مدیریت آب و آبیاری
(نشریه علمی)
دوره ۱۱ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰
صفحه‌های ۴۸۴-۴۷۳
DOI: 10.22059/jwim.2021.325230.882

مقاله پژوهشی:

# تحلیل حساسیت اثر عوامل اقلیمی و غیر اقلیمی بر نوسانات تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت نجف‌آباد)

محمد جواد زارعیان*
استادیار، پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷

## چکیده
این پژوهش به‌منظور بررسی عوامل اصلی اثرگذار بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت نجف‌آباد انجام گرفته است. جهت انجام این تحلیل، بازه زمانی ۱۰ ساله (سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۱٤) در نظر گرفته شد و نوسانات دما، بارش، تغییرات دبی رودخانه بین دو مقطع ابتدا و انتهای محدوده مطالعاتی، تغییرات بهره‌برداری از آب زیرزمینی و تغییرات جریان آب در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی بررسی شد. جهت برقراری ارتباط میان هر کدام از مؤلفه‌های ذکرشده با تغییرات تراز آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی، دو دسته‌بندی کلی برای تعیین هیدروگراف واحد آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. در دسته‌بندی اول، هیدروگراف واحد آب زیرزمینی برای کل چاه‌های مشاهده‌ای در محدوده مطالعاتی تهیه شد. در دسته‌بندی دوم نیز این هیدروگراف برای چاه‌های مشاهده‌ای اطراف رودخانه تهیه شد. سپس با استفاده از آنالیز رگرسیون چندمتغیره در قالب نرم‌افزار SAS، بهترین ارتباط بین این مؤلفه‌ها با تغییرات تراز آب زیرزمینی تعیین شد. نتایج نشان داد که در حالتی که تغییرات هیدروگراف آب زیرزمینی در گروه اول مدنظر قرار داشته باشد، تغییرات برداشت آب زیرزمینی با سهم ۳٦/۱۹ درصد، بیش‌ترین تأثیر را بر تغییرات تراز آب زیرزمینی داشته است. پس از آن تغییرات جریان در رودخانه با سهم ۲۸/٦۰ درصد، متغیر اثرگذار مهم خواهد بود. از طرف دیگر، زمانی که هیدروگراف واحد تراز آب زیرزمینی برای گروه دوم در نظر گرفته شود، تغییرات جریان در رودخانه با سهم ۳٤/٦٤ درصد بیش‌ترین اثر را بر تغییرات تراز آب زیرزمینی خواهد داشت و سهم پمپاژ آب به ۲۸/۵۳ خواهد رسید.

**کلیدواژه‌ها:** آب زیرزمینی، تحلیل حساسیت، رگرسیون چندمتغیره، نجف‌آباد.

# Sensitivity analysis of the effect of climatic and non-climatic factors on groundwater level fluctuations (Case study: Najafabad plain)

Mohammad Javad Zareian*
Assistant Professor, Department of Water Resources Study and Research, Water Research Institute, Tehran, Iran.
Received: June 07, 2021 Accepted: August 29, 2021

## Abstract
This study was conducted to investigate the main factors affecting groundwater level fluctuations in the Najafabad plain. For this analysis, the 10-year period from 2004 to 2014 was considered and changes in temperature, precipitation, in river discharge between the beginning and end of the study area, groundwater withdrawal and in water flow in irrigation and drainage networks, were analyzed. In order to establish the relationship between each of the mentioned components with the changes in groundwater level in the study area, two general classifications were considered to determine the groundwater unit hydrograph. In the first classification, a groundwater unit hydrograph was prepared for all observation wells in the study area. In the second category, this hydrograph was prepared for observation wells around the river. Then, using multivariate regression analysis in SAS software, the best relationship between these components with changes in groundwater level was determined. Results showed that if the changes of groundwater unit hydrograph level are considered in the first group, changes in groundwater withdrawal with a share of 36.19%, had the maximum impact on changes in groundwater level. After that, the changes in the river flow with a share of 28.60%, had the greatest share in groundwater fluctuations. On the other hand, when the groundwater unit hydrograph is considered for the second group, changes in flow in the river with a share of 34.64% will have the maximum effect on changes in groundwater level and the share of groundwater withdrawal will reach to 28.53.

**Keywords:** Groundwater, Multivariate Regression, Najafabad, Sensitivity Analysis.

* نویسنده مسئول
Email: m.zareian@wri.ac.ir

**مقدمه**

کشور ایران با متوسط بارش کم‌تر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال، در زمره یکی از نواحی خشک جهان به‌شمار می‌رود. بخش عمده‌ای از نواحی کشور در حال حاضر با پدیده خشک‌سالی و کاهش منابع آب در دسترس مواجه هستند. این وضعیت سبب گردیده است تا نگرانی‌های متعددی در زمینه تأمین منابع آب کافی برای جمعیت رو به رشد کشور در نواحی مختلف ایجاد شود (Islami & Rahimi, 2019). این شرایط در حالی رخ داده است که کمبود بارش‌های رخ‌داده در سالیان اخیر موجب شده است تا حجم رواناب‌های جاری در کشور کاهش پیدا نموده و در نتیجه آب ذخیره آب موجود در سدهای کشور با کاهش چشم‌گیری روبرو شود. بر این اساس در حال حاضر حجم آب تجدیدشونده در کشور به حدود ۱۰۰ میلیارد مترمکعب رسیده است که در مقایسه با دوره‌های گذشته (۱٤۰ میلیارد مترمکعب)، افت قابل‌توجهی پیدا نموده است (Mazaheri & Abdolmanafi, 2017).

از دیرباز در کشور و به‌ویژه در نواحی خشک برای تأمین آب موردنیاز جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت که تأمین کامل آن‌ها از عهده منابع آب سطحی خارج بوده است، از منابع آب زیرزمینی بهره‌گیری شده است. توسعه شدید برداشت آب از این منابع سبب شده است که در حال حاضر نزدیک به ۸۰۰ هزار حلقه چاه در کشور وجود داشته باشد. این امر در درازمدت موجب ایجاد کسری نزدیک به ۱۳۰ میلیارد مترمکعبی در این منابع شده است. این شرایط موجب شده است تا از ٦۰۹ دشت کشور، نزدیک به ٤۱۰ دشت شرایط ممنوعه از لحاظ بهره‌برداری پیدا نمایند (Mazaheri & Abdolmanafi, 2017). بخشی از این افت متأثر از برداشت از منابع آب زیرزمینی بوده و بخش دیگر آن نیز می‌تواند متأثر از سایر عوامل محیطی نظیر کمبود بارندگی و کاهش جریان سطحی بوده باشد. در نواحی که آبخوان‌ها به تغذیه از منابع آب سطحی وابستگی شدیدی داشته باشند، بدیهی است که کاهش جریان‌های سطحی موجب افت تغذیه منابع آب زیرزمینی خواهد شد. از طرف دیگر، کاهش جریانات سطحی موجب خواهد شد تا تمایل بهره‌برداران به برداشت بیش‌تر از منابع آب زیرزمینی نیز تشدید شده و در نتیجه افت تراز آب زیرزمینی در این نواحی تشدید شود (Seyedan *et al.*, 2017).

