

مقایسه ی 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 داده های صحرایی واقعی، حداقل چند سال بعد از انجام آن صورت می گیرد. این بررسی، اطلاعات با ارزشی را در رابطه با استفاده از شبیه عددی در پیش بینی تنش های وارده به سامانه آبخوان فراهم نموده و می تواند 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 حاجی آباد جزء زیر حوضه کل محسوب شده و در قسمت جنوبی محدوده ی مطالعاتی حاجی آباد 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 پیش بینی سطح آب در یک بازه ی زمانی ۵ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۹) به کار گرفته شده است. با توجه به در دسترس بودن داده های واقعی سطح آب در این دوره (۱۳۹۴-۱۳۹۱)، نتایج حاصل از شبیه سازی با سطح واقعی آب زیرزمینی در چاه های مشاهده ای مقایسه گردیدند. نتایج نشان می دهند که به طور متوسط ۱/۳۵ متر خطا در پیش بینی سطح آب صورت گرفته است. مهمترین عامل این خطا را می توان 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

^۱دانشگاه 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 توسعه‌ی 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 نمونه‌های 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 وظیفه‌ی 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 معمولاً به عنوان منابع مناسب و قابل دسترس برای تامین نیاز آبی، مخصوصاً در طول دوره‌های خشکسالی بهره‌برداری شده (جونز و همکاران، ۲۰۱۵). بهره‌برداری از این منابع باعث ایجاد تغییراتی در آبخوان‌ها می‌شود که برای مدیریت آبخوان، بایستی روند این تغییرات و اثرات ناشی از آن را در حال و آینده بررسی کرد. شبیه‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی ابزاری مهم در مدیریت آبخوان‌هاست. این شبیه‌ها می‌توانند برای تخمین فراسنج‌های آبی منطقه، ساختارهای زمین‌شناسی و پیش‌بینی چگونگی تغییر رفتار یک آبخوان در مقابل تغییرات آب و هوایی و آبکشی استفاده شوند (رگلی و همکاران، ۲۰۰۳). تاکنون شبیه‌ها برای بررسی طیف وسیعی از شرایط هیدرولوژیکی به کار گرفته شده‌اند. معمولاً شبیه‌های جریان آب زیرزمینی برای محاسبه سرعت و جهت حرکت آب زیرزمینی در میان آبخوان‌های آزاد و تحت فشار استفاده می‌شوند. در دهه‌ی اخیر مطالعات زیادی با استفاده از نرم افزارهای حرفه‌ای آب زیرزمینی از جمله Visual MODFLOW، SEAWAT، MODFLOW، GMS، GSFLOW و یا تلفیقی از تعدادی از آنها، صورت گرفته است (یانگ و همکاران ۲۰۱۲).

سابقه‌ی استفاده از شبیه‌های ریاضی در دنیا به دهه ۶۰ میلادی برمی‌گردد. در سال ۱۳۴۵ برای اولین بار محققان ایرانی با این شبیه‌ها آشنا شدند و تا سال ۱۳۵۷ حدود ۳۹ آبخوان با این روش مطالعه شده (قاسمی، ۱۹۷۹). از ابتدای فراگیر شدن استفاده از شبیه‌های

کامپیوتری بحث‌های 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 شبیه‌های 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 شبیه‌سازی‌ها تا چه حد به واقعیت نزدیک بوده و تا چه اندازه می‌توان به پیش‌بینی‌هایی که آنها ارائه می‌دهند اطمینان کرد.

