

کاربرد برنامه‌ریزی خطی در تحلیل سیستمی بهره‌برداری و تخصیص بهینه آب در منابع آب مخازن سدها

سهیل قره‌آغاجی زارع

دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی

soheil.zare@gmail.com

محمد حسین کریمی پاشاکی

دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

m20karimi@yahoo.com

فریما لطفیان

دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائمشهر

farimalottfian@gmail.com

چکیده

امروزه منابع آب در زمره گنجینه‌های عظیم بشری به‌شمار می‌آیند که لازمه بهره‌برداری از آن‌ها با توجه به نیازهای پر-شمار، کمبودها و محدودیت‌های موجود در استفاده از این منابع، اعمال قوانین و مدیریت بهینه بهره‌برداری می‌باشد. از آنجا که بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در ایران است، بنابراین مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب ضمن پاسخگویی مناسب به نیازهای این بخش، سبب کاهش هدررفت آب، افزایش بازدهی تولید محصول و نیل به توسعه پایدار در کشاورزی می‌گردد. در این راستا استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی به دلیل سهولت انجام و کاربردی بودن این روش از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، با توجه به نقش برجسته مخازن سدها که از مهم‌ترین منابع آبی در تامین آب بخش کشاورزی می‌باشند، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی در مخازن سدها بیان گردیده و سپس با ارائه یک مسئله کاربردی، مدلی جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری و تخصیص آب از مخازن تک منظوره به اراضی کشاورزی تدوین شده است. تابع هدف در این مسئله عبارت است از تعیین حجم آب انتقالی از مخزن سد به زمین‌های کشاورزی به‌نحوی که ضمن تامین نیازها، هزینه کل طرح انتقال نیز حداقل گردد. این مدل با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار Lingo10 تهیه شده و با استفاده از نتایج حاصل از اجرای مدل، الگوهایی برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب، به‌خصوص در شرایط کم‌آبی، خشکسالی و ... ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: منابع آب، بهره‌برداری بهینه، بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی خطی، مخزن سد، نرم‌افزار Lingo.

مقدمه

کمبود منابع آب قابل دسترس در کشور ایران که دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است، به‌همراه افزایش تقاضای آب به علت گسترش فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی، همواره به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین چالش‌های بخش آب مطرح می‌باشد. لازمه نگرش سیستمی و مدیریت یکپارچه منابع آب، با توجه به گستردگی پارامترهای آن، آشنایی با اصول برنامه‌ریزی

می‌باشد. استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی علمی، در تخصیص منابع آب، باعث تعادل بین منابع و مصارف، بهینه‌سازی مصرف، کاهش هدر رفت آب، افزایش بازده و در نهایت دستیابی به توازن و توسعه پایدار در زمینه کشاورزی خواهد بود. مدیریت منابع آب با استفاده از الگوهای ریاضی برنامه‌ریزی، یکی از روش‌های نوین می‌باشد که در جهان و ایران توجه محققان زیادی را به خود جلب نموده است. در این تحقیق، ابتدا قالب کلی مدل‌های مدیریت کمی و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب بیان می‌شود. سپس با ارائه یک مسئله کاربردی در ارتباط با بهره‌برداری از مخازن تک هدفه، مدل برنامه‌ریزی خطی با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار Lingo ارائه می‌گردد که بر اساس آن می‌توان بهینه‌ترین حالت اختصاص منابع آبی را با هدف حداکثر نمودن سود حاصله تعیین و با استفاده از نتایج آن، تدابیر مدیریتی لازم را به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب در شرایط خاصی مانند کم‌آبی، خشکسالی و...، تدوین و بکارگیری نمود.

مدل بهینه‌سازی سیستم‌های منابع آب

مشکلات کمی بهره‌برداری از منابع آب در تمامی سیستم‌ها یکسان نیست. بنابراین برخوردهای سیستمی متفاوت در سطح مناطق و یک نگرش مدیریتی یکپارچه، ضروری به نظر می‌رسد. لازمه این امر، آشنایی و بکارگیری اصول برنامه‌ریزی منابع آب می‌باشد.

منابع آب (رودخانه‌ها، مخازن سدها و...) به منظور دستیابی به اهداف گوناگونی مانند تامین نیازهای آبی در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، صنعت و... مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. مدل‌های مدیریت کمی، امکان بهره‌برداری بهینه از منابع آبی محدود موجود را فراهم می‌سازند.

