نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۶، خرداد - تیر ۱۴۰۱، ص. ۴۱۲-۳۹۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 16, Jun.-Jul. 2022, p. 399-412

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر سد بار بر آبخوان دشت نیشابور در بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی

محمد تقی کرباسی معروف[۱]، حمید رضا ناصری[۲*]، فرشاد علیجانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

چکیده

سدسازی یکی از متداول‌ترین برنامه‌های توسعه بهره‌برداری از منابع آب است که با تغییر در چرخه هیدرولوژی از چالش‌برانگیزترین مباحث مدیریت منابع آب محسوب می‌شود. در این پژوهش با مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان نیشابور توسط کد مادفلو در محیط نرم‌افزار GMS، تأثیر بهره-برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای تأمین آب شرب شهر نیشابور (آبگیری از سد بار و چاه‌های بهره‌برداری) در بخش‌های مختلف آبخوان ارزیابی شده است. بر پایه بیلان آبی تهیه‌شده برای چهار دوره آبگیری سد (۱۳۹۳ لغایت ۱۳۹۶) و مدل ریاضی آبخوان، تشدید افت سطح آب-زیرزمینی حداکثر به میزان ۱/۳۵ متر در آبخوان نیشابور به وقوع پیوسته است. همچنین در صورت انتقال آب برای مصرف شرب شهر نیشابور و کاهش بهره‌برداری چاه‌های آب شرب، تخفیف شدت افت به میزان ۱/۱ و ۲/۶۶ متر برای دو سناریوی: انتقال آب آبگیری شده (شرایط واقعی) و انتقال آب برابر با تخصیص مصوب رخ می‌دهد. علاوه بر این تشدید بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی در گستره شهری به میزان ۰/۲۵ و ۰/۹۳ برای دو سناریوی مورداشاره تحقق می‌یابد. نتایج پژوهش نشان داد، ساخت سد بار تأثیر قابل‌توجهی در تغییرات سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف آبخوان دارد و دامنه تأثیر با مدل‌سازی به‌خوبی قابل ارزیابی و پیش‌بینی است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری تلفیقی، سد بار، مدل‌سازی آب زیرزمینی، GMS

مقدمه

۷۴ درصد گستره استان خراسان رضوی دارای اقلیم خشک و سایر مناطق آن واجد اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد، همچنین بیش از ۸۵ درصد تأمین نیازهای آبی بر منابع آب زیرزمینی متکی است (وزارت نیرو، ۱۳۹۷). از سوی دیگر عدم قطعیت‌های حاکم بر شرایط اقلیمی منطقه، باعث افزایش ریسک و ناپایداری منابع آب شده است. در حال حاضر تمامی آب شرب شهر نیشابور توسط چاه‌های حفرشده در شمال شهر تأمین می‌شود و در آینده نیز بخشی از آن توسط سد بار (که منبعی ناپایدار می‌باشد) تأمین خواهد شد. افت شدید سطح آب زیرزمینی و کسری مخزن آبخوان آبرفتی نیشابور پیامدهایی از جمله: کاهش توان آبدهی چاه‌ها، کف‌شکنی و جابجایی پیاپی چاه‌ها، افزایش هزینه‌های پمپاژ آب، کاهش آبدهی و خشک شدن قنات‌ها، نشست سطح زمین و تخریب محیط‌زیست را به همراه داشته است. بهره-برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌منظور تأمین نیاز آبی رو به افزایش شهر نیشابور، فرصت‌ها و چالش‌های بسیاری به همراه دارد که مهم‌ترین آن‌ها تأثیر بر منابع آب زیرزمینی در گستره موردمطالعه است.

لزوم مدیریت بهره‌برداری تلفیقی با هدف ارتقای راندمان، قابلیت اطمینان تأمین آب و کاهش هزینه‌های تمام‌شده برای سیستم‌های منابع آب، به اثبات رسیده است. این رویکرد، استراتژی کلیدی در پشتیبانی منابع آب زیرزمینی و اکوسیستم‌های وابسته به آن، همچنین سازگاری منابع آب سطحی با تغییرات اقلیم در آینده و تغییر کاربری اراضی محسوب می‌شود (Hanson et al., 2012). در مناطق خشک و نیمه‌خشک که نوسانات شدید فصلی و سالیانه در منابع آب سطحی وجود دارد، بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب متداول است (Pulido et al., 2016). متأسفانه منابع آب زیرزمینی غیرقابل دید مستقیم می-باشند و مدت‌زمان لازم برای رسیدن به شرایط آستانه بحران، اگر شناخته شود، بسیار بیشتر از چهارچوب‌های زمانی تصمیم‌گیری‌های اجتماعی- اقتصادی و سیاسی است. لذا علی‌رغم اهمیت بالا، در

۱- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- استاد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- استادیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
(نویسنده مسئول: (Email: H-nassery@sbu.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.2.11.0

فرایند مدیریت منابع آب، در نظر تصمیم‌سازان کم‌اهمیت جلوه می‌نماید (Jakeman et al., 2016). به دلیل تفاوت در ماهیت فیزیکی منابع آب سطحی و زیرزمینی، ظرفیت ذخیره، نرخ تغذیه و تخلیه، کیفیت آب و نوع و هزینه‌های اجرای سازه‌های لازم، بهره‌برداری هماهنگ از این منابع به‌گونه‌ای که بالاترین فایده از تلفیق این دو حاصل آید، یکی از ضروریات مدیریت جامع منابع آب است (Buras, 1963; Burt, 1967; Coe, 1990). ضعف نگرش جامع پیرامون بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب موجب شده توسعه بهره‌برداری از منابع آب سطحی، به‌ویژه به شکل سدسازی، تأثیر گسترده بر اکوسیستم‌ها و منابع آب زیرزمینی گذاشته و منجر به شکل‌گیری رویکرد سد زدایی در سطح جهانی شود (Rostami et al., 2017). تحقیقات بسیاری در خصوص بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی و تأثیر آن بر پایداری آبخوان‌ها انجام شده است که در ادامه به پاره‌ای از آن‌ها اشاره می‌شود.

تأمین آب شهر نیکویا و روستاهای موجود از آبخوان مشترک نیکویا- پنینسولا واقع در شمال غرب کاستاریکا، با سیستم تلفیقی آب سطحی-زیرزمینی و میزان تغذیه آبخوان با مقایسه میزان نفوذ در دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی، مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق بهره‌برداری تلفیقی با هدف ارتقای تاب‌آوری شرایط اجتماعی-اقتصادی منطقه، متناسب با دوره‌های خشک و مرطوب هر سال آبی، ارائه شده است (Hund et al., 2018). با هدف برقراری ارتباط پویا میان منابع آب سطحی و زیرزمینی پیوند میان مدل‌های MODFLOW و WEAP با هدف تأمین آب شهر آدیسابابا ایجاد شده است (Birhanu et al., 2018). نیاز آبی شهر آدیسابابا با سه سناریوی رشد جمعیت به ترتیب: ۴/۶، ۳/۸ و ۲/۸ درصد تا افق ۲۰۲۵ محاسبه گردیده است. برقراری ارتباط پویا میان منابع آب سطحی و زیرزمینی علاوه بر کمک به تأمین آب شهر، تأثیر تغییرات طبیعی و شرایط انسانی بر منابع تأمین آب را نشان داد. نتایج این تحقیق آشکار کرد منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین آب شهر آدیسابابا در آینده تحت تنش شدید و خیلی شدید قرار خواهد گرفت. در پژوهشی مشابه با ارتباط متقابل پویا میان مدل‌های MODFLOW و WEAP برای اراضی کشاورزی دشت میانداب، از واسنجی چند هدفه با استفاده از دبی رودخانه و داده‌های سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای، بهره گرفته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد، مدل تلفیقی SW-GW (Surface water-Groundwater) ابزاری مؤثر در تحقیق پیرامون سناریوهای مدیریتی تغییر در تولید محصولات کشاورزی و جریان آب خروجی به دریاچه ارومیه را در اختیار قرار می‌دهد (Dehghanipour et al., 2019). همچنین مدل‌سازی نشان داد نیاز آبی محصولات تحت شرایط خشک‌سالی به دلیل ظرفیت محدود پمپاژ و افت شدید سطح آب زیرزمینی، تأمین نخواهد شد.

