تدوین الگوی مصرف بهینه نیاز آبی با رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه، مطالعه موردی: فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

محمود محمدرضاپور طبری[1]

(دریافت ۹۲/۳/۷ پذیرش ۹۲/۸/۱٤)

چکیده

افزایش نیازهای آبی در مناطق توسعه یافته، چالش‌های زیادی را در تأمین نیازها ایجاد نموده است. فرودگاه نیز به‌عنوان یکی از مناطق حساس و استراتژیک حمل بار و مسافر، از این قاعده مستثنی نیست. با توجه به خطراتی که در نتیجه برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها به‌دلیل نشست سطح زمین در باند پروازی می‌تواند ایجاد شود، برنامه‌ریزی برای تدوین الگوی بهینه مصرف بر اساس برداشت پایدار، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق بر اساس آمار و اطلاعات مصرف و برداشت و طرح‌های آینده محدوده فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، مدلی بر پایه برنامه‌ریزی چندهدفه تدوین شد. در این مدل با هدف حداقل نمودن میزان عدم تأمین نیاز و هزینه انتقال آب بخش‌های واقع در هر منطقه نیاز، مقدار بهینه تخصیص از منابع آبی پیشنهادی به‌صورت سیاست‌های ماهانه برداشت از منابع بهره‌برداری زیرزمینی و به‌صورت گرافیکی تهیه شد. نتایج نشان داد که برای برداشت مطمئن از چاه‌ها باید دستورالعمل‌های بهره‌برداری ارائه شده برای هر چاه به دقت اجرا شود. این امر منجر به افزایش اطمینان‌پذیری تأمین و کاهش هزینه‌های ناشی از آن می‌شود. این رویکرد، قابلیت تعمیم به افق‌های آینده برنامه‌ریزی را داشته و می‌تواند با توسعه تابع هدف و محدودیت‌های آن، برای هر منطقه‌ای به‌کار رود.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی، فرودگاه امام خمینی (ره)، بهره‌برداری بهینه، الگوریتم NSGA-II

Developing a Model for Optimal Use of Groundwater Based on Multi-Objective Planning, Case Study: Imam Khomeini International Airport

M. Mohammad Rezapour Tabari [1]

(Received May 28, 2013 Accepted Nov. 5, 2013)

Abstract

The increasing demand for water in developed regions has led to numerous water supply challenges. Given their sensitivity and strategic importance as zones of cargo and passenger transfer, international airports are no exception to this general rule. The potential dangers to ground subsidence on the runway as a result of excessive groundwater withdrawal warrant plans aimed at developing models for optimal groundwater withdrawal as a measure of sustainable use of aquifers. In this study, consumption and withdrawal data are used and future development plans of the Imam Khomeini International Airport are considered to develop a model for groundwater use within the region based on multi-objective programming. Considering the objectives of maximizing water supply and minimizing costs of water transmission to demand zones, the model was used to develop an optimal water allocation system for the region containing monthly groundwater withdrawal policies and graphical distribution plans. The results show that the operation instructions thus developed for each well need to be carefully executed in order to ensure its safe exploitation. Strict adherence to the instructions is expected to enhance water supply reliability and to reduce the associated costs. This approach can be tailored and scaled up for future planning horizons and is also replicable in other areas by developing the relevant objective functions and constraints.

Keywords: Water Demand, Imam Khomeini Airport, Optimal Operation, NSGA-II Algorithm.

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد
mrtabari@eng.sku.ac.ir ۰۹۱۲۲۴۹۲۶۱۵

1. Assist. Prof. of Civil Eng., Dept. of Eng., Shahrekord University, Shahrekord 09122492615 mrtabari@eng.sku.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

با توجه به برداشت بی‌رویه از آبخوان‌های آبرفتی و بی‌توجهی به مدیریت آن‌ها، این ذخایر ارزشمند در آینده با شرایط بحرانی مواجه خواهند شد. از آنجا که در بسیاری از دشت‌ها، شرایط حاکم بر آبخوان‌ها برای برداشت به‌درستی تعریف نشده‌اند، لذا لازم است عواملی که منجر به تغییرات قابل توجه در ذخیره آبخوان می‌شوند، تعیین شود. آخرین مطالعات مرتبط که توسط ورنر و همکاران در سال ۲۰۱۳ انجام شده، نشان می‌دهد که رشد جمعیت، مهم‌ترین عامل نشست زمین و افت تصاعدی در اکثر آبخوان‌ها است. در این تحقیق پنج آبخوان در نقاط مختلف دنیا به‌عنوان آبخوان‌هایی که ذخایر آن‌ها شدیداً در معرض کاهش قرار دارد، معرفی شده و میزان افت در تراز آن‌ها، بیش از ۱۰۰ متر و نشست سطح زمین در این محدوده‌ها بیش از چندین متر در سال گزارش شده است [۱].

برای دستیابی به برداشت پایدار، یافتن مناطق مستعد برداشت و همچنین تعداد این مناطق و میزان پمپاژ از آن‌ها از جمله پارامترهای مهم به‌شمار می‌رود. مطالعات تانگ و چو در سال ۲۰۰۴ نشان داد که بهینه نمودن این پارامترها می‌تواند الگوی مناسبی از برداشت را برای بهره‌برداری در شرایط واقعی ارائه نماید [۲]. همچنین مطالعه مشابهی توسط محرم و همکاران در سال ۲۰۱۲ برای تعیین میزان بهینه برداشت از چاه‌ها در شرایط پایدار با استفاده از ترکیب مدل‌های مادفلو[1] و الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است [۳].تعیین استراتژی‌های برداشت از منابع آب زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل بهینه‌سازی توسط قهمن و همکاران در سال ۲۰۱۰ ارائه شده است [۴]. در سال ۲۰۰۵، زاگوناری مطالعه‌ای را برای استخراج پایدار و بهینه آب از آبخوان‌های ساحلی تحت شرایط نفوذ آب شور دریا انجام داد. در پژوهش مذکور با استفاده از مدل انتقال-پخش و الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، مقادیر بهینه و پایدار برداشت مشخص شده است [۵].

تعیین میزان و موقعیت برداشت از آبخوان با استفاده از مدل بهینه‌سازی PSO و مدل شبیه‌سازی ANN توسط گوار و همکاران در سال ۲۰۱۳ صورت گرفت. در این مطالعه با استفاده از مدل‌های ذکر شده، سناریوهای مختلف برداشت تحلیل و موقعیت‌های بهینه برای استحصال آب از آبخوان تعیین شد [۶].

در سال ۲۰۰۷ وو همکاران، دو مدل شبیه‌سازی بهینه‌سازی برای ارائه استراتژی‌های بهینه توسعه آب زیرزمینی بر روی اراضی کشاورزی واقع در حاشیه رودخانه زرد ارائه دادند. در مطالعه مذکور، سیاست‌های بهینه توسعه برداشت از آبخوان برای جلوگیری از زه‌دار شدن اراضی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین شده است. نتایج نشان‌دهنده کارایی ساختار پیشنهادی در ارائه برنامه توسعه بهره‌برداری از آبخوان بوده است [۷]. رجانی و همکاران در سال ۲۰۰۸، آبخوان ساحلی بالاسور[2] هند را که به‌دلیل برداشت‌های بی‌رویه با مشکلاتی همچون افت بیش از حد و نفوذ آب شور مواجه شده بود، شبیه‌سازی نمودند [۸]. نتاسانا و همکاران در سال ۲۰۱۲ بر پایه مدل شبیه‌سازی مادفلو اثرات پمپاژ از آبخوان پوتوک[3] را بر روی تراز سطح ایستابی برای تعیین میزان برداشت پایدار از آبخوان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در شرایط خشکسالی و ادامه روند برداشت فعلی، تراز سطح آب زیرزمینی تا ۱۲ متر افت می‌کند [۹]. در پژوهش مخرجی و همکاران در هند، بر اساس لایه‌های اطلاعاتی همچون خاک، زمین‌شناسی، شیب، رقوم ارتفاعی، کاربری اراضی، رواناب، تراکم چاه‌های موجود، محدوده‌های با پتانسیل آبخوان به ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است. نتایج نشان‌دهنده تطابق کامل طبقه‌بندی صورت گرفته با میزان آبدهی چاه‌ها بوده است [۱۰].