با توجه به توضیحات ارائه‌شده مشخص است که شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات تراز آب زیرزمینی در نواحی مجاور رودخانه‌ها کمک شایانی به مدیریت تلفیقی بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی خواهد نمود. در حین شناسایی این عوامل، حساسیت تغییرات تراز آب زیرزمینی نسبت به مؤلفه‌های مختلف اقلیمی (نظیر تغییرات دما و بارش) و غیر اقلیمی (ناشی از تغییرات در برداشت از منابع آب زیرزمینی و تغییر در دبی تنظیمی رودخانه) تعیین خواهد شد. چنین موضوعی باعث خواهد شد تا امکان بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی فراهم شود (Jacobs & Holway, 2004). از طرف دیگر باید به این نکته توجه داشت که تبادل میان آب سطحی و زیرزمینی پیچیدگی‌های خاص خود را داشته و باید در مدل‌سازی‌ها و محاسبات صورت‌گرفته در این خصوص به نحوی عمل نمود تا حداکثر دقت در زمینه پیش‌بینی عوامل مؤثر بر تغییرات تراز آب زیرزمینی و ارتباط آن با عوامل محیطی (به‌ویژه برداشت آب و تغییرات دبی رودخانه‌های مجاور) لحاظ شود (Fleckenstein *et al.*, 2006). این پیچیدگی‌ها ناشی از عوامل مختلفی بوده و باید در روند مدل‌سازی‌ها و محاسبات به آن‌ها توجه نمود (Andersen, 2009). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده است که پمپاژ از منابع آب زیرزمینی موجب خواهد شد تا جریان از سمت رودخانه‌های مجاور به سمت آبخوان‌ها برقرار شود و

به‌نوبه خود موجب تأثیر بر کمیت و کیفیت آبخوان شود. در صورتی‌که این تبادل به‌خوبی صورت نگیرد، ممکن است در درازمدت منجر به آسیب‌های شدیدی به آبخوان‌ها شود (McCarthy *et al*., 1992; Kalbus *et al*., 2006).

روش‌های متعددی برای بررسی اثر تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی و غیراقلیمی بر تغییرات تراز آب زیرزمینی وجود دارد. برای این کار می‌توان از مدل‌های فیزیکی و یا روش‌های تحلیلی و آماری بهره برد. زمانی که شناسایی ویژگی‌های فیزیکی جریان و مدل‌سازی مسیر حرکت آب موردنظر نباشد و تنها حساسیت تراز آب زیرزمینی به مؤلفه‌های محیطی مدنظر باشد، می‌توان از روش‌های تحلیلی و آماری استفاده نمود (Sykes *et al*., 1985). پژوهش‌گران زیادی تاکنون با استفاده از این روش‌ها به بررسی این موضوع در نواحی مختلف دنیا پرداخته‌اند. نتایج مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی برهم‌کنش کیفی آب سطحی و زیرزمینی در یکی از نواحی حوضه آبریز رودخانه دز با استفاده از روش آماری آنالیز خوشه‌ای صورت گرفت، نشان داد که ارتباط کیفی نزدیکی بین تغییرات کیفی آب رودخانه و آبخوان‌های اطراف وجود داشته است (Faryabi & Chitsazan, 2016). در مطالعه‌ای دیگر، برهم‌کنش آب‌های سطحی و زیرزمینی در دشت دزفول- اندیمشک با استفاده از آنالیز خوشه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رودخانه دز بیش‌ترین تأثیر را بر تغییرات کمی و کیفی آبخوان در این ناحیه داشته و سهم تأثیرات رودخانه کرخه کم‌تر خواهد بود (Ebrahimi Varzane *et al*., 2019). در پژوهشی دیگر، همبستگی میان تغییرات تراز آب زیرزمینی با ویژگی‌های هیدروشیمیایی آبخوانی در شمال ایتالیا با استفاده از روش‌های آماری مختلف، بررسی شد. نتایج نشان داد که همبستگی قابل‌توجهی میان منابع آب سطحی و زیرزمینی در این ناحیه وجود دارد (Rotiroti *et al*., 2019). پژوهش‌گران دیگری نیز براساس یک روش تحلیلی به بررسی اثرات تغییر در هدایت هیدرولیکی و هم‌چنین جریان آب رودخانه بر تغییرات تراز آب زیرزمینی در یک آبخوان نشتی پرداختند. نتایج نشان داد که روش تحلیلی مورداستفاده، همانند روش‌های مدل‌سازی فیزیکی قادر به شبیه‌سازی برهم‌کنش آب‌های سطحی و زیرزمینی خواهد بود (Saeedpanah & Mohammadzade Roofchaee, 2018). در مطالعه‌ای دیگر با بررسی روش‌های مختلف تحلیل ریاضی جهت شبیه‌سازی برهم‌کنش آب‌های سطحی و زیرزمینی، نشان داده شد که مجموعه‌ای از عوامل محیطی شامل دما و شوری آب، عوامل هیدرولیکی مانند سطح مقطع و محیط خیس‌شده رودخانه و هم‌چنین ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان و نحوه برداشت آب، از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر برهم‌کنش تغییرات تراز آب زیرزمینی می‌باشند (Fleckenstein *et al.,* 2006). در پژوهشی دیگر، ضمن بررسی پارامترهایی مانند رواناب، بارش، نحوه آبیاری و زه‌کشی، میزان تبخیر و تعرق و نشت با استفاده از روشی موسوم به روند جریان خروجی[1]، رابطه متناظر بین نشت از رودخانه به آبخوان و برعکس را در هشت بازه از رودخانه ریو گراند[2] آمریکا بررسی شد. نتایج نشان داد که رابطه بین این عوامل در برخی از بازه‌های رودخانه به‌صورت خطی و در برخی دیگر از بازه‌ها به‌صورت نمایی خواهد بود (Liu & Sheng, 2011). در مطالعه‌ای که در حوضه آذرشهر استان آذربایجان‌شرقی صورت گرفت، ضمن بررسی ضریب جریان روزانه، ارتباط بین تغییرات ضریب جریان رودخانه و سطح آب زیرزمینی در مجاورت رودخانه برآورد شد. نتایج گویای آن بود که ارتباط قابل‌توجهی بین ضریب جریان رودخانه و تراز ایستابی در مقیاس روزانه وجود دارد و رابطه بین جریان سطحی و بارش با تراز سطح ایستابی با استفاده از مدل

رگرسیون غیرخطی چند متغیره، قابل پیش‌بینی است (Saeedi Razavi & Arab, 2020).

