اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۵، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص ۱۳۱۹-۱۳۰۹

کاربرد الگوریتم نوین شبیه‌ساز بهینه‌ساز LSSVM-PSO در طراحی شبکهٔ بهینهٔ پایش تراز سطح آب زیرزمینی

محدثه کاووسی[۱]، عباس خاشعی سیوکی[۲*]، محسن پوررضا بیلندی[۳]، محمدحسین نجفی[۳]

۱. کارشناس ارشد منابع آب، دانشگاه بیرجند

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۳/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۷/۰۱)

چکیده

بهینه‌سازی شبکهٔ پایش در منابع آب، یک فرایند تصمیم‌گیری به منظور داشتن بهترین ترکیب برای ایستگاه‌های موجود است. در تحقیق حاضر از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات PSO به منظور تعیین تعداد و موقعیت بهینهٔ چاه‌های مشاهداتی استفاده شده است. ابتدا، با استفاده از مدل حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان و با پارامترهای ورودی مختصات جغرافیایی، تبخیر، بارندگی دو ماه قبل، تراز سطح زمین و سطح ایستابی یک ماه قبل با تابع کرنل RBF سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی شد و تعداد ۴۲ چاه مشاهده‌ای بهینه به دست آمد. سپس، با ارتباط مدل LSSVM و مدل PSO موقعیت مناسب چاه‌های مشاهده‌ای تحت دو سناریو تعیین شد. در سناریوی نخست موقعیت تعداد چاه‌های مشاهده‌ای ثابت ۴۲ حلقه تعیین شده و در سناریوی دوم تعداد و موقعیت پیزومترها متغیر در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد با توجه به اینکه تابع هدف کمینه‌سازی اختلاف حد مشاهداتی و حد شبیه‌سازی است، در سناریوی نخست کمترین میزان اختلاف در تکرار ۱۸۰ با مقدار تابع هدف ۰/۹۸۶۵ ارزیابی شد. نتایج به‌دست‌آمده از سناریوی دوم نشان می‌دهد تعداد چاه‌های مشاهده‌ای برابر ۲۸ حلقه به دست آمد که بیان‌کنندهٔ کاهش ۵۵ درصدی تعداد پیزومترها نسبت به حالت اولیه است. در هر دو سناریو پراکندگی نقاط در قسمت‌های جنوبی به علت زیادشدن شیب هیدرولیکی آبخوان بیشتر شده و در قسمت‌های شمالی کمتر است. در این سناریو کمترین میزان خطا در تکرار ۳۳۸ با تابع هدف ۰/۹۱۴۵ به دست آمد. این بهینه‌سازی درجهٔ اهمیت و برتری سناریوی دوم را نسبت به سناریوی نخست نشان می‌دهد.

کلیدواژگان: الگوریتم ازدحام ذرات، بهینه‌سازی، پایش منابع آب، سطح آب زیرزمینی.

* نویسندهٔ مسئول

Email:abbaskhashei@birjand.ac.ir

مقدمه

شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک حاکم بر کشور ایران، محدودیت‌های آبی در بخش آب سطحی و زیرزمینی را موجب شده است. از طرف دیگر، کاهش میزان بارندگی به دلیل خشکسالی در چندین سال اخیر، اعمال مدیریت صحیح و کاربردی بر این منابع را ضرورت بخشیده است. از آنجا که منابع آب زیرزمینی بیشترین درصد مصرف را به خود اختصاص داده‌اند، تحقیقات را به سوی مدیریت این منابع کشانده است، به طوری که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آنها می‌تواند در توسعهٔ پایدار فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، از جمله کشور ما به حساب آید [۱]. در مناطق خشک و نیمه‌خشک آب‌های زیرزمینی به عنوان تنها منبع مورد اعتماد محسوب می شود. با توجه به اینکه ریزش‌های جوّی در زمان‌های محدود اتفاق می‌افتد، جریان‌های سطحی عموماً به صورت سیلابی و پس از هر بارش مشاهده شده و سپس قطع می‌شوند. بنابراین، کلیهٔ برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز بر مبنای حجم آب زیرزمینی در دسترس است [۲]. ارزیابی شبکه‌های پایش کمی و تعیین چاه‌های اصلی در نظارت بلندمدت گامی اساسی برای طراحی، بهبود کارایی و بهنگام‌سازی شبکهٔ چاه‌های پیزومتریک است. تعیین اهمیت چاه‌های موجود و مشخص‌کردن تعداد چاه‌های مورد نیاز در تصمیم‌گیری‌های آینده برای بهبود کارایی و حذف چاه‌های اضافی و بهنگام‌سازی فراوانی اندازه‌گیری‌ها مؤثر است. استفاده از تمامی چاه‌ها مستلزم پرداخت هزینه‌های گزاف، صرف وقت و ورود اطلاعات تکراری در سیستم پایش است. در چنین مواردی ورود اطلاعات تکراری می‌تواند از یافتن مدل‌های بهینه برای ارزیابی و پیش‌بینی جلوگیری کند [۳]. از آنجا که همهٔ چاه‌های مشاهده‌ای در یک زمان قابل اندازه‌گیری نیستند، مشکلات مدیریتی ما را به سوی تعیین زیرمجموعه‌ای از کل چاه‌های موجود سوق می‌دهد که بتوانیم آنها را به طور منظم و در یک زمان بررسی کنیم [۴]. در نتیجه، این روند ما را به سوی طراحی و تعیین بهینهٔ تعداد چاه‌های مشاهداتی و موقعیت آنها که اطلاعات کافی در محدودهٔ هیدرولوژیکی و مرزهای آبخوان را تأمین کند، سوق می‌دهد. تحقیقاتی که در این زمینه صورت پذیرفته عبارت اند از: مطالعه‌ای در زمینهٔ تعیین شبکهٔ بهینهٔ پایش کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مشهد با استفادهٔ هم‌زمان از کریجینگ فضایی-زمانی و آنتروپی انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق یادشده نشان می‌دهد کریجینگ برونی که در آن از EC به عنوان متغیر کمکی در روند استفاده شده، به عنوان کریجینگ برتر انتخاب شد [۵]. در تحقیقی دیگر کاربرد علم زمین آمار در ارزیابی شبکه‌های پایش کیفی آب زیرزمینی بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد علم زمین‌آمار در ارزیابی شبکهٔ پایش کیفی آب زیرزمینی مناسب نیست. بنابراین، طرح یک شبکهٔ مؤثرتر که توزیع مکانی-زمانی مناسب‌تری داشته باشد، احساس می‌شود [۶]. در تحقیقی دیگر، سایت نظارت سطح آب زیرزمینی در حوزه‌ای در شمال غرب چین بهینه‌سازی شد. نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد تعدادی از چاه‌های مشاهداتی اضافی در هر طبقه با تعدادی از چاه‌های موجود، مناطق لایه‌ای و ثبات زمانی الگوی فضایی سطح آب‌های زیرزمینی در ارتباط است [۷]. در تحقیقی روی مکان‌یابی بهینهٔ ایستگاه‌های پایش کیفی در شبکهٔ توزیع آب شهری با استفاده از الگوریتم جامعهٔ مورچه‌ها پرداخته شد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد الگوریتم جامعهٔ مورچه‌ها در بهینه‌سازی شبکهٔ پایش کیفی آب شهری، الگوریتم مناسبی است [۸]. در تحقیقی دیگر، با استفاده از الگوریتم PSO به بهینه‌سازی چندهدفهٔ بهره‌برداری از مخازن سدها پرداخته شد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق یادشده نشان می‌دهد سد سفیدرود با دو هدف تأمین نیاز آب پایین‌دست و تخلیهٔ رسوب با استفاده از الگوریتم PSO[1] نتایج خوبی ارائه داده است [۹]. در مطالعه‌ای دیگر، با استفاده از الگوریتم PSO به بهینه‌سازی ابعاد سیستم انحراف سدها براساس شاخص ریسک پرداخته شد. در این بررسی یک مدل ریاضی براساس هزینه‌های اولیهٔ پروژه و هزینه‌های ناشی از شکست و میزان کل ریسک سیستم انحراف ارائه شده و با به‌کارگیری آن، ابعاد بهینهٔ سیستم تعیین می‌شود [۱۰]. خاشعی و همکارانش [۱۱] به تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از افت آب زیرزمینی با استفاده از الگوریتم PSO پرداختند. نتایج مدل برمبنای یک سال نرمال نشان داد برای به‌حداقل‌رساندن افت سطح آب، در صورت وقوع بارش برابر میانگین بارش سالانهٔ منطقه، کشاورزان فقط مجاز به برداشت ۳۵۹میلیون مترمکعب از آبخوان دشت نیشابور طی سال هستند. رضایی و همکارانش [۱۲] به ارزیابی کارایی مدل حداقل مربعات ماشین