مطالعاتی در زمینه تعیین طرح بهینه پمپاژ از آبخوان در سراسر دنیا صورت گرفته که در آن‌ها با استفاده از ابزارهای مدیریتی متفاوت، میزان برداشت پایدار از آبخوان تحلیل شده است [۱۴-۱۱]. همچنین در داخل کشور نیز پژوهش‌های مرتبطی صورت گرفته که به‌عنوان نمونه می‌توان به تحقیق گلیان و همکاران در سال ۱۳۸۶ اشاره نمود. در این تحقیق سیاست‌های بهره‌برداری مختلفی تدوین و اثرات آن بر روی تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از روش پویایی سیستم بررسی شده است [۱۵]. همچنین بازرگان و همکاران در سال ۱۳۸۹ با استفاده از مدل‌های مادفلو و NSGA-II، قوانین احتمالاتی برای بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی را تدوین کرده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که میزان دقت قوانین تخصیص آب محاسبه شده در مرحله صحت‌سنجی بیش از ۸۰ درصد است [۱۶]. مطالعات دیگری نیز توسط محمد رضاپور طبری و همکاران در جهت تدوین استراتژی برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی با رویکرد چند هدفه صورت گرفته که نتایج حاصله حاکی از بهبود وضعیت بهره‌برداری از لحاظ تأمین نیازها در شرایط واقعی و بلندمدت است [۱۷ و ۱۸].

بررسی سوابق مطالعاتی گذشته نشان می‌دهد که تعیین استراتژی بهینه برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی برای دستیابی به توسعه پایدار از این منابع با توجه به ازدیاد برداشت‌ها، مورد توجه جدی قرار گرفته و لازمه مدیریت آن، تدوین سیاست‌های برداشت

[1] Modflow

[2] Balasore

[3] Phu Thok

Archive of SID
www.SID.ir

با توجه به شرایط آبخوان و بر اساس اهداف تأمین است. از آنجا که ارائه دستورالعمل برداشت از چاه‌ها، با توجه به ازدیاد بهره‌برداری از آبخوان‌ها با این روش، برای مدیریت آبخوان‌ها در سوابق مطالعات قبل، از اهمیت کمتری برخوردار بوده و بیشتر مبتنی بر مباحث تلفیقی و کیفیت استوار بوده است، لذا در این مطالعه رویکردی با قابلیت تعمیم به مناطق مشابه برای تدوین استراتژی بهینه برداشت از آبخوان در منطقه اقتصادی فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) پیشنهاد شد. در واقع نوآوری تحقیق حاضر در ارائه سیاست‌های بهینه زمانی و مکانی برداشت از چاه‌های موجود در محدوده فرودگاه با هدف تأمین نیازهای هر بخش از مناطق مورد بررسی و کاهش هزینه انتقال آب است. بر این اساس نتایج حاصل از اجرای سیاست‌های بهینه برداشت از هر چاه نشان از قابلیت اطمینان بالای تأمین نیازهای آبی واقع در محدوده مورد مطالعه دارد.

۲- مطالعه موردی

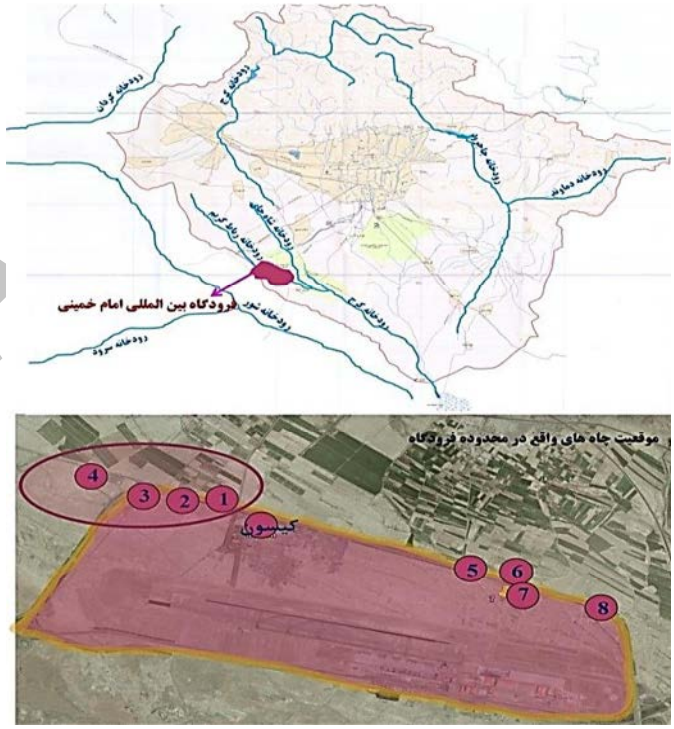
بررسی چالش‌های منابع آبی در مناطقی که از لحاظ سیاسی، اجتماعی و اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردارند، یکی از دغدغه‌های عمده مدیران تأمین‌کننده آب است. با توجه به توسعه گسترده محدوده فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و نقش آن در حمل‌و نقل بار و مسافر در شرایط فعلی و چشم‌انداز تدوین شده برای آن، این محدوده به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد (شکل ۱).

ناحیه مورد بررسی در حوضه‌های آبریز ایران مرکزی بوده که در جنوب استان تهران واقع شده است. این محدوده از شمال به آبخوان تهران، از شرق به رودخانه کرج و از جنوب و غرب به رودخانه شور محدود می‌شود که از شرایط جوی نسبتاً نامناسبی برخوردار بوده و دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم است. بخش جنوبی منطقه را اراضی کوهپایه‌ای و کوهستانی تشکیل داده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، آمار و اطلاعات مرتبط با منابع و مصارف در دو بخش مشخصات منابع در حال بهره‌برداری و نیازهای موجود و آینده دسته‌بندی شده و برای استفاده در مدل پیشنهادی به‌کار گرفته شد. جزئیات این داده‌ها به همراه کاربرد آن‌ها در این مطالعه به‌صورت زیر است:

۱- مشخصات چاه‌های موجود فرودگاه بین المللی امام خمینی (ره) و میزان آبدهی آن‌ها؛ ۲- میزان تولید، مصرف آب و تعداد شاغلین مستقیم و غیرمستقیم فرودگاه در فازهای مختلف؛ ۳- سطوح محاسبه شده زیربنای ساخت اراضی کریدور تجاری و خلاصه اطلاعات هتل در حال احداث واقع در کریدور تجاری و همچنین خلاصه اطلاعات مسجد در حال احداث واقع در کریدور تجاری از دفتر امور مساجد.

۲-۱- بررسی وضعیت نیازها

برای برآورد میزان نیازهای واقع در محدوده مورد مطالعه، بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده و استانداردهای مصرف آب برای هر



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه [۱۹]

www.SID.ir

بخش عمل شد. برای مطالعه و بررسی تقاضا و نیازهای آبی فرودگاه به تفکیک مصارف مختلف، قبل از هر چیز باید مجموع کاربری‌های موجود و آینده مشخص شده، سپس با توجه به استانداردهای منطقه‌ای و جهانی، مجموع نیاز آبی برآورد شود. به‌طور کلی مصارف آب فرودگاه امام خمینی (ره) شامل دو بخش هوانوردی و غیر هوانوردی است. برای برآورد میزان آب مورد نیاز فرودگاه بین المللی امام خمینی و بررسی مصرف سرانه به ازای هر مسافر، آمار و اطلاعات اخذ شده از فرودگاه‌های مهرآباد و امام خمینی مورد استفاده قرار گرفت. این مصرف شامل تمامی مصارف از قبیل آشامیدن، توالت و دستشویی، نظافت و شستشوی سطوح، کیترینگ دو خط هوایی عمده، مصارف اداری، تجاری و خدماتی است. مطابق گزارش طرح جامع ADPI[1] مصرف آب به‌ازای هر مسافر ۲۲/۵ لیتر در روز پیشنهاد شده است. میزان آب شرب مصرفی مسافر در صورت تحقق حمل و نقل هوایی و اهداف بلند مدت طرح حاضر مطابق استاندارد ADPI در سال‌های مختلف به صورت جدول ۱ است. لازم به‌ذکر است در فازهای ۱ تا ۴ که به‌ترتیب مرتبط با سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۶، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۹ است، جمعیت‌هایی برابر با ۶/۵، ۲۶/۵، ۵۰ و ۹۰ میلیون مسافر جابجا می‌شوند. با توجه به اینکه هدف از این مطالعه اجرای ساختار پیشنهادی بر روی محدوده مورد مطالعه و نشان دادن کارایی آن در بهبود وضعیت بهره‌برداری و تخصیص از منابع زیرزمینی است، لذا بخشی از دوره طرح که مرتبط با سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ (دوره ۵ ساله) است، مورد اجرا و بررسی قرار گرفت.

