



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۱ | بهمن ۱۴۰۰ (ص ۲۹۰۹-۲۸۹۷)

<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.331850.669093>

(مقاله علمی - پژوهشی)

## Investigation of the Effects of Garmsiry Water Transfer Project on the Behavior of Mehran Aquifer using GMS Software

AREZO AZIZIYAN<sup>1</sup>, MEHDI MOHAMADIGHALENI<sup>2</sup>, HAMZEHALI ALIZADEH<sup>\*1</sup>, SADEGH ALIMORADI<sup>3</sup>

1. Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ilam University, Ilam, Iran.

2. Water Science Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak

3. Office of Basic Studies of Water Resources, Regional Water Company of Ilam, Ilam, Iran.

(Received: Oct. 27, 2021- Revised: Dec. 4, 2021- Accepted: Dec. 8, 2021)

### ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effects of the Garmsiry water transfer project (97 MCM per year from Sirvan River) on the behavior of the Mehran aquifer. For this purpose, the Groundwater Modeling System (GMS 7.1), which is one of the most suitable tools to simulate the groundwater level, was used. To develop the GMS model, input data including; aquifer boundary, Digital Elevation Model (DEM), bedrock level, groundwater level, groundwater withdrawal from wells, hydraulic conductivity, and groundwater recharge layers were prepared by ArcGIS 10.4. These layers were used to conceptual model construction using the MODFLOW codes in GMS interface. For steady and transient state calibration, and validation of the model, groundwater level changes resulting from the model are compared with piezometric measurements for the period Oct-2016, 2016-2017, and 2017-2018, respectively. The results showed a good accuracy in calibration and validation model, respectively, between the simulated and observed groundwater levels (ME=0.12, RMSE=0.84) and (ME=0.57, RMSE=1.4). Three scenarios including, 10, 15, and 20 percent of agricultural water return were conducted to evaluate the effects of Garmsiry water transfer project. The results showed that the groundwater level of Mehran aquifer will be increased 1.43, 2.22, and 3 meter per year in scenarios 1 to 3, respectively. This issue is very important along with the low storage coefficient of the Mehran plain aquifer, and can be a warning for severe drainage problems in the near future. The results of this study showed that the central and southern parts of the plain would have drainage problems less than ten years after the operation of the irrigation network.

**Keywords:** Groundwater Level, Simulation, Recharge, Hydraulic Conductivity.

---

\*Corresponding Author's Email: H.alizadeh@Ilam.ac.ir

## بررسی اثرات انتقال آب سامانه گرمسیری بر رفتار آبخوان دشت مهران با استفاده از نرم افزار GMS

آرزو عزیزیان<sup>۱</sup>، مهدی محمدی قلعه‌نی<sup>۲</sup>، حمزه‌علی علیزاده<sup>۳\*</sup>، صادق علیمردای<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

۳. مدیر دفتر مطالعات پایه شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام، ایلام، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۵ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۹/۱۷)

### چکیده

هدف از این مطالعه بررسی اثرات انتقال حدود ۹۷ میلیون مترمکعب آب رودخانه سیروان از طریق سامانه گرمسیری بر رفتار آبخوان دشت مهران می‌باشد. برای این منظور از سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی (GMS) که یکی از قویترین ابزارهای شبیه‌سازی رفتار کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی می‌باشد، استفاده شد. به‌منظور تدوین مدل شبیه‌سازی، ابتدا اطلاعات محدوده مرز آبخوان، توپوگرافی سطح زمین، تراز سنگ کف، موقعیت و تراز سطح آب در پیژومترها، موقعیت و میزان تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری، لایه هدایت هیدرولیکی و تغذیه به وسیله نرم افزار ArcGIS تهیه و از طریق سیستم GMS فراخوانی شد. در گام بعدی لایه‌های ایجاد شده و مدل مفهومی به مدل عددی MODFLOW در نرم افزار GMS انتقال یافته و اجرا گردید. واسنجی مدل در حالت جریان پایدار، واسنجی مدل در حالت غیرپایدار و صحت‌سنجی مدل به ترتیب با استفاده از اطلاعات مهرماه ۱۳۹۵، سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ و سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. نتایج حاصل از واسنجی ( $RMSE=0.84$  و  $ME=0.12$ ) و صحت‌سنجی ( $RMSE=1.4$  و  $ME=0.57$ ) مدل نشان دهنده دقت مدل در شبیه‌سازی رفتار کمی آبخوان بود. برای بررسی اثرات انتقال آب سامانه گرمسیری مدل با سه سناریوی برگشت آب کشاورزی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد اجرا شد. نتایج نشان داد که انتقال آب سامانه گرمسیری در این سه سناریو به ترتیب ۱/۴۳، ۲/۲۲ و ۳ متر در سال تراز آب زیرزمینی دشت را افزایش می‌دهد. این مسئله با توجه به ضریب ذخیره اندک آبخوان دشت مهران از اهمیت زیادی برخوردار بوده و می‌تواند به عنوان هشدار برای مشکلات شدید زهکشی در آینده نزدیک باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در صورت بهره‌برداری از شبکه کمتر از ۱۰ سال آینده بخش‌های مرکزی و جنوبی دشت دچار مشکلات ماندابی خواهند شد.

**واژه‌های کلیدی:** تراز آب زیرزمینی، شبیه‌سازی، تغذیه، هدایت هیدرولیکی.

### مقدمه

(Gupta et al., 2010). پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۲۵ بیش از ۲۵ درصد منابع آب مصرفی جهان از طرح‌های انتقال آب تامین شود (Gohari et al. 2013). با توجه به ماهیت پیچیده چرخه هیدرولوژی، طرح‌های انتقال آب دارای پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی متعددی در هر دو حوضه مبدأ و مقصد می‌باشند (Pueppke et al. 2018). مهمترین اثرات مثبت طرح‌های انتقال آب در حوضه‌های مقصد، تامین آب (Sun et al. 2021)، بهبود شرایط کمی و کیفی آبخوان‌ها (Ye et al. 2014)، افزایش تولیدات کشاورزی و صنعتی (Su and Chen, 2021) و بهبود شرایط اقتصادی و رفاهی (Wu et al., 2020) و در حوضه‌های مبدأ، کنترل سیلاب (Zhuang, 2016) و حفاظت از آب و خاک (Su and Chen, 2021) می‌باشد. مهمترین اثرات منفی طرح‌های انتقال آب در حوضه مبدأ، ایجاد تعارضات اجتماعی

افزایش شتابان جمعیت، افزایش سطح رفاه و صنعتی شدن کشور باعث افزایش فزاینده تقاضا در همه بخش‌های مصرف شامل شرب، صنعت، کشاورزی و خدمات شده است. از طرف دیگر محدودیت منابع آب و توزیع نامناسب زمانی و مکانی ریزش‌های جوی باعث ایجاد شکاف بین عرضه و تقاضای آب شده است. یکی از روش‌های کاهش شکاف بین عرضه و تقاضا، انتقال آب از یک حوضه پر آب با تقاضای آب کمتر به یک حوضه کم آب‌تر با تقاضای آب بیشتر (انتقال آب بین حوضه‌ای) می‌باشد. تاکنون طرح‌های انتقال آب زیادی در سراسر جهان اجرا و به بهره‌برداری رسیده است. تا سال ۲۰۱۰ حجم آب انتقال یافته از طریق طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای به بیش از ۵۴۰ میلیارد مترمکعب معادل ۱۴ درصد کل آب مصرفی در جهان رسیده است

گرمسیری استان ایلام و کرمانشاه از مهمترین پروژه‌های عرضه محور کشور هستند که با هدف مهار آب‌های مرزی، افزایش اشتغال در مناطق مرزی و افزایش استقلال مواد غذایی در دست اجرا می‌باشد (Regional Water Company of Kermanshah, 2012). لیکن انتقال حجم عظیم منابع آب ممکن است در بلندمدت باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی اساسی از جمله بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان دشت‌های تحت پوشش شود. هدف اصلی از این مطالعه، بررسی اثرات انتقال آب رودخانه‌های مرزی غرب کشور موسوم به سامانه گرمسیری بر رفتار کمی آبخوان دشت مهران با استفاده از نرم افزار GMS می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

