مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۱، تابستان ۱۴۰۱، صص ۱۷۱-۱۸۵

تأثیر احداث سد ماملو بر فرونشست اراضی دشت ورامین

صادق قوامی جمال[۱]*

sadegh.ghavami@asihe.ac.ir

حامد غلامی[۲]

مهرداد رجبی حران[۳]

محمد حسین مبینی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۲۲ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۲**

چکیده

زمینه هدف: سد ماملو در استان تهران برای تأمین نیاز آب کشاورزی در دشت ورامین احداث گردیده، اما به دلیل تأمین آب شرب شهر تهران حجم محدودی از آب ذخیره شده به سمت دشت عرضه می‌شود. از مهم‌ترین اثرات عدم عرضه کافی آب سطحی در دشت ورامین، کاهش سطح سفره‌های زیرزمینی و نشست زمین است. در این پژوهش سعی می‌شود به بررسی تأثیر سد ماملو بر میزان فرونشست دشت ورامین پرداخته شود.

روش بررسی: تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه، تغییرات هیدروگراف واحد دشت و تغییرات کمّی آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی که در پایین دست سد قرار دارد در دو مقطع زمانی قبل و بعد از بهره‌برداری مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

یافته ها: بر اساس نتایج به دست آمده از شبکه پیزومتری منتخب و با توجه به تقسیم‌بندی محدوده مطالعاتی به دو منطقه شمالی و جنوبی، بیشترین مقدار افت در بخش شمالی بود و پس از احداث سد ماملو نقاط تخلیه جدیدی بر اساس نقشه‌های هم‌پتانسیل در نقاط شمالی و مرکزی به وجود آمد که مراکز جمعیتی و کشاورزی در آن قرار داشت و در نقاط جنوبی هم به دلیل نوع ساختار زمین‌شناسی و ضخامت کمتر آبرفت، خالی شدن منافذ لایه آبدار منجر به نشست در برخی مناطق گردیده است. در نهایت خروجی نقشه‌های آب زیرزمینی با نقشه‌های زمین‌شناسی و خروجی داده‌های راداری ماهواره‌ها مقایسه شد و انطباق مناطقی که از نظر تخلیه آب زیرزمینی

۱- عضو هیات علمی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی، گرمسار، ایران.

۲- فارغ‌التحصیل کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی، گرمسار، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۴- عضو هیات علمی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و فرهنگ

بیشترین افت را داشته‌اند با نقاطی که بیشترین جابجایی عمودی در مناطق جنوبی و در مناطق مرکزی در نقشه‌های راداری را دارا بودند کاملاً مشخص بود.

بحث و نتیجه گیری: با بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل افت پیزومترهای محدوده مطالعاتی دشت ورامین و گسترش تعداد و عمق چاه‌های عمیق در سطح دشت مذکور، تغییر در رژیم جریان آب زیرزمینی و کم شدن حجم آبخوان واضح است. بعد از احداث سد ماملو مقدار این افت به ویژه در اراضی بخش شمالی افزایش یافته و عدم برنامه‌ریزی صحیح در تأمین نیازهای بخش کشاورزی دشت که سهم عمده‌ای از مصرف آب استحصال شده از منابع زیرزمینی را داراست، شرایط اقلیمی و اجتماعی پایین دست سد را با چالش‌هایی اساسی مواجه کرده است. با توجه به ساخته شدن سد ماملو درست در محل ورود رودخانه جاجرود به دشت ورامین، عملاً با کاهش چشمگیر جریان سطحی به منطقه، به مرور زمان تراز سطح ایستابی نیز با کاهش مواجه شده است. این کاهش در نیمه شمالی دشت و در مناطقی که ضخامت آبرفت بیشتر است، مقادیر بالاتری داشت. بر اساس خروجی نقشه‌های ماهواره‌ای و فرونشست تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری، نواحی‌ای که دچار مقدار تخلیه و افت بیشتری در طول دوره آماری بود منطبق بر مناطق دارای نشست بیشتر در نقشه‌های فرونشست است.

واژه‌های کلیدی: سد ماملو، فرونشست زمین، سطح آب زیرزمینی، آبخوان، دشت ورامین

Human and Environment, No. 61, Summer 2022, pp. 171-185

Effect of the Construction of Mamloo Dam on Land Subsidence in Varamin Plain

Sadegh Ghavami Jamal[1*]

sadegh.ghavami@asihe.ac.ir

Hamed Gholami[2]

Mehrdad Rajabi[3]

Mohammad Hossein Mobini[4]

Received: October 13, 2020 Accepted: January 11, 2021

Abstract

Objective: Mamloo dam in Tehran province has been built to meet the needs of agricultural water in Varamin plain, but due to the drinking water supply in Tehran, a limited amount of stored water is supplied to the plain. One of the most important effects of the insufficient supply of surface water in Varamin plain is the reduction of groundwater aquifers and land subsidence. In this study, the effect of the Mamloo dam on land subsidence in the Varamin plain was investigated.

Analysis method: The changes in groundwater level and the unit hydrograph of the plain and quantitative changes of groundwater in the study area of Varamin plain located downstream of the dam were studied and analyzed in two periods before and after the operation of the Mamloo dam.

Findings: Based on the results obtained from the selected piezometric network and according to the division of the study area into northern and southern regions, the greatest amount of decline was in the northern part. After the construction of the Mamloo Dam, new evacuation points were created based on the potential maps in the northern and central parts, where the population and agriculture centers were located. In the south, due to the type of geological structure and less alluvial thickness, the emptying of the pores of the aqueous layer has led to subsidence in some areas. Finally, the adaptation of the areas with the greatest decrease in groundwater discharge to the areas with the highest vertical displacement in the southern and central regions in the radar maps was quite clear.

Discussion and Conclusion: By investigating the results obtained from the analysis of the drop of piezometers in the study area of Varamin plain and the expansion of the number and depth of deep wells in the mentioned plain, the change in the underground water flow regime and the reduction of the aquifer volume are clear. After the construction of the Mamloo dam, the amount of this drop has increased, especially in the lands of the northern part. In addition, the lack of proper planning in

1- Instructor, Department of Civil and Environmental Engineering, Alaodoleh Semnani Institute of Higher Education, Garmsar, Iran

2- Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Alaodoleh Semnani Institute of Higher Education, Garmsar, Iran

3- Master's Student, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Science and Culture, Tehran, Iran

meeting the needs of the agricultural sector of the plain, which has a major share in the consumption of water obtained from underground sources, has caused major challenges in the climatic and social conditions downstream of the dam. Due to the construction of the Mamloo dam at the entrance of the Jajrood River to Varamin plain, the level of the water table has decreased over time due to the significant reduction of surface flow to the region. This decrease had higher values in the northern half of the plain and in the areas where the thickness of alluvium is greater. Based on the output of satellite and subsidence maps, the areas that experienced more discharge and drop during the statistical period correspond to the areas with more subsidence in the subsidence maps.
Keywords: Mamloo dam, Land subsidence, Groundwater level, Aquifer, Varamin plain

