



مدیریت بهره برداری از سفره آب زیرزمینی دشت شهر کرد

سمیه جنت رستمی^۱، مجید خلقی^۲، کورش محمدی^۳، مرضیه مالمیر^۴

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران

۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

۴- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران

somayejanat@ut.ac.ir

خلاصه

محدودیت منابع آب سطحی و افزایش بی رویه جمعیت در چند دهه اخیر باعث وارد آمدن فشار مضاعف بر سفره‌های آب زیرزمینی و خسارات جبران ناپذیری به منابع طبیعی کشور شده است، جهت جلوگیری از این فاجعه بایستی مدیریت بهینه بهره برداری از آب‌های زیرزمینی به عنوان یک اصل و پایه در برنامه‌ریزی‌ها مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق جهت مدیریت بهینه آبخوان دشت شهر کرد از مدل^۱ GWM استفاده گردید، و رفتار آبخوان خطی در نظر گرفته شده است. با توجه به اهمیت چاه‌های شرب و صنعت (از نظر تامین آب مورد نیاز)، سعی گردید با حفظ میزان آبدی چاه‌های شرب و صنعت، مدیریت بر روی میزان بهره برداری از چاه‌های کشاورزی صورت گیرد. نتایج بدست آمده در این تحقیق، نشان داده است که مدل بهینه سازی توانسته با متوسط سالیانه ۹۲/۳۹ درصد برداشت نسبت به شرایط فعلی، افت سطح آب زیرزمینی را تا ۱۰ درصد کاهش دهد. همچنین مقایسه مقادیر افت در شرایط بهینه حاصل از مدل بهینه سازی و شبیه سازی نتایج بهینه سازی نشان می‌دهد با پذیرفتن درصد ناچیز خطا، می‌توان نتیجه گرفت که خطی در نظر گرفتن رفتار آبخوان چندان دور از واقعیت نمی‌باشد.

کلمات کلیدی: آبخوان، آب‌های زیرزمینی، بهینه‌سازی، دشت شهر کرد، شبیه‌سازی.

۱. مقدمه

امروزه بخش مهمی از آب مورد نیاز بخش‌های مختلف مصرف، از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود که در دو دهه اخیر، افراط در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، باعث افت شدید سطح آب در اکثر آبخوان‌های کشور شده است. این افت که گاهی اوقات به بیش از ده متر نسبت به چند سال گذشته می‌رسد، بدون شک برای منابع طبیعی کشور یک فاجعه محسوب می‌شود. جهت حل این مشکل، کارشناسان آب زیرزمینی با بهره‌گیری از بهینه‌سازی آب زیرزمینی سعی در ارائه یک برنامه مدیریتی مناسب برای آبخوان هر منطقه با توجه به مشکلات آن منطقه دارند.

از دهه ۱۹۶۰ به طور روزافزون مدل‌های عددی جریان آب زیرزمینی به عنوان ابزارهای مهمی در تحلیل سیستم‌های منابع آب زیرزمینی وارد شدند. اخیراً مدل‌های آب زیرزمینی با روش‌های مختلف بهینه‌سازی برای تعیین استراتژی مدیریت منابع آب و بهترین مجموعه جواب با توجه به تابع هدف و محدودیت‌ها ترکیب شده‌اند (الفلد و همکاران، ۲۰۰۵). به طور کلی جهت بهینه‌سازی سیستم آب زیرزمینی یک منطقه ابتدا باید مدل ریاضی آبخوان منطقه مورد نظر تهیه گردد. در استفاده از مدل ریاضی جهت بهینه‌سازی سفره‌های آب‌های زیرزمینی دو نگرش وجود دارد. در نگرش اول با استفاده از مدل ریاضی (شبیه‌سازی)، رفتار آبخوان را از لحاظ خطی یا غیرخطی بودن تشخیص می‌دهند و رابطه بین مقادیر برداشت و افت سطح آب زیرزمینی را بدست می‌آورند. سپس با استفاده از معادله بدست آمده، بهینه‌سازی سیستم آب زیرزمینی را انجام می‌دهند. به خاطر سهولت این روش، محققان زیادی از جمله آکوادو و همکاران^۲ (۱۹۷۴) برای پیش‌بینی تعداد بهینه چاه‌ها، کلاهچی و همکاران^۳ (۲۰۰۶) در بهینه‌سازی کیفی آب زیرزمینی و علیمحمدی^۴ (۱۳۸۴) در بهینه‌سازی سیستم ذخیره سیکیلی از این نگرش استفاده نمودند. نگرش دوم در بهینه‌سازی سفره‌های آب زیرزمینی، استفاده از

¹ Ground Water Management

² Aquado & Remson

³ Kolahchi et al.