به‌منظور بررسی میزان تاب‌آوری سیستم جریان آب سطحی و زیرزمینی در شرایط توسعه بهره‌برداری و پمپاژ آب زیرزمینی از مدل هیدرولوژیک تلفیقی PIHN (Penn-State Integrated Hydrologic Mode) در سطح حوضه آبریز رودخانه هاو واقع در منطقه پیدومن آمریکا بهره گرفته شده است (Seo et al., 2017). مدل برای دو حالت پمپاژ و بدون پمپاژ اجرا و واسنجی شده است. نتایج تحقیق نشان داد تبادل آبی آبخوان و رودخانه همچنین ترمیم آبخوان، به دوره‌های خشک و مرطوب بسیار حساس است و پمپاژ آب بر میزان تبخیر و جریان پایه رودخانه تأثیرگذار می‌باشد. نمونه‌ای دیگر از بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب با هدف ارتقای تاب‌آوری سیستم، می‌توان به پژوهش انجام‌شده در ایالت کالیفرنیا اشاره کرد. در این پژوهش، بهره‌برداری تلفیقی با بهره‌گیری از پساب و تغییر دوره بهره‌برداری از آب سطحی (دوره مرطوب) و زیرزمینی (دوره خشک) می‌توان تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش پمپاژ آب و امکان احیای آبخوان فراهم آورد (Scanlon et al., 2016). همچنین بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب در آریزونا توانست حدود ۲۵ درصد از تلفات آب آبخوان را حفظ کند. در مجموع به‌کارگیری بهره‌برداری تلفیقی CU (Conjunctive Use) و مدیریت تغذیه آبخوان MAR (Management Aquifer Recharge) منجر به ارتقای تاب‌آوری سیستم در برابر خشک‌سالی در این مناطق شد (Scanlon et al., 2016). با توسعه مدل بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در واحد هیدروژئولوژیکی نجف‌آباد، افت بهینه سطح آب زیرزمینی در آبخوان برابر ۰/۱۸ متر و مقدار بهینه TDS (Total Dissolve Solid) برای منطقه برابر ۱۲۲۹ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵). ساختار مدل‌سازی، از مدل شبیه‌سازی جریان (MODFLOW) و مدل شبیه‌سازی انتقال آلاینده (MT3DMS) تشکیل شده است. با توجه به دشواری ادغام مدل شبیه‌سازی غیرخطی در یک مدل مدیریتی، از مدل جایگزین شبکه عصبی مصنوعی ANN (Artificial Neural Network) برای رابط شبیه‌سازی-بهینه‌سازی استفاده شده است.

مدیریت بهینه آبخوان خرم‌آباد با مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی توسط کد مادفلو در محیط نرم‌افزار GMS10.2 (Groundwater Modeling Software) تحت تأثیر سه سناریوی: کاهش برداشت، احداث سد زیرزمینی و اجرای طرح تغذیه مصنوعی با ارائه شاخص‌های فنی پایداری و بهره‌برداری اصلاح‌شده، مورد ارزیابی قرار گرفته است (شیخی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج تحقیق نشان داد، کاهش ۱۰ درصد بهره‌برداری بهترین سناریو می‌باشد. همچنین در پژوهش انجام‌شده به‌منظور بررسی اثرات احداث سد سلمان فارسی بر آبخوان دشت قیر و کارزین نشان می‌دهد، این سد با تغییر نظام هیدرولوژیکی رودخانه قره آغاج، نتوانسته تأثیر دوره‌های خشک‌سالی را بر نوسانات سطح آب زیرزمینی تسکین دهد (رنجبر و امینی، ۱۳۹۳). در این تحقیق ۱۰ دوره خشک‌سالی با نرم‌افزار ARCHYDRO مورد

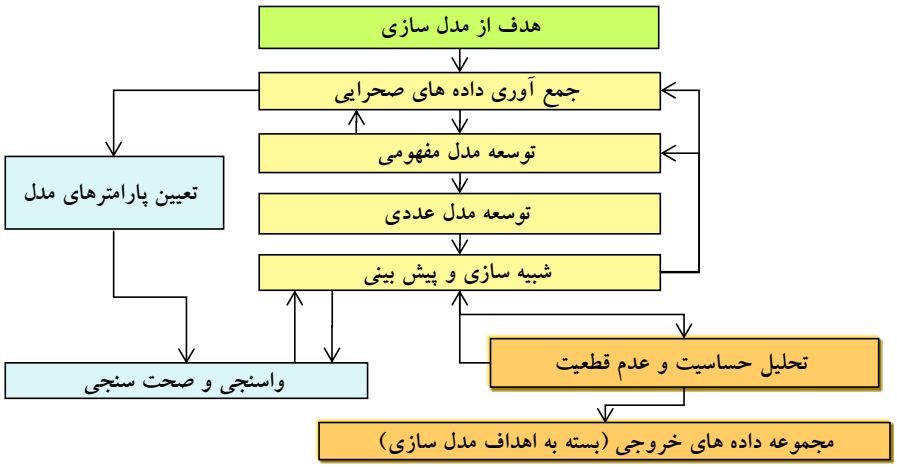
پردازش قرار گرفته است.

با توجه به وضعیت بحرانی آبخوان آبرفتی نیشابور پژوهش‌های بسیاری با هدف مدیریت بهره‌برداری و تعادل‌بخشی انجام شده است (ایزدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ نظریه و همکاران، ۱۳۹۷؛ امامی‌فر و همکاران، ۱۳۹۷). با این وجود ضعف نگرش جامع و یکپارچه در خصوص بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب وجود دارد. در این پژوهش بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای تأمین آب شرب شهر نیشابور و اثرات آبگیری و انتقال آب سد بار بر آبخوان بررسی شده است. در این راستا مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان نیشابور توسط کد مادفلو در محیط نرم‌افزار GMS7.4 تهیه و واسنجی گردیده و تأثیر احداث سد بر آبخوان ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

ساخت سد بر رژیم (سیستم) جریان رودخانه و متعاقب آن بر نظام تغذیه حاکم بر آبخوان تأثیرگذار است. این تغییر عموماً با کاهش تغذیه در ناحیه پایاب رودخانه و افزایش در نقاط مصرف اتفاق می‌افتد. بدون تردید بررسی تأثیر طرح‌های توسعه منابع آب (در این تحقیق سد بار) بر آبخوان و بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب بدون بهره‌گیری از ابزار مدل‌سازی امکان‌پذیر نیست. در این پژوهش ابتدا تغییر در رژیم جریان رودخانه بار با توجه به میزان آبگیری طی دوره چهارساله ۱۳۹۲ لغایت ۱۳۹۶ و بیلان مخزن سد، محاسبه شده است. سپس با مدل‌سازی آبخوان با تغییر در میزان تغذیه، تأثیر سد بار بر آبخوان بررسی گردیده است. لذا ابتدا به نحوه مدل‌سازی آب زیرزمینی و معادلات حاکم اشاره شده سپس بیلان سد بار و شبیه‌سازی آبخوان آورده شده است.

مدل‌سازی، شبیه‌سازی خصوصیات زمانی و مکانی یک سیستم یا بخش‌هایی از آن به‌صورت فیزیکی یا ریاضی می‌باشد (Kersic, 1998). در صورتی که مدل آب زیرزمینی به‌صورت مناسب تهیه و واسنجی شده باشد ابزار مناسبی در مدیریت آبخوان محسوب می‌شود. گام اول در مدل‌سازی آب زیرزمینی، درک مفهومی از ویژگی‌های فیزیکی مسئله است و گام بعدی ترجمه فیزیک سیستم به معادلات ریاضی می‌باشد (Kumar and Singh, 2015). در مدل‌سازی ریاضی، شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی به‌صورت غیرمستقیم با یک معادله حاکم (تحلیلی یا عددی) صورت می‌گیرد. مدل‌های عددی توانایی حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان و انتقال جرم برای سیستم‌های پیچیده آب زیرزمینی را دارند. این مدل‌ها معادلات دیفرانسیل را به‌صورت تقریب حل نموده و لازم است محدوده مدل‌سازی از نظر زمانی و مکانی گسسته سازی گردد. بسته به نوع هدف و میزان پیچیدگی مدل، مراحل گوناگونی برای مدل‌سازی آب زیرزمینی توسط محققین مختلف ارائه گردیده است. در شکل ۱ نمونه‌ای از مراحل تهیه مدل آورده شده است (Bear and Cheng, 2010).



شکل ۱- مراحل تهیه مدل عددی (Bear and Cheng, 2010)

اولین گام در توسعه مدل ریاضی تعیین معادله عمومی حاکم بر رفتار سیستم می‌باشد. معادله سه‌بعدی جریان (رابطه ۱) در محیط متخلخل اشباع برای آبخوان تحت‌فشار، ناهمگن، ناهمسان و تحت شرایط ناپایدار عبارت است از:

$$\frac{\partial}{\partial X}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial X}\right)+\frac{\partial}{\partial Y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial Y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial Z}\right)-Q=S_s\frac{\partial h}{\delta t} \quad (۱)$$

که در آن: K_{xx}، K_{yy}، K_{zz} هدایت هیدرولیکی در جهت محورهای x، y و z که به موازات محورهای اصلی هدایت

هیدرولیکی فرض می‌شوند، h بار پیزومتری، Q شار گذر حجمی جریان به‌صورت تغذیه/تخلیه و S_s ضریب ذخیره ویژه می‌باشد.

MODFLOW یک مدل آب زیرزمینی سه‌بعدی تفاضل محدوده می‌باشد که استاندارد بین‌المللی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان آب زیرزمینی و ارتباط هیدرولیکی آب زیرزمینی- آب سطحی را در نظر می‌گیرد. شکل اولیه مدل (ارائه‌شده در سال ۱۹۸۴) صرفاً واجد کد شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی (MOFLOW) بود (McDonald and Harbaugh, 1988). در حال حاضر MODFLOW واجد ساختار مدولار با یک ساختار ارتقا یافته با قابلیت شبیه‌سازی جامع نسبت به مدل اولیه می‌باشد (اضافه شدن کدهای ردگیری حرکت ذرات MODPATH، شبیه‌سازی انتقال جرم MT3DMS و غیره). نرم‌افزار GMS یک رابط گرافیکی جامع مدل سازی آب زیرزمینی است که کد MODFLOW را به‌صورت پیش پردازنده و پس پردازنده پشتیبانی می‌کند (نظری و جودوی، ۱۳۹۳).

