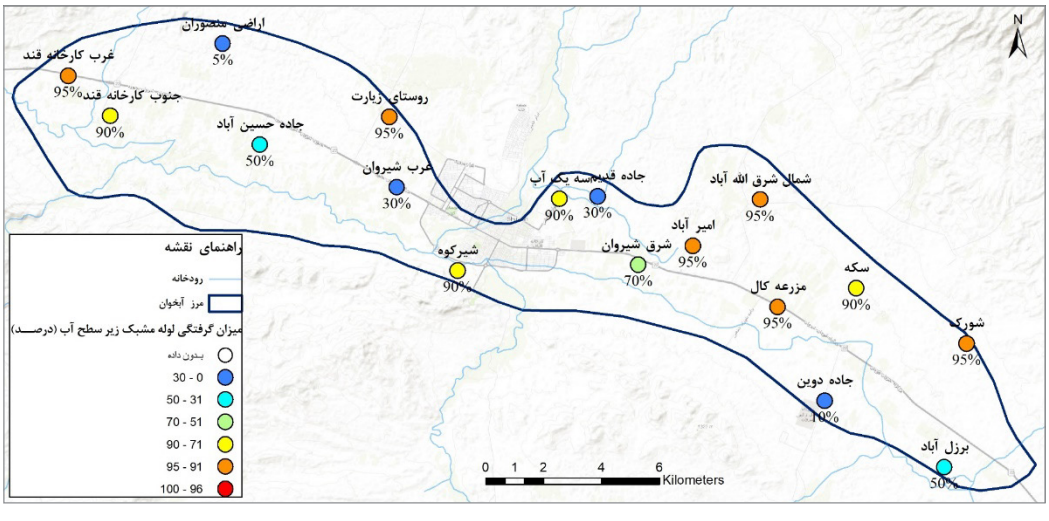

شکل ۵- موقعیت لاگ حفاری چاه‌های بهره‌برداری بررسی شده در آبخوان شیروان

**• بررسی‌های میدانی**

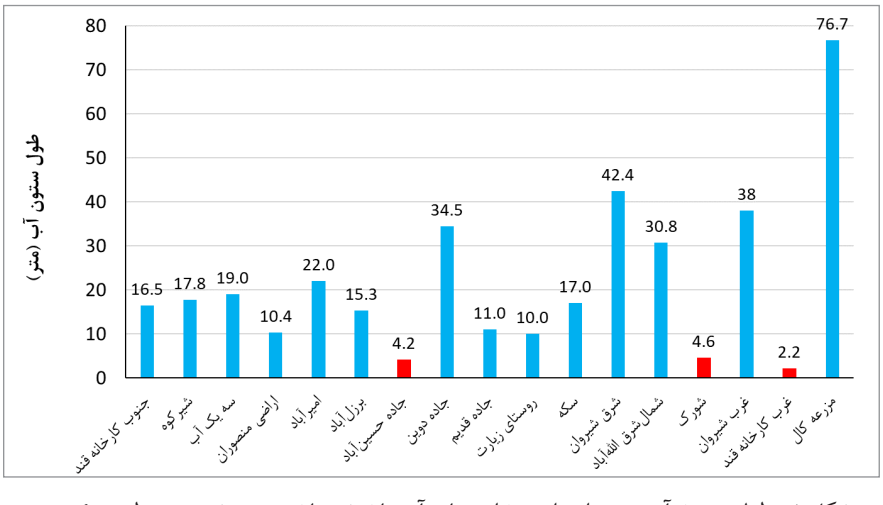
نتایج ویدئومتری در ۱۷ حلقه چاه مشاهده‌ای آبخوان آبرفتی دشت شیروان نشان داد، لوله جدار و اسکرین در همه چاه‌های مشاهده‌ای کج شدگی و انحراف نداشته است و جسم خارجی در آنها وجود ندارد (شکل ۶). اما بعضی چاه‌های مشاهده‌ای از جمله غرب کارخانه قند، غرب شیروان، روستای زیارت و امیرآباد به دلیل رسوبات، گرفتگی قابل توجه منافذ لوله مشبک دارند (شکل ۷). طول ستون آب در چاه‌های مشاهده‌ای غرب کارخانه قند، غرب شیروان و جاده حسین آباد کمتر از پنج متر است که با افت سطح آب در معرض خطر خشک شدن قرار دارند (شکل ۸).




