

Assessing groundwater level declination in Meighan Playa Catchment

Saviz Sadeghi^{1*}, Omid Akhoondi²

- 1- Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, University of Arak, Arak, Iran.
- 2- Natural Resources and Watershed Management Organization, Watershed Management and Soil Conservation Bureau, Arak, Markazi Province, Iran.

* Corresponding author: s-sadeghi@araku.ac.ir

(Received: 18 February 2023

Revise: 11 March 2023

Accepted: 12 March 2023)

Extended Abstract

Introduction: In recent decades, following the exploitation of groundwater, especially in areas with limited surface water and in which groundwater is the greatest resource in meeting the needs of water demands, the trend of reducing the volume of aquifers has increased. Meighan watershed, which includes Meighan wetland, is one of the most important plains of Iran that supplies a significant part of Arak city's drinking water and many agricultural wells. Since the drought causes a rapid reduction in surface flows, declines the ground water level, intensifies the wind and water erosion, changes the quality of water resources, causes ground settlement and especially, leads to the problem of salinization of drinking and irrigation water, it is necessary to evaluate the effects of drought and manage its risk.

Materials and methods: The study area of Meighan is located in Central Iran with 2854.63 km² area. To investigate the possible drinking water crisis in the region, water level decline of agricultural wells, and the risk of ground settlement in the groundwater measurement network, the observed groundwater level and absolute height of groundwater level data were collected in 46 piezometric wells in the statistical period of 1986-2006 and 2006-2020. For each year, an average isopieze map was drawn. Then by deducting the maximum and minimum values in each well, the amount of loss in each year was determined. These data were used to draw maps of annual decline. The reason can be the lack of proper feeding of the aquifer due to the decrease of precipitations and drought and as a result of the reduction of the aquifer storage due to the excessive exploitation.

Results and Discussion: From 1971 (the first data collection) to 2004, with the increase in the number of deep and semi-deep wells, the discharge rate of the wells has increased by a total of 531.5 mm³. In 2009, despite the increase in the number of wells, the discharge rate of wells has decreased by 153.9 mm³ in 6 years. In the last data collection in 2020, the number of wells and their discharge rate have decreased which indicates drying up of the wells due to the decline in the groundwater level in many areas of the plain which has led to the disuse of wells. Reviewing the decline maps of 1986-2006 and 2006-2020 indicate that the northern and eastern areas of the plain do not show significant changes and have a relatively constant trend. However, as it is shown in isopieze maps, in the western regions and in the south of the plain, groundwater level has had the highest decline. From 2006 to 2020, in the north and northeast, as well as in the south, west and southwest of the basin, there are areas with the highest rate of decline.

Conclusion: According to the analysis of rainfall data and the absolute height of groundwater level of Arak Plain, it can be concluded that the amount of rainfall does not directly affect the decline of the groundwater level. Research results indicate that before 1986, the hydraulic slope of the Arak plain aquifer conforms to the level of the plain and the Meighan playa has been a natural drainage of the plain. However, during the period of 1986-2006 with the increase and concentration of exploitation wells in the western and southwestern parts of the plain, the hydraulic slope of the aquifer has inclined towards the western regions. From 1986 to 2006, it can be concluded that the maximum groundwater level decline of 20 meters occurred in the western and southwestern areas of the basin and extended to the eastern areas of the basin. However, from 2006 to 2020, the decline classes have increased significantly, such that in the west, southwest, north and northeast of the basin, an increase in the groundwater level decline up to 70 meters has been observed.

Keywords: Water level decline, Drought, Groundwater, Arak plain, Meighan playa

Citation: Sadeghi, S., & Akhoondi, O. (2023). Assessing groundwater level declination in Meighan Playa Catchment. *Integrated Watershed Management*, 2(4), 79-93. doi: 10.22034/iwm.2023.1988947.1060

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



بررسی افت منابع آب زیرزمینی در حوزه تالاب میقان اراک

ساویز صادقی^{۱*}، امید آخوندی^۲

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

۲- رئیس اداره حفاظت خاک و آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی، اراک، ایران

*نویسنده مسئول: s-sadeghi@araku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۹

چکیده

در چند دهه اخیر در پی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در مناطقی که منابع آب سطحی محدود بوده و سهم منابع آب زیرزمینی در تأمین نیازها بسیار بالا است، روند کاهش حجم مخزن آبخوان‌ها فزونی یافته است. افزایش مصرف آب که با تغییر اقلیم، گرمایش جهانی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی همراه شده، مسئله تأمین آب را بسیار پیچیده‌تر نموده است. حوزه آبخیز میقان (دشت اراک)، دربرگیرنده تالاب میقان، یکی از مهم‌ترین دشت‌هایی است که بخش قابل توجهی از آب شرب شهر اراک و بسیاری از چاه‌های کشاورزی از آن تأمین می‌شود. برای بررسی بحران احتمالی آب شرب منطقه، افت سطح آب چاه‌های کشاورزی، خطر فرونشست زمین در سطح سفره بر اثر افت سطح ایستابی و پیشروی آب شور به سفره‌های آب شیرین در حوضه مورد مطالعه، در شبکه سنجش آب‌های زیرزمینی، ارقام قرائت‌شده عمق سطح آب و ارتفاع مطلق سطح آب در ۴۶ حلقه چاه مشاهده‌ای در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۸۴ و ۱۳۹۸-۱۳۸۴ جمع‌آوری شد. برای هر سال یک نقشه هم‌پتانسیل (ایزوپیز) متوسط ترسیم و سپس با کسر مقادیر حداکثر و حداقل در هر چاه، مقدار افت در هر سال مشخص شد که از این داده‌ها برای ترسیم نقشه‌های هم‌افت سالیانه استفاده شد. با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌های بارندگی و ارتفاع مطلق سطح آب زیرزمینی دشت اراک، نتایج نشان می‌دهد که عواملی مانند کاهش منابع آب سطحی (خشک‌سالی) و بهره‌برداری شدید و غیراصولی از منابع آب زیرزمینی تأثیر بیشتری نسبت به تغییرات میزان بارندگی بر نوسانات سطح ایستابی داشته است. همچنین مقایسه دو دوره آماری نشان می‌دهد که در دوره دوم، طبقات افت به‌طور چشمگیری افزایش یافته، به‌نحوی که در غرب، جنوب غرب، شمال و شمال شرق حوضه شاهد افزایش افت سطح ایستابی آب زیرزمینی تا ۷۰ متر هستیم.

کلمات کلیدی: افت سطح ایستابی، آب زیرزمینی، خشک‌سالی، دشت اراک، تالاب میقان.

استناد: صادقی، س؛ آخوندی، آ. (۱۴۰۱). بررسی افت منابع آب زیرزمینی در حوزه تالاب میقان اراک. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۴)، ۷۹-۹۳.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ‌شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