طرح ساماندهی رودخانه‌های حوضه مرزی غرب موسوم به سامانه گرمسیری با هدف کنترل و ساماندهی آب‌های مرزی در استان‌های ایلام و کرمانشاه در دست اجرا می‌باشد. وسعت شبکه آبیاری پایاب سامانه گرمسیری در استان‌های ایلام و کرمانشاه حدود ۹۰۰۰۰ هکتار می‌باشد. پروژه شامل احداث چندین سد مخزنی و انحرافی روی رودخانه سیروان و انتقال آب به دشت‌های گرمسیری استان‌های کرمانشاه و ایلام می‌باشد. در مسیر انتقال آب رودخانه سیروان، ساماندهی رودخانه‌های مرزی گذارخوش، کنجانچم، گاوی، چنگوله، دویرج و میمه نیز مد نظر قرار گرفته است. با اجرای طرح انتقال آب این رودخانه به دشت‌های گرمسیری سالانه از خروج ۹۲۸ میلیون متر مکعب آب از کشور جلوگیری می‌شود. طرح انتقال آب گرمسیری از سد داریان با حجم مخزن ۳۳۸ میلیون متر مکعب شروع شده و سپس با تونل ۴۸ کیلومتری نوسود با قطر دهانه ۹ متری و قابلیت انتقال ۷۰ مترمکعب در ثانیه به دشت ازگله انتقال داده می‌شود. اراضی تحت پوشش سامانه گرمسیری در استان ایلام شامل دشت‌های لیگ، گذارخوش، مهران، زرین‌آباد، دهلران و موسیان جمعاً به مساحت ۴۷۰۰۰ هکتار می‌باشد (Regional Water Company of Kermanshah, 2012). در شکل (۱) موقعیت آبخوان دشت مهران واقع در حوضه آبریز مرزی غرب کشور به همراه چاه‌های بهره‌برداری و مشاهده‌ای ارائه شده است. مساحت محدوده مطالعاتی، دشت و آبخوان مهران به ترتیب حدود ۵۴۶۶، ۳۸۰ و ۲۷۰ کیلومتر مربع می‌باشد.

مراحل مدل‌سازی آب زیرزمینی دشت مهران با استفاده از بسته نرم‌افزاری GMS در شکل (۲) ارائه شده است.

اطلاعات مورد استفاده شامل اطلاعات ماهانه هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مهران، اطلاعات ماهانه ایستگاه‌های

(Zhang et al., 2019)، کاهش آورد رودخانه‌ها (Zhu et al., 2018)، تغییر کمیت و کیفیت آب آبخوان‌های زیرزمینی (Yuan et al. 2020) و در حوضه مقصد تحریک تقاضا و افزایش مصرف آب و توسعه گونه‌های مهاجم اکولوژیکی (Gallardo and Aldridge, 2018) می‌باشد. طرح‌های انتقال آب ذاتا پروژه‌های پرخطری هستند زیرا به سرمایه‌گذاری‌های هنگفت مالی، مطالعات گسترده و زمانبر، مدت زمان اجرای زیاد و جلب حمایت عمومی و سیاسی نیاز دارند و ممکن است دارای حاشیه‌های عمده اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی باشند (Flyvbjerg, 2014). بنابراین با توجه به تغییر توازن که طرح‌های انتقال آب در حوضه‌های مبدأ و مقصد ایجاد می‌کند، باید به‌صورت یکپارچه و از لحاظ پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گیرند. یکی از مهم‌ترین الزامات طرح‌های انتقال آب بررسی ملاحظات زیست‌محیطی در هر دو حوضه دهنده و گیرنده آب می‌باشد. اثرات زیست‌محیطی طرح‌های انتقال آب به‌طور گسترده در کشورهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است (Morais, 2008 و Zhuang, 2016). در برخی از این مطالعات شاخص‌ها و مدل‌های مختلفی برای ارزیابی کمی اثرات زیست‌محیطی پیشنهاد شده (Roobahani et al., 2020; Quan et al., 2016) و در برخی دیگر صرفاً به بررسی میدانی (Ye et al., 2014) پرداخته شده است. از طرفی دیگر آب‌های سطحی و زیرسطحی سیستم‌های پیچیده و همراه با تأثیرگذاری متقابل هستند. این دو سیستم از مهمترین اجزا سیکل هیدرولوژی می‌باشند. کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی ارتباط نزدیکی با مقادیر متناظر آب‌های سطحی دارند (Sun et al. 2021). بنابراین در طرح‌های انتقال آب لحاظ اندرکنش بین منابع آب سطحی و زیرزمینی ضروری می‌باشد. بسته نرم‌افزاری GMS<sup>۱</sup> یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی رفتار کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. از بسته نرم‌افزاری GMS در مطالعات زیادی از جمله بررسی اثرات تغییر اقلیم (Boughariou et al., 2018; Tizro et al., 2019) و (Sayed et al., 2020)، طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (Zhu et al., 2018)، اجرای شبکه فاضلاب شهری (Al-Taiee and Abdulghani, 2006) و (Kheirandish et al., 2020)، برنامه‌ریزی آبیاری (Lyazidi et al., 2020)، مدت زمان بهره‌برداری از چاه‌ها (Jalut et al., 2018) و اثرات طرح‌های تغذیه مصنوعی (Javadia et al., 2021) بر رفتار کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. پروژه‌های انتقال آب رودخانه سیروان و سایر رودخانه‌های حوضه آبریز مرزی غرب به دشت‌های

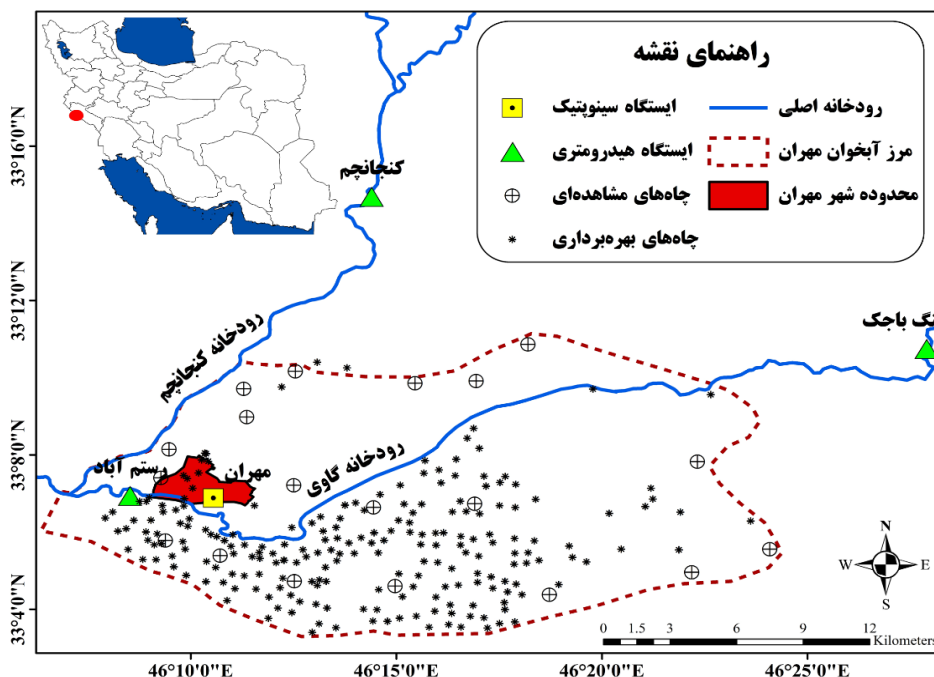
و تراز آب زیرزمینی آبخوان مهران ارائه شده است. حداکثر و حداقل سطح آب زیرزمینی در آبخوان مهران به ترتیب در چاه‌های مشاهده‌ای شرق و غرب محدوده و برابر ۲۶۰ تا ۱۴۰ متر نسبت به سطح دریا می‌باشد.