مقدمه

از هزار سال پیش به منظور تأمین دو نیاز اصلی مصارف آب شُرب و کشاورزی، سدسازی مرسوم بوده است و در کشور ایران که دارای توزیع نامناسب مکانی و زمانی بارش می‌باشد، سدها از مهم‌ترین سازه‌هایی به شمار می‌آیند که در تنظیم جریان‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کنار مزایای ساخت سدها، آثار منفی نیز وجود دارد که از جمله آن‌ها می توان به اثرات نامطلوب زیست‌محیطی، فرسایش رودخانه پایین دست سد، تخریب ارتباطات اجتماعی و فرهنگی اشاره کرد (۱-۳). در زمینه تأثیرات نامطلوب احداث سدها مطالعات کمی انجام شده است که یکی از دلایل آن می‌تواند این باشد که در پروژه‌های سدسازی به جای مطالعات دقیق علمی در زمینه‌های اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی احداث سدها، به پیش‌بینی میزان این اثرات مبتنی بر تحقیقات مشابه اکتفا شده است. احداث سازه‌هایی نظیر سد علاوه بر تأثیرات مستقیم بر شرایط طبیعی جریان آب در منطقه، اثرات متعدد غیرمستقیم نیز بر محیط زیست منطقه و منابع آب زیرزمینی پایین دست خواهد داشت. به طوری‌که سازمان رودهای بین‌المللی در سال ۲۰۱۳ اعلام می‌کند که در احداث سدها، اثرات زیست‌محیطی ناشی از ساخت سدها بر عوامل و منافع اقتصادی ارجحیت دارد (۴).

فرونشست تدریجی و ناگهانی سطح زمین که امروزه برخی از دشت‌های ایران را تهدید می‌کند، پدیده‌ای است که تحت تأثیر تحولات طبیعی و مصنوعی صورت می‌گیرد و صدمات ناشی از آن می‌تواند فاجعه‌بار باشد. پدیده فرونشست زمین از پدیده‌های مورفولوژیکی به شمار می‌آید که طبق تعریف سازمان زمین شناسی ایالات متحده شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند با مقدار اندکی جابجایی افقی نیز همراه باشد و این حرکت از نظر شدت، وسعت و میزان مناطق درگیر محدود نیست. فرونشست زمین ممکن است به طور کلی ناشی از دلایل عمده‌ای از جمله انحلال تشکیلات زیرسطحی، تراکم رسوبات در اثر استخراج سیالات و ذخایر زیرزمینی، بارگذاری، زهکشی، ارتعاش، تراکم هیدرولیکی، فرسایش مکانیکی زیرسطحی، جریان جانبی، ناپایداری خاک در سطوح شیب‌دار، انقباض خاک‌های رسی، ذوب یخ لایه‌های منجمد در اعماق زمین و فرونشست زمین‌ساختی باشد (۵). افت غیر یکنواخت آب زیرزمینی در قسمت‌های گوناگون آبخوان‌ها منجر به تراکم ناهمگون آبرفت و در نتیجه نشست سطح زمین و ایجاد ترک، شکاف یا چاله‌های عظیم در سطح زمین می‌گردد که می‌تواند به سازه‌های سطحی و زیرسطحی و شریان‌های حیاتی آسیب وارد سازد. امروزه رخداد فرونشست زمین در بیش از ۱۵۰ شهر مهم جهان گزارش شده است. در ایران، اولین دشتی که در آن نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی گزارش شده است دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ بوده که به ازای هر ده متر افت سطح آب زیرزمینی، حدود ۴۱ سانتی‌متر نشست سطح زمین گزارش گردید. با توجه به فراگیر شدن مخاطرات محیطی فرونشست زمین در بسیاری از دشت‌های بحرانی کشور که هم اکنون تعداد آن‌ها براساس گزارش‌ها به ۳۰۰ دشت می‌رسد (۶)، لزوم بررسی عوامل مؤثر بر این مخاطره و پیامدهای ژئومورفولوژیکی آن مهم است.

مطالعات انجام شده بر اثرات احداث سد ژاو بر پایین‌دست رود زینگوان در زیمبابوه نشان می‌دهد که رژیم جریان رودخانه با وجود سد تغییرات قابل‌توجهی دارد و علاوه بر کاهش سطح سفره آب زیرزمینی در این منطقه باعث نابودی بخشی از پوشش گیاهی در پایین‌دست سد نیز شده است (۷). براساس اطلاعاتی که از پیزومترهای حفر شده در آبخوان دشت زاگرب در کرواسی به دست آمد مشخص شد که در بیشتر آبخوان‌ها، سطح آب زیرزمینی با افت روبه‌رو بوده است. در برخی نقاط که چاه تخلیه وجود داشته، افت بیشتری مشاهد شد که این افت پس از احداث سد بر رودخانه ساوا، شدت بیشتری پیدا کرده است (۸). نتایج به دست آمده نشان داد که حتی سدهای کوچک نیز می‌توانند اثر منفی قابل‌توجهی بر سطح آب‌های زیرزمینی در مناطق زراعی داشته باشند. در تحقیق دیگری نشان داده شده است که سدسازی با قطع جریان آب‌های سطحی، کیفیت و کمیت آب روخانه را به صورت گسترده تحت تأثیر قرار دهد (۹). به صورت موردی در رودخانه لوآر در

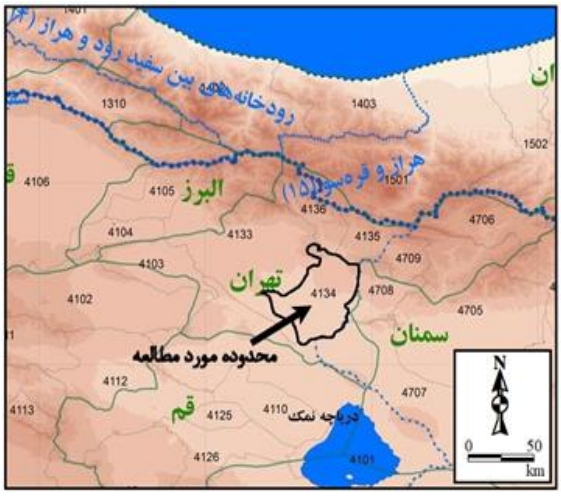
فرانسه خطوط جریان پس از ساخت سد، تغییر قابل ملاحظه‌ای داشت و در فصول کم آبی جریان آب از آبخوان به رودخانه، موجب پایین آمدن سطح ایستابی می‌شود که ورود آب رودخانه به سد، بر شدت این افت می‌افزاید.