در قرن حاضر، معضل کمبود آب در حال گسترش به تمام نقاط کره زمین است و در مقیاس گوناگون کشورهای مختلف را درگیر خود نموده است. کشورهایی که در مناطق خشک و کم‌باران جهان واقع شده‌اند، ذاتاً در معرض خطر بزرگ‌تر مواجهه با تنش آبی خواهند بود (Sadeghi, 2015; Pokhrel *et al.*, 2018). افزایش مصرف آب به دلایل رشد جمعیت و به تبع آن توسعه شهرنشینی و صنایع، گسترش سطح زیر کشت آبی و غیره است که با تغییر اقلیم، گرمایش جهانی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی همراه شده و مسئله تأمین آب را بسیار پیچیده‌تر نموده است (Eslamian & Eslamian Tzanakakis *et al.*, 2020) (Liu *et al.*, 2017; 2017). خشک‌سالی از جمله پدیده‌هایی است که به تواتر در اثر تغییرات الگویی آب و هوایی ناشی از کاهش نزولات جوی کمتر از نرمال، افزایش دمای هوا و افزایش بی‌رویه استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی در هر ناحیه رخ می‌دهد که به دنبال آن، تداوم خشک‌سالی در یک ناحیه موجب عدم تعادل هیدرولوژیکی حوزه آبخیز می‌شود (Ghiabi *et al.*, 2012; Kafi & Jami-Alahmadi, 2020). در چند دهه اخیر در پی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در مناطقی که منابع آب سطحی محدود بوده و سهم منابع آب زیرزمینی در تأمین نیازها بسیار بالا است روند کاهش حجم مخزن آبخوان‌ها فزونی یافته است (Ebrahimikhusfi *et al.*, 2017; Al-Bahrani *et al.*, 2022). از آنجاکه شدت و گستره خشک‌سالی تقریباً تمام کشور را در بر گرفته است، منابع موجود آب در ایران نمی‌تواند همه تقاضاهای فزاینده موجود برای آب را برآورده سازد و بنابراین نیازمند حفاظت، مدیریت مؤثر و پایدار منابع موجود آب شیرین، مدیریت تقاضای آب، افزایش بهره‌وری از منابع آبی، افزایش عملکرد

گیاهان زراعی و کارایی مصرف زراعی و اقتصادی آب است (Kafi & Jami- Dolan *et al.*, 2021). (Alahmadi, 2020) Ensafimoghaddam. تغییرات زمانی و مکانی تراز آب زیرزمینی در ۹ قنات زیر حوضه میقان در منطقه اراک را به صورت کمی مورد بررسی قرارداد. در این مطالعه ابتدا سری‌های زمانی داده‌های میانگین دبی و برداشت از قنات جمع‌آوری شده و سپس روند تغییرات تراز آب چاه‌های مورد بررسی در طی ۲۶ سال مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته و با استفاده از روش‌های آماری- ترسیمی روند یابی شد. نتایج نشان داد در ۲۶ سال گذشته، مطابق هیدروگراف، تراز آب زیرزمینی به شدت کاهش یافته است و اطلاعات هیدروژئولوژیکی موجود، افت شدید تراز آب آبخوان را در سال‌های اخیر نشان می‌دهد. مهم‌ترین دلایل افزایش میزان تراز آب‌های زیرزمینی، مدیریت نادرست و برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی توسط کشاورزان و همچنین کاهش مکرر بارش ذکر شده است. Jabbari و همکاران (۲۰۲۰) تحقیقی با عنوان مدل‌سازی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی برای مدیریت آب منابع موجود در آبخوان اراک-ایران انجام دادند. این مطالعه با استفاده از روش عددی تفاضل محدود، مدل جریان و انتقال آب زیرزمینی در آبخوان دشت اراک انجام شد و پیشرفت نفوذ آب شور در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحت سناریوی کاهش تغذیه آبخوان در شرایط خشک‌سالی و همچنین افزایش دبی توسط سناریوهای بهره‌برداری بیشتر نشان داد کاهش شدید سطح آب در کل منطقه به‌ویژه در جنوب و غرب آبخوان مورد انتظار است. Ghadimi (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان تعیین منشأ آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی تالاب میقان اراک، به این نتیجه دست یافت که ورود ترکیبات فسفات و آمونیاک ناشی از فاضلاب شهری تصفیه‌شده اراک به تالاب، با

این پدیده و مدیریت خطر آن امری ضروری است (Mahdianpari *et al.*, 2020; Ansari, 2018; Abdinejad & Nateghi, 2010; Amiri *et al.*, 2015). به علاوه با توجه به اینکه برقراری تعادل بین نیازهای اکوسیستم‌های آبی و سایر مصارف آب در یک حوضه اصلی‌ترین مشغله فکری در مدیریت کلان آب است؛ بنابراین تحقیق جامع و یکپارچه در مورد تغییرات وضعیت کمی آب‌های زیرزمینی حوضه در ۴۰ سال گذشته در این زمینه بسیار راهگشا خواهد بود. همچنین انجام این مطالعه با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه میقان در منطقه خشک و نیمه-خشک کشور و با توجه به حساسیت زیاد اکولوژیکی آن می‌تواند از اولویت خاصی برخوردار باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز میقان که کویر میقان در مرکز آن قرار گرفته است وسعتی بالغ بر ۱۷/۵۴۹۵ کیلومتر مربع دارد و در غرب ناحیه ایران مرکزی، در قسمت‌های مرکز و جنوب غربی استان مرکزی در طول جغرافیایی ۲۰° ۴۹ تا ۱۸° ۵۰ و عرض جغرافیایی ۴۹° ۳۳ تا ۴۴° ۳۴ واقع شده است (شکل ۱). حوزه آبخیز میقان حوضه بسته‌ای است که ۲۸۵۴/۶۳ کیلومتر مربع از وسعت آن را دشت اراک و ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلومتر مربع را کویر میقان و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. دریاچه فصلی میقان یا کویر مغان که از نام روستایی با همین نام اقتباس شده است و در نقشه‌ها و منابع قدیمی به نام «توزلوگل» معروف است در حدود ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان اراک و از مشهورترین پدیده‌های موجود در استان مرکزی است (Sadeghi, 2007). شکل و نحوه گسترش محدوده مورد مطالعه به‌طور کلی با امتداد ساختمان‌های زمین‌شناسی انطباق داشته، به طوری که طرح شبکه زهکش سطحی نیز تحت تأثیر

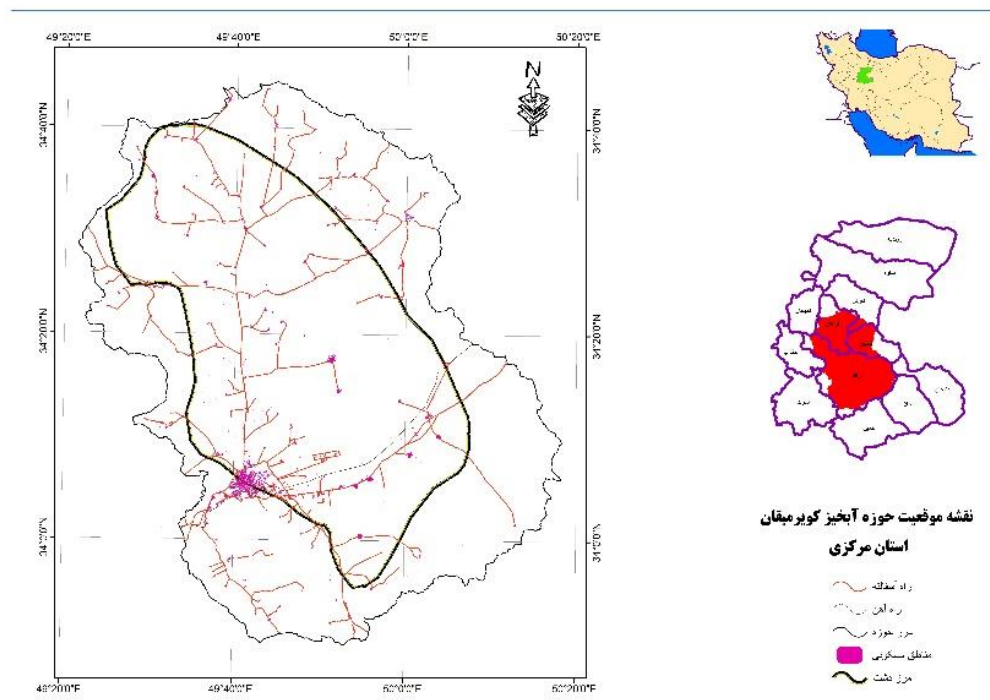
رشد گیاهان و پوشش جنگلی همراه بوده و آب تالاب میقان بدون آلودگی شیمیایی و بیولوژیک است اما جبهه پیش‌رونده آب تالاب سبب شور شدن آب‌های زیرزمینی شیرین اطراف شده است. این پدیده ناشی از افت سطح آب زیرزمینی منطقه با دخالت انسان بوده است؛ بنابراین باید اقدامات اساسی در زمینه بالا آمدن سطح آب زیرزمینی طی عملیات آبخوان‌داری در دشت‌های اطراف تالاب و کنترل در برداشت آب چاه‌ها و حذف چاه‌های غیرمجاز صورت گیرد.