⁴ Alimohammadi



مدل تلفیقی شبیه سازی- بهینه سازی است. در این نگرش بعد از کالیبراسیون مدل شبیه سازی و تعیین متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت های مدل بهینه سازی، اتصال دو مدل شبیه سازی و بهینه سازی انجام می گیرد. مزیت این روش در این است که در هنگام بهینه سازی به ازای هر تغییری در بردار متغیرهای تصمیم، مدل شبیه سازی دوباره اجرا می گردد. بدیهی است که این نگرش نسبت به نگرش قبلی از دقت بالاتری برخوردار است. الفلد و سایر^۱ (۱۹۹۰) از این روش برای اصلاح آلودگی آب زیرزمینی استفاده نمودند، در این مطالعه آنها موقعیت چاه ها و سرعت پمپاژ را با مینیم کردن هزینه بدست آوردند. بارلو و الفلد^۲ (۲۰۰۳)، مدل شبیه سازی- بهینه سازی جریان آب زیرزمینی که شبیه سازی آن به صورت عددی و بهینه سازی آن با استفاده از روش برنامه ریزی خطی انجام می گیرد را ارائه نمودند.

از میان مدل های آماده موجود در دنیا، مدلی که بیشترین کاربرد را در زمینه کمیت آب های زیرزمینی در کشورهای مختلف دنیا داشته است، مدل شبیه سازی MODFLOW می باشد. این مدل نتیجه سال ها تحقیق در سازمان تحقیقات زمین شناسی آمریکا (USGS^۳) می باشد. با توجه به اینکه این مدل در اکثر کشورهای دنیا توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته و محبوبیت این مدل در بین متخصصان آب زیرزمینی حاکی از نتایج موفقیت آمیز آن می باشد، الفلد و همکاران (۲۰۰۵)، مدل بهینه سازی را تحت عنوان GWM، که بر اساس مدل MODFLOW و با زبان برنامه نویسی فرترن نوشته شده، ارائه نمودند. مدل GWM توسط سازمان USGS به صورت آزاد در دسترس عموم قرار گرفته است.

با توجه به اینکه تاکنون در ایران از مدل شبیه سازی- بهینه سازی GWM در جهت مدیریت بهینه آب زیرزمینی استفاده نشده است، در این تحقیق سعی گردید جهت بهینه سازی بهره برداری از آب زیرزمینی آبخوان دشت شهرکرد از این مدل استفاده شود. وجود دوره های خشکسالی، کم شدن آبدهی رودخانه ها و چشمه ها و همچنین افزایش مصرف آب در منطقه مورد مطالعه سبب شده است که بخش های اجرایی بیشتر به سمت بهره برداری از سفره های آب زیرزمینی روی آورند. به این ترتیب مدیریت بهره برداری از سفره می تواند از به وجود آمدن افت شدید سطح آب در این آبخوان و ایجاد فاجعه جبران ناپذیر جلوگیری کند.

۲. مدل بهینه سازی GWM در مدیریت آب های زیرزمینی

در چند دهه اخیر تعدادی از کدهای کامپیوتری توسعه داده شده اند که در آنها امکان اتصال شبیه سازی و بهینه سازی در سیستم جریان آب زیرزمینی فراهم شده است. این کدها از نظر مدل عددی استفاده شده برای سیستم آب زیرزمینی، انواع مدیریت آب زیرزمینی و روشی که برای حل به کار می گیرند، متفاوت هستند. GWM فرآیند جدیدی از مدولار MODFLOW-2000 در مدیریت آب های زیرزمینی است. این مدل در واقع نسخه توسعه یافته کد MODFC است که توسط ادفلد و ریفلر در سال ۲۰۰۳ نوشته شده است (الفلد و همکاران، ۲۰۰۵).

