

## مدلسازی عددی اثرات احداث تصفیه خانه فاضلاب شهری بر کمیت و

### کیفیت منابع آب زیرزمینی شهر اردکان

الهام کمالی اردکانی<sup>۱</sup>؛ اکرم بمانی<sup>۲\*</sup>؛ مهدی حیات زاده<sup>۳</sup>؛ غلامرضا سیاحتی اردکانی<sup>۴</sup> و حسن خلیلی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان

۳- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان

۴- کارشناس سازمان آب و فاضلاب اردکان

(تاریخ دریافت ۹۹/۱۰/۰۵-تاریخ پذیرش ۹۹/۱۲/۰۵)

#### چکیده:

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به عنوان یکی از مهمترین زیرساخت‌های شهری، وظیفه بازیافت آب و مواد مغذی را از فاضلاب جمع‌آوری شده از منازل و واحدهای صنعتی به عهده دارند. تصفیه خانه فاضلاب اردکان با سیستم تصفیه بیولوژیکی لجن فعال و ظرفیت اسمی کل به مقدار ۲۳۲۲۸ متر مکعب در روز و با مساحت ۱۴ هکتار، تصفیه فاضلاب تمام شهر اردکان را بر عهده دارد، که می‌تواند اثرات قابل توجهی بر محیط زیست منطقه و منابع آب شهرستان داشته باشد. هدف این مطالعه، بررسی اثرات احداث شبکه کامل جمع‌آوری فاضلاب شهری و اجرای فاز کامل تصفیه‌خانه بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی شهر اردکان با استفاده از مدل عددی مادفلو می‌باشد. برای ساخت مدل مفهومی از چاه‌های مشاهداتی، چاه‌های بهره‌برداری، قنات‌ها، چاه‌های جذبی، ضریب هدایت هیدرولیکی و لایه‌های مرز آبخوان و تغذیه سطحی استفاده گردیده است. کلیه لایه‌ها در فرمت‌های متفاوت اعم از چندضلعی، خطی و رستری و نقطه‌ای در محیط Arc GIS تعریف شده و سپس به محیط GMS فراخوانی گردید. نتایج مدلسازی‌های انجام شده نشان داد که استفاده نمودن از پسابهایی که تصفیه می‌شوند برای ارتقا و جبران افت تراز آب در منابع زیرزمینی در دشت یزد-اردکان می‌تواند بسیار موثر واقع گردد و حداقل تا ۲۳ درصد از کاهش سطح ایستابی آب زیرزمینی جلوگیری نماید مقدار RMSE حاصل از واسنجی مدل در حالت پایدار و ناپایدار ۰/۴۱ و ۰/۴۲ به دست آمد. نتایج تحقیق نشان داد که در سناریوی‌های تعریفی به ازای خارج کردن شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری به طور کلی از چرخه هیدرولوژیکی با بیشترین مقدار افت تراز سطح آب که معادل ۳۵ درصد می‌باشد مواجه خواهیم شد که از دیدگاه مدیریت برای آبخوان زیرزمینی در جهت کاستن از روند افت تراز سطح آب این سناریو را می‌توان به عنوان نامناسبترین سناریو در نظر گرفت و نشان دهنده تاثیرات مثبت تصفیه خانه در دشت اردکان می‌باشد.

کلید واژگان: MODFLOW- محیط زیست- آبخوان- GMS

## ۱. مقدمه

فراوان دارد ( Zhang and Hiscock, 2010, )  
(Lalehzari *et al.*, 2014).

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به عنوان یکی از مهمترین زیرساخت‌های شهری، وظیفه بازیافت آب و مواد مغذی را از فاضلاب جمع آوری شده از منازل و واحدهای صنعتی به عهده دارند. در صورتی که فاضلاب‌های تولید شده جمع آوری و تصفیه نگردند، منبع آلودگی عظیمی تشکیل خواهد شد که نهایتاً به پذیرنده‌های سطحی و زیرزمینی کشور تحمیل خواهد شد. از این رو به عنوان بخشی از استراتژی‌ها برای حفظ سلامتی و محیط زیست و اقتصادی‌ترین استفاده از منابع موجود باید با ایجاد تاسیسات لازم برای جمع آوری و تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی محیط را به سمت بهبود، در زمینه های مختلف هدایت نمود (Farajzadeh *et al.*, 2013; Azari and Rafiee, 2018). تصفیه خانه فاضلاب اردکان با سیستم تصفیه بیولوژیکی لجن فعال و ظرفیت اسمی کل به مقدار ۲۳۳۲۸ مترمکعب در روز و با مساحت ۱۴ هکتار، تصفیه فاضلاب تمام شهر اردکان را بر عهده دارد، که می تواند اثرات قابل توجهی بر محیط زیست منطقه و منابع آب شهرستان داشته باشد. در حال حاضر درصد فعالیت شبکه فاضلاب تنها ۶٪ است که این مقدار باعث کاهش دبی ورودی به تصفیه‌خانه شده و در پی آن باعث ایجاد اختلال در فرایند تصفیه‌خانه خواهد شد و این مشکل میتواند تا حدودی با آگاهی دادن به شهروندان و به دنبال آن فعال شدن درصد بالاتری از شبکه فاضلاب حل خواهد شد. در حال حاضر دبی فاضلاب ورودی ۱۲ لیتر برثانیه است (دبی مناسب بالاتر از ۲۰ لیتر در ثانیه و دبی ۲۷۰ لیتر در ثانیه تا پایان

مدلسازی یکی از روشهای غیر مستقیم مطالعه منابع آبهای زیرزمینی است که بعلت کارایی بالا و هزینه کمتر نسبت به روشهای دیگر در حال حاضر توجه زیادی را به خود جلب نموده است. مدل آب زیرزمینی در واقع فرم ساده شده ای از یک سیستم واقعی آبهای زیرزمینی است که بطور تقریبی همبستگی بین عمل و عکس العمل هیدرودینامیکی را در یک سیستم ارائه می‌دهد. یکی از مهمترین مراحل مدلسازی، تهیه مدل مفهومی مناسب با طبیعت سفره می‌باشد که تهیه آن، بستگی به اهداف مدلسازی و منابع موجود و آمار و اطلاعات میدانی دارد ( Chitsazan and Saatsaz, 2006 Kinzelbach, 1986).

