

مدل حمایت تصمیم گیری به منظور تخصیص بهینه ی آب سد امیر کبیر برای مصارف گوناگون

مهديه مسنن مظفري، محمود صبوحي و احمدعلي كیخا*

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۳/۳

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱/۲

چکیده

سد امیرکبیر افزون بر این که یکی از منابع اصلی تأمین کننده ی آب شرب شهر تهران می باشد، وظیفه ی تأمین آب آبیاری، تولید برق و کنترل سیلاب را نیز بر عهده دارد. در این پژوهش پس از پیش بینی آب رودخانه کرج به روش شبیه سازی مونت کارلو، از برنامه ریزی آرمانی وزنی و اولویت دار به منظور تخصیص آب سد کرج به بخش های شرب و کشاورزی استفاده شد. نتایج برنامه ریزی آرمانی اولویت دار نشان داد، با توجه به اهداف تصمیم گیرنده، می توان آب تخصیصی به شرب و درآمد ناخالص کشاورزان را افزایش داد. با استفاده از برنامه ریزی آرمانی وزنی، آب تخصیصی به شرب بیش از مقدار کنونی، درآمد ناخالص کشاورزان و برق تولیدی نیز بیش از آرمان مورد نظر بود. افزون بر آن، از دید مدیریت آب سد بررسی آرمان ها و شرایط گوناگون با توجه به مدل ساخته شده امکان پذیر است.

واژه های کلیدی: سد امیرکبیر، شبیه سازی مونت کارلو، برنامه ریزی آرمانی

* به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل

e-mail: msabuhi39@yahoo.com

پیشگفتار

ایران با بارندگی سالانه‌ی نزدیک به ۲۴۰ میلیمتر، ۲ درصد آب شیرین جهان را داراست (واتکینز، ۲۰۰۶). با توجه به این امر و پراکنش نامناسب مکانی و زمانی بارندگی‌ها، ایران جزو کشورهای خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد. رشد روزافزون جمعیت و توسعه‌ی بخش‌های گوناگون اقتصادی موجب افزایش مداوم تقاضا برای آب شده است (فرازمند، ۱۳۷۹). برای پاسخ به این تقاضای فزاینده از سدها و مخازن آب که در چند سال اخیر افزون بر تأمین نیاز آب مصرفی شرب، صنعت و کشاورزی در کنترل سیلاب، تولید انرژی، جذب توریسم و ایجاد محیط زیستی خاص اهمیتی ویژه دارند، استفاده می شود (فتوحی، ۱۳۷۳). مدیریت منابع آب در فرآیند توسعه‌ی کشور ابعاد گسترده‌ای یافته است به گونه‌ای که یکی از مواد برنامه‌ی سوم توسعه‌ی اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران اصلاح ساختار مدیریت آب (ماده‌ی ۲) بوده است (صدر، ۱۳۸۰). سد امیرکبیر (کرج) نیز با هدف تأمین شرب، کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب، تأمین آب آبیاری و تولید برق در ساعات پرمصرف در سال ۱۳۴۰ مورد بهره‌برداری قرار گرفت (سازمان بهره‌برداری آب غرب استان تهران، ۱۳۸۵). مشکلات اصلی مدیریت آب سد کرج، تصادفی بودن میزان آب رودخانه‌ی کرج، پشت سد و اهداف متضاد در تخصیص آب آن می باشد. افزون بر آن، بخش عمده‌ای از آب شرب شهر تهران از این سد تأمین می شود که از نظر سیاسی دارای اهمیت است و این موضوع امکان یافتن پاسخ بهینه و تخصیص مناسب آب را با مشکل رو به رو کرده است. تغییرات مصرف شرب و کشاورزی، جریان رودخانه و بارندگی‌ها نقشی مهم در تأمین نیاز آب بخش‌های گوناگون دارند. یکی از تکنیک‌های مدل سازی مدیریت منابع آب، مدل‌های بهینه سازی است که خود به دو زیربخش مدل های تک هدفه و چند هدفه تقسیم می شود. مدل های چند هدفه از جمله برنامه‌ریزی آرمانی از انواع سیستم های حمایت تصمیم‌گیری هستند که در مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل مسائل تصمیم‌گیری و مدیریت منابع طبیعی به دلیل در نظر گرفتن اهداف متضاد و چندگانه به گونه‌ی گسترده مورد استفاده قرار گرفته اند (رومرو، ۲۰۰۴). نایاک و پاندا (۲۰۰۱) با استفاده از مدل های برنامه‌ریزی هدف و خطی فازی، مدل حمایت تصمیم‌گیری