شکل ۶- نمونه تصویر حاصل از ویدئومتری در چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان شیروان



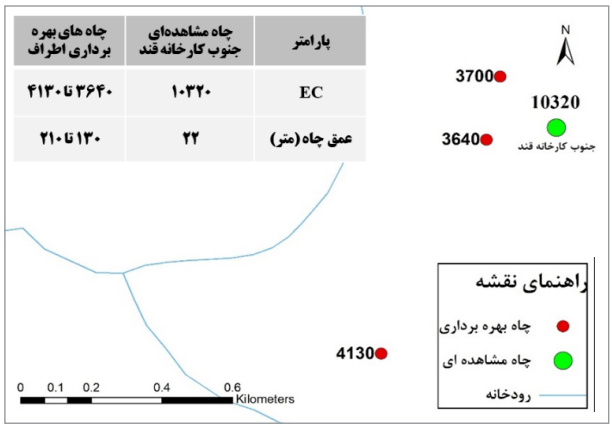

شکل ۷- میزان گرفتگی اسکرین در چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان شیروان تعیین شده توسط با ویدئومتری




شکل ۸- طول ستون آب در چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان شیروان تعیین شده توسط ویدئومتری

• **تلفیق نتایج**

تلفیق بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و میدانی نشان داد به جز در حوالی چاه مشاهده‌ای جنوب کارخانه قند، آبخوان چندلایه نبوده و بین چاه‌های مشاهده‌ای و آبخوان ارتباط برقرار است. بررسی هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در چاه مشاهده‌ای جنوب کارخانه قند نشان داد تفاوت زیادی بین مقدار EC آب این چاه مشاهده‌ای و چاه‌های بهره‌برداری اطراف وجود دارد (شکل ۹). این موضوع در کنار بررسی سطح آب و لاگ حفاری چاه‌های بهره‌برداری نشان می‌دهد، آبخوان در این ناحیه مطبق بوده و وجود لایه‌های رسی نزدیک به سطح زمین باعث شده یک سطح آب با عمق کم (بین ۴ تا ۵ متر) مشاهده شود. سطح آب با عمق بیشتر در بعضی چاه‌ها مشاهده شده است (۳۵ تا ۴۵ متر). لازم به ذکر است، عمق چاه مشاهده‌ای جنوب کارخانه قند ۲۲ متر و چاه‌های بهره‌برداری اطراف بین ۱۳۰ تا ۲۱۰ متغیر است (به‌طور متوسط ۱۶۵ متر). در نتیجه در بعضی مناطقی که آبخوان مطبق دارند، عمق کم چاه‌های مشاهده‌ای نسبت به ضخامت آبرفت باعث می‌شود چاه مشاهده‌ای نماینده آبخوان نباشد و منشا خطا در تحلیل‌های هیدروژئولوژیکی شود. بر اساس یافته‌های این تحقیق، وضعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دشت شیروان و اقدامات لازم برای چاه‌های مشاهده‌ای مطابق جدول (۱) پیشنهاد شد.




شکل ۹- هدایت الکتریکی (EC) در چاه مشاهده‌ای جنوب کارخانه قند و چاه‌های بهره‌برداری اطراف آن

نتایج این پژوهش نشان داد، وضعیت چاه‌های مشاهده‌ای موجود در یک آبخوان باید از چند جهت ارزیابی شود. از جهتی لازم است وضعیت ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای با هدف بررسی سلامت لوله جدار و میزان گرفتگی اسکرین چاه توسط ویدئومتری بررسی شود. همچنین از جمله چالش‌هایی که در پایش سطح آب آبخوان‌ها می‌تواند وجود داشته باشد، پیچیده بودن هیدروژئولوژی آبخوان و وجود بیش از یک سطح آب (تغییرات عمودی سطح آب) در مناطقی از آبخوان‌ها است، که این مسئله در طراحی اولیه شبکه‌های پایش در نظر گرفته نشده است. لذا نیاز است با تجمیع داده و اطلاعات، شناخت دقیقتری از هیدروژئولوژی منطقه حاصل شود تا وضعیت لایه‌بندی آبخوان و احتمال وجود سامانه چند آبخوانه بررسی می‌شود. این بررسی‌ها مشخص می‌کند چاه‌های مشاهده‌ای درصورت سالم بودن ساختمان نماینده کدام لایه آبدار می‌باشند.