مدل سه بعدی MODFLOW یکی از معروفترین مدل‌های آب زیرزمینی برای توصیف و پیش‌بینی رفتار آبخوانها، می‌باشد. این مدل توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا توسعه یافته و قادر است به خوبی معادله‌های جریان آب زیرزمینی را بر پایه روش تفاضل‌های محدود حل نماید (Harbaugh *et al.*, 2000). امروزه این مدل برای بررسی اندرکنش آبهای زیرزمینی و آبهای سطحی، با مدل‌های ریاضی مختلف جفت می‌گردد (Kim *et al.*, 2008). در برخی تحقیقات، برای پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی، مدل MODFLOW در ترکیب با برخی مدل‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت ( Scibek and Allen, 2006). همچنین این مدل برای بررسی تغییرات کاربری اراضی و تغذیه منابع آب زیرزمینی کاربرد

زیرزمینی را نسبت به آلودگی نیترات در حوزه‌های آبریز زراعی مورد مدلسازی قرار دادند. از حدود ۴۰ سال پیش برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان، باعث افت سطح آب زیرزمینی در این آبخوان شده است. آمارها و اطلاعات نشان می‌دهد که افت سطح آب زیرزمینی همچنان ادامه دارد و کاهش کمیت و کیفیت برخی از چاه‌ها و نشست زمین در برخی مناطق نشان از بحرانی بودن وضعیت این دشت می‌باشد. هدف کلی این بررسی، مدلسازی اثرات تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی شهرستان اردکان است که شامل بررسی اثرات احداث شبکه کامل جمع آوری فاضلاب شهری و اجرای فاز کامل تصفیه‌خانه بر منابع آب زیرزمینی شهر اردکان با استفاده از مدل عددی MODFLOW می‌باشد که می‌تواند در مدیریت پایدار منابع آب به علت برداشت‌های بی‌رویه این منابع، از اهمیت و ضرورت بیشتری برخوردار باشد.

## ۲. مواد و روش‌ها

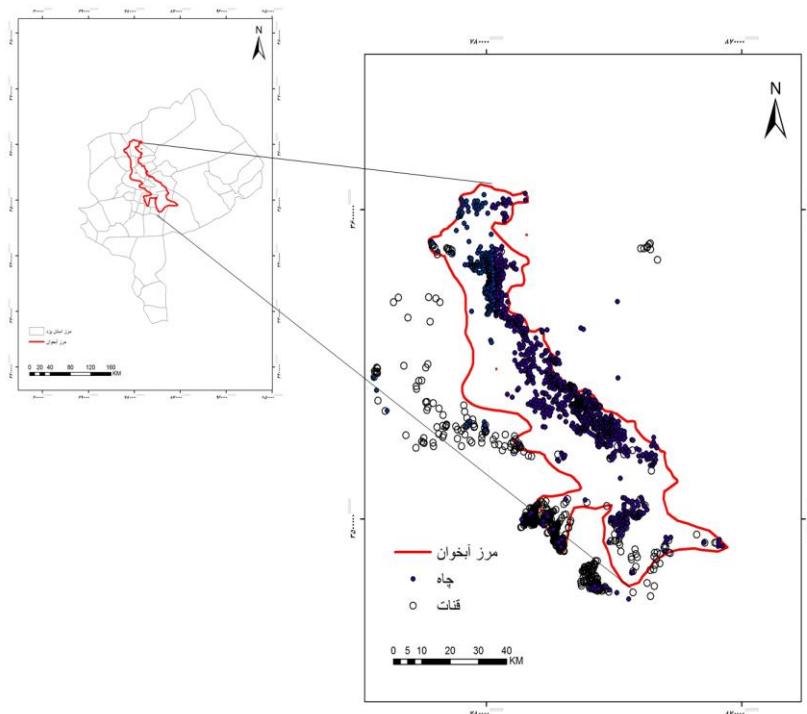
شهر اردکان در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی واقع شده است. از نظر توپوگرافی، بخش عمده شهرستان با خط تراز تقریبی ۱۵۰۰ متر محدود می‌شود. تنها حدود ۵٪ مساحت شهرستان کوهستانی بوده و ارتفاع متوسط شهرستان از سطح دریا ۱۲۳۴ متر است. در محدوده شهرستان بلندترین نقطه ارتفاعی مربوط به کوه خوانزا با ارتفاع ۳۱۵۸ متر است. بلندترین شهر اردکان از سطح دریا ۱۰۳۵ متر است (Fathizad *et al.*, 2018). حلقه چاه که کل تخلیه سالیانه

سال (۱۴۰۵) که با توجه به این دبی نامناسب به دلیل وصل نشدن تمام انشعابات، حدود ۹۵۰ مترمکعب در روز پساب استحصال خواهد شد که همین مقدار نیز با توجه به وضعیت بحرانی منطقه بسیار قابل توجه است (Yazd water and wastewater Co., 2016).

شبیه‌سازی آبخوان آب باریک بم و ارزیابی کمی تاثیر پروژه تغذیه آبخوان توسط katibeh and Hafezi در سال ۲۰۰۳، نشان داد که در اثر پخش سیلاب (به منظور تغذیه مصنوعی)، به طور متوسط طی سالهای ۱۹۹۷-۱۹۹۹ به میزان ۱۲/۶ میلیون متر مکعب آب به آبخوان افزوده گردیده، ولی روند افت علی‌رغم شروع به کار طرح تغذیه آبخوان ادامه خواهد داشت. همچنین Mirzaei and Majidi در سال ۲۰۱۳ با کاربرد نرم افزار مادفلو به تحقیق و بررسی اثرات احداث شبکه جمع آوری فاضلاب بر روی مدیریت نمودن منابع آب در دشت کرج-تهران پرداختند و نتیجه گرفتند که در بین کلیه مولفه‌های منابع آب و مصارف، پسابهای تولید شده یکی از مهمترین مولفه‌ها در تعیین وضعیت و شرایط آبخوان می‌باشد. تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان شهر موصل با استفاده از نرم افزار GMS کد MODFLOW مدلسازی گردید. بالا بودن سطح آب زیرزمینی در این شهر یک مشکل بزرگ و مهم به شمار میرفت که با استفاده از نرم افزار GMS به شناسایی و توقف آن اقدام نمودند (Al-Taiee and Abdulghani, 2006). Don و همکاران در سال ۲۰۰۵ با استفاده از مدل MODFLOW، فرونشست زمین و انتقال املاح در زمین‌های آبرفتی را شبیه سازی کردند. Almasri and Kaluarachchi در سال ۲۰۰۷ با استفاده از MT3D و MODFLOW آب‌های

مطالعه ۷۲۷ رشته قنات با مجموع تخلیه ۵۲ میلیون مترمکعب شناسایی شده است که تعداد ۲۲ رشته در داخل منطقه مطالعاتی قرار دارند و تخلیه سالیانه آنها حدود ۷ میلیون متر مکعب است ( Eslami *et al.*, 2018). (شکل ۱).