1. Particle swarm optimization

بردار پشتیبان در پیش‌بینی سطح ایستابی پرداختند. نتایج چهار ترکیب نشان‌دهندهٔ عملکرد دقیق مدل LSSVM-RBF[1]، که در بهترین ترکیب با پارامترهای مربوط به تابع RBF(σ^2=۴/۹۹) و شاخص‌های عملکرد (RMSE=۰/۳۴۰۱ و r^2=۰/۹۹۹) نسبت به مدل ANN برتری داشت و نیز بیان‌کنندهٔ پیش‌پردازش بهینهٔ آزمون گاما بود. رضایی و همکارانش [۱۳] شبکهٔ پایش سطح آب زیرزمینی را با استفاده از مدل حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان طراحی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق آنها نشان می‌دهد ترکیب برتر مدل LS-SVM دربرگیرندهٔ شاخص‌های عملکرد (۰/۳۴۰۵= MAE و R^2=۰/۹۹۹۲) است. سپس، با استفاده از تابع تقریب بهینه، ۴۲ عدد چاه مشاهداتی به منظور پایش مکانی مناسب در منطقهٔ دشت رامهرمز مشخص شد. ژو و همکارانش به بهینه‌سازی شبکهٔ مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی در منطقهٔ Beijing در چین با به‌کارگیری نقشه‌های رژیم‌های منطقهٔ آب زیرزمینی پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد این نقشه‌ها می‌توانند مناطقی که مشخصات زمانی و مکانی منحصربه‌فردی دارند را از بقیهٔ مناطق متمایز کنند و برای طراحی شبکه می‌توان از این نقشه‌ها استفاده کرد [۱۴]. گوو و همکارانش [۱۵] به مقایسهٔ چند روش نمونه‌گیری، تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی و روشی همراه با رویکرد سطح میانگین غیر همگن (MSN) که ترکیبی از روش‌های کریجینگ بلوک‌بندی‌شده و نمونه‌گیری لایه‌ای مکانی است، در بهینه‌سازی شبکهٔ مشاهداتی آب زیرزمینی پرداختند که نتایج برتری روش MSN را بر دیگر روش‌ها نشان داد. بابارسبنس و همکارانش [۱۶] مزیت‌های روش نوینی در حوزهٔ طراحی شبکهٔ مشاهداتی آب زیرزمینی را بررسی کردند. این روش که الگوریتم ژنتیک ریزتعاملی (CBMIGA) نام دارد را در شرایط غیر ایستا آزمایش کرده و برای شبیه‌سازی استفاده کردند. درنهایت، این الگوریتم را با الگوریتم ژنتیک تعاملی استاندارد (SIGA) و روش الگوریتم ژنتیک تعاملی (IGA) مقایسه کردند و نتایج نشان‌دهندهٔ جواب‌های بهینه‌تر الگوریتم GBMIGA بود. رید و همکارانش [۱۷] در طراحی شبکهٔ مشاهداتی آب زیرزمینی چندهدفه به روش بهینه‌سازی تکاملی چندمنظوره (EMO) پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد روش یادشده بیش از ۹۰ درصد نیازهای محاسباتی را نسبت به نتایج قبلی کاهش می‌دهد. آصفا و همکارانش [۱۸] در آزمایشی در زمینهٔ پایش کیفی به منظور حداکثررسانی احتمال کشف آلودگی به روش SVM پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهندهٔ عملکرد امیدوارکنندهٔ این روش بود. آصفا و همکارانش [۴] شبکه‌های مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی براساس بردارهای پشتیبان را طراحی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهندهٔ کارآمدبودن این روش در مقایسه با روش کریجینگ بود. منتظر و همکارانش [۱۹] تحقیقی را با هدف تعیین شبکهٔ بهینهٔ آماربرداری و نقاط پایش منابع آب استان سیستان و بلوچستان انجام دادند. تحقیق یادشده با روش زمین‌آمار صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش یادشده نشان‌دهندهٔ طراحی یک شبکهٔ بهینه است که می‌تواند سطح و بیلان آب زیرزمینی را با دقت مطلوبی تعیین کند. معصومی و کراچیان [۲۰] کارایی سامانهٔ پایش کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تهران را با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهندهٔ کارایی مناسب الگوریتم پیشنهادی در ارزیابی و بهنگام‌سازی سامانه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی بود. گنجی خرم‌دل و همکارانش [۲۱] شبکهٔ چاه‌های مشاهده‌ای را به منظور تخمین بیلان با کاربرد روش زمین‌آمار بهینه‌سازی کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد روش زمین‌آمار در بهینه‌سازی شبکهٔ چاه‌های مشاهداتی روش خوبی است. حقیقت و همکارانش [۲۲] با استفاده از روش زمین‌آمار، شبکهٔ کمی (سطح آب زیرزمینی) آبخوان دشت اردستان را بهینه‌یابی کردند. قهرمان و همکارانش [۶] شبکهٔ پایش کیفی آب زیرزمینی در شهر مشهد را به روش زمین‌آمار ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد عملکرد شبکهٔ فعلی با توجه به نوع اطلاعات در دسترس قابل تغییر نیست.