۲-۲- بررسی وضعیت منابع آب

آب مورد نیاز فرودگاه امام خمینی از ده حلقه چاه موجود واقع در محدوده فرودگاه تأمین می‌شود (شکل ۱). لازم به ذکر است چاه‌های شماره ۹ و ۱۰ تحت عنوان چاه کیسون نامگذاری شده‌اند. آبدهی چاه‌های مذکور بر اساس آخرین بازدید به عمل آمده ۲۳۸ لیتر بر ثانیه است. مشخصات چاه‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. در حال حاضر بخشی از آب چاه‌ها توسط خط لوله به قطر ۴۰۰ میلی‌متر به تصفیه‌خانه ۲۰۰۰ متر مکعبی واقع در محوطه فرودگاه وارد شده و پس از تصفیه توسط خط لوله به قطر ۴۰۰ میلی‌متر به ترمینال مسافری و ساختمان‌های مختلف موجود در محوطه فرودگاه منتقل می‌شود و بخش دیگر بدون تصفیه وارد استخر ۱۰۰۰۰ مترمکعبی گردیده و به مصرف فضای سبز فرودگاه می‌رسد. با توجه به اینکه در افق طرح (سال ۱۴۰۹)، کل نیاز آب فرودگاه معادل ۷۰ میلیون مترمکعب خواهد بود، لذا گزینه‌های مختلفی از منابع آب سطحی برای تأمین نیازهای آبی در نظر گرفته شده است که نمی‌توان برنامه مدونی برای آن‌ها ارائه نمود. لذا در این مطالعه صرفاً بر مبنای منابع آب زیرزمینی، که توسط چاه‌های موجود مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، اقدام به توسعه مدل بهینه برداشت از چاه‌ها و تدوین سیاست‌های برداشت تا افق ۱۳۹۵ شد.

۳- تدوین مدل الگوی بهینه مصرف

در این بخش تابع هدف و محدودیت‌های مسئله بررسی و به‌صورت ریاضی ارائه شد. تابع هدف مورد مطالعه، حداکثر نمودن تأمین نیازهای بخش‌های مختلف در طول دوره زمانی ۵ ساله با توجه به اولویت‌های تأمین بود. بر اساس منابع موجود و پیشنهادی نیز، محدودیت‌های مسئله تعیین شده و در ارتباط با تابع هدف قرار می‌گیرد. با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان دریافت که مناطق نیاز مورد بررسی عبارت‌اند از: بخش هوانوردی و بخش غیرهوانوردی (شهر فرودگاهی). برای تأمین مناطق نیاز مشخص شده، از منابع آب زیرزمینی (۱۰ حلقه چاه واقع در محدوده مورد مطالعه) استفاده می‌شود. برای تعیین مقدار بهینه تخصیص از منابع آبی پیشنهادی به بخش‌های مختلف مناطق نیاز، دو تابع هدف به‌صورت رابطه ۱ تعریف شد. این اهداف عبارت‌اند از: حداقل نمودن میزان عدم تأمین نیاز و حداقل نمودن هزینه انتقال آب بخش‌های واقع در هر منطقه نیاز.

تابع هدف

(۱)

$$\text{Minimize } Z_1 = \sum_{t=1}^{m}\left(\left(\sum_{d=1}^{nD} DM_{td} - \sum_{z=1}^{nwell} AW_{tz}\right)\times\alpha\right)^2 + \text{Penalty}$$

$$\text{Minimize } Z_2 = \sum_{t=1}^{m}\sum_{z=1}^{nwell} AW_{tz}\times\cos t_z + \text{Penalty}$$

محدودیت‌ها

$$AW_{tz} \le Qwell_z \quad , \; z = 1,2,...,nwell \; , \quad t = 1,2,...,m \qquad (۲)$$

$$Dep_{tz} = 0.3858 \times \frac{2.3 \times AW_{tz} \times \log\left(rw / r_z\right)}{2\pi T} \qquad (۳)$$

$$Dpump_z - \left(Dep_{tz} + hpump_z + m \times \Delta h\right) \ge h_{max} \qquad (۴)$$

[1] شرکت فرانسوی مشاور طرح‌های توسعه فرودگاه امام

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱- نیاز آبی فرودگاه امام خمینی در بخش هوانوردی و غیرهوانوردی (واحدها بر میلیون متر مکعب) [۱۹]

سال	شرب و بهداشت	صنعت	خدمات	تهویه	غیرهوانوردی (شهر فرودگاهی)	مجموع
۱۳۹۱	۰/۱۴۵	۰/۰۶۳	۰/۱۲	۰/۱۶	۰	۰/۴۸۸
۱۳۹۲	۰/۲۱	۰/۰۸۶	۰/۱۷	۰/۲۴	۱/۰۶	۱/۷۶۶
۱۳۹۳	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۳۲	۲/۱۲	۳/۰۵
۱۳۹۴	۰/۳۴	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۴	۳/۲	۴/۳۵
۱۳۹۵	۰/۴	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۴۸	۵/۹	۷/۲۶

جدول ۲- آبدهی چاه‌های واقع در محدوده مورد مطالعه [۱۹]

شماره چاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
میزان مجاز برداشت (لیتر بر ثانیه)	۱۸	۱۱	۱۱	۱۰	۳۸	۴۰	۴۰	۴۰	۱۸	۱۲
عمق نصب پمپ (متر)	۱۷۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۵۰
تراز اولیه سطح آب (متر)	۸۰	۸۰	۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۵	۱۱۵	۹۵
قطر چاه (سانتی‌متر)	۰/۳۵۵۶	۰/۳۵۵۶	۰/۳۵۵۶	۰/۳۵۵۶	۰/۲۵۴	۰/۲۵۴	۰/۲۵۴	۰/۲۵۴	۰/۲۵۴	۰/۳۵۵۶

(۵)

$$\text{Penalty} = \sum_{t=1}^{m}\left(\begin{array}{l}\max\left(\sum_{z=1}^{nwell} AW_{tz} \Big/ \sum_{d=1}^{nD} DM_{td} - 1,0\right) + \\ \sum_{z=1}^{nwell} \max\left(AW_{tz}/Qwell_z - 1,0\right) + \\ \sum_{z=1}^{nwell}\left(\begin{array}{l}-1\times\min(AW_{tz},0) + \\ \max\left(1-\left(\begin{array}{l}Dpump_z - \\ (Dep_{tz} + hpump_z + m\times\Delta h)\end{array}\right)\Big/ h_{max},0\right)\end{array}\right)\end{array}\right)\times M$$

$$AW_{tz} \geq 0 \quad , \quad z = 1,2,...,nwell \quad , \quad t = 1,2,...,m \qquad (۶)$$

متغیرهای ارائه شده در معادلات بالا به‌صورت زیر تعریف می‌شوند (واحد حجم‌ها میلیون متر مکعب می‌باشد[1]):

DM_{td}: نیاز آبی بخش d در دوره t

AW_{tz}: میزان آب تخصیص داده شده از چاه z در دوره t (MCM)

α: ضریبی است که جهت تدقیق میزان آب تخصیص داده شده به نیازها مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این مطالعه برابر با ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

Penalty: مقدار جریمه اختصاص یافته در نتیجه عدم رعایت مقدار مجاز برداشت از هر چاه، مقدار هد آب لازم که باید در بالای پمپ وجود داشته باشد و مقدار تخصیص بیش از نیاز (بی‌بعد).