حوزه آبخیز میقان (دشت اراک)، دربرگیرنده تالاب میقان، یکی از مهم‌ترین دشت‌هایی است که بخش قابل توجهی از آب شرب شهر اراک، آشتیان و فراهان و بسیاری از چاه‌های کشاورزی و صنایع مهم واقع در این منطقه از آن تأمین می‌شود (Khangholi *et al.*, 2018; Isah *et al.*, 2023). تالاب میقان یکی از تالاب‌های کویری ایران در استان مرکزی است که در سال‌های پربارش، از تالاب‌های زنده کشور به شمار می‌رود، ولی در سال‌های کم آب، در پایان تابستان به گونه کویری درمی‌آید (Ghahroudi Tali *et al.*, 2012). در سال‌های گذشته در پی کاهش نزولات جوی و برداشت بیش‌ازاندازه آب از زمین‌های بالادست، سفره‌های آب زیرزمینی این تالاب افت داشته است که این می‌تواند به شور شدن آب‌های زیرزمینی و پیامدهای زیان‌بار دیگری بینجامد (Safari Sanjani & Alemohammad *et al.*, 2017). (2014).

از آنجایی که پدیده خشک‌سالی موجب کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن آب زیرزمینی، تشدید فرسایش بادی و آبی، تغییر کیفیت منابع آب و نشست زمین در این حوضه می‌شود، به‌علاوه در نتیجه افت شدید سطح آب زیرزمینی و کم‌آبی سفره، با پیشروی جبهه آب شور کویر میقان، مشکل شور شدن آب شرب و خصوصاً آبیاری را به دنبال دارد، از این‌رو ارزیابی آثار

روندهای ساختمانی زمین‌شناسی منطقه بوده است. از آنجاکه حوضه از نظر هیدرولوژیکی حوضه بسته‌ای محسوب می‌گردد، بنابراین مازاد جریان‌های سطحی و نیز ادامه جریان‌های زیرزمینی در بخش مرکزی آن جمع شده و تشکیل باتلاق و دریاچه‌ای را می‌دادند که اکنون نشانه‌های آن به صورت نمکزار به‌جامانده است (Sadeghi, 2009). شیب عمومی حوزه آبخیز محدوده مطالعاتی دشت اراک از جوانب به سمت کویر میقان است؛ بنابراین کلیه جریان‌های سطحی و زیرزمینی به‌طور عام در جهات مذکور حرکت می‌نمایند و از نظر پستی و بلندی‌ها محدوده به دو بخش دشت در مرکز و ارتفاعات در حواشی، تفکیک می‌گردد (Sadeghi, 2009; RWCM, 2023; 2007; Izadikian et al., 2020).

شیب عمومی حوزه آبخیز محدوده مطالعاتی دشت اراک از جوانب به سمت کویر میقان است؛ بنابراین کلیه جریان‌های سطحی و زیرزمینی به‌طور عام در جهات مذکور حرکت می‌نمایند و از نظر پستی و بلندی‌ها محدوده به دو بخش دشت در مرکز و ارتفاعات در حواشی، تفکیک می‌گردد (Sadeghi, 2009; RWCM, 2023; 2007; Izadikian et al., 2020).

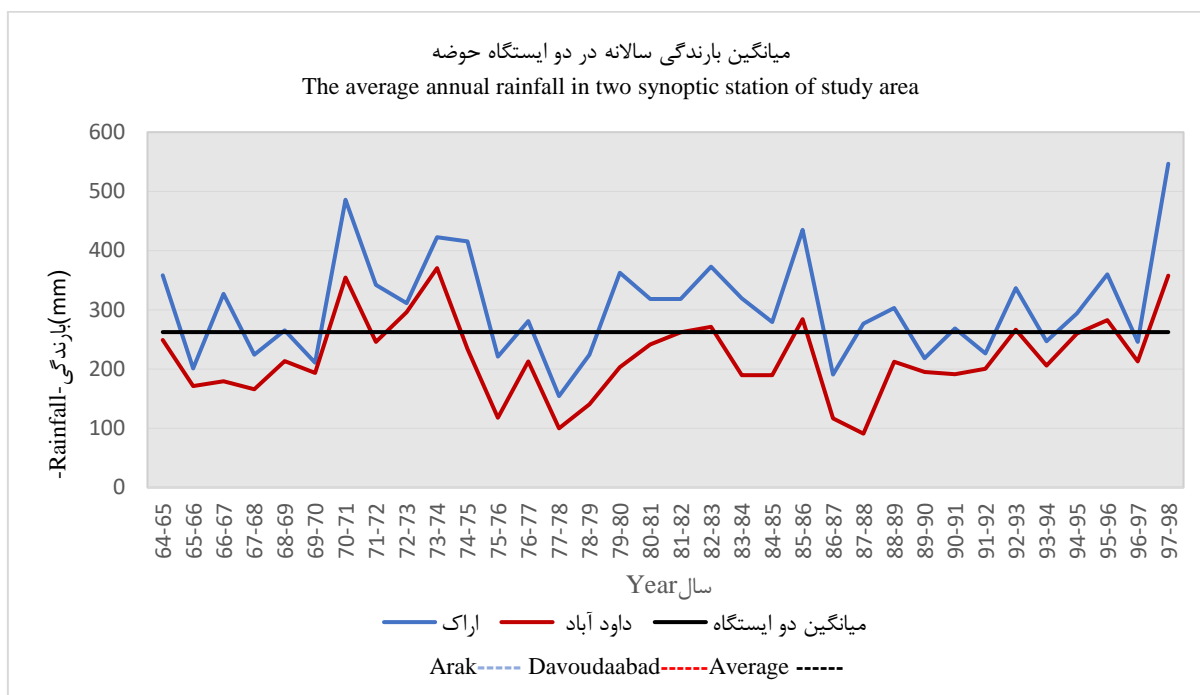


شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه در استان مرکزی و کشور

Figure 1- Geographical location of the study area in Markazi Province and Iran

در محدوده مورد بررسی، متوسط بارندگی سالیانه در دو ایستگاه منتخب اراک و داودآباد به شرح شکل ۲ است. بر اساس تقسیمات اقلیمی ایران منطقه مورد نظر به روش گوسن دارای اقلیم مدیترانه‌ای گرم و طبق روش آمبرژه، دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است (Sadeghi, 2007).