بررسی‌ها نشان داد تا کنون تحقیقی انجام نشده است که بتواند تعداد و موقعیت بهینهٔ چاه‌های مشاهده‌ای را در یک آبخوان با استفاده از مدل‌های بهینه‌ساز شبیه‌ساز تعیین کند. علاوه بر این، بیشتر تحقیقات محدودهٔ چاه‌ها را بیان می‌کنند، ولی در تحقیق حاضر سعی شده است مختصات نقاط دقیقاً به عنوان متغیر تصمیم در فرایند بهینه‌سازی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

دشت رامهرمز در استان خوزستان با مساحت حدود ۵۴۸

1. Least squares support vector machine Radial basis function

کیلومترمربع، در فاصلهٔ حدود ۹۰ کیلومتری شرق اهواز در مسیر ارتباطی اهواز- بهبهان و اهواز- باغملک محدودهٔ اصلی طراحی شبکهٔ بلندمدت را تشکیل می‌دهد. محدودهٔ اصلی دشت مطالعه‌شده بین عرض‌های جغرافیایی ′۳۱°۰۴ تا ′۳۱°۲۳ شمالی و طول‌های جغرافیایی ′۴۹°۲۵ تا ′۴۹°۴۲ شرقی منطبق است. نمایی از محدودهٔ دشت در شکل ۱ ملاحظه می‌شود.

مراحل تحقیق و جمع‌آوری داده‌ها

به دلیل اهمیت تغییرات سطح آب در بازهٔ زمانی ماهانه، برای تخمین سطح آب زیرزمینی و تعیین موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای از اطلاعات سطح ایستابی ماهانهٔ ۶۳ چاه مشاهداتی طی سال‌های ۱۳۸۵ــ ۱۳۸۹ در سطح دشت استفاده شده است. در تحقیق حاضر از مختصات، مقدار تبخیر، بارندگی دو ماه قبل، تراز سطح زمین و سطح ایستابی یک ماه قبل به عنوان پارامترهای ورودی به مدل LSSVM برای تخمین سطح ایستابی استفاده شد. سپس، بعد از لینک مدل LSSVM و الگوریتم PSO با استفاده از پارامترهای یادشده موقعیت بهینهٔ چاه‌های مشاهداتی تعیین شد. شکل ۲ راهنمای مراحل اجرای الگوریتم پیشنهادشده را نشان می‌دهد.

مدل حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان (LSSVM)

اساس روش ماشین بردار پشتیبان بر پایهٔ تئوری یادگیری آماری ارائه شد که از حداقل‌سازی ریسک ساختاری پیروی می‌کند. سانچز و همکارانش [۲۴] روش حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان را ارائه کردند. این مدل به خلاف مدل SVM به جای مسئلهٔ برنامه‌نویسی درجهٔ دوم در حل از معادلات خطی استفاده می‌کند، بنابراین دقت محاسباتی بیشتری نسبت به ماشین بردار پشتیبان کلاسیک دارد [۳].

مدل رگرسیونی LSSVN از رابطهٔ ۱ پیروی می‌کند:

$$y(xi) = wT * Q(xi) + b \qquad (۱)$$

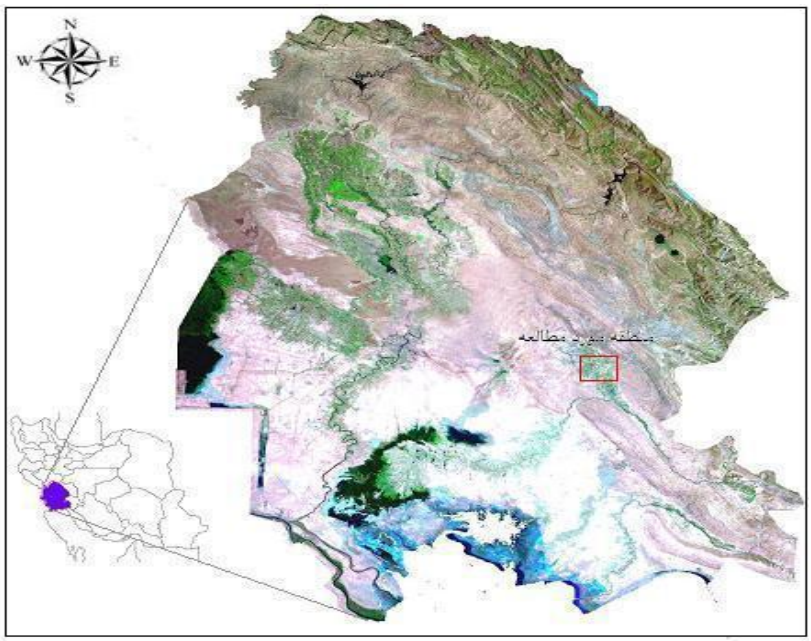
که در آن w و b به‌ترتیب مقادیر وزن‌ها و اریبی تابع رگرسیون هستند که از طریق حداقل‌سازی تابع هدف در رابطهٔ ۲ تعیین می‌شوند:

$$minw,e,b\ j(w,e) = \frac{۱}{۲} w^T w + \frac{Y}{۲} \sum_{i=۱}^{n} e_i^۲ \qquad (۲)$$