گستره موردمطالعه

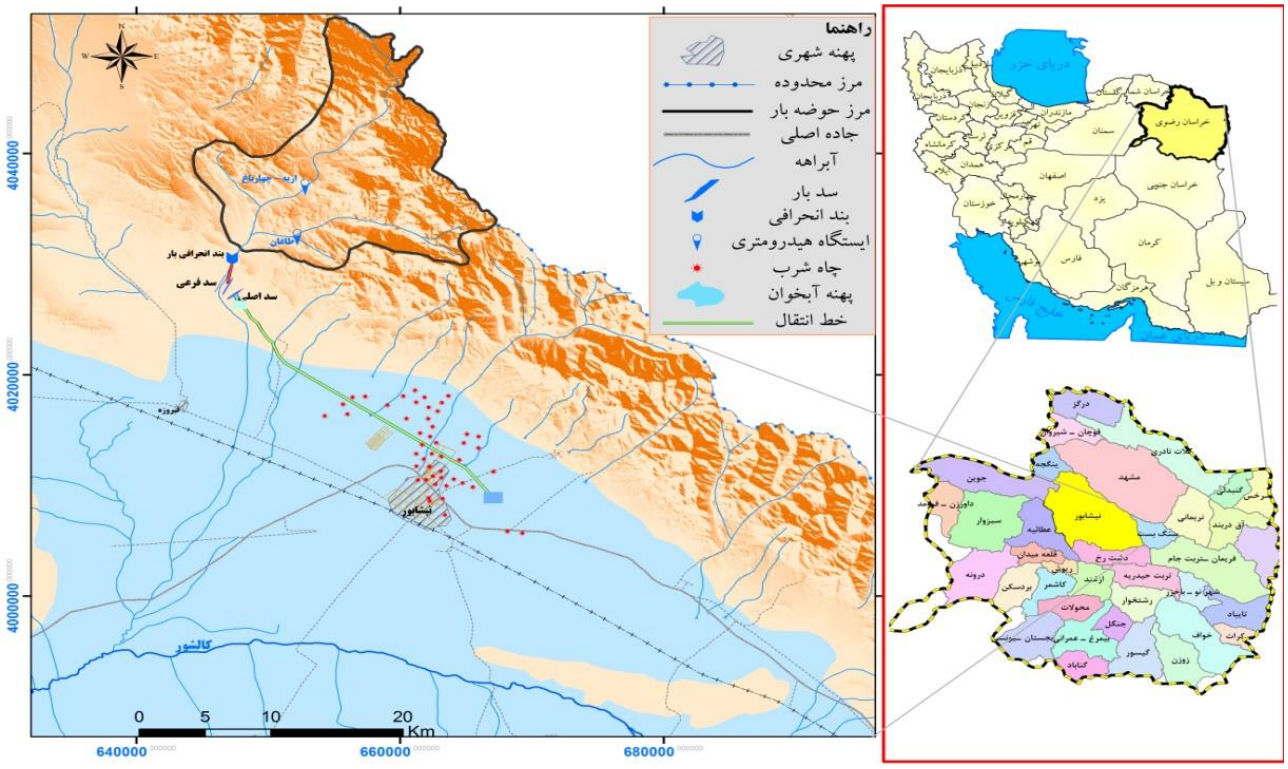
گستره موردمطالعه بخش شمالی محدوده مطالعاتی نیشابور است که از خط الراس ارتفاعات بینالود با امتداد شمال غرب-جنوب شرق و پهنه دشت تا کال شور را شامل می‌شود (بخش مرکزی آبخوان آبرفتی نیشابور با مساحت ۹۶۹ کیلومترمربع که تحت تأثیر سد بار و منابع تأمین آب شرب شهر نیشابور است). این گستره بخشی از حوضه آبریز کویر مرکزی است که در حدفاصل طول‌های جغرافیایی ´۳۱ °۵۸ تا ´۱۰ و °۵۹ و عرض‌های جغرافیایی ´۳ و °۳۶ تا ´۳۵ و °۳۶ واقع می‌باشد (شکل ۲). رواناب سطحی مازاد ارتفاعات بینالود پس از جاری شدن بر روی پهنه دشت، به کال‌شور در مرکز دشت می‌ریزد. میانگین بارش در سطح ارتفاعات برابر ۳۶۴ و در پهنه دشت برابر ۲۳۰/۸ میلی‌متر است. همچنین میانگین تبخیر سالانه از تشت به ترتیب برابر ۱۸۳۹ و ۳۲۶۴ میلی‌متر است (وزارت نیرو، ۱۳۹۷). حوضه آبریز رودخانه بار با مساحت ۲۳۰ کیلومترمربع در شمال غرب گستره موردمطالعه قرار دارد. جریانات سطحی مازاد این حوضه توسط بند انحرافی به سد خارج بستر بار انتقال و برای تأمین آب شرب شهر نیشابور و کارخانه فولاد ذخیره می‌شود.

محدوده مطالعاتی نیشابور در حد فاصل دو پهنه زمین‌شناسی بینالود و ایران مرکزی قرار دارد. عمده واحدهای سنگی ارتفاعات بینالود را واحدهای دگرگونی: شیل‌های تیره دگرگون‌شده، فیلیت و اسلیت به سن تریاس (TRjm) تشکیل داده‌اند (فیلیت‌های مشهد). واحد مارنی و مارنی گچدار نئوژن (Nm) با نفوذپذیری اندک در حاشیه شمالی دشت، علاوه بر نقش سنگ کف آبخوان به مانند سدی ارتباط هیدروژئولوژیکی ارتفاعات و آبخوان آبرفتی را محدود کرده‌اند. در نوار شمالی تا ناحیه میانی پهنه دشت، مخروط افکنه‌های وسیع قرار دارند. آبرفت‌های میان دشتی با ضخامت اشباع زیاد و در انتها نیز رسوبات ریزدانه پایان دشتی در حاشیه کال‌شور، هیدروژئولوژی آبخوان را کنترل می‌کنند.

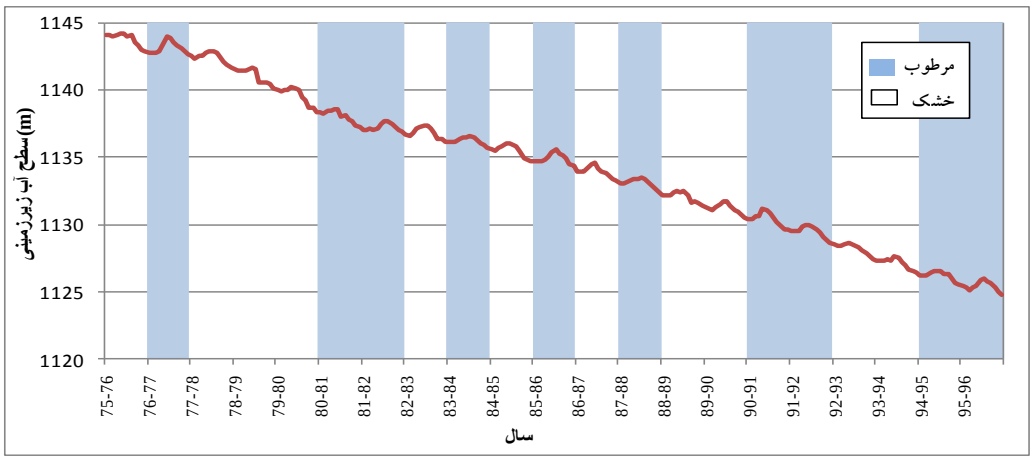
جمعیت شهر نیشابور طی ۶۰ سال گذشته از ۲۵/۸ هزار نفر به ۲۷۱ هزار نفر رسیده است (با متوسط رشد سالانه ۴/۱ درصد). همچنین پیش‌بینی می‌شود تا سال ۱۴۲۰ جمعیت این شهر به بیش از ۴۰۰۰۰۰ نفر برسد (وزارت نیرو، ۱۳۹۷). توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، توسعه اراضی و احداث بندهای انحرافی و سر دهانه‌ها در ارتفاعات، باعث افت سطح آب زیرزمینی حدود یک متر در سال در آبخوان آبرفتی شده است (شکل ۳). منابع فعلی تأمین آب شرب شهر نیشابور شامل ۵۲ حلقه چاه بهره‌برداری می‌باشد که در شمال شهر و بر روی مخروط افکنه فاروب-رومان قرار دارند. هیدروگراف چاه مشاهده‌ای راه باغرود که در گستره چاه‌های تأمین آب شرب قرار دارد ، افت ممتد سالانه ۱/۶ متر در دوره ۲۰ ساله اخیر را نشان می‌دهد (شکل ۴). این شکل نشان از تاب‌آوری اندک و مدیریت ضعیف تغذیه آبخوان (MAR) در این ناحیه است (دوره‌های مرطوب و خشک فصلی و سالیانه بر روند هیدروگراف بی‌تأثیر است). کاهش آبدهی چاه‌ها به‌طور میانگین ۲/۹ درصد در سال محاسبه شده و کف شکنی و جابجایی چاه‌ها همواره انجام می‌شود. اتکای به یک سیستم تأمین آب برای شرب شهر باعث کاهش ظرفیت جذب پذیری (Absorptive) و تاب‌آوری (Resilience) سیستم شده است (Hund et al., 2018).