$\cos t_z$: میزان هزینه واحد آب انتقال یافته از چاه zام (ریال)

$Qwell_z$: میزان مجاز برداشت از چاه z (MCM)[2]

nwell: تعداد چاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه (برابر با ۱۰ حلقه چاه)

Dep_{tz}: مقدار افت تراز سطح آب زیرزمینی در چاه z در نتیجه برداشت به میزان AW_{tz} در دوره t (متر)

r_z: شعاع چاه در حال بهره‌برداری zام (متر)

T: ضریب قابلیت انتقال آبخوان محدوده مورد مطالعه (متر در روز)

$Dpump_z$: عمق نصب پمپ در چاه zام (متر)

$hpump_z$: تراز اولیه سطح آب زیرزمینی در چاه zام (متر)

Δh: میزان افت ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی منطقه (متر)

h_{max}: حداقل مقدار هد آب روی پمپ در هر چاه در حال بهره‌برداری (که در این مطالعه برابر با ۲۰ متر در نظر گرفته شده است) (متر)

nD: تعداد مناطق نیاز محدوده مورد مطالعه

d: شمارنده مناطق نیاز

M: عدد بزرگی است که جهت تخصیص جریمه به کار می‌رود. در این مطالعه برابر با 10^{22} در نظر گرفته شده است.

m: تعداد ماه‌های دوره برنامه‌ریزی.

[1] Million Cubic Meter (MCM)

[2] میزان مجاز برداشت از هر چاه بر اساس نتایج آزمایش پمپاژ صورت گرفته توسط سازمان آب منطقه‌ای تهران مشخص می‌باشد [۲۰].

Archive of SID
www.SID.ir

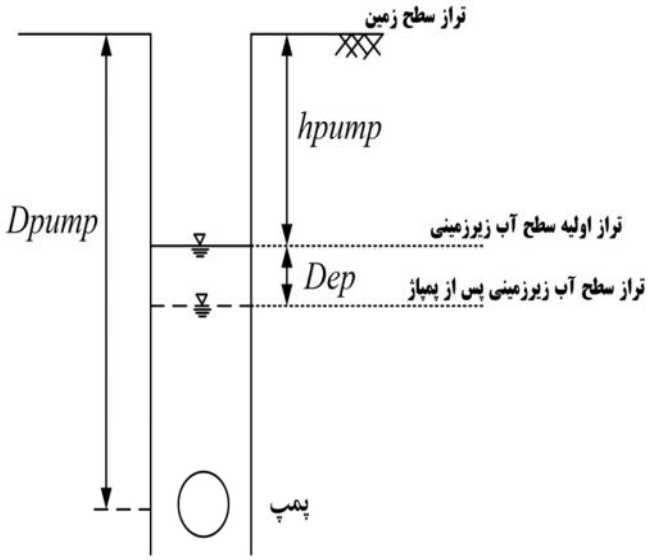
در رابطه ۱، تابع هدف ارائه شده است. در این رابطه هدف اول که حداقل نمودن میزان عدم تأمین نیاز است، مورد توجه قرار گرفته و برای جلوگیری از انتخاب سیاست‌هایی که منجر به تخریب آبخوان دشت و یا برداشت مازاد از آن می‌شود، از تابع جریمه به صورت رابطه ۵ استفاده شده است. بر اساس رابطه ۱، مقدار کل تخصیص از مجموع ۱۰ حلقه چاه موجود در ماه t ام ($\sum_{z=1}^{nwell} AW_{tz}$) باید به‌گونه‌ای باشد که به کل نیازهای آبی منطقه (مشتمل بر شرب فرودگاه، شرب شهر فرودگاهی، تهویه، خدمات و صنعت) که معادل عبارت $\sum_{d=1}^{nD} DM_{td}$ است، نزدیک باشد. به‌عبارت دیگر با نزدیک شدن این دو عبارت در ماه t ام به هم، میزان اختلاف آب تخصیصی با میزان نیاز آبی کم شده و در صورتی که این روند برای سایر ماه‌ها نیز برقرار باشد، منجر به کم شدن تابع هدف اول در طول دوره برنامه‌ریزی و بعضاً نزدیک به صفر شدن آن می‌شود که مطلوب این مدل است. حال در این وضعیت، در صورتی که تخصیص از چاه‌های موجود (۱۰ حلقه چاه) به‌گونه‌ای باشد که محدودیت‌های ارائه شده مدل ارضا نشود، لازم است تجدیدنظر بر روی سیاست برداشت از چاه‌ها صورت گیرد. زیرا عدم رعایت سقف مجاز برداشت اعلام شده برای هر چاه، منجر به کاهش آبدهی، افت تصاعدی و در نتیجه خشک شدن چاه در آینده خواهد شد. برای این منظور و برای جلوگیری از ارائه چنین سیاست‌های برداشتی توسط مدل، مدل‌ساز اقدام به اضافه نمودن تابعی به هر یک از توابع هدف نموده تا بر پایه آن بتواند مقدار مجاز و بهینه برداشت از هر چاه را تعیین و در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار دهد. این تابع که تحت عنوان تابع جریمه در این مطالعه مطرح شده است به‌صورت رابطه ۵ نمایش داده شده است.

مطابق رابطه ۵، تابع جریمه مشتمل بر سه بخش مجزا است. بخش اول این تابع، میزان تخصیص به اندازه نیاز را مورد کنترل قرار می‌دهد. در این بخش، اگر میزان کل آب برداشت شده از چاه‌های منطقه ($\sum_{z=1}^{nwell} AW_{tz}$) بیشتر از کل نیازهای آبی محدوده ($\sum_{d=1}^{nD} DM_{td}$) باشد، نسبت کسر $\sum_{z=1}^{nwell} AW_{tz} \Big/ \sum_{d=1}^{nD} DM_{td}$ بیشتر از ۱ شده و در نتیجه حاصل عبارت $\sum_{z=1}^{nwell} AW_{tz} \Big/ \sum_{d=1}^{nD} DM_{td} - 1$ یک عدد مثبت خواهد شد. بیشینه یک عدد مثبت و عدد صفر، عدد مثبت بوده و به‌عنوان جریمه برای این بخش در نظر گرفته می‌شود.

در بخش دوم، میزان مجاز برداشت از هر چاه واقع در محدوده مورد مطالعه چک شده تا برداشتی بیش از مقدار تعیین شده (مطابق پروانه بهره‌برداری) برای آن در نظر گرفته نشود. بنابراین چنانچه مقدار آب برداشت شده از هر چاه برای ماه t ام (AW_{tz}) بیشتر از میزان مجاز برداشت ($Qwell_z$) باشد، کسر $AW_{tz}/Qwell_z$ بزرگ‌تر از یک خواهد شد و حاصل عبارت $AW_{tz}/Qwell_z - 1$ مثبت می‌شود که بیشینه این مقدار مثبت و صفر، در واقع مقدار جریمه حاصل از عدم رعایت مقدار مجاز برداشت را ارائه خواهد نمود. این روند برای کل چاه‌های بهره‌برداری انجام شده و مجموع کل جریمه، که حاصل تخطی میزان برداشت از هر چاه از میزان مجاز است با استفاده از عبارت $\sum_{z=1}^{nwell} \max(AW_{tz}/Qwell_z - 1,0)$ محاسبه می‌شود. بنابراین برای رعایت مقادیر مجاز بهره‌برداری از هر چاه، رابطه ۲ که بیانگر حداکثر مقدار آبی که قابل تخصیص به مناطق نیاز است را تعیین می‌نماید، تدوین شد.