سد ماملو که یکی از اهداف آن تأمین بخشی از نیاز آب شرب مناطق جنوبی شهر تهران و شهرستان‌های جنوب شرقی است، در تعریف حق‌آبه‌های تخصیصی به بخش‌های مختلف عملاً راهکاری برای جبران نیاز آبی کشاورزان و حق‌آبه‌های زیست‌محیطی و در نهایت تعادل بخشی زیر سطحی نداشت. لذا آثار و پیامدهای اقلیمی، اجتماعی و اقتصادی آن برای پایین دست روز به روز بیشتر می‌شود. کاهش سطح آب زیرزمینی، نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی و هجوم آب‌های نامطلوب از سمت غرب به منطقه، کاهش سطح زیر کشت نواحی جنوبی، تغییر الگوی کشت کشاورزان و روی آوردن به کشت‌های با نیاز آبی کم، پیش‌روی مناطق بیابانی، تغییر در کاربری اراضی کشاورزی، کاهش و بعضاً خشک‌شدن سطح آب تالاب بند علیخان در جنوب دشت ورامین که نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در مهار و کاهش ریزگردها دارد و از همه مهم‌تر کم شدن حجم ذخیره و ضریب ذخیره آبخوان دشت و نشست زمین در بعضی از نواحی، برخی از اثرات تغییر رژیم جریان سطحی و زیر سطحی در پایین دست سد ماملو است. هدف اساسی از انجام این پژوهش بررسی وضعیت کمّی آب‌های زیر زمینی در منطقه مطالعاتی دشت ورامین و فرونشست زمین پس از بهره برداری از سد ماملو خواهد بود.

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه حوضه آبریز دشت ورامین در جنوب شرقی استان تهران و در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز، قرار دارد (شکل۱). این حوضه از شرق به حوضه‌های آبریز ایوانکی و گرمسار، از غرب به حوضه‌های آبریز تهران، پشاپویه وکرج، از جنوب به حوضه آبریز رودخانه گُلو (در مجاورت یال شمالی ارتفاعات سیاه‌کوه) واز شمال به لواسانات محدود گردیده است. رودخانه‌هایی که وارد این دشت می‌شوند رودخانه‌های شور و جاجرود می‌باشند. رودخانه جاجرود که اصلی‌ترین منبع آب سطحی این دشت است از شمال شرق و رودخانه شور از شمال غرب وارد این محدوده می‌گردند.

از دیدگاه زمین آبشناختی دشت ورامین دارای سه نوع آبخوان آزاد، تحت فشار و معلق بوده است. آبخوان شمال دشت از نوع آزاد و در مرکز و جنوب آن از نوع تحت فشار بوده و ضمن این که سفره‌های معلق بسیاری نیز در بخش شمالی به طور پراکنده وجود دارند. در سال‌های اخیر به دلیل بهره‌برداری بیش از حد مجاز از آب زیرزمینی و افت سطح پیزومتری، آبخوان در قسمت مرکز و جنوب دشت از صورت تحت فشار به صورت آزاد تغییر حالت داده است.



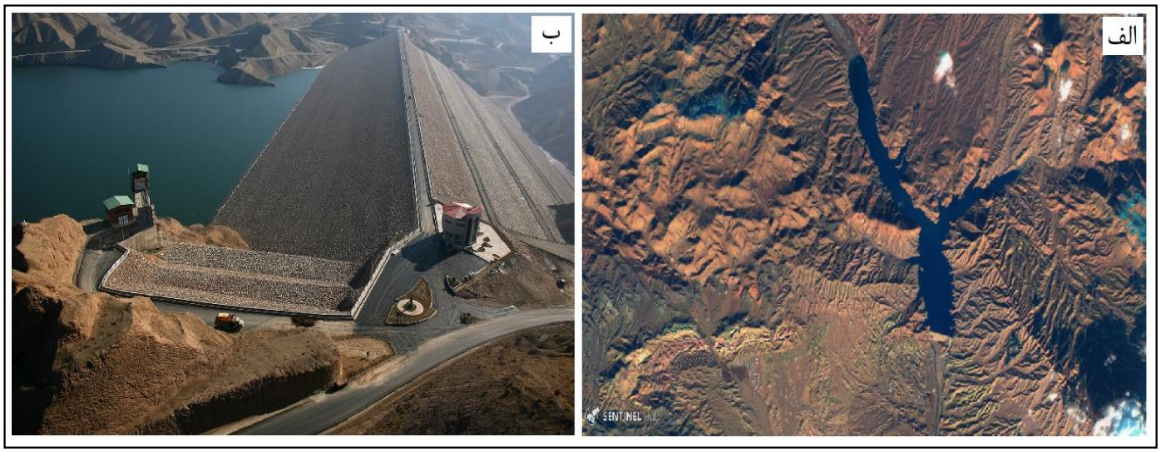
شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی دشت ورامین

Figure 1- The location of the study area in Varamin Plain

سد ماملو

سد ماملو یک سد خاکی با هسته رسی است که بر رودخانه جاجرود در ۲ کیلومتر پایین‌تر از محل تلاقی رودخانه دماوند با رودخانه جاجرود احداث و در حدود ۴۵ کیلومتری شرق تهران و ۱۵ کیلومتری شمال شهر پاکدشت واقع شده است. عملیات ساختمانی سد ماملو در سال ۱۳۷۹ آغاز و آبگیری اولیه سد در دی ماه ۱۳۸۶ انجام گردید. مساحت حوضه آبریز ۱۷۵۰ کیلومترمربع و متوسط جریان آب سالانه حدود ۲۸۴

میلیون مترمکعب است. شکل ۲ تصویر ماهواره‌ای از سد ماملو و بدنه اصلی آن و جدول ۱ مشخصات این سد را نشان می‌دهد.



شکل ۲- الف) تصویر ماهواره‌ای سد ماملو، ب) تصویر بدنه اصلی سد ماملو

Figure 2- a) satellite image of Mamloo dam, b) image of the main body of Mamloo dam

جدول ۱- مشخصات عمومی سد ماملو (منبع: شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران)

Table 1- General characteristics of Mamloo dam (source: Regional Water Company of Tehran)

طول تاج	۸۰۷ m	ظرفیت سرریز تخلیه	۲۳۴۰ m^3/s	ضریب جدول تبخیر	۱
عرض تاج	۱۰ m	نوع سرریز	اوجی دریچه دار	حداقل ارتفاع از سطح آزاد دریا	۱۲۲۴ m
عرض در کف رودخانه	۴۶۵ m	ظرفیت آبگیر	۴۵ m^3/s	گنجایش مفید مخزن	۲/۲۲×۱۰^۸ m^3
ارتفاع از کف رودخانه	۸۶ m	عمر بهره‌برداری (سال)	۵۰	ضریب تشتک	۰/۷۱۵
ارتفاع از پی	۸۹ m	حداکثر ارتفاع از سطح آزاد دریا	۱۳۰۳/۵ m	دوره بازگشت طراحی	۵۰ ساله
تعداد دریچه‌های تخلیه آب	۲	گنجایش کل مخزن	۲/۵۰×۱۰^۸ m^3	گنجایش مرده مخزن	۲/۸×۱۰^۷ m^3
مجموع ظرفیت دریچه‌های تخلیه آب	۴۵ m^3/s	حجم تعدیل طغیان	۳×۱۰^۷ m^3	ظرفیت اسمی نیروگاه برق	۸/۵MW

