نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره۴، سال ۱۳۹۷، صفحات ۶۳۱ تا ۶۴۰
DOI: 10.22060/ceej.2017.12739.5266

مدل کمی بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد

ابراهیم ولیزادگان[1*]، سجاد یزدان‌پناه[2]

[1] دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی، خوی، ایران
[2] دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران

تاریخچه داوری:
دریافت: ۲۷ فروردین ۱۳۹۶
بازنگری: ۳۰ تیر ۱۳۹۶
پذیرش: ۳۱ تیر ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۱۷ مرداد ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:
بهره‌برداری تلفیقی
بهینه‌سازی چندهدفه
آب‌های سطحی
آب‌های زیرزمینی
الگوریتم ژنتیک
GMS
شبکه عصبی مصنوعی

چکیده: بر اساس آمار و اطلاعات موجود و با توجه به رشد جمعیت و همچنین توسعه روزافزون کشاورزی، یک روند صعودی در برداشت از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در دشت‌های مختلف کشور از جمله مهاباد برای تأمین نیاز آبی منطقه وجود دارد. استفاده بهینه تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی یکی از راه‌های فراهم آوردن این نیاز آبی در مواقع بحران و خشکسالی است. در این تحقیق یک مدل مدیریتی بر مبنای تکنیک‌های مؤثر بهینه‌سازی و شبیه‌سازی برای حل مسئله بهینه‌سازی توسعه داده شده است. ابتدا تغییرات سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دشت مهاباد با استفاده از نرم‌افزار GMS شبیه‌سازی شد. سپس بر اساس نتایج بدست آمده، از این شبیه‌سازی، شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده شد، تا در سیستم شبیه‌سازی- بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. جهت حل مسئله بهینه‌سازی نیز از الگوریتم ژنتیک استفاده گردید. نتایج بدست آمده حاکی از قدرت و کارایی مدل در حل مسائل پیچیده و بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد است. بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیق و اجرای مدل کمی بهره‌برداری تلفیقی بهینه، سهم تقریبی آب تأمینی از منابع آب، به ترتیب ۱۳/۵ درصد مربوط به آب‌های سطحی و ۸۶/۵ درصد مربوط به آب‌های زیرزمینی است. بنابراین نیاز آبی منطقه باید بر اساس این درصدها تأمین گردد، تا منابع آب در حالت تعادل قرار گیرد.

۱- مقدمه

موضوع منابع آب به عنوان یک موضوع با اهمیت در صحنه‌ی سیاست داخلی کشورها به ویژه در مناطق خشک و کم آب جهان از دیرباز همواره مطرح بوده و هم اکنون نیز اهمیت خود را حفظ کرده است. امروزه آب شناسان و حتی سیاستمداران یقین دارند که نحوه استفاده از منابع آب و چگونگی مصرف بهینه و مشترک از منابع آب شیرین موجود در جهان که هم محدود و آسیب‌پذیر و هم عامل اصلی محیط‌زیست، زندگی و توسعه است، می‌تواند تعیین‌کننده وضعیت جنگ یا صلح در عصر حاضر باشد [۱]. توزیع و پراکنش حجم محدود آب در سطح کره زمین بسیار ناهمگون است و توزیع مکانی و زمانی آب نیز بسیار متغیر بوده و منطبق با پراکنش جمعیت و نیاز جوامع بشری نیست. بنابراین بین توان تأمین آب و شدت تقاضا خلأ ای وجود دارد که بحران‌آفرین است.

امروزه مدیریت منابع آب، با تأکید بر بهره‌برداری مشترک از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، در دستور کار کلیه سازمان‌های بهره‌بردار قرارگرفته است. در بهره‌برداری تلفیقی، نیازهای آبی بوسیله دو منبع سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شوند [۲]. استفاده مجزا از منابع می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی همچون کمبود آب در مواقع خشکسالی، ناپایداری در تولید محصول و حفظ محیط‌زیست، افت تراز سطح ایستابی و اختلاط آب شور و شیرین در نواحی ساحلی و افزایش هزینه پمپاژ در نتیجه برداشت بی‌رویه شود. درحالی‌که استفاده تلفیقی برنامه‌ریزی‌شده از منابع سطحی و زیرزمینی می‌تواند باعث افزایش ذخیره منابع آبی موجود، حداقل نمودن اثرات منفی استفاده مجزا از منابع و مدیریت مؤثر و بهینه آب شود.

بوراس[1] در سال ۱۹۶۷ یکی از نخستین مدل‌های بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی را منتشر نمود. او یک مدل توده‌ای را (که در آن آب زیرزمینی به صورت یک محیط همگن در نظر گرفته می‌شود) توسعه داد و از برنامه‌ریزی پویا برای حل مدل بهینه‌سازی حاصل استفاده کرد [۳]. مورل، سیتو و دالی[2] در سال ۱۹۷۵ روش ماتریس پاسخ واحد را برای سیستم‌های رودخانه-آبخوان توسعه دادند [۴]. ماتسوکاوا[3] و همکاران در سال ۱۹۹۰ یک مدل بهینه‌سازی را برای بهره‌برداری از یک سیستم سد-آبخوان در حوضه رودخانه Mad ارائه دادند [۵]. پرالتا[4] و همکاران در سال ۱۹۹۵ یک مدل بهینه‌سازی را برای بهره‌برداری تلفیقی در دشت آبرفتی "می سی سی پی" ارائه کردند. آن‌ها از روش درونگذاری برای حل مدل بهینه‌سازی

1 Buras
2 Morel-Seytoux & Dally
3 Matsukawa
4 Peralta

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ebrahim.valizadegan@iaukhoy.ac.ir

و فرمول‌بندی آن استفاده کردند [۶]. بارلو[1] و همکاران در سال ۲۰۰۳، یک مدل مدیریت تلفیقی، که شبیه‌سازی عددی را با بهینه‌سازی خطی تلفیق می‌کرد، برای ارزیابی تبادلات بین میزان برداشت از آب زیرزمینی و تخلیه آب سطحی در یک سیستم آبخوان-آبراهه در ایالات‌متحده به کار گرفتند [۷]. در سال ۲۰۰۶ پولیدو[2] و همکاران یک مدل اقتصادی-هیدرولوژیکی را برای بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی ارائه دادند. در این مدل تابع هدف به صورت اقتصادی و در جهت حداکثر نمودن منافع حاصل از بهره‌برداری منابع سطحی و زیرزمینی بود. نتایج این مطالعه نشان داد که در نظر گرفتن منافع اقتصادی در تخصیص‌ها می‌تواند باعث توسعه ظرفیت‌های موجود در سیستم گردد [۸]. همچنین اسکاپس[3] و همکاران در سال ۲۰۰۶، استفاده تلفیقی از منابع آب را در بهره‌برداری پایدار منابع آب مورد بررسی قراردادند و به نتایج خوبی دست یافتند [۹]. یانگ[4] در سال ۲۰۰۹ از تلفیق روش‌های الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی دینامیکی و مدل شبیه‌ساز آب زیرزمینی ISOGUAD برای حل یک مسئله چندهدفه مدیریت تلفیقی منابع آب استفاده کرد [۱۰].