رودخانه بار از دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود سرچشمه می‌گیرد. دو ایستگاه هیدرومتری بار اریه و طاغان بر روی آن ساخته شده است. آب این رودخانه صرف تأمین نیازهای زیست‌محیطی، کشاورزی و تغذیه آبخوان آبرفتی نیشابور می‌شود و در نهایت به کال شور نیشابور می‌ریزد. آبدهی رودخانه بار در محل بند انحرافی سد بار به‌صورت سری بلندمدت ماهانه بر مبنای آمار روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی بار اریه و طاغان تعیین شده است. ایستگاه بار اریه از سال آبی ۳۰-۱۳۲۹ و ایستگاه آب‌سنجی طاغان از سال آبی ۵۷-۱۳۵۶ دارای آمار دبی روزانه می‌باشند. میانگین آبدهی سالانه رودخانه بار در محل ایستگاه بار اریه برابر ۰/۵۹ مترمکعب در ثانیه و در ایستگاه طاغان برابر ۰/۵۴ مترمکعب در ثانیه است. تکمیل آمار دو ایستگاه به روش نسبت‌ها (علیزاده، ۱۳۹۴) و یکسان‌سازی آمار دو ایستگاه از سال ۱۳۴۹ لغایت ۱۳۹۶ با توجه به تغییرات میزان بارش صورت گرفته است. در حد فاصل دو ایستگاه هیدرومتری و بند انحرافی سد بار، نیاز آبی اراضی موجود با کسر بهره‌برداری توسط نهرهای: من‌قان، ده‌قره و زیر جوی محاسبه و رواناب مازاد در محل بند انحرافی تعیین شده است (شکل ۵-الف). در شکل ۵-الف روند کاهشی جریان رودخانه بار به دلیل توسعه بهره‌برداری در سطح حوضه و دوره‌های خشک‌سالی ناشی از تغییر اقلیم، کاملاً مشخص است. نتیجه محاسبه بیلان آبی مخزن سد

برای چهار دوره آبگیری مخزن (۱۳۹۳ لغایت ۱۳۹۶) در جدول ۱ ارائه شده است. با محاسبه بیلان، نرخ روزانه نشت آب از مخزن سد در برابر حجم آب مخزن به دست آمده است (شکل ۵-ب).



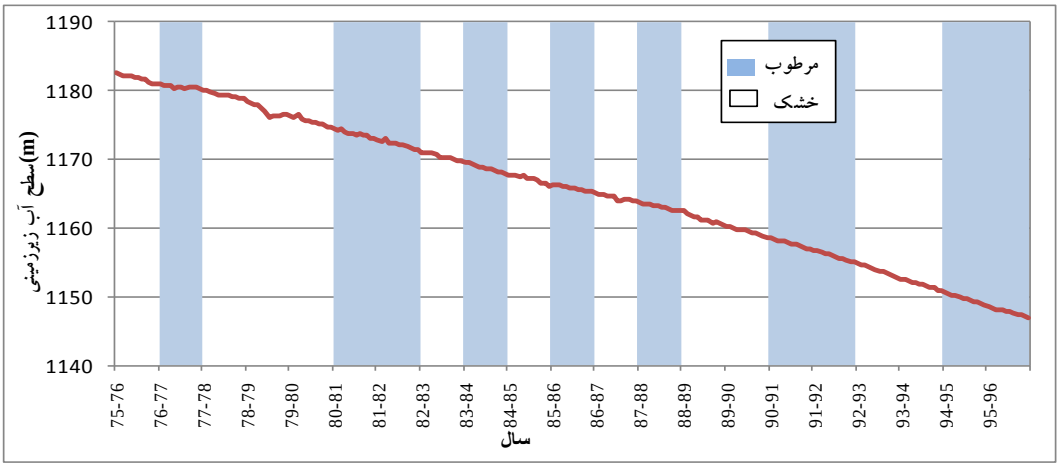
شکل ۲- موقعیت محدوده مطالعاتی نیشابور، ساختگاه سد بار و راه دسترسی



شکل ۳- هیدروگراف معرف آبخوان گستره موردمطالعه

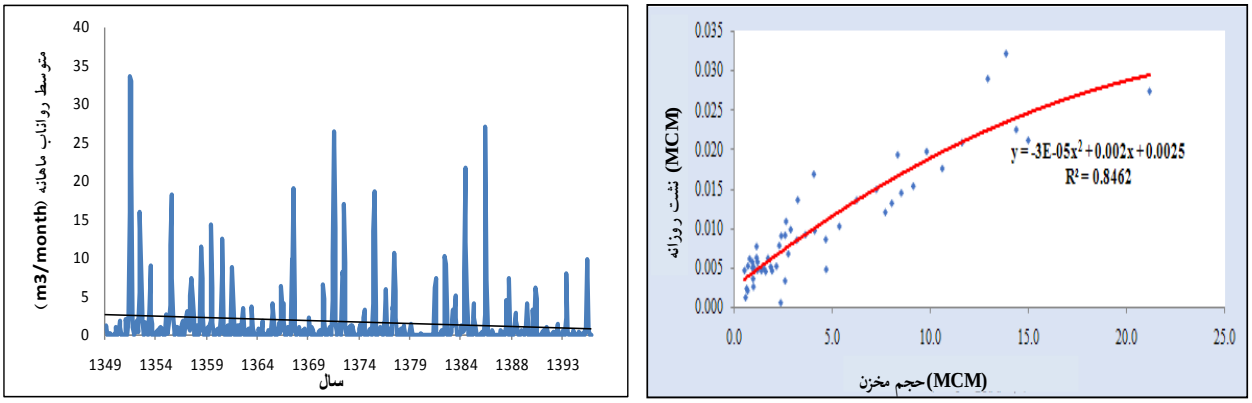
جدول ۱- بیلان مخزن سد بار طی چهار دوره آبگیری (میلیون مترمکعب)

Dam Intake		V1	V2	ΔV	Qin	P	SUMin	Evapo.	Q foolad	Seepage	SUMout
Start Date	End Date										
۱۳۹۳/۲/۴	۱۳۹۳/۲/۲۲	۰/۲۳	۰/۴۵	۰/۲۲	۱/۵۹	۰/۳۶	۱/۹۴	۰/۴۸	۰/۶۵	۰/۶	۱/۷۲
۱۳۹۳/۱۲/۱	۱۳۹۴/۲/۱	۰/۴۵	۰/۸۹	۰/۴۴	۴/۷۵	۰/۳۹	۵/۱۴	۱/۲۷	۰/۸۲	۲/۶۱	۴/۶۹
۱۳۹۴/۱۲/۱۹	۱۳۹۵/۳/۳	۰/۸۹	۰/۶۹	-۰/۲	۳/۴۶	۰/۲۹	۳/۷۵	۱/۰۴	۱/۳۸	۱/۵۳	۳/۹۵
۱۳۹۵/۱۱/۹	۱۳۹۶/۲/۱	۰/۶۹	۲/۲۳	۱/۵۴	۸/۶	۰/۴۶	۹/۰۶	۲/۰۸	۲/۳۷	۳/۰۷	۷/۵۲



شکل ٤- هیدروگراف چاه مشاهده‌ای راه باغرود

V1: حجم آب مخزن در آغاز دوره، V2: حجم آب مخزن در خاتمه دوره، ΔV: تغییرات حجم آب مخزن،Qin: جریان آب سطحی ورودی، P: بارش بر روی سطح مخزن، SUMin: مجموع ورودی، Evapo.: تبخیر از سطح آب مخزن،Qfoolad: تنظیم آب کارخانه فولاد، Seepage: نشت آب مخزن و SUMout: مجموع خروجی از مخزن سد



الف ب

شکل ۵-الف- سری زمانی رواناب سطحی رودخانه بار در محل بند انحرافی و ب- نرخ نشت آب از مخزن سد بار

شبیه‌سازی آبخوان گستره موردمطالعه

مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان گستره موردمطالعه با استفاده از کد مادفلو در قالب نرم‌افزار GMS صورت گرفته است. پس از تعیین گستره مدل‌سازی اولین گام، تهیه مدل مفهومی است. تعیین هندسه و مرز آبخوان، موقعیت و میزان تخلیه توسط منابع آب، ضرایب هیدرودینامیکی، توپوگرافی سطح زمین و سنگ کف، پوشش تغذیه و تعیین شرایط مرزی با تهیه مدل مفهومی تبیین شده و با بهره‌گیری از نرم‌افزار GIS برای گستره مدل‌سازی تعریف شده است. فرایند حل معادله عمومی جریان در روش تفاضل محدود در دو حالت شرایط پایدار و ناپایدار به روش تکرار صورت می‌پذیرد (Langevin et al., 2017) و لازم است گستره مدل‌سازی به لحاظ مکانی و زمانی گسسته سازی شود. به همین منظور گستره مدل‌سازی آبخوان در شبکه از نوع مرکز سلولی به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ در ۱۱۲ ستون و ۶۰ ردیف، سلول بندی شده است. در شرایط پایدار پهنه‌بندی مقدار قابلیت انتقال بر اساس داده‌های آزمایش پمپاژ و لاگ حفاری چاه‌های بهره-برداری برای گستره مدل مشخص و با استفاده از پودمان GIS به مدل وارد شده است.