روش تحقیق

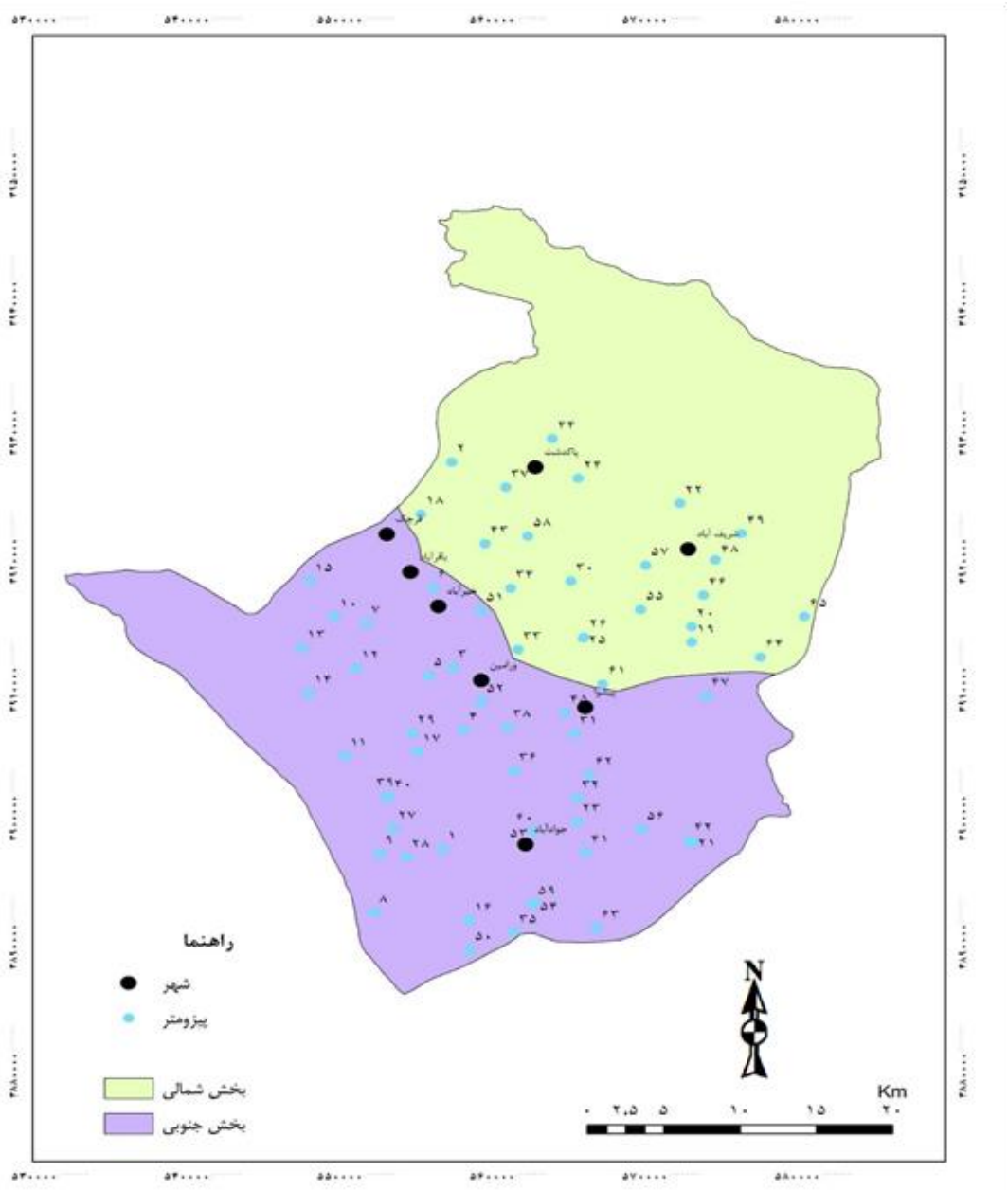
مطالعه کمّی منابع آب زیرزمینی و بررسی دقیق روند تغییرات آن‌ها طی گذر زمان، به ویژه در مناطقی که با محدودیت منابع آبی روبه‌رو هستند، امری ضروری جهت مدیریت صحیح و بهره برداری پایدار این منابع محسوب می‌گردد. دشت ورامین و

شهرستان‌های اطراف آن نیز به عنوان یکی از مناطق واقع در ناحیه نیمه خشک ایران با منابع آب سطحی ناچیز، در سال‌های اخیر به دلیل احداث سد ماملو در بالادست حوضه، توسعه شهر نشینی، مهاجرت بالای جمعیت به این منطقه و برداشت‌های بی رویه از آبخوان و نیز تداوم خشکسالی‌های پی در پی با افت سطح ایستابی و افزایش شوری آب زیرزمینی مواجه گردیده است. نتایج تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی دشت ورامین طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ به منظور تعیین وضعیت کنونی آبخوان و تأثیر احداث سد ماملو (از طریق مقایسه داده‌های فعلی با داده‌های سال‌های قبل) بر فرونشست‌های رخداده بررسی می‌شود.

چاه‌های پیزومتری جهت بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی و تهیه نقشه‌های تراز آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدین منظور تغییرات سطح آب و مقدار افت تراز آب زیرزمینی دشت ورامین با مطالعه آمار ۲۰ ساله تراز آب (۱۳۷۵-۱۳۹۵) در پیزومترهای واقع در دشت مورد بررسی قرار گرفت. از کل پیزومترهای شرکت آب منطقه‌ای استان تهران واقع در دشت ورامین به خاطر دلایلی نظیر طولانی بودن دوره آماری، عدم وجود آمار اندازه‌گیری همه ساله در برخی از پیزومترها و کاهش میزان خطای محاسبات تعداد ۶۵ پیزومتر دارای آمار کامل‌تر و پراکنش بهتر در دشت بودند که به عنوان نماینده کل دشت انتخاب و به منظور پایش وضعیت تغییرات سطح آب در دشت ورامین مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳). شایان ذکر است که اندازه‌گیری سطح آب در پیزومترها به صورت ماهیانه صورت گرفته است که در این تحقیق با محاسبه میانگین سالانه، تراز متوسط آن پیزومتر در سال مشخص به دست آمده است. میزان افت سطح آب برای هر یک از پیزومترها، طی سال های هر یک از دوره‌ها و همچنین کل دوره ۲۰ ساله با تفاضل مقادیر سطح آب آن‌ها در این سال‌ها محاسبه گردیده است. سرانجام جهت بررسی تغییرات سطح آب کل دشت، منطقه مورد مطالعه با توجه به تغییرات ضخامت آبخوان محدوده مورد مطالعه و موقعیت تاقدیس محدوده که بالادست آن شرایط هیدرولیکی متفاوتی نسبت به پایین دست آن دارد، به دو منطقه (بخش شمالی و جنوبی) مطابق شکل ۳ تقسیم گردید و میزان افت‌های دوره‌های ۵ ساله به تفکیک در هر کدام از این مناطق مجزا ترسیم شد.

کل دوره آماری ۲۰ ساله نیز به منظور بررسی بهتر موضوع به دو دوره زمانی قبل از بهره‌برداری از سد ماملو (سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۶) و بعد از بهره‌برداری از آن (سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵) تقسیم‌بندی شده تا از نتایج بدست آمده برای تحلیل موضوع بهتر بتوان استفاده نمود. برای هر بازه زمانی نیز یک افت میانگین سالانه محاسبه شده است.