مدل مدیریت آب زیرزمینی مورد استفاده در این تحقیق (GWM)، سه نوع متغیر تصمیم شامل متغیرهای تصمیم مقدار جریان^۴، متغیرهای تصمیم بیرونی^۵ و متغیرهای دوتایی^۶ را پشتیبانی می کند. تاکنون در این مدل تنها یک تابع هدف تعریف شده است که شامل حداقل و حداکثر سازی مجموع وزنی سه نوع متغیر تصمیم می باشد. در مدیریت آب زیرزمینی چهار نوع کلی از محدودیت های مدیریتی را می توان در نظر گرفت، این محدودیت ها به دو دسته کلی تقسیم می شود: دسته اول شامل محدودیت هایی هستند که برای اعمال آن ها ضرورتی در تولید ضرایب پاسخ نمی باشد (شامل محدودیت های متغیرهای تصمیم^۷ و محدودیت های جمع خطی^۸) و دسته دوم شامل محدودیت هایی هستند که در به کارگیری آن ها بایستی ضرایب پاسخ بین متغیرهای تصمیم و متغیرهای حالت سیستم آب زیرزمینی تولید شوند (شامل محدودیت های ارتفاع هیدرولیکی^۹ و رودخانه^{۱۰}). GWM ماتریس پاسخ را به سه روش برنامه ریزی خطی^{۱۱}، برنامه ریزی غیر خطی^{۱۲} و فرمول بندی مختلط خطی- دوتایی^{۱۳} حل می کند.

^۱ Ahlfeld and Sawyer

^۲ Barlow & Ahlfeld

^۳ U.S. Geological Survey

^۴ Flow-rate decision variables

^۵ External decision variables

^۶ Binary variables

^۷ Decision Variable Constraints

^۸ Linear summation constraints

^۹ Hydraulic head constraints

^{۱۰} Streamflow constraints

^{۱۱} Linear programming

^{۱۲} Nonlinear programming

^{۱۳} Mixed-binary linear

۳. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری و در جنوب غربی اصفهان قرار گرفته و شامل دشت شهر کرد می باشد. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری نشان داده شده است. دشت شهر کرد از شمال و شمال غرب به ارتفاعات کلاه قاضی، قراول خانه و چهل دختر، از جنوب به ارتفاعات جهان بین و تفه، از شرق به ارتفاعات کوه سینه و برات، از غرب نیز به ارتفاعات قلنگان و ارتفاعات مشرف به جاده فارسان منتهی می گردد. سطح حوزه آبریز این دشت بالغ بر ۱۱۳۵/۵۷ کیلومتر مربع بوده و مساحت محدوده مدل ۲۶۱/۲۵ کیلومتر مربع می باشد. این ناحیه در حوضه آبریز رودخانه جهان بین قرار گرفته است.