انها برابر ۲۸۷ میلیون مترمکعب در محدوده مطالعاتی وجود دارد که تعداد ۸۲۱ حلقه از این چاه ها با کل تخلیه ۲۷۵ میلیون در منطقه آبخوان اصلی قرار دارند. همچنین تعداد ۲۲ حلقه چاه عمیق با هدف تامین- کردن آب شرب در قسمت غرب مدل با تخلیه سالیانه ۱۵ میلیون مترمکعب حفر شده‌اند. در منطقه مورد



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

اثرات جمع آوری فاضلاب شهر اردکان از طریق احداث تصفیه خانه فاضلاب شهری در کنترل یا کاهش افت سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می گیرد (McDonald and Harbaugh, 1988). ابتدا مدل مفهومی آبخوان بر اساس مطالعات مطالعات زمین- شناسی و هیدروژئولوژیکی تهیه شده است و در ادامه مدل مفهومی به مدل عددی تبدیل شده است (Pollock, 1989). در این مرحله شبکه بندی آبخوان بر اساس هندسه مدل شامل شرایط مرزی و ارتفاع بالا و پایین سفره(های) آب زیرزمینی تعیین و

## ۱-۲. مدل سازی عددی آبخوان

از بین نرم افزارهای شبیه سازی حرکت آبهای زیرزمینی، نرم افزار GMS به علت در نظر گرفتن خواص فیزیکی و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ساخت مدل مفهومی دارای قابلیت های بسیار خوبی در مطالعه آبهای زیرزمینی میباشد. اطلاعات مورد نیاز در MODFLOW توسط GMS تهیه و در مدل عددی آبخوان با استفاده از کد کامپیوتری MODFLOW طی مراحل زیر تهیه شده و

کشاورزی، آب نفوذ یافته در اثر فاضلاب شهری، صنعتی و روستایی از دیگر عوامل تغذیه آبخوان هستند.

۴- داده‌های مربوط به منابع مصارف و بهره برداری  
۵- داده‌های مربوط به سنجش و پایش: از آمار و اطلاعات چاههای مشاهده ای جهت تعیین شبکه جریان، هیدروگراف معرف دشت و مدل‌سازی معرف دشت و مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی استفاده می‌گردد. شکل ۲، ضریب هدایت هیدرولیکی را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

## ۲-۲. واسنجی (کالیبراسیون) مدل ریاضی در شرایط پایدار و ناپایدار

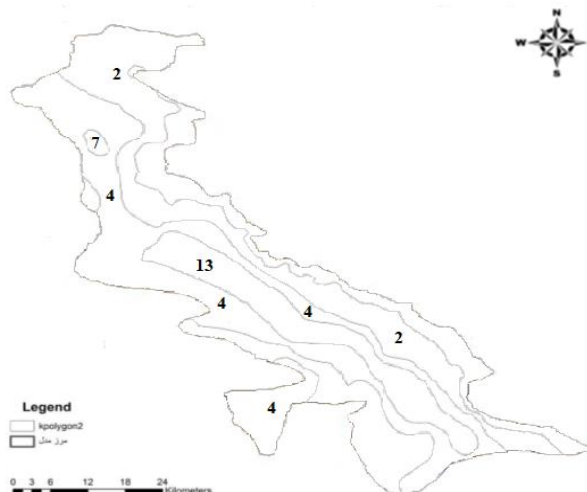
در این مرحله دوره پایدار به منظور کالیبراسیون هدایت هیدرولیکی تعیین و مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی و سایر پارامترها (نظیر تغذیه) برای مناطق مختلف آبخوان و اجرای تخمین خودکار یا کالیبراسیون دستی هدایت هیدرولیکی تا رسیدن به مقدار خطای مجاز تخصیص یافته است (Anderson and Woessner, 1992). بازه زمانی ناپایدار بر اساس هیدروگراف آبخوان به منظور کالیبراسیون در شرایط پایدار تعیین و اطلاعات مدل برای دوره ناپایدار به روز شده است. در ادامه اجرای متوالی کالیبراسیون به صورت دستی یا خودکار جهت تعیین مقادیر پارامترهای مدل (از جمله آبدهی ویژه، تغذیه، ورودی و خروجی از مرزها) تا رسیدن به مقدار خطای مجاز در دوره ناپایدار انجام شده است.

زون بندی هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره بر اساس اطلاعات موجود (نتایج آزمونهای پمپاژ ولاگ زمین شناسی چاههای پیزومتری) انجام می شود ( Hill, 1990). بسته چاهها (Well Package) به منظور وارد نمودن چاههای بهره برداری و بسته تغذیه ( Recharge Package) به آبخوان تهیه و تخصیص مناطق مختلف برای آنها انجام شد. سپس مناطق تبخیری تعیین و اطلاعات آنها در صورت نیاز (بسته تبخیر و تعرق) وارد سیستم گردید. در ادامه اطلاعات چاههای پیزومتری شامل مختصات و سطح آب آنها در ماههای مختلف سال نیز برای سیستم تعریف شد. داده های مورد استفاده در مدلسازی آبخوان به شرح زیر می باشند:

۱- داده های فیزیک و هندسی آبخوان: با شناخت مرز حوضه آبریز یا مرز محدوده مطالعاتی، تعیین مرز مدل، بررسی شبکه آبراهه‌های سطحی، تراز ارتفاعی سطح زمین، تراز سنگ کف می‌توان هندسه آبخوان را تهیه و در محیط GIS به صورت سه بعدی بررسی کرد.