شبیه‌های آب زیرزمینی معمولاً برای کمک به طراحی تاسیسات مهندسی، فاضلاب، معدن کاری، تامین آب یا دیگر موقعیت‌هایی که نیاز به پیش‌بینی حرکت آب زیرزمینی، جریان آب و یا تغییرات در سطح آب زیرزمینی است، به کار می‌روند. طراحی شبیه‌ها معمولاً بر اساس پیش‌بینی عملکرد سامانه در آینده صورت می‌گیرد. معمولاً در شبیه‌سازی، دقت پیش‌بینی به دلیل طولانی بودن زمان پیش‌بینی و هزینه بر بودن، به ندرت بررسی می‌شود. این در حالی است که مطالعاتی که به ارزیابی شبیه‌پرداخته‌اند متوجه وجود خطا در پیش‌بینی شبیه‌شده‌اند (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 پیش‌بینی شبیه‌سازی عددی یک آبخوان نیمه محدود پرداختند. هدف این مطالعه پیش‌بینی میزان افت برداشت روزانه‌ی پانزده میلیون مترمکعب از آب آبخوان Floridan بود. شبیه‌سازی برای یک دوره‌ی ۳۰ روزه در سال ۱۸۹۱ و اسنجی گردید و برای پیش‌بینی در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۲ استفاده شد. ارزیابی پیش‌بینی نمایانگر قابلیت ضعیف این شبیه‌سازی در پیش‌بینی است. این محققان دلایل این خطا را در پیش‌بینی عوامل زیر اعلام نمودند. ۱- در نظر گرفتن شرایط پایدار در اجرا و اسنجی کردن شبیه‌سازی که با واقعیت شبیه‌همخوانی 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 پیش‌بینی شبیه‌سازی هدف طراحی برداشت آب از آبخوان در محدوده‌ی سایت تجهیزات نظامی پرداخته‌اند. در این مطالعه از ۳۶ حلقه چاه مشاهده‌ای جهت بررسی بعدی پیش‌بینی شبیه‌سازی

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) برابر با 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

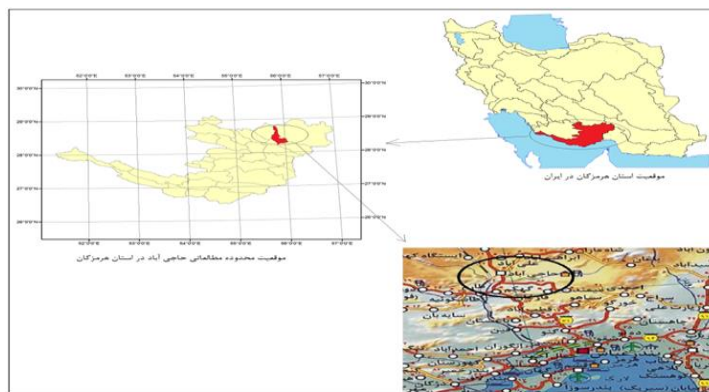
با توجه به اینکه اولین گام در مطالعات شبیه سازی تهیه شبیه مفهومی می‌باشد در ابتدا با کمک مدول‌های شبیه GMS و نرم‌افزار GIS شبیه مفهومی آبخوان تهیه گردید. در این مرحله موقعیت منابع تغذیه و تخلیه مانند موقعیت چاه‌ها و تغذیه سطحی، فراسنج‌های لایه‌ای از قبیل هدایت آبی و آبدهی ویژه، مرزهای شبیه واطلاعات

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 مجدداً 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 سازی واکنش‌های تبدلی 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



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه شده

کشاورزی) و مقدار اندکی خروجی زیرزمینی، تبخیر از سطح آب زیرزمینی و زهکش انتهای دشت صورت می‌گیرد.

• چاه‌ها

استخراج آب زیرزمینی در دشت حاجی آباد 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 آب زیرزمینی به آبخوان

با توجه به نقشه هم ارتفاع سطح آب زیرزمینی دشت حاجی آباد الگوی کلی حرکت آب زیرزمینی از شمال و شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق آبخوان است. این الگو نشان دهنده‌ی این است که تغذیه از سمت ارتفاعات حاشیه دشت، به خصوص در منطقه‌ی شمال و شمال غرب 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 آب زیرزمینی به طور مستقیم نمی‌توان تغذیه‌ای را برای آبخوان در نظر گرفت، ولی بر اساس مشاهدات صحرایی و بازدیدهای انجام شده از دشت این منطقه نیز به دلیل شرایط پستی و بلندی و دانه‌بندی مناسب می‌تواند در مواقع بارش و سیلابی منبع ورودی آب زیرزمینی مناسبی برای آبخوان دشت حاجی آباد باشد. این موضوع در اجرای حالت ناپایدار شبیه مدنظر قرار گرفته است. پس از مشخص شدن مرزهای ورودی و خروجی آب زیرزمینی 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 آب زیرزمینی 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

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 حاجی آباد و نتایج مطالعات ژئوفیزیک انجام شده در آن دشت حاجی آباد، 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 زمین‌شناسی (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 شکل ۲ ارائه گردیده است.