در برنامه‌ریزی بهینه منابع آب همواره باید از بین گزینه‌های موجود، با در نظر گرفتن تمامی شرایط حاکم، بهترین گزینه را انتخاب نمود. در مسائل تصمیم‌گیری، به منظور نیل به اهداف مورد نظر می‌توان مسئله را به صورت یک مدل ریاضی تبدیل کرد و برای حل آن از روش‌های بهینه‌سازی موجود بهره جست. تبدیل یک مسئله تصمیم‌گیری به یک مدل ریاضی، مدل‌سازی نامیده می‌شود (1). یک مدل ریاضی بهینه‌سازی شامل چهار مجموعه اساسی به شرح زیر می‌باشد: 1- متغیرهای تصمیم و پارامترها (Decision Variables)، 2- تابع هدف (Object Function)، 3- محدودیت‌ها یا قیود (Constraints)، 4- جواب بهینه (Optimum Solution).

بهینه‌سازی (Optimization) در واقع تعیین مقادیر متغیرهای تصمیم است به طوری که معیار یا هدف مورد نظر، بهینه گردد. جواب بهینه مقادیری از متغیرهای تصمیم‌گیری است که ضمن رعایت قیود، تابع هدف را بیشینه یا کمینه می‌سازد. به طور کلی، جواب بهینه زمانی به دست می‌آید که مقادیر متناظر متغیرهای تصمیم‌گیری، ضمن صدق کردن در تمامی قیود مدل، بهترین مقدار تابع هدف را نتیجه می‌دهد.

با توجه به سادگی ساختار مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (Linear Programming) و کاربردی بودن این مدل‌ها به عنوان یک تحلیل مناسب اولیه در سیستم‌های مدیریت منابع آب، همچنین مزایایی نظیر امکان حل مسئله با تعداد متغیرهای زیاد، عدم نیاز به فرض‌ها و مقادیر اولیه، امکان تبدیل مسائل غیر خطی به مسائل خطی، امکان محاسبه سریع جواب بهینه نهایی و نیز در دسترس بودن نرم‌افزارهای مربوطه، در این تحقیق تنها از مدل مذکور استفاده می‌گردد.

الگوهای برنامه‌ریزی خطی

یکی از ساده‌ترین و کاربردی‌ترین مدل‌های بهینه‌سازی تک هدفه با متغیرهای پیوسته، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی می‌باشند. در این مدل مسائلی که روابط بین متغیرهای مسئله در تابع هدف و نیز قیود، به صورت خطی باشد، قابل حل خواهند بود. این نوع برنامه‌ریزی در منابع آب برای مسائل با روابط ساده مانند تخصیص مستقیم منابع تا مسائل پیچیده بهره‌برداری و مدیریت، قابل بکارگیری است. ساختار یک مدل برنامه‌ریزی خطی به صورت زیر می‌باشد:

1- تشکیل تابع هدف

2- تشکیل محدودیت‌ها (قیود) با استفاده از مجموعه‌ای از معادلات و یا نامعادلات

3- رعایت شرط عدم منفی

اگر x_1, x_2, \dots, x_n متغیرهای تصمیم‌گیری باشند، معیار مورد نظر که تابع هدف نامیده می‌شود، به صورت رابطه (1) تعریف می‌گردد:

$$f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n = c^T x \quad (1)$$

در این رابطه، c_1, c_2, \dots, c_n اعداد حقیقی و c^T ترانهاده بردار c است.

در روش برنامه‌ریزی خطی همواره باید تمامی متغیرهای تصمیم، غیر منفی باشند. فرم استاندارد هر مسئله برنامه‌ریزی خطی می‌تواند به صورت مجموعه روابط (2) تا (6) بیان گردد:

$$\text{Maximize } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

(2) Subject to:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (3)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (4)$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \quad (5)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad (6)$$

مجموعه روابط (2) تا (6) را می‌توان به فرم کلی رابطه (7) تا (8) نیز در نظر گرفت:

$$\text{Max } Z = C^T \cdot X \quad (7)$$

$$\text{S.t: } AX = b ; X \geq 0 \quad (8)$$

در این روابط، Z : تابع هدف مسئله، C : بردار n بعدی از ضرایب تابع هدف، X : بردار n بعدی از متغیرهای تصمیم‌گیری، b : بردار m بعدی از ضرایب سمت راست که نشان‌دهنده منابع در دسترس می‌باشد، A : ماتریس m در n از ضرایب محدودیت‌ها و T : عملگر ترانهاده ماتریس است.