پژوهش‌گران دیگری نیز جهت بررسی برهم‌کنش جریان‌های سیلابی ناشی از بارندگی با آبخوان‌های آب زیرزمینی در حوضه رودخانه ژانگ‌تیان[3] چین، از یک روش اصلاح‌شده غیرخطی مبتنی بر روش روندیابی ماسکینگهام- کانگ[4] استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش توصیه‌شده می‌تواند ورودی و خروجی‌های جانبی به مسیر جریان آب سطحی و زیرزمینی را به‌خوبی شبیه‌سازی نموده و در بررسی برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی لحاظ نماید. هم‌چنین نتایج نشان داد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌هایی نظیر ارزیابی ناهنجاری‌های دمایی نیز قابلیت مناسب‌تری در بررسی و شبیه‌سازی برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی از خود نشان می‌دهد (Lu *et al.*, 2021). نتایج مطالعه‌ای دیگر که با هدف بررسی تغییرات برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی در حوضه رودخانه آواش[5] اتیوپی با استفاده از تحلیل تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای و هم‌چنین انجام آزمایش‌های ایزوتوپی صورت گرفت، نشان داد که در محدوده مطالعاتی، رودخانه بیش‌تر نقش تغذیه‌کننده آبخوان را بر عهده داشته و اثری از تغذیه رودخانه توسط جریان آب زیرزمینی در منطقه وجود ندارد. هم‌چنین نتایج نشان داد که تخلیه آب زیرزمینی از سفره‌های این ناحیه، چندان بر تغییرات تراز آب رودخانه تأثیرگذار نخواهد بود (Kebede *et al.*, 2021). مطالعه‌ای دیگر نیز با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر برهم‌کنش آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوضه نسبتاً پرباران دل‌آزول[6] آرژانتین با استفاده از یک مدل هیدروژئولوژیکی صورت گرفت. جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی منطقه نیز از سناریوهای RCP تحت گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که تغییر اقلیم می‌تواند میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی در منطقه موردمطالعه را به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار دهد. هم‌چنین بر اساس نتایج حاصله مشخص گردید که کاهش تراز آب‌های زیرزمینی در منطقه، منجر به تغییر گرادیان جریان از آب سطحی به آب زیرزمینی شده و منجر به تغییر نقش آب زیرزمینی از حالت تغذیه‌کننده به تغذیه‌شونده شده است (Guevara Ochoa *et al.*, 2020).

با توجه به قرارگیری استان اصفهان در یکی از نواحی خشک کشور و وابستگی زیاد این منطقه به جریان آب در رودخانه زاینده‌رود، شناسایی آثار کاهش جریان رودخانه بر تراز آب زیرزمینی در این ناحیه اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از نواحی حساس و مهم از نظر مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی در این استان، محدوده نجف‌آباد می‌باشد. بدین لحاظ، هدف از انجام این مطالعه، تحلیل حساسیت عوامل اقلیمی (دما و بارش) و غیر اقلیمی (تغییرات دبی تنظیمی رودخانه، آب جاری در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و برداشت آب زیرزمینی) بر تغییرات تراز آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی نجف‌آباد می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

استان اصفهان به‌عنوان یکی از مناطق پرجمعیت ایران محسوب می‌شود. به‌طورکلی، قسمت اعظم این استان، بارشی کم‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر در طول سال دارد و میانگین تعداد روزهای بارانی سالانه در این منطقه ۷۰ روز می‌باشد. رودخانه زاینده‌رود پرآب‌ترین رودخانه در این ناحیه بوده که قسمت عمده آب موردنیاز استان اصفهان را تأمین می‌کند. این رودخانه با طول ۳۵۰ کیلومتر از کوه‌های زاگرس در چهارمحال و بختیاری سرچشمه گرفته و درنهایت به تالاب گاوخونی در شرق استان اصفهان ختم می‌شود. متوسط جریان سالانه این رودخانه

۱٤۰۰ میلیون مترمکعب است که از این مقدار ٦٥۰ میلیون مترمکعب سهم جریان طبیعی رودخانه است و ۷٥۰ میلیون مترمکعب آن از انتقال آب بین حوضه‌ای تأمین می‌شود (Zareian & Eslamian, 2016). جریان این رودخانه توسط سد زاینده‌رود تنظیم می‌شود. یکی از نواحی مهم در مسیر این رودخانه، محدوده نجف‌آباد می‌باشد که دارای تراکم زیادی در کشاورزی، جمعیت و نواحی صنعتی است. این محدوده بین عرض‌های جغرافیایی '۱۹ °۳۲ تا '۵۰ °۳۲ شمالی و طول‌های جغرافیایی '۵۳ °۵۰ تا '٤۳ °۵۱ شرقی واقع شده است. مساحت این محدوده ۱۷۳۰ کیلومترمربع بوده که ۱۰٦٥ کیلومترمربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند (Eslamian *et al.*, 2012; Gohari *et al.*, 2013). شکل (۱) موقعیت محدوده نجف‌آباد و استان اصفهان را نشان داده است.

طی نزدیک به دو دهه گذشته، وقوع تغییرات در آورد رودخانه زاینده‌رود (که ناشی از عوامل اقلیمی و همچنین افزایش برداشت از آن بوده است)، موجب شده است تا نوسانات شدیدی در جریان آب رودخانه ایجاد شود. این نوسانات به‌طور عمده در پایین‌دست سد زاینده‌رود رخ داده است که ناشی از تنظیم جریان برای مصارف در فصل‌های گرم سال بوده است. بدین لحاظ در برخی از مقاطع سال، جریان در پایین‌دست سد به حداقل مقدار خود رسیده است (Zareian, 2021). یکی از این نواحی که از وضع ذکرشده متأثر شده است، محدوده نجف‌آباد بوده است. به‌دلیل تغییرات جریان آب در رودخانه، آبخوان‌های واقع در این ناحیه نیز تحت تأثیر قرار گرفته و از لحاظ کمیت و کیفیت دچار تغییراتی شده‌اند.