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

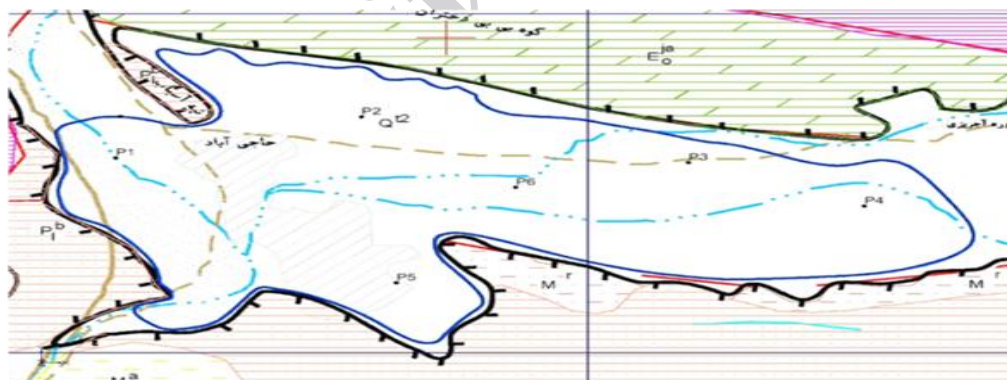
آبخوان آبرفتی دشت حاجی آباد با ضخامت اشباع حداقل ۶ و حداکثر ۷۶ متر (با توجه به نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک و داده‌ای حاصل از حفر چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری) در خلل و فرج ته نشیب آبرفتی کواترنری تشکیل شده است. این آبخوان عمدتاً از طریق رواناب حاصل از بارندگی روی سازندهای مجاور (عمدتاً سازند بختیاری در غرب و شرق و سازند آسماری - جهرم در شمال دشت)، همچنین ورودی آب زیرزمینی از سوی سازند آسماری - جهرم، رواناب حاصل از بارندگی و آب برگشتی کشاورزی، همچنین رودهای حاجی آباد و مرادآباد تغذیه می‌شود. استحصال آب زیرزمینی در این منطقه عمدتاً از طریق چاه‌های بهره‌برداری (صنعت، شرب،

• تغذیه از رودخانه‌های موجود در دشت حاجی آباد

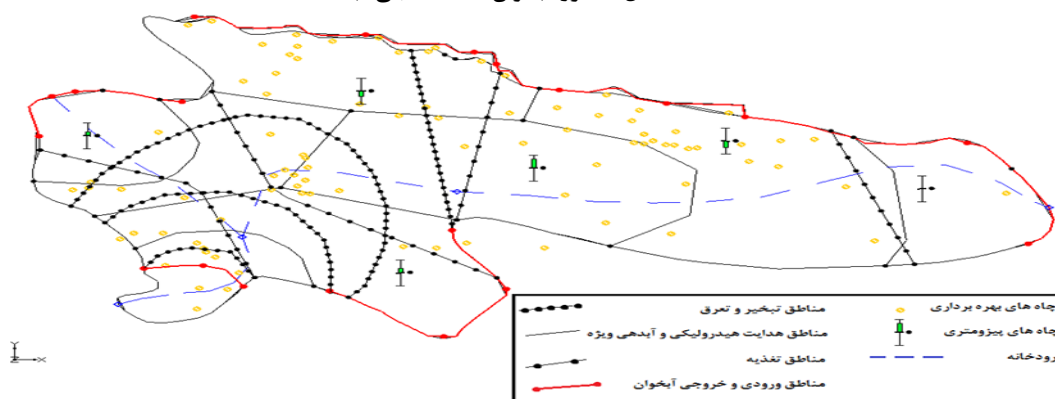
در دشت حاجی آباد ۲ رود وجود دارد. (۱) رودخانه مرادآباد که از شرق دشت شروع شده و تا جنوب دشت ادامه دارد، (۲) رود حاجی آباد که از غرب دشت شروع شده و تا جنوب دشت ادامه دارد. برای ترسیم رود ها در شبیه مفهومی از بسته رودخانه (river) در نرم افزار GMS استفاده گردید، نیازهای این بسته برای شبیه سازی رود شامل 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.

با توجه به نتایج جلد دوم گزارش مطالعات نیمه تفصیلی آبهای زیرزمینی دشت حاجی آباد (۱۳۸۶)، ضریب نفوذ از بارندگی برای دشت حاجی آباد 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 در طی 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.