مدل‌های برنامه‌ریزی خطی در مخازن سدها

سدها معمولاً با در نظر گرفتن اهداف متعددی طراحی، ساخته و بهره‌برداری می‌شوند. تامین آب برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعتی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی و بهره‌برداری مخازن هستند. کنترل سیلاب و کاهش خسارات ناشی از آن از اهداف دیگر ساخت سدها است.

ساختار یک مدل پایه که مبنای بسیاری از مدل‌های بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد را تشکیل می‌دهد، به صورت مجموعه روابط زیر بیان می‌گردد.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{t=1}^n \text{loss}_t(R_t, D_t, S_t) \quad (9)$$

Subject to:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - E_t - L_t \quad (t=1,2,\dots,n) \quad (10)$$

$$S_{\min} \leq S_t \leq \text{Cap} \quad (t=1,2,\dots,n) \quad (11)$$

$$0 \leq R_t \leq R_{\max,t} \quad (t=1,2,\dots,n) \quad (12)$$

$$S_t, E_t, L_t, R_t \geq 0 \quad (t=1,2,\dots,n) \quad (13)$$

در این روابط، Z : تابع هدف، Loss_t : هزینه بهره‌برداری در ماه t که تابعی از خروجی، نیاز و حجم ذخیره مخزن در ماه t است، R_t : خروجی از مخزن در ماه t ، D_t : نیاز آبی در ماه t ، S_t : حجم ذخیره مخزن در ماه t ، n : طول دوره زمانی برنامه‌ریزی، S_{\min} :

حداقل حجم ذخیره آب در مخزن، Cap: حجم کل ذخیره آب در مخزن، $R_{max,t}$: حداکثر خروجی از مخزن در دوره زمانی t ، E_t : حجم تبخیر از مخزن در ماه t ، I_t : حجم نشست آب از مخزن در ماه t ، I_t : حجم جریان ورودی به مخزن در ماه t می‌باشد. در تابع هدف رابطه (9)، خسارت کلی در طول دوره بهره‌برداری مخزن، حداقل می‌گردد. برای این که میزان تخصیص آب به نیازهای آبی مختلف نیز بهینه‌سازی شود می‌توان تابع هدف مدل را به صورت رابطه (14) تغییر داد:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^m \text{loss}_t(R_{j,t}, D_{j,t}, S_t) \quad (14)$$

در این معادله، $D_{j,t}$ و $R_{j,t}$ بترتیب آب تخصیص داده شده به نیاز j و میزان نیاز آبی j در ماه t هستند و m نیز تعداد نیازهای آبی مختلف می‌باشد.

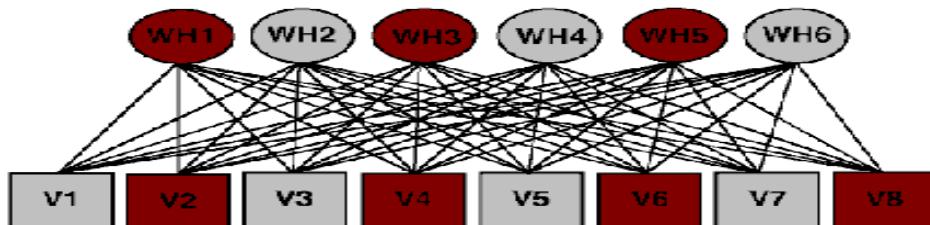
طرح مسئله

در این بخش، با ارائه یک مسئله کاربردی مدل بهره‌برداری بهینه از مخازن تک منظوره جهت تامین نیاز آبی دشت‌هایی که دارای زمین‌های کشاورزی وسیع می‌باشند، با استفاده از روش بهینه‌سازی خطی در محیط نرم افزار Lingo اجرا می‌گردد. این مسئله می‌تواند در دشت‌های کشاورزی که به دلیل برداشت‌های بی‌رویه و نامنظم، سطح آب زیرزمینی و آبخوان آن‌ها دچار کاهش شدید گردیده و توسط وزارت نیرو به‌عنوان دشت‌های ممنوعه اعلام شده، مانند دشت قره و دهگلان در استان کردستان، قابل بکارگیری باشد. برای تأمین آب کشاورزی دشت‌های مذکور، طرح‌های آبرسانی از مخازن سدهای مخزنی منطقه مانند سد آزاد، قشلاق، گندمان، جبرائیلیان و... در دست بررسی است.