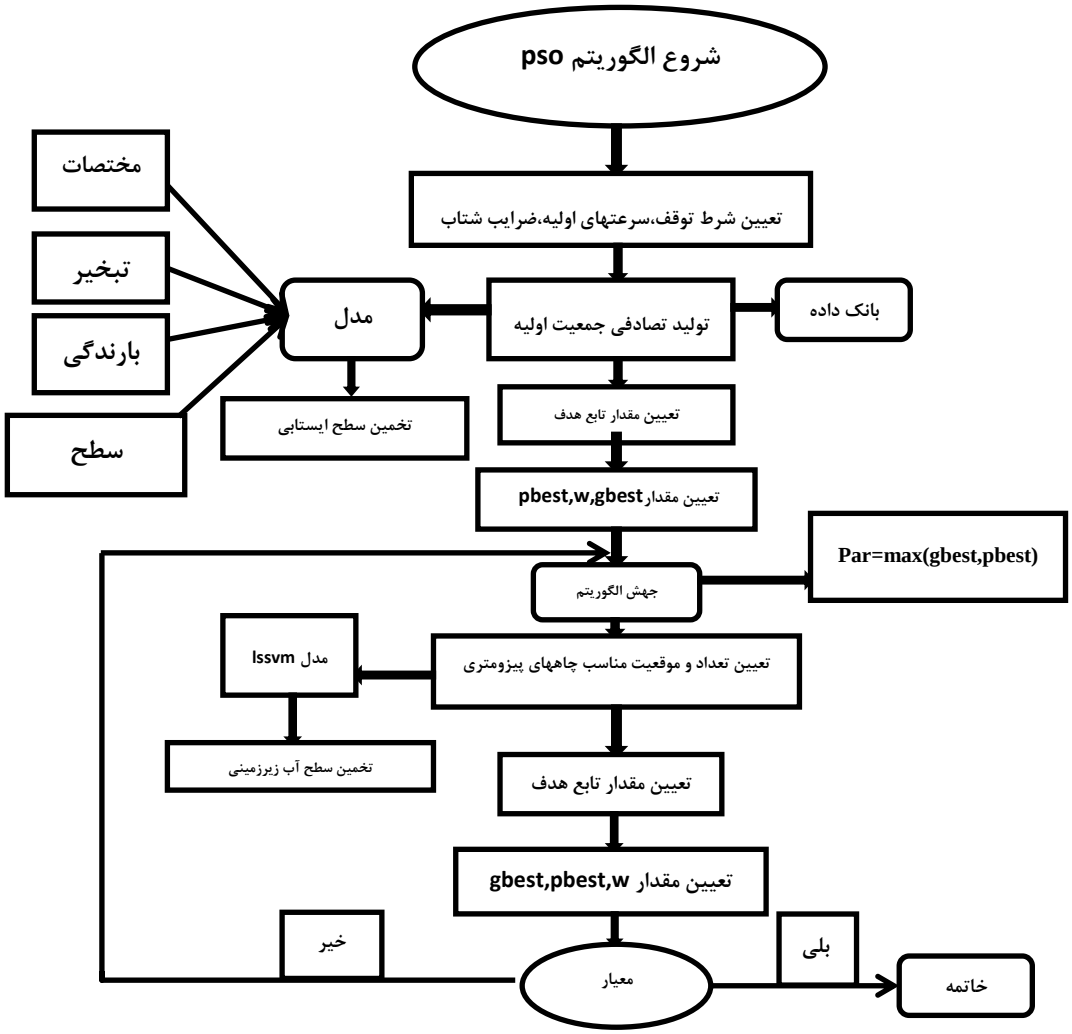
با محدودیت:

$$yi = wt\sigma(xi) + b + xi \qquad (۳)$$

که در آنها Y: پارامتر تنظیم‌کنندهٔ بخش خطاست. e_i: خطای داده‌های آموزشی است.



شکل ۱. موقعیت مکانی دشت رامهرمز در استان خوزستان [۲۳]



شکل ۲. فلوچارت انجام مراحل تحقیق

در مرحلهٔ طراحی با استفاده از پارامترهای بهینهٔ سطح آب زیرزمینی با مدل LSSVM تقریب زده می‌شود. سرانجام، بنا بر روند بهینه‌سازی درجهٔ دوم، بردارهای پشتیبان استخراج می‌شوند. در نتیجه، بر اساس این بردارهای پشتیبان مجموعه‌ای از موقعیت‌های شبکهٔ مشاهداتی بلندمدت بر اساس مقادیر مختلف خطای مرتبط با تراز سطح آب زیرزمینی تولید می‌شود.

اجزای پارامترهای ورودی در مدل LSSVM در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. اجزای پارامترهای ورودی در مدل LSSVM

نام ترکیب	ترکیب
A	C،Z_{-1}،P_{-2}،T،EV

C: مختصات،EV: تبخیر، P_{-2}: بارندگی دو ماه قبل، T: تراز سطح زمین، Z_{-1} : مقدار تراز سطح آب در ماه قبل.

الگوریتمPSO

الگوریتم PSO (Particle swarm optimization) یک روش سراسری کمینه‌سازی است که با استفاده از آن می‌توان با مسائلی که جواب آنها یک نقطه یا سطح در فضای n بعدی است، برخورد کرد. در چنین فضایی، فرضیاتی مطرح می‌شود که یک سرعت ابتدایی به آنها اختصاص داده شده است، همچنین کانال‌های ارتباطی بین ذرات در نظر گرفته می‌شود. سپس، این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند و نتایج به دست آمده بر مبنای یک «ملاک شایستگی» پس از هر بازهٔ زمانی محاسبه می‌شود. با گذشت زمان، ذرات به سمت ذراتی که ملاک شایستگی بیشتری داشته و در گروه ارتباطی یکسانی قرار دارند، شتاب می‌گیرند. به رغم اینکه هر روش در محدوده‌ای از مسائل به خوبی کار می‌کند، این روش در حل مسائل

بهینه‌سازی پیوسته موفقیت بسیاری از خود نشان داده است.

