مقایسه‌ی نتایج حاصل از پیش بینی شبیه سازی عددی و واقعیت سطح آب زیرزمینی (مطالعه نمونه ای دشت حاجی آباد)

فردین بوستانی[۱]*

چکیده

در مرحله بررسی بعدی یا post audit پیش بینی یک شبیه عددی، مقایسه ی پیش بینی شبیه با داده‌های صحرائی واقعی، حداقل چند سال بعد از انجام آن صورب می‌گیرد. این بررسی، اطلاعات با ارزشی را در رابطه با استفاده از شبیه عددی در پیش بینی تنش‌های وارده به سامانه آبخوان فراهم نموده و می‌تواند به عنوان یک راهنما جهت بهبود توانایی شبیه در پیش بینی به کار رود. در این مطالعه پیش بینی شبیه عددی آب زیرزمینی آبخوان حاجی آباد ارزیابی شده است. آبخوان حاجی‌آباد جزء زیر حوضه کل محسوب شده و در قسمت جنوبی محدوده ی مطالعاتی حاجی‌آباد قرار گرفته است. این محدوده در فاصله ی ۱۶۰ کیلومتر شمال بندرعباس واقع شده است. شبیه عددی این آبخوان در حالت ناپایدار برای سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ اجرا گردیده است. شبیه مذکور برای پیش‌بینی سطح آب دریک بازه ی زمانی ۵ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۹) به کار گرفته شده است. با توجه به در دسترس بودن داده‌های واقعی سطح آب در این دوره (۱۳۹۴-۱۳۹۱)، نتایج حاصل از شبیه سازی با سطح واقعی آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای مقایسه گردیدند. نتایج نشان می‌دهند که به طور متوسط ۱/۳۵ متر خطا در پیش بینی سطح آب صورت گرفته است. مهمترین عامل این خطا را می‌توان به انجام پیش بینی شبیه برای حالت ترسالی نسبت داد، این در حالی است که در واقعیت شرایط خشکسالی بر منطقه حکمفرما بوده است. عوامل موثر دیگر در این خطا ناشی از طراحی نادرست شبیه مفهومی ، در نظر نگرفتن عدم قطعیت شبیه مفهومی در شبیه سازی محدوده ی مطالعاتی بوده است.

کلید واژه ها: بررسی بعدی پیش بینی، آب زیرزمینی، شبیه های عددی، عدم قطعیت شبیه مفهومی

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، باشگاه پژوهشگران و نخبگان، شیراز، ایران

مقدمه

منابع آبی در هر کشوری از اهمیت بالایی برخوردارند و مدیریت منابع آب یکی از مسائل مهم قرن حاضر به شمار می‌رود. شناخت و بهره‌برداری صحیح از این منابع می‌تواند در توسعه ی پایدار فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی تاثیر بسیاری داشته باشد. امروزه منابع آب با فشارهای اساسی ناشی از کاربری‌های مختلف زمین و تغییرات آب و هوایی روبه‌رو هستند، حقیقتی که در نمونه های بسیاری از پرونده‌های سیاسی و قوانین مربوط به آب جلب توجه کرده است(آلاهو و همکاران، ۲۰۱۵؛ ایزدی و همکاران، ۲۰۱۴ ایزدی و همکاران، ۲۰۱۵). مدیران منابع آب همواره با وظیفه ی دشوار تامین نیاز رو به رشد برای آب سالم مواجه هستند، این در حالی است که ذخایر آبی ثابت و در برخی مواقع رو به کاهش‌اند. آب‌های زیرزمینی معمولا به عنوان منابع مناسب و قابل دسترس برای تامین نیاز آبی، مخصوصا در طول دوره‌های خشکسالی بهره‌برداری شده(جونز و همکاران، ۲۰۱۵). بهره برداری از این منابع باعث ایجاد تغییراتی درآبخوان‌ها می شود که برای مدیریت آبخوان، بایستی روند این تغییرات و اثرات ناشی از آن را در حال و آینده بررسی کرد. شبیه سازی عددی آب‌های زیرزمینی ابزاری مهم در مدیریت آبخوان‌هاست. این شبیه-ها می‌توانند برای تخمین فراسنج های آبی منطقه، ساختارهای زمین شناسی و پیش بینی چگونگی تغییر رفتار یک آبخوان در مقابل تغییرات آب و هوایی و آبکشی استفاده شوند(رگلی و همکاران، ۲۰۰۳). تاکنون شبیه ها برای بررسی طیف وسیعی از شرایط هیدرولوژیکی به کار گرفته شده‌اند. معمولا شبیه های جریان آب زیرزمینی برای محاسبه سرعت و جهت حرکت آب زیرزمینی در میان آبخوان های آزاد و تحت فشار استفاده می‌شوند. در دهه ی اخیر مطالعات زیادی با استفاده از نرم افزار های حرفه‌ای آب زیرزمینی از جملهVisual MODFLOW، MODFLOW، GMS، GSFLOW، SEAWAT، FEFLOW و یا تلفیقی از تعدادی از آنها، صورت گرفته است(یانگ و همکاران ۲۰۱۲).

سابقه ی استفاده از شبیه های ریاضی در دنیا به دهه ی ۶۰ میلادی برمی گردد. در سال ۱۳۴۵ برای اولین بار محققان ایرانی با این شبیه ها آشنا شدند و تا سال ۱۳۵۷ حدود ۳۹ آبخوان با این روش مطالعه شده(قاسمی، ۱۹۷۹). از ابتدای فراگیر شدن استفاده از شبیه‌های کامپیوتری بحث های زیادی در موافقت و مخالفت با آنها در بین متخصصین درگرفت که تا به امروز نیز ادامه دارد(جودوی، ۱۳۹۴). در دهه‌های اخیر استفاده از شبیه های عددی در تحلیل مسائل آب زیرزمینی و مدیریت منابع آب گسترش زیادی یافته است. پرسشی که طی این سال‌ها همواره مطرح بوده این است که نتایج حاصل از این شبیه سازی‌ها تا چه حد به واقعیت نزدیک بوده و تا چه اندازه می‌توان به پیش‌بینی‌هائی که آنها ارائه می‌دهند اطمینان کرد.

شبیه‌های آب زیرزمینی معمولا برای کمک به طراحی تاسیسات مهندسی، فاضلاب، معدن کاری، تامین آب یا دیگر موقعیت هائی که نیاز به پیش بینی حرکت آب زیرزمینی، جریان آب و یا تغییرات در سطح آب زیرزمینی است، به کار می‌روند. طراحی شبیه‌ها معمولا بر اساس پیش بینی عملکرد سامانه در آینده صورت می‌گیرد. معمولا در شبیه سازی، دقت پیش بینی به دلیل طولانی بودن زمان پیش بینی و هزینه بر بودن، به ندرت بررسی می‌شود. این در حالی است که مطالعاتی که به ارزیابی شبیه پرداخته اند متوجه وجود خطا در پیش بینی شبیه شده‌اند(کارلسن و همکاران ۲۰۱۲؛ آندرسون و لو، ۲۰۰۳؛ کونیکو و ساین، ۱۹۹۰؛ گود و کونیکو، ۱۹۹۰؛ کونیکو و پرسون، ۱۹۸۶؛ کونیکو ۱۹۸۶).

استیوارت و لانگوین(۱۹۹۹) به ارزیابی پیش بینی شبیه عددی یک آبخوان نیمه محدود پرداختند. هدف این مطالعه پیش بینی میزان افت برداشت روزانه‌ی پانزده میلیون مترمکعب از آب آبخوان Floridan بود. شبیه برای یک دوره‌ی ۳۰ روزه در سال ۱۸۹۱ واسنجی گردید و برای پیش بینی در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۲ استفاده شد. ارزیابی پیش بینی نمایانگر قابلیت ضعیف این شبیه در پیش بینی است. این محققان دلایل این خطا را در پیش بینی عوامل زیر اعلام نمودند. ۱- در نظر گرفتن شرایط پایدار در اجرا و واسنجی کردن شبیه که با واقعیت شبیه همخوانی ندارد ۲- در نظر گرفتن ضخامت یکنواخت برای آبخوان در حالی که این آبخوان دارای یک ضخامت متغیر در بخش‌های مختلف خود است.