بدین لحاظ، در مطالعه حاضر سعی شد تا عوامل اثرگذار اصلی بر تغییرات تراز آب در آبخوان این محدوده شامل دما، بارندگی، آب جاری در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی منطقه، تغییرات دبی رودخانه و برداشت از آب‌های زیرزمینی موردبررسی قرار گرفته و با انجام تحلیل حساسیت، میزان تأثیر هر کدام از عوامل ذکرشده بر تغییرات تراز آب زیرزمینی تعیین شود. دوره زمانی مورداستفاده در این پژوهش، دوره زمانی سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۱٤ در نظر گرفته شد. سه ایستگاه هواشناسی و دو ایستگاه هیدرومتری واقع در محدوده موردنظر جهت بررسی تغییرات دما و بارش و همچنین تغییرات دبی رودخانه در نظر گرفته شدند. ویژگی‌های این ایستگاه‌ها در جدول (۱) ارائه گردیده است. همچنین تغییرات مقدار آب جاری در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی منطقه و همچنین تغییرات میزان بهره‌برداری از آب زیرزمینی نیز از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان در دوره مورد نظر اخذ شد.

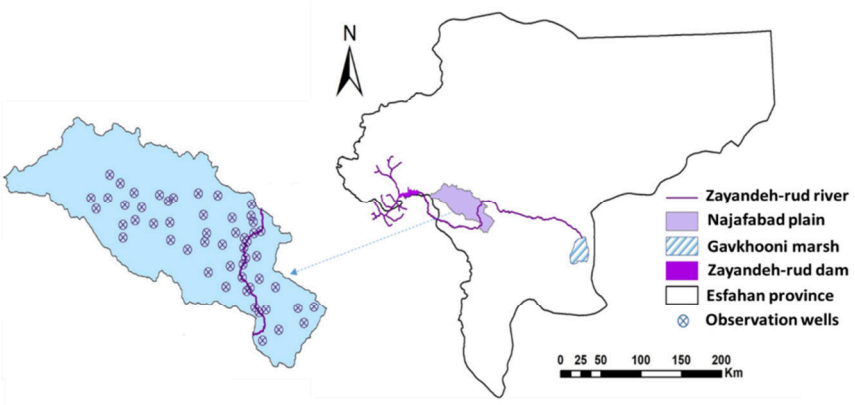


**Figure 1. Isfahan province and najafabad study area**

**Table 1. Characteristics of meteorological and hydrometric stations used in the research**

| Name of station | Latitude | Longitude | Elevation from sea level (m) | Type |
|---|---|---|---|---|
| Lenj | 32°22' | 51°32' | 1672 | Weather station |
| Falavarjan | 32°30' | 51°28' | 1648 | Weather station |
| Najafabad | 32°35' | 51°22' | 1641 | Weather station |
| Lenj | 32°22' | 51°32' | 1672 | Hydrometric station |
| Musian | 32°34' | 51°31' | 1621 | Hydrometric station |

برای تعیین مقدار کل جریان رودخانه موجود در هر محدوده مطالعاتی، ایستگاه‌های هیدرومتری ابتدا و انتهای بازه مطالعاتی در نظر گرفته شدند. بر این اساس، ایستگاه‌های هیدرومتری لنج و موسیان به‌عنوان ایستگاه‌های هیدرومتری معرف دشت نجف‌آباد در نظر گرفته شدند. مقدار حجم جریان موجود در محدوده مطالعاتی براساس اختلاف بین حجم جریان عبوری از دو ایستگاه هیدرومتری معرف محدوده تعیین شدند. هم‌چنین میزان تغییرات دما، بارش، تخلیه آب زیرزمینی و جریان موجود در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی محدوده نیز در این دو دوره تفکیک و مشخص شدند. تغییرات تراز آب زیرزمینی در این دو دوره نیز براساس تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای اطراف رودخانه تعیین شدند.

جهت بررسی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های اطراف رودخانه، پلی‌گون‌بندی تیسن[۷] توسط نرم‌افزار ArcMap به محدوده‌های مختلفی محدود شد. در نخستین حالت، کل چاه‌های مشاهداتی محدوده مطالعاتی در پلی‌گون‌بندی مورداستفاده قرار گرفتند و در اصل هیدروگراف معرف کل دشت تعیین شد (گروه اول). در مرحله دوم پلی‌گون‌ها به نواحی محدود شد که رودخانه از آن‌ها عبور نموده است. به‌عبارت دیگر، در این مرحله چاه‌های مشاهده‌ای در تعیین تراز سطح آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفتند که رودخانه از محدوده پلی‌گون مربوط به آن چاه مشاهده‌ای عبور کرده باشد (گروه دوم). شکل (۲) نحوه پلی‌گون‌بندی با استفاده از روش تیسن را برای گروه‌های اول و دوم نشان داده است.

جهت تعیین هیدروگراف معرف تراز آب زیرزمینی برای گروه‌های اول و دوم، تراز سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای مشخص شده، در رابطه (۱) قرار گرفتند تا هیدروگراف معرف سطح آب زیرزمینی در هر دو حالت برای دشت نجف‌آباد محاسبه گردد.

$$\overline{H} = \frac{\sum_{i=1}^{n} aH}{A} \qquad (۱)$$

که در این رابطه، H تراز مطلق سطح آب چاه مشاهده‌ای، a مساحت پلی‌گون تحت پوشش هر چاه مشاهده‌ای و A مساحت کل محدوده پلی‌گون موردمطالعه است (Brassel & Reif, 1979).

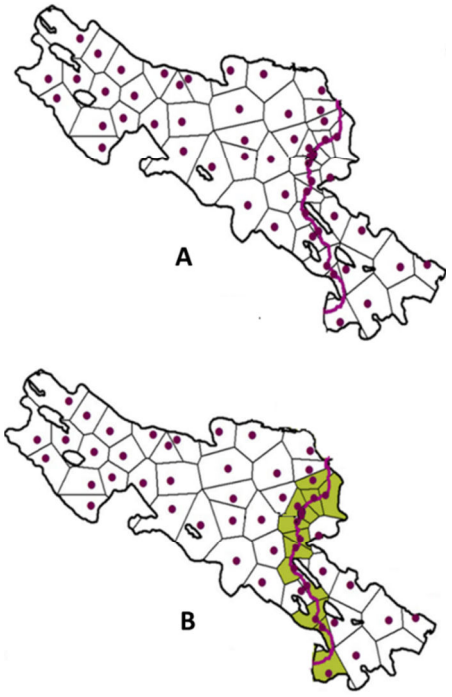


**Figure 2. Thiessen polygons for wells of the first group (A) and the second group (B)**

جهت تحلیل میزان وابستگی تغییرات تراز آب زیرزمینی به هر کدام از متغیرهای دما، بارش، تغییر در جریان رودخانه، تغییر در آب موجود در شبکه‌های آبیاری و تغییر در پمپاژ آب، از تحلیل رگرسیون خطی چندگانه و همبستگی جزئی در نرم‌افزار SAS[8] استفاده شد. در این نوع رگرسیون، هدف تعیین رابطه متغیرهای مستقل (هاx) و مقدار مشخص خروجی (هاy) است. از اهداف این روش می‌توان به تعیین مثبت یا منفی‌بودن ضرایب رگرسیون و تفسیر این ضرایب اشاره کرد. هنگامی‌که تنها یک متغیر x به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شود، روند تغییرات را نسبت به y می‌توان در یک محور مختصات رسم نمود و از روی آن به همبستگی بین ورودی و خروجی پی برد. ولی هنگامی‌که y با چند x رابطه داشته باشد، برای پی‌بردن به میزان همبستگی کار بسیار پیچیده‌ای است. در اصل این روش تنها برای بررسی میزان همبستگی بین داده‌های ورودی و خروجی به‌کار می‌رود (Binder, 1985). برای حل چنین مسائلی می‌توان از نرم‌افزار SAS استفاده نمود. این نرم‌افزار قادر است اثر چندین متغیر را با هم بر یک یا چند خروجی موردبررسی قرار دهد و براساس تجزیه و تحلیل آماری، بهترین رابطه را بین متغیرهای ورودی و خروجی برقرار کرده و میزان همبستگی بین پارامترهای مختلف را با خروجی بررسی کند. پس از تعیین میزان همبستگی هر کدام از ورودی‌ها با خروجی و انتخاب بهترین رابطه همبستگی چند متغیره، با تغییر در میزان هر کدام از ورودی‌ها و ثابت نگه‌داشتن سایر آن‌ها، میزان تغییرات خروجی مورد بررسی قرار گرفت تا از روی آن میزان حساسیت تغییرات تراز آب زیرزمینی نسبت به تغییر در هر کدام از ورودی‌ها، تعیین شود. برای تحلیل میزان دقت روش رگرسیونی مورد استفاده نیز از سه آماره خطای استاندارد، p-value و آماره t (مربوط به آزمون تی‌استیودنت)[9] استفاده شد (Zimmerman, 1987).

## نتایج و بحث

روند تغییرات دبی جریان رودخانه در محل ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که دو روند متفاوت از لحاظ تغییرات دبی در این ایستگاه‌ها وجود داشته است. متوسط دبی سالانه در طی بازه زمانی سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۱٤ در ایستگاه‌های لنج و موسیان به‌ترتیب ۱۹/۲ و ۱٤/۸ مترمکعب در ثانیه بوده است. در طی سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۰۷، مقدار دبی جاری در ایستگاه‌های هیدرومتری بیش از مقدار متوسط ۱۱ ساله و از سال آبی ۲۰۰۸ به بعد، مقدار دبی نسبت به چهار سال ماقبل آن، کاهش یافته و به کم‌تر از مقدار میانگین تقلیل یافته است. به‌عبارت دیگر، می‌توان چهار سال اول را به‌عنوان دوره خشک و هفت سال بعد را به‌عنوان دوره تر نسبت به میانگین ۱۱ ساله فرض نمود.

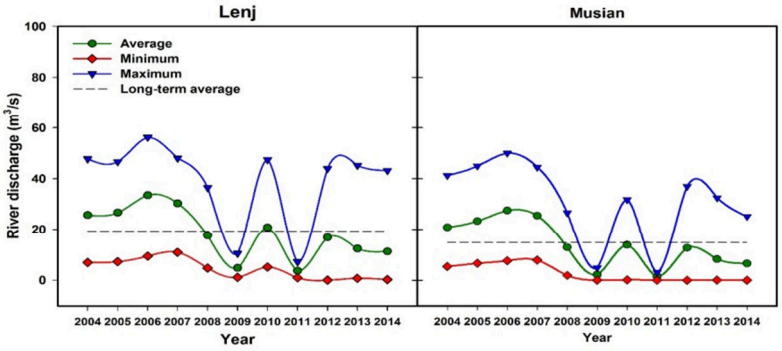


**Figure 3. Changes in river flow at lenj and musian hydrometric stations**

برای تشخیص بهتر روند تغییرات جریان سطحی در محدوده مطالعاتی، مقدار دبی هر عبوری از ایستگاه‌های هیدرومتری محاسبه شد و با تجمیع مقادیر حجم جریان روزانه در هر سال، مقدار کل حجم آب عبوری از هر ایستگاه هیدرومتری محاسبه شد. نتایج نشان داد که با تحلیل اختلاف جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری لنج و موسیان به‌عنوان ایستگاه‌های هیدرومتری دشت نجف‌آباد، مقدار کل جریان موجود در دوره دوم نسبت به دوره اول با کاهش ۱۳/۷ درصدی مواجه بوده است.

مقادیر تخلیه آب زیرزمینی ار منابع مختلف در محدوده نجف‌آباد در جدول (۲) ارائه شده است. در این محدوده سهم چاه‌های نیمه‌عمیق به نسبت بیش از سایر منابع تخلیه‌کننده آب زیرزمینی بوده است، هر چند در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸، تخلیه آب زیرزمینی از چاه‌های عمیق بیش از سایرین بوده است. بیش‌ترین مقدار تخلیه آب زیرزمینی در دشت نجف‌آباد در سال ۲۰۰٦ و برابر با ۱۰٤۲/۹ میلیون مترمکعب و کم‌ترین آن در سال آبی ۲۰۰۸ و برابر با ۷۰۵/۵ میلیون مترمکعب بوده است. مقایسه مقادیر متوسط تخلیه آب در دوره اول و دوره دوم نشان می‌دهد که متوسط تخلیه کل منابع آب زیرزمینی دشت نجف‌آباد از ۸۸۲/۸ میلیون مترمکعب در دوره اول به ۸۰۰/۵ میلیون مترمکعب در دوره دوم کاهش یافته است. لذا می‌توان چنین استنباط نمود که در صورت کاهش تراز آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در دوره دوم، عوامل دیگری نیز علاوه بر برداشت آب زیرزمینی نقش داشته‌اند.