در این الگوریتم که براساس به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات بین ذرات پایه‌گذاری شده است، ابتدا برای هر متغیر در فضای جست‌وجو به صورت تصادفی مقادیری تخصیص پیدا می‌کند. هر ذره یا پرنده با مقادیر اختصاص داده‌شده به تمامی متغیرها، براساس میزان شایستگی که همان مقدار تابع هدف است، یک راه‌حل تولید می‌کند. برای ادامهٔ مسیر و تولید راه‌حل بهینه هر ذره براساس میزان جابه‌جایی تعیین‌شده راه‌حل بعدی را پیدا می‌کند. این عمل براساس جابه‌جایی و موقعیت ذرات دیگر و خود ذره در تجربیات قبلی انجام می‌شود [۳].

$$vit+1 = x\omega vit + c1r1(pit - xit) + c2r2(pit - xit) \quad (۴)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (۵)$$

در معادله‌های x_i^t موقعیت یا مقدار هر ذره (مقدار متغیرها) i در فضای جست‌وجو و t شمار تکرار ذرهٔ p_i^t بهترین موقعیت ذرهٔ I در شمار تکرار t و p_j^t موقعیت بهترین ذره در فضای جست‌وجو که بسته به نوع جست‌وجو (موضعی و سراسری) متفاوت است. r_1 و r_2 عددهای تصادفی بین صفر و یک براساس تابع توزیع یکنواخت، c1 و c2 ضریب‌های شناختی و اجتماعی، ω ضریب اینرسی است که براساس یک روش تدریجی فضای جست وجو را کاهش می‌دهد. X ضریب انقباض است. مقادیر ضرایب شناختی و اجتماعی با آزمون و خطا و نیز با نتایج به‌دست‌آمده از دیگر پژوهش‌ها تعیین شد. ضریب اینرسی با استفاده از معادلهٔ شای و ابرهارت تعیین شد. ذرهٔ i برای رسیدن به موقعیت جدید براساس معادلات ۱ و ۲ پرواز می‌کند. با این روش همهٔ ذرات موقعیت جدید را به دست می‌آورند. این فرایند تکرار می‌شود تا t=tmax شود. یکی از روش‌های تعیین tmax زمانی است که تغییرات در جواب بهینه به وجود نیاید. در صورتی که جواب‌های تولیدشده برای هر متغیر از قیدهای تعیین‌شده خارج شود، در صورتی که بیشتر از مقدار تعیین‌شده باشد مساوی با مرز بالا و اگر کمتر از مقدار تعیین‌شده باشد، برابر با مرز پایین تعریف می‌شود. در الگوریتم یادشده تابع هدف کمینه‌سازی مقدار خطا در نظر گرفته شد که مقدار خطا از رابطهٔ RMSE به دست آمد (رابطهٔ ۶):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi - yi)^2}{N}} \quad (۶)$$

در این رابطه Zp حد شبیه‌سازی سطح ایستابی و Za حد واقعی سطح ایستابی است.

اهداف سودمند به این منظور: ۱. تعیین تعداد بهینهٔ چاه‌های مشاهداتی در یک شبکه در منطقهٔ مد نظر؛ ۲. تعیین موقعیت چاه‌های مشاهداتی بهینه در شبکهٔ سنجیده‌شده

اعمال شرایط خاتمه

از آنجا که ممکن است الگوریتم در پیداکردن جواب بهینه به سمت یک بهینهٔ موضعی متمایل شود و تا آخرین تکرار بهترین جواب الگوریتم ترقی پیدا نکند، از شرایط خاتمه استفاده شده است. شرایط خاتمهٔ استفاده‌شده در مطالعهٔ حاضر یافتن بهترین جواب در ۲۰۰ تکرار است.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل PSO

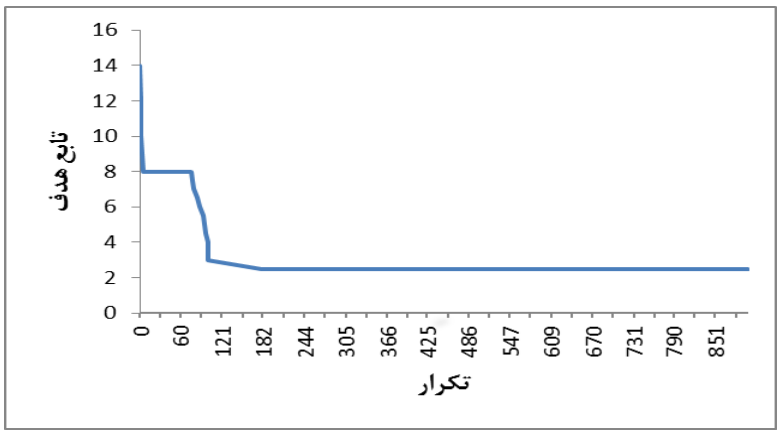
سناریوی نخست: در سناریوی نخست فرض بر این است که تعداد چاه‌های پیزومتری براساس پژوهش‌های رضایی و همکارانش [۱۳] تعیین شده و برابر ۴۲ است. با اعمال الگوریتم PSO روی پارامترهای تأثیرگذار برای تعیین محل مناسب چاه‌های پیزومتری در نهایت با اعمال تعداد ۵۰۰ پرنده و تعداد ۱۸۰ تکرار جواب بهینه بعد از ۲۰ اجرا حاصل شد. این در حالی است که خاشعی سیوکی و همکارانش [۲۵] در بهینه‌سازی مصرف آب مقدار تکرار، تعداد اعضا، ضریب شناختی و اجتماعی را به‌ترتیب ۲، ۱۵۰، ۱۰۰ و ۲ در مدل PSO به دست آوردند که علت تفاوت آن به تفاوت در نوع تابع هدف، محدودیت‌ها و نوع مدل بهینه‌سازی برمی‌گردد.

تعداد اعضا و دیگر ضریب‌های مربوطهٔ بهینه با سعی و خطا تعیین شد. جدول ۲ مقادیر پارامترهای استفاده‌شده در مدل PSO را در سناریوی نخست نشان می‌دهد.