آندرسون و لو(۲۰۰۳) به ارزیابی پیش بینی شبیه با هدف طراحی برداشت آب از آبخوان در محدوده‌ی سایت تجهیزات نظامی پرداخته اند. در این مطالعه از ۳۶ حلقه چاه مشاهده‌ای جهت بررسی بعدی پیش بینی شبیه

استفاده گردید. ارزیابی پیش بینی در این محدوده نشان می‌دهد که اندازه‌ی افت سطح آب بیش از میزان واقعی پیش بینی گردیده است. جهت پی بردن به دلیل این موضوع شبیه با داده‌های جدید مجددا واسنجی گردید که نتایج نمایانگر وجود خطا در داده‌های هدایت آبی بود.

کارلسن و همکاران(۲۰۱۲) به ارزیابی پیش بینی شبیه انتقال یک بعدی پرداختند. این شبیه تغییرات کیفیت آب را در آبخوانی واقع در آمستردام شبیه سازی می‌کند. بررسی پیش بینی شبیه نشان داد که شبیه به خوبی واکنش‌های اکسایش را پیش بینی کرده ، ولی در شبیه شازی واکنش‌های تبادلی موفق نبوده است. واسنجی مجدد شبیه برای پی بردن به عامل اصلی این مشکل نشان داد که طراحی اولیه‌ی شبیه دارای مشکل بوده است ، با تغییر تعداد مسیر جریان این مشکل شبیه حل گردید.

البته لازم به ذکر است که در صورت طراحی صحیح شبیه مفهومی محدوده‌ی مطالعاتی امکان صحیح بودن نتایج پیش بینی شبیه نیز وجود خواهد داشت، به عنوان مثال برکیک و همکاران(۲۰۱۳) به بررسی پیش بینی شبیه آب زیرزمینی که با هدف بررسی میزان آبکشی طولانی مدت طراحی گردیده بود، پرداختند. ارزیابی پیش بینی شبیه نشان داد که شبیه طراحی شده برای ارزیابی اندازه‌ی آبکشی آب زیرزمینی مناسب بوده است، به طوری که این شبیه میزان آبکشی ۶۰ لیتر بر ثانیه را پیش بینی نموده است.

با توجه به اهمیت بالای نتایج پیش بینی شبیه در مدیریت آبخوان، این مطالعه به ارزیابی پیش بینی شبیه عددی محدوده‌ی مطالعاتی دشت حاجی‌آباد پرداخته است. نتایج حاصل از پیش بینی در شبیه سازی عددی این محدوده مطالعاتی برای یک دوره‌ی ۵ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۹) با سطح آب واقعی مشاهده‌ای در دشت مزبور طی این دوره زمانی مقایسه شد و در نهایت نتایج این مقایسه تحلیل و ارزیابی قرار گردید. در شبیه سازی صورت گرفته از شناسه رایانه‌ای MODFLOW و نرم افزار GMS به عنوان پیش پردازنده و پس پردازنده برای شناسه رایانه‌ای MODFLOW استفاده شده است

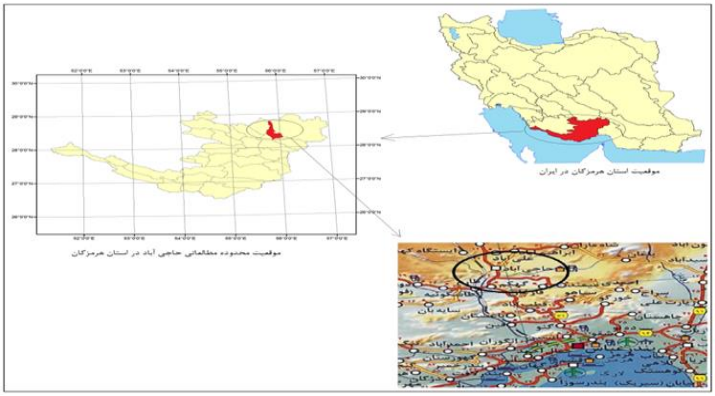
مواد و روش‌ها

محدوده‌ی مطالعه شده

دشت حاجی‌آباد جزء زیر حوضه‌ی رودخانه کل محسوب گشته و در قسمت جنوبی محدوده‌ی مطالعاتی حاجی‌آباد قرار گرفته است (شکل ۱). وسعت دشت (حد کوه و دشت) برابربا ۴۵ کیلومتر مربع و وسعت حوضه‌ی آبخیز مستقیم آن ۱۶۲/۱ کیلومتر مربع است. این دشت در فاصله ۱۶۰ کیلومتر شمال بندرعباس، در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ´۳۵-°۵۵ تا ´۰۰-°۵۶ و عرض‌های ´۱۷-°۲۸ تا ´۲۱-°۲۸ شمالی واقع گردیده که از شمال به ارتفاعات کوه بی‌بی دختران، از غرب به جاده‌ی سیرجان – بندرعباس، از شرق با ارتفاعات آنفوزه کوه و از جنوب به تپه‌های جوش سنگی محدود گردیده و به صورت ناودیسی با محور تقریبی شرقی غربی با طول متوسط ۱۱ کیلومتر و عرض متوسط ۴ کیلومتر است.

شبیه مفهومی دشت حاجی‌آباد

با توجه به اینکه اولین گام در مطالعات شبیه سازی تهیه شبیه مفهومی می‌باشد در ابتدا با کمک مدول‌های شبیه GMS و نرم‌افزار GIS شبیه مفهومی آبخوان تهیه گردید. در این مرحله موقعیت منابع تغذیه و تخلیه مانند موقعیت چاه‌ها و تغذیه سطحی، فراسنج های لایه‌ای از قبیل هدایت آبی و آبدهی ویژه، مرزهای شبیه واطلاعات



شکل۱- موقعیت منطقه مطالعه شده

دیگر لازم برای شبیه سازی در سطح شبیه مفهومی برای نرم افزار معرفی میگردد. بعد از اتمام این مرحله، شبکه شبیه سازی ایجاد می‌شود و نهایتاً شبیه مفهومی به شبیه شبکه‌ای (grid model) تبدیل و محاسبات مربوط به معادلات تفاضل محدود برای این شبکه حل خواهند شد. لایه‌های مختلف ایجاد شده در شبیه مفهومی شامل مرز آبخوان، موقعیت منابع تغذیه و تخلیه در دشت و مناطق مختلف هدایت آبی است.

مرز آبخوان (aquifer boundary)

با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ دشت حاجی‌آباد و نتایج مطالعات ژئوفیزیک انجام شده درآن دشت حاجی‌آباد، می‌توان اظهار داشت که دشت مذکور روی سازند بختیاری قرار گرفته است. در ناحیه شرقی دشت مرز آبخوان بر مبنای موقعیت آخرین چاه مشاهده‌ای موجود و شرایط زمین شناسی (ارتفاعات سازند بختیاری) منطقه انتخاب گردیده است. همچنین، مرز آبخوان در ناحیه شمالی دشت و در مجاورت سنگ‌های کربناته سازند آسماری - جهرم کوه بی‌بی دختران، کاملاً متصل به ارتفاعات تعیین گردیده و در مرز جنوب و غرب دشت مرز با توجه به ارتفاعات حاصل از سازند جوش سنگ بختیاری منطقه انتخاب شده است. مرز انتخابی با توجه به زمین‌شناسی منطقه ، همچنین محدوده‌ی فعالیت‌های کشاورزی و توزیع مکانی چاه‌های مشاهده‌ای در شکل۲ ارائه گردیده است.

موقعیت منابع تغذیه و تخلیه در دشت (sources & sinks)

آبخوان آبرفتی دشت حاجی‌آباد با ضخامت اشباع حداقل ۶ و حداکثر ۷۶ متر (با توجه به نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک و داده‌ای حاصل از حفر چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری) در خلل وفرج ته نشسب آبرفتی کواترنری تشکیل شده است. این آبخوان عمدتاً از طریق رواناب حاصل از بارندگی روی سازندهای مجاور (عمدتاً سازند بختیاری در غرب و شرق و سازند آسماری - جهرم در شمال دشت)، همچنین ورودی آب‌زیرزمینی از سوی سازند آسماری- جهرم، رواناب حاصل از بارندگی و آب برگشتی کشاورزی، همچنین رودهای حاجی‌آباد و مرادآباد تغذیه می‌شود. استحصال آب‌زیرزمینی در این منطقه عمدتاً از طریق چاه‌های بهره‌برداری (صنعت، شرب، کشاورزی) و مقدار اندکی خروجی زیرزمینی، تبخیر از سطح آب‌زیرزمینی و زهکش انتهای دشت صورت می‌گیرد.

- **چاه‌ها**

استخراج آب‌زیرزمینی در دشت حاجی‌آباد عمدتاً از طریق چاه‌های بهره‌برداری و آن هم عموماً برای مصارف کشاورزی و تعدادی هم برای شرب و صنعت صورت می‌گیرد. طبق آخرین آماربرداری در سال ۱۳۸۸ ،چاه‌های بهره‌برداری به تعداد ۱۰۸ حلقه چاه که حجم تخلیه سالانه آنها ۷/۲۶ میلیون متر مکعب است (شکل ۳).