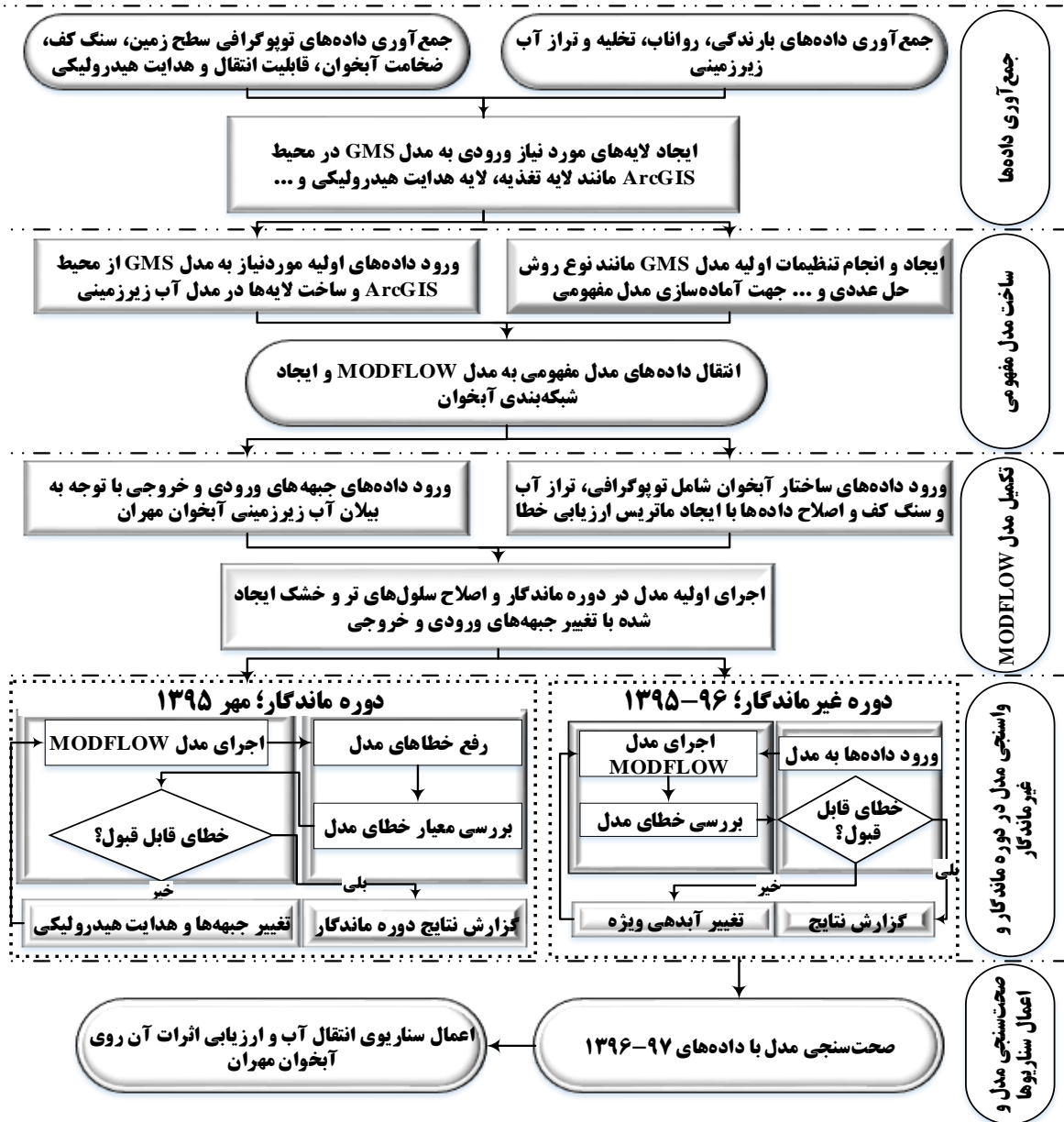
در شکل (۵) لایه تغذیه در محیط ArcGIS ارائه شده است. تغذیه آبخوان مهران شامل تغذیه از بارندگی، آب‌های سطحی و آب‌های بازگشتی از مصارف شرب، صنعت و کشاورزی در محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. ضریب تغذیه ناشی از بارندگی ۱۰ درصد (اطلاعات ایستگاه سینوپتیک مهران) و در کل محدوده آبخوان مهران یکسان در نظر گرفته شد. یکسان فرض کردن بارندگی در کل محدوده آبخوان مهران با توجه به فاصله داشتن سایر ایستگاه‌های سینوپتیک از محدوده آبخوان مهران و دقیق نبودن میان‌یابی و تغذیه ناچیز آب زیرزمینی از بارندگی انجام شد.

تغذیه از آب‌های سطحی شامل مقدار تغذیه از رودخانه گاوی با توجه به اختلاف دبی اندازه‌گیری شده بین دو ایستگاه هیدرومتری تنگ باجک و رستم‌آباد محاسبه شد. با توجه به بافت درشت محدوده رودخانه گاوی درصد تغذیه از این رودخانه برابر ۳۰ درصد در نظر گرفته شد (Ministry of Energy, 2013). ضرایب آب بازگشتی از مصارف شرب و صنعت و کشاورزی با توجه به بیلان آب زیرزمینی آبخوان مهران به ترتیب برابر ۶۰ و ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است (Dawes et al., 2012; Ministry of Energy, 2013)

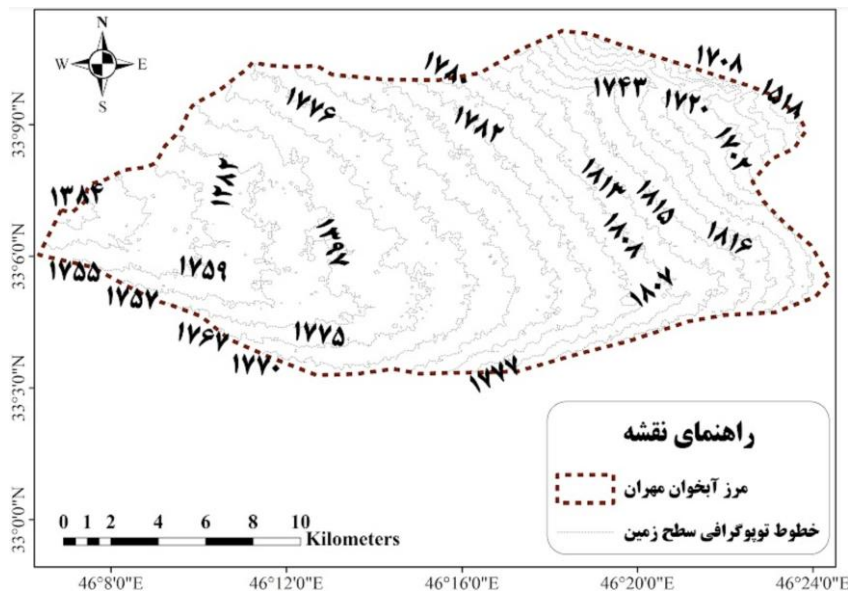
هیدرومتری تنگ باجک، کنجانچم و رستم‌آباد، اطلاعات ماهانه تراز آب زیرزمینی ۱۹ چاه مشاهده‌ای، اطلاعات تخلیه ۲۱۵ چاه بهره‌برداری، ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان (قابلیت انتقال، هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه)، ضخامت آبخوان و لایه‌های اطلاعاتی مانند توپوگرافی منطقه، توپوگرافی سنگ کف، رودخانه‌ها و مشخصات اراضی شبکه گرمسیری در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. اطلاعات توپوگرافی محدوده، سنگ کف آبخوان، تراز آب زیرزمینی، هدایت هیدرولیکی و لایه‌های تغذیه آبخوان در قالب لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.4 از آب منطقه‌ای استان ایلام دریافت و جهت ورود به مدل آب زیرزمینی، آماده شد. بر اساس این اطلاعات، ارتفاع سطح زمین در محدوده آبخوان مهران از ۱۳۰ متر در غرب محدوده تا ۳۴۰ متر در شمال شرقی محدوده نسبت به سطح آزاد دریا تغییر می‌کند (شکل ۳). ارتفاع سنگ کف آبخوان مهران از منفی ۵۰ متر در مرکز آبخوان تا ۱۲۰ متر نسبت به سطح دریا در اطراف مرز آبخوان مهران متغیر می‌باشد. به عبارتی بیشترین ضخامت آبخوان مهران در قسمت مرکزی دشت مهران می‌باشد. میزان قابلیت انتقال آبخوان مهران از نواحی شمالی، شرقی و جنوبی به سمت غرب و مرکز دشت افزایش یافته به طوری میزان قابلیت انتقال از حدود ۵۰ متر مربع در روز در شمال شرق دشت، به بیش از ۴۶۰۰ متر مربع در روز در مرکز و نزدیک غرب دشت می‌رسد (Ministry of Energy, 2008).