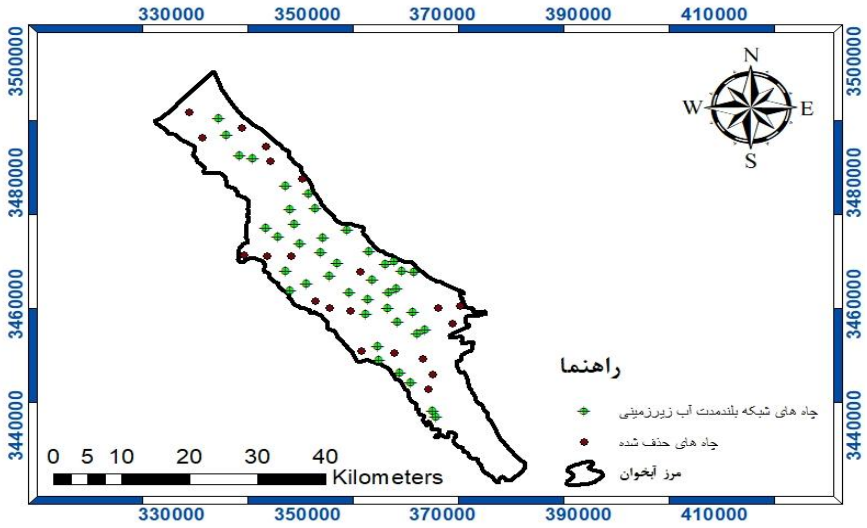
شکل ۳ تغییرات تابع هدف نسبت به تکرار را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، تابع هدف بعد از ۱۸۰ تکرار به همگرایی رسیده است و بعد از آن تغییر قابل قبولی در حداقل‌سازی تابع هدف اتفاق نیفتاده است.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای استفاده‌شده در مدل PSO

N اندازهٔ جمعیت	MAXiter بیشترین تکرار	C_1 ضریب شناختی	C_2 ضریب اجتماعی	Wdamp ضریب اینرسی
۵۰۰	۲۰۰۰	۲	۲	۰.۹۹



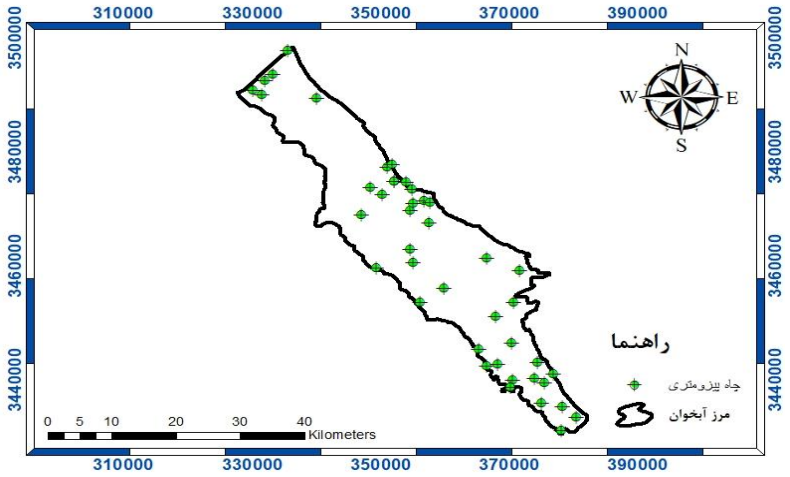
شکل ۳. تغییرات تابع هدف نسبت به تکرار در مراحل انجام اجرای مدل



شکل ۴. شبکهٔ چاه‌های مشاهداتی بلندمدت با ۴۲ حلقه چاه مشاهداتی با استفاده از مدل شبیه‌ساز LSSVM

شکل ۴ چاه‌های حذف‌شده از شبکهٔ پایش موجود را با استفاده از روش شبیه‌سازی LSSVM نشان می‌دهد [۱۳]. در نتایج ارائه‌شده در شکل ۴ سعی شده است مدل بین چاه‌های موجود بهینه‌ترین تعداد چاه را انتخاب کند، اما شکل ۵ پراکندگی چاه‌های مشاهداتی را بعد از بهینه‌سازی نشان می‌دهد. تفاوت دو شکل نشان می‌دهد در مدل بهینه‌سازی‌نشده بر اساس آزمون و خطا انجام شده است.

در بخش‌هایی از دشت پیزومتر در نظر گرفته نشده است و میزان پراکندگی چاه‌های مشاهداتی قبل از بهینه‌سازی در قسمت مرکز بیشتر است. در قسمت جنوب غربی هیچ‌گونه چاهی مشاهده نمی‌شود، در حالی که بعد از بهینه‌سازی، پراکندگی چاه‌ها به سمت جنوب غربی زیاد شده است. این در حالی است که هر چه به سمت قسمت‌های جنوبی می‌رویم، شیب هیدرولیکی بیشتر می‌شود. تعداد چاه‌ها در این سناریو و سناریوی بهینه‌سازی‌نشده در هر دو شکل یکسان در نظر گرفته شده است.



شکل ۵. جواب بهینهٔ الگوریتم PSO با تعداد ۴۲ حلقه چاه مشاهداتی تحت سناریوی نخست

سناریوی دوم

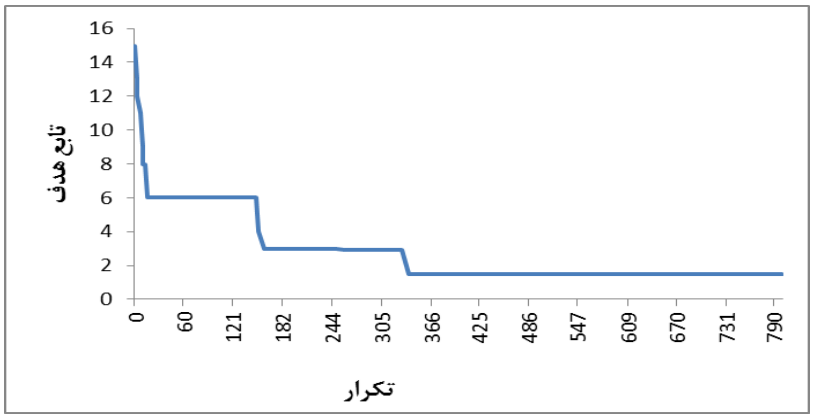
در سناریوی دوم فرض بر این است که تعداد چاه‌های پیزومتری متغیر در نظر گرفته شود. همچنین، در سناریوی یادشده با اعمال الگوریتم PSO روی پارامترهای تأثیرگذار برای تعیین تعداد و محل مناسب چاه‌های پیزومتری در نهایت با اعمال تعداد ۵۰۰ پرنده و تعداد ۳۳۸ تکرار بعد از ۴۰ اجرای مدل، جواب بهینه به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده از این روش نشان داد تعداد بهینهٔ چاه‌های مشاهده‌ای ۲۸ حلقه است که نسبت به سناریوی قبل تعداد چاه‌های مشاهده‌ای این مقدار کاهش یافته است.