به‌منظور برآورد بارندگی درازمدت حوضه با توجه به آمار ایستگاه‌های موجود، دوره ۳۴ ساله محاسبه بارندگی انتخاب شده است. با توجه به برقراری رابطه همبستگی بین مقادیر ریزش‌های جوی سالیانه و ارتفاع ایستگاه‌ها با ضریب ۷,۳ درصد و ارتفاع متوسط نواحی دشت و کوهستان



شکل ۲- متوسط بارندگی سالانه در دوره آماری ۱۳۹۸-۱۳۶۴ در دو ایستگاه موجود در منطقه مورد مطالعه

Figure2- Average annual rainfall in 1986-2006 in two synoptic station of study area

زیرزمینی ۴۶ حلقه چاه مشاهده‌ای (پیژومتر) موجود است که ارقام قرائت شده عمق سطح آب و ارتفاع مطلق سطح آب برای هر چاه مشاهده‌ای در ۱۲ ماه سال در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۶۴ و ۱۳۹۸-۱۳۸۴ با توجه به بررسی اجمالی داده‌ها و تغییرات بارز سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای در این دو بازه زمانی جمع‌آوری گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها به منظور ترسیم نقشه‌های مربوطه

در دوره‌های آماری مورد نظر، داده‌های مربوط به ماه حداکثر (اردیبهشت‌ماه) و ماه حداقل (مهرماه) سطح ایستابی آب مربوط به ۴۶ حلقه چاه مشاهده‌ای استخراج گردید. برای ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل از نقشه موقعیت مکانی چاه‌های مشاهده‌ای استفاده نموده و برای ترسیم نقشه‌های هم‌ارتفاع مطلق سطح آب در هر دوره زمانی داده‌های مربوط به هر یک از چاه‌ها وارد نرم‌افزار شد و نقشه هم‌پتانسیل مربوطه

روش تحقیق

ابتدا نقشه‌های حوزه کویر میقان شامل نقشه‌های زمین شناسی، عارضه‌نگاری (توپوگرافی)، زمین‌ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی)، کاربری اراضی، آبراهه‌ها، مناطق مسکونی و شبکه ارتباطی، خطوط منحنی میزان و نقشه نواحی زمین‌شناسی با استفاده از نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی ArcGIS 10.3 از نقشه‌های موجود استان (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی-اداره مطالعات) تهیه گردید. قابل ذکر است نقشه‌های کاربری اراضی برای تحقیق حاضر در سال‌های ۷۵، ۸۲ و ۹۸ تهیه گردید و مساحت کاربری-های مورد نیاز مطالعه استخراج و در جدول ۱ ارائه شده است. مختصات جغرافیایی مربوط به چاه‌های بهره-برداری (کشاورزی، شرب، صنعت) قنوت، چشمه‌ها، چاه‌های مشاهده‌ای از منابع داده‌ای-کتابخانه‌ای، سازمان آب منطقه استان مرکزی-اراک استخراج شد. برای اندازه‌گیری عمق سطح آب و ارتفاع مطلق سطح آب در حوزه مورد مطالعه در شبکه سنجش آب‌های

ترسیم گردید. همچنین برای هر سال یک نقشه هم-پتانسیل متوسط نیز در نظر گرفته شد. سپس مقادیر حداکثر و حداقل در هر چاه مشاهده‌ای از یکدیگر کسر و یک مقدار به نام مقدار افت در هر سال مشخص گردید که از این داده‌ها برای ترسیم نقشه‌های هم‌افت سالیانه استفاده شد.

جدول ۱- خلاصه وضعیت کاربری اراضی در حوضه در سال‌های مختلف

Table 1- Summary of the status of landuse in basin

نوع کاربری Land use	سال Year			میزان تغییرات کاربری (هکتار) The amount of landuse changes (ha)		
	75	82	98	75-82	82-98	75-98
Irrigated agriculture اراضی آبی	90289	117544	250578	27255	133034	160289
اراضی بدون پوشش و بیرون‌زدگی سنگی Uncovered lands/rock outcrops	4500	4500	4500	0	0	0
Dryland farming دیمزار	152957	166869	74392	13912	-92477	-78565
Meighan Wetland تالاب کویر میقان	10439	11316	8577	877	-2739	-1862
Range مرتع	288846	247872	203846	-40975	-44026	-85000
Residential areas مناطق مسکونی	7226	6158	12365	-1069	6208	5139

نتایج

تا پیش از دهه ۳۰ شمسی شواهدی از وجود چاه‌های عمیق در منطقه گزارش نشده است؛ به عبارتی چاه عمیق در این منطقه نیز از زمان ورود دستگاه حفاری به کشور به تدریج توسعه یافته و متداول شده است. اولین آمار برداری از آب‌های زیرزمینی در منطقه در سال ۱۳۴۹ صورت گرفته است. این اقدام مجدداً در سال‌های ۱۳۶۰، ۱۳۶۴، ۱۳۷۷، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ تکرار شده است (بر طبق زمان‌بندی وزارت نیرو) و در سال ۱۳۹۸^۱ آخرین مورد آمار-برداری از منابع آب زیرزمینی حوزه کویر میقان انجام گرفته است (RWCM, 2023; 2007).

برای منطقه بندی دشت با استفاده از نقشه‌های هم‌افت سالیانه، ابتدا در نرم‌افزار محدوده افت با ارقام مختلف تعریف و طبقه‌بندی گردید و سپس مساحت مربوط به هر یک از طبقات افت به دست آمد. طبقه‌بندی افت بر اساس تغییرات حداقل و حداکثر افت در بازه زمانی مورد مطالعه صورت گرفته است و به دلیل اینکه هدف تنها مقایسه افت بین دو دوره آماری است از روش خاصی تبعیت نشده است. در دوره آماری ۱۳۶۴-۱۳۸۴ با توجه به نوسانات اندک و بازه کوچک‌تر افت طبقات ۱ متر و در بالاترین طبقه به ۱۰ متر می‌رسد (۸ طبقه) اما در دوره آماری ۱۳۹۸-۱۳۸۴ با توجه به نوسانات شدید افت در حوضه، ۱۰ متر افت برای هر طبقه در نظر گرفته شده است (۷ طبقه). با مقایسه اعداد سال‌های مختلف و تعیین میزان کاهش و یا افزایش مساحت مربوط به طبقات، روند تغییرات کمی دشت در دوره‌های آماری تعیین گردید.

۱- آمار سال ۱۳۹۸ تأیید نهایی نشده و در دست بررسی است

جدول ۲- خلاصه وضعیت بهره‌برداری از آب‌های

زیرزمینی در سال‌های مختلف (RWCM, 2023)

Table 2- Summary of the status of ground water exploitation

ردیف	سال آماری	تعداد منبع آبی	تخلیه (مجاز و غیرمجاز) (m.c.m)
No.	Statistical Year	Water resource No.	exploitation
1	1349	265	66.2
2	1360	1022	195.2
3	1364	1977	311.6
4	1377	2657	426.1
5	1382	3456	597.7
6	1387	4872	443.8
7	1398	3844	291.8

همچنان که در جدول ۲ نشان داده شده است، در سال ۱۳۴۹ تعداد چاه عمیق و نیمه عمیق ۲۶۵ حلقه بوده است که در سال ۱۳۸۲ به ۳۴۵۶ حلقه رسیده است. به طوری که در طول مدت مذکور ۳۱۹۱ حلقه چاه‌های بهره‌برداری اضافه شده است. بدین ترتیب افزایش سالانه تعداد چاه‌ها برابر ۹۴ حلقه بوده است. همچنین بر اساس آمار مذکور میزان تخلیه چاه‌ها در طول مدت مذکور جمعاً ۵۳۱/۵ میلیون مترمکعب و به طور سالانه ۱۵/۶۳ میلیون مترمکعب افزایش یافته است؛ اما همچنان که در آماربرداری بعد در سال ۱۳۸۷ نشان می‌دهد علی‌رغم افزایش ۱۴۱۶ حلقه چاه میزان تخلیه چاه‌ها در طول ۶ سال ۱۵۳/۹ میلیون مترمکعب کاهش یافته است که علت می‌تواند عدم تغذیه مناسب سفره آب زیرزمینی در اثر کاهش نزولات جوی و خشک‌سالی و در نتیجه کاهش ذخیره آبخوان در اثر بهره‌برداری‌های بیش از حد توان آبخوان باشد. همان‌طور که در نمودار متوسط بارش سالانه نیز قابل مشاهده است (شکل ۲)، در سال‌های آبی ۷۶-۷۵ تا ۸۸-۸۷ به جز در سال آبی ۸۶-۸۵ میزان بارش کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است.