- **مرزهای ورودی و خروجی آب‌زیرزمینی به آبخوان**

با توجه به نقشه هم ارتفاع سطح آب‌زیرزمینی دشت حاجی آباد الگوی کلی حرکت آب‌زیرزمینی از شمال وشمال غرب به سمت جنوب وجنوب شرق آبخوان است. این الگو نشان دهنده‌ی این است که تغذیه از سمت ارتفاعات حاشیه دشت، به خصوص در منطقه‌ی شمال و شمال‌غرب آن مشهود است. این موضوع با توجه به تمرکز و تراکم چاه‌های بهره‌برداری نیز قابل تایید است (شکل ۳). در حاشیه‌ی شرقی دشت، اگرچه بر اساس خطوط هم ارتفاع سطح آب‌زیرزمینی به طور مستقیم نمی‌توان تغذیه‌ای را برای آبخوان در نظر گرفت، ولی بر اساس مشاهده‌های صحرایی و بازدیدهای انجام شده از دشت این منطقه نیز به دلیل شرایط پستی وبلندی و دانه‌بندی مناسب می‌تواند در مواقع بارش و سیلابی منبع ورودی آب زیرزمینی مناسبی برای آبخوان دشت حاجی‌آباد باشد. این موضوع در اجرای حالت ناپایدار شبیه مدنظر قرار گرفته است. پس از مشخص شدن مرزهای ورودی و خروجی آب‌زیرزمینی به آبخوان، این مرزها به کمک بسته جریان مخصوص (specified head) برای تشکیل شبیه مفهومی آبخوان به نرم افزار GMS معرفی شدند. بر اساس نقشه‌های تراز آب‌زیرزمینی شیب آبی تقریباً بین حداکثر ۸ در هزار و حداقل ۲ در هزار به ترتیب در نواحی تغذیه‌ی دشت و انتهای آن مشاهده می‌شود.

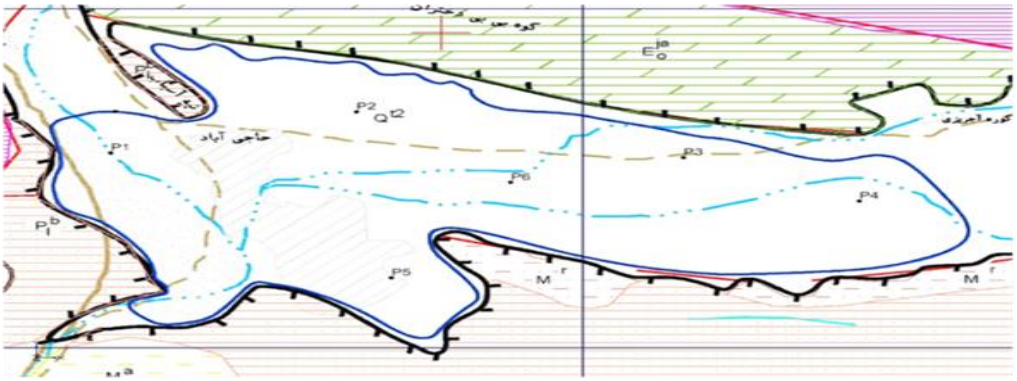
- **تغذیه آبه وسیله آب برگشتی چاه‌های بهره‌برداری و رواناب حاصل از بارندگی در دشت**

با توجه به نتایج جلد دوم گزارش مطالعات نیمه‌تفصیلی آبهای زیرزمینی دشت حاجی‌آباد(۱۳۸۶)، ضریب نفوذ از بارندگی برای دشت حاجی‌آباد ۱۲٪ ، ضریب نفوذ از آب برگشتی کشاورزی ۲۶٪ و ضریب نفوذ آب برگشتی چاه‌های بهره‌برداری صنعت و شرب ۵۸٪ در نظر گرفته شده. این ضرایب به عنوان مقادیر اولیه به شبیه ارائه شده اند که درطی فرایند واسنجی ممکن است دچار تغییرات اندکی شوند. به دلیل اینکه آب برگشتی چاه‌های صنعت و شرب به صورت چاه‌های جذبی و به شکل تغذیه نقطه‌ای است برای اعمال تأثیر آب برگشتی چاه‌های صنعت و شرب به آبخوان با توجه به ضریب آب برگشتی شرب و صنعت، به مقدار ۵۸٪ از مقدار تخلیه‌ی چاه‌های بهره‌برداری صنعت و شرب کاسته شده است.

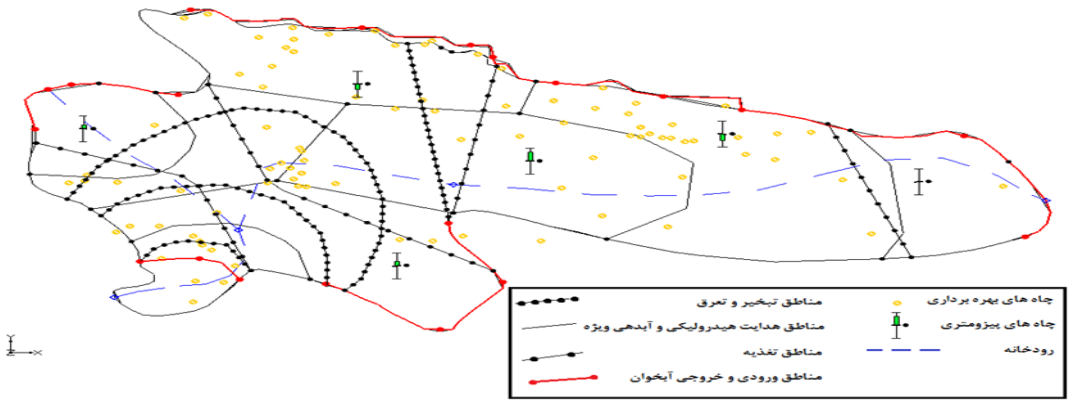
- **تغذیه از رودخانه‌های موجود در دشت حاجی‌آباد**

در دشت حاجی‌آباد ۲ رود وجود دارد. ۱) رودخانه مرادآباد که از شرق دشت شروع شده و تا جنوب دشت ادامه دارد، ۲) رود حاجی‌آباد که از غرب دشت شروع شده و تا جنوب دشت ادامه دارد. برای ترسیم رود ها در شبیه مفهومی از بسته رودخانه (river) در نرم افزار GMS استفاده گردید، نیازهای این بسته برای شبیه سازی رود شامل ارتفاع کف رودخانه و سطح آب در ابتدا و انتهای آن و ضریب تراوش کف رود است. مقادیر محاسبه شده ضریب نشت برای رود حاجی آباد و مرادآباد در جدول ۱ ارائه گردیده اند.

نام رودخانه	ضریب تراوش	ارتفاع کف رودخانه در ابتدا	ارتفاع کف رودخانه در انتها	مقدار تغذیه از رودخانه به آبخوان
رودخانه مرادآباد	35	992	917	0.455
رودخانه حاجی آباد	35	943	917	2.6
رودخانه انتهای دشت	10	917	910	0.114



شکل۲- مرز آبخوان دشت حاجی آباد



شکل ۳- نمایی کلی از شبیه مفهومی تهیه شده در دشت حاجی آباد

- **قنات‌های موجود در دشت**

با توجه به گزارش بیلان هیدروژئولوژی دشت حاجی‌آباد، در محدوده دشت حاجی‌آباد تعداد ۶ رشته قنات وجود دارد که مادر چاه همگی آنها در خارج از محدوده‌ی مطالعه شده قرار داشته و تنها آب دو رشته از قنات‌ها به محدوده‌ی دشت حاجی‌آباد وارد شده است. مجموع برداشت آب این دو رشته قنات در دوره‌ی بیلان ۱۳۸۷-۱۳۷۲ برابر با ۲۶/۲۳۶ میلیون مترمکعب بوده است(گزارش بیلان دشت حاجی آباد، ۱۳۸۸).