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



شکل ۲- مرز آبخوان دشت حاجی آباد



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

• قنات‌های موجود در دشت

به مناطق مختلف از نظر تغییرات هدایت آبی تقسیم کرد (شکل ۳). با توجه به مقدار ضریب نفوذ پذیری محاسبه شده از آزمایش آبکشی و دانه بندی و لوگ زمین شناسی چاه های پیژومتر و اکتشافی مقدار اولیه هدایت آبی به منطقه های مختلف دشت داده شده به طوری که آبخوان در مناطقی با آبرفت دانه درشت (شمال غرب و شرق دشت) بیشترین مقدار هدایت آبی و در مناطقی که آبرفت دانه بندی ریز دارد (جنوب دشت) کمترین مقدار هدایت اختصاص داده شده که بعداً به وسیله شبیه این مقادیر K بهینه خواهند گردید.

با توجه به گزارش بیلان هیدروژئولوژی دشت حاجی آباد، در محدوده دشت حاجی آباد 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 حاجی آباد 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 آب زیرزمینی

تشکیل شبیه ریاضی دشت حاجی آباد

تشکیل شبکه‌ی (سلول) شبیه برای دشت

شبکه‌بندی منطقه‌ی شبیه، نقطه‌ی شروع طراحی واقعی شبیه رایانه‌ای است. شبکه دشت حاجی آباد شامل ۴۰ سطر و ۷۰ ستون و ۲۸۰۰ سلول 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.

مکان‌های تبخیری به مکان‌هایی اطلاق می‌شود که سطح آب زیرزمینی کمتر از ۵ متر عمق دارد. با بهره‌گیری از نقشه متوسط حداقل و حداکثر عمق سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی بیلان (سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۲) در گزارش بیلان هیدروژئولوژی دشت حاجی آباد (۱۳۸۸) مقدار تبخیر از سطح آب زیرزمینی 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 آب زیرزمینی و محدودیت‌های نرم‌افزار GMS، برای تبخیر از سطح آب زیرزمینی، آبخوان دشت حاجی آباد به مناطق مختلف تقسیم شده است که در شکل ۳ ارائه گردیده اند.

• زهکشی آبخوان دشت حاجی آباد

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

فراسنج های شبیه تفاضل محدود دشت حاجی آباد

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

• مناطق مختلف هدایت آبی

- زمان شبیه که شامل پله‌ها و دوره‌های زمانی جهت محاسبات است.

- هندسه‌ی آبخوان که شامل تغییرات مکانی ابعاد شبیه است.

بر اساس 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 حاجی آباد ۱۳۸۶). به کمک این مقادیر، و همچنین توزیع مکانی و با توجه به دانه‌بندی آبرفت دشت می‌توان دشت حاجی آباد را

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 جنوب غرب 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 شمال شرق دشت تغییر می‌کند (شکل ۳-۲۱).

سطح اولیه آب‌ریزمینی (starting head)

برای وارد کردن سطح آب‌ریزمینی، 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 آب‌ریزمینی در مهر ۱۳۸۶ از حداکثر ۹۲۳ متر تا حداقل ۹۰۶ متر به ترتیب در شمال غرب و جنوب غرب دشت تغییر می‌کند.

ویژگی‌های هیدروژئولوژیک

شبیه آبخوان دشت حاجی‌آباد از یک لایه تشکیل شده و فراسنج‌های 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.

- 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 ایجاد گردیده 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 درون‌یابی نرم‌افزار GMS استفاده شد، و با توجه به نتیجه‌ی اعتبار سنجی روشهای درون‌یابی مشخص گردید روش درون‌یابی مثلث بندی خطی کمترین میزان خطا را در بین سایر روش‌های درون‌یابی دارد، اما نتیجه‌ای را که ارائه می‌کند بسیار غیر منطقی و غیر منطبق بر واقعیت است، در نتیجه درون‌یابی با کاربرد کریجینگ 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 و بلندی رقومی گردیده استفاده شد، به طوری که ارتفاع سطح زمین در دشت حاجی‌آباد

واسنجی (calibration)

پس از اجرای شبیه در حالت پایدار و بهینه‌سازی فراسنج‌های 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 مهر ۱۳۸۶ تا شهریور ۱۳۸۷ 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 (شکل ۵).

پیش‌بینی متوسط سطح آب در مناطق مختلف دشت در ۵ سال (۱۳۹۴-۱۳۸۹) با حفظ شرایط تخلیه و تغذیه‌ی سال ۱۳۸۹ با استفاده از شناسه نرم

افزای MOD FLOW

برای پیش‌بینی سطح آب در این دوره‌ی ۵ ساله، پس از اینکه شبیه برای ۱ سال (از مهر ۸۶ تا مهر ۸۷) واسنجی و ۲ سال (از مهر ۸۷ تا مهر ۸۹) صحت‌سنجی شده، داده‌های موجود مربوط به فراسنج‌های 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 تا ۱۱). لازم به ذکر است که سال ۱۳۸۹ تر

پس از ایجاد شبیه ریاضی دشت حاجی‌آباد، بایستی فراسنج‌های آب زمین‌شناسی 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 مهر ۸۶ صورت گرفت. بعد از آن در بازه زمانی یک سال اقدام به اجرای شبیه در حالت ناپایدار گردید. برای این حالت دوره‌ی زمانی مهر ۱۳۸۶ تا شهریور ۱۳۸۷ 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 و آب برگشتی چاه‌های بهره‌بردار، تخلیه از چاه‌های بهره‌بردار، 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 نتیجه‌گیری

واسنجی

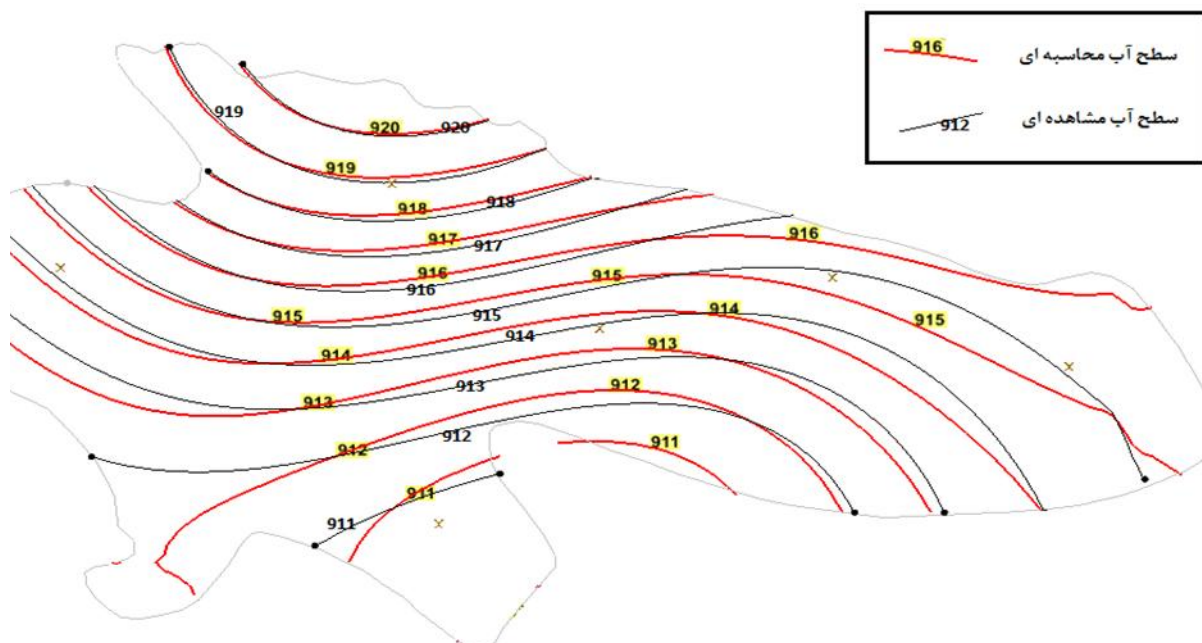
واسنجی در حال پایدار در شبیه آب زیرزمینی آبخوان دشت حاجی‌آباد با موفقیت انجام گرفت و نتایج نشان داد که به حد خطای قابل قبول (۰/۵ متر) رسیده است.

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

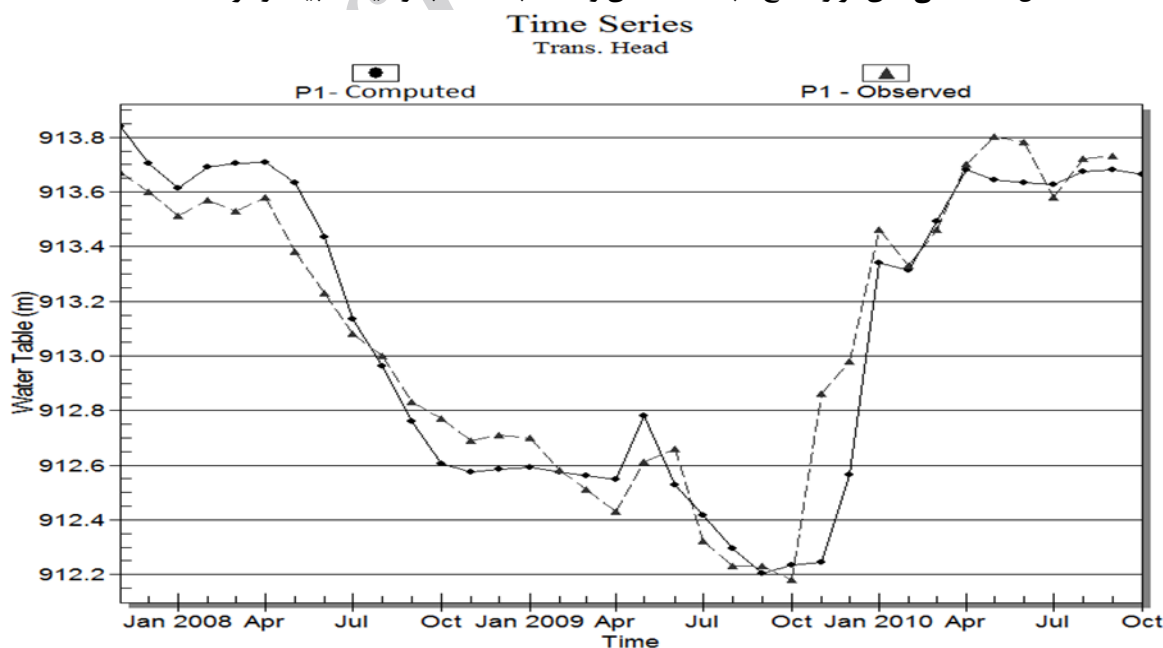
مقایسه سطح آب مشاهده‌ای در مناطق مختلف دشت و نتایج حاصل از شبیه سازی در بازه زمانی ۵ ساله (۱۳۸۹-۱۳۹۴)

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

درسترس 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 دوره ۵ ساله برای هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای در نمودار تغییرات سطح آب که آبه وسیله شبیه ارائه گردیده، رسم شده‌اند. این نمودارها تغییرات سطح آب از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ را نشان می‌دهند و در شکل ۶ تا ۱۱ ارائه شده‌اند.



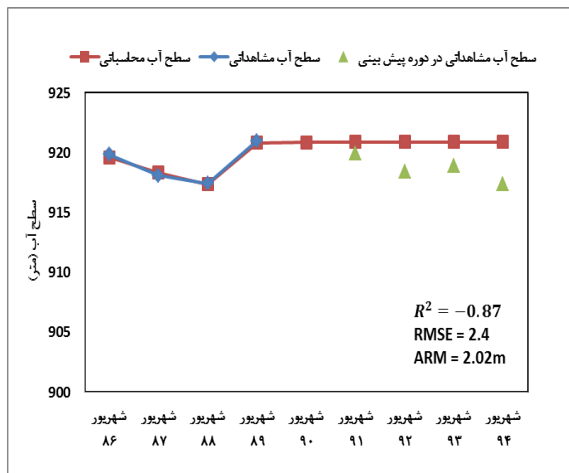
شکل ۴- منحنی های تراز سطح آب مشاهده ای و محاسبه شده آبه وسیله شبیه در خرداد ۱۳۸۷



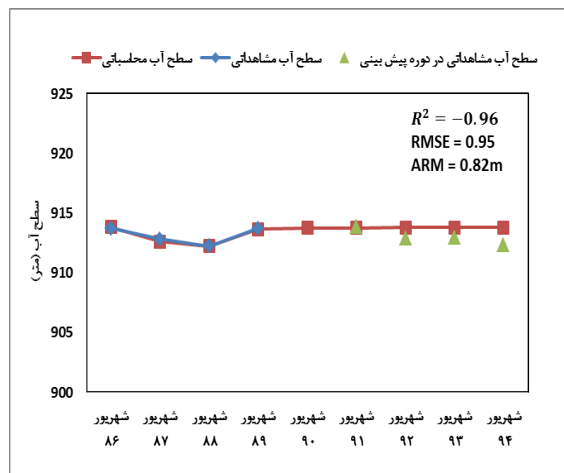
شکل ۵- مقادیر سطح آب مشاهده‌ای در مقابل سطح آب محاسبه شده برای چاه مشاهده‌ای شماره (۱)

مجدور 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

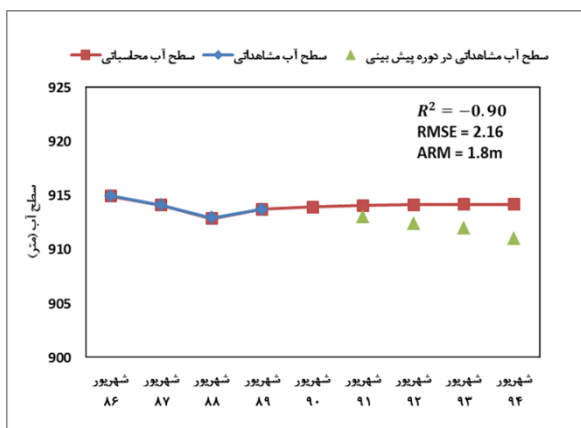
نقاط سبز رنگ سطح آب واقعی در این بازه زمانی ۵ ساله و خط ممتد قرمز رنگ پیش‌بینی سطح آب و وسیله شبیه را نشان می‌دهند. خط ممتد نیز سطح آب مشاهده‌ای است که شبیه سازی بر اساس آن صورت گرفته است.



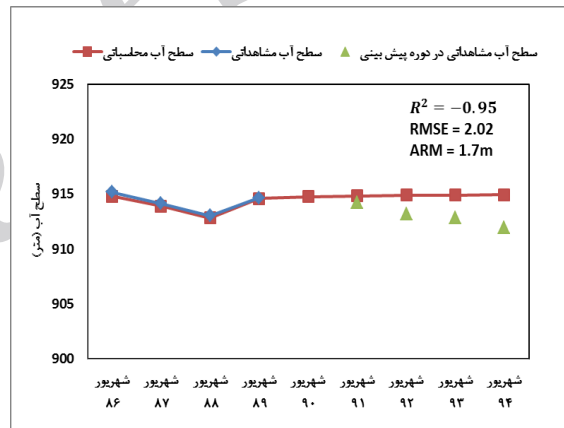
شکل ۷- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۲)



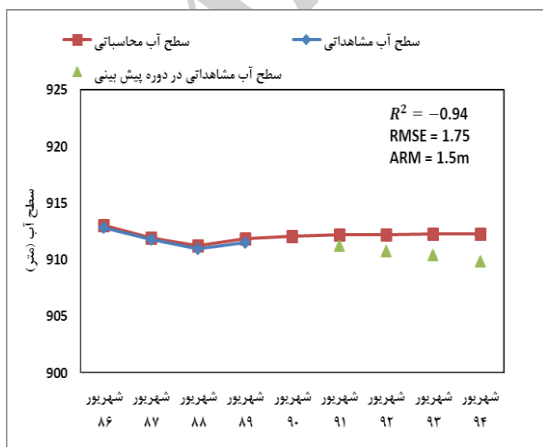
شکل ۶- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۱)



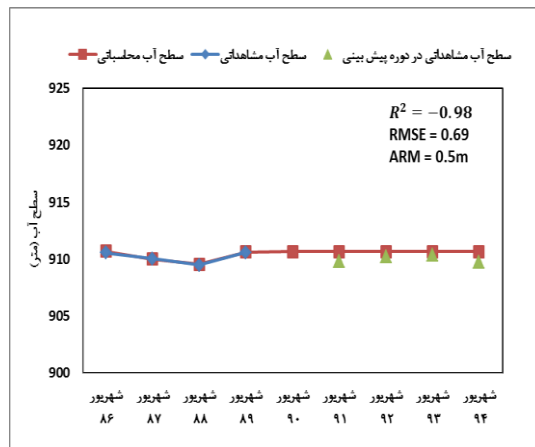
شکل ۹- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۴)



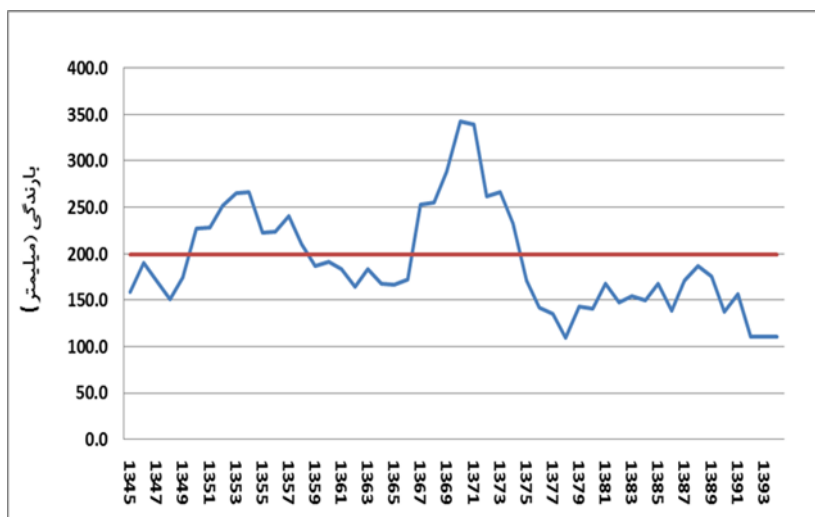
شکل ۸- سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی آبه وسیله شبیه برای چاه مشاهده‌ای (۳)