با توجه به اینکه برداشت از هر چاه (AW_{tz}) باید دارای مقدار مثبت باشد لذا در صورت منفی بودن باید جریمه‌ای به آن اختصاص یابد که مطابق عبارت اول بخش سوم ($-1\times\min(AW_{tz},0)$) است.

برای برداشت از هر چاه لازم است یک هد آب بالای پمپ وجود داشته باشد که در صورت کاهش آن ممکن است پمپ‌ها هوا کشیده و کارایی خود را از دست بدهند، برای این منظور حداقل هد آب بالای پمپ برابر با ۲۰ متر (h_{max}) در نظر گرفته شد که مطابق عبارت دوم بخش سوم تابع جریمه است. برای محاسبه میزان جریمه برای این بخش، لازم است میزان هد آب بالای پمپ در هر چاه محاسبه شود. برای این منظور مطابق شکل ۲، لازم است پارامترهای عمق نصب پمپ، تراز اولیه سطح آب زیرزمینی، عمق آب زیرزمینی پس از پمپاژ و میزان افت متوسط ماهانه منطقه‌ای



شکل ۲- نحوه محدودیت در نظر گرفته شده برای هر پمپ با توجه به هد آب بالای آن

www.SID.ir
Archive of SID

که چاه‌های بهره‌برداری در آن قرار دارند، مشخص شود. با توجه به رابطه $Dpump_z - (Dep_{tz} + hpump_z + m \times \Delta h)$ که نشان‌دهنده میزان آب (هد آب) بالای پمپ است، می‌توان وضعیت بهره‌برداری چاه را بررسی کرد.

حال چنانچه مقدار هد آب بالای پمپ ($Dpump_z - (Dep_{tz} + hpump_z + m \times \Delta h)$) بیشتر از ۲۰ متر ($h_{max}$) باشد، در این صورت حاصل عبارت $\left(Dpump_z - (Dep_{tz} + hpump_z + m \times \Delta h)\right) / h_{max}$ بزرگ‌تر از ۱ بوده و در نتیجه عبارت $1 - \left(Dpump_z - (Dep_{tz} + hpump_z + m \times \Delta h)\right) / h_{max}$ منفی خواهد شد. بنابراین بیشینه مقدار منفی و صفر برابر با صفر می‌شود که نشان‌دهنده عدم ارائه جریمه برای این حالت از پمپاژ است. در غیر این‌صورت مقدار جریمه برای هر چاه معادل $\max\left(1 - \left(Dpump_z - (Dep_{tz} + hpump_z + m \times \Delta h)\right) / h_{max}, 0\right)$ خواهد بود که با محاسبه این مقدار جریمه (در صورت دارا بودن جریمه) برای هر چاه و جمع نمودن آن، می‌توان جریمه کل ناشی از عدم رعایت هد آب بالای پمپ را محاسبه کرد.

لازم به ذکر است به‌منظور محاسبه میزان افت تراز سطح آب زیرزمینی در هر چاه با توجه به میزان برداشت، رابطه ۳ ارائه شده است. این رابطه بر مبنای ضریب انتقال چاه، میزان برداشت، شعاع چاه و حریم در نظر گرفته برای آن به محاسبه میزان افت در چاه می‌پردازد.

دومین تابع هدف در نظر گرفته شده برای این مطالعه، میزان کل هزینه آب انتقالی از چاه‌های محدوده مورد مطالعه به مناطق نیاز است. با توجه به هزینه واحد انتقال که در بخش قبل ارائه شد و همچنین میزان آب انتقال یافته، می‌توان مقدار کل هزینه صرف شده برای تأمین نیازهای آبی از چاه‌های موجود را برآورد نمود. همانطور که در بخش دوم رابطه ۱ نشان داده شده است، حداقل نمودن حاصل‌ضرب مقدار آب تخصیص یافته از هر چاه (AW_{tz}) در ماه tام در هزینه انتقال از چاه بهره‌برداری مورد نظر ($cost_z$) میزان کل هزینه بهره‌برداری از آن چاه را در ماه tام نشان می‌دهد که برای محاسبه میزان هزینه کل، لازم است با توجه به دوره زمانی بهره‌برداری از چاه‌ها و جمع نمودن میزان هزینه ماهانه عمل شود.

همانطور که در این رابطه ارائه شده است، تابع جریمه به این تابع هدف نیز اضافه شده است که علت این امر، خارج نمودن سیاست‌هایی است که منجر به عدم رعایت محدودیت‌های برداشت از هر چاه و تخصیص به میزان نیاز می‌شوند.

برای حل مدل بهینه‌سازی تدوین شده لازم است ابتدا متغیرهای مسئله که همان متغیرهای تصمیم یا مجهولات مدل هستند، تعریف شوند. در این مطالعه متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شده برای هر ماه عبارت‌اند از میزان ماهانه آب برداشت شده از ۱۰ حلقه چاه (شکل ۲).

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است متغیرهای تصمیم در قالب ژن ارائه شده‌اند و مجموعه ژن‌ها که تولید یک جواب برای مدل بهینه‌سازی می‌نماید، به‌عنوان یک کروموزم در نظر گرفته می‌شود. همچنین مجموعه کروموزم‌ها به عنوان یک نسل مطرح می‌باشند.

بنابراین با توجه به ده حلقه چاه موجود و دوره زمانی ۵ ساله، می‌توان تعداد کل مجهولات مدل (تعداد کل متغییرهای تصمیم) که قرار است با استفاده از ابزار بهینه‌یابی تعیین شوند، را مشخص نمود. لذا تعداد متغیرهای تصمیم برابر با ۶۰۰ = ۱۲ (ماه)×۵ (سال)×۱۰ (حلقه چاه) خواهد بود. برای تعیین مقدار این متغیرهای تصمیم (مقدار برداشت ماهانه از هر چاه) لازم است از مناسب‌ترین ابزار بهینه‌یابی استفاده شود که در این مطالعه ابزار مورد نظر الگوریتم ژنتیک مبتنی بر جواب غیرپست[1] می‌باشد.

نحوه تعیین متغیرهای تصمیم مدل با استفاده از ابزار NSGA-II به این صورت است که ابتدا مقادیر تصادفی برای برداشت از هر چاه (متغیرهای تصمیم) در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این مقادیر، مقدار توابع هدف مورد محاسبه قرار گرفته و در صورت داشتن جریمه در نتیجه تخطی از محدودیت‌های در نظر گرفته شده برای آن، جواب تولیدی مورد بازنگری قرار گرفته تا میزان جریمه آن به صفر برسد. در طی این روند بهبود مقادیر متغیرهای تصمیم، توابع هدف نیز مورد بررسی قرار گرفته تا کمترین میزان خود را در بین جواب‌ها داشته باشند. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که تغییری در مقادیر توابع هدف حاصل نشود. در این صورت می‌توان با احتمال بسیار زیاد، بیان نمود که مقدار ارائه شده برای متغیرهای تصمیم،

[1] Non-Dominate Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)

شکل ۳- وضعیت متغییرهای تصمیم در قالب ژن‌ها برای مدل بهینه‌سازی تدوین شده

Archive of SID
www.SID.ir

بهینه بوده و به‌عنوان برنامه بهره‌برداری از چاه‌های محدوده مورد مطالعه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس این مقادیر، شرایط بهینه تخصیص به بخش‌های مختلف با سیاست‌های بهینه بهره‌برداری ماهانه و یا فصلی تدوین می‌شود.