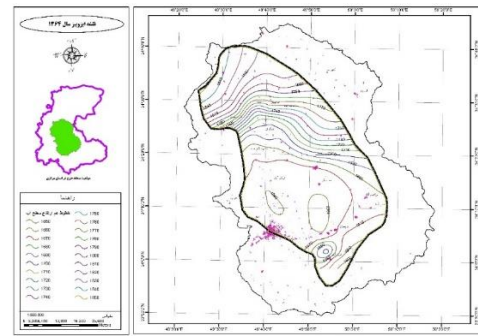
این مهم به همراه برداشت‌های بیش از حد منجر به کاهش ذخیره آبی آبخوان شده است. در آخرین آماربرداری در سال ۱۳۹۸، چاه‌های بهره‌برداری در طی ۱۱ سال به تعداد ۱۰۲۸ عدد حلقه چاه کاهش یافته که به تناسب آن میزان برداشت نیز به رقم ۲۹۱،۸ میلیون مترمکعب تنزل یافته که حتی از رقم برداشت در سال ۱۳۶۴ کمتر است. این کاهش می‌تواند نشان‌دهنده خشک شدن چاه‌ها در اثر افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق دشت و همچنین پیشروی جبهه آب شور زیرزمینی باشد که منجر به عدم استفاده از چاه‌ها گردیده است. نکته قابل ذکر دیگر این است که به دلیل بارش مناسب در سال ۹۸ در دشت اراک، استفاده از منابع آب سطحی بجای آب زیرزمینی توسط بهره‌برداران صورت گرفته و شاهد افت تخلیه در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ می‌باشیم. همچنین در طی این زمان بسیاری از چاه‌های غیرمجاز توسط مراجع قانونی ذی‌ربط پلمپ گردیده و از حلقه مصرف خارج شده است.

نقشه‌های هم‌پتانسیل (ایزوپیز)

مطالعه هر یک از هم‌پتانسیل‌ها در سال‌های مختلف آماری و بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت نشان می‌دهد که از شروع سال ۱۳۶۶-۱۳۶۵ میزان (سطح ایستابی) منحنی-های تراز سطح آب تقریباً به صورت متحدالمرکز از حواشی دشت به سمت کویر میقان و نواحی غرب کویر کاهش یافته است. این مناطق جزو پست‌ترین مناطق دشت محسوب می‌شوند و بنابراین سطح آب زیرزمینی تا حدودی از تراز دشت تبعیت کرده و این مناطق با داشتن کمترین رقم تراز آب به صورت زهکش سفره آب زیرزمینی عمل کرده‌اند (شکل ۳).

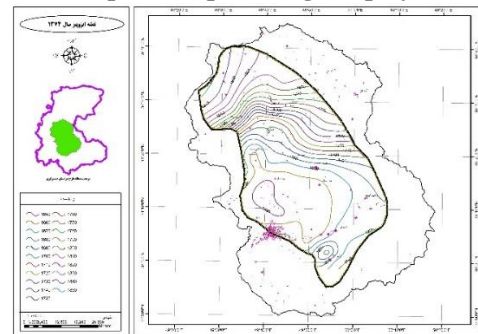
به سمت مناطق غرب، جنوب غربی و جنوب دشت متمرکز شده و سطح آب زیرزمینی افت شدیدی را در دوره ۲۰ ساله در این مناطق نشان می‌دهد (شکل ۵). مقایسه نقشه مکانی چاه‌ها در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ نشان می‌دهد که نقشه افت در این زمان از موقعیت مکانی چاه‌ها تبعیت می‌کند.

بررسی ارتفاع مطلق آب سفره زیرزمینی دشت اراک در سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که منحنی‌های بسته شکل گرفته با کاهش تراز سطح آب زیرزمینی یک‌بار دیگر به سمت مناطق مرکزی دشت متمایل است. مناطق دارای کمترین سطح آب زیرزمینی به‌طور نسبتاً یکنواخت مناطق مرکز، غرب، جنوب و شرق حوضه را پوشش می‌دهند. این منحنی مشابه سال ۱۳۶۴ تا حدودی از تراز دشت تبعیت کرده است. علت این امر افزایش بهره‌برداری در مناطق جنوب و شرق حوضه است (شکل ۶).



شکل ۳- نقشه هم‌پتانسیل سال ۱۳۶۴

Figure 3- Isopieze map of Meighan playa 1986

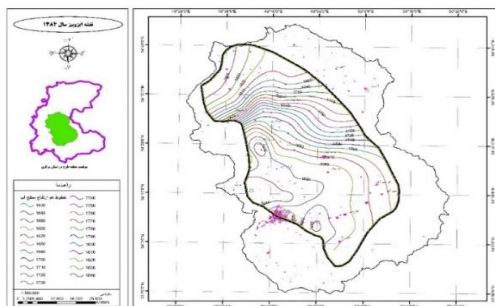


شکل ۴- نقشه هم‌پتانسیل سال ۱۳۷۴

Figure 4- Isopieze map of Meighan playa 1996

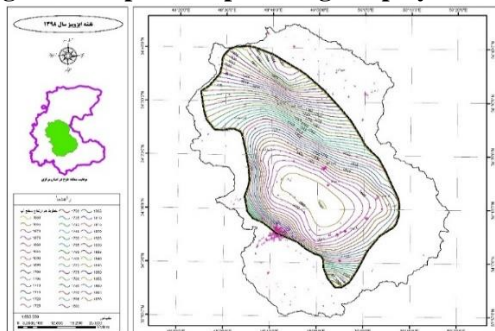
روند تغییرات خطوط هم‌پتانسیل در طی سال‌های بعد تا سال آبی ۱۳۷۴-۱۳۷۵ نشانگر این است که خطوط هم‌پتانسیل رفته‌رفته به‌صورت منحنی‌های بسته‌ای متوجه غرب حوضه گشته و از حوالی کویر میقان دور می‌شوند و در سمت غرب به کمترین میزان ارتفاع مطلق سطح آب می‌رسند. این روند نشان می‌دهد که با دخالت عواملی مانند برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و کاهش نزولات، نقش تراز کویر و زهکش طبیعی سفره توسط کویر میقان کم‌رنگ شده و افت متوجه نقاط دیگر شده است (شکل ۴).

وضعیت ارتفاع مطلق آب سفره زیرزمینی دشت اراک در سال‌های ۱۳۸۴ نشان می‌دهد که منحنی‌های بسته شکل گرفته با کاهش تراز سطح آب زیرزمینی با مرکزیت غرب، جنوب و جنوب غربی به ترتیب رقوم ۱۶۴۰، ۱۶۴۰ و ۱۶۳۰ متر را نشان می‌دهند و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شیب هیدرولیکی سفره کاملاً



شکل ۵- نقشه هم‌پتانسیل سال ۱۳۸۴

Figure 5- Isopieze map of Meighan playa 2006



شکل ۶- نقشه هم‌پتانسیل سال ۱۳۹۸

Figure 6- Isopieze map of Meighan playa 2020

منطقه بندی کمی دشت

برای بررسی تغییرات افت سالانه سطح آب زیرزمینی دشت اراک از مقادیر اندازه گیری شده در فصل و ماه حداکثر و حداقل استفاده گردید و نقش افت سالیانه برای هر یک از سال های آماری تهیه و مساحت تحت اثر هر یک از طبقات افت به صورت سالیانه مشخص گردید. برای انجام این روش ابتدا محدوده و طبقه هایی برای افت تعریف شد و سپس تغییرات مساحت حوضه که تحت تأثیر هر یک از طبقات افت قرار گرفته اند و محدوده هایی که بیشترین تغییرات میزان افت در آنها رخ می دهد بررسی گردید (جداول ۳ و ۴).