از نقشه‌های هم‌پتانسیل آب زیرزمینی که شرایط بار هیدرولیکی آبخوان را در قالب خطوط هم ارزش بیان می‌کنند، می‌توان برای بررسی کمی منابع آب زیرزمینی و تغییرات آن طی گذر زمان استفاده کرد. این نقشه‌ها همچنین به لحاظ بررسی وضعیت تغییرات کمی آبخوان اهمیت زیادی دارند. به منظور تفسیر رفتار جریان آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی دشت ورامین نیز نقشه‌های هم پتانسیل برای سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۵ که ابتدا وانتهای دوره آماری می‌باشد ترسیم شد و تغییرات آنها با یکدیگر مقایسه گردید. تراز آب زیرزمینی در هریک از پیزومترهای انتخابی در دشت، از تعیین اختلاف بین ارتفاع نقاط نشانه آن‌ها وعمق آب اندازه‌گیری شده در این چاه ها به دست آمده است. سپس با انتقال این داده‌ها به محیط نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه‌های خطوط هم پتانسیل رسم شد.



شکل ۳- موقعیت پیزومترهای انتخابی دشت ورامین و تقسیم‌بندی منطقه به دو بخش شمالی و جنوبی

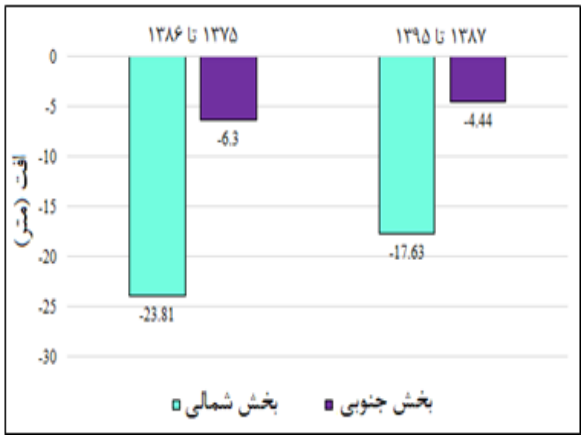
Figure 3- Location of selected piezometers of Varamin Plain and division of the region into two northern and southern parts

از آنجایی که تغییرات سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر عوامل مختلف می‌باشد، شکل هیدروگراف برای پیزومترهای مختلف یکسان نیست. برای رفع این مشکل تهیه هیدروگراف واحد یا متوسط که معرف لایه آبدار باشد امری ضروری است. هیدروگراف واحد هیدروگرافی است که به کمک کلیه هیدروگراف‌های پیزومترهای منطقه تهیه می‌شود. برای بررسی کمی آبخوان‌ها، هیدروگراف ابزار مناسب‌تری است چرا که دوره ای طولانی مدت از پایش تراز آب در آبخوان را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن هیدروگراف واحد و بررسی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی دشت ورامین در دوره آماری مورد استفاده از میانگین سالانه سطح آب زیرزمینی در ۶۵ پیزومتر انتخابی در دشت استفاده گردید. هیدروگراف واحد برای بخش‌های

شمالی و جنوبی به طور مجزا رسم گرید. آخرین وضعیت فرونشست دشت ورامین به وسیله ماهواره سنتینل ۱ به دست آمد.

نتایج و تحلیل

مقدار افت پیزومترهای بخش‌های شمالی و جنوبی در دو بازه زمانی قبل و بعد از بهره‌برداری از سدمامله در شکل ۴ نشان داده شده است. در بازه زمانی قبل از احداث سد مامله (طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۶) با معدل‌گیری از سطح آب زیرزمینی پیزومترهای بخش شمالی مقدار افت به دست آمده حدود ۲۳/۸۱ می باشد. میانگین افت در بازه زمانی دوم ۱۷/۶۳ متر بوده است که در این خصوص می‌توان گفت با بروز پدیده فرونشست در اراضی پایین دست محدوده و اعمال محدودیت های اجباری از قبیل ممنوعه اعلام شدن دشت توسط شرکت آب منطقه‌ای و کمتر شدن سطح زیر کشت اراضی به دلیل کمبود آب، تا حدودی در کاهش افت سطح آب موثر بوده است. پس از احداث سد مامله و کاهش تغذیه دشت ورامین به وسیله رودخانه جاجرود، کاهش تغذیه آبخوان ابتدا از دورترین نقاط (یعنی بخش جنوبی) شروع شده است و در این بخش فعالیت کشاورزی به شدت کاهش یافته و به همین دلیل افت سطح آب زیرزمینی در این بخش نسبتاً کم و بعضاً مثبت است. افت پیزومترهای بخش جنوبی در بازه زمانی قبل از بهره‌برداری از سد مامله حدود ۶/۳ متر و در مقطع زمانی بعدی این افت عدد ۴/۴۴ متر را نشان می‌دهد. در بخش جنوبی بخش زیادی از اراضی جزو مناطق کویری می‌باشند و مناطق جمعیتی و شهری در این بخش توسعه بیشتری پیدا کرده‌اند و سهم کمتری در اختیار اراضی کشاورزی است که همین اراضی نیز در گذر زمان بدلیل کمبود آب علی‌الخصوص در بخش‌های حاشیه کویر (بخش جواد آباد ورامین) غیر قابل کشت گردیده‌اند و شاهد پیش‌روی کویر به سمت مناطق شمالی بوده‌ایم. از طرفی در بخش‌های جنوب غربی دشت (شهرستان قرچک) به دلیل بالا بودن سطح ایستابی و هجوم آب‌های آلوده ناشی از فاضلاب‌های تصفیه نشده به منابع آبی زیرزمینی، بخش کشاورزی در حالت نیمه فعالی قرار دارد که بر کم بودن میزان افت مؤثر است.