- **تبخیر از سطح آب‌زیرزمینی**

مکان‌های تبخیری به مکان‌هایی اطلاق می‌شود که سطح آب‌زیرزمینی کمتر از ۵ متر عمق دارد. با بهره‌گیری از نقشه متوسط حداقل و حداکثر عمق سطح آب‌زیرزمینی در دوره‌ی بیلان (سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۲) در گزارش بیلان هیدروژئولوژی دشت حاجی‌آباد(۱۳۸۸) مقدار تبخیر از سطح آب‌زیرزمینی در عمق‌های مختلف محاسبه گردیده است، که در این مطالعه به طور متوسط ۱ میلی‌متر در روز در نظر گرفته شده است. با توجه به متوسط اختلاف ارتفاع سطح زمین با سطح آب‌زیرزمینی و محدودیت‌های نرم‌افزار GMS، برای تبخیر از سطح آب‌زیرزمینی، آبخوان دشت حاجی‌آباد به مناطق مختلف تقسیم شده است که در شکل۳ ارائه گردیده اند.

- **زهکشی آبخوان دشت حاجی‌آباد**

در محل خروجی دشت، رودخانه حاجی‌آباد قرار گرفته است که به صورت طبیعی دشت را زهکشی کند. بر اساس اندازه‌گیری‌ها و مطالعات انجام شده، متوسط حجم آب خروجی سالانه رودخانه حاجی‌آباد در محل ایستگاه حاجی‌آباد ۵/۷۵ میلیون مترمکعب محاسبه گردیده است.

- **مناطق مختلف هدایت آبی**

براساس آزمون‌های مختلف آبکشی با دبی ثابت و آبکشی پله‌ای در چاه‌های اکتشافی ضرایب آب پویانی سفره شامل ضریب قابلیت انتقال T ، ضریب نفوذپذیری K، و ضریب ذخیره S محاسبه گردیده است(جلد دوم مطالعات نیمه تفصیلی آبهای زیرزمینی دشت حاجی‌آباد ۱۳۸۶). به کمک این مقادیر، و همچنین توزیع مکانی و با توجه به دانه‌بندی آبرفت دشت می‌توان دشت حاجی‌آباد را به مناطق مختلف از نظر تغییرات هدایت آبی تقسیم کرد (شکل۳). با توجه به مقدار ضریب نفوذ پذیری محاسبه شده از آزمایش آبکشی و دانه بندی و لوگ زمین شناسی چاه های پیزومتر و اکتشافی مقدار اولیه هدایت آبی به منطقه های مختلف دشت داده شده به طوری که آبخوان در مناطقی با آبرفت دانه درشت (شمال‌غرب و شرق دشت) بیشترین مقدار هدایت آبی و در مناطقی که آبرفت دانه‌بندی ریز دارد (جنوب دشت) کمترین مقدار هدایت اختصاص داده شده که بعداً آبه وسیله شبیه این مقادیر K بهینه خواهند گردید.

تشکیل شبیه ریاضی دشت حاجی‌آباد

تشکیل شبکه‌ی (سلول) شبیه برای دشت

شبکه‌بندی منطقه‌ی شبیه، نقطه‌ی شروع طراحی واقعی شبیه رایانه‌ای است. شبکه دشت حاجی‌آباد شامل ۴۰ سطر و ۷۰ ستون و ۲۸۰۰سلول است و دشت دارای ۱ لایه آبخوان آزاد است. ابعاد سلول‌ها بر اساس مقدار داده‌های در دست (تعداد چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی و مساحت دشت) و هم پوشانی با منطقه مطالعه شده انتخاب گردیده است. پس از اینکه شبیه مفهومی به شبیه عددی در مادفلو تبدیل شد نرم‌افزار GMS با استفاده از اطلاعات لایه‌ای در شبیه مفهومی که مرز آبخوان را در آن مشخص شده است، به طور خودکار سلول‌های داخل مرز مشخص شده آبخوان را سلول‌های فعال و سلول‌های خارج از مرز آبخوان را سلول‌های غیر فعال در نظر می‌گیرد. پس از آن در صورت لزوم می‌توان سلول‌های فعال و غیرفعال را در شبکه اصلاح نمود. در نهایت ۱۳۱۶ سلول در شبکه‌ی فعال در نظر گرفته شدند.

فراسنج های شبیه تفاضل محدود دشت حاجی‌آباد

برای اجرای شبیه و در واقع محاسبات شبیه تفاضل محدود در گره‌های شبکه ساخته شده می‌بایست فراسنج هایی جهت محاسبات برای شبیه معرفی و تعریف شوند. این فراسنج ها عبارتند از :

- زمان شبیه که شامل پله‌ها و دوره‌های زمانی جهت محاسبات است.
- هندسه‌ی آبخوان که شامل تغییرات مکانی ابعاد شبیه است.

- ویژگی‌های هیدروژئولوژیک در هر سلول یا منطقه در شبیه باید مشخص شود.

زمان شبیه

شبیه عددی این آبخوان در حالت ناپایدار برای سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ اجرا گردیده است.

در تهیه شبیه دشت حاجی‌آباد دوره‌های تنش (stress period) در ابتدای هر ماه انتخاب شدند زیرا آمار بارندگی و تخلیه از چاه‌ها و آمار چاه‌های مشاهده‌ای به صورت ماهانه است و در نهایت تخلیه و تغذیه به دشت در ابتدای هر ماه تغییر می‌کند. پس هر ماه به عنوان یک دوره‌ی تنش برای محاسبه به شبیه معرفی می‌شود و چون در طول یک ماه هیچ اطلاعاتی مبنی بر تغییر شرایط آبخوان موجود نیست، بازه‌ی گام زمانی (time step) برابر بازه‌ی دوره‌ی تنش قرار داده شده است. برای اجرای شبیه در دوره‌ی ناپایدار در ۱ سال (سال آبی ۸۷-۸۶)، ۱۲ دوره‌ی تنش و ۱۲ گام زمانی تعریف شده است.

هندسه‌ی مکانی آبخوان

اطلاعات رقومی مرز فوقانی و تحتانی آبخوان شامل طول و عرض و ارتفاع در هر سلول از شبکه ایجادگردیده و باید به شبیه داده شود. برای این منظور و به طور جداگانه، حد بالای آبخوان (top of layer)، حد پایینی آبخوان (bottom of layer) و سطح ایستابی اولیه (starting head) به شبیه معرفی می‌شوند. برای معرفی حد بالایی و پایینی و سطح آب آبخوان از بسته‌ی درون یابی نرم افزار GMS استفاده شد، و با توجه به نتیجه‌ی اعتبار سنجی روشهای درون یابی مشخص گردید روش درون یابی مثلث بندی خطی کمترین میزان خطا را در بین سایر روش های درون یابی دارد، اما نتیجه‌ای را که ارائه می‌کند بسیار غیر منطقی و غیر منطبق بر واقعیت است، در نتیجه درون یابی با کاربردکریجینگ انتخاب گردید.

تعیین حد بالای سفره (top of layer)

در آبخون‌های آزاد، مانند آبخوان دشت حاجی‌آباد، حد بالایی سفره را حداکثر می‌توان منطبق بر ارتفاع سطح زمین در نظر گرفت. برای تعیین و معرفی حد بالای آبخوان در دشت حاجی‌آباد از داده‌های گزارش ژئوفیزیک این منطقه و نقشه‌های پستی وبلندی رقومی گردیده استفاده شد، به طوری که ارتفاع سطح زمین در دشت حاجی‌آباد که با کمک نقشه‌ی هم ارتفاع رقومی شده (DEM) ایران تأیید گردیده است و به عنوان سطح فوقانی آبخوان به شبیه معرفی شدند، با توجه به ترسیم انجام شده برای سطح فوقانی آبخوان، ارتفاع بخش فوقانی از حداکثر ۱۰۰۰ متر در قسمت غرب و حاشیه دشت تا حداقل ۸۹۷ متر در قسمت جنوب‌غرب دشت تغییر می‌کند.

تعیین حد پایینی آبخوان(bottom of layer)

حد پایینی آبخوان دشت حاجی‌آباد با استفاده از تلفیق نتایج مطالعات ژئوفیزیک و داده‌های حاصل از حفاری چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای و عمیق‌ترین چاه‌های بهره‌برداری و اعمال نظرات کارشناسی حاصله از شرایط هیدروژئولوژیکی دشت مشخص گردید و آبه وسیله نرم‌افزار GMS درون‌یابی و به شبیه وارد شده است. بر این اساس ارتفاع سنگ کف از حداقل ۸۳۵ متر تا حداکثر ۹۱۰ متر به ترتیب در مرکز و شمال‌شرق دشت تغییر می‌کند (شکل ۳-۲۱).

