تعیین عمق بهینه چاه‌ها جهت کف‌شکنی با استفاده از برنامه‌ریزی غیر خطی

حمیدرضا صفری* بهرام نوایی نیا* محمدباقر شریفی**

(دریافت ۸۳/۱/۲٤ پذیرش ۸۳/۸/۲)

چکیده

چاه‌ها در اکثر مناطق ایران نقش مهمی در تأمین آب آشامیدنی ایفا می‌کنند. با توجه به پایین رفتن سطح آب زیرزمینی بر اثر برداشت‌های غیر مجاز در اکثر دشت‌های ایران، دبی چاه‌ها پس از مدت زمان کوتاهی (چند سال) به میزان زیادی کاهش پیدا می‌کند و برای دست‌یابی به دبی اولیه چاه، یا بایستی چاه‌های جدید حفر نمود و یا با کف‌شکنی چاه‌های موجود مجدداً به همان دبی دست یافت. در صورتی که گزینه کف‌شکنی برای تأمین آب انتخاب شود، با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی می‌توان عمق بهینه چاه‌ها را به نحوی یافت که ضمن تأمین آب مورد نیاز، هزینه کمتری صرف کف‌شکنی گردد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی برای تعیین عمق بهینه چاه‌ها جهت کف‌شکنی ارائه شده است. در این مدل فرض شده است که بیلان آبی آبخوان در مجموع آبخوان بالا و پایین سنگ کف میانی، اجازه برداشت را می‌دهد. این مدل برای تعیین عمق بهینه سه حلقه چاه موجود یک منطقه نمونه (شهر فریمان در استان خراسان) جهت کف‌شکنی به کار گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی: کف‌شکنی چاه‌ها، برنامه‌ریزی غیر خطی، بهینه‌سازی

Determination of Optimal Depth for Well Extension Using a Nonlinear Programming Model

*Safari, H. (M.Sc.), *Navaeenia, B. (Ph.D), * Sharifi, M. (Ph.D)***
Mazandaran university
**Ferdosi, University of Mashad*

Abstract

The ground water resources have become the main source of drinking water for communities. High utilization of water has caused drastic reduction of ground water level. In order to maintain designed supply rate, either a new well need to be installed or the depth of programming optimal depth of well can be obtained so that the designed option, using the nonlinear maintained and total expensive to be reduced. In this study a nonlinear programming model was developed and is used to predict the optimal depth of existing well extension in fariman city pilot. In this research positive water balance for ultimate discharge rate is assumed .

* دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- محیط زیست
** استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه مازندران
*** استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

به علت فقدان منابع آب سطحی در اکثر مناطق ایران و هم‌چنین گران بودن تملک قنات‌ها و چشمه‌ها، و نیز با توجه به قیمت نسبتاً پایین انرژی برق در ایران، برداشت آب از منابع زیرزمینی مشروط بر ارضای بیلان آبی به وسیله حفر چاه و با توجه به کیفیت مناسب آب زیرزمینی، مقرون به صرفه خواهد بود. اما با توجه به برداشت غیر مجاز آب از منابع آب زیرزمینی و افت نسبتاً شدید سطح آب در دشت‌های ایران، پس از مدتی دبی استحصالی چاه‌ها کم می‌شود به طوری که آب شرب مورد نیاز مصرفی با حفر چاه‌های جدید و یا با کف‌شکنی چاه‌های موجود باید تأمین گردد. این مسأله با افزایش روزافزون جمعیت شکل حادتری به خود گرفته و سبب افزایش بیش از پیش هزینه‌ها می‌گردد. به منظور کاهش هزینه‌ها با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی می‌توان عمق بهینه چاه‌ها را به گونه‌ای تعیین نمود که هزینه مربوطه کمینه گردد.