۴- ساختار مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک مبتنی بر جواب غیرپست (NSGA-II)

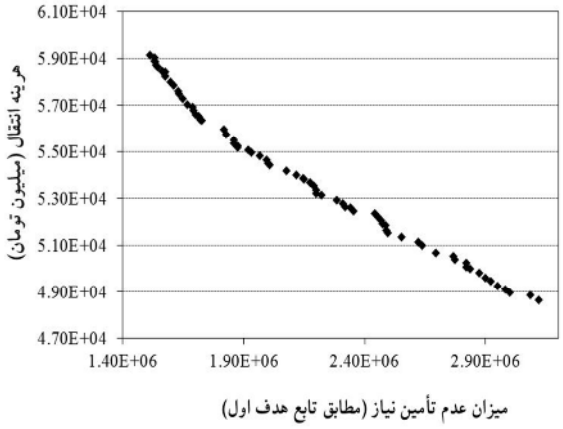
برای حل مدل بهینه‌سازی چندهدفه روش‌های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش وزن‌دهی[1]، روش محدودیت[2]، روش آرمانی[3] و الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه[4] اشاره نمود. در این مطالعه از الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه به‌دلیل دارا بودن توانای بالا در حل مسائل پیچیده و ارائه منحنی تبادل بهینه بین اهداف استفاده شد. این مدل‌ها به‌راحتی می‌توانند مسائلی را که از پیوستگی خاصی تبعیت نمی‌نمایند، فضای تصمیم موجه یکپارچه‌ای را ندارند و یا توابع هدف آن‌ها دارای پارامترهای تصادفی است را حل نمایند. این مدل توسط دب و همکاران در سال ۲۰۰۰ برای حل مسائل و مشکلات مدل الگوریتم ژنتیک کلاسیک، پیشنهاد شده است. مشکلات عمده مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه پیشین عبارت بودند از: حجم بالای محاسبات در هر تکرار که منجر به افزایش زمان اجرای مدل می‌شود و عدم نگهداری تعداد مناسب مقادیر برتر در طول اجرای مدل. مراحل اجرای این مدل بهینه‌سازی چندهدفه در مرجع [۲۱] آمده است.

۵- ارائه نتایج مدل مدیریتی بهینه بهره‌برداری تدوین شده

در این مطالعه برای تدوین الگوی بهینه مصرف، با توجه به اینکه افق زمانی در مدار قرار گرفتن منابع آب سطحی و تصفیه‌خانه‌ها برای تخصیص به مصارف فرودگاه مشخص بوده و همچنین هزینه‌های واحد انتقال نیز مطابق محاسبات، تعیین شده لذا ارائه برنامه بهینه بهره‌برداری تخصیص از این منابع آبی بی‌معنی بوده و در صورتی می‌توان برای آن‌ها سیاست‌های بهینه برداشت را ارائه نمود که وضعیت تخصیص تا قبل از فرودگاه در طول دوره برنامه‌ریزی موجود باشد. برای این منظور در این مطالعه صرفاً از ده حلقه چاه محدوده فرودگاه، با توجه به میزان افت هر چاه و افت منطقه، برای ارائه برنامه بهینه برداشت استفاده شد. در این راستا، مصارف در قالب بخش‌های هوانوردی و شهر فرودگاهی به مدل معرفی شدند که اولویت تخصیص به نیازهای مورد اشاره مطابق جدول ۳ است. در واقع این جدول نحوه تخصیص آب به مناطق نیاز را مشخص می‌نماید. به‌این معنی که در صورت تخصیص آب، ابتدا منطقه هوانوردی و سپس منطقه غیرهوانوردی تأمین نیاز می‌شوند. در منطقه هوانوردی نیز ابتدا بخش شرب و بهداشت و سپس تهویه و خدمات و در انتها در صورت وجود آب، بخش صنعت تأمین می‌شود. به همین ترتیب آب تخصیص یافته به منطقه غیرهوانوردی مطابق اولویت‌های ارائه شده در صورت وجود آب تأمین نیاز خواهد شد. همچنین هزینه واحد انتقال آب به مناطق نیاز نیز مطابق جدول ۴ است.

با توجه به اهداف تعیین شده برای این مطالعات، مدل ریاضی تدوین شده اجرا شد. منحنی تبادل بهینه بین اهداف مطابق شکل ۴ است. بر اساس این منحنی می‌توان سیاست‌های مختلف برداشت از چاه‌های منطقه را برای حالت‌های مختلف عدم تأمین نیاز و هزینه‌های مختلف انتقال یافت. به‌عبارت دیگر هر نقطه بر روی این منحنی نشان‌دهنده یک برنامه بهینه برداشت از ده حلقه چاه منطقه است که بر اساس مقادیری که برای برداشت این چاه‌ها در نظر گرفته شده است، میزان عدم تأمین نیاز و میزان هزینه لازم برای انتقال آب به مناطق نیاز به راحتی قابل محاسبه است. این منحنی، ارائه‌دهنده برنامه‌های مختلف بهره‌برداری از چاه‌ها است که با توجه به نظر تأمین‌کننده آب می‌تواند یکی از گزینه‌ها، انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به اینکه تعداد نقاط واقع بر روی منحنی تعاملی بسیار زیاد است و ارائه مشخصات هر کدام از آن‌ها در قالب برنامه بهینه تخصیص از چاه‌ها ممکن نیست، لذا در این مطالعه دو حالت که بیانگر کمترین میزان عدم تأمین نیاز (بیشترین تخصیص) و بیشترین میزان عدم تأمین نیاز (کمترین میزان تخصیص) است، مورد بررسی قرار گرفت. در واقع این دو نقطه به‌عنوان نقاطی که از



شکل ۴- منحنی تبادل بهینه بین اهداف

[1] Weighted Sum Method
[2] Epsilon-Constraint Method
[3] Goal Attainment Method
[4] Multi-Objective Evolutionary Algorithms (MOEAs)

www.SID.ir
Archive of SID

جدول ۳- اولویت‌های در نظر گرفته شده برای مصارف

اولویت مناطق نیاز	منطقه نیاز/اولویت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	هوانوردی	شرب و بهداشت	تهویه	خدمات	صنعت				
۲	شهر فرودگاهی	اقامتی	عمومی	انبار	تجاری	اداری	تحقیقاتی	آموزشی	صنعتی

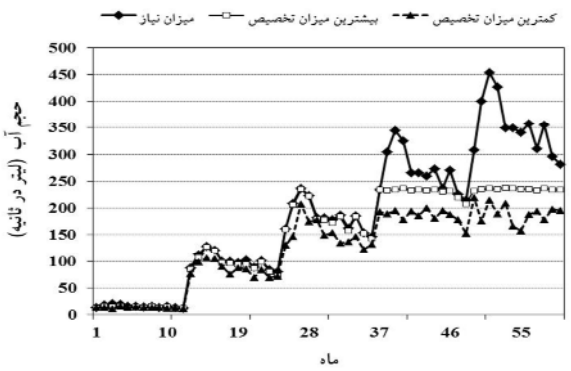
جدول ۴- میزان هزینه واحد انتقال آب، میزان آب قابل تخصیص و فاصله خط انتقال تا فرودگاه [۱۹]

نام منبع	میزان آب قابل تخصیص (L/s)	فاصله خط انتقال تا فرودگاه (متر)	هزینه هر متر مکعب آب انتقالی بر مبنای قیمت‌های اعلام‌شده در سال‌های۸۸-۱۳۸۷ (ریال)	نحوه انتقال
چاه‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۴	۵۰	۱۶۳۹	۲۶۸۵/۳	پمپاژ
چاه‌های شماره ۵، ۶، ۷ و ۸	۱۵۸	۱۶۳۹	۲۶۶۹/۲	پمپاژ
چاه شماره ۹ و ۱۰ (چاه‌های کیسون)	۳۰	۱۶۳۹	۱۵۷۸/۵	پمپاژ

نظر دو هدف مورد بررسی، برتر از سایر نقاط باشند، مدنظر نبوده و به‌عنوان دو گزینه بهره‌برداری بهینه از بین گزینه‌هایی که منحنی تبادل پیشنهاد می‌دهد، مطرح هستند. به‌عبارت بهتر در برنامه‌ریزی‌های چندهدفه نمی‌توان نقطه‌ای (جوابی) را یافت که بیانگر مقدار مطلوب تمامی اهداف باشد. جواب‌های بهینه ارائه شده در چنین مدل‌هایی در واقع ارائه‌دهنده سناریوهای مختلف بهره‌برداری از سیستم است که بسته به شرایط حاکم بر آن سیستم، مدیر تصمیم‌گیر می‌تواند یکی را که نزدیک‌تر به آن شرایط است انتخاب و نسبت به اجرای دستورالعمل پیشنهاد شده توسط آن اقدام نماید. در این مطالعه نیز بر این اساس عمل شد و تنها دو جواب ابتدایی و انتهایی منحنی تبادل، که در واقع بهترین و بدترین نوع عملکرد یک سیستم بهره‌برداری را نشان می‌دهد، مورد تحلیل قرار گرفتند.