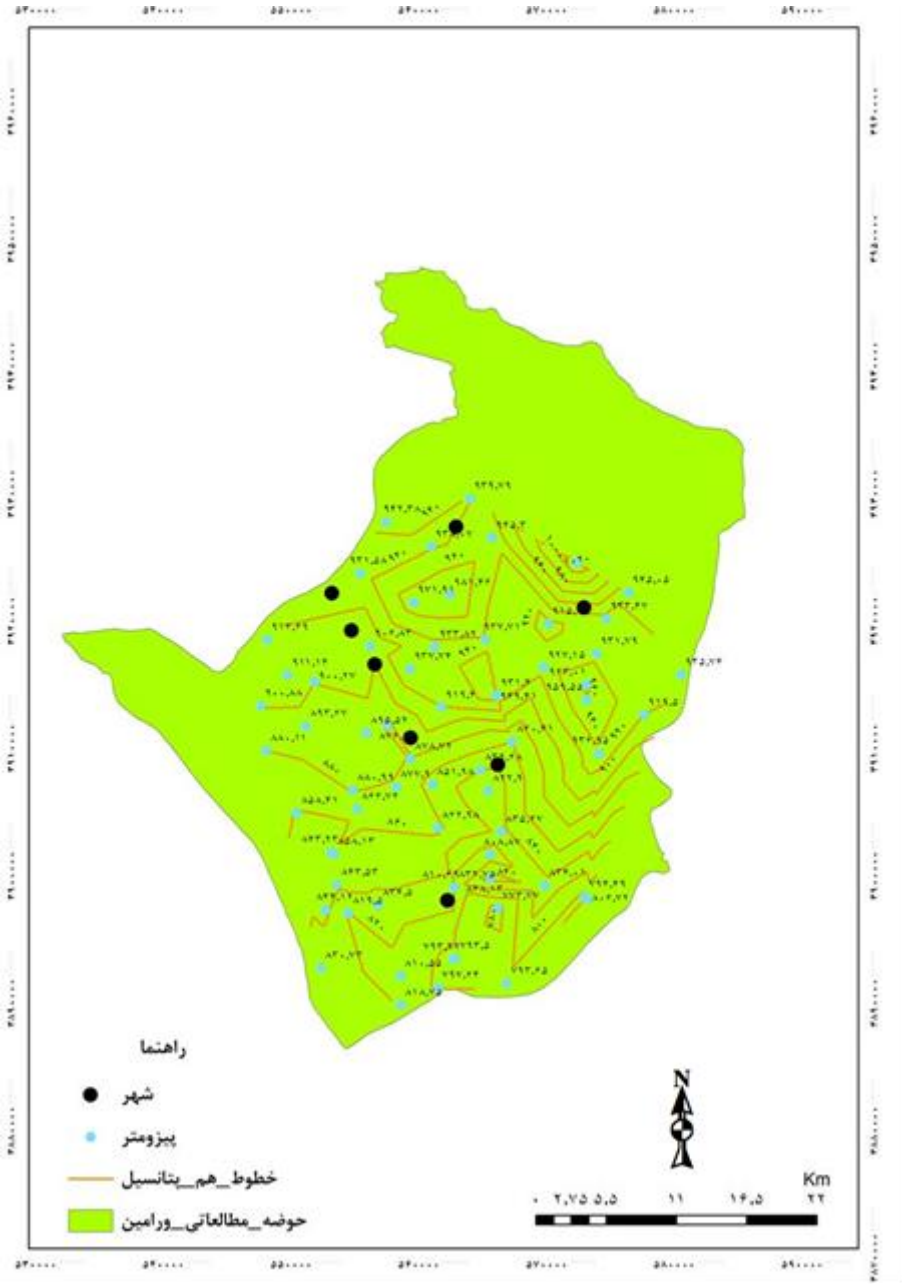


شکل ۴ – میانگین افت پیزومترها در دو بازه زمانی قبل از بهره برداری از سد مامله (۱۳۷۵ تا ۱۳۸۶) و پس از بهره‌برداری از سد مامله (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵) در دو بخش شمالی و جنوبی

Figure 4 - The average drop of piezometers in two time periods before the operation of Mamloo Dam (1996 to 2007) and after the operation of Mamloo Dam (2008 to 2016) in the two northern and southern parts.

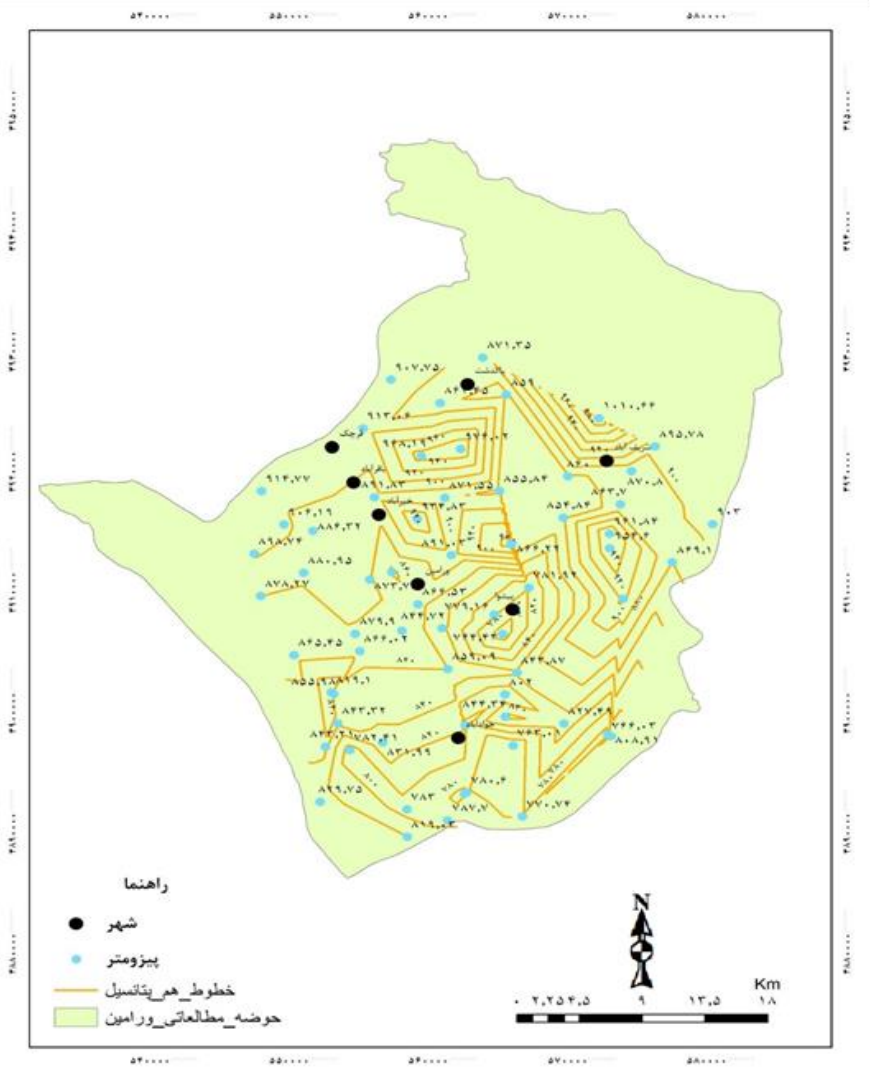
شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نقشه‌های هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت ورامین در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. منحنی‌های خطوط هم پتانسیل مسیر جریان آب زیرزمینی را از سمت شمال و شمال غربی به طرف جنوب و جنوب شرقی نشان داد که همان مسیر جریان سطحی در حوزه مطالعاتی دشت ورامین است. بالاترین تراز آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی و شمال غربی می‌باشد و مناطق جنوبی کمترین تراز آب زیرزمینی را دارند. در طی دوره آماری ۲۰ ساله منحنی‌های هم پتانسیل در سال ۱۳۹۵ دچار تغییرات گسترده‌ای نسبت به سال ۱۳۷۵ با توجه به افت گسترده تراز آب زیرزمینی در این مدت شده اند. به دلیل برداشت‌های نقطه‌ای گسترده و حفر چاه‌های عمیق در مناطق مرکزی و نیمه غربی ، مناطق تخلیه جدیدی در نقشه‌های سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۷۵ مشاهده می‌شود. بررسی منحنی‌های سال ۱۳۹۵ تأییدکننده این است که به دلیل برداشت‌های نقطه‌ای، ناهمگنی در در

خطوط هم‌پتانسیل نسبت به منحنی‌های سال ۱۳۷۵ دیده می شود. در واقع اثر سدسازی در بالادست دشت ورامین، شهرسازی و افزایش جمعیت به خصوص در نیمه غربی دشت که شهرستان‌های پاکدشت و قرچک دارای رشد جمعیت بیشتری طی این سال‌ها بوده‌اند و برداشت‌های نقطه‌ای باعث ایجاد بی نظمی در خطوط هم‌پتانسیل سال‌های اخیر شده است.



شکل ۵- نقشه هم پتانسیل محدوده مطالعاتی دشت ورامین در سال ۱۳۷۵

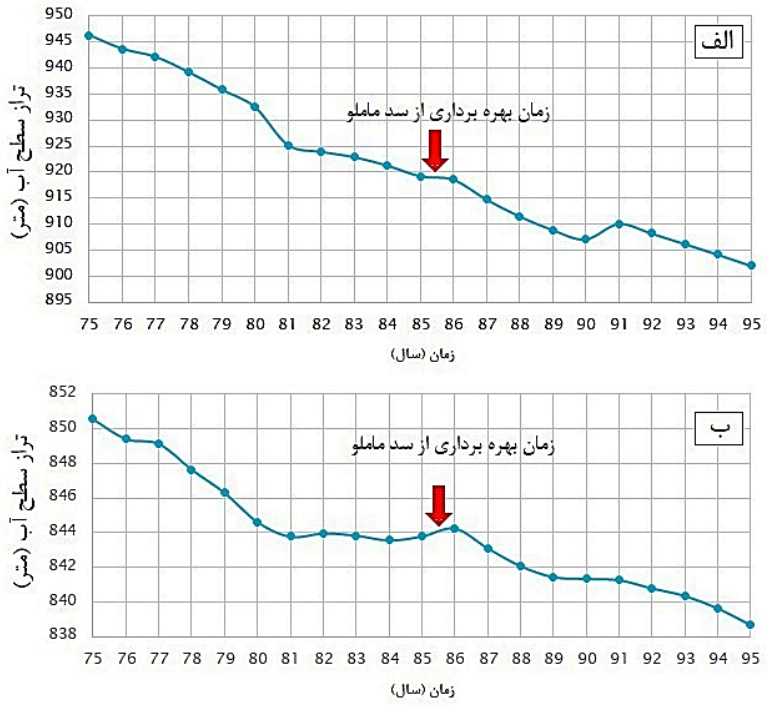
Figure 5- Equipotential lines of the study area of Varamin plain in 1996



شکل ۶- نقشه هم پتانسیل محدوده مطالعاتی دشت ورامین در سال ۱۳۹۵

Figure 6- Equipotential lines of the study area of Varamin plain in 2016

هیدروگراف واحد پیزومترهای واقع در محدوده شمالی و جنوبی دشت در شکل ۷ نشان داده شده است. این هیدروگراف افت زیاد در بخش شمالی را نشان داده به طوری که تراز آب در سال ۱۳۷۵ از مقدار ۹۴۶/۲۹ متر به ۹۰۲/۰۸ متر در سال ۱۳۹۵ کاهش یافته و مقدار افتی برابر با ۴۴/۲۱ متر در طی ۲۰ سال را نشان می‌دهد (متوسط سالانه ۲/۲۱ متر). این روند نزولی در دوره قبل و بعد از زمان بهره‌برداری از سد ماملو همچنان ادامه داشته است. کاهش ۴۴/۲۱ متری سطح آب در این بخش را می‌توان ناشی از احداث سد ماملو و بهره‌برداری بیش از حد در این محدوده، حفر چاه‌های عمیق گسترده در این بخش و سطح زیر کشت کشاورزی بیشتر و نیاز آبی بیشتر دانست. هیدروگراف واحد بخش جنوبی دشت ورامین نیز به خوبی بیانگر تغییرات سطح ایستابی در مدت ۲۰ سال دوره آماری مورد مطالعه می‌باشد. در این بازه سطح آب ایستابی از ۸۵۰/۵۵ متر در سال ۱۳۷۵ به مقدار ۸۳۸/۶۸ متر در سال ۱۳۹۵ نزول داشته است. مقدار افت سطح آب برای این دوره برابر با ۱۱/۸۷ متر و متوسط سالانه آن ۰/۶۹ متر می‌باشد. ارقام بدست آمده به مراتب کمتر از بخش شمالی و تقریباً افت بخش جنوبی ۲۷ درصد افت بخش شمالی است.



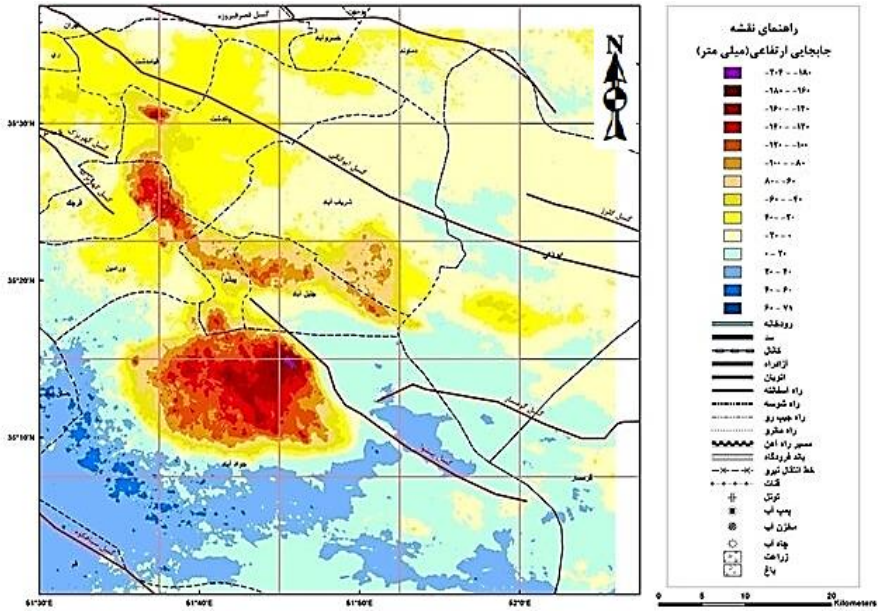
شکل ۷- هیدروگراف دشت ورامین: الف) بخش شمالی، ب) بخش جنوبی