تمامی مدل‌های بهینه‌سازی از دو قسمت مهم تابع هدف و محدودیت‌ها تشکیل شده است. تابع هدف، بیانگر تأثیر عوامل مختلف در مسأله بهینه‌سازی می‌باشد. از آن جا که متغیرهای مسائل بهینه‌سازی کاربردی، پارامترهای فیزیکی هستند، لذا هر مقداری را نمی‌پذیرند، بنابراین اکثر مسائل بهینه‌سازی از نوع مقید هستند و برای مسائل مختلف محدودیت‌های گوناگونی وجود دارد. هرچه تعداد فاکتورهای در نظر گرفته شده در مسائل بهینه‌سازی بیشتر باشد، مسأله کامل‌تر بوده و جواب مسأله به جواب بهینه واقعی نزدیک‌تر خواهد بود.

هدف این مقاله، ارائه یک مدل بهینه‌سازی است که به کمک آن می‌توان عمق بهینه چاه‌های موجود را برای کف‌شکنی تعیین نمود. علاوه بر هزینه حفاری و هزینه لوله‌گذاری داخل چاه، با افزایش عمق چاه‌ها در اثر کف‌شکنی و در نتیجه افزایش دبی مجاز چاه‌ها، ممکن است خط انتقال موجود (لوله‌ها و پمپ‌ها) جواب‌گوی انتقال دبی پس از کف‌شکنی از سطح سفره آب زیرزمینی به داخل مخازن موجود نبوده و در نتیجه تغییر پمپ‌ها و یا موازی کردن لوله‌های جدید با لوله‌های موجود خط انتقال اجتناب‌ناپذیر باشد. به عبارت دیگر علاوه بر تعیین عمق بهینه چاه‌ها، بهینه‌سازی خط انتقال نیز باید صورت پذیرد که در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است.

عوامل متعددی در بهینه‌سازی خطوط انتقال مؤثرند که عمده آن‌ها عبارتند از:

هزینه خرید واحد طول لوله، هزینه حمل و نقل واحد طول لوله، هزینه پوشش داخلی و خارجی لوله، هزینه خرید شیرآلات و اتصالات، هزینه نصب لوله‌ها، هزینه خرید هر دستگاه پمپ، هزینه نصب پمپ، هزینه تهیه و نصب تجهیزات برق فشار قوی، هزینه احداث ساختمان ایستگاه پمپاژ، هزینه انرژی مصرفی ایستگاه پمپاژ، هزینه حفاظت کاتودیک خط انتقال، هزینه احداث جاده دسترسی برای ایستگاه پمپاژ و خط انتقال، هزینه تعمیر و نگهداری خط انتقال و هزینه تعمیر و نگهداری پمپ‌ها.

با توجه به تعداد فاکتورهای ذکر شده، محققین بسیاری با در نظر گرفتن تعدادی از عوامل فوق با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، غیر خطی و یا مدل‌های ابتکاری سعی در بهینه‌سازی هزینه خطوط انتقال نمودند. کارمنی [۹]، کائی [۱۰]، آلبروویتس [۱۱]، کیوندری [۱۲] و دبیری [۱] با استفاده از برنامه‌ریزی خطی سعی در بهینه‌سازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب نمودند. ژاکوبی [۱۳]، چیپلونکار [۱۴]، سرینیواز و همکاران [۱۵] و بیجاری [۲] با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی غیر خطی مدل‌هایی برای بهینه‌سازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع ارائه نمودند.

مدل‌های ابتکاری نیز توسط بعضی محققین نظیر دب [۱۶]، کووان [۱۷]، گولتر و همکاران [۱۸] و امینی [۳] برای بهینه‌سازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب به کار گرفته شده است. در سال‌های اخیر نیز محققین زیاد روی بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب کار نموده‌اند که از جمله می‌توان به کارهای [۱۹، ۲۰ و ۲۲] اشاره نمود. عوامل عمده‌ای که در روش‌های فوق مورد توجه قرار گرفته‌اند عبارتند از:

هزینه کل لوله‌گذاری، هزینه تعمیر و نگهداری خط انتقال، هزینه خرید پمپ و هزینه تعمیر و نگهداری پمپ و هزینه انرژی.