در شکل ۵، نتایج مقدار بهینه تخصیص در مقایسه با نیازهای آبی برای یک دوره پنج ساله (۹۵-۱۳۹۰) و برای دو گزینه کمترین و بیشترین میزان تخصیص ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، تقریباً از سال سوم به بعد، چاه‌های موجود قادر به تأمین نیازهای آبی محدوده نبوده و لازم است از سایر منابع آبی که در اولویت اول آن‌ها، حفر چاه‌های پیشنهادی و استحصال به میزان ۱۰۰ لیتر در ثانیه است، استفاده نمود. این میزان عدم تأمین نیاز برای حالتی که میزان هزینه کمتری صرف تخصیص شود، بیشتر خواهد بود.

با توجه به اینکه در تابع هدف ساختار پیشنهادی، حداقل نمودن میزان عدم تأمین نیاز مورد توجه بوده، مناسب‌ترین شاخصی که بیانگر آب تخصیص داده شده در مقایسه با نیاز آبی باشد، شاخص اطمینان‌پذیری یا قابلیت اطمینان است. این شاخص بیانگر میزان تأمین اهداف سیستم است و یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای بررسی کارایی سیاست‌های بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب در شرایط عادی است. با توجه به مقادیر بهینه تخصیص از منابع آب زیرزمینی می‌توان شاخص اطمینان‌پذیری مناطق نیاز را که نشان‌دهنده درصد تأمین نیاز است، به‌صورت ماهانه تعیین نمود [۲۲]. مطابق شکل ۶، اطمینان‌پذیری تأمین برای دو حالت کمترین و بیشترین میزان تخصیص نشان داده شده است. منظور از حالتی که کمترین میزان تخصیص به نیازها را دارا باشد، سیاستی است که بیشترین میزان عدم تأمین نیازها و کمترین میزان هزینه انتقال را به خود اختصاص می‌دهد که بر اساس شکل ۳، نقطه‌ای که در



شکل ۵- مقایسه میزان آب تخصیص داده شده با میزان نیاز برای دو سناریو بهره‌برداری از چاه‌ها

شکل ۶- مقایسه اطمینان‌پذیری تأمین آب برای دو سناریو بهره‌برداری از چاه‌ها

www.SID.ir

انتهایی‌ترین قسمت نمودار قرار دارد، نمایش‌دهنده این سیاست است. عکس این حالت بیشترین حالت تخصیص به نیازها را نمایش می‌دهد. مقدار متوسط اطمینان‌پذیری سیستم به‌صورت عددی و برای بخش‌های مختلف مناطق نیاز در قالب جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. مطابق این جداول، میزان آب مورد نیاز برای تأمین آب شرب فرودگاه برای هر دو حالت و با استفاده از ده حلقه چاه در طول دوره بهره‌برداری پنج ساله به‌طور کامل تأمین می‌شود. در صورتی که آب شرب شهر فرودگاهی برای حالت‌های بیشترین و کمترین میزان تأمین نیاز به‌ترتیب برای یک دوره پنج ساله از ۱۰۰ درصد تأمین به میزان ۲۶ و ۴۱ درصد کاهش یابد، در افق پنج ساله (۱۳۹۵) به مقدار ۷۳/۹۲ و ۵۹/۱۸ درصد خواهد رسید. این روند برای مصارف تهویه، خدمات و صنعت دارای کاهش چشمگیر است. لذا لازم است از سایر منابع آبی موجود در محدوده استفاده شود.

جدول ۵- متوسط میزان اطمینان‌پذیری سیستم برای بخش‌های مختلف-در حالت کمترین میزان تخصیص (درصد)

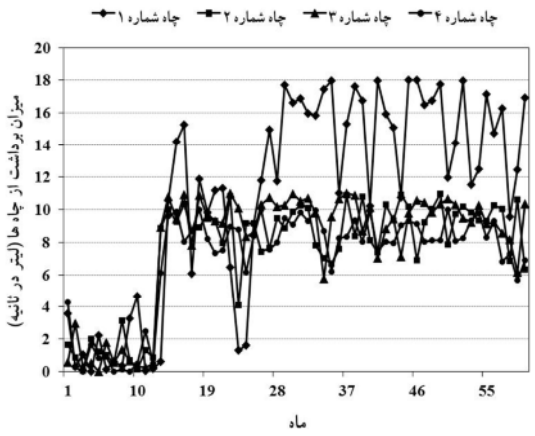
سال	شرب فرودگاه	شرب شهر فرودگاهی	تهویه	خدمات	صنعت
۱	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۳۳	۸۳/۲۱	۳۱/۳۹
۲	۱۰۰	۹۸/۱۹	۳۰/۲۶	۰	۰
۳	۱۰۰	۹۱/۹۵	۱۰/۶۱	۷/۹۳	۰
۴	۱۰۰	۷۷/۴۶	۰	۰	۰
۵	۱۰۰	۵۹/۱۸	۰	۰	۰

جدول ۶- متوسط میزان اطمینان‌پذیری سیستم برای بخش‌های مختلف-در حالت بیشترین میزان تخصیص (درصد)

سال	شرب فرودگاه	شرب شهر فرودگاهی	تهویه	خدمات	صنعت
۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۹/۶۲	۳۲/۱
۲	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۰۷	۷۶/۶۷	۲۰/۴
۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۱/۳۵	۳۰/۱۵
۴	۱۰۰	۹۳/۷۵	۳۳/۵۳	۲۴/۲۹	۶/۷۴
۵	۱۰۰	۷۳/۹۲	۰	۰	۰

بر اساس حداکثر مقدار تخصیص می‌توان برنامه بهینه بهره‌برداری از هر چاه را به‌صورت ماهانه ملاحظه نمود که به‌عنوان نمونه این برنامه برای چهار چاه در شکل ۷ ارائه شده است. مطابق این شکل، هر چاه دارای روند بهره‌برداری کاملاً متمایزی از سایر چاه‌ها بوده و برای بهینه شدن (دستیابی به اهداف مورد اشاره در مدل مدیریتی تدوین شده) مقادیر تخصیص، لازم است این دستورالعمل‌ها به مرحله اجرا گذاشته شود. در غیر این صورت با توجه به افت هر چاه و افت کلی منطقه ممکن است نتوان این میزان برداشت را از چاه‌ها استحصال نمود.

برای ارائه سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از هر چاه، بازه برداشت بهینه به‌عنوان نمونه برای چاه شماره ۱ در جدول ۷ بر اساس منحنی تبادل بهینه تهیه شد. مطابق این جدول از هر چاه می‌توان به میزان مشخص شده برای آن که به‌صورت ماهانه می‌باشد، تخصیصی را برای مناطق نیاز در نظر گرفت. به‌عنوان نمونه لازم است برای بهینه شدن میزان برداشت از چاه شماره ۱ در سال اول بهره‌برداری، حداقل و حداکثر به میزان ۰/۲۸ و ۴/۹۳ لیتر در ثانیه در ماه فروردین برداشت شود.