جدول ۳- طبقات افت دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۶۴

Table 3- The decline classification in 1986-2006

میزان افت (m)	کلاس افت
Decline amount (m)	Decline class
<1	1
1-2	2
2-3	3
3-4	4
4-5	5
5-6	6
6-10	7
10-20	8

جدول ۴- طبقات افت دوره آماری ۱۳۹۸-۱۳۸۴

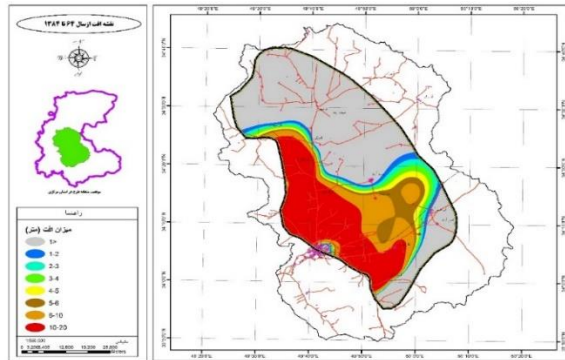
Table 4-The decline classification in 2006-2020

میزان افت (m)	کلاس افت
Decline amount(m)	Decline class
0-10	1
10-20	2
20-30	3
30-40	4
40-50	5
50-60	6
60-70	7

بررسی مساحت طبقات افت در حوضه

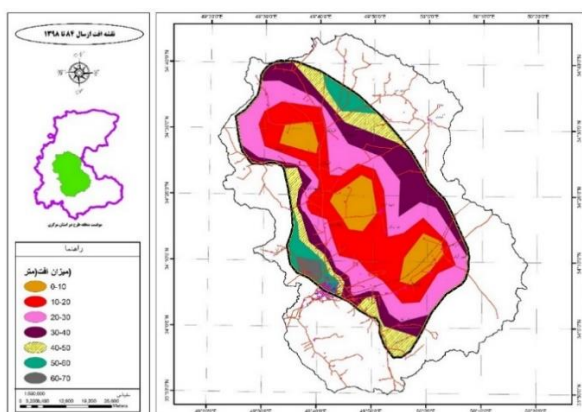
چنانچه تغییرات سطح آب را در دو سال آبی -۱۳۶۴ و ۱۳۶۵ و ۱۳۸۴-۱۳۸۵ و همچنین سال های -۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸ نسبت به یکدیگر در نظر بگیریم

و میزان افت در هر یک از چاه های مشاهده ای را در فاصله به ترتیب ۲۰ و ۱۴ ساله به دست آوریم، نقشه ای حاصل می شود که نشان می دهد بیشترین مناطقی که متحمل افت سطح آب زیرزمینی شده اند، در چه بخش هایی از دشت واقع هستند (جداول ۵ و ۶).



شکل ۷- نقشه افت سال ۱۳۸۴-۱۳۶۴

Figure 7- The decline map 1986-2006



شکل ۸- نقشه افت سال ۱۳۹۸-۱۳۸۴

Figure 8- The decline map 2006-2020

جدول ۵- طبقات افت دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۶۴

Table 5- The decline classification 1986-2006

درصد	مساحت (هکتار)	میزان افت (متر)
Percent	Area	Decline (m)
49.9	142337.7	1>
2.9	8246.6	1-2
3.1	8710.9	2-3
2.9	8145.3	3-4
2.7	7806.1	4-5
5.1	14421.3	5-6
9.9	28360.5	6-10
23.6	67435.6	10-20

کاسته شده و طبقات افت به طور معکوس در این بخش از طبقه ۸ تا ۲ در نواحی شرق دشت تغییر می‌یابد. همان طور که از مقایسه جداول ۵ و ۶ می‌توان برداشت نمود مجموع هفت طبقه افت (حداکثر افت) در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۶۴ اولین طبقه افت (حداقل افت) سطح تراز آب‌های زیرزمینی در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۹۸ است در حالی که حدود ۵۰ درصد از مساحت حوضه در دوره آماری نخست، افت حدود ۱ متر را تجربه کرده‌اند در دوره آماری دوم، این عدد به حدود ۱۱ درصد تنزل یافته و حدود ۵۵ درصد حوضه بین ۱۰ تا ۳۰ متر افت سطح تراز را نشان می‌دهند.

کمترین طبقات افت در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۹۸ مربوط به طبقات ۱ و ۲ است که همچون نوار پهنی از شمال غرب حوضه به جنوب شرق آن گسترده شده است. در حاشیه شمال و شمال شرق و همچنین جنوب، غرب و جنوب غرب حوضه مناطقی با بیشترین میزان افت مشاهده می‌گردد که هر چه از سمت مرکز به اطراف دشت پیشروی کنیم، میزان افت افزایش خواهد یافت. در محدوده شهر اراک افت بین ۴۰ تا ۶۰ متر قابل مشاهده است (شکل ۸). بر اساس جدول مساحت کاربری اراضی (جدول ۱) در سال‌های مختلف مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش سطح مربوط به اراضی آبی است که این افزایش ناشی از کاهش سطح اراضی دیم و مراتع است. همچنین نکته قابل توجه کاهش سطح تالاب کویر میقان به میزان ۱۸۶۲ هکتار است. این تغییرات بیانگر میزان افزایش برداشت از سطح سفره جهت تأمین نیاز آبی اراضی کشاورزی جدید است. بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده، مشخص شد که بیشترین مقدار افت در مناطقی صورت گرفته

جدول ۶- طبقات افت دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۹۸

Table 6- The decline classification 1986-2006

درصد	مساحت (هکتار)	میزان افت (متر)
Percent	Area	Decline (m)
10.6	30339.6	0-10
26.0	74331.7	10-20
28.1	80099.1	20-30
18.8	53798.8	30-40
9.9	28389.8	40-50
5.2	14907.1	50-60
1.3	3597.8	60-70
100.0	285463.9	Total

با بررسی نقشه تغییرات سطوح آب زیرزمینی از سال ۱۳۶۴-۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴-۱۳۸۵ می‌توان دریافت که مناطق شمالی و شرقی دشت تغییرات قابل ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهند و روند نسبتاً ثابتی دارند. در این مناطق تغییرات بین ۱- تا ۳- متر دیده می‌شود اما در مناطق غربی و در جنوب دشت همان گونه که از نقشه‌های هم‌پتانسیل مشهود است، منحنی‌های متحدالمرکز افت سطح آب زیرزمینی تا حداکثر ۲۰ متر را نشان می‌دهند. میزان افت در محدوده شهر اراک از ۱- تا حدود ۱۱- متر در اطراف آن تغییر می‌کند (شکل ۷).