در کمتر تحقیقی به مسأله بهینه‌سازی عمق چاه‌ها به هنگام کف‌شکنی آن‌ها پرداخته شده است. در بهینه‌سازی همزمان عمق چاه‌ها و خطوط انتقال دو عامل هزینه حفاری و هزینه لوله‌گذاری در داخل چاه را نیز می‌توان به مجموع عوامل فوق افزود و در تابع هدف گنجاند. در این حالت تابع هدف را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

تابع هدف = هزینه پمپ + هزینه تعمیر و نگهداری پمپ + هزینه حفاری چاه + هزینه لوله‌گذاری چاه + هزینه خط انتقال + هزینه تعمیر و نگهداری خط انتقال + هزینه انرژی

محدودیت‌های مسأله عبارتنداز :

محدودیت انرژی، محدودیت میزان نیاز آبی، محدودیت دبی مجاز چاه‌ها، محدودیت مربوط به عمق چاه‌ها و محدودیت ظرفیت بهره‌برداری آبخوان.

مدل بهینه‌سازی

تابع هدف

براساس آنچه که در بخش قبل گفته شد، تابع هدف را می‌توان به صورت زیر بیان نمود :

تابع هدف = هزینه پمپ ، هزینه تعمیر و نگهداری پمپ + هزینه انرژی - هزینه حفاری + هزینه لوله‌گذاری چاه + هزینه تعمیر و نگهداری خط انتقال - هزینه خط انتقال.

هزینه پمپ تابعی از دبی هد پمپ می‌باشد، در نتیجه هزینه پمپ را می‌توان به صورت زیر بیان نمود :

$$C_{pump} = F(Q,H) \qquad (۱)$$

هزینه مصرف انرژی پمپ را می‌توان به صورت رابطه ۲ ارائه نمود :

$$C_{energy} = F(Q,H,a,T,\eta) \qquad (۲)$$

که در رابطه فوق Q دبی پمپ، H هدف پمپ، a هزینه هر کیلووات ساعت برق مصرفی، T ساعات کارکرد پمپ و η بازده پمپ می‌باشد.

هزینه سالیانه تعمیر و نگهداری پمپ ۰/۰۸ هزینه انرژی سالیانه در نظر گرفته می‌شود [۳]. هزینه حفاری مطابق رابطه زیر قابل برآورد است.

$$(H_i-H_j) \times K \qquad (۳)$$ - هزینه حفاری

در رابطه فوق، H_i عمق نهایی چاه، H_j عمق موجود چاه مورد نظر و K هزینه حفاری واحد طول در عمق مورد نظر می‌باشد که از مرجع [۴] می‌تواند به دست آید.

هزینه لوله‌گذاری داخل چاه برابر خواهد بود با :

$$[\times (H_i-H_j) \qquad (۴)$$ = هزینه لوله‌گذاری داخل چاه

در رابطه فوق [هزینه واحد طول لوله‌گذاری می‌باشد که از مرجع [۴] می‌تواند تعیین شود.

هزینه کل لوله‌گذاری (خرید لوله، کارگذاری و ...) را می‌توان به صورت زیر برآورد نمود [۳] :

$C_{pipe}=kD^{\pi}$

در رابطه فوق D قطر لوله و C_{pipe} هزینه کل لوله‌گذاری است. هزینه خرید لوله از کارخانه‌های سازنده و هزینه کارگذاری آن‌ها براساس مرجع [۵] می‌تواند تعیین گردد. π و k ضرایب ثابت معادله هستند که با استفاده از رگرسیون به راحتی محاسبه می‌شوند.

هزینه سالیانه تعمیر و نگهداری خط انتقال نیز ۰/۰۵ هزینه کل لوله‌گذاری برآورد شود [۳].

محدودیت‌های مسأله

الف- محدودیت میزان نیاز آبی: با توجه به میزان نیاز آبی در سال مورد نظر، این محدودیت را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان نمود :

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i = \frac{24}{20} L \qquad (۶)$$

در رابطه فوق Q_i دبی چاه i، n تعداد چاه‌های انتخاب شده برای کف‌شکنی و L میزان نیاز آبی در سال مورد نظر می‌باشد. ضریب $\frac{24}{20}$ به این دلیل اعمال شده است که پمپ چاه‌ها در ساعات اوج مصرف برق (ساعت ۱۸ تا ۲۲) به منظور کاهش هزینه انرژی خاموش باشند.