تعداد اعضا و دیگر ضرایب مربوط به آن، تعیین تعداد بهینهٔ چاه مشاهده‌ای با روش سعی و خطا تعیین شد. جدول ۳ مقادیر پارامترهای استفاده‌شده در مدل PSO را در سناریوی دوم نشان می‌دهد.

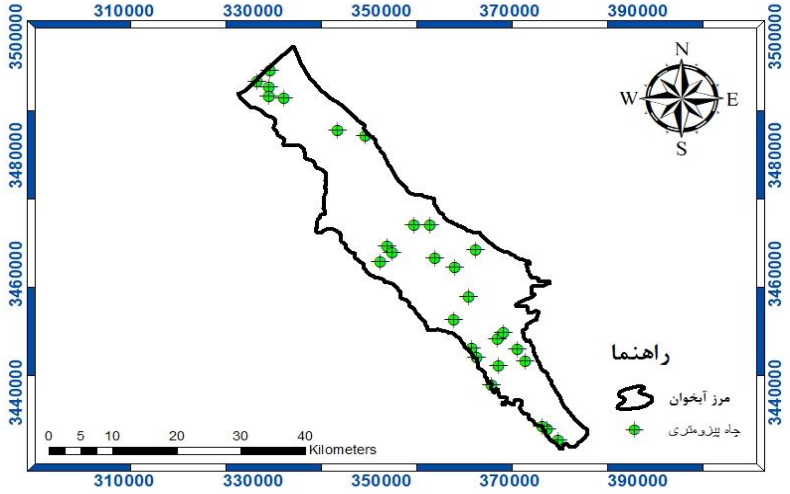
شکل‌های ۶ و ۷ نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم pso را برای سناریوی دوم نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده، تابع هدف بعد از ۳۳۸ تکرار به همگرایی رسیده است.

جدول ۳. مقادیر پارامترهای استفاده‌شده در مدل PSO در سناریوی دوم

N اندازهٔ جمعیت	MAXiter بیشترین تکرار	C_1 ضریب شناختی	C_2 ضریب اجتماعی	Wdamp ضریب اینرسی
۵۰۰	۲۰۰۰	۱.۵	۲.۵	۰.۹۹



شکل ۶. تغییرات تابع هدف نسبت به تکرار



شکل ۷. جواب بهینهٔ PSO با تعداد ۲۸ حلقه چاه مشاهداتی تحت سناریوی دوم

در این سناریو با توجه به متغیربودن تعداد چاه‌های پیزومتری، تعداد بهینهٔ چاه‌ها ۲۸ حلقه به دست آمد که نسبت به شبکهٔ اولیهٔ دشت رامهرمز که تعداد چاه‌های مشاهده‌ای آن ۶۳ حلقه بوده، کاهش داشته است. این موضوع نشان‌دهندهٔ کاهش ۵۵ درصدی تعداد چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه است. کاهش تعداد چاه‌های مشاهده‌ای در این آبخوان با روش بهینه‌سازی می‌تواند تأثیر زیادی بر کاهش هزینه‌های آماربرداری، نگهداری و تجهیز چاه‌های مشاهده‌ای داشته باشد. پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای همان‌طور که در سناریوی نخست بیان شد، در بخش‌های جنوبی آبخوان که نوسانات و تغییرات سطح آب زیاد است، بیشتر و هرچه به سمت قسمت‌های شمالی می‌رویم، پراکندگی چاه‌ها کم می‌شود. این بهینه‌سازی که در مراحل مختلف و با چندین مرحله سعی و خطا به دست آمد، درجهٔ اهمیت و برتری سناریوی دوم را نسبت به سناریوی نخست نشان می‌دهد. به علاوه، فروغی و همکارانش [۲۶] به بهینه‌سازی شبکهٔ پایش سطح آب زیرزمینی دشت تبریز با استفاده از روش‌های زمین آمار پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آنها نشان داد با کاهش تعداد چاه‌های شبکه و با تعدادی حدود ۶۴ درصد می‌توان سطح آب زیرزمینی را پیش‌بینی کرد. همچنین، اکبرزاده و همکارانش [۲] شبکهٔ آب زیرزمینی دشت مشهد را با استفاده از مدل‌سازی فضایی-زمانی، بهینه‌سازی کیفی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد از تعداد ۲۸۷ حلقه چاه موجود، ۱۱۱ حلقه چاه برای پایش کیفی آبخوان دشت مشهد کفایت می‌کند.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با توجه به اینکه به طور معمول بهینه‌سازی شبکهٔ پایش، یک مسئلهٔ ترکیبی غیرخطی است، از روش‌های بهینه‌یابی فراکاوشی استفاده شد. هدف از انجام بهینه‌سازی، تعیین تعداد و موقعیت مناسب چاه‌های مشاهده‌ای برای سنجش سطح آب زیرزمینی است. با اعمال الگوریتم PSO روی پارامترهای تأثیرگذار در تعیین موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و با تعریف دو سناریو، تعداد و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای به صورت بهینه ارزیابی شد. مقدار تابع هدف در بهترین اجرای الگوریتم، حدود ۰/۰۰۰۱۲ به دست آمد که نشان‌دهندهٔ توانمندی زیاد الگوریتم پیشنهادشده است. این بهینه‌سازی که در مراحل مختلف و با چندین مرحله سعی و خطا به دست آمد، درجهٔ اهمیت و برتری سناریوی دوم را نسبت به سناریوی نخست نشان می‌دهد. ارزیابی عملکرد این مدل در مقایسه با مدل LSSVM نتایج خوب و قابل قبولی را ارائه داد. مقایسه نشان‌دهندهٔ برتری نسبی مدل بهینه‌یابی PSO نسبت به مدل LSSVM را داشته که دلیل آن را می‌توان سرعت زیاد اجرای برنامه دانست. همچنین، این روش برای دشت‌های بدون داده یا با تعداد دادهٔ محدود قابلیت اجرا دارد. آنچه از پژوهش حاضر برمی‌آید آن است که نتایج PSO به دلیل ایجاد پراکندگی و توزیع تقریباً یکنواخت پاسخ در محدودهٔ دشت و نیز دقت زیاد آن برای تعیین تعداد و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای، مناسب است.