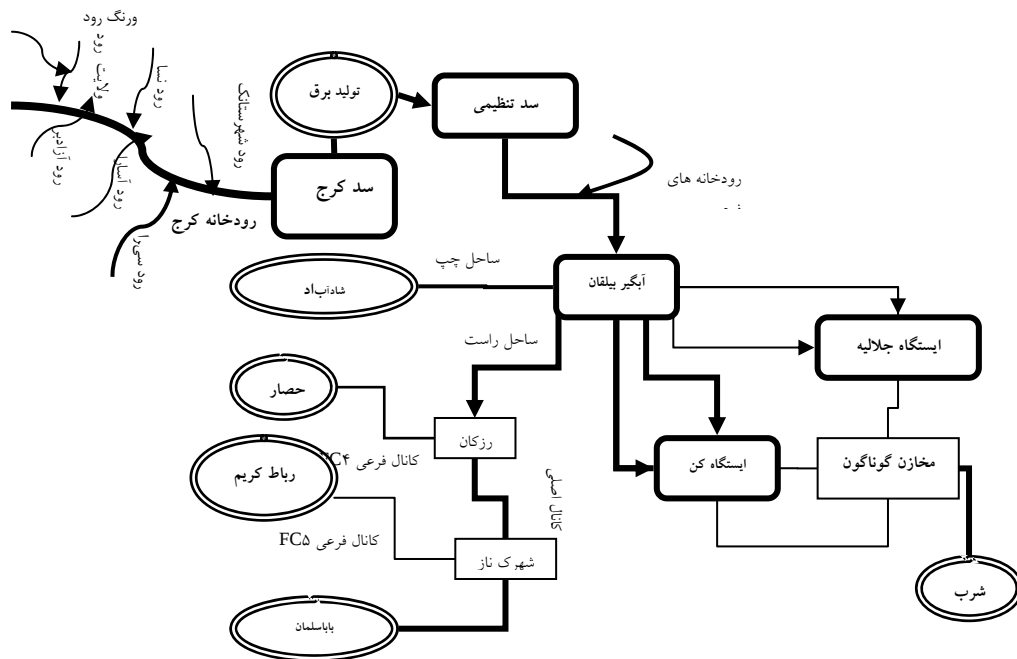
به منظور مدیریت منابع آب و زمین در ماهانادی هند ارائه کردند. تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان با استفاده از این مدل می‌توانستند منابع آب و زمین را به گونه‌ی بهینه‌ای مدیریت کنند. فواد و سامه (۲۰۰۱) به منظور تأمین تقاضای شرب و کشاورزی، کمینه کردن شوری آب و هزینه‌ی پمپاژ سه سد در تونس از برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی استفاده کردند. هاجی بیروس و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ی سد پلاستیراس در یونان هدف‌های متضاد در تخصیص آب سد و اثرهای متقابل آنها را مورد بررسی قرار دادند. آنها از تصمیم‌گیری چند معیاره برای تعیین مقدار آبی که مطلوبیت همه‌ی مصرف‌کنندگان را بیشینه کند، استفاده کردند. افزون بر آن، سطح آبی که لازم بود در دریاچه باقی بماند تا نیاز همه‌ی بخش‌ها را تامین کند، ۷۸۴ متربرآورد کردند. کرامت‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی تخصیص بهینه‌ی آب سد بارز و شیروان بین مناطق گوناگون را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که امکان افزایش آب تخصیصی به کشاورزی تا ۴۷۰۰۰ هزار مترمکعب وجود دارد. فتوحی (۱۳۷۳) از مدل برنامه‌ریزی پویای تصادفی^۱ جهت بهره‌برداری بهینه‌ی مخزن سد کرج استفاده کرد. وی برای پیش‌بینی جریان ورودی آب به سد کرج از نرم افزار HYFA^۲ استفاده نمود. وی نتیجه گرفت که اگر بهره‌برداری از مخزن سد به درستی صورت گیرد، می‌توان حجم دریاچه را به مقدار مناسب و بالا نگه داشت تا در پایان دوره نیز در طبقه‌ی بالای مخزن قرا گیرد و در نتیجه ضریب اطمینان برای ذخیره در ماههای گرم افزایش یابد. موسوی ندوشنی (۱۳۶۷) با داده‌های سال‌های ۱۳۴۴-۱۳۶۵ و شبیه‌سازی آنها به روش توماس فیرینگ به بررسی تخصیص بهینه‌ی آب سد کرج پرداخت. وی آمار ماهانه را ایجاد و مدل بهره‌برداری را مشخص نمود. در این پژوهش آب شرب ثابت و کشاورزی متغیر در نظر گرفته شده بود. در نهایت وی نتیجه گرفت ۹۰ درصد آب شرب و ۵۰ درصد آب کشاورزی را می‌توان از سد کرج تامین نمود. با توجه به آنچه گفته شد، هدف از این مطالعه مدل سازی مدیریت آب سد کرج با استفاده از برنامه‌ریزی هدف می‌باشد.