سطح اولیه آب‌زیرزمینی (starting head)

برای وارد کردن سطح آب‌زیرزمینی، از داده‌های ارتفاع سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای استفاده شده است و این داده‌ها آبه وسیله GMS برای کل دشت درون‌یابی گردیده، سپس به شبیه وارد شدند. ارتفاع سطح آب‌زیرزمینی در مهر ۱۳۸۶ از حداکثر ۹۲۳ متر تا حداقل ۹۰۶ متر به ترتیب در شمال غرب و جنوب‌غرب دشت تغییر می‌کند.

ویژگی‌های هیدروژئولوژیک

شبیه آبخوان دشت حاجی‌آباد از یک لایه تشکیل شده و فراسنج های مورد نیاز برای شبیه سازی آن هدایت آبی افقی و آبدهی ویژه بودند که به شبیه وارد شدند. با توجه به اینکه آبدهی ویژه رابطه مستقیمی با مقدار هدایت آبی دارد، مناطق انتخاب شده برای آبدهی ویژه منطبق با مناطق هدایت آبی انتخاب شدند به طوری که مناطقی از آبرفت که دانه درشت است دارای بیشترین مقدار آبدهی ویژه ،و مناطقی از آبرفت که دانه ریز است، کمترین مقدار آبدهی ویژه را دارند. مناطق انتخاب شده با موقعیت و تراکم چاه‌های بهره‌برداری نیز مقایسه شده‌اند. همچنین این مناطق با اطلاعات دانه‌بندی و چاه نگار چاه‌های مشاهده‌ای موجود در این مناطق و یا نزدیک به آنها کنترل شده‌اند.

واسنجی (calibration)

پس از ایجاد شبیه ریاضی دشت حاجی‌آباد، بایستی فراسنج های آب زمین شناسی از جمله مقادیر هدایت آبی و آبدهی ویژه بهینه شوند که به این عمل واسنجی (Calibration) شبیه گفته می‌شود. از ۶ حلقه چاه مشاهداتی در دشت حاجی‌آباد برای فرآیند واسنجی و صحت‌سنجی شبیه دشت حاجی‌آباد استفاده شده است. در ابتدا واسنجی شبیه در حالت پایدار در مهر۸۶ صورت گرفت. بعد از آن در بازه زمانی یک سال اقدام به اجرای شبیه در حالت ناپایدار گردید. برای این حالت دوره‌ی زمانی مهر۱۳۸۶ تا شهریور۱۳۸۷ به مدت یک سال آبی در نظر گرفته شده است.

صحت‌سنجی شبیه (verification)

صحت‌سنجی شبیه پس از واسنجی آن انجام می‌گیرد، به عبارت دیگر، تأیید کننده‌ی درستی و دقت محاسبات شبیه است. پس از آنکه شبیه برای دو سال واسنجی شد و مقادیر هدایت آبی و آبدهی ویژه بهینه گردیدند، سپس داده‌های سال بعد که شامل: نفوذ از بارندگی وآب برگشتی چاه‌های بهره‌برداری، تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری، ورودی و خروجی به آب‌زیرزمینی، تبخیر از سطح آب‌زیرزمینی، زهکشی در انتهای دشت و سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای هستند به شبیه وارد می‌شود (دوره‌ی صحت‌سنجی شبیه از مهر ۱۳۸۷ تا شهریور ۱۳۸۹ بوده است). پس از انجام محاسبات در شبیه، سطح آب محاسبه شده آبه وسیله شبیه با سطح آب مشاهده شده مقایسه گشته و دقت شبیه تعیین می‌شود. در مرحله‌ی صحت‌سنجی با مقادیر هدایت آبی و آبدهی ویژه تغییر داده نمی‌شوند و فقط تنش‌های هیدروژئولوژیکی مختلف در یک دوره‌ی جدید به شبیه اعمال گردیده و نتیجه‌ی محاسبات شبیه با اندازه‌گیری‌های سطح آب مقایسه می‌شوند.

بحث و نتیجه گیری

واسنجی

واسنجی در حال پایدار در شبیه آب زیرزمینی آبخوان دشت حاجی آباد با موفقیت انجام گرفت و نتایج نشان داد که به حد خطای قابل قبول (۰/۵ متر) رسیده است .

پس از اجرای شبیه در حالت پایدار و بهینه‌سازی فراسنج های آبخوان به خصوص هدایت آبی ، شبیه مادفلو را با تغییر ساده‌ای در یکی از ابزارهای آن از حالت پایدار به حالت ناپایدار تبدیل کرده و پس از وارد کردن داده‌ها به فرم ناپایدار و برای بازه زمانی یک سال اقدام به اجرای شبیه در حالت گذرا یا ناپایدار می‌شود. برای این حالت دوره‌ی زمانی مهر۱۳۸۶ تا شهریور۱۳۸۷ به مدت یک سال آبی در نظر گرفته شده است.

برای تعیین میزان دقت واسنجی شبیه در حالت ناپایدار، سطح آب مشاهده گردیده در چاه‌های مشاهده‌ای و سطح آب محاسبه شده آبه وسیله نرم افزار GMS در هر پله زمانی با هم مقایسه گشتند. برای نمونه در این‌جا در شکل ۴ نقشه تراز سطح آب مشاهده ای در مقابل سطح آب محاسبه ای برای خرداد ۸۷ ارائه شده است.

صحت‌سنجی شبیه

پس از عمل صحت‌سنجی، هیدروگراف سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای برای تمام چاه‌های مشاهده‌ای ترسیم و دیده شد که سطح آب محاسبه گردیده آبه وسیله شبیه در تمام چاه‌های مشاهده‌ای انطباق خوبی با سطح آب مشاهده‌ای دارند. در اینجا برای نمونه نمودار مقادیر سطح آب مشاهده‌ای در مقابل سطح آب محاسبه شده در چاه مشاهده‌ای شماره ۱ دشت حاجی‌آباد پس از صحت‌سنجی آبخوان حاجی‌آباد نشان داده شده است(شکل۵)

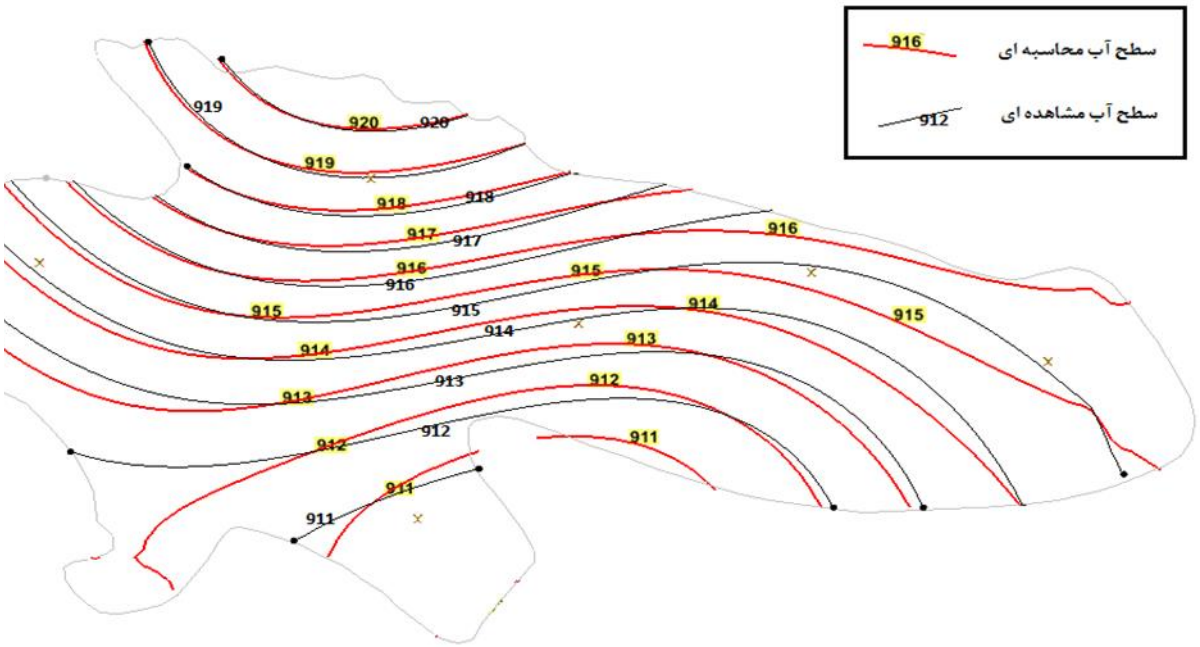
پیش‌بینی متوسط سطح آب در مناطق مختلف دشت در ۵ سال (۱۳۹۴-۱۳۸۹) با حفظ شرایط تخلیه وتغذیه‌ی سال ۱۳۸۹ با استفاده از شناسه نرم افزاری MOD FLOW