جدول ۱ـ اقدامات اصلاحی لازم برای چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان آبرفتی شیروان

| اقدام اصلاحی لازم | نام چاه مشاهده‌ای | X | Y |
|---|---|---|---|
| بدون نیاز به اقدام اصلاحی | شرق شیروان | ۵۸۷۱۳۴ | ۴۱۳۸۲۸۸ |
| | جاده قدیم | ۵۸۵۷۳۹ | ۴۱۴۰۶۴۴ |
| | اراضی منصوران | ۵۷۲۸۰۸ | ۴۱۴۵۹۱۲ |
| | جاده دوین | ۵۹۳۵۶۶ | ۴۱۳۳۵۹۱ |
| | غرب شیروان | ۵۷۸۸۱۱ | ۴۱۴۰۹۵۷ |
| | برزل‌آباد | ۵۹۷۶۹۴ | ۴۱۳۱۳۰۲ |
| پاکسازی اسکرین | سکه | ۵۹۴۶۵۵ | ۴۱۳۷۴۷۶ |
| | شمال‌شرق الله‌آباد | ۵۹۱۳۳۹ | ۴۱۴۰۵۳۲ |
| | امیرآباد | ۵۸۹۰۱۹ | ۴۱۳۸۹۳۷ |
| | مزرعه کال | ۵۹۱۹۴۴ | ۴۱۳۶۸۳۳ |
| | شیرکوه | ۵۸۰۹۰۶ | ۴۱۳۸۰۸۳ |
| | روستای زیارت | ۵۷۸۵۵۷ | ۴۱۴۳۳۸۳ |
| نوکنی در صورت خشک شدن | جاده حسین‌آباد | ۵۷۴۰۸۸ | ۴۱۴۲۴۲۵ |
| | غرب کارخانه قند | ۵۶۷۴۷۹ | ۴۱۴۴۸۰۳ |
| جابجایی با چاه جدید | سه یک آب | ۵۸۴۴۱۸ | ۴۱۴۰۵۵۱ |
| | شورک | ۵۹۸۴۶۱ | ۴۱۳۵۵۷۱ |
| نیاز به نوکنی در حال حاضر | جنوب کارخانه قند | ۵۶۸۹۳۱ | ۴۱۴۳۴۱۵ |

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه باتوجه‌به نیاز برای ارزیابی وضعیت چاه‌های مشاهده‌ای/پیزومتری و شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی یک چارچوب جامع توسعه پیدا کرد. این چارچوب، اطلاعات ذیل را در اختیار قرار می‌دهد:

۱- ارزیابی ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای با عملیات ویدئومتری با هدف تعیین عمق چاه، سالم بودن لوله جدار و میزان گرفتگی قسمت مشبک چاه.

۲- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در چاه‌های مشاهده‌ای و چاه‌های بهره‌برداری اطراف آنها و انجام مطالعات هیدروژئولوژیکی برای بررسی ارتباط چاه‌های مشاهده‌ای با آبخوان.

بر اساس چارچوب مذکور شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی آبخوان شیروان بررسی شد و مشخص شد چاه مشاهده‌ای جنوب کارخانه قند نماینده آبخوان نیست. همچنین مشخص شد، طول ستون آب در چاه‌های جاده حسین‌آباد، غرب شیروان و غرب کارخانه قند کمتر از پنج متر می‌باشد. با ادامه خشکسالی‌ها و ایجاد روند نزولی در سطح آب آنها، امکان خشك شدن این چاه‌ها وجود دارد. گرفتگی اسکرین در بعضی از چاه‌ها مانند روستای زیارت، غرب شیروان و غرب کارخانه قند بسیار زیاد و نگران کننده می‌باشد. کسب اطلاعات از وضعیت ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای از طریق ویدئومتری که برای اولین بار در کشور انجام گرفت، امکان تعیین برنامه زمانی احیا و جابه‌جایی چاه‌های مشاهده‌ای در سال‌های آینده و تامین بودجه مورد نیاز این فعالیت‌ها امکان‌پذیر می‌کند. این برنامه باعث هدفمند شدن هزینه‌های نگهداری و توسعه شبکه پایش سطح آب‌زیرزمینی به‌عنوان یکی از وظایف دفاتر مطالعات پایه شرکت‌های آب منطقه‌ای می‌شود.

## تشکر

این پژوهش با سفارش و حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی (دفتر مطالعات پایه منابع آب) در راستای حل مسائل و چالش‌های کشور در زمینه داده و اطلاعات پایه منابع آب انجام گرفته است. به‌این‌وسیله از حسن توجه و اعتماد آن شرکت قدردانی می‌شود. همچنین از پشتیبانی و همیاری شرکت مهندسین مشاور تاوآب توسعه فلات شرق در انجام این پژوهش، سپاسگزاری می‌شود.

## منابع

شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی. ۱۳۹۵. گزارش تمدید ممنوعیت دشت قوچان-شیروان.

شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۹۹. خلاصه وضعیت سطح آب‌زیرزمینی و حجم مخزن آبخوان‌های آبرفتی کشور- منتهی به سال آبی ۹۹-۱۳۹۸، دفتر مطالعات پایه منابع آب، تهران.