۱- Stochastic Dynamic Programming

۲- Hydrological Frequency Analysis

ویژگی های منطقه ی مورد مطالعه

رودخانه هایی که از کوههای البرز مرکزی سرچشمه می گیرند ، همگی به هم پیوسته و به رودخانه ی کرج ریخته و در پشت سد جمع می شوند. افزون بر آب ورودی از رودخانه ی کرج، بارندگی به صورت برف و باران نیز در محل سد اتفاق می افتد که به طور میانگین در ۳۵ سال اخیر ۲۹۳ میلیون مترمکعب آب به این صورت تأمین شده است. پیش از انتقال آب به سد تنظیمی، برای تولید برق از آنها استفاده می شود. تولید برق به جریان و ارتفاع آب در پشت سد بستگی دارد. آب سد اصلی ابتدا به سد تنظیمی رفته و پس از آن توسط کانال رودخانه کرج به آبگیر بیلقان انتقال می یابد. پس از تصفیه ی اولیه در آبگیر بیلقان، آب خام توسط دو رشته خط فولادی به ظرفیت ۳ مترمکعب در ثانیه به تصفیه خانه ی جلالیه و از راه دو خط انتقال بتنی با ظرفیت بیشینه ۱۰ مترمکعب در ثانیه به تصفیه خانه کن انتقال می یابد (موسوی، ۱۳۶۷). آب خام توسط بند زراعی که در انتهای ضلع جنوبی آبگیر قرار دارد، از راه دو رشته کانال که ساحل چپ و راست نام دارد، آب را به اراضی کشاورزی منتقل می کنند. کل اراضی تحت آبیاری سد کرج ۱۲۰۰۰-۲۱۰۰۰ هکتار است. محصولات عمده ی قابل آبیاری از سد کرج جو، پنبه، گندم، ذرت علوفه ای و محصولات باغی هستند. دبی بیشینه ی عبوری از کانال ساحل راست، ۱۲ مترمکعب در ثانیه است، ولی به دلیل عبور از بافت مسکونی شهر کرج این مقدار به ۶-۷ مترمکعب در ثانیه کاهش می یابد. ساحل چپ، اراضی رباط کریم را آبرسانی می کند. دبی عبوری کانال ۶ مترمکعب در ثانیه و طول کانال ۲۵ کیلومتر است و به شادآباد منتهی می شود (جهاد کشاورزی، ۱۳۸۵). در نگاره ی شماره ی ۱ نمایی کلی از سد کرج و مسیرهای ورود و انتقال آب نشان داده شده است.