در شکل (۴) موقعیت چندضلعی تیسن چاه‌های مشاهده‌ای

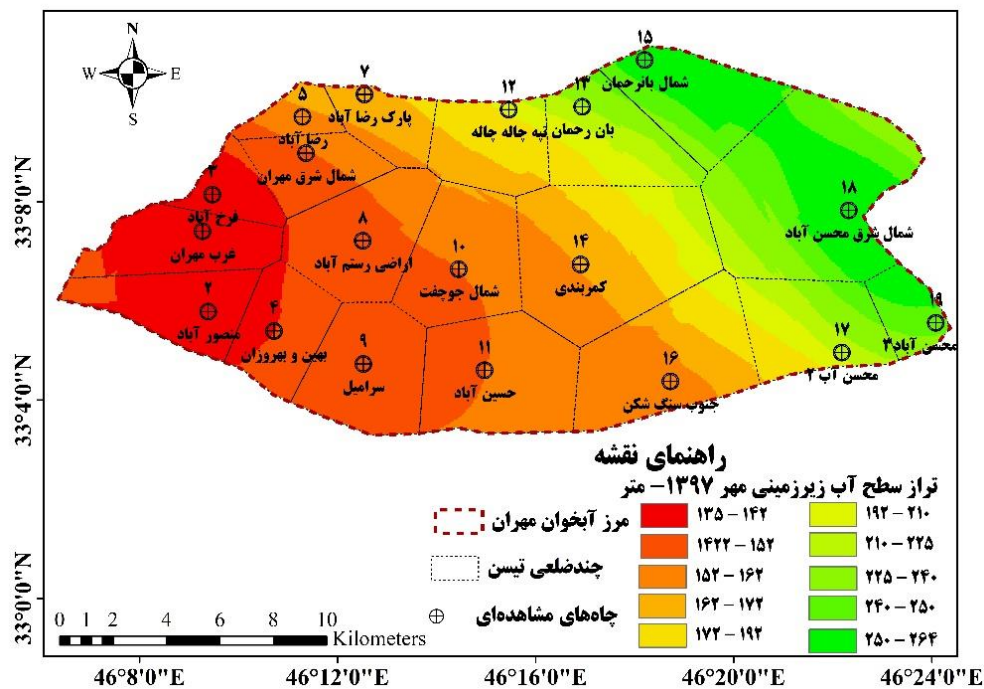




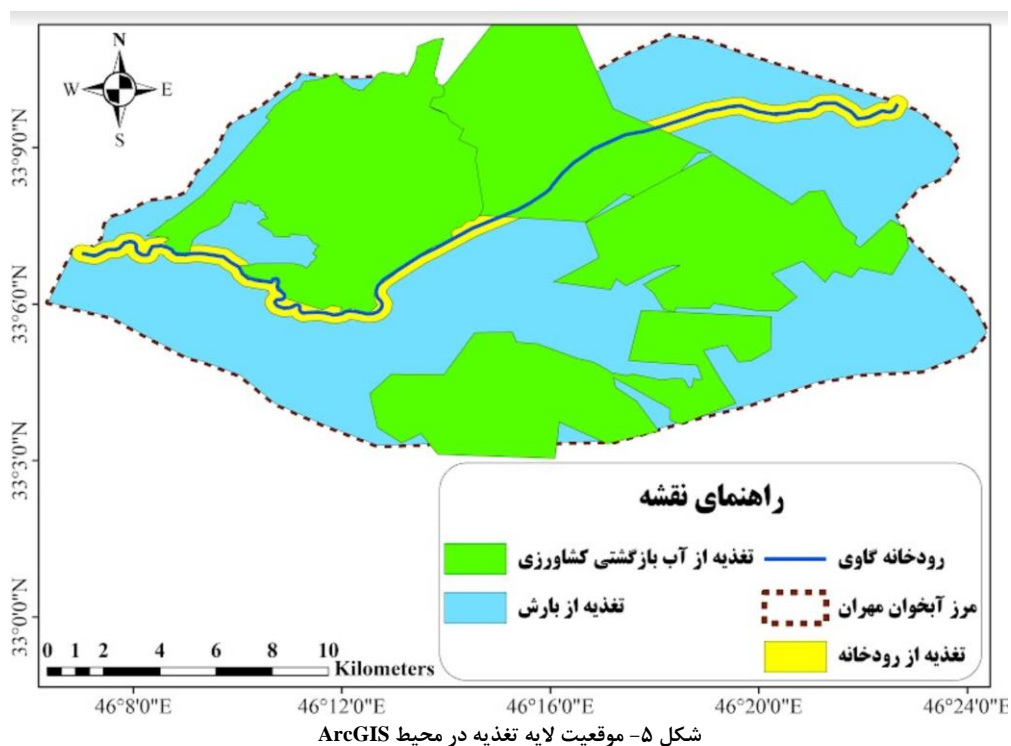
شکل ۲- مراحل مدل‌سازی آب زیرزمینی دشت مهران



شکل ۳- نقشه توپوگرافی آبخوان دشت مهران



شکل ۴- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و تیسن‌بندی آبخوان مهران



شکل ۵- موقعیت لایه تغذیه در محیط ArcGIS

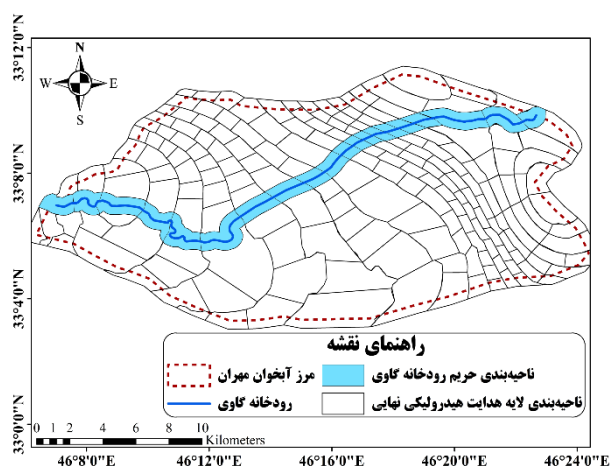
مهران تشکیل شد. اندازه سلول‌های شبکه‌بندی مدل آب زیرزمینی در تحقیقات مشابه از ۱۰ متر (Klaas et al., 2017) تا ۴۰۰۰ متر (Refsgaard, 1997) متغیر است، که در تحقیق حاضر مشابه تحقیقاتی مانند (Mondal and Singh, 2009; Sarvari et al., 2019) برابر ۲۵۰ متر در نظر گرفته شد. برای تعیین شرایط جبهه‌های ورودی و خروجی به نرم افزار

برای تهیه مدل مفهومی آبخوان مهران، ۵ لایه برای مدل شامل لایه‌های مرز آبخوان، چاه‌های پیزومتری، چاه‌های بهره برداری، هدایت هیدرولیکی و لایه تغذیه در محیط ArcGIS تهیه و به مدل GIS وارد شدند. در ادامه با توجه به وضعیت زمین-شناسی، توپوگرافی، نقشه‌های هم پتانسیل منابع آب و وسعت منطقه مورد مطالعه، شبکه‌ای با ابعاد ۲۵۰×۲۵۰ متر برای آبخوان

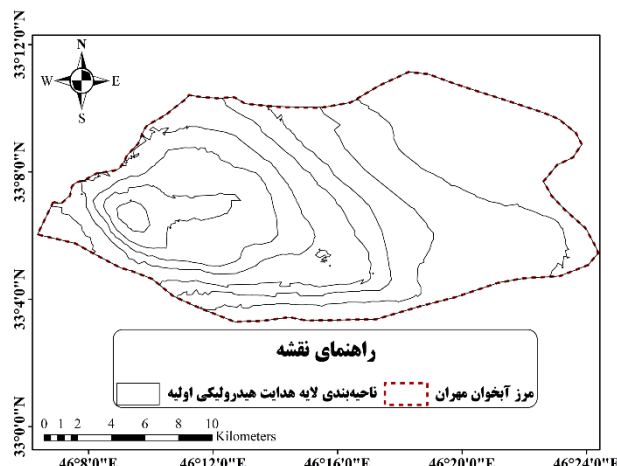
جهت جریان آب زیرزمینی و به تبع آن افزایش دقت مدل GMS دارد، تعداد پلیگون‌های زیادی برای وارد کردن مقادیر هدایت هیدرولیکی در نظر گرفته شد. به طوری که تعداد این پلیگون‌ها از ۱۰ عدد در لایه اولیه به ۱۲۲ پلیگون افزایش پیدا کرد (شکل ۶). حریم رودخانه گاوی به علت داشتن ظرفیت بالاتری از قابلیت هدایت هیدرولیکی با ترسیم بافری ۲۵۰ متری از دو طرف به صورت پلیگون‌های مجزایی ترسیم شد تا امکان متغیر در نظر گرفتن هدایت هیدرولیکی در آنها وجود داشته باشد. محدوده حریم رودخانه گاوی بر اساس عرض تقریبی این رودخانه و با توجه به اندازه سلول‌های شبکه‌بندی برابر با ۲۵۰ متر در نظر گرفته شد. همچنین به منظور واسنجی مقادیر هدایت هیدرولیکی در مناطق مختلف آبخوان، تغییرات هدایت هیدرولیکی از بالادست به پایین دست حوضه مشابه با لایه هدایت هیدرولیکی محاسبه شده و به صورت افزایشی مورد نظر قرار گرفت.

MODFLOW روش‌های بار ثابت<sup>۱</sup> و بار عمومی<sup>۲</sup> وجود دارد. روش بار عمومی با توجه به ثابت نوبدن شرایط مرزی در طول زمان مزیت‌هایی نسبت به روش بار ثابت دارد (Lu et al., 2015). پس از ورود داده‌ها به مدل و اصلاح آنها با تشکیل ماتریس خطا، شرایط اولیه و مرزی مدل شامل تعیین جبهه‌های ورودی و خروجی با استفاده از روش بار عمومی انجام شد. در نهایت اطلاعات مدل مفهومی به مدل عددی MODFLOW انتقال یافته و مدل واسنجی و صحت‌سنجی شد.