در ایران نیز تحقیقات بسیاری در این زمینه صورت گرفته است. کارآموز و همکاران (۱۳۸۳)، کاربرد الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی را در بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی جنوب تهران، نشان دادند. هدف آن‌ها، ارائه یک الگوریتم بهره‌برداری بهینه در راستای تأمین نیاز آبی، کنترل تغییرات سطح آبخوان و کاهش هزینه پمپاژ بود. جهت دستیابی به این اهداف یک مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی تدوین و از نتایج مدل شبیه‌سازی Processing Modflow برای شبیه‌سازی تغییرات سطح آبخوان استفاده کردند. نتایج مدل شبیه‌ساز برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. جهت محاسبه سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، مدل شبکه عصبی آموزش داده شده آبخوان با یک مدل بهینه‌سازی بر مبنای الگوریتم ژنتیک تلفیق گردید. نتایج این مطالعات نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل و اهمیت وجود نگرش سیستمی در بهره‌برداری بهینه تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد [۱۱]. همچنین در مطالعات علی‌محمدی و همکاران (۱۳۸۴)، روش ذخیره سیکلی به منظور بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی به صورت پارامتر گسترده، توسعه داده شد. برای این منظور از روش ماتریس پاسخ تعمیم‌یافته استفاده شد [۱۲] قادری و همکاران نیز در سال ۱۳۸۵، به مطالعه بهره‌برداری بهینه تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت تهران-شهریار پرداختند. آن‌ها در این تحقیق از رویکرد درون‌گذاری برای واردکردن مدل شبیه‌سازی در مدل مدیریتی و همچنین برای حل مدل مدیریتی از روش برنامه‌ریزی خطی صحیح (MILP) استفاده کردند. نتایج به دست آمده زمان و مکان برداشت بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را نشان داد [۱۳]. بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه ابهر نیز توسط علی‌محمدی و همکاران در سال ۱۳۸۸، مورد توجه قرار گرفت. در این تحقیق ابتدا رفتار آب زیرزمینی به کمک مدل شبیه‌ساز مادفلو[5] در قالب ماتریس‌های پاسخ واحد مشخص و این مقادیر در مدل بهینه‌سازی قرار گرفت [۱۴]. همچنین اسمی‌خانی و همکاران در سال ۱۳۸۹، مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی را با کاربرد روش‌های ماشین‌های بردار پشتیبان و الگوریتم ژنتیک در محدوده مطالعاتی کوهپایه-سگزی در حوضه آبریز زاینده‌رود موردمطالعه قراردادند. نتایج حاصل از اجرای دو سناریوی مدیریتی مختلف در پژوهش آن‌ها نشان داد که در شرایط حاضر امکان تأمین نیاز آبی تمام اراضی قابل‌کشت منطقه وجود ندارد، ولی در صورت وجود آب سطحی کافی، تأمین کامل نیاز آبی امکان‌پذیر خواهد بود [۱۵].

از مطالعات صورت گرفته در خصوص مدیریت بهره‌برداری تلفیقی می‌توان دریافت که در پژوهش‌های انجام شده بخش‌هایی از یک سیستم منابع سطحی و زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته و به صورت یک هدف کاملاً مجزا، مدیریت بهره‌برداری از منابع انجام شده است. در این تحقیق با توجه به محدودیت‌های منابع و مصارف و اولویت‌های تخصیص از منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و دشت مهاباد و چالش‌های آبی و زیست‌محیطی این حوضه، رویکردی مبتنی بر ارتباط توام شبیه‌ساز-بهینه‌ساز در قالب شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک تدوین گردیده است تا مقادیر بهینه ماهانه برداشت از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی تعیین گردد. اگرچه ابزارهای مورد استفاده در این پژوهش به تنهایی ابزارهای نوینی در مسائل بهره‌برداری بهینه تلفیقی آب سطحی-زیرزمینی محسوب نمی‌گردند اما ترکیب آنها برای استخراج راهکاری برای مواجهه با چالش‌های آبی دشت مهاباد، از برتری‌های تحقیق حاضر به شمار می‌رود.

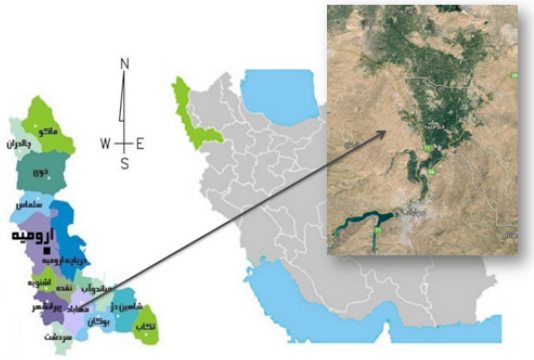
۲- مواد و روش‌ها

۲- ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

منطقه مهاباد یکی از مناطق کوهستانی ایران به‌حساب می‌آید. این ناحیه در موقعیت طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی از استوا قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۸۵ متر می‌باشد. دشت مهاباد با وسعت ۲۴۹ کیلومترمربع در جنوب دریاچه ارومیه قرار دارد. مهمترین شهری که در این محدوده قرار دارد مهاباد با جمعیتی بالغ بر ۱۴۷ هزار نفر است. در طول دوره آماری ۱۹۸۵ لغایت ۲۰۰۵ میلادی متوسط بارندگی سالانه ۴۱۳/۱ میلیمتر و متوسط رطوبت ۵۳ درصد بوده است. در این دوره میانگین دمای متوسط سالانه ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد و همچنین میانگین حداقل و حداکثر دمای سالانه به ترتیب ۶/۷ و ۱۸/۹درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. میانگین روزهای یخبندان نیز ۸۳/۹ روز بوده است [۱۶]. نقاط مرتفع این منطقه بر روی خطوط هم باران

1 Barlow
2 Pulido
3 Schoups
4 Yang
5 Modflow

۷۵۰ میلیمتر در سال قرار دارند و با کاهش ارتفاع از میزان بارندگی کاسته می‌شود و در انتهای شمال دشت به ۳۰۰ میلیمتر در سال می‌رسد. متوسط تبخیر سالانه از تشت ۱۸۶۰ میلیمتر و متوسط تبخیر از سطح آزاد ۱۵۶۰/۶ میلیمتر می‌باشد [۱۷]. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت مهاباد

Fig. 1. Geographical location of Mahabad Plain

۲- ۲- وضعیت منابع آب دشت مهاباد

۲- ۲- ۱- آب‌های سطحی

رودخانه مهاباد به‌عنوان اصلی‌ترین رودخانه در جهت جنوب به شمال این محدوده جریان دارد. سد مهاباد که کنترل‌کننده اصلی جریان سرشاخه‌های رودخانه مهاباد می‌باشد، در یک کیلومتری جنوب غربی شهر مهاباد واقع شده است. وسعت حوضه آبریز رودخانه مهاباد ۸۰۰ کیلومترمربع و دریاچه پشت این سد دارای ۳۶۰ هکتار وسعت است [۱۸]. در این محدوده‌ی مطالعاتی، ۶ ایستگاه هیدرومتری قرار دارد. وجود این ایستگاه‌های هیدرومتری که عهده‌دار اندازه‌گیری اطلاعات مربوط به آبدهی و جریان سطحی رودخانه در محل‌های خاص است، می‌تواند ابزار مهمی در تهیه بیلان منابع آب باشد. میزان جریان سطحی ورودی به دشت از رودخانه مهاباد، بر طبق آمارهای آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی مربوط به ایستگاه هیدرومتری پل‌سرخ به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱: جریان سطحی ورودی به دشت از رودخانه مهاباد (میلیون مترمکعب) ۱۹

Table 1. Surface flow into the plain of Mahabad River (MCM)

سال آبی			
۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۹۱-۹۲	۹۲-۹۳
۱۷۶/۸۵	۱۸۹/۹۴۵	۲۰۳/۰۴	۱۲۳/۳۸

جریان سطحی خروجی از دشت مهاباد نیز وارد محدوده جزایر دریاچه ارومیه می‌شود. میزان متوسط جریان سطحی خروجی از دشت طی دوره شاخص ۴۵ ساله ۱۷۰/۶ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است. در ۵ سال منتهی به سال ۸۹-۹۰ این نتیجه بدست آمد که میزان متوسط جریان سطحی خروجی نسبت به میانگین درازمدت ۴۵ ساله حدود ۶۸ درصد کاهش داشته و این در حالی است که تغییرات بارش در این محدوده در دوره یاد شده حدود ۹ درصد کاهش نشان می‌دهد [۱۹].