نگاره ی (۱) تصویر ادراکی از سد کرج

روش پژوهش

یکی از مدل های برنامه ریزی چندهدفه که در مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، برنامه‌ریزی آرمانی است که فرم کلی زیر را دار می باشد (رومرو، ۲۰۰۴):

$$\text{Min} \left[\sum_{j=1}^n W_j \left| \hat{f}_j - f_j(x) \right|^p \right]^{1/p} \quad (1)$$

$$x \in F$$

St:

در آن هدف j ام، $\hat{f}_j$ انحراف از هدف j ام $f_j(x)$ تابع هدف و F مجموعه در دسترس می باشند.

مدل برنامه ریزی آرمانی از چهار بخش متغیرهای تصمیم، محدودیت های سیستمی، محدودیت های آرمانی و تابع هدف تشکیل شده است (مک گرگور و دنت، ۱۹۹۳).
تابع هدف در برنامه ریزی آرمانی کمینه کردن مجموع انحرافات ناخواسته از هدف های مورد نظر می باشد. با توجه به مطالب یاد شده، محدودیت ها و توابع هدف آرمانی به صورت زیر تعریف می شوند.

$$\min \sum_{i=1}^3 n_i \quad (2)$$

که در آن سه انحراف منفی از مصرف شرب، تولید برق و درآمد ناخالص کشاورزی کمینه می شود.

تابع هدف برنامه ریزی آرمانی اولویت دار، در مسئله ی مورد مطالعه به صورت زیر نوشته می شود.

$$\min \{pr_1 n_1, pr_2 n_2, pr_3 n_3\} \quad (3)$$

که در آن pr ها اولویت هر یک از آرمان های مورد نظر می باشند.

محدودیت های سیستمی: محدودیت زمین به صورت رابطه ی ۴ نوشته شده و در آن X_j محصولات کاشته شده و CA سطح قابل کشت در منطقه می باشد.

$$\sum_{j=1}^5 X_j \leq CA \quad \forall m=1, \dots, 12 \quad (4)$$

رابطه ی ۵ محدودیت مصارف آب و رابطه ی ۶ محدودیت مصرف آب شرب را نشان می دهد که D_m مصرف آب شرب در ماه m ، t متغیرهای انتقالی ماهانه، a_{mj} ضرایب فنی، Iws ذخیره ی اولیه ی آب از سال گذشته و RF مجموع جریان ورودی رودخانه به سد و بارندگی در محل سد، DR_m آب خروجی برای شرب در ماه m ، Dd_m تقاضای آب شرب در ماه m می باشد. در معادله های ۷ و ۸ محدودیت لوله های انتقال آب شرب و کشاورزی نشان داده شده است. wp_i ظرفیت انتقال آب از خطوط ۱ و ۲ و agp_i ظرفیت انتقال آب از لوله های کشاورزی می باشد.

$$\sum_{j=1}^5 a_{mj} X_j + D_m + t_m - t_{m-1} - Iws_{if \ m=1} \leq RF_m \quad \forall m=1, \dots, 12 \quad (5)$$

$$DR_m \geq Dd_m \quad \forall m = 1, \dots, 12 \quad (6)$$

$$\sum_{m=1}^{1m} DR_m \leq \sum_{i=1}^2 wp_i \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^5 a_{mj} X_j \leq \sum_{i=1}^2 agp_i \quad (8)$$

معادله ی ۹ محدودیت ظرفیت سد، $S_{\max}$ و $S_{\min}$ بیشینه و کمینه ی مقدار آب ذخیره در سد و F_{sw} حجم آب نهایی است. رابطه ی ۱۰ محدودیت تولید برق را نشان می دهد که در آن α و β پارامترهای تخمینی، p_m تولید برق در ماه m ام و r_m جریان آب خروجی از سد در ماه m ام می باشد.

$$S_{\min} \leq F_{sw} \leq S_{\max} \quad (9)$$

$$\sum_{m=1}^{12} P_m = \beta + \alpha \sum_{m=1}^{12} r_m \quad (10)$$

در بیشتر مطالعات منابع آب، مقدار آب ورودی به مخزن عاملی تصادفی در نظر گرفته می شود. یکی از راههای پیش بینی عملکرد مخزن، استفاده از داده های تاریخی جریان و روش مونت کارلو می باشد (کیخا، ۲۰۰۵). این مدل بر نمونه‌گیری تکراری از مشاهدات گذشته استوار است. روش مونت کارلو بر اساس تابع توزیع احتمال $F(x)$ است. تابع توزیع احتمال $F(x)$ ، تابعی است که با احتمال P متغیر X را به گونه ای انتخاب می کند که کوچکتر و یا مساوی x باشد و به صورت رابطه ی ۱۱ تعریف می شود:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (11)$$

که در آن $F(x)$ عددی بین صفر و یک است. در نمونه گیری مونت کارلو عکس تابع بالا استفاده می شود تا عدد x بدست آید (هارداکر و همکاران، ۲۰۰۴). در این مطالعه اعداد تصادفی صد بار ساخته و مدل بر اساس آنها برآورد شد. سپس میانگین و انحراف معیار نتایج مورد بررسی قرار گرفت. مزایای این روش ثبات توزیع نمونه ها و حفظ همبستگی بین آنها می باشد (کیخا، ۲۰۰۵).

۲. محدودیت های آرمانی: رابطه ی ۱۲ محدودیت آرمانی مصرف شرب، ۱۳ محدودیت آرمانی درآمد ناخالص کشاورزان و رابطه ی ۱۴ محدودیت آرمانی تولید برق را نشان می دهند.

$$\sum_{m=1}^{12} D_m + n_1 - p_1 = G_1 \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^5 a_{mj} X_j + n_2 - p_2 = G_2 \quad \forall m = 1, \dots, 12 \quad (13)$$

$$\sum_{m=1}^{12} p_m + n_3 - p_3 = G_3 \quad (14)$$

که در آنها $n_1, n_2, n_3, p_1, p_2, p_3$ به ترتیب انحرافات منفی و مثبت از آرمان های G_1, G_2 و G_3 می باشند.

جدول (۱) متغیرهای استفاده شده در مدل سازی

W	گندم	t_1	آب باقیمانده در ماه فروردین
A	یونجه	t_2	آب باقیمانده در ماه اردیبهشت
B	جو	t_3	آب باقیمانده در ماه خرداد
C	پنبه	t_4	آب باقیمانده در ماه تیر
M	ذرت علوفه ای	t_5	آب باقیمانده در ماه مرداد
D_f	تقاضای آب شرب در ماه فروردین	t_6	آب باقیمانده در ماه شهریور
D_o	تقاضای آب شرب در ماه اردیبهشت	t_7	آب باقیمانده در ماه مهر
D_{kh}	تقاضای آب شرب در ماه خرداد	t_8	آب باقیمانده در ماه آبان
D_t	تقاضای آب شرب در ماه تیر	t_9	آب باقیمانده در ماه آذر
D_{mo}	تقاضای آب شرب در ماه مرداد	t_{10}	آب باقیمانده در ماه دی
D_{sh}	تقاضای آب شرب در ماه شهریور	t_{11}	آب باقیمانده در ماه بهمن
D_{me}	تقاضای آب شرب در ماه مهر	t_{12}	آب باقیمانده در ماه اسفند
D_{ab}	تقاضای آب شرب در ماه آبان	Wp_1	حجم لوله انتقال آب شرب خط ۱