برای پیش‌بینی سطح آب در این دوره‌ی ۵ ساله، پس از اینکه شبیه برای ۱سال (از مهر ۸۶ تا مهر ۸۷) واسنجی و ۲ سال (از مهر ۸۷ تا مهر ۸۹) صحت‌سنجی شده، داده‌های موجود مربوط به فراسنج های تغذیه و تخلیه بدون هیچ‌گونه تغییری برای ۵ سال (تا شهریور ۹۴) به شبیه اضافه گردیده اند. شبیه با داده‌های ۵ سال (۱۳۹۴-۱۳۸۹) اجرا شده، سپس نمودار تغییرات سطح آب برای گمانه‌های مختلف ترسیم شده است که در ادامه ارائه می‌گردد (شکل ۶ تا۱۱). لازم به ذکر است که سال ۱۳۸۹ تر

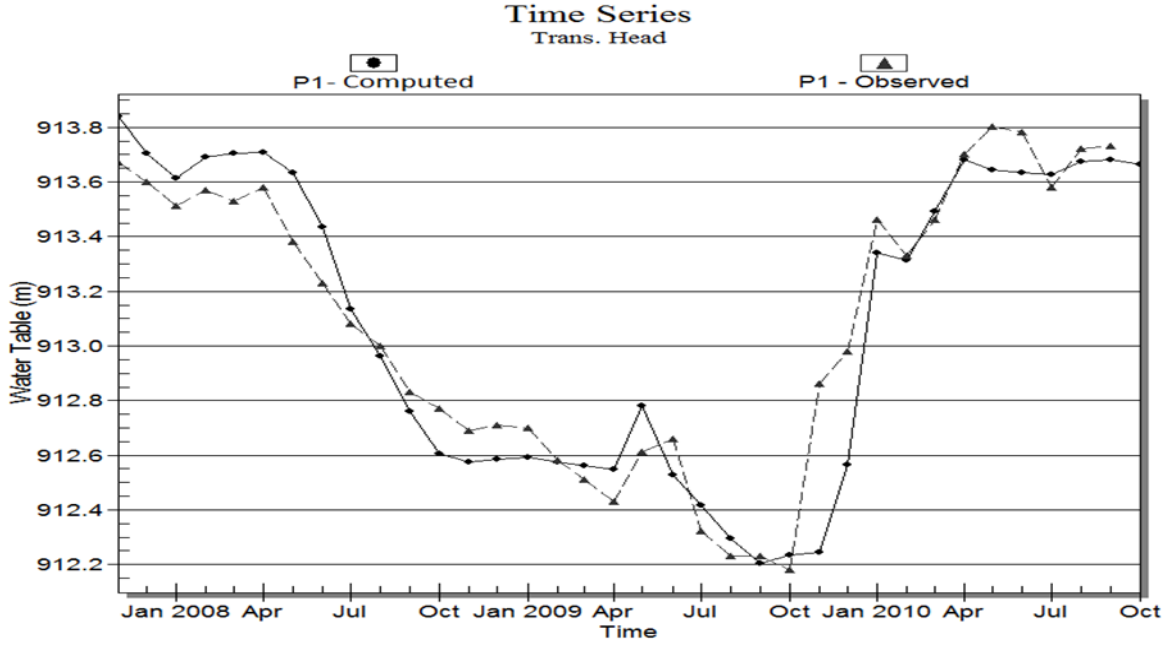
سالی بوده و پیش‌بینی صورت گرفته آبه وسیله شبیه با فرض ادامه روند ترسالی تا سال ۱۳۹۰ صورت گرفته است.

مقایسه سطح آب مشاهده‌ای در مناطق مختلف دشت و نتایج حاصل از شبیه سازی در بازه‌ی زمانی۵ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۹)

همان گونه که ذکر شد شبیه سازی بر اساس نتایج آماربرداری تا سال ۱۳۸۹ صورت گرفته است. شبیه مذکور برای پیش‌بینی سطح آب در یک بازه زمانی ۵ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۹) به کار گرفته شده است. با توجه به در دسترس بودن داده‌های واقعی سطح آب این دوره (۱۳۹۴-۱۳۹۱) ، می‌توان نتایج حاصل از شبیه سازی را با سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای مقایسه کرد. بدین منظور، سطح آب مشاهده‌ای طی این دوره‌ی ۵ ساله برای هریک از چاه-های مشاهده‌ای در نمودار تغییرات سطح آب که آبه وسیله شبیه ارائه گردیه، رسم شده‌اند. این نمودارها تغییرات سطح آب از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ را نشان می‌دهند و در شکل ۶ تا ۱۱ ارائه شده‌اند.

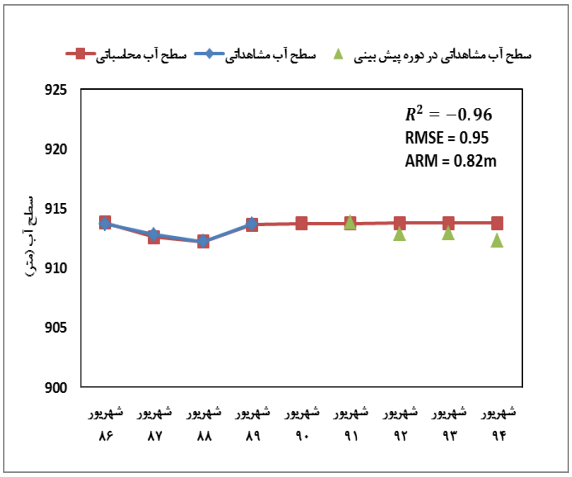


شکل۴- منحنی های تراز سطح آب مشاهده ای و محاسبه شده آبه وسیله شبیه درخرداد ۱۳۸۷

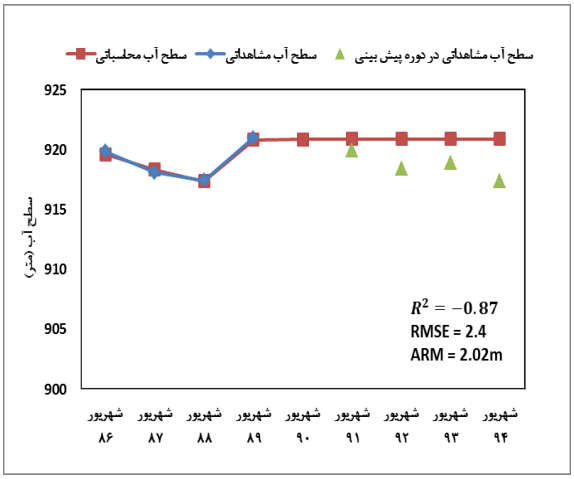


شکل۵- مقادیر سطح آب مشاهده‌ای در مقابل سطح آب محاسبه شده برای چاه مشاهده‌ای شماره (۱)

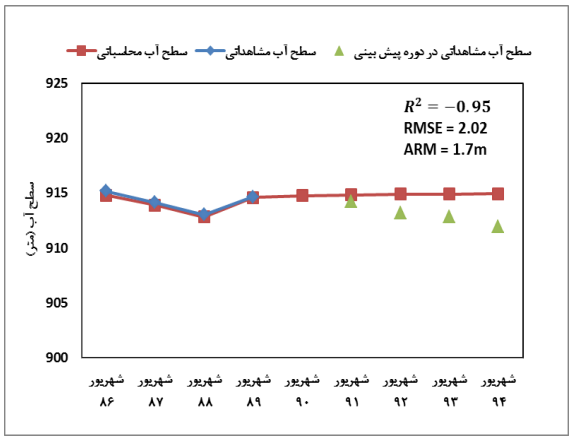
نقاط سبز رنگ سطح آب واقعی در این بازه زمانی ۵ ساله و خط ممتد قرمز رنگ پیش‌بینی سطح آب آبه وسیله شبیه را نشان می‌دهند. خط ممتد نیز سطح آب مشاهده‌ای است که شبیه سازی بر اساس آن صورت گرفته است.