۲- ۲- ۲- آب‌های زیرزمینی

آبخوان آبرفتی از نوع آزاد با وسعت ۱۷۳ کیلومترمربع ۶۹/۵ درصد از گستره دشت را فراگرفته است. طبق آماربرداری سال ۱۳۹۰ تعداد ۱۷۱۵ حلقه چاه بهره‌برداری فعال شناسایی شده است که تراکم آن‌ها در بخش‌های شمالی آبخوان زیادتر است. آبدهی چاه‌ها بین ۰/۳ تا ۳۵ لیتر در ثانیه است. آبدهی ۸۷/۵ درصد چاه‌ها ۱۰ و کمتر از ۱۰ لیتر بر ثانیه است. در محدوده آبخوان مهاباد تعداد ۲۲ چاه مشاهداتی موجود است که به‌طور یکنواخت در محدوده آبخوان گسترده شده‌اند و حداقل عمق آب در آن‌ها ۱/۰۷ و حداکثر آن ۱۱/۶ متر است. دشت مهاباد از نظر توزیع رسوبات در بخش‌های مختلف دشت به نسبت همگن است. براساس لاگ چاه‌های موجود، جنس دشت در بخش‌های مختلف شامل تناوبی از رس، سیلت و گراول است که معمولاً از پایین به بالا اندازه دانه‌های گراولی ریز تا درشت یا برعکس می‌شود و در اکثر چاه‌ها دانه‌بندی تدریجی در آن‌ها مشاهده می‌شود. همچنین مشاهده شده است که تقریباً همه چاه‌ها به یک لایه از رس و سیلت، رس یا مارن ختم می‌شوند که ظاهراً نقش سنگ کف را ایفا می‌کند. هدایت هیدرولیکی در شمال شرقی دشت بیشترین مقدار (۲۰ متر در روز) را دارد و به طرف مرکز دشت از مقدار آن کاسته می‌شود بطوریکه در بخش‌های شمال غرب و شرق دشت کمترین مقدار (۴ متر در روز) مشاهده می‌گردد. قابلیت انتقال نیز بین ۲۸۱ تا ۹۳۳ مترمربع در روز تغییر می‌کند [۲۰]. بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری چاه‌های مشاهده‌ای از سال آبی ۸۳-۸۲ الی ۹۴-۹۳، سطح آب زیرزمینی به میزان ۱/۸۲ متر طی دوره ۱۱ ساله افت داشته است که متوسط سالانه آن برابر ۱۶/۵ سانتیمتر می‌باشد [۲۱].

۲- ۲- ۳- بیلان عمومی محدوده مطالعاتی

بیلان، ترازنامه بین عوامل ورودی و عوامل خروجی آب در یک محدوده مطالعاتی در زمان معین می‌باشد. در محدوده‌هایی که مجموع حجم عوامل خروجی که برداشت آب برای مصارف مهمترین آن است، بیش از حجم عوامل ورودی باشد، بیلان آب متعادل نبوده و اضافه برداشت از ذخایر ثابت آب به کمک عوامل ورودی می‌آید، تا موازنه برقرار گردد. در این حالت بیلان را منفی می‌نامند. در جدول ۲ بیلان عمومی مهاباد آورده شده است.

جدول ۲: بیلان عمومی مهاباد ۲۱

Table 2. General balance of Mahabad

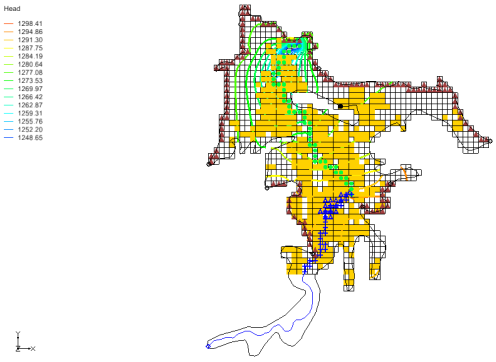
عوامل ورودی (MCM)						عوامل خروجی (MCM)						تغییرات حجم مخزن
بارندگی		جریان سطحی	جریان زیرزمینی	آب‌های انتقالی	جمع	تبخیر و تعرق			مصرف خالص	جریان سطحی	جریان زیرزمینی	آب‌های انتقالی	جمع	
ارتفاعات	دشت					بارندگی	آب آزاد	آبخوان						
۵۶۳/۹۱	۷۵/۲۷	–	–	–	۶۳۹/۱۸	۳۴۳/۲۳	۵۰/۵۱	۵/۳۱	۱۶۳/۶۳	۷۶/۶۳	۰/۲۷	–	۶۳۹/۵۸	-۰/۴

۲- ۳- مدل کمی بهره‌برداری تلفیقی بهینه

هدف نهایی از این تحقیق دست‌یابی به مقادیر برداشت آب از منابع آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در گام‌های زمانی یک‌ماهه در دشت مهاباد است، تا بتوان ضمن برآورد کلیهٔ قیود موجود، اختلاف بین مقادیر عرضه و تقاضای آب و افت سطح آب‌های زیرزمینی را به حداقل رساند. لازمهٔ دست‌یابی به این هدف، تنظیم و طرح ساختار مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی برای منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت است. برای حل این مسئله ابتدا باید مدل شبیه‌ساز آب‌های زیرزمینی دشت با استفاده از نرم‌افزار GMS (که از مدل ریاضی مادفلو استفاده می‌کند) برای شرایط منطقه واسنجی و صحت‌سنجی شود تا بتوان در گام‌های زمانی مختلف (یک‌ماهه) در طول یک سال معین مقدار تغییرات تراز سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی (ΔLym) را بدست آورد. از نتایج حاصل از اجرای مدل شبیه‌ساز آب‌های زیرزمینی برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی استفاده خواهد شد. سپس از نتایج شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده شده در مدل بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک استفاده می‌گردد تا سیاست بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌دست آید.

۲- ۳- ۱- مدل شبیه‌ساز آب زیرزمینی

در این تحقیق برای شبیه سازی جریان آب‌های زیرزمینی از مدل GMS استفاده گردیده است. این مدل که برای اولین بار برای منطقه مهاباد مورد استفاده قرار گرفته است، قادر به بهینه‌سازی ضرایب و سایر متغیرهای موجود در روابطی که در مدل از آن‌ها استفاده شده و توسط کاربر مدنظر قرار نگرفته می‌باشد. مدل مادفلو در نرم‌افزار GMS که برای مدلسازی کمی آب‌های زیرزمینی بکار می‌رود عمدتاً به روش عددی تفاضل محدود به شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی می‌پردازد. در این نرم‌افزار دو روش برای شبیه‌سازی آب زیرزمینی وجود دارد، یکی روش شبکه و دیگری روش مدل مفهومی. در این تحقیق با استفاده از روش مدل مفهومی عوارض مستقیماً از GIS وارد GMS شد. پوشش‌های مختلفی شامل مرز محدوده آبخوان، ورودی و خروجی‌های آب زیرزمینی، هدایت هیدرولیکی، رودخانه‌ها و زهکش‌ها، چاه‌های بهره‌برداری، چاه‌های مشاهده‌ای و نیز تغذیه سطحی در مدل مفهومی ایجاد گشت و عوارض وارد شده در قالب پوشش‌های ایجاد شده قرار گرفتند. پس از ساخت مدل مفهومی در نرم‌افزار و اختصاص داده‌ها، مدل در حالت ماندگار اجرا و مورد واسنجی و صحت سنجی قرار گرفت. سپس با ورود داده‌های مربوط به پارامترهای متغیر با زمان، نظیر آبدهی چاه‌های بهره‌برداری، تغذیه سطحی و چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین ایجاد گام‌های زمانی موردنظر، مدل به حالت ناماندگار تبدیل شد و اجرا گردید. شکل ۲ مدل نهایی آبخوان دشت مهاباد را نشان می‌دهد. در شکل ۳ هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی دشت پس از کالیبراسیون مدل ارائه شده است که مطابقت خوبی با هم دارند و نشان می‌دهد که مدل ریاضی دشت از مقبولیت خوبی برخوردار است.



شکل ۲: مدل شبیه‌ساز آب زیرزمینی دشت مهاباد

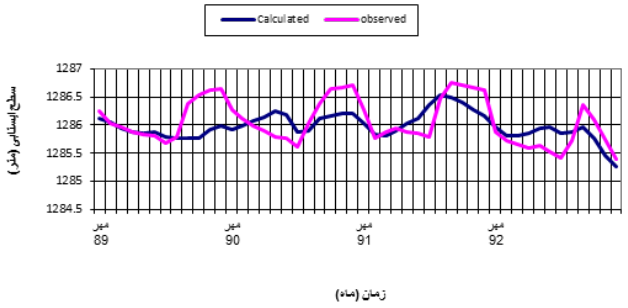
Fig. 2. Groundwater simulator model of Mahabad plain

۲- ۳- ۲- مدل بهینه‌سازی تلفیقی

۲- ۳- ۳- ۱-بهینه‌سازی و الگوریتم‌های فراکاوشی

امروزه بهینه‌سازی یکی از روش‌های قدرتمند در سیستم‌های مدیریتی می‌باشد. در علوم ریاضی بهینه‌سازی به یافتن بهترین جواب از مجموعه

جواب‌های موجود با حضور یا عدم حضور قید یا قیدهای مختلف می‌پردازد. بطورکلی، دلیل اینکه مهندسین یک سیستم را بهینه می‌کنند، بهبود عملکرد در جهت بدست آوردن بیشترین منافع و سود است [۲۲] با توجه به اینکه در ایران آب یک منبع محدودکننده توسعه است، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی، راهکاری برای مدیریت بهتر منابع آب است. روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی اغلب بر پایه‌ی مفهوم‌های ریاضی بوده و در آن‌ها از روش‌های حل ریاضی استفاده می‌شود. در این روش‌ها از حل مستقیم دستگاه معادلات یا روش‌های محاسباتی عددی استفاده می‌شود و به جواب‌های بهینه مطلق و گاهی موضعی دست می‌یابند. در دهه‌های اخیر استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مدرن نظیر الگوریتم‌های تکاملی و فراکاوشی در علوم مهندسی به منظور پوشش ضعف‌های روش‌های کلاسیک فراگیر شده است. این روش‌ها با الگو گرفتن از فرآیندهای طبیعی موجود در طبیعت و موجودات زنده به جستجوی فضای تصمیم می‌پردازند. اساس همگی این روش‌ها انجام تعداد زیادی سعی و خطا است که در طی آن با استفاده از منطق الگوریتم سعی و خطا به سمت جواب بهینه هدایت می‌شود. اگرچه روش‌های مدرن در مسئله‌های مشابه دقت و اطمینان روش‌های کلاسیک را ندارند، ولی فرار از بهینه‌های موضعی، سادگی کاربرد، عدم نیاز به محاسبه مشتق‌ها و توانایی حل و ارائه جواب برای مسئله‌های پیچیده مهندسی را می‌توان از مهمترین برتری‌های آن‌ها شمرد. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم ژنتیک (GA) اشاره کرد [۲۳].



شکل ۳: مقایسه هیدورگراف درازمدت مشاهداتی و محاسباتی آبخوان مهاباد

Fig. 3. Comparison of long-term observational and computational Hydrograph of Mahabad aquifer

۲- ۳- ۳- ۲- ساختار مدل بهینه‌سازی

برای حل هر مسئله بهینه‌سازی باید یک تابع هدف تنظیم کرد که تمامی اهداف مسئله و محدودیت‌ها در آن گنجانده شود. مسئله مورد نظر در این تحقیق، یک مسئلهٔ بهینه‌سازی چندهدفه می‌باشد و ساختار تابع هدف پیشنهادی و قیود مربوطه به صورت زیر است که مشابه آن توسط کارآموز و همکاران [۲۴] استفاده گردیده است:

- تابع هدف

$$\min \; W_1 Z_1 + W_2 Z_2 \qquad W_1 + W_2 = 1 \tag{۱}$$

- محدودیت‌ها

$$Z_1 = \begin{cases} 0 & if \;\; D_{ym} \le R_{ym} + G_{ym} \\ \sum_{y=1}^{Y}\sum_{m=1}^{12}\left[\left(D_{ym} - Q_{ym} - G_{ym}\right)/D_{ym}\right]/(12\times Y) & if \;\; D_{ym} \ge R_{ym} + G_{ym} \end{cases} \tag{۲}$$

$$Z_2 = \sum_{y=1}^{Y}\sum_{m=1}^{12}\left[\left(\Delta L_{ym} / \Delta L_{\max}\right)\right]/(12\times Y) \tag{۳}$$

$$\Delta L_{ym} = f\left(G_{ym}\right) \tag{۴}$$

$$Q_{ym} \le R_{ym} \tag{۵}$$

در اینجا هدف از بکار بردن الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه، ایجاد یک رابطه متقابل مناسب بین اهداف طراحی است. به عبارتی طبق روابط فوق، هدف اول (Z_1) حداقل‌سازی اختلاف بین عرضه و تقاضای آب و هدف دوم (Z_2) حداقل‌سازی افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی است. در روابط فوق، D_{ym} مقدار آب مورد نیاز، Q_{ym} مقدار آب برداشتی از منابع آب‌های سطحی، G_{ym} مقدار آب برداشتی از منابع آب‌های زیرزمینی، R_{ym} مقدار آب موجود در منابع آب‌های سطحی و ΔL_{ym} مقدار افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در ماه m از سال y می‌باشد. همچنین ΔL_{max} مقدار حداکثر افت مجاز سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در دشت، Y تعداد سال‌های افق برنامه‌ریزی و W_1 و W_2 به ترتیب مقادیر وزنی تابع هدف اول و تابع هدف دوم هستند.