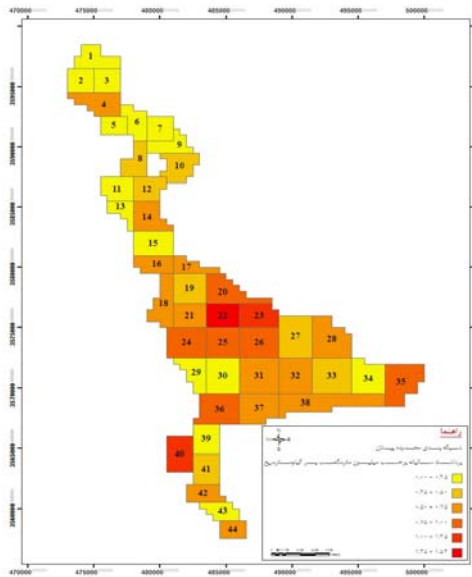


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری

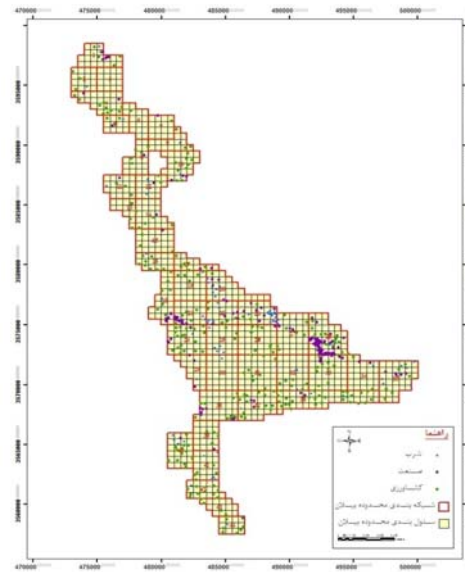
مرز شمالی آبخوان که جبهه ورودی آب زیرزمینی است از نوع مرز با پتانسیل هیدرولیکی معلوم می باشد. مرز جنوب غربی و جنوب شرقی که منطقه خروج آب زیرزمینی بوده نیز از نوع مرز با پتانسیل هیدرولیکی معلوم در نظر گرفته می شود. از نظر ساختار زمین شناسی سفره شهر کرد، یک لایه ای و از نوع آزاد می باشد.

۴. مواد و روشها

بعد از تهیه مدل شبیه سازی منطقه مورد مطالعه و کالیبراسیون آن، به منظور این که برنامه مدیریتی بتواند قابل اجرا برای بخش های اجرایی و مردم باشد شبکه های مدیریتی به مراتب بزرگ تر از سلول های مدل شبیه سازی در نظر گرفته می شود. بنابراین کل محدوده مورد مطالعه به ۴۴ شبکه مدیریتی تقسیم گردید (شکل ۲). چاه های بهره برداری در منطقه مورد مطالعه دارای مصارف کشاورزی، صنعت و شرب می باشد. توزیع چاه ها و مقادیر فعلی بهره برداری در منطقه در شکل های ۲ و ۳ آورده شده است.



شکل ۳- توزیع فعلی بهره برداری در منطقه



شکل ۴- توزیع چاهها

با توجه به اهمیت چاه های شرب و صنعت (از نظر تامین آب مورد نیاز)، برای تهیه یک برنامه مدیریتی بهینه آب زیرزمینی سعی می گردد بیشتر بر روی مصارف کشاورزی مدیریت صورت گیرد. به این ترتیب در این تحقیق با حفظ میزان آبدهی چاه های شرب و صنعت، فقط در میزان بهره برداری از چاه های کشاورزی در شبکه های مدیریتی تغییراتی اعمال شده است. به منظور آگاهی از میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت شهرکرد، مدل شبیه سازی را برای حالت میزان بهره برداری فعلی و همچنین افزایش و کاهش درصدی از وضعیت بهره برداری فعلی اجرا نموده و با توجه به تغییرات ملاحظه شده نحوه مدیریت و انتخاب تابع هدف مشخص گردید.

۵. فرمول بندی مدیریت آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه

به طور کلی یک فرمول بندی مدیریت آب زیرزمینی که به خوبی تعریف شده باشد، شامل مقادیری از متغیرهای تصمیم است که توسط آن مقدار بهینه تابع هدف به دست آمده باشد و در عین حال تمامی محدودیت های تعریف شده بر روی متغیرهای تصمیم نیز به خوبی ارضا شده باشند.

متغیر تصمیم: در این تحقیق میزان برداشت از چاه های موجود در هر یک از شبکه های مدیریتی در هر ماه از سال به عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شد، با توجه به اینکه نیاز آبی کشاورزی در ماه های آذر، دی، بهمن و اسفند صفر می باشد دلیلی جهت بهینه سازی بهره برداری در این ماه ها وجود ندارد و جهت کم کردن حجم محاسباتی و صرف زمان کمتر برای رسیدن به جواب بهینه مقادیر برداشت این ماه ها در مسئله مدیریتی حذف شده است. به منظور افزایش ضمانت اجرایی مدل، در هر شبکه مدیریتی نسبت برداشت از هر یک از چاه های کشاورزی به میزان کل برداشت از آن شبکه مشابه با شرایط موجود در نظر گرفته شده است. در نتیجه مقدار برداشت از چاه های موجود در هر شبکه مدیریتی به یک نسبت افزایش یا کاهش خواهد یافت. مدل بهینه در یک دوره پنج ساله اجرا می گردد. متغیرهای تصمیم به گونه ای تعریف شده اند که میزان برداشت بهینه سالانه در هر یک از شبکه های مدیریتی در سال های مختلف یکسان در نظر گرفته شوند و از یک سال به سال دیگر تفاوتی نداشته باشند.

تابع هدف: حداکثر نمودن میزان برداشت از مجموعه شبکه ها با حفظ نسبت برداشت از هر یک از چاه های کشاورزی به میزان کل برداشت از آن شبکه به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است.

$$\text{Max } Z = \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N Q_{n,t} \quad (t = 1, 2, \dots, 60), \{N = (1, 2, \dots, 44) - (3, 29, 30)\} \quad (1)$$

که t زمان برحسب ماه؛ n شماره شبکه مدیریتی و $Q_{n,t}$ مقدار برداشت کشاورزی در زمان t و از شبکه مدیریتی n ام می باشد. به علت عدم وجود چاه کشاورزی در شبکه مدیریتی ۳، ۲۹ و ۳۰، از تعداد کل متغیر تصمیم (۴۴ متغیر تصمیم) عدد ۳ کم شده است. بنابراین برای بدست آوردن کل متغیرهای تصمیم تعداد ۴۱ شبکه مدیریتی در ۸ ماه بهره برداری در سال ضرب می شود ($41 \times 8 = 328$).

محدودیت: در مدل مدیریت آب زیرزمینی دو نوع از محدودیت‌های مدیریتی در نظر گرفته شده است. دسته اول شامل محدودیت‌های متغیرهای تصمیم هستند که برای اعمال آن‌ها ضرورتی در تولید ضرایب ماتریس پاسخ نمی‌باشد. حدود بالا و پایین متغیرهای تصمیم QW_n^l و QW_n^u که به ترتیب به معنای حداکثر و حداقل مجاز آب برداشت شده در منطقه می‌باشد. با توجه به بررسی عکس العمل‌های سفره نسبت به تغییرات برداشت، حدود بالا و پایین متغیرهای تصمیم به ترتیب ۷۰ و ۱۲۰ درصد برداشت فعلی در نظر گرفته شده است.

$$QW_n^l \leq QW_n \leq QW_n^u \quad (2)$$

دسته دوم شامل محدودیت‌های ارتفاع هیدرولیکی هستند که در به کارگیری آن‌ها بایستی ضرایب پاسخ بین متغیرهای تصمیم و متغیرهای حالت سیستم آب زیرزمینی تولید شوند. برای تعیین این نوع محدودیت، در صورت وجود افت قابل توجه در شرایط فعلی مقدار ۹۰ درصد افت در شرایط فعلی و در صورت عدم وجود افت قابل توجه در شرایط فعلی، میزان ثابت افت به عنوان مقدار افت مجاز ارتفاع هیدرولیکی در یک مکان و دوره تنش معین در نظر گرفته شده است.

$$dd_{i,j,k,t} = (h_{i,j,k,t})^0 - h_{i,j,k,t} \quad (3)$$

$$dd_{i,j,k,t} \leq dd_{i,j,k,t}^u \quad (4)$$

که در آن $dd_{i,j,k,t}$ معادل تفاوت بین ارتفاع اولیه و پایان دوره تنش t در مکان i,j,k می‌باشد.

چاه‌های مشاهده‌ای بهترین گزینه به عنوان نقاط کنترل می‌باشند. اما از آنجایی که نحوه توزیع چاه‌ها به صورت یکنواخت نبوده و بر اساس مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی، بسیاری از نقاط دیگر واقع در محدوده بیلان دارای افت شدیدتری بوده‌اند، نقاط واقع در مرکز هر شبکه مدیریتی، به عنوان نقاط کنترل در نظر گرفته شده‌اند. به این ترتیب میزان افت در هر یک از نقاط کنترل در نظر گرفته شده بر اثر تنش وارد شده از برداشت در هر شبکه می‌تواند به خوبی منعکس کننده خصوصیات آبخوان باشد. در دیگر نقاط واقع در مراکز شبکه‌های مدیریتی افت در شرایط فعلی وجود نداشته و بنابراین به عنوان نقاط کنترل در نظر گرفته نشده‌اند.

به منظور بازنویسی محدودیت‌های ارتفاع هیدرولیکی تابع رابطه بین تنش‌های تحمیل شده در متغیرهای تصمیم و تغییرات حاصل شده در ارتفاع هیدرولیکی در موقعیت چاه‌های در نظر گرفته شده تولید می‌گردد. جهت انجام این کار از ماتریس پاسخ استفاده می‌شود.

روش حل مسئله مدیریت آب زیرزمینی: در شرایطی که محدوده آبخوان وسیع و سیستم مورد بررسی پیچیده باشد با توجه به اینکه گزینه‌های مختلفی شامل تعداد زیادی از دوره‌های تنش در افق زمانی بلندمدت تحلیل و بررسی می‌شود، هزینه‌های محاسباتی مدل‌سازی مسئله مدیریتی، قابل توجه خواهد بود. این مسئله کاربرد مدل‌های مدیریتی آب زیرزمینی که از لحاظ محاسباتی کارآمد می‌باشد را اجتناب ناپذیر می‌سازد. در این راستا با توجه به تحقیقات صورت گرفته توسط پالیدو و ادفلد^۱ (۲۰۰۸)، می‌توان از خطی‌سازی رابطه تنش و عکس العمل آبخوان به منظور ساده‌سازی رفتار سیستم آبخوان استفاده نمود. با توجه به مطالب گفته شده، در این تحقیق جهت حل ماتریس پاسخ از روش برنامه ریزی خطی استفاده شده است. همانطور که می‌دانید در برنامه‌ریزی خطی از روش سیمپلکس استفاده می‌شود، روش سیمپلکس مستلزم تولید رابطه‌ای بین تنش‌های تحمیل شده در چاه‌های مدیریت شده (متغیرهای تصمیم مقدار جریان) و تغییرات حاصل شده در ارتفاع هیدرولیکی در هر یک از نقاط کنترل می‌باشد. رابطه بین ارتفاع هیدرولیکی و متغیر تصمیم، از بسط مرتبه اول سری تیلور بدست می‌آید.

$$h_{i,j,k,t}(QW) = h_{i,j,k,t}^0(QW^0) + \sum_{n=1}^N \frac{\partial h_{i,j,k,t}}{\partial QW_n}(QW^0)(QW_n - QW_n^0) \quad (5)$$

که در آن $h_{i,j,k,t}(QW)$ ارتفاع هیدرولیکی در موقعیت محدودیت i,j,k و دوره تنش t برای بردار (یا مجموعه) جدید از مقادیر جریان برداشت و یا تغذیه QW که دارای اجزای مستقل QW_n است، می‌باشد. $h_{i,j,k,t}^0(QW^0)$ ارتفاع هیدرولیکی در موقعیت محدودیت i,j,k و دوره تنش t برای بردار جدید (مجموعه شرایط پایه) از مقادیر جریان برداشت و یا تغذیه QW^0 که دارای اجزای مستقل QW_n^0 است، می‌باشد. تغییر در ارتفاع هیدرولیکی موقعیت i,j,k و دوره تنش t بر اثر تغییر در برداشت و یا تغذیه در n امین متغیر تصمیم مقدار جریان $\frac{\partial h_{i,j,k,t}}{\partial QW_n}(QW^0)$

¹ Pulido and Ahlfeld



و N تعداد کل متغیرهای تصمیم مقدار جریان می باشد. مشتقات جزئی که تعریف کننده ضرایب پاسخ هستند، به طور مستقیم محاسبه نمی شوند. در عوض این ضرایب به وسیله روش آشفته‌گی تفاضل محدود مرتبه اول^۱ تقریب زده می شوند. مشتق ارتفاع هیدرولیکی نسبت به هر متغیر تصمیم (ماتریس ضرایب پاسخ) به وسیله تقریب مرتبه اول معادلات تفاضل محدود (پیشرو) محاسبه می شود.

$$\frac{\partial h_{i,j,k,t}}{\partial QW_n} \approx \frac{\Delta h_{i,j,k,t}}{\Delta QW_n} = \frac{h_{i,j,k,t}(QW_{\Delta n}) - h_{i,j,k,t}(QW^0)}{QW_{\Delta n}} \quad (6)$$

که در آن $QW_{\Delta n}$ مقدار آشفته‌گی برای n امین متغیر تصمیم مقدار جریان و $h_{i,j,k,t}(QW_{\Delta n})$ ارتفاع هیدرولیکی در موقعیت محدودیت i,j,k و دوره تنش t است که با استفاده از بردار مقادیر تنش برداشت و یا تغذیه $QW_{\Delta n}$ که تنها در جزء n ام به مقدار $QW_{\Delta n}$ متفاوت از بردار قبلی مقادیر تنش، QW^0 ، می باشد، محاسبه شده است.

۶. نتایج و بحث

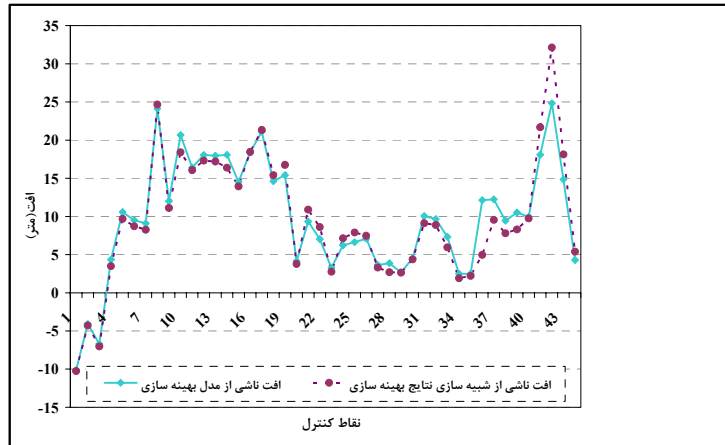
بعد از انجام بهینه‌سازی آبخوان دشت شهر کرد مجموع برداشت سالانه از چاه‌های کشاورزی در شرایط بهینه $۸۷/۰۴۱$ میلیون متر مکعب بدست آمد، در صورتی که در شرایط فعلی $۹۴/۲$ میلیون متر مکعب بوده است. در کل نسبت برداشت سالانه از چاه‌های کشاورزی در شرایط بهینه به فعلی $۰/۹۴۲$ بدست آمد. در جدول ۱ نسبت ماهانه برداشت‌ها آورده شده است.

جدول ۱- نسبت ماهانه برداشت‌ها

ماه	برداشت ماهانه فعلی	برداشت ماهانه بهینه	نسبت برداشت بهینه به فعلی
مهر	11.305	11.033	0.976
آبان	7.537	7.359	0.976
فروردین	5.653	5.392	0.954
اردیبهشت	12.247	11.490	0.938
خرداد	15.073	13.771	0.914
تیر	14.131	12.644	0.895
مرداد	14.131	12.432	0.880
شهریور	14.131	12.921	0.914

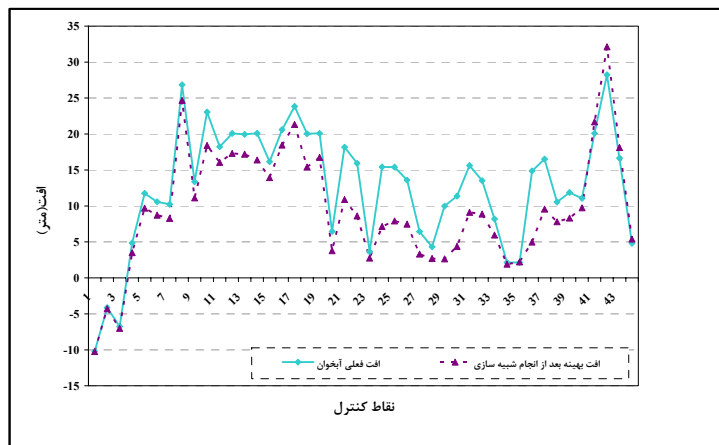
برای اطمینان از فرض خطی در نظر گرفتن آبخوان، افت بدست آمده از مدل بهینه‌سازی با افت حاصل از شبیه‌سازی نتایج بهینه‌سازی مقایسه گردید (شکل ۴). همانطور که در شکل ۴ می‌بینید، مقایسه این افت‌ها نشان می‌دهد که به جز در تعدادی از نقاط کنترل تقریباً نتیجه مطلوبی داده است که این را می‌توان به فرض برهم پوشانی خطی مقادیر افت ناشی از برداشت در شبکه‌های مدیریتی مربوط دانست.

¹ First order, finite difference perturbation method



شکل ۴- مقایسه افت بهینه حاصل از بهینه سازی و شبیه سازی نتایج بهینه سازی

نمودار مقادیر افت فعلی و افت بدست آمده بعد از شبیه سازی مدل با برداشت بهینه حاصل از مدل بهینه سازی در شکل ۵ آورده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، مدل بهینه سازی توانسته است افت را تا میزان زیادی کاهش دهد که بیشترین آن ۹/۹۰۲ متر در شبکه مدیریتی ۳۶ می باشد.



شکل شماره ۵- مقایسه مقادیر افت فعلی و بهینه بعد از انجام شبیه سازی

۷. نتیجه گیری

در مطالعه حاضر جهت توسعه مدل مدیریت آب های زیرزمینی از رویکرد بهینه سازی استفاده گردید. در این راستا ابتدا رفتار سیستم سفره آب زیرزمینی با استفاده از مدل شبیه سازی MODFLOW تعیین گردید و سپس با توجه به نتایج شبیه سازی و در نظر گرفتن شرایط منطقه، مدل GWM جهت بهینه سازی آبخوان به کار گرفته شد. در مدل GWM با توجه به در نظر گرفتن رفتار خطی سیستم به دلیل حجیم بودن محاسبات در روش بهینه سازی غیرخطی، جهت حل مسئله بهینه سازی، از روش برنامه ریزی خطی استفاده گردید. هدف مدیریت در این آبخوان کاهش ۹۰ درصدی افت سطح ایستابی آبخوان با ۳۰ درصد کاهش برداشت و ۲۰ درصد افزایش برداشت از چاه های کشاورزی می باشد.



نتایج کلی که از اجرای مدل بهینه سازی دشت شهرکرد بدست آمد، نشان داد که مدل بهینه سازی مورد استفاده در این تحقیق توانسته است با ۹۲/۳۹ درصد برداشت نسبت به شرایط فعلی، افت را به میزان ۹۰ درصد کاهش دهد و بعد از انجام شبیه سازی مقادیر برداشت بهینه، بیشترین مقدار افت مشاهده شده، ۹/۹۰۲ متر، در شبکه مدیریتی ۳۶ بدست آمد. مقایسه مقادیر افت در شرایط بهینه حاصل از مدل بهینه سازی و شبیه سازی نتایج بهینه سازی حاکی از این است که می توان با پذیرفتن درصد ناچیز خطا نتیجه گرفت که رفتار آبخوان خطی می باشد.

۸. مراجع

1. Ahlfeld, D.P., Barlow, P.M. and Mulligan, A.E., (2005), "GWM—A ground-water management process for the U.S. Geological Survey modular ground-water model (MODFLOW-2000)." U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1072, 124 p.
2. Aquado, E. and Remson, I., (1974), "Groundwater hydraulics in aquifer management." Journal of the Hydraulics Division – ASCE, 100 (1), pp 103–118.
3. Abdeh-Kolahchi, A., Satish, M. G., Ketata, C., and Islam, M. R., (2006), "Sensitivity analysis of genetic algorithm parameters in groundwater monitoring network optimization for petroleum contaminant detection". Int. J. Risk Assess. Manage. In press.
۴. علیمحمدی، س.، (۱۳۸۴)، "طراحی و بهره برداری بهینه تلفیقی از سیستم آب های سطحی و زیرزمینی- رویکرد ذخیره سیکی،" پایان نامه دکترا، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۲۲۰ص.
5. Ahlfeld, D.P. and Sawyer, C.S., (1990), "Well Location in Capture Zone Design Using Simulation and Optimization Techniques". Groundwater, 28 (4), pp 507-512.
6. Barlow, P.M., Ahlfeld, D.P. and Dickerman, D.C., (2003), "Conjunctive-Management Models for Sustained Yield of Stream-Aquifer Systems". J. Water Resources Planing & Management, 129(1), pp 35-48.
7. Pulido- Velazquez, D., Ahlfeld, D., Andrew, J., and Sahuquillo, A., (2008), "Reducing the computational cost of unconfined groundwater flow in conjunctive-use models at basin scale assuming linear behaviour: The case of Adra- Campo de Dalí'as." Journal of Hydrology, 353, pp 159-179.