در این مسئله، برای انتقال آب از 6 مخزن تک منظوره به 8 قطعه زمین وسیع کشاورزی، در مجموع 48 حالت وجود دارد. این موضوع در شکل (1) به صورت شماتیک نمایش داده شده است. با توجه به مجموع هزینه‌های انتقال آب، هزینه تمام شده هر طرح انتقال نیز برآورد گردیده و به صورت ماتریس هزینه، در رابطه (18) ارائه شده است.

تابع هدف مسئله، تعیین میزان حجم آب انتقالی از هر مخزن به هر دشت کشاورزی است، به نحوی که هزینه کل طرح انتقال، حداقل گردد. در سد i ام، حجم مخزن S_i واحد است و زمین کشاورزی j ام نیز دارای تقاضای D_j مترمکعب آب می‌باشد. هزینه انتقال هر مترمکعب آب از سد i به زمین کشاورزی j ، برابر C_{ij} واحد پولی و مقدار آب منتقل شده از سد i به زمین کشاورزی j ، معادل X_{ij} می‌باشد که متغیر تصمیم مسئله است.

همچنین طرح مذکور دارای سه دسته محدودیت (قید) می‌باشد: قید اول آن است که از هر مخزن می‌توان به تمامی زمین‌های کشاورزی، آب را منتقل نمود. محدودیت دوم آن است که حجم آب انتقال داده شده از هر مخزن، نباید از ظرفیت مخزن بیشتر باشد و قید سوم آن که هر مجتمع کشاورزی باید برابر یا بیشتر از نیاز خود، آب دریافت نماید.



شکل(1): شماتیک طرح انتقال آب از 6 مخزن به 8 زمین کشاورزی (48 حالت)

با توجه به مطالب بیان شده، شکل استاندارد مدل برنامه‌ریزی خطی در مسئله مذکور، یعنی تابع هدف و محدودیت‌های مدل، به صورت روابط (15) تا (17) می‌باشد:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^8 C_{i,j} X_{i,j} \quad (15)$$

Subject to :

$$\sum_{j=1}^8 X_{i,j} \leq S_i \quad ; \quad \forall i \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^6 X_{i,j} \geq D_j \quad ; \quad \forall j$$

(17)

مدل سازی مسئله توسط نرم افزار Lingo

در بیشتر مسائل تصمیم‌گیری، یافتن مقادیر بهینه امری ضروری و قابل توجه می‌باشد. بنابراین استفاده از مدل‌هایی که بتوانند این مسائل را که در برخی موارد دارای متغیرهای تصمیم‌زیادی بوده و امکان حل دستی آن‌ها وجود ندارد، مهم می‌باشد. از جمله این نرم‌افزارها، نرم‌افزار Lingo است. برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار Lingo با استفاده از دستورات و توابع مشخصی صورت می‌گیرد. در این تحقیق از نرم‌افزار Lingo Ver 10 استفاده شده است.

ورودی‌های مدل

ورودی‌هایی که باید به نرم‌افزار معرفی شوند شامل سه دسته اطلاعات می‌باشند.

1- ظرفیت مخازن، که مطابق جدول (1) می‌باشد:

جدول (1): ظرفیت مخازن سدهای پروژه

مخزن	R1	R2	R3	R4	R5	R6
حجم (Mm ³)	60	55	51	43	41	52

2- میزان نیاز آبی هر قطعه زمین کشاورزی، که در جدول (2) نشان داده شده است.

جدول (2): مقادیر نیاز آبی زمین‌های مجتمع کشاورزی

زمین کشاورزی	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
نیاز آبی (cms)	35	37	22	32	41	32	43	38

3- مجموع هزینه‌های طرح انتقال آب از مخازن به زمین‌های کشاورزی، که به صورت ماتریس هزینه در رابطه (18) بیان شده است. در این ماتریس، هزینه انتقال آب از هر مخزن R_i به هر قطعه زمین C_j، توسط یک ماتریس 8×6 نشان داده شده است.

$$\text{Cost} = R \begin{bmatrix} 6 & 2 & 6 & 7 & 4 & 2 & 5 & 9 \\ 4 & 9 & 5 & 3 & 8 & 5 & 8 & 2 \\ 5 & 2 & 1 & 9 & 7 & 4 & 3 & 3 \\ 7 & 6 & 7 & 3 & 9 & 2 & 7 & 1 \\ 2 & 3 & 9 & 5 & 7 & 2 & 6 & 5 \\ 5 & 5 & 2 & 2 & 8 & 1 & 4 & 3 \end{bmatrix} \quad (18)$$

حل مسئله

با استفاده از برنامه نویسی در محیط نرم افزار Lingo، مسئله تخصیص بهینه منابع آب از مخازن سدهای منطقه به زمین‌های کشاورزی، در 48 حالت و با انجام 15 تکرار، حل گردیده که نتایج آن در ذیل تشریح گردیده است.

نتیجه

در این تحقیق، ضمن معرفی مدل‌های خطی بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب مخازن سدها، مسئله تخصیص بهینه مخازن تک‌هدفه به زمین‌های کشاورزی طرح و با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار Lingo10 تحلیل گردیده است. با استفاده از نتایج حاصله، می‌توان اقدام به تدوین سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از مخازن با هدف کمینه ساختن هزینه طرح‌های اجرایی، ایجاد تعادل بین منابع آب موجود و مصارف مختلف، تغییر الگوی کشت جهت کاهش میزان مصرف منابع آبی و همچنین بهینه‌سازی مصرف آب نمود.

در برنامه نوشته شده برای حل مسئله فوق، به منظور دستیابی به جواب بهینه، 15 تکرار در 48 حالت انجام پذیرفته است. در جدول شکل (2) مقدار حجم آب رهاسازی شده از مخزن هر سد به زمین‌های کشاورزی، به نحوی که هزینه طرح انتقال کمینه گردد نشان داده شده است.

با توجه به مجموعه شرایط حاکم بر مسئله (یعنی با در نظر گرفتن مقادیر بهینه آب رهاسازی شده از هر مخزن و با توجه به نیاز آبی زمین‌های زراعی)، مقدار جواب بهینه تابع هدف، یعنی مقدار هزینه کل طرح‌های انتقال آب برابر با 664 میلیارد ریال برآورد گردیده است.

در نرم‌افزار Lingo، به منظور تدوین برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب بهره‌برداری از منابع آب، از پارامترهای مدیریتی هزینه کاهیده (Reduce Cost) و قیمت دوگان (Dual Price) استفاده می‌گردد.

در جدول شکل (2)، در مقابل هر عدد حاصله، پارامتر «هزینه کاهیده» محاسبه و بیان شده است. این پارامتر، بیانگر تغییر در مقدار تابع هدف بازای افزایش یک واحد به حجم رهاسازی آب از مخزن، بوده و نقش مؤثری در مدیریت و برنامه‌ریزی بهره‌برداری از منابع آب دارا می‌باشد. به‌طور مثال بیشترین مقدار پارامتر هزینه کاهیده در انتقال آب از مخزن R1 به زمین زراعی C8 بوده که مقدار آن برابر با 10 می‌باشد. یعنی اگر علاوه بر آب رهاسازی شده از مخزن R1، یک میلیون مترمکعب آب مازاد، از مخزن R1 برداشت نماییم، مقدار تابع هدف 10 واحد تغییر می‌کند و هزینه طرح در این حالت، با 10 میلیارد ریال افزایش روبرو می‌گردد. همچنین حالاتی که مقدار هزینه کاهیده صفر منظور گردیده، بدان معنی است که چنانچه یک واحد آب مازاد از مخزن برداشت گردد، تابع هدف مسئله یعنی هزینه طرح انتقال تغییری نمی‌کند.

بنابراین در شرایطی که برای یک یا چند مخزن مشکلات خاصی مانند کم‌آبی، خشکسالی، رسوب‌گذاری، تعمیرات و... بروز نماید و نتواند مقدار آب پیش‌بینی شده را تحویل نماید، می‌توان از سایر مخازن که مقدار پارامتر مدیریتی هزینه کاهیده در آن‌ها برابر صفر می‌باشد، جهت انتقال آب به زمین‌های کشاورزی استفاده و بدین ترتیب مدیریت بهینه‌ای را اعمال نمود.

دیگر پارامتر مدیریتی مؤثر در برنامه‌ریزی خطی منابع آب در نرم‌افزار Lingo، پارامتر قیمت دوگان می‌باشد که مقدار بهبود تابع هدف را بازای افزایش یا کاهش در مقدار ظرفیت مخزن و یا نیاز آبی بیان می‌دارد. به‌عنوان مثال با توجه به جدول (3) مشاهده می‌گردد که چنانچه به ردیف‌های 2 و 4، یعنی مقدار نیاز آبی زمین‌های C2 و C4، یک واحد اضافه شود مقدار تابع هدف در هر مرحله 3 واحد (در مجموع 6 واحد) بهبود می‌یابد، یعنی مقدار هزینه تمام شده طرح در هر مرحله 3 میلیارد ریال