۲- داده های مربوط به مشخصات هیدرودینامیکی آبخوان: ضریب هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره در آبخوان، تخلخل کل آبخوان، اطلاعات چاه های آزمایش پمپاژ شده، چاههای اکتشافی، گزارش ژئوفیزیک و ژئوالکترونیک.

۳- داده‌های مربوط به تغذیه آبخوان: رودخانه‌ها در برخی موارد به عنوان زهکش آب زیرزمینی هستند ولی در اغلب دشت‌های ایران که تراز آب زیرزمینی کاهش پیدا کرده است به عنوان تغذیه کننده آبخوان محسوب می‌شوند. تغذیه از سطح در اثر بارش موثر، آب برگشتی



شکل ۲- هدایت هیدرولیکی برای آبخوان دشت یزد-اردکان

از معادله زیر توضیح می‌شود. در جدول ۱ مقادیر  $RMSE$  و  $R^2$  و  $MAPE$  نشان داده شده است.

(۳)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \left| \frac{X_n - X_e}{X_n} \right|$$

#### ۲-۴. اعمال سناریوهای مختلف

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی تاثیرات وجود و یا عدم وجود تصفیه‌خانه اردکان بر منابع آب زیرزمینی اردکان و همچنین مدلسازی تغییرات آب زیرزمینی این منطقه است. برای این منظور با آماده سازی داده ها و وارد کردن آنها به مدل تمام تغییرات سطح آب و تغییرات کیفی آن مشخص شده و همچنین می توان پیش بینی و مدیریت هایی را با توجه به نتایج به دست آمده برای آب منطقه داشت. یکی از مهمترین نکات برای تعریف کردن سناریوهای مدیریتی در نظر گرفتن گذشته و توجه به واقعیت آبخوان می باشد تا بتوانیم

#### ۲-۳. صحت‌سنجی مدل

بازه زمانی مشخص پس از دوره ناپایدار برای دوره صحت‌سنجی تعیین و اطلاعات مدل برای دوره صحت-سنجی به روز شده است. مدل در دوره صحت‌سنجی اجرا و میزان دقت محاسبات و تحلیل حساسیت مدل تعیین شد. برای این منظور از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) استفاده شد. این معیارها با استفاده از روابط زیر برآورد شدند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n (X_n - X_e)^2} \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{n=1}^n X_n \cdot X_e}{\sqrt{\sum_{n=1}^n X_n^2 \cdot \sum_{n=1}^n X_e^2}} \quad (2)$$

شایان ذکر است که از شاخص  $MAPE$  برای بررسی عملکرد مدل عددی استفاده گردیده است که با استفاده

مشهود و یا اشکالات بالقوه موجود در راه مدلسازی است.

### ۳. نتایج

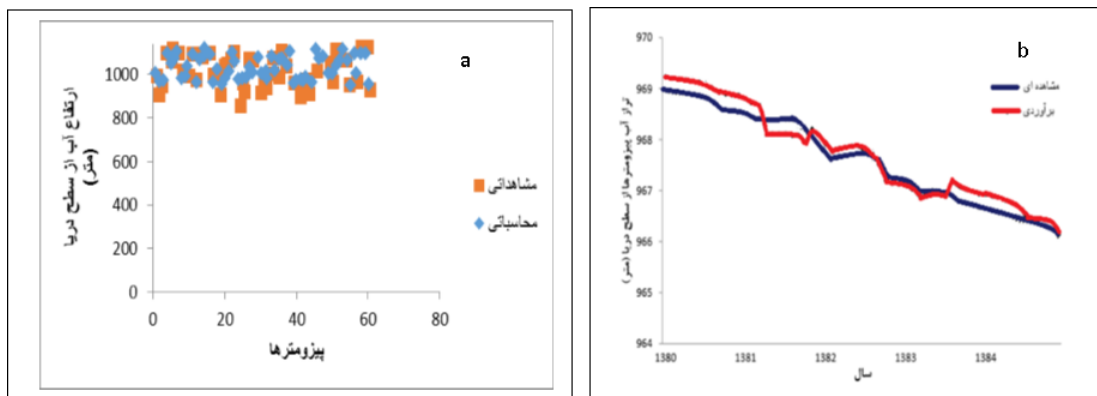
#### ۳-۱. مدلسازی و صحت سنجی مدل ناپایدار

در شکل ۳ مقایسه میان مقادیر محاسباتی مدل پایدار با نتایج مشاهداتی نشان داده شده است. با توجه به مزایای و تاثیرات اساسی منابع آب زیرزمینی بر روی آب‌های سطحی، لزوم مطالعه و سرمایه‌گذاری بیشتر با هدف حفظ نمودن منابع آب زیرزمینی نیاز می‌باشد. در شکل ۳ مقایسه مقادیر تراز آب در آبخوان یزد- اردکان نشان داده شده است. میان نتایج مدل عددی با مقادیر اندازه‌گیری شده مطابقت خوبی وجود دارد که نشان از دقت بالایی مدلسازی می‌باشد. در بررسی بیلان آبخوان یزد- اردکان در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۵ مجموع ورودی‌ها با احتساب تغییرات حجم مخزن ۴۱۳/۰۸ میلیون مترمکعب و مجموع خروجی‌ها ۴۱۳/۱۵ محاسبه شده است. مقدار پارامترهای تعریف شده برای بررسی دقت و میزان خطا در شبیه‌سازی صورت گرفته در جدول ۱ ارائه شده است.

سناریویی که برای مدل عددی تعریف می‌نماییم قابلیت اجرا داشته باشد. بنابراین برای آبخوان مورد بررسی دو سناریوی تعریفی با هدف گذاری سال ۱۴۱۵ شبیه سازی شده است. در اولین سناریوی مدیریتی مقصود بررسی نمودن شرایط و وضعیت آبخوان با توجه به این موضوع که هیچ گسترش و توسعه‌ای در شبکه جمع آوری فاضلاب شهری صورت نمی‌گیرد (شبکه فاضلاب در وضعیت فعلی باقی می‌ماند) و در سناریوی دوم به بررسی شرایط آبخوان در صورت عدم وجود شبکه جمع آوری فاضلاب شهری پرداخته خواهد شد. بعد از اینکه کلیه اطلاعات و داده‌های مورد نیاز تعیین و برای مدل تعریف شدند، مدل عددی برای اجرا آماده می‌باشد. بمنظور بررسی و تحلیل خطاهای احتمالی از یکی از امکانات و قابلیت‌های نرم‌افزار GMS بنام Checker Model استفاده شد. به دلیل حجم بسیار زیاد اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی عددی، احتمال جا انداختن تعدادی از آنها یا تعریف نمودن متغیرها و پارامترهای متناقض و نادرست زیاد می‌باشد. ولی پارامترهای Model Checker با هدف جستجو و کاویدن در بین اطلاعات ورودی و با ارائه گزارش دادن از خطاهای