شرایط مرزی محدوده مدل‌سازی بدین ترتیب است که به استثنای ناحیه جنوب شرقی محدوده که واجد مرز نفوذناپذیر و فاقد تبادلات آبی است، سایر نواحی آبخوان دارای تبادلات آبی بوده و مرز با بار عمومی GHB (General Head Boundary) در نظر گرفته شده است. به‌منظور مدل‌سازی برای شرایط ناپایدار، گسسته سازی

زمانی برای پنج سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ لغایت ۹۶-۱۳۹۵ شامل ۶۰ دوره تنش منطبق با قرائت ماهیانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای، برای مدل تعریف شده است. عمده بهره‌برداری در محدوده مدل‌سازی توسط ۱۱۷۴ حلقه چاه بهره‌برداری صورت می‌گیرد که با در نظر گرفتن تغییرات فصلی آن‌ها به مدل وارد گردیده است. تغذیه آبخوان شامل: نفوذ بارش (بر پایه اطلاعات ۲ ایستگاه تبخیرسنجی، ۱ ایستگاه سینوپتیک و ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی بارش مؤثر محاسبه‌شده)، نفوذ سیلاب‌ها (با استفاده از داده‌های پنج ایستگاه هیدرومتری: اندراب، بار اریه، طاغان، عیش‌آباد و خرو، رواناب ماهیانه حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها محاسبه و درصدی از آن به‌عنوان نفوذ منظور گردیده)، آب برگشتی مصارف (برای مصارف بخش‌های شرب و صنعت برابر ۷۰ درصد و برای کشاورزی ۲۰ درصد لحاظ گردیده) و تغذیه مصنوعی (برابر ۸۰ درصد آب هدایت‌شده به طرح تغذیه مصنوعی فاروب-رومان در تغذیه آبخوان منظور شده) می‌باشد. تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و تغییرات ماهیانه سطح آب در گره‌های مرزی در طول دوره ناپایدار تعیین و برای مدل تعریف شده است. یکی از پوشش‌های مهم در شرایط ناپایدار مقدار ضریب ذخیره است که با توجه به وجود آبخوان آزاد با استفاده از نتایج اطلاعات: ۲ حلقه چاه اکتشافی، ۴ مورد آزمایش پمپاژ و لاگ چاه‌های بهره‌برداری همچنین مطالعات قبلی انجام‌شده در سطح محدوده (ایزدی و همکاران، ۱۳۹۲)، پوشش آبدهی ویژه تهیه و برای مدل تعریف شده است.

واسنجی مدل

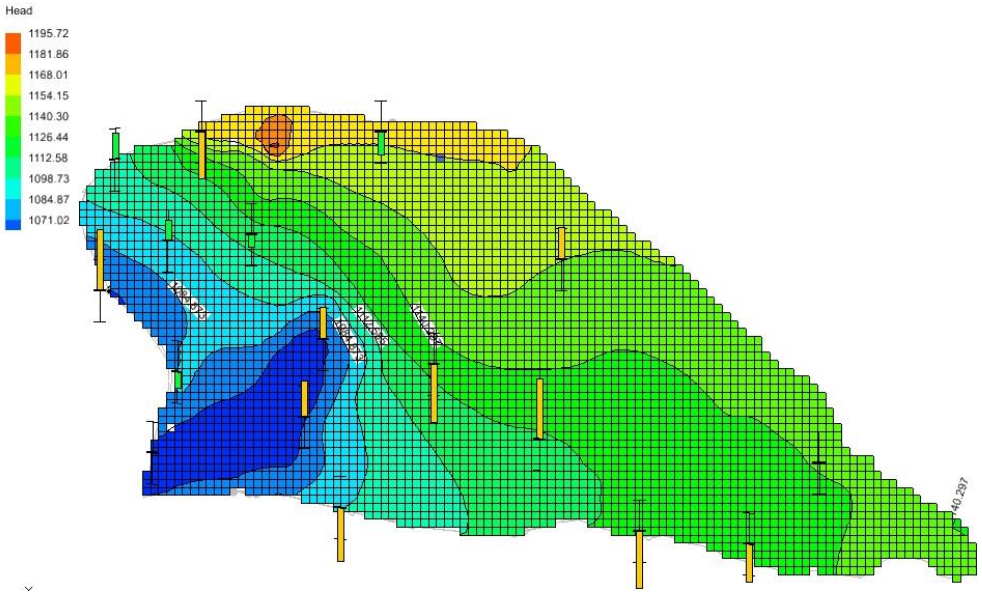
تغییر داده‌های ورودی غیرقطعی از جمله: پارامترها، شرایط مرزی و تنش‌های هیدرولوژیک، برای انطباق بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در دامنه مقادیری معقول و محتمل، فرایند واسنجی نامیده می‌شود (Spitz and Moreno., 1996). در تحقیق پیش رو از هر دو روش سعی و خطا و تخمین پارامتری، برای واسنجی مدل جریان در شرایط پایدار و ناپایدار استفاده شده است. در طی فرایند واسنجی از تحلیل حساسیت به‌منظور اطمینان از نزدیک شدن تغییرات به اهداف واسنجی بهره گرفته شده است. به‌منظور بررسی کمی نتایج واسنجی، میزان خطای محاسباتی و مشاهده‌ای با مقایسه باقیمانده‌ها با بازه بار مشاهداتی در سطح اطمینان ۰/۹۵ به‌صورت هدف‌های واسنجی برای تمامی چاه‌های مشاهده‌ای محاسبه شده است. نتیجه واسنجی نشان می‌دهد تمامی هدف‌های واسنجی در بازه قابل‌قبول قرار دارند (شکل ۶). علاوه بر این روش آماری محاسبه معیارهای واسنجی نشان داد، نتیجه شبیه‌سازی به مشاهده‌ای نزدیک است و واسنجی مورد تائید می‌باشد (جدول ۲). در شکل ۷ پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه واسنجی شده برای گستره موردمطالعه ارائه شده است.

نتایج و بحث

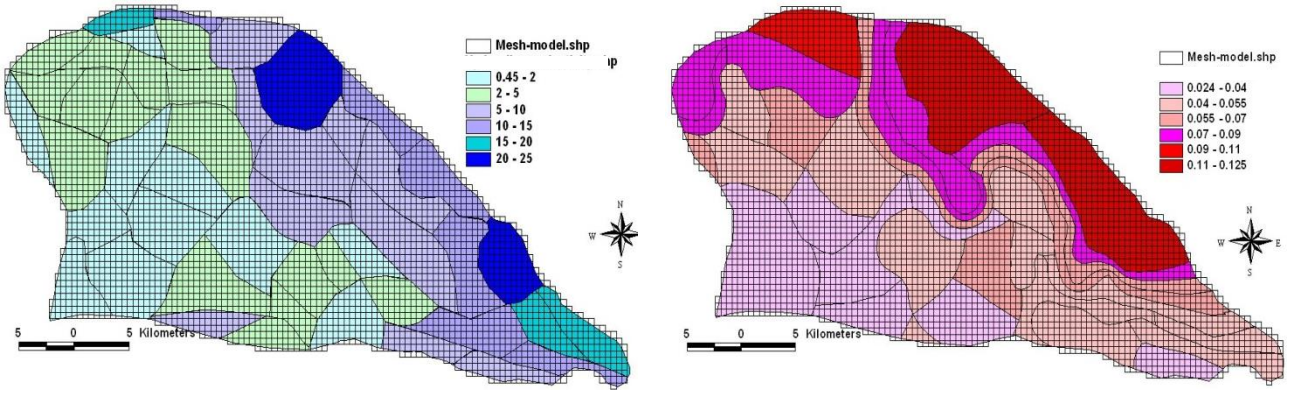
مدیریت تلفیقی بهره‌برداری از منابع آب (آبخوان، رودخانه‌ها، مخازن، آب تصفیه‌شده مصارف، آب شوری‌زدایی شده) مجموعه‌ای از انتخاب‌ها را فراهم می‌آورد که به‌نوبه خود امنیت بالاتر، انعطاف‌پذیری بیشتر و تاب‌آوری بیشتر را برای منابع موجب می‌شود (OECD., 2017). در گستره موردمطالعه، وجود مخروط افکنه وسیع و بستر نفوذپذیر رودخانه بار نشان از نقش مهم تغذیه آبخوان توسط سیلاب-ها و جریان این رودخانه بر آبخوان آبرفتی نیشابور دارد. به‌منظور بررسی تأثیر ساخت سد بار بر آبخوان آبرفتی نیشابور، دوره پنج‌ساله ۱۳۹۱ لغایت ۱۳۹۶ مورد پایش قرار گرفته است. اگرچه نوسانات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای تقی‌آباد، اقبالیه و قلعه آقا حسن که در پایاب رودخانه بار قرار دارند، تأثیر ساخت سد بر آبخوان را به‌خوبی نشان می‌دهند، ولی به‌منظور کمی سازی میزان تأثیر، پیش‌بینی و خصوصاً تأثیر بر آبخوان در نواحی مصرف (شهر نیشابور) مدل‌سازی آبخوان نیشابور انجام شده است (شکل ۸). تاکنون انتقال آب شرب برای شهر نیشابور به دلیل نهایی نشدن مسیر خط انتقال آب، عملیاتی نشده و با انتقال آب می‌توان بهره‌برداری از آبخوان توسط چاه‌های بهره‌برداری را کاهش داد و از توسعه شدید بهره‌برداری از آبخوان کاست. پس از تهیه مدل، دو سناریوی شرایط واقعی و سناریوی تأمین آب شهر برابر با مصوبه تخصیص آب (انتقال سالانه ۷ میلیون مترمکعب آب برای شرب شهر نیشابور از سد بار) موردبررسی قرار گرفته است. سناریوی شرایط واقعی مبتنی بر آبگیری مخزن در دوره چهارساله ۱۳۹۳ لغایت ۱۳۹۶ و بیلان آبی تهیه شده برای آن می‌باشد.