ب- محدودیت عمق چاه‌ها : با توجه به عمق سنگ کف هرچاه، این محدودیت را می‌توان به صورت زیر بیان نمود :

$$H_i < H \leq H_i + P \qquad (۷)$$

در رابطه فوق H_i عمق فعلی چاه و P فاصله کف چاه موجود تا سنگ کف می‌باشد.

ج محدودیت‌های مربوط به افت انرژی در لوله‌ها:

مانند تمام شبکه‌های حلقوی و شاخه‌ای این محدودیت‌ها در خطوط جمع‌آوری آب چاه‌ها و انتقال به مخازن نیز وجود داشته و باید مد نظر قرار گیرد. این محدودیت‌ها توابعی از قطر لوله‌ها و هد پمپ‌ها بوده و می‌توانند بر حسب روابط دارسی- وایسباخ یا هیزن- ویلیام و یا هر رابطه معتبر مرتبط دیگری بیان شوند.

د- محدودیت‌های مربوط به دبی چاه‌ها :

دبی چاه حفر شده در هر سفره آزاد آب زیرزمینی به کمک رابطه زیر می‌تواند به دست آید [۶]:

$$Q_m = \frac{\pi K(H^2 - (H - s)^2)}{\ln(\frac{R}{r})} \qquad (۸)$$

در رابطه فوق K ضریب هدایت هیدرولیکی، H ضخامت لایه آبدار با در نظر گرفتن سطح استاتیک آب، s افت سطح دینامیک آب، R شعاع تأثیر چاه و r قطر داخلی چاه می‌باشد.

دبی مجاز هر چاه نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است [۷]:

$$Q_c = \frac{2\pi r(H-s)\sqrt{k}}{15} \qquad (۹)$$

از آنجا که دبی چاه بایستی برابر دبی مجاز باشد تا بهره‌دهی چاه بهینه گردد، از حل همزمان روابط ۸ و ۹، دبی مجاز چاه به دست می‌آید.

$$Q_{ij}=Q_c \qquad (۱۰)$$

هم‌چنین دبی چاه باید کوچک‌تر یا مساوی دبی مجاز چاه باشد، لذا محدودیت زیر را می‌توان به مسأله افزود:

$$Q_i \le Q_c \qquad (۱۱)$$

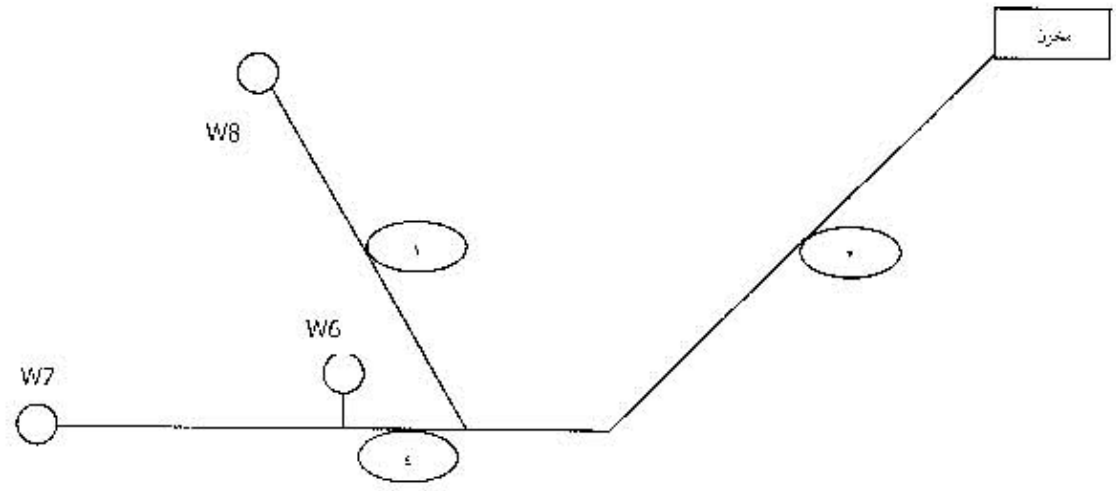
مدل تشریح شده فوق برای یک منطقه نمونه (شهر فریمان) که اطلاعات مورد نیاز آن اندازه‌گیری شده است، به کار گرفته شد.

تحلیل یک مثال

به کارگیری مدل بهینه‌سازی برای شهر فریمان

شرکت آب و فاضلاب استان خراسان شهر فریمان را به دلیل نزدیکی به شهر مشهد و کوچک بودن شهر به عنوان یک نمونه مطالعاتی انتخاب نمود تا یک‌سری مطالعات در آن صورت پذیرد. از جمله این مطالعات می‌توان به تعیین عمق بهینه چاه‌های موجود برای تأمین آب شهر فریمان در دوره طرح ۱۵ ساله اشاره نمود.

شهر مذکور در فاصله ۷۵ کیلومتری جنوب شرق مشهد قرار دارد. طول و عرض جغرافیایی فریمان به ترتیب ۵۹°۵۲' شرقی و ۳۵°۴۳' شمالی می‌باشد. آب مورد نیاز مردم شهر به وسیله ۸ حلقه چاه عمیق که بهره‌برداری از آن‌ها توسط اداره آبفای فریمان صورت می‌گیرد، تأمین می‌شود. با توجه به این که آب ۵ حلقه از چاه‌ها مستقیماً به داخل شبکه پمپاژ می‌شود و قرار است که به تدریج از شبکه خارج گردد، کف‌شکنی ۳ چاه دیگر به عنوان یک گزینه برای تأمین آب شهر در دوره طرح ۱۵ ساله مورد توجه قرار گرفته و مدل بهینه‌سازی تشریح شده برای تعیین عمق بهینه سه چاه فوق به کار می‌رود. شکل ۱ شماتیک موقعیت چاه‌های مورد نظر را نشان می‌دهد. هم‌چنین در جدول‌های ۱ و ۲ مشخصات خط انتقال موجود فریمان و نیز سه چاه مذکور ارائه شده است که به غیر از قطر لوله‌ها بقیه مقادیر با اندازه‌گیری مستقیم در محل به دست آمده است.



شکل ۱- شماتیک خطوط جمع‌آوری و انتقال به مخزن ذخیره آب ۵۰۰۰ مترمکعبی شهر فریمان (شماره لوله ◯، شماره چاه ◯)

جدول ۱- مشخصات خط انتقال موجود فریمان

شماره لوله	قطر لوله (mm)	طول لوله (m)
۱	۲۵۰	۱۱۰۵
۲	۴۰۰	۱۶۱۶/۶
۳	۲۵۰	۴۶۴
۴	۴۰۰	۵۲۵/۲

جدول ۲- مشخصات سه حلقه از هشت حلقه چاه شهر فریمان

شماره چاه	دبی چاه (لیتر بر ثانیه)	کد ارتفاعی چاه (متر)	فشار سر چاه (اتمسفر)
۶	۲۶/۳۱۶	۱۴۳۶	۰/۹
۷	۳۰/۳	۱۴۲۰	۰/۶
۸	۲۵/۵۶	۱۴۲۴	۲/۴

تابع هدف

با ثابت فرض کردن قطر لوله‌های خط انتقال، تابع هدف به صورت زیر خواهد بود:

تابع هدف : هزینه پمپ + هزینه تعمیر و نگهداری پمپ + هزینه حفاری چاه‌ها + هزینه لوله‌گذاری چاه + هزینه انرژی مورد نیاز پمپ‌ها

هزینه پمپ : برای محاسبه هزینه پمپ در تابع هدف، دبی و هد پمپ‌ها در بازده ماکزیمم از منحنی مشخصه پمپ‌ها مشخص شده و با توجه به هزینه پمپ‌ها، رابطه بین هزینه پمپ و دبی و هد آن در بازده ماکزیمم با استفاده از رگرسیون غیر خطی تعیین می‌گردد که به صورت معادله زیر در می‌آید [۷]:

$$C_{pump} = (QH)^6 \times 2\times10^{2}(QH)^5 - 8\times10^{3}(QH)^4 \quad (۱۲)$$
$$+ 2\times10^{5}(QH)^3 - 1.921\times10^{6}(QH)^2$$
$$+ 9799.8\times10^{3}(QH) + 8069430$$

در رابطه فوق Q دبی پمپ بر حسب مترمکعب بر ثانیه و H هد پمپ بر حسب متر می‌باشد.

هزینه انرژی : با توجه به هزینه هر کیلووات ساعت انرژی در ساعات عادی در منطقه فریمان که ۲۰ ریال می‌باشد و با فرض ۲۰ ساعت کارکرد روزانه پمپ‌های چاه‌ها داریم [۷]:

$$\text{هزینه انرژی} = \frac{R\gamma QHaT}{\eta\times1000} = 13933843.7\sum_{i=6}^{8} Q_i H_{pi} \quad (۱۳)$$

در رابطه فوق γ وزن مخصوص آب و R ضریب تبدیل هزینه سرمایه‌ای به جاری می‌باشد که براساس مرجع [۸] از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$R = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (۱۴)$$

در این رابطه، i نرخ بهره سالانه است که برای شرایط موجود در ایران ۱۲ درصد فرض شده و n دوره طرح می‌باشد. η (بازده پمپ) با توجه به بازده پمپ‌های شناور ۰/۷۰ فرض شده است.

هزینه تعمیر و نگهداری پمپ : هزینه تعمیر و نگهداری پمپ نیز مطابق رابطه زیر قابل محاسبه است :

$$C_{m\&r} = 1114707\sum_{i=6}^{8} Q_i H_{pi} \quad (۱۵)$$

در روابط ۱۳ و ۱۵، Q_i دبی چاه i بر حسب مترمکعب بر ثانیه و H_{pi} هد پمپ چاه i بر حسب متر می‌باشد.

هزینه حفاری : عمق چاه‌های موجود شهر فریمان ۲۶۰ متر می‌باشد. لذا هزینه حفاری در عمق بیش از ۲۶۰ متر، به ازای هر متر ۱۱۹۰۰۰ ریال ملاک محاسبه می‌باشد. در نتیجه می‌توان هزینه حفاری را به صورت رابطه ۱۶ بیان نمود [۴].

$$\text{هزینه حفاری} = (H - ۲۶۰)\times ۱۱۹۰۰۰ \quad (۱۶)$$

هزینه لوله‌گذاری : هزینه تهیه و اجرای لوله داخل چاه با عمق بیش از ۲۶۰ متر، به ازای هر متر ۳۹۸۰۰۰ ریال می‌باشد. در نتیجه می‌توان هزینه لوله‌گذاری را به صورت رابطه زیر بیان نمود :

(۱۷) $(H_i-۲۶۰)\times۳۹۸۰۰۰$ - هزینه لوله‌گذاری

محدودیت‌ها

محدودیت‌های مسأله را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

محدودیت دبی چاه‌ها: میزان نیاز آبی شهر فریمان در سال ۱۳۹۵ برابر ۱۰۲ لیتر خواهد بود. در نتیجه محدودیت دبی چاه‌ها به صورت رابطه زیر خواهد بود [۷]:

$$Q_6 + Q_7 + Q_8 = \frac{24}{20}\times 0.102 \qquad (۱۸)$$

در رابطه فوق Q_i دبی چاه i در پایان دوره ۱۵ ساله طرح می‌باشد.

محدودیت عمق چاه‌ها: با توجه به عمق سنگ کف در زیر هر چاه می‌توان محدودیت عمق چاه‌ها را به صورت روابط (۱۹) بیان کرد. لازم به ذکر است که در این تحقیق عمق سنگ کف با استفاده از خطوط هم تراز سنگ کف در منطقه فریمان به دست آمده است [۷]:

$$260 \le H_6 \le 260+58, \qquad (۱۹)$$
$$260 \le H_7 \le 260+68,$$
$$260 \le H_8 \le 260+97$$

در روابط فوق H_i عمق چاه i می‌باشد.

محدودیت افت انرژی در لوله‌ها: با توجه به شکل ۱ محدودیت‌های انرژی را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$H_{p6} - \frac{10.6(H_6-15)Q_6^{1.85}}{0.1524^{4.87}\times 100^{1.85}} \qquad (۲۰)$$
$$- \frac{10.6\times 535.16(Q_8+Q_7)^{1.85}}{D_1^{4.87}\times 120^{1.85}}$$
$$- \frac{10.6\times 1616.6(Q_6+Q_7+Q_8)^{1.85}}{D_2^{4.87}\times 120^{1.85}}$$
$$-260+29.7-25-(1440-1436)\ge 4$$

در رابطه فوق H_{p6} هد پمپ، ۲۶۰ عمق فعلی، ۲۹/۷ ضخامت لایه آبدار در سال طرح، ۲۵ افت سطح دینامیک آب و ۱۴۴۰ کد ارتفاعی مربوط به چاه ۶ می‌باشد. هم‌چنین عدد ۱۴۳۶ در رابطه فوق کد ارتفاعی مخزن و ۴ انرژی لازم باقی‌مانده در انتهای مسیر بر حسب متر می‌باشد. این رابطه را می‌توان برای سایر مسیرها نیز تعمیم داد.

محدودیت دبی چاه‌ها: این محدودیت را می‌توان به صورت رابطه زیر نوشت:

$$\frac{K_6(H6-230.7)^2-(H_6-230.7-S_6)^2}{\ln\left(\frac{3000\times S_6\times K_6}{0.3536}\right)} \qquad (۲۱)$$

$$\frac{2\times 0.3556(H_6-230.7-S_6)K_6}{15}$$
$$Q_6 \le \pi\times 0.0002597\times(H_6-230.7-S_6)$$

در رابطه فوق ۲۳۰/۷، سطح آب در سال ۱۳۹۵ در چاه ۶ می‌باشد. ضریب هدایت هیدرولیکی چاه مذکور نیز با توجه به جنس نمونه‌های به دست آمده در زمان حفاری چاه، $۳\times۱۰^{-۵}(m/s)$ برآورد گردیده است.

این رابطه را برای سایر چاه‌ها نیز می‌توان نوشت. به این ترتیب، متغیرهای مسأله عبارتنداز:

$$Q_6, Q_7, Q_8, H_6, H_7, H_8$$
$$H_{p6}, H_{p7}, H_{p8}, S_6, S_7, S_8$$

با حل مدل بهینه‌سازی تشریح شده برای متغیرهای فوق داریم:

$Q_6 = 40(lit/s)$, $Q_7 = 39.96(lit/s)$,
$Q_8 = 44(lit/s)$, $S_6 = 24.36(m)$,
$S_7 = 22.08(m)$, $S_8 = 26.72(m)$,
$H_{p6} = 283.41(m)$, $H_{p7} = 281.35(m)$,
$H_{p8} = 290.05(m)$, $H_6 = 304.13(m)$,
$H_7 = 299.49(m)$, $H_8 = 303.82(m)$

با جای‌گذاری مقادیر به دست آمده در تابع هدف، هزینه خط انتقال بر حسب ریال برابر است با:

$C_{total} = ۸۰۷۱۸۰۹۶۳$

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی هر سیستم باعث کاهش هزینه‌ها شده و می‌توان با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی تا حد زیادی ضمن رعایت ضوابط، معیارها و محدودیت‌های فنی طراحی و هزینه پروژه‌ها را کاهش داد. در این مقاله یک مدل ریاضی نسبتاً ساده بهینه‌سازی غیر خطی و قابل استفاده برای مهندسان طراح برای تعیین عمق بهینه چاه‌ها برای کف‌شکنی ارائه شده است به نحوی که با کمک آن کف‌شکنی مجموعه‌ای از چاه‌ها تا عمق مورد نظر و تعیین دبی هر چاه امکان‌پذیر می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مسئولین اداره آب و فاضلاب شهر فریمان که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱- دبیری، ا.، (۱۳۶۳). "*بهینه‌سازی خطوط انتقال آب با استفاده از برنامه‌ریزی خطی*"، مجله آب، شماره ۴، ص ۱۹ ۱۳.

۲ بیجاری، م.، (۱۳۷۰). "*تعیین قطر اقتصادی لوله‌ها در شبکه‌های توزیع آب*"، مجله آب و فاضلاب، شماره، ص ۱۸-۹.

۳- امینی، ع.، (۱۳۶۳). "*استفاده از مدل ریاضی برای طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب شهری*"، مجله آب، شماره ۳، صفحات ۳۱-۱۹.

۴- دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۰). "*فهرست بهای واحد رشته چاه‌ها و قنات‌ها*".

۵- دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۰). "*فهرست بهای واحد رشته خطوط انتقال آب*".

۶- علی‌زاده، ا.، (۱۳۷۴). "*اصول هیدرولوژی کاربردی*"، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه مشهد، مشهد.

۷- صفری، ح.، (۱۳۸۱). "*بهینه سازی تامین آب آشامیدنی شهرهای خراسان (پایلوت فریمان)*"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه مازندران.

۸- سلطانی، غ.، (۱۳۶۹). "*اقتصاد مهندسی*"، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز.

9- Karmeli, D., Gadish, Y., and Mayers, S., (1968). "*Design of Optimum Water Distribution Network*", J. Hydr. Div., ASCE, Vol. 94, No. 1, pp: 1-10.

10- Kally, E., (1972). "*Computerised Planning of Least Cost Water Distribution Network*", Water Sewage Works, Rep., pp: 121-127.

11- Alperovits, E., and Shamir, U., (1977). "*Design of Optimal Water Distribution Systems*", Water Resour. Res., Vol. 13, No.6, pp:885-900.

12- Quindry, G. E., Brill, E.D., and Liebman, J.C., (1981). "*Optimization of Looped Water Distribution Systmes*", J. Envir. Eng. Div., ASCE, Vol. 107, No.4, pp:665-679.

13- Jacoby, S.L.S., (1968). "*Design of Optimal Hydraulic Networks*", J. Hydr. Eng., ASCE, Vol. 194, No 3, pp: 641-661.

14- Chiplunkar, A.V., Mahndiratta, S.L., and Khanna, P., (1986). "*Looped Water Distribution System Optimization of Single Loading*", J. Envir. Eng., Div., ASCE, Vol. 100, No.2, pp:264-279.

15-Srinivasa, R. L., and Elango, K., (1992). "*Optimal Design of Water Distribution Networks with Head Dependent Outflows Using Augmented Lagrangian*", J. Inst. of Eng., Vol. 73, No.2, pp:27-33.

16- Deb, A. K., (1974). "*Least Cost Design of Branched Pipe Network Systems*", J. Envir. Eng., Div., ASCE, Vol. 100, No. 4, pp: 821-835.

17- Cowan, J., (1971). "*Cheking Trunk Main Designs for Cost Effectiveness*", Water and wastewater Eng., Vol. 75, No. 908, pp:385-386.

18- Goulte, J. C., and Morgan, D.R., (1987). "*Optimal Urban Water Distribution Design*", Water Resource Research, Vol. 121, pp:260-281.

19- Cunha, M., and Sousa. J., (1999). "*Water Distribution Network Design Optimization: Simulated annealing Approch*", J. Water Resource Planning and Management, Vol. 125, No.4., pp: 215-226.

20- Mousavi, H., and Ramamurthy, A., (2000). "*Optimal Design of Multi-Reservoir Systems for water Supply*", Adv. In Water Resource, Vol. 23, pp:613-624.

21- Kim, J., Mays, L., (1994). "*Optimal Rehabiliation Model for Water Distribution System*", J. Water Resource Planning and Management, ASCE, Vol. 120, No. 5, pp: 982-1000.