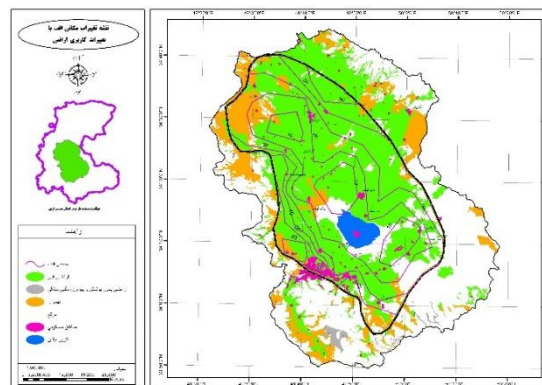
همان طور که در جدول شماره ۵ ذکر شده است، حدود ۵۰ درصد از مساحت حوضه (تقریباً ۱۴۰ هزار هکتار) در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۶۴ افت کمتر از یک متر را تجربه کرده‌اند که در بخش‌های شمال، شمال شرق و جنوب شرق حوضه واقع شده‌اند. در مرتبه بعد و در نقطه مقابل تقریباً ۲۴ درصد مساحت حوضه در این دوره آماری بالاترین میزان افت، طبقه ۸ را به خود اختصاص داده‌اند. نقشه هم‌افت نشان می‌دهد که جنوب غربی دشت بیشترین افت سالانه را در طبقه ۸ نشان می‌دهد و به سمت شرق دشت به تدریج از میزان افت

به‌عنوان زهکش طبیعی دشت عمل می‌کرده است، اما در طی دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۶۴ با افزایش و تمرکز چاه‌های بهره‌برداری در بخش غربی و جنوب غربی دشت، کمترین تراز سطح آب زیرزمینی در مناطق غرب و جنوب غربی دشت قرار گرفته است و بنابراین می‌توان گفت در دشت اراک از شمال به سمت جنوب و از شرق به سمت غرب از ارتفاع مطلق سطح آب زیرزمینی کاسته می‌شود و شیب هیدرولیکی آبخوان به سمت مناطق غربی متمایل. در طی دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۹۸ همچنان روند نزولی سطح ایستابی آب زیرزمینی در مناطق غرب حوضه به‌شدت در حال افزایش است که متأسفانه این روند در بخش‌های جنوبی و شمالی حوضه نیز به دلایل خشک‌سالی و بهره‌برداری‌های صورت گرفته، کشیده شده است و (2012) Ghiabi *et al.*, و (2022) Faraji & Fatemi

نتایج مشابهی در این زمینه دست‌یافته‌اند. با مطالعه تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت در طی دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۶۴ می‌توان به این نتیجه دست‌یافت که بیشترین افت سطح آب به مقدار بالای ۱۰ متر، حداکثر ۲۰ متر در مناطق غرب و جنوب غرب حوضه رخ داده است و به سمت مناطق شرقی حوضه کشیده شده است اما مجموعه تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی طی سال‌های یادشده در شمال شرق، شمال، شمال غرب و جنوب شرقی حوضه در حدود ۱-۱ متر بوده است اما در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۹۸ طبقات افت به طرز چشمگیری افزایش یافته به نحوی که در غرب، جنوب غرب، شمال و شمال شرق حوضه شاهد افزایش افت سطح ایستابی آب زیرزمینی تا ۷۰ متر می‌باشیم.

تعداد منابع بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی دشت اراک از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۸ افزایش بسیار سریعی داشته است که همراه با افزایش تخلیه آب از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق حوضه بوده است که این روند در

که بیشترین تغییرات کاربری اراضی رخ داده و اراضی دیم و مرتع به اراضی آبی تبدیل شده است (شکل ۹).



شکل ۹- تلفیق نقشه افت سال ۱۳۸۴-۱۳۹۸ با تغییرات کاربری اراضی

Figure 9-Matching the decline map 2006-2020 with landuse changes

بحث

با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌های بارندگی و ارتفاع مطلق سطح آب زیرزمینی دشت اراک، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که میزان بارندگی به‌طور مستقیم بر نوسانات سطح ایستابی اثر نمی‌گذارد. البته این امر به این معنا نیست که تغییرات میزان بارندگی اثری بر نوسانات سطح ایستابی ندارد بلکه گویای این واقعیت است که سایر عوامل به‌ویژه کاهش منابع آب سطحی (خشک‌سالی) و بهره‌برداری شدید و غیراصولی از منابع آب زیرزمینی تأثیر بیشتری بر نوسانات سطح ایستابی داشته به‌گونه‌ای که حتی در مواردی که میزان بارندگی در چند سال پیاپی افزایش یافته است، روند تغییرات سطح آب زیرزمینی به دلیل تأثیر سایر عوامل حالت نزولی داشته است که تحقیقات Jia *et al.* (2018)، Ansari (2018) و Ebrahimikhusfi (2019) نیز مؤید همین مطلب است.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در سال‌های ماقبل سال آبی ۱۳۶۵-۱۳۶۴ شیب هیدرولیکی آبخوان دشت اراک از تراز دشت تبعیت می‌نموده و کویر میقان

- جلوگیری از صدور هرگونه پروانه حفر و بهره‌برداری یا تعمیر و تعویض محل چاه در مناطق بحرانی دشت.
- کنترل مقدار برداشت از آب‌های زیرزمینی در چاه‌ها در حد پروانه‌های بهره‌برداری و انجام عملیات تغذیه مصنوعی در مناطق مستعد جهت افزایش سطح سفره آب زیرزمینی.
- بالا نگه‌داشتن سطح آب در آبخوان‌ها بارانمایی و ترغیب کشاورزان در کاشت محصولاتی که نیازمند آبیاری کمتری هستند و راهنمایی کشاورزان برای کاشت گیاهان مقاوم به شوری در مناطقی که دارای آب نسبتاً شور هستند.
- کنترل و مدیریت بهره‌برداری و بهره‌گیری از مدیریت صحیح و علمی منابع آب به‌منظور جلوگیری از کاهش بیشتر کیفیت و کمیت آبخوان شدیداً تأکید و توصیه می‌گردد.
- تهیه برنامه‌های مقابله با خشک‌سالی به‌صورت استانی و تهیه دستورالعمل‌های موردنیاز با تفکیک وظایف و مسئولیت‌های واحد اجرایی و ارتباط آن‌ها در استان‌های مختلف برای اجرایی شدن دستورالعمل‌ها و تشکیل یک کارگروه ویژه جهت مدیریت یکپارچه کلیه منابع حوضه.
- ترغیب بهره‌برداران عمده آب برای رعایت طرح‌ها و اصول مقابله با خشک‌سالی و توسعه برنامه‌های آموزشی و یافتن راه‌هایی برای جلب مشارکت مردمی و صرفه‌جویی در منابع و مصارف آب آبیاری، شرب و صنعت.
- فعالیت‌های بیولوژیکی و احیا و ایجاد پوشش گیاهی.

سال ۱۳۸۷ علیرغم افزایش حلقه چاه‌های بهره‌برداری به یکباره کاهش یافته و در آخرین آماربرداری (۱۳۹۸) هم تعداد منابع برداشت و هم میزان بهره‌برداری به طرز چشمگیری کاسته شده است. از علل آن می‌توان عدم تغذیه مناسب سفره آب زیرزمینی در اثر کاهش نزولات جوی و خشک‌سالی در سال‌های ماقبل و در نتیجه کاهش ذخیره آبخوان در اثر بهره‌برداری‌های بیش‌ازحد توان آبخوان نام برد. همچنین این کاهش می‌تواند نشان‌دهنده خشک شدن چاه‌ها در اثر افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق دشت و پیشروی جبهه آب‌شور زیرزمینی باشد که منجر به عدم استفاده از چاه‌ها گردیده است. نکته قابل‌ذکر دیگر این است که بارش مناسب سال ۱۳۹۸ و استفاده بیشتر بهره‌برداران از منابع آب سطحی و همین‌طور پلمپ بسیاری از چاه‌های غیرمجاز توسط مراجع قانونی ذی‌ربط می‌تواند دلایل دیگر آن باشد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

همان‌گونه که از وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت اراک مشخص است در قسمت‌هایی از دشت مانند نواحی غربی، جنوبی و جنوب غرب و شمال ابتدا نیازمند اقدام سریع و قابل‌اجرا در کوتاه‌مدت هستیم و سپس باید اقدامات اساسی در جلوگیری از روند پیشروی جبهه آب شور و کاهش کمیت و کیفیت آبخوان صورت گیرد. برای بهبود وضع آبخوان و استفاده بهینه از آب‌های زیرزمینی موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

References

Abdinejad, Gh.A. & Nateghi, D. (2010). *Critical factors affecting Meyghan desertification and practical solutions for achieving its sustainable development*. The first national conference on combating desertification and sustainable development of desert wetland Iran, 16 to 17

June. Country Forests and Rangelands Organization. Arak, Iran. (In Persian).
Al-Bahrani, H. S., Al-Rammahi, A. H., Al-Mamoori, S. K., Al-Maliki, L. A. & Nadhir, A. A. (2022). Groundwater detection and classification using remote sensing and GIS in Najaf, Iraq. *Groundwater for Sustainable Development*, 19, 100838.