جدول ۲- معیارهای خطای مدل‌سازی جریان در شرایط پایدار و ناپایدار

Calibration Criteria	Equation	Steady	Unsteady
Mean error	$ME = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(h_m - h_s)_i$	-۰/۰۵۸	۰/۳۳۷
Mean abs. error	$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\|(h_m - h_s)_i\right\|$	۱/۰۹۷	۱/۰۳٤
Root mean sq. error	$RMSE = (\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[(h_m - h_s)_i{}^2])^{1/2}$	۱/۲٦٤	۱/۳۱۵



شکل ٦- مدل واسنجی شده و هدف‌های واسنجی آبخوان گستره موردمطالعه



الف ب

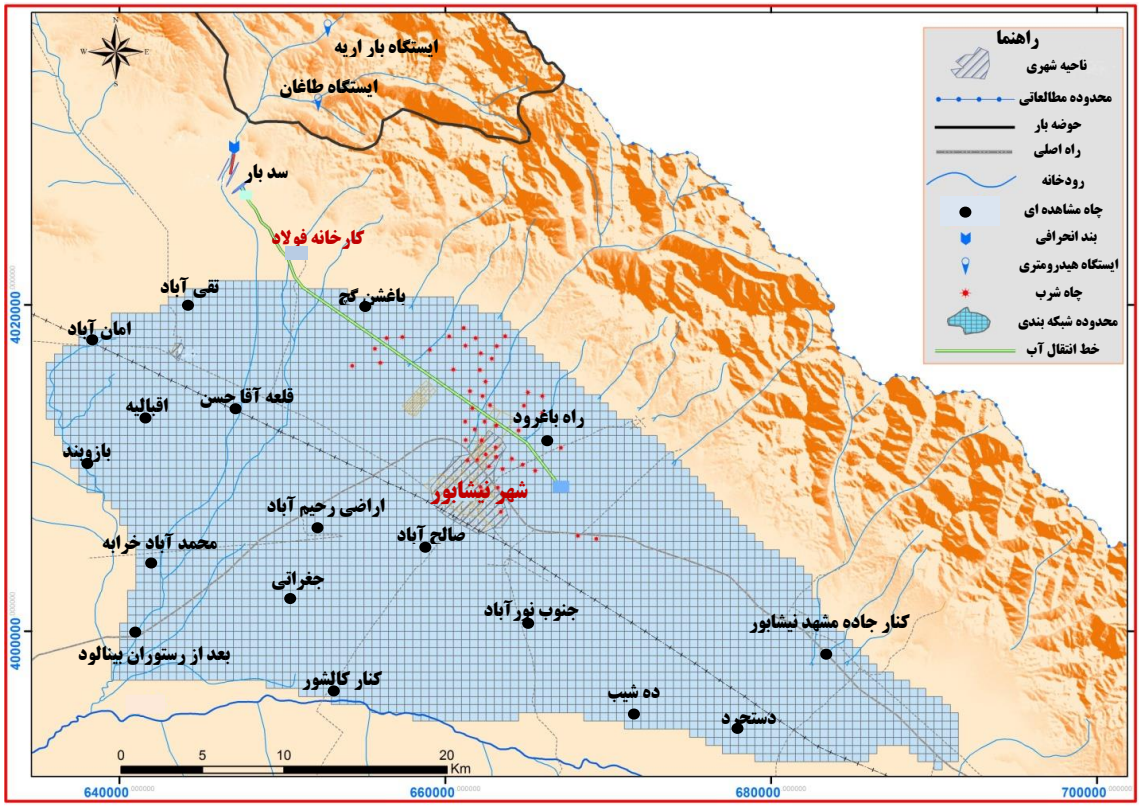
شکل ۷-الف- هدایت هیدرولیکی و ب- ضریب ذخیره واسنجی شده آبخوان در گستره مدل‌سازی

در این شرایط میزان تخصیص آب برابر با آب مازاد و آبی که با کاهش تلفات برای شرب شهر نیشابور امکان تخصیص دارد، در نظر گرفته شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در دوره چهارساله آبگیری سد، تنها یک‌سوم جریان رودخانه بار در محل بند انحرافی به مخزن سد انتقال داده شده است. لذا سناریوی دوم مبتنی بر این فرض است که بتوان مصوبه تخصیص را محقق کرد و سالانه ۷ میلیون مترمکعب آب از سد بار برای شرب شهر نیشابور انتقال داد.

نتیجه مدل‌سازی و اعمال سناریوهای مورداشاره نشان می‌دهد، ساخت سد بار تأثیر منفی بر آبخوان به‌صورت تشدید افت سطح آب زیرزمینی در نواحی غربی (پایاب سد) و تسکین بخشی از افت شدید سطح آب زیرزمینی در ناحیه مرکزی و شمال شهر نیشابور دارد. در شکل‌های ۹ و ۱۰ تأثیر ساخت سد بار به‌صورت تغییر روند نوسانات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای نشان داده شده است. آبگیری سد بار و تخصیص آن برای شرب شهر نیشابور منجر به تشدید افت سطح آب زیرزمینی تا پایان سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ در چاه‌های مشاهده‌ای تقی‌آباد، اقبالیه و قلعه آقا حسن به میزان: ۰/۱۵، ۰/۱۳ و ۱/۳۵ متر شده است. همچنین ساخت سد منجر به ترمیم افت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای راه باغرود و صالح‌آباد به میزان: ۱/۱ و ۰/۲۵ متر برای شرایط واقعی و ۲/۶۶ و ۰/۹۳ متر برای تأمین آب بر پایه مصوبه تخصیص می‌شود. با توجه به موقعیت قرارگیری چاه مشاهده‌ای صالح‌آباد در جنوب شهر نیشابور، انتقال آب سد بار منجر به تشدید بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی و مشکلات مربوطه در ناحیه شهری خواهد شد.

بر پایه نتایج مدل‌سازی، شعاع تأثیر آبگیری سد بار بر آبخوان نیشابور تحت دو سناریوی شرایط واقعی و مصوبه تخصیص مورد بررسی قرار گرفته است (شکل‌های ۱۱-الف و ۱۱-ب). با توجه به این شکل‌ها پهنه نسبتاً وسیعی از غرب آبخوان آبرفتی نیشابور با تشدید افت سطح آب زیرزمینی مواجه خواهد شد. در مقابل بخش

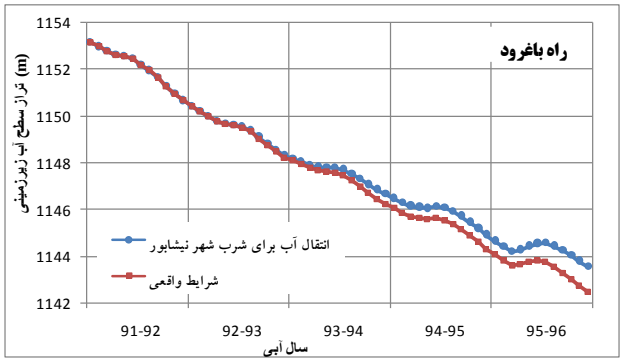
مرکزی آبخوان و گستره شهر نیشابور و شمال آن شاهد کاهش شدت افت سطح آب زیرزمینی خواهد بود. در صورت تحقق مصوبه تخصیص شاهد تسکین بیشتر افت سطح آب زیرزمینی و کسری مخزن آبخوان، خصوصاً در شمال شرق شهر نیشابور خواهیم بود.



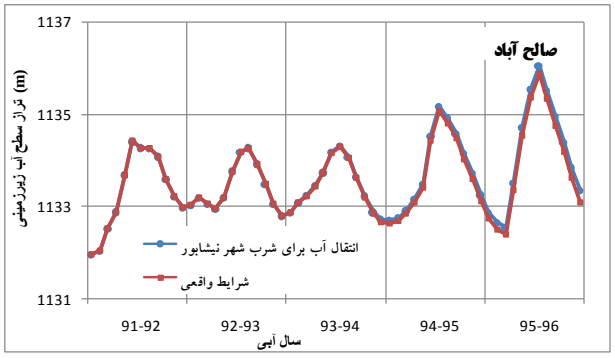
شکل ۸- گستره شبکه مدل و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان نیشابور

نتیجه‌گیری

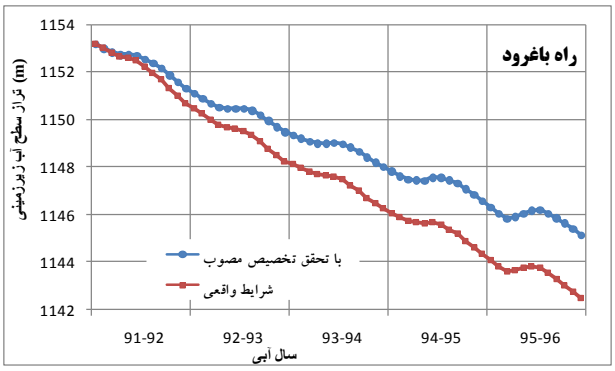
با بهره‌گیری از مدل‌سازی آبخوان نتایجی کمی از تأثیر ساخت سد بار بر آبخوان آبرفتی نیشابور به دست آمده است. آبگیری سد بار منجر به کاهش رواناب و تغذیه آبخوان در ناحیه غربی دشت خواهد شد. بیشترین تأثیر منفی ساخت سد بار در گستره چاه قلعه آقا حسن به‌صورت تشدید افت به میزان ۱/۳۵ متر تا پایان سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ رخ خواهد داد. از سوی دیگر انتقال آب برای شرب شهر نیشابور، کاهش بهره‌برداری چاه‌های تأمین آب شرب و تسکین بخشی از افت شدید سطح آب زیرزمینی آبخوان را باعث می‌شود. بیشترین تأثیر مثبت بر بحرانی‌ترین ناحیه آبخوان (چاه مشاهده‌ای راه باغرود) به‌صورت تخفیف شدت افت به میزان ۰/۹۳ و ۲/۶۶ متر برای دو سناریوی شرایط واقعی و تأمین بر پایه مصوبه تخصیص مشاهده می‌شود. علاوه بر این مدل‌سازی آبخوان نشان می‌دهد بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی که یکی از چالش‌های کنونی مدیریت شهری نیشابور است، با انتقال آب از سد بار تشدید خواهد شد. نتایج پژوهش، کارایی مدل‌سازی در بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌صورت تعیین دامنه تأثیر توسعه بهره‌برداری از منابع آب بر آب زیرزمینی را به‌خوبی نشان می‌دهد. آبگیری سد بار علاوه بر تأثیر کمی بر نوسان سطح آب زیرزمینی، اثرات کیفی قابل‌توجهی بر آبخوان خواهد گذاشت.



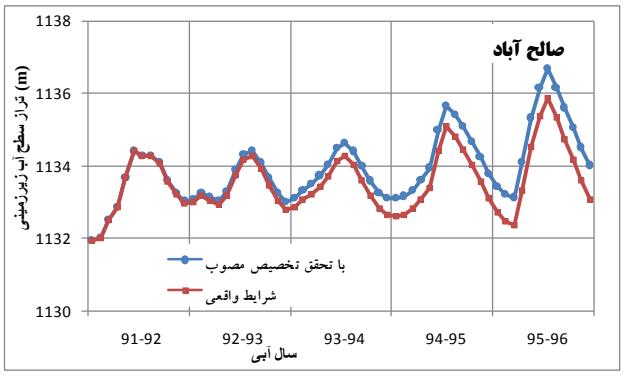
الف



ب

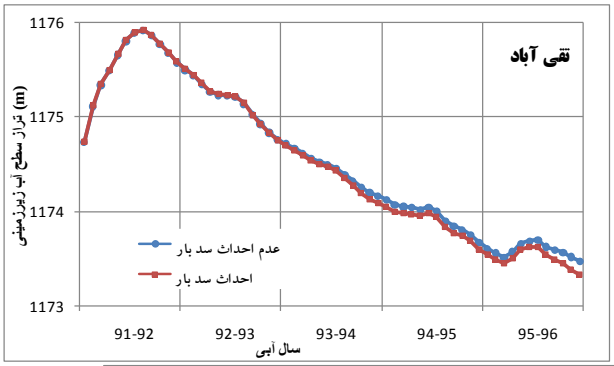


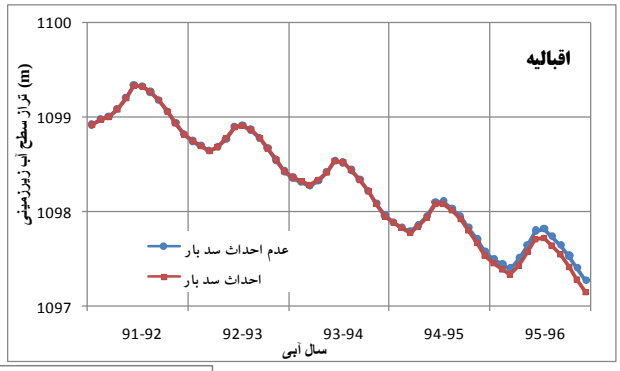
ج

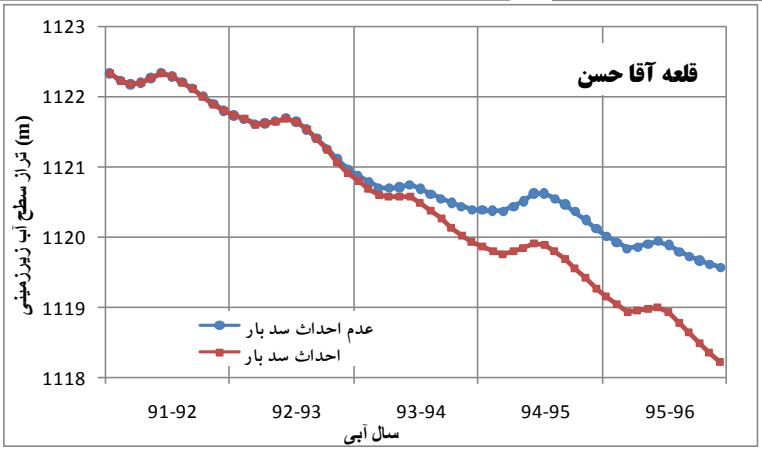


د

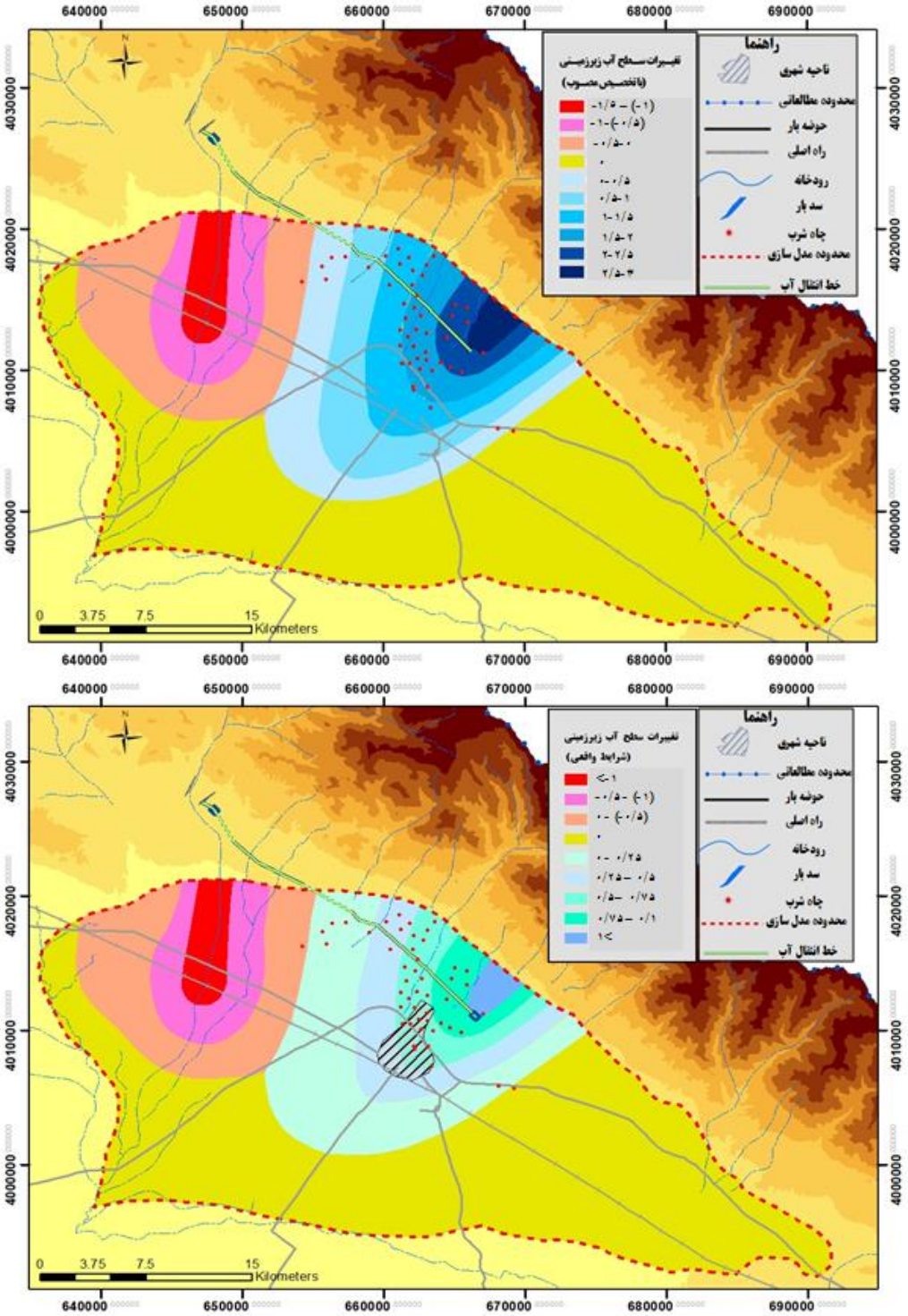
شکل ۹- تأثیر ساخت سد بار بر سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای راه باغرود و صالح‌آباد (الف و ب-در شرایط واقعی و ج و د- تأمین بر پایه مصوبه تخصیص)