مدل آبخوان دشت مهران برای سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ واسنجی و برای سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. دوره ماندگار مهر ۱۳۹۵ و دوره غیرماندگار برای سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. واسنجی دوره پایدار با استفاده از تغییر در جبهه‌های ورودی و خروجی و اصلاح لایه هدایت هیدرولیکی انجام شد. با توجه به نقشی که هدایت هیدرولیکی روی سرعت و



ب) ناحیه‌بندی لایه هدایت هیدرولیکی نهایی



الف) ناحیه‌بندی لایه هدایت هیدرولیکی اولیه

شکل ۶- ناحیه‌بندی لایه هدایت هیدرولیکی اولیه و نهایی آبخوان مهران

باشد. حجم این تغذیه‌ها بر اساس بیلان آب زیرزمینی در آبخوان مهران محاسبه و وارد مدل شده است (Ministry of Energy, 2013).

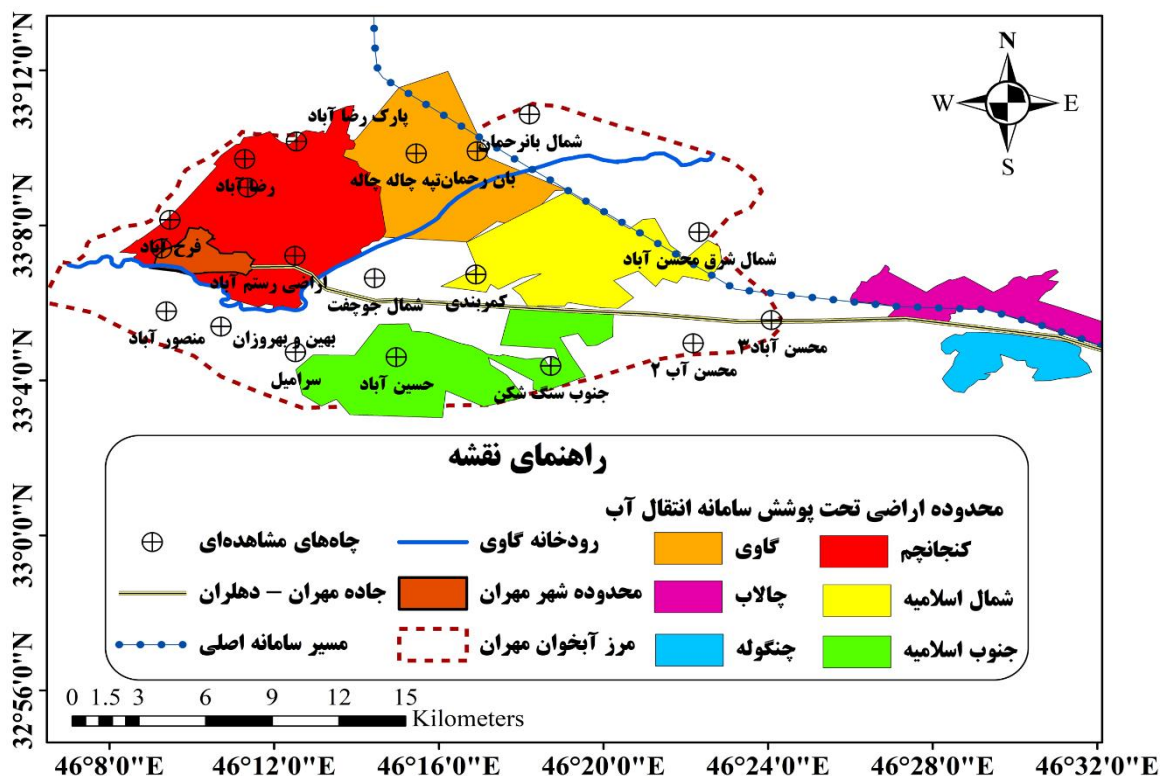
میزان آب انتقالی از طریق رودخانه سیروان به دشت مهران حدوداً ۹۷ میلیون مترمکعب می‌باشد که از این مقدار حدود ۷۸ میلیون مترمکعب وارد اراضی محدوده آبخوان مهران می‌شود که شامل اراضی کنجانچم، گاوی، شمال شهرک اسلامی و جنوب شهرک اسلامی می‌باشد (Regional Water Company of Kermanshah, 2012). اراضی چالاب و چنگوله در محدوده دشت ولی خارج از مرز آبخوان قرار دارند. جدول (۱) مساحت خالص طرح و حجم آب مصرفی را نشان می‌دهد.

از کد PEST موجود در سیستم GMS برای تخمین و تصحیح هدایت هیدرولیکی استفاده گردید. در کد PEST پارامترهای منطقه با استفاده از روش‌های معکوس بهینه می‌گردد (Berehanu et al., 2017).

برای بررسی اثر انتقال آب سامانه گرمسیری بر رفتار آبخوان مهران، ابتدا موقعیت اراضی طرح مطابق شکل (۷) مشخص شد. سپس پلیگون‌های منطقه مورد نظر در محیط GIS تهیه و لایه ایجاد شده به همراه مقادیر تغذیه به نرم افزار GMS اضافه شد. مقدار تغذیه در اراضی جدید شامل آب برگشتی از حجم آب انتقالی از سامانه (۱۵ درصد)، نفوذ از بارندگی، آب برگشتی کشاورزی، تغذیه از رودخانه و رواناب‌های سطحی می

جدول ۱- حجم آب مصرفی سامانه گرمسیری در آبخوان مهران (برحسب میلیون مترمکعب)

منطقه شبکه	مساحت خالص (ha)	مساحت آبیگری از سامانه (ha)	حجم آب مصرفی (میلیون مترمکعب)
کنجانچم	۳۶۰۰	۱۲۵۰	۱۱/۸۸
گاوی	۳۰۰۰	۱۶۶۷	۱۵/۰۰
شمال اسلامیه	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۲۷/۰۰
جنوب اسلامیه	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۲۴/۳۰
چالاب	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۹/۹۰
چنگوله	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹/۰۰
مجموع	۱۴۸۰۰	۱۰۷۱۷	۹۷/۰۸



شکل ۷- اراضی تحت پوشش سامانه انتقال آب در دشت مهران

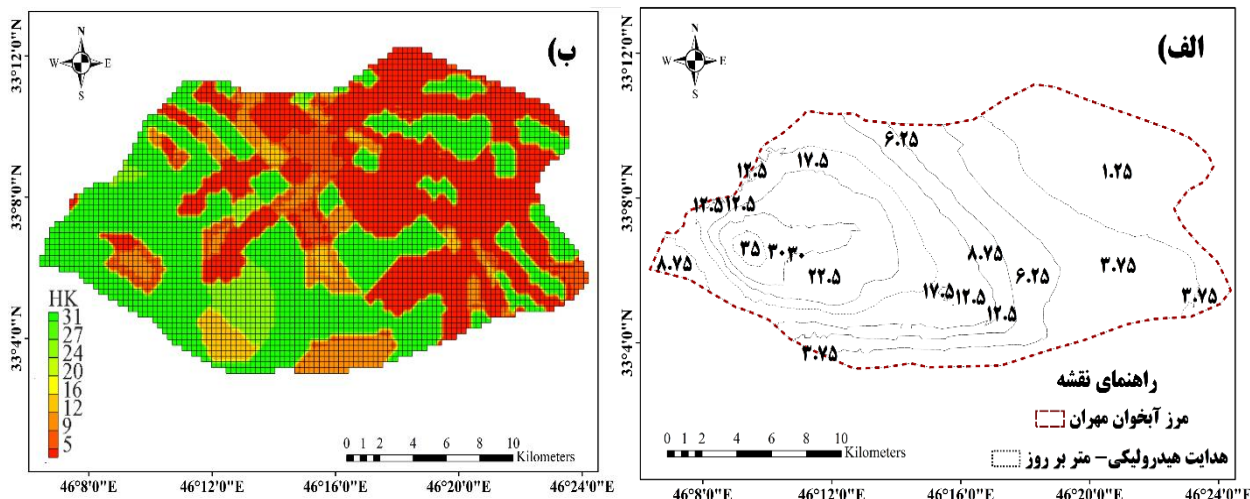
## نتایج و بحث

مهران ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین خطا، میانگین قدرمطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا در مرحله قبل از واسنجی به ترتیب برابر ۰/۷۸۴، ۱۳/۳۰۱ و ۱۶/۱۲۲ متر بوده و بعد از واسنجی به ترتیب به مقادیر ۰/۰۹۸، ۰/۵۴۰ و ۰/۶۸۴ متر کاهش پیدا کرده است. مهم‌ترین دلایل افزایش دقت مدل واسنجی شده شامل واسنجی و تفکیک مکانی دقیق لایه هدایت هیدرولیکی آبخوان و تعیین شرایط اولیه و مرزی مناسب برای مدل در حالت واسنجی شده می‌باشد. ارزیابی مدل با استفاده از میله‌های رنگی هم نشان داد که خطای مدل در تمامی پیژومترها به غیر از چاه مشاهده‌ای ۷ (زردرنگ) فراتر از ۲۰۰ درصد خطای قابل قبول (میله‌های قرمز رنگ) بوده است. لیکن خطای مدل در مرحله بعد از واسنجی خطا در تمامی پیژومترها در حد خطای قابل قبول (میله‌های سبز) می‌باشد.

در شکل (۸) مقادیر هدایت هیدرولیکی محاسباتی آبخوان مهران و مقادیر هدایت هیدرولیکی واسنجی شده ارائه شده است. هدایت هیدرولیکی محاسباتی آبخوان از تقسیم لایه قابلیت انتقال بر لایه ضخامت آبخوان محاسبه شد (Mace et al., 1999). بر این اساس مقادیر هدایت هیدرولیکی بین یک تا ۳۵ متر بر روز متغیر می‌باشد. بیشترین مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی در آبخوان مهران مربوط به قسمت‌های جنوبی دشت، اطراف رودخانه گاوی و قسمت‌های غربی منتهی به مناطق خروجی آبخوان می‌باشد. از این حیث نتایج این تحقیق با نتایج Qamari Qaleh et al., (2019) همخوانی دارد.

در جدول (۲) مقادیر خطای مدل در دو مرحله قبل و بعد از واسنجی در دوره پایدار را برای ۱۹ چاه مشاهده‌ای آبخوان





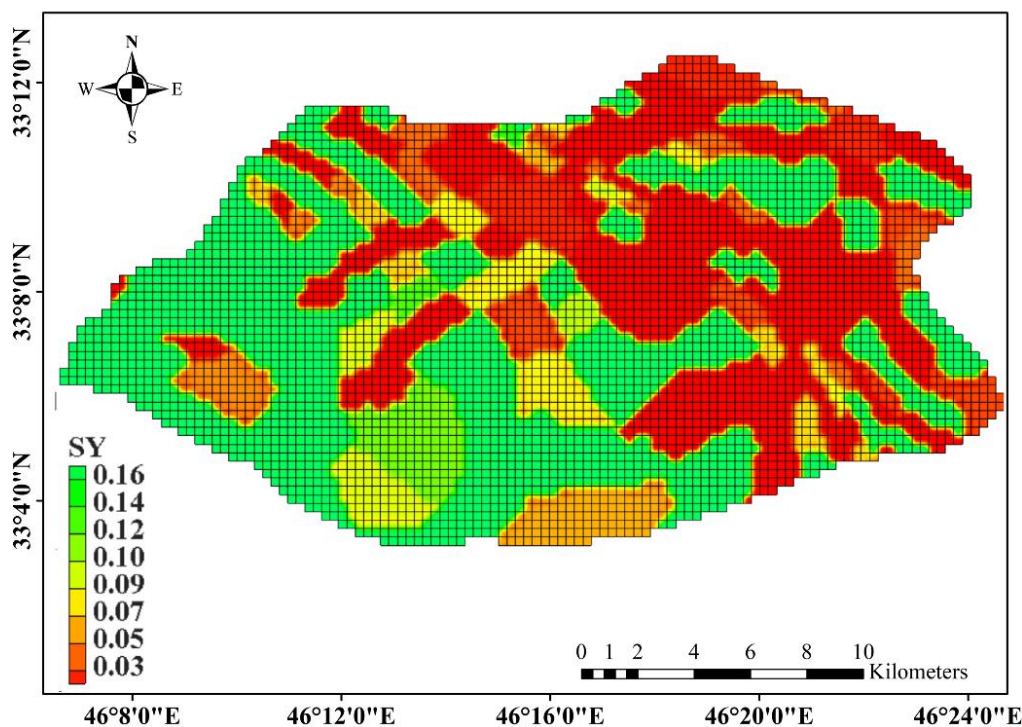
شکل ۸- مقادیر هدایت هیدرولیکی محاسباتی (شکل الف) و اسنجی شده شده آبخوان دشت مهران (شکل ب-۷)

هدایت هیدرولیکی آبخوان، مقدار ضریب ذخیره در مرحله واسنجی دوره ناپایدار از حدود ۰/۰۱ تا ۰/۱۸ محاسبه شد. Qamari Qaleh et al., (2019) دامنه تغییرات ضریب ذخیره آبخوان مهران را ۰ تا ۰/۱۷۵ محاسبه کردند که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد. نتایج حاکی از حداکثر بودن ضریب ذخیره در اطراف شهرک اسلامیه و جنوب غربی آبخوان می‌باشد.

جدول ۲- خطای مدل در دو مرحله قبل و بعد از واسنجی در دوره پایدار

آماره	قبل از واسنجی	بعد از واسنجی
میانگین خطا (ME)	-۰/۷۴۸	۰/۰۹۸
قدر مطلق میانگین خطا (MAE)	۱۳/۳۰۱	۰/۵۴۰
ریشه میانگین مربعات خطا (RMS)	۱۶/۱۲۲	۰/۶۸۴

واسنجی مدل در شرایط ناپایدار با تغییر در مقادیر آبدهی ویژه آبخوان انجام شد. شکل (۹) مقادیر آبدهی ویژه واسنجی شده در آبخوان مهران نشان می‌دهد. در این مطالعه بر اساس داده‌های



شکل ۹- مقادیر ضریب آبدهی ویژه واسنجی شده آبخوان مهران

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که میانگین خطا، میانگین قدرمطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا در دوره ناپایدار به

در جدول (۳) مقادیر خطای مدل در برآورد تراز آب زیرزمینی در دوره ناپایدار (سال آبی ۹۶-۱۳۹۵) ارائه شده است.

ترتیب برابر ۰/۱۱۷، ۰/۶۷۰ و ۰/۸۳۸ متر بدست آمده است.

جدول ۳- خطای مدل در دوره ناپایدار

مقدار	آماره
۰/۱۱۷	میانگین خطا (ME)
۰/۶۷۰	قدر مطلق میانگین خطا (MAE)
۰/۸۳۸	ریشه میانگین مربعات خطا (RMS)

همانطور که پیشتر اشاره شد، صحت‌سنجی مدل GMS در آبخوان مهران برای سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شده است. نتایج اجرای مدل در تمامی گام‌های زمانی دوره صحت‌سنجی (۹۷-۱۳۹۶) نشان می‌دهد که مقادیر خطای بین تراز آب مشاهده‌ای و محاسباتی در ۱۹ چاه مشاهده‌ای آبخوان مهران کمتر از حداکثر خطای مجاز می‌باشد و رنگ تمامی میله‌های خطا برای این ۱۹ چاه مشاهده‌ای به صورت سبز و یا زرد می‌باشد.

در جدول (۴) مقدار شاخص‌های آماری مدل توسعه یافته در دوره صحت‌سنجی ارائه شده است. مقدار میانگین خطا، میانگین قدرمطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا در دوره صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۵۶۸، ۱/۱۱۹ و ۱/۴۰۵ متر بدست آمده است که بیانگر دقت مدل می‌باشد.

Rastegar and Paimozd (2020) مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا را در مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی دشت کرمان در دوره‌های پایدار، ناپایدار و صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۱/۲۹، ۲/۷۰ و ۴/۳ متر بدست آوردند که بیشتر از خطای برآوردی در تحقیق حاضر می‌باشد.

Jamalizadeh et al. (2020) با شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در آبخوان رفسنجان مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا را در دوره‌های پایدار، ناپایدار و صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۰۰۴، ۱/۱۶ و ۳/۱۸ متر گزارش کردند که در مقایسه با نتایج تحقیق حاضر در دوره پایدار کمتر و در دوره‌های ناپایدار و صحت‌سنجی بیشتر می‌باشد.

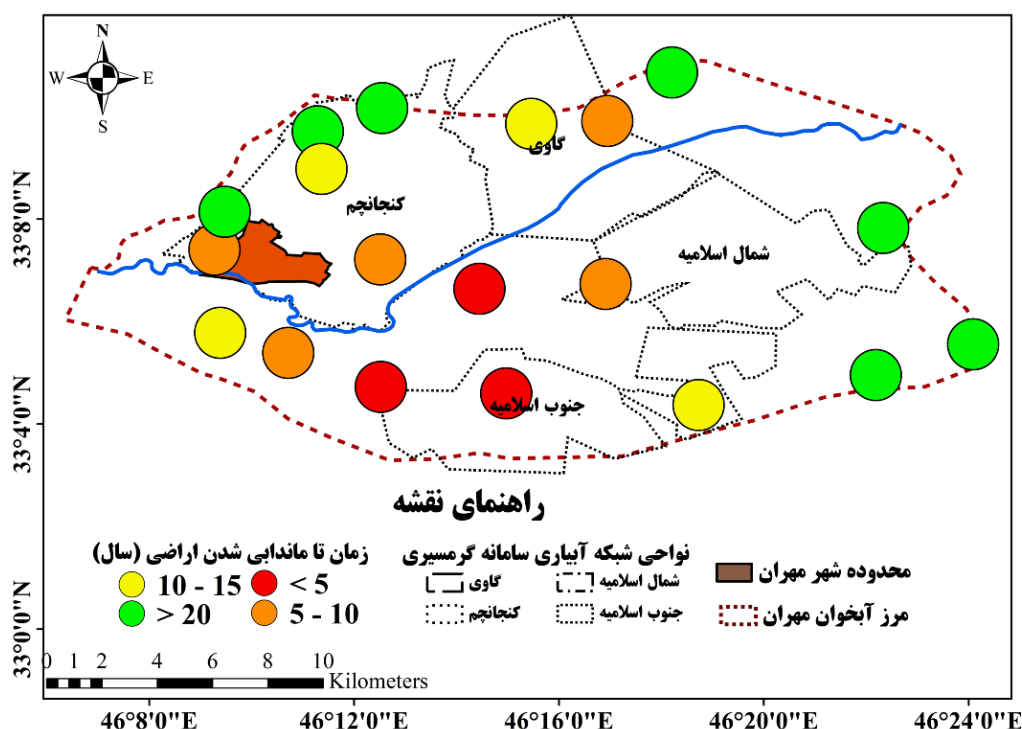
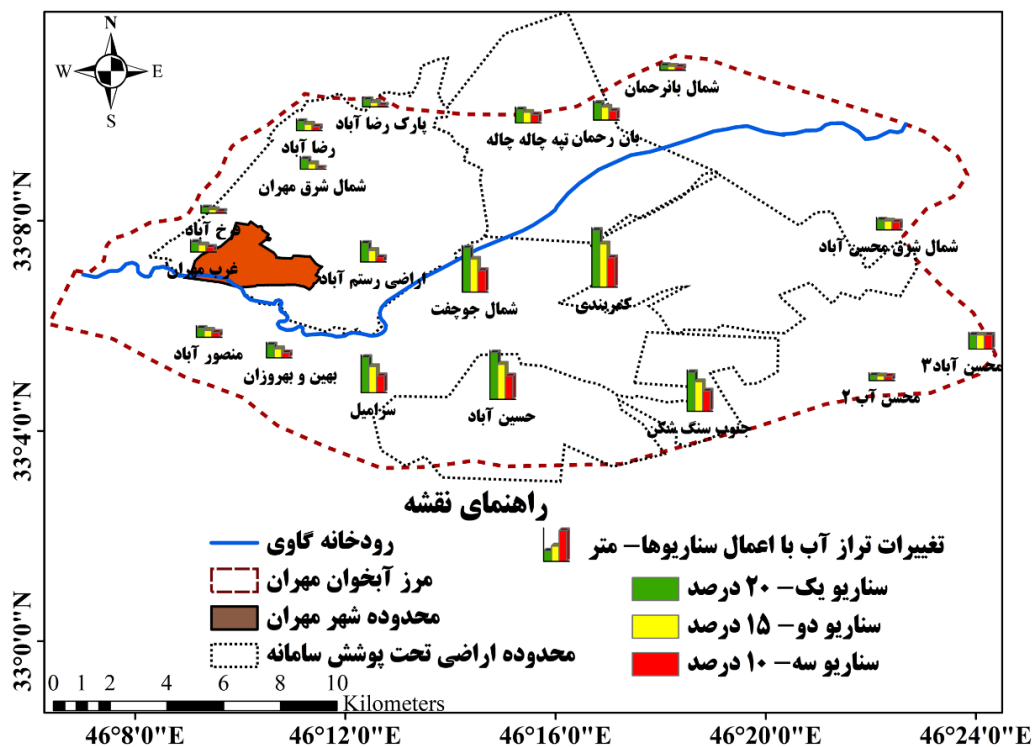
جدول ۴- مقادیر معیارهای خطای مدل آبخوان مهران در دوره صحت‌سنجی (۹۷-۱۳۹۶)

مقادیر معیار خطای مدل	
میانگین خطا (ME)	۰/۵۶۸
قدر مطلق میانگین خطا (MAE)	۱/۱۱۹
ریشه میانگین مربعات خطا (RMS)	۱/۴۰۵

اثرات انتقال آب سامانه گرمسیری روی تراز آب چاه‌های مشاهداتی طی یک سال (۱۲ ماه) با لحاظ سه سناریوی متفاوت از درصد آب برگشتی حاصل از مصارف کشاورزی (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۱۰ تغییرات تراز

آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان مهران به ازای سه سناریوی مختلف ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین افزایش تراز آب زیرزمینی به ازای اعمال سناریوهای انتقال آب سامانه گرمسیری به ازای اعمال سناریو یک در چاه‌های مشاهده‌ای کمربندی، حسین‌آباد و شمال چوچفت به ترتیب برابر با ۷/۷۹، ۶/۳۴ و ۶/۰۵ متر اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تأثیر انتقال آب سامانه گرمسیری بیشتر روی منطقه مرکزی آبخوان مهران خواهد بود و قسمت‌های ورودی و خروجی آبخوان کمتر تحت تأثیر انتقال آب قرار خواهند گرفت. همچنین کمترین تغییر در تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان مهران در چاه مشاهده‌ای پارک رضآباد و برابر ۰/۰۱ متر به ازای اعمال سناریوی سوم (۱۰ درصد آب برگشتی) رخ داده است. به طور کلی افزایش تراز سطح آب زیرزمینی در تمامی چاه‌های مشاهده‌ای مطابق با انتظار با افزایش درصد ضریب آب برگشتی کشاورزی از سناریوی سوم به سناریوی اول افزایش پیدا می‌کند. به طوری که در کل آبخوان مهران با محاسبه تغییرات در هیدروگراف معرف آبخوان، می‌توان نتیجه گرفت که انتقال آب سامانه گرمسیری با لحاظ ضرایب برگشت آب ۲۰، ۱۵ و ۱۰ درصد در سال به ترتیب ۳/۰۰، ۲/۲۲ و ۱/۴۳ متر تراز آب زیرزمینی دشت را افزایش می‌دهد. با توجه به ضریب ذخیره اندک آبخوان دشت مهران انتقال آب بین‌حوضه‌ای به دشت مهران از اهمیت زیادی برخوردار بوده و می‌تواند به عنوان هشدار برای مشکلات شدید زهکشی در آینده نزدیک باشد. نکته قابل ذکر دیگر اینکه متاسفانه با انتقال آب سامانه گرمسیری قرار است بخشی از چاه‌های واقع در اراضی ساحل چپ و راست گاوی و جنوب اسلامیة مسدود شود. که این مسئله می‌تواند مشکلات ماندابی شدن را تشدید نماید.

در شکل (۱۱) با در نظر گرفتن افزایش سالانه تراز آب زیرزمینی با ضریب آب برگشتی ۲۰ درصد (سناریوی اول)، مدت زمان ماندابی شدن مناطق مختلف آبخوان مهران نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که انتقال آب سامانه گرمسیری به آبخوان مهران باعث ماندابی شدن برخی مناطق مرکز و جنوب آبخوان مهران (محدوده جنوب اسلامیة) در طی کمتر از ۵ سال خواهد شد (دایره‌های قرمز رنگ). همچنین برخی دیگر از مناطق مرکزی دشت مهران (دایره‌های نارنجی رنگ) با لحاظ سناریوی اول حدود ۵ تا ۱۰ سال آینده با مشکل ماندابی شدن روبرو خواهند شد. مناطق مرزی دشت مخصوصاً شمال‌غرب و جنوب‌شرق دشت که کمترین اثرپذیری را از انتقال آب خواهند داشت طی بازه ۲۰ سال آینده با مشکل ماندابی شدن مواجه نخواهند شد.



### نتیجه‌گیری

سامانه گرمسیری با لحاظ ضرایب برگشت آب ۱۰، ۱۵، ۲۰ درصد در سال به ترتیب ۳، ۲۲/۲ و ۴۳/۱ متر تراز آب زیرزمینی دشت را افزایش می‌دهد. این مسئله با توجه به ضریب ذخیره اندک آبخوان دشت مهران از اهمیت زیادی برخوردار بوده و می‌تواند به

این مطالعه با هدف بررسی اثرات انتقال حدود ۹۷ میلیون مترمکعب آب رودخانه سیروان از طریق سامانه گرمسیری بر رفتار آبخوان دشت مهران انجام شد. نتایج نشان داد که انتقال آب



پیش‌بینی اثرات جانبی این طرح‌ها ضروری می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در صورت بهره‌برداری از شبکه (احتمالاً آذرماه ۱۴۰۰) کمتر از ۱۰ سال آینده بخش‌های مرکزی و جنوبی دشت دچار مشکلات ماندابی خواهند شد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

عنوان هشدار برای مشکلات شدید زهکشی در آینده نزدیک باشد. نکته قابل ذکر دیگر اینکه متأسفانه با انتقال آب سامانه گرمسیری قرار است بخشی از چاه‌های واقع در اراضی ساحل چپ و راست گاوی و جنوب اسلامیه مسدود شود. این مسئله چون در اجرای پروژه لحاظ شده است مسائل ماندابی شدن را تشدید می‌کند. با توجه به صرف هزینه‌های هنگفت طرح‌های انتقال آب،

## REFERENCES

- Al-Taiee, M.T. and Abdulghani A. H. (2006). Simulation and prediction of groundwater paths and flow vectors at Mosul city. *Al-Rafidain Engineering Journal*, 14(4), 73-81.
- Berehanu, B., Ayenew, T. and Azagegn, T. (2017). Challenges of Groundwater Flow Model Calibration Using MODFLOW in Ethiopia: With Particular Emphasis to the Upper Awash River Basin. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5, 50-66.
- Boughariou, E., Allouche, N., Jmal, I., Mokadem, N., Ayed, B., Hajji, S., Khanfir, H. and Bouri, S. (2018). Modeling aquifer behaviour under climate change and high consumption: case study of the Sfax region, southeast Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 141, 118-129.
- Dawes, W., Ali, R., Varma, S., Emelyanova, I., Hodgson, G., & McFarlane, D. (2012). Modelling the effects of climate and land cover change on groundwater recharge in south-west Western Australia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8), 2709-2722.
- Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: an overview. *Project management journal*, 45, 6 - 9.
- Gallardo, B. and Aldridge, D.C. (2018). Inter-basin water transfers and the expansion of aquatic invasive species. *Water Research*, 143, 282-291.
- Gohari, A., Eslamian, S., Mirchi, A., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A. and Madani, K. (2013). Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can backfire. *Journal of Hydrology*, 491, 23-39.
- Gupta, N., Pilesjo, P. and Maathuis, B. (2010). Use of geoinformatics for inter-basin water transfer assessment. *Water Resource*, 37(5), 623-637.
- Jalut, Q., Abbas, N. and Mohammad, A. (2018). Management of groundwater resources in the Al-Mansourieh zone in the Diyala River Basin in Eastern Iraq. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 79-86.
- Jamalizadeh, M., Bazrafshan, O., Mahdavi Najafabadi, R., Azareh, A. and Rafiee Sardoei, E. (2020). Forecasting of Groundwater Fluctuations Using Time Series and GMS Models (Case Study: Rafsanjan Plain). *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(1), 97-109. (In farsi)
- Javadia, S., Saatsaz, M., HashemyShahdany, M., Neshat, A., Milan, S. and Akbari, S. (2021). A new hybrid framework of site selection for groundwater recharge. *Geoscience Frontiers*, 12(4), 101144.
- Kheirandish, M., Rahimi, H., Kamaliardakani, M. and Salim, R. (2020). Obtaining the effect of sewage network on groundwater quality using MT3DMS code: Case study on Bojnourd plain. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100439.
- Klaas, D. K., Imteaz, M. A., & Arulrajah, A. (2017). Evaluating the impact of grid cell properties in spatial discretization of groundwater model for a tropical karst catchment in Rote Island, Indonesia. *Hydrology Research*, 48(6), 1757-1772.
- Lu, C., Xin, P., Li, L., & Luo, J. (2015). Seawater intrusion in response to sea-level rise in a coastal aquifer with a general-head inland boundary. *Journal of Hydrology*, 522, 135-140.
- Lyazidi, R., Hessane, M.A., Moutei, J.F. and Bahir, M. (2020). Developing a methodology for estimating the groundwater levels of coastal aquifers in the Gareb-Bourag plains, Morocco embedding the visual MODFLOW techniques in groundwater modeling system. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100471.
- Mace, R. E., Smyth, R. C., Xu, L., Liang, J., & Fisher, W. L. (1999). Transmissivity, hydraulic conductivity, and storativity of the Carrizo-Wilcox Aquifer in Texas. Texas Bureau of Economic Geology, Austin, TX, 76.
- Ministry of Energy, 2008. National statistics of surface and groundwater resources and consumption in the study area of Ilam province report, Volume 4, Mehran study area, p. 75.
- Ministry of Energy, 2013. Explanatory report of the proposal to extend the ban on the development of the Mehran plain aquifer. Ilam Regional Water Organization, p. 87.
- Mondal, N. C., & Singh, V. S. (2009). Mass transport modeling of an industrial belt using visual MODFLOW and MODPATH: A case study. *Journal of Geography and regional Planning*, 2(1), 001-019.
- Morais, P. (2008). Review on the major ecosystem impacts caused by damming and watershed development in an Iberian basin (SW Europe): focus on the Guadiana estuary. *In Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 44(2), 105-117.
- Pueppke, S.G., Nurtazin, S.T., Graham, N.A. and Qi, J. (2018). Central Asia's Ili River ecosystems a wicked problem: unraveling complex

- interrelationships at the Interface of water, energy, and food. *Water*, 10 (5), 541.
- Qamari Qaleh, Y., Karimi, H. and Saeedi, M. (2019). Prediction the aquifer behavior of Mehran plain (Ilam Province) using GMS model. *Iranian Journal of Advanced Applied Geology*, 8(2), 1-2. (In Farsi).
- Quan, Y., Wang, C.X., Yan, Y., Wu, G. and Zhang, H.X. (2016). Impact of Inter-Basin water transfer projects on regional ecological security from a Telecoupling perspective. *Sustainability*, 8 (2), 162.
- Rastegar, A. and Paimozd, S. (2020). Investigating Climate Change Effects on Groundwater-Level Decline in Kerman Plain via GMS Model. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(26), 43-60. (In farsi)
- Refsgaard, J. C. (1997). Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models. *Journal of hydrology*, 198(1-4), 69-97.
- Regional Water Company of Kermanshah. (2012). Integrated studies of resources and consumption of the tropical basin of Kermanshah provinces, report on the current state of agriculture in Ilam province, first phase. (In Farsi).
- Roozbahani, A., Ghased, H. and Shahedany, M.H. (2020). Inter-basin water transfer planning with grey COPRAS and fuzzy COPRAS techniques: A case study in Iranian Central Plateau. *Science of the Total Environment*, 726, p.138499.
- Sarvari, S., Ziaei, A. N., & Joodavi, A. (2019). Investigation of River-aquifer Interactions in Bojnourd Plain Using Reach Measurements and Numerical Modeling. *Water and Soil*, 33(5), 671-683.
- Sayed, E., Riad, P., Elbeih, S.F., Hassan, A.A. and Hagrass, M. (2020). Sustainable groundwater management in arid regions considering climate change impacts in Moghra region, Egypt. *Groundwater for Sustainable Development*, 100385.
- Su, Q. and Chen, X. (2021). Efficiency analysis of met coupling of water transfer based on the parallel data envelopment analysis model: A case of the South-North Water Transfer Project-Middle Route in China. *Journal of Cleaner Production*, 15, 127952.
- Sun, S., Zhou, X., Liu, H., Jiang, Y., Zhou, H., Zhang, C. and Fu, G. (2021). Unraveling the effect of inter-basin water transfer on reducing water scarcity and its inequality in China. *Water Research*, 194, 116931.
- Tizro, A.T., Fryar, A.E., Pour, M.K., Voudouris, K.S. and Mashhadian, M.J. (2019). Groundwater conditions related to climate change in the semi-arid area of western Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100273.
- Wu, M.M., Ge, W., Wu, Z.N., Guo, X., Di, D.Y. and Huang, S.Q. (2020). Evaluation of the benefits of urban water resource utilization based on the catastrophe and emergy methods. *Water Resources Management*, 34(6), 1843-1853.
- Ye, A.Z., Duan, Q.Y., Chu, W, Xu, J. and Mao, Y.N. (2014). The impact of the South-North Water Transfer Project (CTP)'s central route on groundwater table in the Hai River basin, North China. *Hydrological processes*, 28(23), 5755-5768.
- Yuan, R., Wang, M., Wang, S. and Song, X. (2020). Water transfer imposes hydrochemical impacts on groundwater by altering the interaction of groundwater and surface water. *Journal of Hydrology*, 583, 124617.
- Zhang, S., Taiebat, M., Liu, Y., Qu, S., Liang, S. and Xu, M. (2019). Regional water footprints and interregional virtual water transfers in China. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1401-1412.
- Zhu, X., Wu, J., Nie, H., Guo, F., Wu, J., Chen, K. and Zeng, X. (2018). Quantitative assessment of the impact of an inter-basin surface-water transfer project on the groundwater flow and groundwater-dependent eco-environment in an oasis in arid northwestern China. *Hydrogeology Journal*, 26(5), 1475-1485.
- Zhuang, W. (2016). Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(13), 12867-12879.