شفیعی، م.، قهرمان، ب. و ثقفیان، ب. ۱۳۹۲. ارزیابی و بهینه‌یابی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی بر مبنای روش کریجینگ احتمالی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی گرگانرود)، تحقیقات منابع آب ایران، ۹(۲): ۹-۱۸.

گنجی خرم دل، ن.، کیخایی، ف. و مردیان، م. ۱۳۹۴. طراحی و توسعه شبکه پایش سطح آب زیرزمینی با استفاده از زمین‌آمار و روش‌های آماری در دشت اراک. مجله ژئوفیزیک ایران، ۹(۳): ۱۷-۲۹.

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. ۱۳۹۲. نشریه شماره ۵۷۷- دستورالعمل تعیین محل و نظارت بر حفر چاه‌های آب در آبرفت و سازندهای سخت و تهیه گزارش حفاری (چاه‌های بهره‌برداری اکتشافی، پیزومترها و مشاهده‌ای)، تهران.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. ۱۳۹۳. نشریه شماره ۶۶۵- دستورالعمل رفتارسنجی کمی آب‌های زیرزمینی، تهران.

ASTM D5978/D5978M-16 2016. Standard Guide for Maintenance and Rehabilitation of Groundwater Monitoring Wells. ASTM International. West Conshohocken, United States.

Bhat S., Motz L.H. and Pathak, C. 2015. Geostatistics-based groundwater-level monitoring network design and its application to the Upper Floridan aquifer, USA. Environ. Monit. Assess, 187: 4183. http://dx.doi.org/10.1007/s10661-014-4183-x.

Bierkens M.F.P. 2006. Designing a monitoring network for detecting groundwater pollution with stochastic simulation and a cost model. Stoch Environ Res Ris Assess, 20: 335–351.

Farlin J., Galle T., Pittois D., Bayerle M. and Schaul T. 2019. Groundwater quality monitoring network design and optimisation based on measured contaminant concentration and taking solute transit time into account, Journal of Hydrology, 573: 516-523.

Ghorbani M., Liltved H., Reza Nikoo M., Hindar A. and Meland, S. 2020. Assessing optimal water quality monitoring network in road construction using integrated information-theoretic techniques. Journal of Hydrology, 589: 125366.

Izady A, Davary K, Alizadeh A, Ziaei A.N., Alipoor A., Joodavi A. and Brusseau M.L. 2014. A framework toward developing a groundwater conceptual model. Arabian Journal of Geosciences, 7(9): 3611-3631.

Loáiciga H., Charbeneau R.J., Everett L.G., Fogg G.E., Hobbs B.F. and Rouhani, S. 1992. Review of ground-water quality monitoring network design. Journal of Hydraulic Engineering, 118(1): 11–37.

Manzione R.L., Wendland E. and Tanikawa D.H. 2012. Stochastic simulation of timeseries models combined with geostatistics to predict water-table scenarios in a Guarani Aquifer System outcrop area,

ter Monitoring in the United States. USGS Office of Water Information, Reston.

Van Lanen H.A. 1998. Monitoring for groundwater management in (semi)-arid regions. Unesco.

Varouchakis E.A., and Hristopulos D.T. 2013. Comparison of stochastic and deterministic methods for mapping groundwater level spatial variability in sparsely monitored basins. Environmental Monitoring and Assessment, 185(1): 1–19.

Wu S.C., Ke K.Y., Lin H.T. and Tan Y.C. 2017. Optimization of Groundwater Quality Monitoring Network Using Risk Assessment and Geostatistic Approach. Water Resources Management, 31: 515–530.

Zhou Y., Dong D., Liu J. and Li W. 2013. Upgrading a regional groundwater level monitoring network for Beijing Plain, China. Geoscience Frontiers, 4(1): 127–138.

Brazil. Hydrogeology Journal, 20 (7): 1239–1249.

Pearson S., Falteisek J. and Berg J. 2011. Minnesota Groundwater Level Monitoring Network- Guidance Document for Network Development. Minnesota, United States.

Ran Y., Li X., Lu X. and Lian, Y. 2015. Optimal selection of groundwater-level monitoring sites in the Zhangye Basin. Northwest China. Journal of Hydrology, 525: 209– 215.

International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC) 2008. Guideline on Groundwater monitoring for general reference purposes (Report nr. GP 2008-1), Utrecht, Netherlands.

Thakur J.K. 2017. Hydrogeological modeling for improving groundwater monitoring network and strategies. Applied Water Science, 7: 3223–3240.

USGS 2013. A National Framework for Ground-Wa-