- Alemohammad, S., Yavari, A. R., Salehi, S. & Zebardast, L. (2014). Using the strategic environmental assessment for compilation polices of sustainable development plan in Lake Urmia. *Journal of Environmental Studies*, 40(3), 645-667. (In Persian).
- Amiri, M. J., Karbasi, A. R., Zoghi, M. & Sadat, M. (2015). Detection of climate changes by mann-kendall analysis and drought indexes (Case study: Agh Gol wetland). *Journal of Environmental Studies*, 41(3), 545-561. doi: 10.22059/jes.2015.55896. (In Persian).
- Ansari, A. (2018). Recognition and Evaluation of the Environmental Status of Meighan Wetland and Planning for a Sustainable Development. *Journal of Environmental Researches*, 9(17), 29-42. (In Persian).
- Dolan, F., Lamontagne, J., Link, R., Hejazi, M., Reed, P. & Edmonds, J. (2021). Evaluating the economic impact of water scarcity in a changing world. *Journal of Nature communications*, 12(1), 1-10.
- Ebrahimikhusfi, Z., Khosroshahi, M., Naeimi, M. & Zandifar, S. (2019). Evaluating and monitoring of moisture variations in Meyghan wetland using the remote sensing technique and the relation to the meteorological drought indices. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(2), 1-14. (In Persian).
- Ebrahimikhusfi, Z., vali, A., khosroshahi, M. & ghazavi, R. (2017). Investigation of the role of bed dried Gavkhooni wetland on the production of the internal dust using remote sensing and duststorms (Case study: Isfahan province). *Journal of Rangeland & Desert Reseach* .24(1), 152-164. doi: 10.22092/ijrdr.2017.109857. (In Persian).
- Eslamian, S. & Eslamian, FA. (2017). *Handbook of Drought and Water Scarcity: Environmental impacts and analysis of drought and water scarcity*. CRC Press, 689 pp.
- Ensafimoghaddam, T. (2020). Trend analysis of annual, seasonal and monthly groundwater level (Case study: sub-basin of Arak Mighan). *Journal of Rangeland & Desert Reseach*.27(3), 516-544. doi: 10.22092/ijrdr.2020.6785.1075. - (In Persian).
- Faraji, M. & Fatemi, B. (2022) Comparative analysis of remote sensing water indexes for wetland water body monitoring using Landsat images and the Google Earth Engine Platform (A Case study: Meighan Wetland, Iran). *Journal of geospatial Information Technology*; 10 (2), 39-62. (In Persian).
- Ghadimi, F. (2014). Assessment of the sources of chemical elements in sediment from Arak Mighan Lake. *Inter. Journal of. Sed. Res.* 29: 159-170.
- Ghadimi, F. (2021). Determining the Origin of Chemical and Biological Pollutants in the Water of Mighan Wetland in Arak. *Geography and Environmental Planning*, 31(4), 131-150. doi: 10.22108/gep.2021.125608.1366. (In Persian).
- Ghadimi, F. & Ghomi, M. (2013). Assessment of the effects of municipal wastewater on the heavy metal pollution of water and sediment in Arak Mighan Lake, Iran. *Journal of Tethys*. 1: 205-214.
- Ghahroudi Tali, M., Mirzakhani, B. & Asgari, A. (2012) Desertification and playa expansions in Everglades of Iran (Case study: Meghan Lake). *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 1: 4. 97-112. (In Persian).
- Ghiabi, P., Moradi, GH. R. & Naeibi, M. (2012). *Drought zoning of Meighan Playa using SPI*, 1st National Conference on Agrometeorology and Agricultural Water Management, Karaj, <https://civilica.com/doc/173259>. (In Persian).
- Isah, A., Akinbiyi, O. A., Ugwoke, J. L., Ayajuru, N. C. & Oyelola, R. O. (2023). Detection of groundwater level and heavy metal contamination: A case study of Olubunku dumpsite and environs, Ede North, Southwestern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 197, 104740.
- Izadikian, L., Piri, N., Akbari, M.J. & Molaei, M. (2020). Morphotectonic investigation of Talkhab and Tozlugol faults and formation of the Meyghan playa, Arak. *Iranian Journal of Geology*, 58(58), 1. (In Persian).
- Jabbari, E., Fathi, M. & Moradi, M. (2020). Modeling groundwater quality and quantity to manage water resources in the Arak aquifer, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(14), 663. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05681-4>.
- Jia, J., Huang, C., Bai, J., Zhang, G., Zhao, Q. & Wen X. (2018). Effects of drought and salt stresses on growth characteristics of

- euhalophyte *Suaeda salsa* in coastal wetlands. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 103: 68-74.
- Kafi, M. & Jami-Alahmadi, M. (2020) *The challenges of the agricultural sector in facing drought and water shortage and possible solutions*. 16th national Iranian crop science congress, Ahvaz, <https://civilica.com/doc/1149470>. (In Persian).
- Khangholi, E., Naderi, M., Hadipour, M. & Aalipour ardi, m. (2018). An investigation on the water requirement of Mighan desert wetland. *Journal of Wetland Ecobiology*, 10(37), 91-102. <https://sid.ir/paper/174906/en>. (In Persian).
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S. & Oki, T. (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Journal of Earth's future*, 5(6), 545-559.
- Mahdianpari, M., Jafarzadeh, H., Granger, J. E., Mohammadimanesh, F., Brisco, B., Salehi, B. & Weng, Q. (2020). A large-scale change monitoring of wetlands using time series Landsat imagery on Google Earth Engine: a case study in Newfoundland. *Journal of GIScience & Remote Sensing*, 57(8), 1102-1124.
- Pokhrel, Y., Burbano, M., Roush, J., Kang, H., Sridhar, V. & Hyndman D. (2018). A review of the integrated effects of changing climate, land use, and dams on Mekong River hydrology. *Journal of Water*, 10(3): 266-291.
- Regional Water Company of Markazi Province-RWCM (2007) *Qualitative statistics report of Arak Plain water resources*. Basic water resources studies. Laboratory. <http://www.marw.ir>.
- Regional Water Company of Markazi Province-RWCM (2023) *Qualitative statistics report of Arak Plain water resources*. Basic water resources studies. Groundwater Studies Department. <http://www.marw.ir>.
- Sadeghi, S. (2015). *Multi-criteria Spatial Evaluation and Modelling of Farm Dam Site Suitability for Water Harvesting and Conservation (Doctoral dissertation)*. The University of Sydney, Australia.
- Sadeghi, S. (2007) *Investigation of Groundwater Properties (A case study: Around Meighan Playa)*. A Thesis submitted for the degree of Master of Science (MSc) in Watershed Management, The University of Mazandaran, Natural Resources Faculty, Sari, Iran. 148P. (In Persian).
- Safari Sanjani, A. A. & Safari Sanjani, M. (2017). Chemical properties of surface water-inflows and their effects on soils of Meyghan Lake in Arak. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), 123-142. (In Persian).
- Solaimani, K. & Sadeghi, S. (2009). Detection of ground water changes using geographic information system (a case study; Arak plain, Iran). *Journal of Applied Sciences*, 9(7), 1338-1343.
- Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V. & Angelakis, A. N. (2020). Water supply and water scarcity. *Journal of Water*, 12(9), 2347.