جدول ۱- مقادیر RMSE و R<sup>2</sup> و MAPE

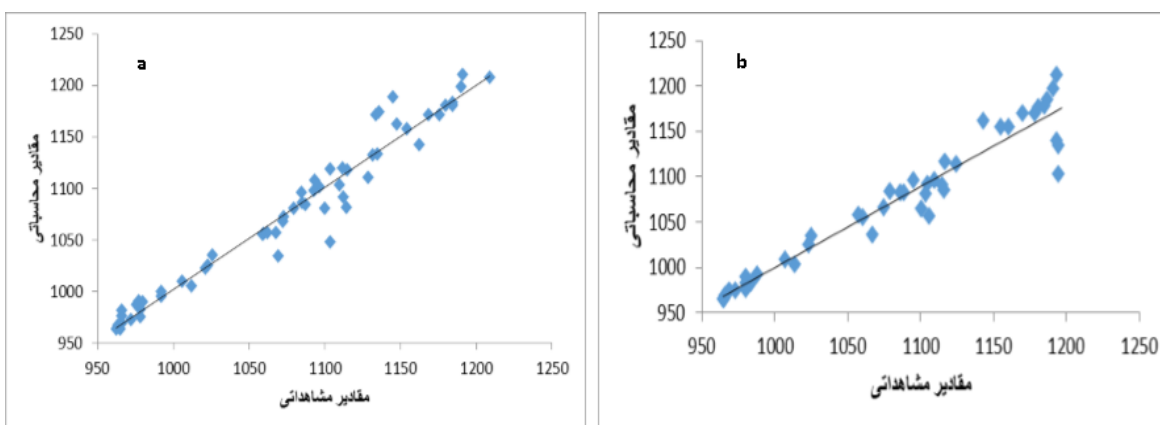
شرایط مدلسازی	MAPE	RMSE	R <sup>2</sup>
مدل عددی- ناپایدار	۰/۴۱٪	۰/۰۸۹	۰/۹۶
مدل عددی- پایدار	۰/۴۲٪	۰/۱۰۸	۰/۹۴



شکل ۳- مقایسه میان مقادیر محاسباتی مدل پایدار با نتایج مشاهداتی (a) - مقایسه مقادیر تراز آب در آبخوان یزد-اردکان (b).

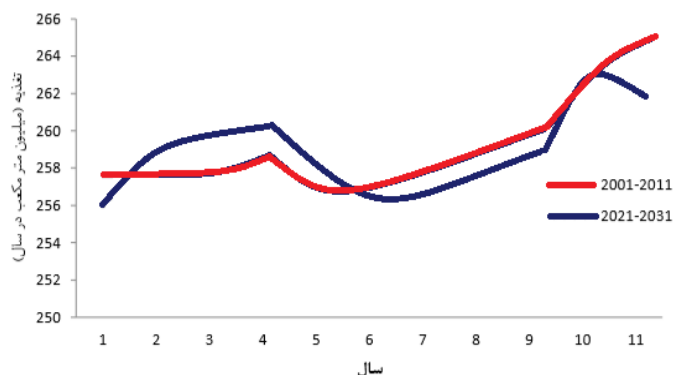
شرایط مرزی است نام برد که روند تغییرات آن در دوره های آینده نامشخص و مبهم می باشد. تحلیل آماری دو بازه زمانی گذشته و آینده (دوره های ۱۰ ساله) بیانگر این مسئله است که در آبخوان موردنظر تغییرات ورودی آب به آبخوان زیرزمینی تقریباً ثابت می باشد (شکل ۵) و بنابراین برای پیش بینی کردن نوع مرزهای شبیه سازی از مرز هد معلوم (head specific) در دوره های آینده با برازش دقیقترین منحنی ممکن بر تغییرات تراز آب زیرزمینی با دقت ( $R^2= 0/96$ ) مقادیر سطح آب برای دوره های آینده تخمین زده شد.

نتایج حاصله از واسنجی مدل پایدار و ناپایدار به ازای برآورد تراز ارتفاعی سطح هیدرولیکی منابع زیرزمینی و برآورد تراز ارتفاعی سطح هیدرولیکی منابع آب زیرزمینی در شکل ۴ نشان داده شده است. مقادیر توزیع داده ها و همچنین پراکندگی کم نقطه ها در اطراف محور ترسیم شده حاکی از نتایج دقیق واسنجی است. تاکنون برای شبیه سازی از داده ها و اطلاعات موجود و در دسترس استفاده شد ولی برای پیش بینی نمودن روند تغییرات در آینده باید متغیرهای های شبیه سازی برای مدل تعریف گردد. در این بین می توان از تاثیرگذارترین و مهمترین این پارامترها که



شکل ۴- مقدار اختلاف میان سطح تراز آب محاسباتی و مشاهداتی به ازای حالت پایدار (a) - مقدار اختلاف میان سطح تراز آب محاسباتی و مشاهداتی به ازای حالت ناپایدار (b)