کاهش خواهد یافت. همچنین مقادیر منفی پارامتر قیمت دوگان، در مسئله کمینه سازی هزینه‌ها به معنای افزایش هزینه‌های طرح می‌باشد. به‌عنوان مثال با مشاهده جدول (3) درمی‌یابیم که با افزایش یک واحد در ردیف 12، هزینه‌های طرح 7 میلیارد ریال افزایش خواهد یافت. بنابراین، این موضوع باید در برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب به واحدهای کشاورزی و رهاسازی آب از مخزن سد، مورد توجه جدی برنامه‌ریزان قرار گیرد.

Variable	Value	Reduced Cost
VOLUME (RES 1 , C 1)	0	5
VOLUME (RES 1 , C 2)	19	0
VOLUME (RES 1 , C 3)	0	5
VOLUME (RES 1 , C 4)	0	7
VOLUME (RES 1 , C 5)	41	0
VOLUME (RES 1 , C 6)	0	2
VOLUME (RES 1 , C 7)	0	2
VOLUME (RES 1 , C 8)	0	10
VOLUME (RES 2 , C 1)	1	0
VOLUME (RES 2 , C 2)	0	4
VOLUME (RES 2 , C 3)	0	1
VOLUME (RES 2 , C 4)	32	0
VOLUME (RES 2 , C 5)	0	1
VOLUME (RES 2 , C 6)	0	2
VOLUME (RES 2 , C 7)	0	2
VOLUME (RES 2 , C 8)	0	0
VOLUME (RES 3 , C 1)	0	4
VOLUME (RES 3 , C 2)	11	0
VOLUME (RES 3 , C 3)	0	0
VOLUME (RES 3 , C 4)	0	9
VOLUME (RES 3 , C 5)	0	3
VOLUME (RES 3 , C 6)	0	4
VOLUME (RES 3 , C 7)	40	0
VOLUME (RES 3 , C 8)	0	4
VOLUME (RES 4 , C 1)	0	4
VOLUME (RES 4 , C 2)	0	2
VOLUME (RES 4 , C 3)	0	4
VOLUME (RES 4 , C 4)	0	1
VOLUME (RES 4 , C 5)	0	3
VOLUME (RES 4 , C 6)	5	0
VOLUME (RES 4 , C 7)	0	2
VOLUME (RES 4 , C 8)	38	0
VOLUME (RES 5 , C 1)	34	0
VOLUME (RES 5 , C 2)	7	0
VOLUME (RES 5 , C 3)	0	7
VOLUME (RES 5 , C 4)	0	4
VOLUME (RES 5 , C 5)	0	2
VOLUME (RES 5 , C 6)	0	1
VOLUME (RES 5 , C 7)	0	2
VOLUME (RES 5 , C 8)	0	5
VOLUME (RES 6 , C 1)	0	3
VOLUME (RES 6 , C 2)	0	2
VOLUME (RES 6 , C 3)	22	0
VOLUME (RES 6 , C 4)	0	1
VOLUME (RES 6 , C 5)	0	3
VOLUME (RES 6 , C 6)	27	0
VOLUME (RES 6 , C 7)	3	0
VOLUME (RES 6 , C 8)	0	3

شکل (2): مقادیر حجم بهینه آب رها سازی شده از هر مخزن به هر زمین کشاورزی

جدول (3): مقادیر تاثیر پارامتر قیمت دوگان در میزان هزینه بهینه طرح انتقال

Row	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Slack /Surplus	664	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dual Price	-1	3	0	3	1	2	2	-4	-5	-4	-3	-7	-3	-6	-2

منابع

1. کریمی پاشاکی، محمد حسین ، قره آغاجی زارع، سهیل، صارمی، علی. 1388. برنامه ریزی خطی در بهره برداری از منابع آب. اولین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار. شیراز.
2. کارآموز، م.، و کراچیان، ر. 1387. برنامه ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب، ویرایش دوم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران).
3. ایران کارآموز، م.، احمدی، آ.، و فلاحی، م. 1385. مهندسی سیستم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران).
3. Dariane, A.B., T.C. Hughes. 1991. Application of Crop Yield Function In Reservoir Operation. Water Resources, Bull. 27: 649-656.
4. Ghahraman, B., A.R. Sepaskhah. 2004. Linear and Non-linear Optimization Models for Allocation of a Limited Water Supply. Irrig Drain Journal. 53: 39-54.