شکل ۷- مقدار برداشت بهینه از چاه‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ محدوده فرودگاه

جدول ۷- سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از چاه شماره ۱ محدوده فرودگاه برای دوره بهره‌برداری پنج ساله (لیتر در ثانیه)

سال بهره‌برداری	چاه شماره ۱	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱	حداقل	۰/۲۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	حداکثر	۴/۹۳	۱/۸۴	۱/۷۷	۱/۱۹	۲/۲۴	۳/۲۶	۳/۷۹	۲/۴۵	۳/۶۸	۴/۶۶	۳/۰۶	۵/۱۳
۲	حداقل	۰	۸/۹۱	۱۲/۲۲	۱۴/۹۶	۰	۵/۵۱	۸/۳۳	۷/۲۱	۰/۶۷	۵/۶۳	۰	۰/۰۱
	حداکثر	۹/۸۷	۱۳/۹۶	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۲/۳۰	۱۶/۹۳	۱۳/۰۷	۱۶/۵۸	۱۱/۴۹	۱۰/۷۶	۲/۹۲	۵/۹۷
۳	حداقل	۹/۱۴	۱۰/۵۳	۱۴/۳۹	۹/۸۷	۱۵/۲۰	۱۲/۰۳	۱۳/۱۱	۱۳/۶۹	۱۳/۹۶	۱۷/۳۲	۱۴/۴۶	۸/۵۶
	حداکثر	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱
۴	حداقل	۱۵/۱۶	۱۶/۹۳	۱۵/۸۵	۷/۷۵	۱۳/۷۳	۱۴/۰۸	۱۵/۰۸	۹/۰۶	۱۵/۰۸	۱۴/۸۱	۱۶/۲۸	۱۱/۴۹
	حداکثر	۱۸/۰۱	۱۷/۹۷	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۷/۷۰	۱۸/۰۱
۵	حداقل	۱۰/۷۶	۱۱/۹۵	۱۳/۵۴	۱۶/۲۸	۱۱/۵۳	۱۲/۵۳	۱۶/۳۱	۱۱/۶۱	۹/۷۹	۹/۶۰	۱۱/۰۷	۱۶/۰۸
	حداکثر	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱	۱۸/۰۱

www.SID.ir

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش دو هدف تأمین نیازهای آبی و کاهش هزینه‌های انتقال آب از منبع به مصرف با توجه به محدودیت‌های حاکم بر آبخوان تعریف شد. سپس بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جواب غیرپست (NSGA-II)، ساختار تعریف شده مورد اجرا قرار گرفت و مقادیر بهینه برداشت برای استخراج دستورالعمل‌های مدیریتی تعیین شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده این مطلب بود که هر چاه دارای روند بهره‌برداری کاملاً متمایزی از سایر چاه‌ها بوده و برای بهینه شدن مقادیر تخصیص، لازم است این دستورالعمل‌ها به مرحله اجرا گذاشته شود. در غیر این صورت با توجه به افت هر چاه و افت کلی منطقه ممکن است نتوان این میزان برداشت را از چاه‌ها استحصال نمود. همچنین اجرای دستورالعمل بهره‌برداری پیشنهادی می‌تواند منجر به تأمین ۱۰۰ درصدی نیاز شرب فرودگاه در طی یک دوره پنج ساله شود که این میزان تأمین، برای سایر اجزای فرودگاه در طی این دوره متفاوت است و روند نزولی را در تأمین نیازها خواهد داشت. به عبارت بهتر، منظور از دستورالعمل ارائه شده در این مطالعه همان سیاست بهینه برداشت است که برای بهره‌بردار مشخص می‌کند در هر ماه، به چه میزان حق برداشت دارد تا پایداری آبخوان و آبدهی چاه‌های بهره‌برداری در بلندمدت حفظ شود. این دستورالعمل بهره‌برداری، خروجی ساختار پیشنهادی است که رعایت آن در طول دوره بهره‌برداری می‌تواند منجر به برداشت پایدار از آبخوان شود.

۷- مراجع

1. Werner, A.D., Zhang, Q., Xue, L., Smerdon, B.D., Li, X., Zhu, X., Yu, L., and Li, L. (2013). "An initial inventory and indexation of groundwater Mega-Depletion cases." *Water Resources Management*, 27(2), 507-533.
2. Tung, C.P., and Chou, C.A. (2004). "Pattern classification using tabu search to identify the spatial distribution of groundwater pumping." *Water Resources Management*, 12(5), 488-496.
3. Moharram, S.H., Gad, M.I., Saafan, T.A., and Khalaf Allah, S. (2012). "Optimal groundwater management using genetic algorithm in El-Farafra oasis, western desert, Egypt." *Water Resources Management*, 26(4), 927-948.
4. Qahman, K., Larabi, A., Ouazar, D., Naji, A., and Cheng, A.H.D. (2010). "Sustainable, just, equal, and optimal groundwater management strategies to cope with climate change: Insights from Brazil." *Water Resources Management*, 24(13), 3731-3756.
5. Zagonari, F. (2005). "Optimal and sustainable extraction of groundwater in coastal aquifers." *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(2), 99-110.
6. Gaur, S. Ch. S., Graillot, D., Chahar, B.R., and Nagesh Kumar, D. (2013). "Application of artificial neural networks and particle swarm optimization for the management of groundwater resources." *Water Resources Management*, 27(3), 927-941.
7. Wu, J., Zheng, L., and Liu, D. (2007). "Optimizing groundwater development strategies by genetic algorithm: A case study for balancing the needs for agricultural irrigation and environmental protection in northern China." *Hydrogeology Journal*, 15(7), 1265-1278.
8. Rejani, R., Jha, Madan K., Panda, S.N., and Mull, R. (2008). "Simulation modeling for efficient groundwater management in balasore coastal basin, India." *Water Resources Management*, 22(1), 23-50.
9. Nettasana, T., Craig, J., and Tolson, B. (2012). "Conceptual and numerical models for sustainable groundwater management in the Thaphra area, Chi river basin, Thailand." *Hydrogeology Journal*, 20(7), 1355-1374.
10. Mukherjee, P., Kumar Singh, C., and Mukherjee, S. (2012). "Delineation of groundwater potential zones in arid region of india—a remote sensing and GIS approach." *Water Resources Management*, 26(9), 2643-2672.
11. Chang, L.C., Chu, H.J., and Hsiao, C.T. (2012). "Integration of optimal dynamic control and neural network for groundwater quality management." *Water Resources Management*, 26(5), 1253-1269.
12. Maslov, A.A., and Shtengelov, R.S. (2004). "Typification of safe groundwater yield." *Water Resources*, 31(5), 475-482.
13. Kalf, F.R.P., and Woolley, D.R. (2005). "Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems." *Hydrogeology Journal*, 13(1), 295-312.

Archive of SID
www.SID.ir

14. Mark Yidana, S., and Ophori, D. (2008). “Groundwater resources management in the Afram Plains area, Ghana.” *KSCE Journal of Civil Engineering*, 12(5), 349-357.
15. Golian, S., Abrishamchi, A., and Tajrishy, M. (2007). “A system dynamics- based analysis of operation policies for water resources at river basin scale.” *J. of Water and Wastewater*, 63, 70-80. (In Persian)
16. Bazargan-Lari, M.R., Kerachian, R., Sedghi, H., Fallahnia, M., Abed-Elmdoust, A., and Nikoo, M.R. (2011). “Eveloping probabilistic operating rules for real-time conjunctive use of surface and groundwater Resources: Application of support vector machines.” *J. of Water and Wastewater*, 76, 54-69. (In Persian)
17. Mohammad Rezapour Tabari, M., Maknoon, R., and Ebadi, E. (2009). “Multi-objective optimal model for conjunctive use management using SGAs and NSGA-II models.” *J. of Water and Wastewater*, 69, 2-12. (In Persian)
18. Mohammad Rezapour Tabari, M., Maknoon, R., and Ebadi, E. (2009). “Conjunctive use management under uncertainty in aquifer parameters.” *J. of Water and Wastewater*, 72, 2-15. (In Persian)
19. RyAb Consulting Enginners. (2011). *Report of consumption management strategies Imam Khomeini International Airport*, Tehran, Iran. (In Persian)
20. RyAb Consulting Enginners. (2011). *Report of estimated water requirements of International Imam Khomeini airport*, 2nd Ed., Tehran. (In Persian)
21. Mohammad Rezapour Tabari, M. (2009). “Uncertainty based conjunctive use modeling in regional scall.” Ph.D. Dissertation, Civil and Environmental Engineering Department, AmirKabir University of Technology, Tehran. (In Persian)
22. Mohammad Rezapour Tabari, M. (2010). “Conjunctive use of surface and groundwater with inter-basin transfer approach: Case study Piranshahr Plain.” *J. of Water and Wastewater*, 80, 103-113. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir