

بهره‌برداری بهینه از مخازن آب سدهای مخزنی متوالی

حسین ارفع

استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۶/۹/۲۲، تاریخ تصویب ۷۷/۱۰/۵)

چکیده

بهره‌برداری از پتانسیل‌های آبی یک رودخانه و کنترل آن بکمک ساخت سدهای مخزنی صورت می‌گیرد. چنانچه طول رودخانه زیاد، آبدهی‌های آن قابل ملاحظه و شرایط بهره‌برداری در امتداد مسیر این رودخانه‌ها فراهم باشد، بجای ساخت یک سد مخزنی بزرگ در پایین دست آن، میتوان چندین سد ذخیره‌ای کوچکتر در مسیر رودخانه و یا بر روی شاخه‌های فرعی آن احداث نمود تا فواصل انتقال تولید آب و برق حاصل از پتانسیل‌های آبی را کمتر و در نتیجه بهره‌برداریها را اقتصادی‌تر نمود. به مجموعه سدهای ساخته شده در یک حوزه آبریز و بر روی شاخه‌های فرعی یا اصلی رودخانه این حوزه سیستم سدهای کنترل‌کننده جریان می‌گویند که با در نظر گرفتن شبیه‌های موجود در مسیرهای رودخانه‌ای این سدها بصورت متوالی قرار خواهند گرفت. بلحاظ مدیریت‌های بهره‌برداری از بین بینهایت ترکیبات احجام آب و مصارف مورد نظر ترکیبی که بیشترین برگشت اقتصادی را داشته باشد بهره‌برداری بهینه نام دارد. این ترکیب یا ترکیب‌های معادل که همگی متضمن بهترین عملکرد باشند بکمک روش‌های تحلیلی مهندسی سیستم‌ها قابل تعیین است. در این مقاله بهره‌بردارای بهینه چنین سیستمی بکمک برنامه‌ریزی خطی تشریح می‌گردد.

کلید واژه‌ها: بهینه‌سازی، زیربهینه‌سازی، مهندسی سیستم‌ها

مقدمه

عبارت بوده‌اند از نیروهای کارگری، محدودیت در زمینهای حاصلخیز و مقادیر آب در محل‌های مجاور به رودخانه‌ها و کمبود تنوع در نوع مصرف آب. به روشنی قابل استنباط است که در این شرایط سیستم‌های کنترل و بهره‌برداری محدود به انحراف آب به نزدیکترین زمینهای حاصلخیز و دشتهای سیلابی و سپس بهره‌برداری از آنها بوده است.

در شرایط فعلی (دنیای جدید)، منابع قابل استفاده به نیروهای کارگری و نزدیکی دشتهای رودخانه‌ها محدود نمیشود و جنبه‌های استفاده از آب نیز بسیار متنوع است. آب رودخانه‌های واقع در فواصل زیاد میتواند بکمک انرژیهای قابل دسترسی امروز برای مصارف مختلف مورد بهره‌برداری قرارگیرد. نیروهای کارگری که از نظر اقتصادی

یکی از اولین اقدامات بشر متمدن ساخت سیستم‌های کنترل آب بمنظور استفاده‌های مفید از این منابع بوده است. بروز تمدنهای بزرگ قدیمی در هندوستان، پاکستان، چین، شوش، بابل، دره نیل و بسیاری از نقاط باستانی دیگر جهان قدیم وابسته به آب بوده و امروزه نیز سیستم‌های پیشرفته کنترل و بهره‌برداری از منابع آب در گسترش تمدنها محوریت خود را حفظ کرده است. پرسش این است که آیا سیستم‌های کنترل و بهره‌برداری از منابع آب در دنیای قدیم و دنیای جدید یکسان می‌باشند؟

پاسخ این پرسش منفی است و یکی از دلایل تفاوت در بهره‌برداریها از منابع آبی مربوط به سیستم‌های بهره‌برداری متفاوت در این دو عهد بشری می‌باشد. در شرایط گذشته (دنیای قدیم) منابع قابل دسترسی

از نظر رفاهی و کلاً از طریق بالا بردن (GNP) نصیب همه شهروندان یک کشور خواهد شد. این در حالیست که هزینه‌های آن نیز چه بصورت ناملموس و چه بصورت از قبل طراحی شده بر روی همه افراد جامعه تحمیل خواهد شد. در این رابطه تعریف درآمدها و هزینه‌ها می‌بایست در طیف وسیعی از تاثیرات بر روی اهداف اجتماعی و در تمام زمانها صورت پذیرد.

همانطور که قبلاً بیان شد بحث پیرامون این مسائل مربوط به این مقاله نمی‌شود در حالی که مشخصه‌های خاص و معین اقتصادی نیز وجود دارند که بصورت زیرمجموعه‌ای از بررسی کامل تاثیرات اجتماعی - اقتصادی - فنی - سیاسی - مالی طرحهای آبی در طراحی بهینه سیستم‌های آبی مورد استفاده تحلیل گران مهندسی سیستم قرار می‌گیرند. در این مقاله یکی از روشهای متعدد بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستمهای منابع آب در مورد بهره‌برداری از چندین سد مخزنی متوالی از دیدگاه اقتصادی مورد بحث قرار می‌گیرد.

روش شناختی تحلیل سیستمی منابع آب و مدل برنامه‌ریزی خطی در بهینه‌سازی سیستم‌های مربوط

مدلهای ریاضی مورد استفاده در تحلیل سیستمهای منابع آب کلاً به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از مدل‌های غیربهینه‌سازی و مدل‌های بهینه‌سازی. در مدل‌های غیربهینه‌سازی^(۱) گروههای شبیه‌سازی با فن‌آوریهای مختلف قرار دارند که بیشتر به جنبه‌های فنی سیستم‌ها می‌پردازند. در گروه مدل‌های بهینه‌سازی^(۲) نیز فن‌آوریهای متفاوتی وجود دارد که در این بین روشهای برنامه‌ریزی خطی (و در بسیاری از موارد تبدیل روشهای برنامه‌ریزی غیرخطی به معادلهای برنامه‌ریزی خطی) کاربرد نسبتاً زیادی دارند.

اصولاً بهینه‌کردن یک تابع عددی مرکب از یک یا چند متغیر هنگامیکه بنحوی از انحاء متغیرها مجبور به قبول شرایطی باشند، برنامه‌ریزی ریاضی^(۳) نامیده می‌شود. بطور ویژه، هدف از حل چنین مسئله‌ای این است که مقادیر (n) متغیر x_1, x_2, \dots, x_n طوری تعیین گردند که تابع:

نوعی سرمایه بحساب می‌آیند میتوانند از فواصل بسیار دور و در قالب تعهدات پرداختی بهره‌برداری و یا ارائه کار افتخاری آنها برای تکمیل سیستمهای بهره‌برداری و زیربنائی مربوط به آب تجهیز گردند و سیستمی را اداره نمایند که در غیاب این نوع تجهیز نیروهای انسانی انجام آن هزاران سال بطول می‌انجامد.

بر اثر تلفیق فن‌آوریها و تحقیقات، دور نماهای زیادی فراهم گردیده که نه تنها نتایج عملکردها را از قبل مشخص می‌سازد بلکه روشهای مختلف با پی آمدهای ذیربط را در توسعه منابع آب ارائه می‌نماید.

بعنوان یک کار زیربنایی در جوامع انسانی، بهره‌برداری سیستمی از منابع آب دارای ابعاد اجتماعی - اقتصادی - فنی - سیاسی و مالی است و این موضوع مسئولیتهای زیادی را بر دوش تصمیم‌گیرندگان استفاده از منابع آب قرار داده است.

نظر به اینکه در این مقاله فقط بعد اقتصادی یک سیستم کنترل و بهره‌برداری از آب مدنظر است، فقط از نظر همین بعد مسئله بهینه‌سازی سیستم موردنظر تشریح می‌گردد و در ادامه بحث یکی از روشهای موثر برای این بهینه‌سازی انتخاب و معرفی می‌گردد.

طبیعت اقتصادی سیستمهای منابع آب

گرچه جداسازی جنبه‌های حقوقی و سیاسی و اجتماعی سیستمهای منابع آب از نظر بهینه‌سازی به ندرت صورت می‌گیرد ولی اقتصاد این سیستم‌ها نیز دارای مشخصه‌های خاص خود بوده و میتواند مبنائی برای تصمیم‌گیری باشد. پروژه‌های آبی اعم از اینکه محلی، استانی توسعه‌ای در سطح حوزه‌های آبریز خود، منطقه‌ای و یا ملی باشند بدون شک دارای تاثیرات اقتصادی در محل اجراء و بر روی اقتصاد کل ملی خواهند بود. تاثیرات اقتصادی مذکور می‌تواند به بارندگی تشبیه گردد که هم بر روی پستی‌ها و هم بر روی بلندیها ریزش نموده و در یک سطح گسترده لزوماً یکنواخت نمی‌باشد. درآمدهای ناشی از اجراء پروژه‌های آبی گرچه قسمتی بصورت مستقیم عاید استفاده‌کنندگان سرمایه‌گذاران می‌شود ولی تاثیرات غیرمستقیم آن چه از نظر مادی و چه

گیرند، ولی مطالعه هر یک از اجزاء این سیستم در قالب زیر سیستم نیز عملی بوده و حل مسئله پیچیده تحلیل سیستم کل را ساده می‌سازد. حتی در مواردیکه بهینه‌سازی جزء خاصی از سیستم نیز عملی باشد، زیر بهینه‌سازی^(۲) این جزء برای بهینه‌سازی کل سیستم از ارزش بالایی برخوردار است و انجام بهینه‌سازی کل را تسهیل می‌نماید. از طرف دیگر جمع تحلیل‌های بهینه تمام زیر سیستم‌ها لزوماً به معنی بهینه‌سازی کل سیستم نیز نمی‌باشد. در این رابطه ناسازگارهای تجاری اجزاء مانع از بروز بهینه‌سازی یکجای سیستم بصورت جمع زیر سیستم‌های بهینه می‌گردد. اکثر زیر سیستم‌های منابع آب نیاز به تعیین تعداد زیادی از پارامترهای تصمیم‌گیری دارند که ممکنست در زمان و یا مکان تغییر نمایند و تغییرات رابطه قیمتی آنها با اندازه مقادیر موردنیاز خطی نمی‌باشد. لذا برای تحلیل هر یک از این زیر سیستم‌ها نیاز به روش تحلیل خاص می‌باشد. بعنوان مثال در همین بهره‌برداری بهینه از مخازن آب متوالی، در مورد هر مخزن، روابط مربوط به تغییرات سطح - حجم و ارتفاع مخزن می‌بایست بهینه‌سازی گردد که در این رابطه هزینه‌های سرمایه‌ای با نرخ بهره ذیربط بصورت زیر است:

$$U = \frac{c(1+r)^n + \sum_{j=1}^n M_j(1+r)^{n-j}}{\sum_{j=1}^n W_j(1+r)^{n-j}} \quad (V)$$

که در آن:

U - هزینه متوسط واحد آب قابل تحویل برحسب واحد پول در هر واحد حجم آب در نظر گرفته شده.

C - هزینه‌های ساختمانی تخصیص یافته برای تامین آب موردنیاز برحسب واحد پول و شامل هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری در دوره ساختمان با نرخ بهره در نظر گرفته شده.

r - نرخ بهره برحسب واحد پولی مورد استفاده در هر واحد پولی در سال (مثلاً ریال در هر ریال در سال).

n - دوره بازپرداخت مالی برحسب سال و بلافاصله پس از اولین سال تحویل آب از مخزن سد.

M_j - هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در سال (j) ام برحسب واحد پولی.

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

مقید به قبول شرایط:

$$g_i((x_1, x_2, \dots, x_n)) \{ \leq = \geq \} b_i \text{ و } i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

باشند. معمولاً فرض می‌شود که مقادیر (n) متغیر از نظر عددی نمی‌توانند منفی باشند و در نتیجه از نظر ریاضی این شرط بصورت زیر بیان می‌شود:

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

همچنین معمولاً بهینه‌سازی مقدا (z) موردنظر است که این بهینه‌سازی ممکنست حداقل یا حداکثرسازی مقدار (z) در تابع شماره (۱) باشد که به آن تابع هدف^(۱) می‌گویند. مشهورترین مدل ریاضی در این رابطه مدل برنامه‌ریزی خطی است که در آن تمام توابع موجود در روابط (۱) و (۲) برحسب (n) متغیر و x_1, x_2, \dots, x_n خطی هستند و مدل بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\text{Optimize } Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (4)$$

Subject to:

$$g_i((x_1, x_2, \dots, x_n)) = \sum a_{ijk} x_j \{ \leq = \geq \} b_i \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

با تدوین کلی برنامه‌ریزی ریاضی بصورت برنامه‌ریزی خطی مباحث گسترده این روش برای تعریف متغیرها، تنظیم معادلات یا نامعادلات روش‌های حل سیستم، انطباق سیستم با شرایط حقیقی موردنظر و غیره مطرح است که در کتب و مراجع مختلف تخصصی ارائه گردیده است. در این مقاله نحوه استفاده از این نوع خاص برنامه‌ریزی ریاضی در بهینه‌سازی بهره‌برداری از یک سیستم متوالی از سدهای ذخیره‌ای مورد بحث است.

طرح مسئله بهره‌برداری از مخازن متوالی

هرچند که سیستم‌های منابع آب بایستی تا حد امکان با در نظر گرفتن کل سیستم و اهداف آن مورد تحلیل قرار

مقادیر انرژی در کل سیستم انتقال یکسان نیست و بسته به اینکه برای پمپاژ باشد مثبت و در صورتی که برای تولید انرژی بکار رود منفی است یعنی:

$$\xi_i = K_1 \eta_i h_i \quad \text{if } h_i \geq 0 \quad (\text{پمپاژ})$$

$$\xi_i = K_2 \eta_i h_i \quad \text{if } h_i < 0 \quad (\text{تولید برق})$$

براساس این زیرسیستم ظرفیتهای کانالهای انتقال (مصنوعی یا طبیعی) محاسبه می گردند و در صورت سرریز شدن جریان از کانالها تخریبهایی ایجاد می شود و به دارائیهای پایین دست خساراتی وارد می گردند که هزینه های ذریبط از روش ترسیم منحنی های خسارت^(۱) که خود بستگی به اندازه و تواتر طغیانها و یارها سازی های آب از مخازن دارند قابل تعیین هستند. در ارتباط با مسائل آبیاری برحسب الگوهای کشت بهینه سازی زیر سیستمهای خاص وجود داد و همچنین از نظر سایر مصارف مفید آب و مدیریت ها.

بهرحال در این مقاله با فرض انجام بهینه سازیهای قبلی زیرسیستم ها و استخراج ارقام بهینه از هر زیرسیستم و یا اعمال نظریات کارشناسی، بهینه سازی از مرحله بهره برداری سیستم کل بصورت زیر قابل تعریف است.

$$\text{Optimize } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{jk} X_{ijk} \quad (10)$$

که در آن:

X_{ijk} - مقدار آب منتقل شده از منبع (j) ام به مصرف (k) ام و

در دوره (i) ام

i - دوره های زمانی

j - منبع (j) ام آب

k - مصارف آب

C_{jk} - درآمد واحد ناشی از برداشت آب از منبع (j) ام و تحویل آن برای مصرف (k) ام (مثبت یا منفی)

Z - درآمد کل است که در این حالت بدنبال حداکثر سازی آن هستیم. یادآوری می گردد در صورتیکه بهینه سازی هزینه های پروژه مدنظر باشد، حداقل سازی تابع هدف صوت خواهد گرفت. رابطه (۱۰) یک رابطه کلی است و در مورد هر یک از زیرسیستم ها نیز بسته به تعریف متغیرها قابل اعمال است.

j - مقدار سالهای بهره برداری پس از اولین سال تحویل آب.

W_j - مقدار آب قابل تحویل در سال (j) ام.

در مورد بهینه سازی زیرسیستم انتقال و توزیع، مسئله کمی پیچیده تر است. تابع هدف این زیر سیستم بشکل زیر است:

$$R = \text{Max} \left[\sum_{i=1}^n V_i(X_i) - C_n \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) - \xi_n \sum_{i=1}^n X_i - C_{n-1} \left(\sum_{i=1}^{n-1} X_i \right) - \xi_{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} X_i - \dots - C_1 X_1 - \xi_1 X_1 \right] \quad (8)$$

Subject to :

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq X \quad (9)$$

و قيودی بشکل:

$$x_i \leq A_i$$

که در آن:

R - تابع هدف

x_i - مقدار آب تخصیصی به مصرف (i) ام در طول سال

v_i - تابعی از مقدار آب (x_i) است که در نوبت (i) ام در طول سال در اختیار یک مصرف قرا می گیرد.

C_i - هزینه قطعه یا طولی از سیستم انتقال است که بین طول (i) ام و (i+1) ام واقع شده است و مقدار (q) واحد آب را انتقال می دهد و در حالت گسترده تر خود بشکل زیر است:

$$C_n(q) = C_n(x_n + x_{n-1} + \dots + x_2 + x_1)$$

$$C_{n-1}(q) = C_{n-1}(x_{n-1} + x_{n-2} + \dots + x_2 + x_1)$$

$$\vdots$$

$$C_1(q) = C_1(x_1)$$

هزینه های انرژی برای پمپاژ در هر قطعه که به E_i نشان داده می شود از روابط زیر قابل تعیین هستند:

$$E_n(q) = \xi_n(x_n + x_{n-1} + \dots + x_2 + x_1)$$

$$E_{n-1}(q) = \xi_{n-1}(x_{n-1} + x_{n-2} + \dots + x_2 + x_1)$$

$$\vdots$$

$$E_1(q) = \xi_1 x_1$$

جدول ۱: مشخصه های کلی آبهای مخازن متوالی.

مخزن	حداقل ذخیره (MCM)	ظرفیت ذخیره‌ای سرزیری (MCM)	ظرفیت کانال پائینی دست (MCM)	ذخیره ابتدایی (MCM)	ضریب تبخیر	ارزش تولید انرژی Rls.10 ⁶ /MCM	ارزش آبهای باقیمانده در مخزن Rls.10 ⁶ /MCM
A	12	48	24	45	0.0001	1.63	0.004
B	3	6	27	4.8	0.0005	18	0.0018
C	0.6	6	30	2.4	0.0008	1.8	0.005
D	9	27	33	9	0.0009	1.8	0.0018
E	1.2	1.8	36	1.3	0.001	0.36	0.0

مخزن (C) تامین شود. کمبود نیازهای آب شهری از مخزن (D) بمیزان (۰/۴) میلیون متر مکعب در ماه است. کمبود نیازهای آب شهری و آبیاری می‌تواند از طریق آبهای زیرزمینی با هزینه (Rls.280/m³) تامین شود ولی (۱/۸) میلیون متر مکعب رها شده از مخزن (C) برای آب آبیاری از منابع آب زیرزمینی بعلت شرایط خاص منطقه قابل تامین نمی‌باشد. آبهای آبیاری رها شده از مخازن (C) و (E) با هزینه‌ای برابر (Rls.36/m³) قابل تامین است. آب شهری بمبلغ (Rls.145/m³) فروخته می‌شود. جریان ورودی به مخزن (A) برابر با ۱۳/۳ میلیون متر مکعب در ماه است.

تعیین برنامه بهره‌برداری بهینه از این سیستم موردنظر است.

تدوین برنامه برای حل سیستم

طبق دستورالعملهای کلی تدوین برنامه خطی، می‌بایست متغیرهای تصمیم‌گیری تعیین و سپس معادلات مربوط به تابع هدف و قیود نوشته شوند که ذیلاً به انجام می‌رسد.

الف - تعیین متغیرهای تصمیم‌گیری^(۱)

در این سیستم این متغیرها بصورت زیر تعیین و معرفی می‌گردند:

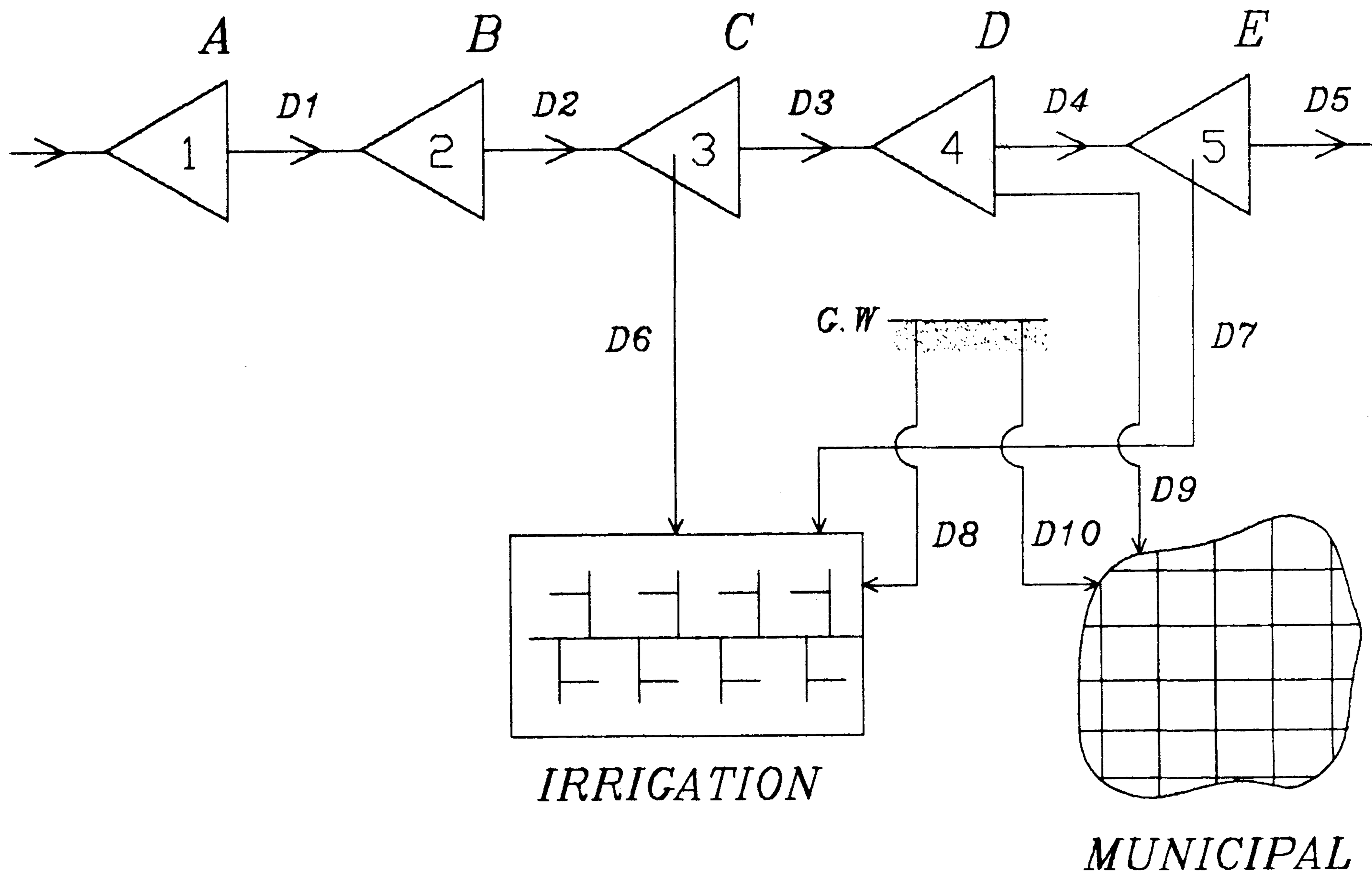
S₁, S₂, S₃, S₄ و S₅ ذخیره آب در مخازن ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و

حل این مسئله علیرغم ظاهر پیچیده آن امروزه بکمک رایانه‌های رقمگر بسیار ساده است و باتوجه به تکرارهای نسبتاً زیاد حل در راه رسیدن به جواب بهینه می‌بایست از رایانه‌های رقمگر سریع و از یکی از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (QSB, LINGO, MPSX,) استفاده گردد. نمونه‌ای از کاربرد فن آوری مذکور در مثال زیر (مسئله‌ای نیمه حقیقی) ارائه می‌شود. این یک مثال عمومی است و از نظر کاربردهای بعدی با تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری و نوشتن سیستم برای شرایط موردنظر قابل استفاده خواهد بود.

نمونه بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم سدهای مخزنی متوالی

در شکل شماره ۱ شمای یک سیستم مرکب از سدهای متوالی بهمراه نوع مصارف آب ارائه گردیده است این سیستم مرکب از پنج سد مخزنی است که بر روی یک رودخانه ساخته شده و مخزن (A) در بالادست رودخانه واقع است. اطلاعات مور نیاز برای برنامه‌ریزی بهره‌برداری از این سیستم بر روی شکل مذکور و همچنین جدول شماره ۱ ارائه گردیده اند. سایر مشخصات موردنظر به شرح زیر است:

آب موردنیاز برای آبیاریها از مخازن (C) و (E) رها می‌شود. کل نیاز آبی برای آبیاری ۱۵ میلیون متر مکعب در ماه است که (۱/۸) میلیون متر مکعب آن می‌بایست از



شکل ۱: شمای کلی سیستم سدهای متوالی.

ب - تشکیل تابع هدف

با مشخصات داده شده در جدول شماره ۱ این تابع بصورت زیر تشکیل می شود:

$$\text{Max. } Z = 1.63D_1 + 18D_2 + 1.8D_3 + 1.8D_4 + 0.36D_5 + 36D_6 + 36D_7 - 280D_8 + 145D_9 - 135D_{10} + 0.004S_1 + 0.0018S_2 + 0.005S_3 + 0.0018S_4$$

ج - قیود^(۱)

با اطلاعات داده شده قیود این برنامه به شرح زیر تعیین می شوند:

- قیود مربوط به حجم مخزن:

$$48 \geq S_1 \geq 12$$

$$6 \geq S_2 \geq 3$$

D_1, D_2, D_3, D_4 و D_5 به ترتیب آب رها شده از مخازن ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و متناسب با ظرفیت کانالهای پایین دست.

D_6 - آب قابل استفاده برای آبیاری و رها شده از مخزن شماره ۳ (مخزن C) و برابر با $1/8$ میلیون متر مکعب در ماه.

D_7 - آب قابل استفاده برای آبیاری و رها شده از مخزن شماره ۵ (مخزن E)

D_8 - کمبود آب آبیاری که در صورت نیاز از منابع زیرزمینی تامین می شود.

D_9 - آب قابل استفاده برای آبیاری شهری و رها شده از مخزن شماره ۴ (مخزن D)

D_{10} - کمبود آب برای آبرسانی شهری که در صورت نیاز از منابع آب زیرزمینی می بایست تامین شود.

حل برنامه خطی مربوط به سیستم

این سیستم به کمک رایانه و با استفاده از سیستم نرم‌افزاری (QSB) حل شده و جوابها بصورت زیر هستند. حل سیستم مذکور با هر مدل دیگر و حتی در صورت وجود وقت با دست نیز امکان پذیر است. مجموعه جواب امکان پذیر بهینه^(۲) برای این سیستم بشرح جدول زیر است:

بدیهی است که ارقام داده شده را میتوان با قید احتیاط‌های لازم زوند نمود. حداکثر درآمد امکان پذیر در این سیستم برابر ۱۲۱۰/۹۴۸ میلیون ریال در ماه است (حل بهینه) که در صورت ساخت مخازن با ابعاد تعیین شده توسط مدل و تحقق فروش آب و برق تولیدی قابل تضمین است.

متغیرهای تصمیم‌گیری	حجم آب بر حسب CMC	متغیرهای تصمیم‌گیری	حجم آب بر حسب MCM
S ₁	34.296	D ₄	27.588
S ₂	3.000	D ₅	27.688
S ₃	0.6	D ₆	1.800
S ₄	9.000	D ₇	13.200
S ₅	1.200	D ₈	0.000
D ₁	24.000	D ₉	0.400
D ₂	25.798	D ₁₀	0.000
D ₃	27.597		

نظر به گرانی آب زیرزمینی و جبران نشدن هزینه‌ها مدل استفاده از آبهای زیرزمینی را صفر محاسبه نموده است. در صورتیکه اجبار به استفاده از آبهای زیرزمینی وجود داشته باشد، مدل درآمدهای بهینه را بر آن مبناء حساب خواهد نمود. بعنوان مثال چنانچه با افزودن یک قید، سیستم را مجبور به پذیرش استفاده از آبهای زیرزمینی بمقدار ۳ میلیون متر مکعب از آب چاه و در ماه بنمائیم، حداکثر درآمد امکان پذیر به شدت کم شده و به مقدار ۲۷۷/۳۵ میلیون ریال در ماه میرسد (مقدار بهینه جدید).

$$6 \geq S_3 \geq 0.6$$

$$27 \geq S_4 \geq 9$$

$$1.8 \geq S_5 \geq 1.2$$

قیود مربوط به ظرفیت کانالهای پایین دست:

$$D_1 \leq 24$$

$$D_2 \leq 27$$

$$D_3 \leq 30$$

$$D_4 \leq 33$$

$$D_5 \leq 36$$

سایر قیود:

$$D_6 \leq 1.8$$

$$D_6 + D_7 + D_8 = 15$$

$$D_9 + D_{10} = 0.4$$

با در نظر گرفتن اصل پیوستگی جریان^(۱) داریم:

= مقدار ذخیره آب در مخزن

- (جریانهای ورودی به مخزن)

- (جریانهای خروجی از مخزن)

هر نوع اتلاف از مخزن)

پس:

$$S_1 = 45 + 13.3 - D_1 - 0.0001 \left(\frac{45 + S_1}{2} \right)$$

$$\text{یا } 1.00005 S_1 + D_1 = 58.2978$$

به همین ترتیب برای سایر مخازن قیود را تعیین می‌کنیم که بشرح زیرند:

$$1.00025 S_2 + D_2 - D_1 = 4.7988$$

$$1.0004 S_3 + D_3 - D_2 = 2.399$$

$$1.00045 S_4 + D_4 - D_3 = 8.996$$

$$1.0005 S_5 + D_5 - D_4 = 1.2994$$

شرط غیر منفی بودن نیز در این برنامه بصورت زیر است:

$$S_i \geq 0 \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, 5$$

$$D_i \geq 0 \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, 10$$

می‌رسند در صورت استفاده از مبانی مهندسی سیستم‌ها فوق‌العاده ساده و دقیق است همانطوریکه در این مقاله ملاحظه گردید. حل سیستم مذکور به کمک رایانه و با استفاده از فن آوری برنامه ریزی خطی در چند ثانیه صورت گرفته است و حال آنکه حل همین سیستم بدون استفاده از رایانه و فن آوری برنامه ریزی خطی ماهها بطور می‌انجامد و جوابهای بدست آمده لزوماً نمی‌توانند صحیح و بهینه باشند. لذا روش ارائه شده در این مقاله برای برنامه‌ریزیهای بهره‌برداری از مخازن تنظیم کننده جریان آب، کنترل عملکرد سدهای ساخته شده و اصلاح آنها در صورت نیاز (زیاد کردن ارتفاع بعضی از سدها در سیستم) و یا افزایش ظرفیت کانالهای پایین دست و چاره جویی برای جلوگیری از خسارات بخوبی با روش پیشنهادی در این مقاله امکان پذیر است و کاربرد این فن آوری موکداً توصیه می‌شود.

زمان حل سیستم مذکور با کامپیوتر پنتیوم 200 حدود ۲ ثانیه بطول انجامیده است.

نتیجه گیری

در این مقاله بهره‌برداری بهینه از سیستم مرکب مخازن در یک حوزه آبریز و یا بطور کلی در یک شبکه آبرسانی مورد بحث بوده است. قبل از ابداع فن آوریهای ریاضی، تهیه برنامه بهره‌برداری بهینه بیشتر بصورت غیرترکیبی اجزاء سیستم به انجام می‌رسیده که طبعاً هزینه ریسکهای عدم حتمیت^(۱) آن نیز پذیرفته شده بوده است. با ابداع مهندسی سیستم‌ها، مجموعه سدها و مناطق و نقاط مصرف آب می‌توانند به زبان ریاضی تبدیل و سپس بکمک فن آوریهای متنوع موجود نسبت به حل سیستم اقدام نمود. حل این قبیل سیستم‌ها که ظاهراً پیچیده بنظر

مراجع

- ۱ - ارفع، ح. "مهندسی سیستم‌ها". جزوه درسی گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، (۱۳۷۴).
- 2 - Hall and Dracup, (1370). "Water rrosourse systems engineering." McGraw-Hill.
- 3 - Pfaffenberger, R. C. and Walker, D. A. (1976). "Mathematical programming for ecoomics ad business." Iowa University Press Ames IA.
- 4 - Mass, A. et al. (1970). "Design of water resources systems." Harvard University Press Cambridgs, Massachusetts.