شکل (٤) هیدروگراف معرف محدوده مطالعاتی نجف‌آباد برای دو گروه کل چاه‌های مشاهده‌ای محدوده و هم‌چنین چاه‌های مشاهده‌ای اطراف رودخانه در دوره اول (۲۰۰٤ تا ۲۰۰۷) و دوره دوم (۲۰۰۸ تا ۲۰۱٤) نشان داده است. این هیدروگراف هم براساس کل چاه‌های مشاهده‌ای محدوده و نیز چاه‌های مشاهده‌ای اطراف رودخانه به‌صورت جداگانه ترسیم شده است. نتایج نشان می‌دهد که در محدوده مطالعاتی نجف‌آباد مقدار افت در چاه‌های مشاهده‌ای کل محدوده و چاه‌های مشاهده‌ای اطراف رودخانه به‌ترتیب برابر با ۵/۵۹ و ۵/۹۵ متر بوده است. با فاصله‌گرفتن از رودخانه به تدریج مقدار افت سطح آب زیرزمینی کاهش یافته است. بنابراین در این محدوده که کاهش جریان آب سطحی وجود داشته است، به تدریج با فاصله‌گرفتن از رودخانه اثرات کاهش جریان رودخانه کم‌تر شده است و به‌نظر می‌رسد افت در چاه‌های مشاهده‌ای اطراف رودخانه وابستگی بیش‌تری به کاهش جریان رودخانه داشته است.

**Table 2. Annual water withdrawal from different groundwater resources in Najafabad plain**

| Year | Water withdrawal (Million cubic meters) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Deep wells | Semi-deep wells | Qanats | Springs | Total |
| 2004 | 316.9 | 457.1 | 20.3 | 0.9 | 795.1 |
| 2005 | 323.3 | 506.9 | 21.8 | 1.0 | 853.0 |
| 2006 | 430.6 | 575.3 | 35.6 | 1.4 | 1042.9 |
| 2007 | 592.8 | 231.4 | 15.8 | 0.0 | 840.0 |
| 2008 | 509.0 | 188.6 | 7.9 | 0.0 | 705.5 |
| 2009 | 284.8 | 475.4 | 4.8 | 0.0 | 765.0 |
| 2010 | 248.9 | 472.4 | 4.3 | 0.0 | 725.6 |
| 2011 | 340.3 | 602.8 | 1.6 | 0.0 | 944.7 |
| 2012 | 270.3 | 487.5 | 1.3 | 0.0 | 759.1 |
| 2013 | 313.9 | 530.7 | 1.8 | 0.6 | 847.1 |
| 2014 | 336.5 | 512.3 | 1.7 | 0.6 | 856.3 |
| Average 2004-2007 | 415.9 | 442.7 | 23.4 | 0.8 | 882.8 |
| Average 2008-2014 | 329.1 | 467.1 | 3.3 | 0.2 | 800.5 |

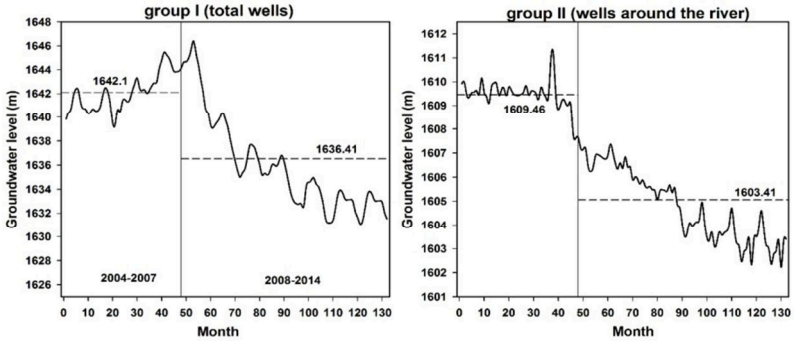


**Figure 4. Groundwater unit-hydrograph of najafabad plain for group I (total wells in the area) and group II (wells around the river)**

جدول (۳)، نتایج تحلیل آماری مدل رگرسیونی مورد استفاده برای تحلیل عوامل مؤثر بر تغییرات تراز آب زیرزمینی در محدوده نجف‌آباد را برای دو گروه اول (کل چاه‌های مشاهده‌ای محدوده) و گروه دوم (چاه‌های مشاهده‌ای نزدیک به رودخانه) نشان داده است. براساس جداول آماری، میزان تأثیر هر پارامتر در خروجی حاصله با مشخصه خاص خود[10] معرفی شده است. در این جدول‌ها مقدار متغیرهای دبی رودخانه، حجم آب موجود در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی، مقدار پمپاژ آب، دما و بارندگی به‌عنوان متغیرهای مستقل به مدل رگرسیونی معرفی شدند. مقدار مشخصه خاص برای هر متغیر، مقدار تأثیر آن پارامتر را در تغییر خروجی‌های مدل نشان می‌دهد. مثبت یا منفی‌بودن این مؤلفه نیز نشان‌دهنده همبستگی مثبت یا منفی داده‌های ورودی با خروجی مدل می‌باشد. به‌عبارت دیگر، اگر ضریب تخمینی دارای علامت مثبت باشد، با زیادشدن آن پارامتر ورودی، خروجی نیز زیاد می‌شود و در صورت منفی‌بودن مؤلفه، رابطه عکس بین ورودی و خروجی برقرار می‌باشد و با زیادشدن آن ورودی، مقدار خروجی کاهش می‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد که ضرائب وزنی محاسبه‌شده برای دبی رودخانه، جریان آب در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و بارندگی مثبت، و برای دما و پمپاژ آب منفی می‌باشد. ولی مقدار این تأثیرات در چاه‌های مشاهده‌ای هر گروه (گروه اول و دوم) متفاوت می‌باشد. در ناحیه مطالعاتی نجف‌آباد، برای کل محدوده دشت، بیش‌ترین تأثیر بر تغییرات تراز آب زیرزمینی در اثر پمپاژ آب رخ داده است و با نزدیک‌شدن به رودخانه اثرات تغییر در جریان رودخانه تشدید شده است. برای مقایسه نسبی مقادیر میزان اثرگذاری متغیرهای مختلف بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در محدوده نجف‌آباد، مقادیر مشخصه خاص برآوردشده برای هر متغیر، به‌صورت بی‌بعد و با درصدی از ضریب ۱۰۰ نیز محاسبه گردید. نتایج مربوطه در جدول (٤) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در حالتی که هیدروگراف تراز آب زیرزمینی حاصل از کل چاه‌های مشاهده‌ای محدوده مدنظر قرار داشته باشد، تغییرات پمپاژ آب زیرزمینی به میزان ۳٦/۱۹ درصد، بیش‌ترین تأثیر را بر تغییرات تراز آب زیرزمینی بر جا خواهد گذاشت و پس از آن تغییرات جریان در رودخانه با سهم ۲۸/٦۰ درصد، متغیر اثرگذار مهم خواهد بود. از طرف دیگر، زمانی‌که هیدروگراف معرف تراز آب زیرزمینی تنها براساس تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای اطراف رودخانه رسم شوند، تغییرات جریان در رودخانه با سهم ۳٤/٦٤ درصد بیش‌ترین اثر را بر تغییرات تراز آب زیرزمینی خواهد داشت و سهم پمپاژ آب به ۲۸/۵۳ خواهد رسید. در حالت کلی، تغییر در متغیرهای دما و بارش سهم کم‌تری نسبت به سایر متغیرها در ایجاد نوسانات تراز آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه داشته‌اند.

**Table 3. Results of statistical analysis of regression model used to analyze the factors affecting groundwater level changes in Najafabad plain**

| Variable | Group I (all wells) | | | | Group I (wells around the river) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Parameter estimate | Standard error | t-value | Pr≥t | Parameter estimate | Standard error | t-value | Pr≥t |
| River flow | 33.28 | 4.35 | -2.81 | 0.006 | 42.16 | 6.34 | -3.15 | 0.011 |
| Flow in irrigation networks | 24.16 | 5.21 | 2.41 | 0.018 | 31.33 | 7.12 | 3.15 | 0.024 |
| Groundwater withdrawal | -42.11 | 3.86 | -1.01 | 0.031 | -34.72 | 2.64 | 0.028 | 0.021 |
| Temperature | -2.43 | 16.69 | 5.44 | 0.001 | -2.34 | 15.34 | 4.82 | <0.001 |
| Precipitation | 14.38 | 3.44 | 6.45 | 0.015 | 11.16 | 4.14 | 7.08 | 0.035 |

**Table 4. Sensitivity of regression model to changes in input variables to investigate changes in groundwater level in Najafabad plain**

| Variable | Group I (all wells) | Group I (wells around the river) |
|---|---|---|
| River flow | 28.60 | 34.64 |
| Flow in irrigation networks | 20.76 | 25.74 |
| Groundwater withdrawal | 36.19 | 28.53 |
| Temperature | 2.09 | 1.92 |
| Precipitation | 12.36 | 9.17 |

## نتیجه‌گیری

جمع‌بندی نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در نواحی که تغییرات تراز آب زیرزمینی در آن‌ها در طی دوره‌های مختلف زمانی تغییر می‌نماید، عوامل مختلفی بر این نوسانات تأثیرگذار خواهند بود. سطح آب زیرزمینی در محدوده نجف‌آباد به‌دلیل گستردگی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی (به‌دلیل وسعت اراضی کشاورزی)، وجود شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و عبور رودخانه از آن ممکن است در اثر تغییر در هر کدام از این عوامل، دستخوش تغییر شود. علاوه بر این موارد که غیراقلیمی می‌باشند، عوامل اقلیمی نظیر تغییر در میزان بارش و دما نیز ممکن است بر این موضوع اثرگذار باشند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات تراز آب زیرزمینی در محدوده کل دشت با محدوده چاه‌های مشاهده‌ای اطراف رودخانه تفاوت دارد. در حالتی که کل محدوده مطالعاتی مدنظر باشد، تغییرات در پمپاژ آب از چاه‌های مشاهده‌ای منطقه اصلی‌ترین عامل مؤثر بر نوسانات تراز آب زیرزمینی می‌باشد. این در حالی است که در صورتی‌که تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای اطراف رودخانه موردبررسی قرار گیرد، تغییرات دبی رودخانه عامل اصلی تأثیرگذار بر نوسانات این چاه‌ها خواهد بود. در حالت کلی در محدوده نجف‌آباد، تغییرات دبی رودخانه از میزان ۲۸/٦ درصد در کل محدوده رودخانه تا ۳٤/٦٤ درصد در چاه‌های مشاهده‌ای نزدیک رودخانه بر تغییرات تراز آب زیرزمینی تأثیرگذار خواهد بود. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که سهم دما و بارش در نوسان سطح آب زیرزمینی در محدوده موردنظر در مقایسه با سهم عوامل تغییر در دبی رودخانه، تغییر در آب موجود در شبکه‌های آبیاری و پمپاژ آب زیرزمینی کم‌تر خواهد بود و این عوامل غیراقلیمی هستند که تأثیرگذاری بیش‌تری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در این ناحیه داشته‌اند.

در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش مورداستفاده در این پژوهش می‌تواند تا حد قابل‌قبولی رفتار آبخوان‌های زیرزمینی را در نتیجه تأثیر مولفه‌های تغذیه و تخلیه‌کننده آن (نظیر بارش، جریان سطحی، پمپاژ آب و ...) شبیه‌سازی نماید. با این وجود، توجه به این نکته ضروری است که استفاده از روش‌های رگرسیونی برای شبیه‌سازی رفتار آبخوان‌ها دارای محدودیت‌های خاص خود می‌باشد و باید قبل از به‌کارگیری این روش‌ها ضمن درنظرگرفتن اهداف نهایی موردنظر، از عدم تأثیر نامطلوب این محدودیت‌ها بر نتیجه کار اطمینان حاصل نمود. درنظرنگرفتن ویژگی‌های فیزیکی آبخوان‌ها (نظیر نوع آبخوان، بافت سفره، قابلیت انتقال، مسیرهای جریان ترجیحی

و ...) با استفاده از روش‌های رگرسیونی تقریباً غیرممکن هستند و درصورتی‌که بررسی برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی در مقیاس‌های کوچک و با جزئیات بیش‌تری مدنظر باشد، باید حتماً از روش‌های مبتنی بر مدل‌های هیدرلوژیکی و هیدروژئولوژیکی که دارای مبنای ریاضی بوده و ویژگی‌های فیزیکی آبخوان را نیز شبیه‌سازی می‌کنند، استفاده نمود.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت و پشتیبانی شرکت آب منطقه‌ای اصفهان انجام گرفته است. نویسنده این مقاله بر خود لازم می‌داند که مراتب تشکر و قدردانی خود را از کمک‌های بی‌دریغ این مجموعه اعلام نمایند.

## پی‌نوشت‌ها

1. Trend-outflow method
2. Rio grand
3. Zhongtian
4. Muskingum-cunge
5. Awash
6. Del azul
7. Thiessen polygons
8. Statistical analysis system
9. Student's t-test
10. Parameter estimate

## تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## منابع

Andersen, M. S., & Acworth, R. I. (2009). Stream-aquifer interactions in the Maules Creek catchment, Namoi Valley, New South Wales, Australia. *Hydrogeology Journal,* 17(8), 2005-2021.

Binder, J. J. (1985). On the use of the multivariate regression model in event studies. *Journal of Accounting Research,* 1, 370-383.

Brassel, K. E., & Reif, D. (1979). A procedure to generate Thiessen polygons. *Geographical Analysis,* 11(3), 289-303.

Ebrahimi Varzane, S., Zarei, H., Tishehzan & Akhondali, A.M. (2019). Evaluation of groundwater-surface water interaction by using cluster analysis (case study: western part of Dezful-Andimeshk plain). *Iran-Water Resources Research,* 15(3), 246-257. (in Persian)

Eslamian S. S., Gohari, S. A., Zareian, M. J., & Firoozfar A. (2012). Estimating Penman-Monteith reference evapotranspiration using artificial neural networks and genetic algorithm: A case study. *Arabian Journal for Science and Engineering,* 37(4), 935-944.

Faryabi, M., & Chitsazan, M. (2016). Evaluation of river–aquifer interaction using physicochemical parameters, Case Study: the north part of Dezful–Andimeshk district. *Journal of Environmental Geology,* 10(34), 101-115. (in Persian)

Fleckenstein, J. H., Krause, S., Hannah, D. M., & Boano, F. (2010). Groundwater-surface water interactions: New methods and models to improve understanding of processes and dynamics. *Advances in Water Resources,* 33(11), 1291-1295.

Fleckenstein, J. H., Niswonger, R. G., & Fogg, G. E. (2006). River-aquifer interactions, geologic heterogeneity, and low-flow management. *Groundwater,* 44(6), 837-852.

Guevara Ochoa, C., Medina Sierra, A., Vives, L., Zimmermann, E., & Bailey, R. (2020). Spatio-temporal patterns of the interaction between groundwater and surface water in plains. *Hydrological Processes,* 34(6), 1371-1392.

Gohari, A., Eslamian, S., Mirchi, A., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., & Madani, K. (2013). Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can Backfire. *Journal of Hydrology,* 491, 23-39.

Islami, R., & Rahimi, A. (2019). Policymaking and water crisis in Iran. *Quarterly Journal of the Macro and Strategic Policies,* 7(3), 411-434. (n Persian)

Jacobs, K. L., & Holway, J. M. (2004). Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA. *Hydrogeology Journal,* 12(1), 52-65.

Kalbus, E., Reinstorf, F., & Schirmer, M. (2006). Measuring methods for groundwater, surface water and their interactions: a review. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions,* 3(4), 1809-1850.

Kebede, S., Charles, K., Godfrey, S., MacDonald, A., & Taylor, R. G. (2021). Regional-scale interactions between groundwater and surface water under changing aridity: evidence from the River Awash Basin, Ethiopia. *Hydrological Sciences Journal,* 66(3), 450-463.

Liu, Y., & Sheng, Z. (2011). Trend-outflow method for understanding interactions of surface water with groundwater and atmospheric water for eight reaches of the Upper Rio Grande. *Journal of Hydrology,* 409 (3-4), 710-723.

Lu, C., Ji, K., Wang, W., Zhang, Y., Ealotswe, T. K., Qin, W., Lu, J., Liu, B., & Shu, L. (2021). Estimation of the interaction between groundwater and surface water based on flow routing using an improved nonlinear Muskingum-Cunge method. *Water Resources Management,* 35, 2649-2666.

Mazaheri, M., & Abdolmanafi, N. S. (2017). Investigating the water crisis and its consequences in the country. *Islamic parliament research center of the Islamic Republic of Iran.* (in Persian)

McCarthy, K. A., McFarland, W. D., Wilkinson, J. M., & White, L. D. (1992). The dynamic relationship between ground water and the Columbia River: using deuterium and oxygen-18 as tracers. *Journal of Hydrology,* 135(1-4), 1-12.

Rotiroti, M., Zanotti, C., Fumagalli, L., Taviani, S., Stefania, G. A., Patelli, M., & Leoni, B. (2019). Multivariate statistical analysis supporting the hydrochemical characterization of groundwater and surface water: a case study in northern Italy. *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana,* 47, 90-96.

Saeedi Razavi, B., & Arab, A. (2020). Investigating the relationship between groundwater level and river and analyzing its daily flow coefficient. *Hydrogeology,* 5(1), 84-97. (in Persian)

Saeedpanah, I., & Mohammadzade Roofchaee, S. (2018). Modelling the effect of water fall in the river level on unsteady groundwater flow in leaky aquifer by separation of variables. *Iranian Journal of Ecohydrology,* 5(3), 969-976. (in Persian)

Seyedan, S. M., Kohansal, M. R., & Ghorbani, M. (2017). Achieving optimal path of extracting groundwater resources considering the side effects in Hamadan-Bahar plain. *Journal of Watershed Management Research,* 8(15), 191-201. (in Persian)

Sykes, J. F., Wilson, J. L., & Andrews, R. W. (1985). Sensitivity analysis for steady state groundwater flow using adjoint operators. *Water Resources Research,* 21(3), 359-371.

Zareian, M. J., & Eslamian, S. (2016). Variation of water resources indices in a changing climate. *International Journal of Hydrology Science and Technology,* 6(2), 173-187.

Zareian, M. J. (2021). Optimal water allocation at different levels of climate change to minimize water shortage in arid regions (Case Study: Zayandeh-Rud River Basin, Iran). *Journal of Hydro-environment Research,* 35:, 13-30.

Zimmerman, D. W. (1987). Comparative power of Student t test and Mann-Whitney U test for unequal sample sizes and variances. *Journal of Experimental Education,* 55(3), 171-174.