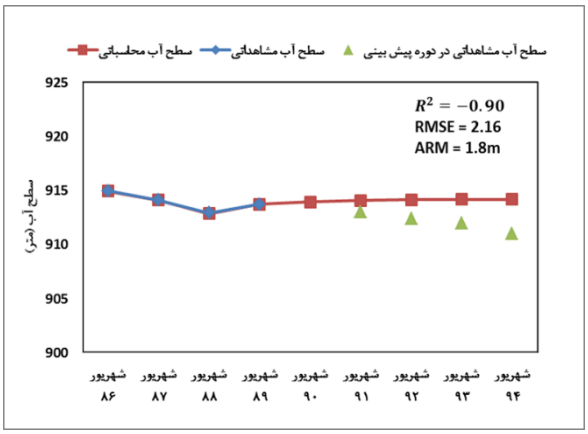
شکل ۶- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۱)



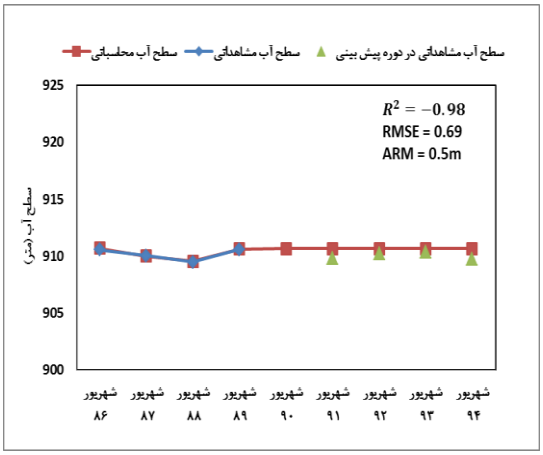
شکل ۷- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۲)



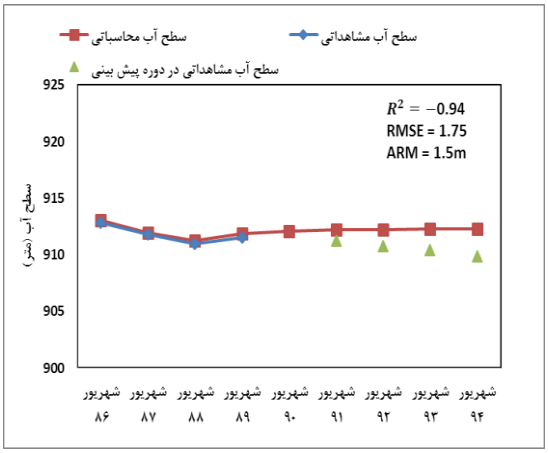
شکل ۸- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۳)



شکل ۹- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۴)

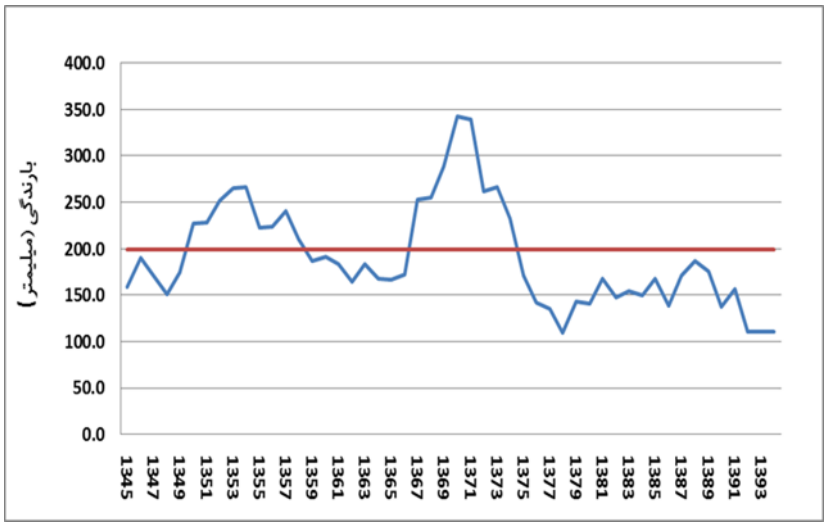


شکل ۱۰- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۵)



شکل ۱۱- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۶)

مجذور میانگین مربعات خطا(RMSE)، متوسط خطای مطلق(ARM) و ضریب همبستگی (R^2) برای نتایج حاصل از شبیه سازی عددی در قیاس با سطح آب واقعی نیز برای



شکل ۱۲- میانگین بارش در دوره‌ی ۴۵ ساله محدوده‌ی حاجی آباد

هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای محاسبه شده و بر روی نمودار مشخص گردیده است. همان طور که از این شکل‌ها مشخص است، همه چاه‌های مشاهداتی بین سال‌های ۹۱ تا ۹۴ وضعیت خشکسالی و افت سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهند، این در حالی است که پیش بینی با توجه به وضعیت سال ۸۹ برای حالت ترسالی صورت گرفته است(شکل ۱۲).

در همه‌ی چاه‌های مشاهداتی به طور متوسط به مقدار ۱/۳۵ متر خطا در پیش بینی سطح آب صورت گرفته است. چاه مشاهداتی شماره‌ی ۵ کمترین میزان مجذور میانگین مربعات خطا و متوسط خطای مطلق را نشان می‌دهد. مقادیر این متغیر در این چاه مشاهداتی به ترتیب برابر است با ۰/۶۹ و ۰/۵متر. در حالی که چاه مشاهداتی شماره ۲ با مجذور میانگین مربعات خطا ۲/۴ و متوسط خطای مطلق ۲ متر بیشترین میزان خطای پیش بینی را نشان می‌دهد.

وضعیت بارش در محدوده‌ی مطالعاتی حاجی آباد

آمار بارش در ۵ سال اخیر در ایستگاه های هواشناسی این محدوده مطالعاتی شامل ایستگاه‌های حاجی آباد و باغات ، در جدول ۲ نشان داده شده است. لازم به توضیح است که ایستگاه حاجی آباد از سال ۱۳۹۳ تعطیل شده است. شکل۱۲بیانگر تغییرات بارش این محدوده در یک دوره‌ی ۴۵ ساله است، در این نمودار از میانگین متحرک ۵ ساله استفاده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، در ۵ سال اخیر محدوده تحت تاثیر خشکسالی بوده است.

جدول۲- آمار بارش در ۵ سال اخیر در ایستگاه های هواشناسی محدوده‌ی مطالعاتی شامل حاجی آباد و باغات

بارندگی ایستگاه باغات (میلی‌متر)	بارندگی ایستگاه حاجی آباد (میلی‌متر)	سال آبی
101	89.2	90-91
227.5	204.6	90-92
204	208.3	92-93
153	-	93-94

نتیجه گیری

شبیه عددی آب زیرزمینی آبخوان حاجی آباد در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دریک بازه‌ی زمانی ۵ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۹) شبیه سازی گردیده است. ارزیابی پیش بینی این شبیه عددی با توجه به داده‌های واقعی سطح آب در دوره‌ی (۱۳۹۴-۱۳۹۱)، نشان از خطای پیش‌بینی در این شبیه عددی است. به گونه‌ای که نتایج نشان می‌دهند، به طور متوسط به میزان ۱/۳۵ متر سطح آب بالاتر از حالت واقعی پیش‌بینی شده است. این خطای می‌تواند ناشی از موارد زیر باشد

اولین و مهم‌ترین دلیل عدم انطباق نتایج را می‌توان نقصان و کمبود اطلاعات آماری دانست. تعداد کم چاه‌های مشاهده‌ای و آرایش نامناسب آن‌ها، و همچنین با توجه به تعداد زیاد چاه‌های بهره‌برداری و فاصله‌ی آنها از چاه‌های مشاهده‌ای امکان اینکه سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای متاثر از چاه‌های بهره‌برداری باشد بسیار زیاد است. همچنین باتوجه به نبود اطلاعات حاصل از آزمون آبکشی در برآورد مقدار ضریب هیدرو دینامیک به اطلاعات حاصل از وضعیت دانه‌بندی آبرفت در چاه نگار زمین‌شناسی چاه اکتشافی اکتفا شده که این امر خود در برآورد نهایی باعث ایجاد خطا می‌شود علاوه بر آن تعمیم این مقادیر به کل محدوده باعث افزایش خطا در نتایج نهایی شده است.

۱- در شبیه سازی صورت گرفته عدم افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی از مفروضات شبیه سازی بوده است حال آنکه با وجود ممنوعه بودن محدوده از سال ۱۳۸۳در ۵ سال اخیر افزایش قابل توجهی در میزان برداشت صورت گرفته است. در عین حال ذکر این نکته ضروری است که با توجه به مشکلات اقتصادی و اجتماعی و حتی مسائل سیاسی باعث شده اعمال مدیریت کاهش برداشت با موفقیت روبرو نشده و این امر باعث افت بیشتر سطح آب شده است.