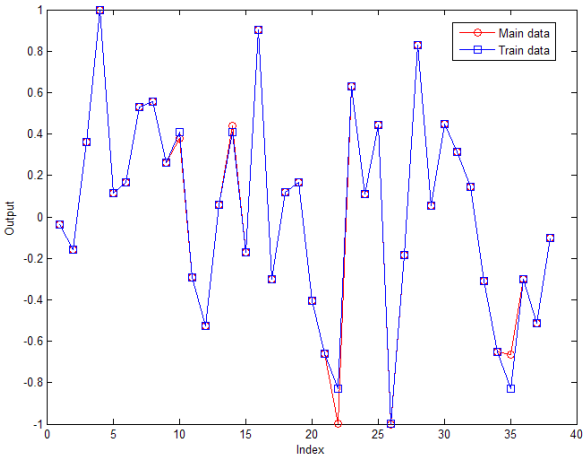
در این تحقیق صرفاً آمار و اطلاعات ماهانه جریان‌های سطحی در منطقه موردنیاز است. این پارامتر در یکی از قیدهای مدل بهینه‌سازی استفاده شده است رابطه۵.بنابراین نیازی به شبیه‌سازی کمی آب‌های سطحی نیست. همچنین در این تحقیق مجموع کلیه نیازهای شرب، زیست‌محیطی، کشاورزی و صنعت در ماه y و سال m تحت عنوان نیاز آبی (D_{ym}) مدنظر قرارگرفته‌اند که بایستی بخشی از آن از طریق منابع آب سطحی و بخشی دیگر از طریق آب‌های زیرزمینی تأمین شود. اینکه از مقدار بهینه‌ی تعیین‌شده برداشت آب از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی چقدر برای مصرف شرب و صنعت و چقدر برای مصرف کشاورزی استفاده شود، قابل‌تعیین نخواهد بود. اما تا حد امکان برای مصرف کشاورزی از مقدار بهینهٔ آب سطحی و برای مصارف شرب و صنعت از مقدار بهینهٔ آب زیرزمینی استفاده می‌شود (چون غالباً کیفیت آب‌های سطحی با استانداردهای لازم برای شرب و صنعت اختلاف فاحشی دارند). در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه می‌توان اهداف را با وزن‌دهی ساده با یکدیگر مرتبط کرد. در این پژوهش با توجه به تابع هدف مسئله خواسته نهایی، مینیمم‌سازی دو تابع Z_1 و Z_2 است که با یک وزن دهی ساده و نیز با در نظر گرفتن اهمیت (وزن) هر کدام از توابع کل مسئله تبدیل به یک مسئله تک‌هدفه مقید می‌گردد و به راحتی با تکنیک‌های

الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه قابل‌حل است.

به منظور تحلیل و بررسی نسبت بین توسعه و بهره‌برداری از منابع آب یک حوضه آبریز و یا یک محدوده مطالعاتی از شاخص فنی استفاده می‌شود. نسبت برداشت یا بهره‌برداری از منابع آب به کل پتانسیل آبی یک محدوده را به عنوان شاخص فنی در نظر می‌گیرند. برای حفظ شرایط طبیعی و پایدار یک حوضه آبریز، این نسبت باید همواره کمتر از ۷۰ درصد باشد. اگر این شاخص از ۷۵ درصد فراتر رود توسعه، نامتعادل و موجب ایجاد اختلال در شرایط طبیعی حوضه آبریز می‌گردد [۲۵]. شاخص فنی مربوط به منابع آب سطحی مهاباد بالاست (حدود۹۷/۹ درصد) و همچنین با توجه به وضعیت بحرانی دریاچه ارومیه هرگونه توسعه بهره‌برداری از منابع آب سطحی در این محدوده مطالعاتی باعث تشدید شرایط بحرانی می‌گردد. اما باید به این نکته نیز توجه داشت که مصرف بی‌رویه آب‌های زیرزمینی تبعات جبران‌ناپذیری را در پی خواهد داشت. با توجه به موارد فوق و همچنین با بهره‌گیری از نظر کارشناسان مربوطه، در این تحقیق فرض بر این است که وزن تابع اول ۰/۳ و وزن تابع دوم ۰/۷ می‌باشد. در این صورت خواهیم داشت:

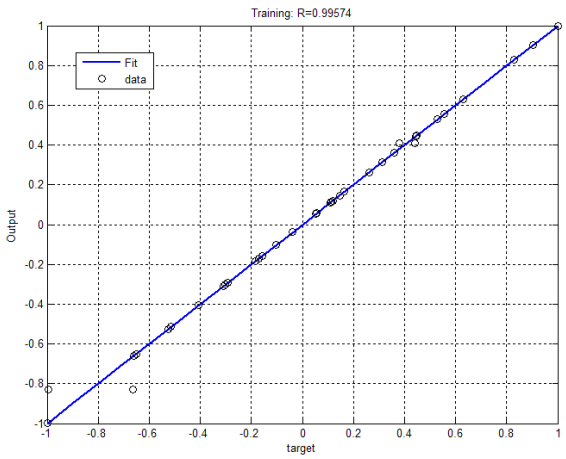
$$\min \quad 0/3Z_1+0/7Z_2$$

بر اساس آمارهای موجود که از مطالعات کتابخانه‌ای و اداره منابع آب شهرستان مهاباد بدست آمده است، مقادیر آب موردنیاز (D_{ym}) و آب‌های موجود در منابع آب سطحی (R_{ym}) منطقه در جدول ۳ آورده شده است. همچنین میزان حداکثر افت سطح ایستابی آبخوان (ΔL_{max}) بر اساس آمار ۴ ساله چاه‌های مشاهداتی منطقه، ۴/۳۳ متر تخمین زده شد. در این تحقیق برای حل مسئله بهینه‌سازی، از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. کد تابع برازش مسئله بهینه‌سازی حاضر در دو بخش شبکه عصبی مصنوعی و تابع اصلی نوشته شد. هدف از بکار بردن شبکه عصبی مصنوعی در مدل بهینه‌سازی حاضر، یافتن رابطه‌ای برای ΔL_{ym} بر حسب میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی یا همان G_{ym} است که توسط مدل شبیه‌ساز مادفلو بدست آمده است. کروموزومی که الگوریتم ژنتیک تولید می‌کند یک بردار با ۹۶ ژن است. به محض شروع بکار الگوریتم ژنتیک ابتدا شبکه عصبی مصنوعی بوسیله دو دسته داده که همان ΔL_{ym} و G_{ym} بدست آمده از مدل مادفلو هستند، شروع به آموزش می‌کند. نمودارهای ناشی از اجرای شبکه‌ی عصبی مصنوعی از آموزش خوب داده‌ها حکایت دارند. بطوریکه در شکل ۴ نمایان است، نمودار داده‌های اصلی و آموزش‌دیده تقریباً بر هم منطبق هستند و همچنین در شکل ۵ ضریب رگرسیون ۰/۹۹۶ بدست آمده است که نشان می‌دهد آموزش شبکه‌ی عصبی مصنوعی نزدیک به واقعیت است. پس از آموزش شبکه عصبی مصنوعی، ۴۸ ژن ابتدایی بردار متغیرها (۴۸ ماه) که همان G_{ym}های تولیدی الگوریتم ژنتیک هستند در داخل شبکه عصبی قرار گرفته و شبیه‌سازی می‌شوند و در نهایت ΔL_{ym} جدید تولید شده در تابع هدف اصلی قرار می‌گیرد و الگوریتم ژنتیک با توجه به محدودیت‌ها شروع به بهینه‌سازی مسئله خواهد نمود. این روند تا رسیدن به جواب بهینه ادامه می‌یابد.