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



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



شکل ۱۲- میانگین بارش در دوره ی ۴۵ ساله محدودی حاجی آباد

شماره ۲ با مجذور میانگین مربعات خطا $2/4$ و متوسط خطای مطلق ۲ متر بیشترین میزان خطای پیش بینی را نشان می‌دهد.

وضعیت بارش در محدوده مطالعاتی حاجی آباد

آمار بارش در ۵ سال اخیر در ایستگاه های هواشناسی این محدوده مطالعاتی شامل ایستگاه های 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. شکل ۱۲ بیانگر تغییرات بارش این محدوده در یک دوره ی 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.

هر یک از چاه های مشاهده ای محاسبه شده و بر روی نمودار مشخص گردیده است. همان طور که از این شکل ها مشخص است، همه چاه های مشاهداتی بین سال های 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 همه ی چاه های مشاهداتی به طور متوسط به مقدار $1/35$ متر خطا در پیش بینی سطح آب صورت گرفته است. چاه مشاهداتی شماره ی 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 $0/69$ و $0/5$ متر. در حالی که چاه مشاهداتی

جدول ۲- آمار بارش در ۵ سال اخیر در ایستگاه های هواشناسی محدوده مطالعاتی شامل حاجی آباد و باغات

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

به داده های واقعی سطح آب در دوره ی (۱۳۹۴-۱۳۹۱)، نشان از خطای پیش بینی در این شبیه عددی است. به گونه ای که نتایج نشان می‌دهند، به طور متوسط به میزان $1/35$ متر سطح آب بالاتر از حالت واقعی پیش بینی شده است. این خطای می‌تواند ناشی از موارد زیر باشد

نتیجه گیری

شبیه عددی آب زیرزمینی آبخوان حاجی آباد در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ جهت پیش بینی سطح آب زیرزمینی در یک بازه ی زمانی ۵ ساله (۱۳۸۹-۱۳۹۴) شبیه سازی گردیده است. ارزیابی پیش بینی این شبیه عددی با توجه

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 پیش‌بینی 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 چندمان 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 از رفتار 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 سیمای‌های آب سطحی (رود، دریاچه و زهکش) و موقعیت چاه‌ها است. از همه مهم‌تر، شبیه مفهومی ارتباط بین سیمایها 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 عامل‌های مختلفی از جمله موقعیت نادرست آبخوان شبیه (موقعیت، نوع، تعداد لایه، توزیع و ...)، برآورد 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 و اسنجی می‌گردد، عدم قطعیت شبیه مفهومی نادیده گرفته شده و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت فقط با در نظر

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 متأثر از چاه‌های بهره‌برداری باشد بسیار زیاد است. همچنین با توجه 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 ۱۳۸۳ در 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 ۱ سال (از مهر ۸۶ تا مهر ۸۷) و اسنجی و ۲ سال (از مهر ۸۷ تا مهر ۸۹) صحت‌سنجی شده است، داده‌های موجود مربوط به فراسنج‌های 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 کلاً به صورت مرز با جریان مشخص در نظر گرفته شده است در حالی که بهتر بود مرز ارتفاعات مرز با جریان متغیر و ایسته به جریان تعریف می‌گردید.

- 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

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 آب منطقه‌ای هرمزگان، ۱۳۸۸. گزارش بیان هیدروژئولوژی دشت حاجی‌آباد. ۵۰ صفحه.
- ۳) مهندسین مشاور پنگان‌آوران، ۱۳۸۶. جلد دوم - مطالعات نیمه‌تفصیلی آبهای زیرزمینی دشت حاجی‌آباد، ۲۳۲ صفحه.
- ۴) مهندسین مشاور پنگان‌آوران، ۱۳۸۶. جلد سوم - مطالعات نیمه‌تفصیلی 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.

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.

Archive of SID