شبیه سازی با فرض تداوم روند ترسالی در سال ۹۰ اجرا گردیده است، حال آنکه محدوده حاجی آباد در این بازه زمانی در دوره خشک سالی قرار داشته است(با توجه به اینکه بین سال‌های ۸۸ تا ۹۰ آب زیرزمینی دارای یک روند افزایشی بوده است، برای پیش‌بینی سطح آب در سال‌های آینده با حفظ شرایط فعلی(ادامه‌ی روند ترسالی) پس از اینکه شبیه برای ۱سال (از مهر ۸۶ تا مهر ۸۷) واسنجی و ۲ سال (از مهر ۸۷ تا مهر ۸۹) صحت‌سنجی شده است، داده‌های موجود مربوط به فراسنج های تغذیه و تخلیه بدون هیچ‌گونه تغییری برای ۵ سال آینده (تا شهریور ۹۴) به شبیه اضافه گردیده اند. این در حالی است که در واقعیت روند افزایشی سطح آب زیرزمینی به دلیلی خشکسالی اتفاق نیافتاده، و سطح واقعی آب زیرزمینی از سال ۹۱ تا ۹۴ شروع به افت نموده است.

مرز جریان‌های ورودی و خروجی که در این مطالعه کلا به صورت مرز با جریان مشخص در نظر گرفته شده است در حالی که بهتر بود مرز ارتفاعات مرز با جریان متغیر وابسته به جریان تعریف می‌گردید.

۲- برآورد نادرست از ضخامت آبخوان

نادیده گرفتن عدم قطعیت شبیه مفهومی، به گونه ای که این روش بیان می‌نماید که در هر منطقه امکان تعریف چندین شبیه مفهومی محتمل وجود دارد. بعد از اجرای چندین شبیه مفهومی و انجام پیش‌بینی در هر شبیه به صورت جداگانه در نهایت پیش بینی متوسط انجام می‌گیرد که امکان خطای کمتری را دارد. در ضمن این مجموعه شبیه عددی با اطمینان بالا قابلیت استفاده را در مدیریت آبخوان دارد(شبیه مفهومی یک نماینده‌ای از سامانه هیدروژئولوژیکی است که بیانگر چگونگی رفتار و عملکرد آن سامانه و در برگیرنده تفسیرهای کیفی و ذهنی است). توسعه‌ی چارچوب شبیه مفهومی شامل چیدمان همه‌ی داده‌های موجود در منطقه‌ی مطالعه شده و نگاه انتقادی در رفتار سامانه است. توسعه‌ی یک چارچوب قوی از شبیه مفهومی جنبه‌ای مهم در کاهش عدم قطعیت در شبیه آب زیرزمینی است. با توسعه‌ی درک درست ازرفتار سامانه قبل از استفاده از شبیه ریاضی در یک سامانه ، باعث می‌شود تا کاربر شبیه از پذیرش خروجی‌های شبیه، که ارائه دهنده‌ی خصوصیات واقعی سامانه نیست، اجتناب نماید. چارچوب شبیه مفهومی شامل: وضعیت چینه شناسی منطقه، ساختارهای زمین شناسی، واحدهای آب چینه، موقعیت سیماهای آب سطحی(رود، دریاچه و زهکش) و موقعیت چاه‌ها است. از همه مهم‌تر، شبیه مفهومی ارتباط بین سیماها را شرح می‌دهد. چون امکان شناخت کامل خصوصیات فیزیکی یک سامانه غیر ممکن است، عدم قطعیت شبیه مفهومی ایجاد می‌گردد. شناخت محدودیت‌های چارچوب شبیه مفهومی می‌تواند جایی را که کاربر شبیه باید از شبیه ریاضی برای به کمیت درآوردن عدم قطعیت استفاده کند نشان دهد. چون سامانه آب زیرزمینی پیوسته و در زیرزمین واقع شده است، تعیین همه‌ی خصوصیات آن دشوار است، بنابراین، این عدم قطعیت به وسیله‌ی عامل های مختلفی از جمله موقعیت نادرست آبخوان شبیه (موقعیت، نوع، تعداد لایه، توزیع و ...)، براورد غیر منطقی از شرایط مرزی شبیه و تخلیه و تغذیه و تقریبی از تغییرات مکانی آب زیرزمینی حاصل می‌شود. در کل زمانی که یک شبیه مفهومی منفرد جریان و یا انتقال جرم با موفقیت در مقابل داده‌های مشاهداتی واسنجی می‌گردد، عدم قطعیت شبیه مفهومی نادیده گرفته شده و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت فقط با در نظر

گرفتن عدم قطعیت فراسنج انجام می‌گیرد. تجزیه و تحلیل سامانه های هیدروژئولوژیکی بر اساس یک شبیه مفهومی واحد مستعد خطاهای آماری است و این نقص به نوبه‌ی خود منجر به بروز اشتباه در پیش بینی و سیاست‌های مدیریتی بر اساس این شبیه می‌شود.

منابع

۱) جودوی،ع. مدلهای ریاضی آب زیرزمینی، ۱۳۹۴. چالشها و فرصتها.

۲) شرکت سهامی آب‌منطقه‌ایی هرمزگان، ۱۳۸۸. گزارش بیلان هیدروژئولوژی دشت حاجی‌آباد، ۵۰ صفحه.

۳) مهندسین مشاور پنگان‌آوران، ۱۳۸۶. جلددوم - مطالعات نیمه‌تفصیلی آبهای زیرزمینی دشت حاجی‌آباد، ۲۳۲ صفحه.

۴) مهندسین مشاور پنگان‌آوران، ۱۳۸۶. جلدسوم - مطالعات نیمه تفصیلی آب‌های زیرزمینی دشت حاجی‌آباد، ۵۱ صفحه.

5) Ala-aho, P., Rossi, P. M., Isokangas, E., & Klove, B. 2015. Fully integrated surface–subsurface flow modelling of groundwater–lake interaction in an esker aquifer: Model verification with stable isotopes and airborne thermal imaging. Journal of Hydrology, 522: 391-406.

6) Andersen, P. F., & Lu, S. 2003. A post audit of a model-designed ground water extraction system. Ground Water, 41: 212-218.

7) Brkić, Ž., Urumović, K., & Briški, M. 2013. Post audit analysis of a groundwater level prediction model in developed semiconfined aquifer system. Water resources management, 27: 3349-3363.

8) Ghassemi, F. 1979. Mathematical model application in ground-water studies of Iran. GroundWater, 17: 359- 365.

9) Goode, D. J., & Konikow, L. F. 1990. Réévaluation of large-scale dispersivities for a waste chloride plume: Effects of transient flow. Calibration and Reliability in Groundwater Modelling, 417-426.

10) Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ziaei, A. N., Alipoor, A., Joodavi, A., & Brusseau, M. L. 2014. A framework toward developing a groundwater conceptual model. Arabian Journal of Geosciences, 7: 3611-3631.

11) Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ziaei, A. N., Akhavan, S., Alipoor, A., ... & Brusseau, M. L. 2015. Groundwater conceptualization and modeling using distributed SWAT-based recharge for the semi-arid agricultural Neishaboor plain, Iran. Hydrogeology Journal 23: 47-68.

12) Jones, D., Jones, N., Greer, J., & Nelson, J. 2015. A cloud-based MODFLOW service for aquifer management decision support. Computers & Geosciences 78: 81-87.

13) Karlsen, R. H., Smits, F. J. C., Stuyfzand, P. J., Olsthoorn, T. N., & Van Breukelen, B. M. 2012. A post audit and inverse modeling in reactive transport: 50years of artificial recharge in the Amsterdam Water Supply Dunes. Journal of Hydrology 454: 7-25.

14) Konikow LF. 1986. Predictive accuracy of a ground-water model—lessons from a postaudit. Ground Water 24:173–184

15) Konikow, L. F., & Person, M. 1986. Assessment of long-term salinity changes in an irrigated stream-aquifer system. Water Resources Research 21: 1611-1624.

16) Konikow, L. F., & Swain, L. A. 1990. Assessment of predictive accuracy of a model of artificial recharge effects in the upper Coachella Valley, California. In Selected Papers on Hydrogeology from the 28th International Geological Congress (Vol. 1, pp. 433-449).

17) Regli, C., Rauber, M., & Huggenberger, P. 2003. Analysis of aquifer heterogeneity within a well capture zone, comparison of model data with field experiments: A case study from the river Wiese, Switzerland. Aquatic Sciences 65: 111-128.

18) Stewart, M., & Langevina, C. 1999. Post audit of a numerical prediction of

wellfield drawdown in a semiconfined aquifer system. GroundWater 37: 245-252.
19) Yang, Q. C., Liang, J., & Yang, Z. P. 2012. Numerical modeling of groundwater flow in Daxing (Beijing), China. Energy Procedia 14: 1671-1676.