شکل ۴: نمودار داده‌های حاصل از مدل شبیه‌ساز و آموزش‌دیده در شبکه عصبی مصنوعی

Fig. 4. Graph of data from simulated and trained model in artificial neural network



شکل ۵: نمودار برازش داده‌های آموزش‌دیده و ضریب رگرسیون آن (۰/۹۹۶)

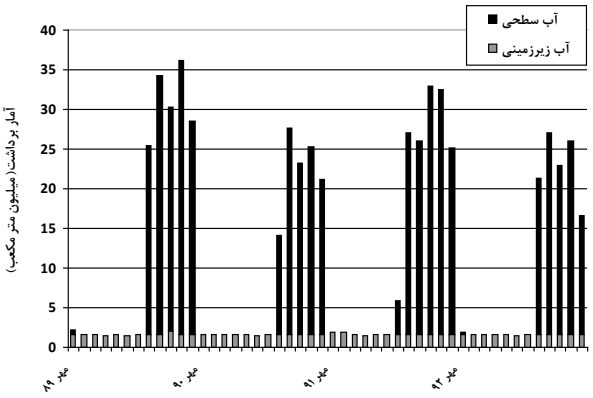
Fig. 5. Fit diagram of trained data and its regression coefficient (0.996)

۳- نتایج

هدف از این تحقیق تعیین میزان برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی بر اساس نیاز آبی منطقه است ، به‌گونه‌ای که منابع آب در یک تعادل پایدار قرار گیرند و همچنین سطح ایستابی آب زیرزمینی افت شدیدی را تجربه نکند. بر اساس آمار، مقادیر واقعی آب تأمین‌شده از منابع آب زیرزمینی و سطحی در حال حاضر، طی ماه‌های مختلف مطابق شکل ۶ می‌باشد. چنانچه ملاحظه می‌شود میزان مصرف آب زیرزمینی در حد ثابتی است، اما در فصول گرم سال و در واقع فصولی که کشاورزی رونق دارد، مصرف آب سطحی به شدت بالا می‌رود و این نشان‌دهنده عدم تعادل مصرف آب‌های

سطحی دشت است. مسئله عدم توازن در مصرف آب‌های سطحی دشت با توجه به کاهش بارندگی، پدیده خشکسالی و همچنین افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در سال‌های آتی اهمیت بیشتری خواهد یافت. در نتیجه می‌بایست مصرف آب در دشت مهاباد بهینه گردد تا فشار بیش از حد متوجه یک منبع آبی نشود و بتوان با یک مصرف بهینه و پایدار، این سرمنشأ حیات را از خطر نابودی نجات داد. پر واضح است که کمبود منابع آب بحران‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی فراوانی را بوجود خواهد آورد.

با اجرای الگوریتم ژنتیک، مدل توانست مسئله بهینه‌سازی حاضر را پس از ۲۲۰۰۰ تکرار حل نماید. طبق این حل، مقدار تابع برازش در نسل آخر برابر با $-2/98 \times 10^{-12}$ است. همچنین مقادیر بهینه برای بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی دشت مهاباد در یک افق چهار ساله به صورت جدول ۴ و همچنین شکل ۷ بدست آمد. یافتن این مقادیر بهینه به معنای به حداقل رسیدن اختلاف بین عرضه و تقاضای آب و نیز استفاده پایدار از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی برای تأمین نیازهای آبی دشت است. این شیوه مدیریتی به‌راحتی برای سال‌های آتی نیز قابل‌تعمیم است که بر این اساس می‌توانیم یک دید جامع و کلی از وضعیت منابع آب دشت بدست آورده و در جهت برنامه‌ریزی‌های کلان از آن استفاده کنیم.



شکل ۶: سهم آب تأمین‌شده از آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد

Fig. 6. The share of water supplied from surface and underground waters of Mahabad plain

جدول ۳: مقادیر آب موردنیاز D_{ym} و آب موجود در منابع آب سطحی R_{ym} دشت مهاباد

Table 3. Values of required water (D_{ym}) and water in surface water resources (R_{ym}) of Mahabad Plain

سال آبی	۸۹-۹۰		۹۰-۹۱		۹۱-۹۲		۹۲-۹۳	
	D_{ym}	R_{ym}	D_{ym}	R_{ym}	D_{ym}	R_{ym}	D_{ym}	R_{ym}
مهر	۲/۱۵۵	۰/۴۷	۱/۶۰۲	۴/۰۴	۱/۹۶۵	۰/۵۱	۱/۹۲۲	۰/۲۸
آبان	۱/۵۵۴	۰/۴۶	۱/۵۵۴	۳/۸۵	۱/۹۷۸	۴/۳۴	۱/۶۴۴	۱/۵۹
آذر	۱/۵۵۴	۲/۹۴	۱/۵۵۴	۱۲/۳	۱/۶۰۶	۱۰/۴۹	۱/۵۵۴	۶/۴۷
دی	۱/۵۰۲	۴/۷۲	۱/۵۵۴	۹/۴۷	۱/۵۰۲	۲۱/۲۶	۱/۵۵۷	۵/۸۵
بهمن	۱/۵۵۴	۵/۹۴	۱/۵۵۴	۲۵/۱۲	۱/۵۵۴	۶۲/۸۶	۱/۵۵۷	۱۷/۶۵
اسفند	۱/۵۰۲	۱۸/۴۸	۱/۵۰۲	۲۰/۵۴	۱/۵۵۴	۵۴/۴۵	۱/۵۰۵	۳۲/۲۸
فروردین	۱/۶۰۶	۹۵/۶۱	۱/۶۰۶	۳۹/۳۵	۵/۸۶۱	۳۳/۴۵	۱/۶۰۶	۴۴/۶۲
اردیبهشت	۲۵/۴۸۱	۴۳/۳۹	۱۴/۱۰۴	۱۷/۱۷	۲۷/۰۲۹	۱۱/۶۲	۲۱/۲۶۲	۱۱/۰۹
خرداد	۳۴/۱۹۸	۳/۹۹	۲۷/۶۰۲	۲/۴۹	۲۵/۹۸۹	۳/۱۲	۲۶/۹۹۵	۲/۶۳
تیر	۳۰/۲۹۶	۰/۴۱	۲۳/۲۸۳	۰/۱	۳۲/۹۴۸	۰/۵۴	۲۲/۹۸۱	۰/۷۴
مرداد	۳۶/۲۱۲	۰/۴۰	۲۵/۲۳۵	۰/۱۷	۳۲/۵۶۹	۰/۱۶	۲۶/۰۹۷	۰/۱
شهریور	۲۸/۴۷۱	۰/۰۴	۲۱/۲۱۶	۰/۰۴	۲۵/۱۸۴	۰/۲۴	۱۶/۶۷۱	۰/۰۸

ارقام برحسب میلیون مترمکعب می‌باشد

جدول ۴: مقادیر بهینه بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی دشت مهاباد