شکل ۱۰-تأثیر ساخت سد بر سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای پایاب سد بار



شکل ۱۱- تأثیر سد بار بر آبخوان نیشابور بر پایه: الف- مصوبه تخصیص و ب- شرایط واقعی

منابع

امامی‌فر، س.، داوری، ک.، انصاری، ح.، قهرمان، ب.، حسینی، م. و ناصری، م. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل DWB و اصلاح آن برای برآورد مؤلفه‌های بیلان در مقیاس سال-حوضه (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی رخ و نیشابور). مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۴(۲): ۷۲-۸۸.

ایزدی، ع.، داوری، ک. و علیزاده، ا. ۱۳۹۲. کاربرد و ارزیابی یک مدل

توسعه تلفیقی آب زیرزمینی- آب سطحی در حوضه آبریز نیشابور. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

حیدری، ف.، دلاور، م. و ثقفیان، ب. ۱۳۹۵. توسعه مدل بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با تأکید بر کمیت و کیفیت منابع آب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۷(۴): ۶۸۷-۶۹۹.

رنجبر، م. و امینی، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی اثر سد سلمان فارسی بر منابع آب زیرزمینی. فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا. ۱۲(۴۰): ۲۰۶-۱۸۷.

شیخی پور، ب.، جوادی، س. و بنی حبیب، م. ۱۳۹۷. ارزیابی اثربخشی سناریوهای احیای آبخوان توسط شاخصه‌ای پایداری و بهره‌برداری منابع آب، مطالعه موردی: آبخوان شهرکرد. نشریه آب و خاک. ۳۲(۲): ۲۶۷-۲۸۱.

علیزاده، ا. ۱۳۹۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی و پنجم. انتشارات دانشگاه امام رضا.

میثاقی، ع.، داوری، ک.، قهرمان، ب. و هاشمی نیا، م. ۱۳۹۲. مدل-سازی منابع آب در حوضه آبریز با استفاده از پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور). نشریه علوم و مهندسی آبیاری. ۳۷(۳): ۸۳-۹۴.

نظری، ر. و جودوی، ع. ۱۳۹۳. مدل‌سازی کاربردی جریان و انتقال آلاینده‌ها در آبخوان. چاپ اول. انتشارات آفتاب عالمتاب.

نظریه، ف.، انصاری، ح.، ضیائی، ع.ن.، داوری، ک. و ایزدی، ع. ۱۳۹۷. برآورد توزیع مکانی و زمانی تغذیه با استفاده از مدل توزیعی prms (مطالعه موردی دشت نیشابور). مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۴(۱): ۲۲۶-۲۳۸.

وزارت نیرو. ۱۳۹۷. سیمای آب خراسان رضوی. آب منطقه‌ای خراسان رضوی.

Bear, J. and Cheng, A.H. 2010. Modeling groundwater flow and contaminant transport, theory and applications of transport in porous media. New York: Springer.23.

Birhanu, B., Kebede, S., Masetti, M. and Ayenew T. 2018. WEAP-MODFLOW dynamic modelling approach to evaluate surface water and groundwater supply sources of Addisababa City. Italian Journal of Groundwater.7(2):15-24.

Buras, N. 1963. Conjunctive operation of dams and aquifers. Proc ASCE. 89(6):11–13.

Burt, O.R. 1967. Temporal allocation of groundwater. Water Resources Research. 3(1):45–56.

Casanova, J., Devau, N. and Pettenati, M. 2016. Managed aquifer recharge: An overview of issues and options. Springer, New York. 413-434.

Coe, J.J. 1990. Conjunctive use–advantages, constraints, and examples. Journal Irrigation and Drainage Engineering. 116(3):427–443.

Dehghanipour, A.H., Zahabiyoun, B., Schoups, G. and Babazadeh, H. 2019. A WEAP-MODFLOW surfacewater-groundwater model for the irrigated Miyandoab plain, Urmia lake basin, Iran: multi-objective calibration and quantification of historical drought impacts. Agriculture Water Management. 233. 105704.

Hanson, R.T., Flint, L.E., Flint, A.L., Dettinger, M.D., Faunt, C.C., Cayan, D. and Schmid, W. 2012. A method for physically based model analysis of conjunctive use in response to potential climate changes. Water Resources Research. 48(6):46-69.

Hund, S.V., Allen, D.M., Morillas, L. and Johnson, M.S. 2018. Groundwater recharge indicator as tool for decision makers to increase sociohydrological resilience to seasonal drought. Journal of Hydrology. 563:1119-1134.

Jakeman, A.J., Barreteau, O., Hint, R.J., Rinaudo, J.D., Ross, A., Arshad, M. and Hamilton, S. 2016. Integrated groundwater management: An overview of concepts and challenges. Springer, New York. 3–20.

Kersic, N. and Chitsazan, M. 1998. Groundwater modeling. Shahid Chamran Ahvaz University. 830 p.

Kumar, P. and Singh, S. 2015. Concepts and modeling of groundwater system. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. 2(2): 262-271.

Langevin, C., Hughes, J., Benta, E., Niswonger, R., Paanaday, S. and Provost, A. 2017. Documentation for MODFLOW6 groundwater flow model. Modeling Techniques. U.S. Geological Survey. 6(A): 55.

McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W. 1988. A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model. U.S. Geological survey Techniques of Water-Resources Investigation. 6(A1).

OECD. 2017. Groundwater allocation: managing growing pressures on quantity and quality. Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD Report Series).

Pulido, M.V., Guilherme, F., Marques, J. and Jay, R. 2016. Hydroeconomic models as decision support tools for conjunctive management of surface and groundwater. Integrated groundwater management: Concepts, Approaches and Challenges. International Center for Groundwater Research and Training. 693-710.

Seo, S.B., Mahinthakumar, G., Arumugam, S. and Kumar, M. 2017. Assessing the resiliency of surface water and groundwater systems under groundwater pumping. Journal Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 1-47.

Spitz, K. and Moreno, J. 1996. A practical guide to groundwater and solute transport modeling. John Wiley and sons. 480 p.

Rostami, B.K., Satarzadeh, A. and Rostami, S.K. 2017. Literature review on dam removal: a U-turn towards the sustainable management. Journal of Water and Sustainable Development. 4(1):107-116.

Scanlon, B.R., Reedy, R.C., Faunt, C.C., Pool, D. and Uhlman, K. 2016. Enhancing drought resilience with conjunctive use and managed aquifer recharge in California and Arizona. Environment Research Letter. 11(3): 035013.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 16, Jun.-Jul. 2022, p. 399-412

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۶، خرداد - تیر ۱۴۰۱، ص. ۴۱۲-۳۹۹

Effect of Bar Dam on Neyshabur Aquifer in Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources

M.T. Karbasi Maroof[1], H.R. Nassery[2]*, F. Alijani[3]
Recived: Nov.18, 2021 Accepted: Jan.25, 2021

Abstract

Dam construction is one of the most common development programs for the use of water resources, which is considered one of the most challenging topics in water resources management due to changes in the hydrological cycle. In this study, by modeling the Neyshabur aquifer using GMS software, the effects of conjunctive use of surface water and groundwater resources for drinking water supply in Neyshabur city (water intake of dam and exploitation wells) have been evaluated in different parts of the aquifer. The results show that based on the water balance prepared for the four periods of dam intake (from 2014 to 2017) and the mathematical model of the aquifer, the intensification of groundwater level drop occurred up to 1.35m in the Neyshabur aquifer. Moreover, in the case of transferring water for drinking in Neyshabur city and reducing the exploitation of drinking water wells, reduction of drop intensity between 1.1 and 2.66 m will be observed for two scenarios, namely water transfer based on water intake and approved allocation. In addition, the intensification of groundwater level rise in the urban area will be realized by 0.25 and 0.93 m for the two mentioned scenarios, respectively. The results of research reveald, Bar dam construction has significant impact on water table fluctuations in parts of aquifer and range of impact can be well assessed and predicted by modeling.

Keywords: Bar Dam, Conjunctive Use, Groundwater Modeling, GMS

1- PhD student of Hydrogeology, Department of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2- Professor of Hydrogeology, Department of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
3- Assistant professor of Hydrogeology, Department of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Autho Email: H-Nassery@sbu.ac.ir)