منابع

[1].Izadi,A,Davari,K, Alizadeh,A,Ghahraman,B. Using panel data model to predict groundwater levels. Journal of Irrigation and Drainage,2008.(Persian)

[2].Mirzaee,A, Nazmi,H. Predicted water levels using intelligent systems. Engineering Magazine.4.2011.(Persian)

[3].Seifi,A, Myrlotfy,S, Riahi,H. Assessment and monitoring of weather station network using principal components analysis and factor analysis Case study: Kerman. Journal of Irrigation and Drainage,2012.Number1, Volume5,(Page30-42). (Persian)

[4].Asefa, T., W.Kemblowski, M., Urroz, G., Mckee, M., and Khalil, A.Support vectors machines(SVM) for monitoring network design.l Ground water.2004,Vol.43.No.3:413-422.

[5].Akbarzada,M,Ghahraman,B. simultaneous use of Kriging space-time and entropy to determine the optimal network quality monitoring groundwater resources Mashhad. Journal of Soil and Water(Agricultural Science and Technology),2013, Volume 27,Number3. (Persian)

[6].Ghahraman,B, Hosseini,M, Asgari,H. The application of geostatistics to assess groundwater quality monitoring networks. summer2003, Amir Kabir, Fourteenth year,Number55(Civil Engineering). (Persian)

[7].Run،Y،Li،X،Ge،Y،Lu،X،Lian،Y.Optimal selection of groundwater level-monitoring sites in the zhangye, basin northwest china.2015.Vol.525.p:209-215.

[8].Afshar,A,Mknon,R,Afshar,A,. Optimal positioning of monitoring stations in water distribution networks using the algorithm ants. Water and Wastewater,2006,number59.(Persian)

[9].Azadnia,A,Zahraei,B. PSO optimization algorithm in multi-objective optimization operation of reservoir, Fifth National Congress of Civil Engineering,4-6may2010, Mashhad Ferdowsi University.(Persian)

[10]. Me'raji,H, Valipoor,R,Meraji,s.Diversion dams size optimization system based on risk using PSO algorithm. Journal of Civil Engineering school, Summer and Fall2006. (Persian)

[11]. Khashei- Siuki,A,Ghahraman,B, Kochakzade, M. Determine optimal crop pattern to avoid the drop in groundwater with PSO algorithm. Iran Water Research Journal, spring and summer2014. (Persian)

[12]. Rezai,A, Shahidi,A, Khashei-Siuki,A, Riahi Madvar,H. Performance evaluation least squares support vector machine model to predict the water table. Journal of Irrigation and Drainage,2014.Number4, Volume 7, Page 510-520. (Persian)

[13]. Rezai,A, Khashei-Siuki,A ,Shahidi,A. Ground water level monitoring network design using the least squares support vector machine (LS-SVM). Iran Soil and Water Research, Volume 45,Number 4,January 2015,(page 389-396). (Persian)

[14]. Zhou, Y., Dong, D., Liu, J., and Li, W.Upgrading a regional groundwater level monitoring network for Beiging Plain,China.Geoscience Frontiers.(2012).

[15]. Guo, Y., Wang, j., Yin, X.Optimizing the ground water monitoring network using MSN Theory.Procedia Social and behavioral Sciences.2011,21:240-242.

[16]. Babbar-Sebens, M., Minsker, B. A Case-Based Micro Interactive Genetic Algorithm (CBMIGA) for interactive learning and search: Methodology and application to groundwater monitoring design. Environmental Modelling&Software,2010.25:1176-1187.

[17]. Reed, P., B-Kollat, J., Devieddy, V.k.Using interactive archives in evoloutionary Multiobjective optimization:A case study for Long-Term groundwater monitoring design. Environmental Modelling&Software.2007.22:683-692.

[18]. Asefa, T., W.Kemblowski, M., Urroz, G., Mckee, M., and Khalil, A.Support vectors-based groundwater head observation networks design.Water Resources Research.2005,Vol.40

[19]. Montazer,A,Nasiri ghedari,A,Shahraki,M. Determining the optimal network monitoring groundwater resources Sistan and Baluchestan Province. The first Conference of Applied Research in Water Resources,Page21-23,April2010, Kermanshah.iran. (Persian)

[20]. Masumi,F, Krachyan,R. Optimization locate underground water quality monitoring stations using entropy. Journal of Water and Wastewater.2008,Number67. (Persian)

[21]. Ganji Khorramdel,N, Mohammadi,K,Monam,M. Network optimization observation wells for estimating groundwater balance with dual swing. Journal of Soil and Water(Agricultural Science and Technology),2007. (Persian)

[22]. Hagheghat,R, Mohammadi,K,Dorry,F. Groundwater level monitoring network optimization Ardestān geostatistical methods. Twenty-sixth meeting of Earth Sciences,28-30January2008. (Persian)

[23]. Chitsazan,M,Mosavi,F,Mirzaei,Y,Rastegarzade,S. Quantitative and qualitative aquagromatic significance of Ramhormoz plain using mathematical descriptions in MODFLOW and MD3DMS. Advanced Applied Geology Journal, Autumn2012, No. 5

[24]. Sanchez, A.S., Nieto, P.J.G., Fernandez, P.R., Diaz, J.J.D., Iglesias-Rodr, F.J. Application of an SVM-based regression model to the air quality study at local scale in the Avilés urban area (Spain). Mathematical and Computer Modelling.2011.54:1453–1466.

[25]. Khashei-Siuki,A,Ghahraman, B,Kochakzade, M.Application of agricultural water allocation and management using pso optimization technique.water and soil journal,May and june2013. (Persian)

[26]. Forgive,F,Rezaei,M. Optimization of underground water level monitoring network in Tabriz plain using ground statistics methods. Quarterly Journal of Environmental Geology.2012. Seventh year