Table 4. Values of optimum utilization of groundwater resources in Mahabad plain

آب سطحی	آب زیرزمینی	نیاز آبی	ماه	سال	آب سطحی	آب زیرزمینی	نیاز آبی	ماه	سال
۰/۵۰۶	۱/۴۵۹	۱/۹۶۵	مهر	سال سوم	۰/۴۷	۱/۶۸۵	۲/۱۵۵	مهر	سال اول
۰/۹۹۰	۰/۹۹۷	۱/۹۷۸	آبان		۰	۱/۵۵۴	۱/۵۵۴	آبان	
۰/۳۹۳	۱/۲۱۳	۱/۶۰۶	آذر		۱/۵۵۴	۰	۱/۵۵۴	آذر	
۰	۱/۵۰۲	۱/۵۰۲	دی		۰/۸۳۶	۰/۶۶۶	۱/۵۰۲	دی	
۰	۱/۵۵۴	۱/۵۵۴	بهمن		۰/۹۴۲	۰/۶۱۲	۱/۵۵۴	بهمن	
۰/۶۱۶	۰/۹۳۸	۱/۵۵۴	اسفند		۱/۵۰۲	۰	۱/۵۰۲	اسفند	
۳/۰۰۸	۲/۸۵۳	۵/۸۶۱	فروردین		۰/۸۱۰	۰/۷۹۶	۱/۶۰۶	فروردین	
۱۱/۶۰	۱۵/۴۲۹	۲۷/۰۲۹	اردیبهشت		۱۳/۴۹۵	۱۱/۹۸۶	۲۵/۴۸۱	اردیبهشت	
۲/۹۸۰	۲۳/۰۰۹	۲۵/۹۸۹	خرداد		۳/۸۱۷	۳۰/۳۸۱	۳۴/۱۹۸	خرداد	
۰/۳۲۳	۳۲/۶۲۵	۳۲/۹۴۸	تیر		۰/۲۲۰	۳۰/۰۷۶	۳۰/۲۹۶	تیر	
۰	۳۲/۵۶۹	۳۲/۵۶۹	مرداد		۰/۱۵۵	۳۶/۰۵۷	۳۶/۲۱۲	مرداد	
۰/۲۴	۲۴/۹۴۴	۲۵/۱۸۴	شهریور		۰/۰۴۰	۲۸/۴۳۱	۲۸/۴۷۱	شهریور	
۰/۲۷۶	۱/۶۴۶	۱/۹۲۲	مهر	سال چهارم	۱/۶۰۲	۰	۱/۶۰۲	مهر	سال دوم
۰/۲۲۴	۱/۴۲۰	۱/۶۴۴	آبان		۱/۱۵۵	۰/۳۹۹	۱/۵۵۴	آبان	
۰/۱۲۴	۰/۴۳۰	۱/۵۵۴	آذر		۰/۹۰۲	۰/۶۵۲	۱/۵۵۴	آذر	
۰/۵۴۲	۱/۰۱۵	۱/۵۵۷	دی		۱/۱۶۵	۰/۳۸۹	۱/۵۵۴	دی	
۱/۰۷۸	۰/۴۷۹	۱/۵۵۷	بهمن		۰/۵۵۳	۱/۰۰۱	۱/۵۵۴	بهمن	
۰	۱/۵۰۵	۱/۵۰۵	اسفند		۰/۷۲۶	۰/۷۷۶	۱/۵۰۲	اسفند	
۰/۱۶۵	۱/۴۴۱	۱/۶۰۶	فروردین		۰/۲۲۳	۱/۳۸۳	۱/۶۰۶	فروردین	
۱۰/۳۴۸	۱۰/۹۱۴	۲۱/۲۶۲	اردیبهشت		۷/۱۹۴	۶/۹۱۰	۱۴/۱۰۴	اردیبهشت	
۲/۴۷۳	۲۴/۵۲۲	۲۶/۹۹۵	خرداد		۲/۳۲۸	۲۵/۲۷۴	۲۷/۶۰۲	خرداد	
۰/۷۴۰	۲۲/۲۴۱	۲۲/۹۸۱	تیر		۰	۲۳/۲۸۳	۲۳/۲۸۳	تیر	
۰	۲۶/۰۹۷	۲۶/۰۹۷	مرداد		۰/۱۰۱	۲۵/۱۳۴	۲۵/۲۳۵	مرداد	
۰/۰۸۰	۱۶/۵۹۱	۱۶/۶۷۱	شهریور		۰/۰۴۰	۲۱/۱۷۶	۲۱/۲۱۶	شهریور	

ارقام برحسب میلیون مترمکعب می‌باشد

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی و بدون نیاز به فرآیندهای پیچیده ریاضیات یک مدل کمی برای بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی دشت مهاباد ارائه گردد. نتایج این تحقیق به طور خلاصه به صورت زیر قابل جمع‌بندی است:

۱. بر اساس یافته‌های این تحقیق، بخش کشاورزی عمده‌ترین بخش مصرف‌کننده آب در منطقه است. در نتیجه برنامه‌های مدیریتی باید در این بخش مورد تأکید بیشتری قرار گیرد. از جمله‌ی این اقدامات می‌توان به توسعه و بهینه‌سازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اصلاح الگوی کشت با توجه به استعداد کشاورزی منطقه، توسعه شیوه‌های نوین آبیاری و ... اشاره کرد.

۲. در محدوده مورد مطالعه یعنی دشت مهاباد، عوامل متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد در سال‌های آتی به سمت بحران کمبود آب پیش می‌رویم. ازجمله کاهش بارندگی‌های سالانه، کاهش ورودی آب سطحی بطوریکه در سال آبی ۹۰-۸۹، میزان آب ورودی سطحی به دشت ۱۷۶/۸۵ میلیون مترمکعب بوده است. این رقم

در سال آبی ۹۳-۹۲ به ۱۲۳/۳۸ میلیون مترمکعب کاهش یافته است، کاهش سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی، رشد بی‌قاعده و قانون زمین‌های کشاورزی و باغات تحت کشت، افزایش جمعیت شهری و دیگر موارد.

۳. بر اساس بیلان آب مهاباد، مهمترین عامل ورود آب به دشت، بارندگی است که رقمی بالغ بر ۶۳۹/۱۸ میلیون مترمکعب در سال را شامل می‌شود. همچنین مجموع عوامل خروجی دشت مهاباد، اندکی بیش از عوامل ورودی است. بنابراین تغییرات حجم مخزن منابع آب مهاباد منفی است (۰/۴-) و این خود عامل محدوده کننده منابع آب در منطقه محسوب می‌شود.

۴. به منظور تحلیل و بررسی نسبت بین توسعه و بهره‌برداری از منابع آب یک حوضه آبریز و یا یک محدوده مطالعاتی از شاخص فنی استفاده می‌شود. این شاخص همواره باید کمتر از ۷۰ درصد باشد. شاخص فنی منابع آب سطحی مهاباد در شرایط فعلی ۹۷/۹ درصد است. در واقع این شاخص بیان می‌کند که امکان توسعه بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی مهاباد وجود ندارد و حتی باید با بهره‌برداری بهینه از منابع آب این محدودیت را جبران کرد.

۵. افت تراز ایستابی در دشت مهاباد بر اساس هیدروگراف واحد دشت در یک دوره ۱۱ ساله (طی سال‌های آبی ۸۳-۸۲ تا ۹۴-۹۳) برابر با ۱/۸۲ متر (افت سالانه ۰/۱۷ متر) و بر اساس مدل شبیه‌ساز آب زیرزمینی در طول دوره تحقیق یعنی از سال آبی ۹۰-۸۹ تا ۹۳-۹۲ برابر با ۰/۸۶ متر (افت سالانه ۰/۲۱ متر) می‌باشد. با این روند افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت از ضخامت لایه اشباع در آینده کاسته خواهد شد. بطوریکه می‌توان نتیجه گرفت بسیاری از چاه‌های بهره‌برداری که در عمق‌های بالا به آب دسترسی دارند، مسدود و یا با خطر خشک شدن مواجه خواهند شد.

۶. بر اساس محدودیت‌های ذکر شده مربوط به آب‌های سطحی و زیرزمینی و بر اساس یافته‌های این تحقیق بهترین و مؤثرترین راه‌حل مقابله با بحران کمبود منابع آب بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است.