Figure 7- Hydrograph of Varamin plain: a) northern part, b) southern part

نتایج مقدار برداشت و مصرف آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در سه بخش کشاورزی، صنعت و شرب در دوره آماری ۱۴ ساله بررسی و مشخص شد که ۸۰ درصد از حجم آب استحصال شده در بخش کشاورزی، ۱۵ درصد در بخش شرب و تنها ۵ درصد در بخش صنعت مصرف شده است. در دوره زمانی قبل از بهره‌برداری از سد ماملو (طی سال‌های ۱۳۸۱تا ۱۳۸۶) تعداد چاه‌های عمیق روند کاهشی داشته است (حدود ۳/۵ درصد). در مورد چاه‌های نیمه عمیق نیز این روند برقرار است. دلیل این کاهش می‌تواند افت مداوم سطح آب زیرزمینی و خشک شدن برخی از چاه‌های بخش کشاورزی و شرب در این مقطع زمانی باشد. در دوره زمانی بعد از بهره‌برداری از سد ماملو (سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵) تعداد چاه‌های عمیق روندی افزایشی پیدا کرده است. به گونه‌ای که از ۱۹۲۳ حلقه در پایان سال آبی ۱۳۸۶ به ۲۳۲۳ حلقه در پایان سال آبی ۹۲-۹۳ و سپس به تعداد ۲۰۰۱ حلقه تقلیل یافته است. ولی در مورد چاه های نیمه عمیق این موضوع برعکس است و تعداد این چاه‌ها از ۱۳۰۴ حلقه در پایان سال آبی ۱۳۸۶ با روندی افزایش به ۱۵۱۰ حلقه در انتهای سال آبی ۱۳۹۰ و در نهایت به ۱۰۴۹ حلقه در انتهای سال آبی ۱۳۹۵ رسیده است. دلیل این پدیده هم کاملاً روشن است. با بهره‌برداری از سد ماملو در سال ۱۳۸۶ تغذیه زیرزمینی پایین‌دست کمتر شده و در سال سوم بهره برداری به دلیل ته‌نشینی رسوبات در کف مخزن سد، تقریباً نفوذ به پایین دست نزدیک به صفر شده است. همین امر موجب افزایش نیاز آبی از یک طرف در بخش کشاورزی و از طرفی با افزایش رشد جمعیت در بخش شرب شده است. از همین رو تعداد و عمق چاه‌های عمیق حفاری شده افزایش چشم‌گیری داشته است. با ادامه این روند و پایین رفتن سطح آب زیرسطحی که منبع اصلی آب چاه‌های نیمه عمیق می‌باشد عملاً این چاه‌ها با خشکی گسترده مواجه شده و تعداد آن‌ها کاهش یافته است.

خروجی تصاویر راداری استخراج شده از ماهواره، برای دشت ورامین در مناطق جنوبی جابجایی ارتفاعی بین ۱۲۰ تا ۲۰۴

میلی‌متر و در مناطق مرکزی جابجایی ارتفاعی ۴۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر بیشترین فرونشست را نشان می‌دهد (شکل ۸). این مناطق در نقشه‌های هم پتانسیل نیز بیشترین میزان افت و کاهش سطح ایستابی را داشته است.



شکل ۸- نقشه فرونشست دشت ورامین (منبع: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

Figure 8- Subsidence map of Varamin plain (source: Geological Survey and Mineral Exploration of Iran)

بر اساس نقشه نشان داده شده در شکل ۸، دو منطقه مابین شهرستان‌های قرچک و پاکدشت (منطقه اول) و مابین اراضی جواد آباد و پیشوا (منطقه دوم) که طبق نقشه‌های هم افت بیشترین فرونشست را دارند. در منطقه اول که در نیمه شمالی محدوده مورد مطالعه قرار دارد، بیشترین مقدار افت و تخلیه آب زیرزمینی را به علت نیاز کشاورزی و حفر چاه‌های عمیق گسترده جهت مصارف شرب سایر نقاط دشت دارد. در منطقه دوم وجود عاملی مثل گسل پیشوا که مانع از انتقال جریان آب زیرزمینی به پایین دست شده همراه با حفر چاه‌های عمیق در آبخوانی که ضخامت آن کمتر از سایر نقاط دشت است، باعث افت شدید سطح ایستابی و عدم جایگزینی فضای خالی به وجود آمده در ساختار لایه‌های زیرین با آب زیرزمینی شده و در نتیجه فرونشست زمین را به همراه داشته است. آثار فرونشست زمین در منطقه معین‌آباد پیشوا در شکل ۹ نشان داده شده است.

شکل ۹- آثار فرونشست زمین در منطقه معین‌آباد پیشوا

Figure 9- Effects of land subsidence in Moein Abad (a village in Pishva)

نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل افت پیزومترهای محدوده مطالعاتی دشت ورامین و گسترش تعداد و عمق چاه های عمیق در سطح دشت مذکور، تغییر در رژیم جریان آب زیرزمینی و کم شدن حجم آبخوان واضح است. بعد از احداث سد ماملو مقدار این افت به ویژه در اراضی بخش شمالی افزایش یافته و عدم برنامه‌ریزی صحیح در تأمین نیازهای بخش کشاورزی دشت که سهم عمده‌ای از مصرف آب استحصال شده از منابع زیرزمینی را داراست، شرایط اقلیمی و اجتماعی پایین دست سد را با چالش‌هایی اساسی مواجه کرده است. با توجه به ساخته شدن سد ماملو درست در محل ورود رودخانه جاجرود به دشت ورامین، عملاً با کاهش چشمگیر جریان سطحی به منطقه، به مرور زمان تراز سطح ایستابی نیز با کاهش مواجه شده است. این کاهش در نیمه شمالی دشت و در مناطقی که ضخامت آبرفت بیشتر است، مقادیر بالاتری داشت. بر اساس خروجی نقشه‌های ماهواره‌ای و فرونشست تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری، نواحی‌ای که دچار مقدار تخلیه و افت بیشتری در طول دوره آماری بود منطبق بر مناطق دارای نشست بیشتر در نقشه‌های فرونشست است.

منابع

1- Tahmicioglu, M.S., Anul, N., Ekmekci, F., Durmus, N., 2007. Positive and negative impact of dams on the environment. International Congress on River Basin Management, Turkey, Chapter 2, pp.759-769.

2- Pirestani, M. R., Shafaghati, M., Dehghani, A.M., 2011. Assessment of the Environmental Destructive Effects of Building Dams. International Journal of Geological and Environmental Engineering, 5(8), pp.436-440.

3- Ahmadi Avendi, Z., Bahmaee, S., Sepahvand, A., Lajm Orakmoradi, A., 2014. Assessment of the Social and Cultural Consequences of Dam Construction Project 3 City Eizeh. Quarterly Journal of Social Development (Previously Human Development), 8(3), pp.27-52.

4- International Rivers. 2013. The Downstream Impacts of Ethiopia's Gibe III Dam. Published by International Rivers, USA.

5- National Research Council. 1991. Mitigating losses from land subsidence in the United States: Washington, D. C., National Academy Press, 58 p.

6- Rokni, J., Hossinzadeh, R., Lashkaripour, G.R., Velayati, S.A., 2016. Review land subsidence, landscape, and geomorphological changes resulting in compaction Plains Case study: Plain Nishabur. Arid Regions Geographic Studies, 6(24), pp.21-38.

7- Love, D., Love, F., van der Zaag, P., Uhlenbrook, S., Owen, R.J.S, 2008. Impact of the Zhovhe Dam on the lower Mzingwane River channel. In Fighting Poverty Through Sustainable Water Use: Proceedings of the CGIAR Challenge Program on Water and Food 2nd International Forum on Water and Food, Addis Ababa, Ethiopia.

8- Bacani, A., Posavec, K., Vlahovic, T., Tucak-Zoric, S., 2010. The Influence of The River Dam TE-TO on The Groundwater Levels of Zagreb Aquifer. Bibliographic Journal, 12(4), 302-320.

9- Van Looy, K., Tormos, T., Souchon, Y., 2014. Disentangling dam impacts in river networks. Ecological Indicators, 37, pp. 10–20