شکل ۵- مقایسه روند تغییرات آبخوان یزد-اردکان در شرایط کنونی و دوره های آینده

### ۲-۳. سناریوهای مدیریتی

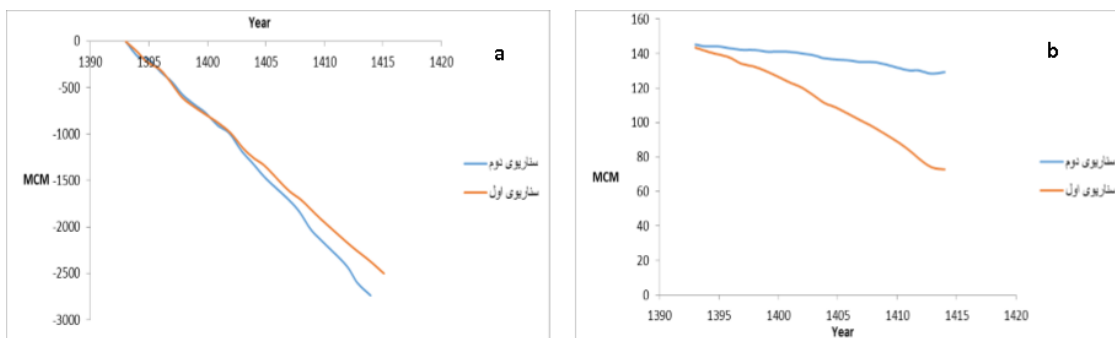
#### ۱-۲-۳. سناریوی مدیریتی اول

در این سناریوی مدیریتی فرض شد که تا پایان سال هدف گذاری گسترش شبکه فاضلاب متوقف گردیده و فقط از همین مقداری که اجرا گردیده است بهره برداری شود و نیز جمعیت شهرستان با مقدار رشدی که از شانزده سال گذشته به دست آمده است افزایش یابد و برای دیگر متغیرهای موثر بر آبخوان زیرزمینی با عنایت به مواردی که در قسمت تعریف مدل عددی برای پیش بینی آینده ذکر گردید مقادیر ثابتی اتخاذ گردید. مطابق این سناریوی مدیریتی تراز سطح آب در محدوده شهرستان تا اندازه ای افت می نماید و این امر بر روی چاه‌های کشاورزی که در پایین دست قرار دارند تاثیر می‌گذارد. با وارد شدن جریان آب از طریق مرزها به داخل منطقه شبیه سازی شده افت تراز آب در کل منطقه دشت تعدیل می‌گردد که به سبب تاثیر

متغیرهایی از جمله ضریب ذخیره و هدایت هیدرولیکی تاثیر این سناریوی مدیریتی بر روی چاه های کشاورزی در مناطق پایین دست مشهود می‌باشد که منجر به کاهش عمر مفید چاه ها در منطقه می‌گردد.

#### ۲-۲-۳. سناریوی مدیریتی دوم

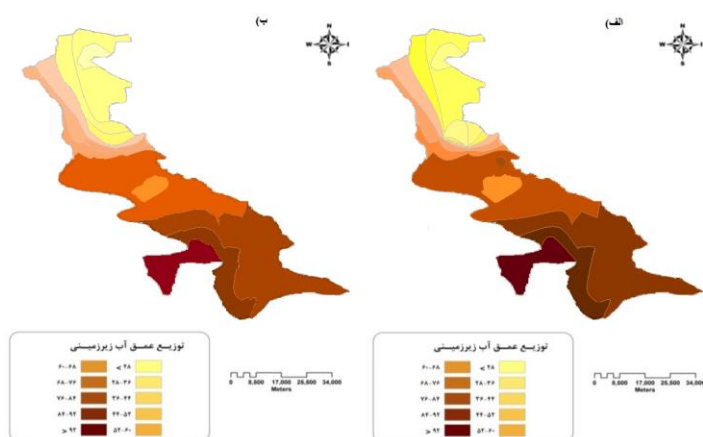
در این سناریوی مدیریتی فرض گردید که شبکه جمع آوری فاضلاب شهری به طور کلی از چرخه هیدرولوژیکی ناحیه خارج شده است و تا پایان سال هدف گذاری به بررسی اثرات این سناریو پرداخته شد. مشابه سناریوی اول نرخ رشد جمعیت در نظر گرفته شد و سایر متغیرهای تاثیر گذار بر مدل عددی ثابت و بدون تغییر اختیار شد. میزان بالا آمدگی و افت تراز سطح آب زیرزمینی در صورت اجرای دو سناریوی پیشنهادی در نمودارهای زیر نشان داده شده است (شکل ۶).



شکل ۶- نمودار مقایسه تغییرات حجمی منابع آب زیرزمینی به ازای سناریوهای پیشنهادی (a) - نمودار مقدار آب برگشتی به منابع آب زیرزمینی به ازای سناریوهای پیشنهادی (b)

نقشه های تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی که حاصل شبیه سازی با نرم افزار مادفلو می باشد تهیه و بصورت خروجی از مدل ارائه شده است (شکل ۷). همچنین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در چاه های مورد بررسی که دارای روند کاهشی یا افزایشی بود در جداول ۲ و ۳ ارائه گردید. نتایج نشان داد که پارامترهای مورد بررسی در مناطق میانی دشت با روند صعودی و در چاه نظام آباد میرشاه اکثریت پارامترها با روند کاهشی تغییر نمودند.

مقادیر تخلیه از چاه های زیرزمینی همان گونه که در اشکال قبل نشان داده شد در دوره های گذشته دارای نوسانات بسیار زیادی بوده که این روند در سال های اخیر از یک سیر ثابتی برخوردار می باشد که علت این امر را میتوان محدود نمودن برداشت ها با استفاده از کنتورهای حجمی دانست. مطالعات نشان داد که میزان برداشت از ذخایر آبخوان، به خصوص از سالهای دهه های هشتاد به بعد، بیش از میزان تغذیه آن بوده است. شبیه سازی آبخوان موید آن است بود که روند افت کماکان ادامه دارد همچنین مطالعات نشان داده است که روند افت علی رغم شروع به کار طرح تغذیه آبخوان ادامه خواهد داشت. پس از اعمال دو سناریوی تعریف شده



شکل ۷- تغییرات تراز آب زیرزمینی الف) سناریوی مدیریتی دوم ب) سناریوی مدیریتی اول

جدول ۲- پارامترهای کیفی با روند افزایشی در چاه های دشت یزد-اردکان

نام چاه	روند تغییرات	پارامتر
آجرفرد- یحیی آسائی- ابوتراب رجایی- کشاورزی فهرج	افزایشی	Na
کشاورزی فهرج- میدان شهدا- خویدک- مزرعه کلانتر- رستاق	افزایشی	SO <sub>4</sub>
تدین- کشاورزی فهرج- دهنو- جلال آباد- بخشی- چاه گلدانه	افزایشی	Mg
بخشی- کشاورزی فهرج- میلشبار ۵- چاه گلدانه- آجرفرد- یحیی آسائی	افزایشی	Cl
تدین- بخشی- شاهچراغی- دهنو- آجرفرد- جلال آباد- ابوتراب رجائی	افزایشی	pH

جدول ۳- پارامترهای کیفی با روند کاهش در چاه های دشت یزد-اردکان

نام چاه	روند تغییرات	پارامتر
میلشبار ۱- میلشبار ۵- شیرین زارچ- اتان گازه- نظام آباد میرشاه	کاهش	Na
نظام آباد میرشاه- پورصبغیان- علی آباد دشتی- طرح علوفه خدائی	کاهش	SO <sub>4</sub>
اتان گاز- میدان شهدا- شور زارچ- واعظی- اکرمیه	کاهش	Mg
شیرین آباد زارچ- میلشبار ۱- نظام آباد میرشاه- اتان گاز	کاهش	Cl
اله آباد شورک- رستاق- بحرینی- یحیی آسائی	کاهش	pH

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

سطح ایستابی دشت بیرجند با استفاده از GMS کد MODFLOW (Mohtasham et al., 2012) نشان دهنده افت سطح تراز آبخوان می باشد که با نتایج این بررسی مطابقت دارد. شبیه سازی آبخوان دشت لرستان-دلفان و بررسی سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل MODFLOW توسط Pourhaghi و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که اجرای مدل در شرایط خشکسالی و ترسالی سطح آب زیرزمینی در ۱۰ سال آینده به ترتیب ( ۷/۸ متر) و ( ۵/۸۳ ) متر افت می کند که با کاهش ۲۰ درصدی آبدهی چاه های بهره برداری این مقدار افت به طور چشمگیری بهبود پیدا می کند. به منظور شناسایی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و مدیریت بهتر، آبخوان دشت بزمان - سردگال در زیر حوضه هامون جازموریان با استفاده از نرم افزار GMS کد عددی MODFLOW مدلسازی شد. نتایج

در این بررسی مشخص شد که با اجرای سناریوی اول و بررسی متغیرهای از جمله ضریب ذخیره و هدایت هیدرولیکی، تاثیر این سناریوی مدیریتی بر روی چاه های کشاورزی در مناطق پایین دست مشهود می باشد که منجر به افت تراز آب در کل منطقه می گردد که با نتایج Maleki و همکاران در سال ۲۰۱۲ در دشت شاهرود مطابقت دارد و اجرای طرح فاضلاب در این دشت شاهرود نیز اثرات مسقیمی بر روی تراز آب زیرزمینی داشته و سبب کاهش افت تراز آب زیرزمینی شده است. نتایج مطالعات انجام شده در مورد اثرات تصفیه خانه فاضلاب شهری در در منطقه شهری کامپالا (Kampala) در اوگاندا (Herzog, 2007) و بررسی

مدلسازی بیانگر این است که با ادامه روند کنونی برداشت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی به مرور از ابتدای دوره تا انتهای دوره پیش‌بینی، سطح آب زیرزمینی با افت شدیدی مواجه خواهد شد. این افزایش افت در اطراف چاه‌های بهره‌برداری مشهودتر است (Mahdavi et al., 2011). در سناریوی مدیریتی دوم و حذف تصفیه خانه، بیشترین مقدار افت تراز سطح آب ملاحظه گردید (شکل ۶) که از دیدگاه مدیریت برای آبخوان زیرزمینی در جهت حفظ آبخوان و کاستن از روند افت تراز سطح آب این سناریو را می‌توان به عنوان نامناسبترین سناریو در نظر گرفت. نتایج Lalezari و همکاران در باغملک خوزستان در سال ۲۰۲۰ و Yari and Darzi-Naftchali در سال ۲۰۱۸ در آبخوان قم نیز نشان دهنده اثر این دسته سناریوهای مدیریتی بر روی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. همچنین در بررسی حاضر نتایج مشابهی با بررسی Mirzaei and Majidi در سال ۲۰۱۳ در مورد اثرات احداث شبکه جمع‌آوری فاضلاب بر روی مدیریت نمودن منابع آب در دشت کرج-تهران حاصل شد و با تعریف شرایط مرزی و انتخاب شبکه بهینه خطای محاسباتی تا ۱۰ درصد بهبود پیدا کرد. نتایج نشان دادند که مدلسازی راهکار مناسبی برای ارزیابی تاثیرات تصفیه خانه می‌تواند باشد. همچنین این تحقیق نشان داد که وجود تصفیه خانه تاثیر قابل توجهی بر مقادیر کمی آبخوان دارد که اثرات مثبت بر تغییرات حجمی آب زیرزمینی در شکل ۶ و تراز آب زیرزمینی در شکل ۷ نشان داده شده است. برداشت بی‌رویه از منابع آب در شهرستان اردکان، حفر چاه‌های غیرمجاز در منطقه و کویری بودن استان و ایجاد صنایع نیازمند به آب زیاد

از جمله عوامل کم‌آبی و پایین رفتن تراز آب زیرزمینی در استان یزد است. در حال حاضر با توجه به وقوع پدیده کم‌آبی فرصت خوبی است که در کاهش بی‌رویه برداشت از منابع آب در شهرستان اردکان جدیت نشان داده شود چرا که با اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب سالیانه تا ۲۳ درصد به تراز آب زیرزمینی اضافه شده و از افت سطح آب در دشت اردکان-یزد جلوگیری می‌گردد. با توجه به نتایج این بررسی، عدم گسترش شبکه جمع‌آوری فاضلاب نیز در کاهش تراز سطح آب در این شهرستان موثر است، از این رو باید به توسعه شبکه فاضلاب در سطح استان توجه بسزایی شود. هدف از انجام این پژوهش مطالعه اثرات احداث شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری بر تراز آب زیرزمینی بود و لزوم آن نیز از این حیث بود که احداث شبکه جمع‌آوری فاضلاب در منطقه معمولاً سبب مهار آلودگی و ممانعت از نفوذ فاضلاب شهری به داخل منابع آب زیرزمینی می‌گردد. با ثابت در نظر گرفتن تاثیر منفی شبکه جمع‌آوری فاضلاب بر تراز آب زیرزمینی و اینکه شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری به طور کلی از چرخه هیدرولوژیکی ناحیه خارج گردد، با کمترین مقدار افت تراز سطح آب مواجه خواهیم شد که فقط می‌تواند ناشی از برداشت بیش از حد از چاه‌ها و کمبود بارندگی باشد. از دیدگاه مدیریت برای آبخوان زیرزمینی در جهت حفظ آبخوان و کاستن از روند افت تراز سطح آب این سناریو را می‌توان به عنوان مناسبترین سناریو در نظر گرفت که با نتایج Lalezari و همکاران در سال ۲۰۲۰ مطابقت دارد. همچنین از نظر میزان اثرگذاری شبکه فاضلاب بر روی تراز سطح آب کمترین اثر منفی بر روی آبخوان را وجود دارد.

## References

- Al-Taiee, T.M. and Abdulghani, A.H., 2006. Simulation and Prediction of Groundwater Paths and Flow Vectors at Mosul City. *AL-Rafdain Engineering Journal (AREJ)*, 14(4), pp.73-81.
- Almasri, M.N. and Kaluarachchi, J.J., 2007. Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology*, 343(3-4), pp.211-229.
- Anderson, M.P., Woessner, W.W. and Hunt, R.J., 2015. Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport. *Journal of Hydrology* 140: 393-395.
- Azari, A. and Rafiei, N., 2018. Investigating the effects of construction of municipal and agricultural wastewater treatment plants on the quality process and pollution of the Dez River. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, University of Tabriz. 120 p.
- Chitsazan, M. and Saatsaz, M., 2006. Assessment of water resources in the ramhormoz plain by mathematical groundwater flow simulation. *Shahid Chamran University Journal of Science* 14(1): 1-15.
- Don, N.C., Araki, H., Yamanishi, H. and Koga, K., 2005. Simulation of groundwater flow and environmental effects resulting from pumping. *Environmental Geology* 47(3): 361-374.
- Eslami, H., Almodaresi, S.A., Khosravi, R., Fallahzadeh, R.A., Peirovi, R. and Taghavi, M., 2018. Assessment of groundwater quality in Yazd-Ardakan plain for agricultural purposes using Geographic Information System (GIS). *Journal of Health*. 8, 575-86.
- Farajzadeh, M., Fallah, M., Waqarfard, H., Nick Khaslat, H., 2013. Location of Wastewater Treatment Plant with GIS, TOPSIS Case Study: Qeshm Island. *Quarterly Journal of Earth Geography*. Tenth Year.No. 37.
- Fathizad, H., Ardakani, M.A.H., Mehrjardi, R.T. and Sodaieezadeh, H., 2018. Evaluating desertification using remote sensing technique and object-oriented classification algorithm in the Iranian central desert. *Journal of African Earth Sciences*. 145, 115-130.
- Katibeh, E., Hafizi, S., 2003. Hydrochemical studies of aquifer Case study: Bam narrow water aquifer. *Sixth International Civil Conference*.
- Kim, N.W., Chung, I.M., Won, Y.S. and Arnold, J.G., 2008. Development and application of the integrated SWAT-MODFLOW model. *Journal of hydrology*. 356(1-2), pp.1-16.
- Kinzelbach, W., 1986. *Groundwater Modelling: An Introduction with Sample Programs in BASIC*. Elsevier Science Publishers.
- Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C. and McDonald, M.G., 2000. Modflow-2000, the U. S. geological survey modular ground-water model-user guide to modularization concepts and the ground-water flow process. Open-file Report. U. S. Geological Survey, (92), p.134.
- Herzog, A., 2007. Transient groundwater modeling in Peri-Urban Kampala, Uganda. (Master Thesis), Department of Land and Water Resource Engineering, Sweden.
- Hill, M.C., 1990. Water-Resources Investigations Report 90-4048 In: Preconditioned Conjugate-Gradient 2 (PCG2), a computer program for solving ground-water flow equations. USGS, 31 p.
- Lalehzari, R., Tabatabaei, S.H., Kholghi, M., Yarali, N. and Saba, A.A., 2014. Evaluation of scenarios in artificial recharge with treated wastewater on the quantity and quality of Shahrekord aquifer. *Journal of Environmental Studies*, 40(1), pp.52-55.
- Lalehzari, R., Boroomand Nasab, S., Moazed, H., Haghghi, A. and Yaghoobzadeh, M., 2020. Simulation-optimization modelling for water resources management using Nsgaii-Oip and

Modflow. Irrigation and Drainage. 69(3), pp.317-332.

McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W., 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. US Geological Survey.

Mahdavi, Q., 2011. Optimal study of operation of Bazman plain aquifer using A. MODFLOW. Master Thesis, Sistan and Baluchestan University.

Maleki, R. Karami, G.H., Dolati Ardehjani, F., 2012. Development of a mathematical model for evaluation of the effect of sewage network on groundwater in Shahrood plain. M.S.C Thesis. Shahrood University of Technology. 108 p.

Mirzaei, M. and Majidi, M., 2013. Effectiveness of Sewerage Networks Implementation on Water Resources Management in Tehran-Karaj Plain with GMS Mathematical Model Fifth Iranian Water Resources Management Conference.

Mohtasham, M., Deghani, A., Akbarpour, A., Meftah Halghi, M., Etebari, B., 2011. Prediction of water level in the aquifer using GMS software," Fourth Iranian Water Resources Management Conference.

Pollock, D.W., 1989. Open File Report, 89-381 In: Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the U. S. Geological Survey nodular three dimensional finite-difference ground-water model. USGS, 81 p.

Pourhaghi, A., Radmanesh, F., Maleki, A., 2016. Simulation of Delfan-Lorestan aquifer and investigation of management scenarios by using MODFLOW model. Journal of Water and Soil. 29(4):886-97.

Scibek, J. and Allen, D.M., 2006. Modeled impacts of predicted climate change on recharge and groundwater levels. Water Resources Research. 42(11).

Thorley, M., Call, P., Williams, H., Lough, H., Kininmonth, M. and Henderson, B., 2005. Environment Canterbury Report, U05/53, 10 p.

Yari, R. and Darzi-Naftchali, A., 2018. Predicting Groundwater Table Fluctuations under Different Management Scenarios by MODFLOW Model. Irrigation and Water Engineering. 8(2), pp.103-115.

Yazd Water and Wastewater Co., 2016. Ardakan Water and Wastewater Treatment Plant Project. General plan. 171 p.

Zhang, H. and Hiscock, K.M., 2010. Modelling the impact of forest cover on groundwater resources: A case study of the Sherwood Sandstone aquifer in the East Midlands, UK. Journal of Hydrology. 392(3-4), pp.136-149.