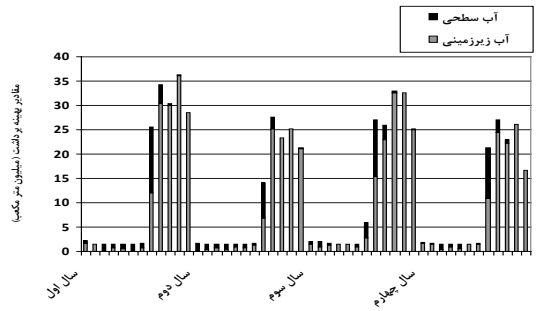
۷. در این تحقیق برای پیاده کردن سیستم مورد نظر برای وارد کردن نتایج مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی (نرم‌افزار GMS) در مدل مدیریتی از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شده است. نتایج بدست آمده نشان از قدرت و کارایی این مدل در حل مسائل بزرگ‌مقیاس و بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد دارد.

۸. شبکه عصبی مصنوعی که توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز آموزش داده شده است، توانست جایگزین خیلی مناسب بجای استفاده مستقیم از نرم‌افزار شبیه‌ساز در سیستم شبیه‌سازی – بهینه‌سازی باشد. چرا که بدلیل طولانی شدن زمان اجرا، امکان استفاده مستقیم از نرم‌افزار شبیه‌ساز آب‌های زیرزمینی در سیستم شبیه‌ساز – بهینه‌ساز حاضر وجود ندارد.

۹. سیاست بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در دشت مهاباد، باعث حداقل شدن اختلاف بین عرضه و تقاضای آب به مقدار $۲/۹۸\times۱۰^{-۱۲}$- (نزدیک به صفر) و همچنین ثابت نگه‌داشتن تقریبی تراز سطح آب زیرزمینی در کد ۱۲۸۱/۰۶۱ گردید.

۱۰. با توجه به تأثیر تغییرات سالانه و ماهانه عواملی مانند بارندگی در برنامه‌ریزی بهره‌برداری تلفیقی بهینه، میزان بهره‌برداری بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را به‌طورقطع نمی‌توان تعیین نمود. نتایج بدست آمده از این تحقیق تقریب‌هایی نزدیک به واقعیت هستند، چراکه با اعمال این نتایج، تا حدود زیادی می‌توان از اثرات منفی برداشت بی‌رویه و حساب‌نشده کاهش داد. بر این اساس سهم تقریبی آب تأمینی از منابع آب، به ترتیب ۱۳/۵ درصد مربوط به آب‌های سطحی و ۸۶/۵ درصد مربوط به آب‌های زیرزمینی است.

۱۱. با توجه به مشکل کمبود داده‌ها در این تحقیق، می‌بایست با تکمیل دادها و یا استفاده از تکنیک‌هایی برای مواجهه با عدم قطعیت ناشی از کمبود داده ها، مطالعه در این زمینه را گسترش داد.



شکل ۷: مقادیر بهینه بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد

Fig. 7. Values of optimum utilization of groundwater resources in Mahabad plain

مراجع

[1] S. Sadeghi, Hydraulic and water crises, political and economic information Journal, 45 (2006).

[2] V. Kimiagar Kotk Lahijani, Optimization the distribution system of river - aquifer by combining separate approaches and telescopic magnification network, M.Sc. Thesis, University of martyr Abbaspoor water and electricity industry, 2010.

[3] N. Buras, Conjunctive operation of dams and aquifers, Journal of Hydraulic Div., 89(6) (1967) 111-131.

[4] H.J. Morel-Seytoux, C.J. Daly, A discrete kernel generator for stream aquifer studies, Water Resources Research, 11(2) (1975) 253-260.

[5] J. Matsukawa, B.A. Finney, R. Willis, Conjunctive-use planning in mad river basin,California, Journal of Water Resour. Plan. Manag, 11(2) (1990) 115-132.

[6] R.C. Peralta, R.R.A. Cantiller, et al, Optimal large-scale conjunctive water-use planning: case study, Journal of Water Resources Planning and Management, 121(6) (1995) 471-478

[7] P.M. Barlow, D.P. Ahlfeld, et al, Conjunctive-management models for sustained yield of stream-aquifer systems, Journal of Water Resources Planning and Management, 129(1) (2003) 35-48.

[8] M. Pulido Velazquez, J.N. Andreu, et al, Economic optimization of conjunctive use of surface water and groundwater at the basin scale, Journal of Water Resources Planning and Management, 132(6) (2006) 454-467.

[9] G. Schoups, C.L. Addams, et al, Reliable conjunctive use rules for sustainable irrigated agriculture and reservoir spill control, Water resources research, 42(12) (2006)1-15.

[10] C.C Yang, L.C. Chang, et al, Multi-objective planning for conjunctive use of surface and subsurface water using genetic algorithm and dynamics programming, in: Water resources management, 23(3) (2009) 417-437.

[11] M. Karamouz, M. Mohammad Reza Pour Tabari, R. Kerachyan, Conjunctive use of surface and underground water resources in southern Tehran:Application of genetic algorithms and artificial neural network models, first conference of Iran Water Resources Management, Tehran, 2004.

[12] S. Alimohammadi, Optimum design and planning of surface water and groundwater system-cyclic storage approach, Ph.D. Thesis in Civil Eng, Iran University of Science and Tech, Tehran, 2005.

[13] K. Ghaderi, H. Eslami, SJ. Mousavi, Optimization conjunctive use of surface and groundwater of Tehran-Shahriar plain, Second conference of water resources management, Esfahan, 2006.

[14] S. Alimohammadi, H. Hosseinzadeh, Conjunctive Use of Surface Water and Groundwater Resources in Abhar River Basin, Journal of Water and Wastewater, 3 (2010) 75-87.

[15] M. Esmikhani, H. Safavi, M. Yazdanipour, Conjunctive management of surface and underground using support vector Machines and genetic algorithms, Fifth national congress of civil engineering, Mashhad university, (2010).

[16] Monthly data of synoptic meteorological station. Available, in: http://www.cri.ac.ir/show=251 (Accessed 6 September 2016).

[17] K. Bahramzadeh, Prediction of hydraulic changes in Mahabad plain groundwater using artificial neural network, M.Sc. Thesis, Islamic Azad University of Maragheh, 2015.

[18] N. Himen, M. Sabouni, Mahabad dam water allocation management using goal programming priorities, Journal of Agricultural Economics, 3(3) (2011) 1-16.

[19] W.A.S.D. Engineers, The updating study of the Urmia Lake basin water balance, Report of water balance in Mahabad (code 3009), 2012.

[20] K. Bahramzadeh, Prediction of hydraulic changes in Mahabad plain groundwater using artificial neural network, M.Sc. Thesis, Islamic Azad University of Maragheh, 2015.

[21] W.A.S.D. Engineers, The updating study of the Urmia Lake basin water balance, Report of water balance in Mahabad (code 3009), 2012.

[22] M. Amidpour, Application optimization in the engineering issues, Tehran, University of Khajeh Nasiroddin Tusi, 2011.

[23] O. Bozorg Haddad, Water Resources Systems Optimization, Tehran, University of Tehran, 2014.

[24] M. Karamouz, M. Mohammad Reza Pour Tabari, R. Kerachyan, Conjunctive use of surface and underground water resources in southern Tehran:Application of genetic algorithms and artificial neural network models, in: Iran Water Resources Management first conference, Tehran, 2004.

[25] W.A.S.D. Engineers, The updating study of the Urmia Lake basin water balance, Report of water balance in Mahabad (code 3009), 2012.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

E. Valizadegan, S. Yazdanpanah, Quantitative model of optimal conjunctive use of Mahabad plain's surface and underground water resources, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(4) (2018) 631-640.

DOI: 10.22060/ceej.2017.12739.5266