ادامه جدول (۱) متغیرهای استفاده شده در مدل‌سازی

تقاضای آب شرب در ماه آذر	D_{az}	حجم لوله انتقال آب شرب خط ۲	Wp_2
تقاضای آب شرب در ماه دی	D_d	حجم خط لوله انتقال آب کشاورزی	agp_1
تقاضای آب شرب در ماه بهمن	D_b	حجم خط لوله انتقال آب کشاورزی	agp_2
تقاضای آب شرب در ماه اسفند	D_{es}	حجم نهایی آب**	FSw
آب باقیمانده از سال قبل (ذخیره اولیه)	IWS	حجم آب رها شده از سد در ماه فروردین	r_f
تولید برق در ماه فروردین*	p_f	حجم آب رها شده از سد در ماه اردیبهشت	r_o
تولید برق در ماه اردیبهشت	p_o	حجم آب رها شده از سد در ماه خرداد	r_{kh}
تولید برق در ماه خرداد	p_{kh}	حجم آب رها شده از سد در ماه تیر	r_t
تولید برق در ماه تیر	p_t	حجم آب رها شده از سد در ماه مرداد	r_{mo}
تولید برق در ماه مرداد	p_{mo}	حجم آب رها شده از سد در ماه شهریور	r_{sh}
تولید برق در ماه شهریور	p_{sh}	حجم آب رها شده از سد در ماه مهر	r_{me}
تولید برق در ماه مهر	p_{me}	حجم آب رها شده از سد در ماه آبان	r_{ab}
تولید برق در ماه آبان	p_{ab}	حجم آب رها شده از سد در ماه آذر	r_{az}
تولید برق در ماه آذر	p_{az}	حجم آب رها شده از سد در ماه دی	r_d
تولید برق در ماه دی	p_d	حجم آب رها شده از سد در ماه بهمن	r_b
تولید برق در ماه بهمن	p_b	حجم آب رها شده از سد در ماه اسفند	r_{es}
تولید برق در ماه اسفند	p_{es}		

در این مطالعه از برنامه ریزی آرمانی وزنی (با وزن های مساوی) و اولویت دار به منظور کمینه کردن انحرافات ناخواسته از درآمد ناخالص کشاورزان ، آب مصرفی برای شرب و تولید برق استفاده شد. در نهایت با استفاده از متغیرهای جدول ۱، مدل مورد نظر به صورت روابط ۱۵ تا ۵۸ ایجاد شد.

$$W + A + B + C + M \leq 21000 \quad (15)$$

$$2725W + 1825A + 2725B + 350C + D_f - Iws + t_1 \leq S_1 \quad (16)$$

$$3275W + 2450A + 2675B + 925C + 1175M + D_o - t_1 + t_2 \leq S_2 \quad (17)$$

$$1450W + 3825A + 500B + 2925C + 6800M + D_{kh} - t_2 + t_3 \leq S_3 \quad (18)$$

$$4450A + 6550C + 1290M + D_t - t_3 + t_4 \leq S_4 \quad (19)$$

$$4125A + 7100C + 11125M + D_m - t_i + t_o \leq S_o \quad (20)$$

$$3400A + 4150C + 7850M + D_{sh} - t_o + t_\gamma \leq S_\gamma \quad (21)$$

$$175W + 2125A + 175B + 775C + D_{me} - t_6 + t_7 \leq S_7 \quad (22)$$

$$300W + 1025A + 300B + D_{ab} - t_7 + t_8 \leq S_8 \quad (23)$$

$$125A + D_{az} - t_8 + t_9 \leq S_9 \quad (24)$$

$$275W + 300A + 275B + D_d - t_9 + t_{10} \leq S_{10} \quad (25)$$

$$300W + 225A + 300B + D_b - t_{10} + t_{11} \leq S_{11} \quad (26)$$

$$775W + 425A + 775B + D_e - t_{11} + t_{12} \leq S_{12} \quad (27)$$

$$t_{12} = F_{sw} \quad (28)$$

$$D_f \leq 33696000 \quad D_o \leq 33696000 \quad D_{kh} \leq 33696000 \quad (29)$$

$$D_t \leq 33696000 \quad D_{mo} \leq 33696000 \quad D_{sh} \leq 33696000 \quad (30)$$

$$D_{me} \leq 33696000 \quad D_{ab} \leq 33696000 \quad D_{az} \leq 33696000 \quad (31)$$

$$D_d \leq 33696000 \quad D_b \leq 33696000 \quad D_{es} \leq 33696000 \quad (32)$$

$$2725W + 1825A + 2725B + 350C \leq 23328000 \quad (33)$$

$$3275W + 2450A + 2675B + 925C + 1175M \leq 23328000 \quad (34)$$

$$1450W + 3825A + 500B + 2925C + 7800M \leq 23328000 \quad (35)$$

$$4450A + 7550C + 1290M \leq 23328000 \quad (36)$$

$$4125A + 7100C + 11125M \leq 23328000 \quad (37)$$

$$3400A + 4150C + 7850M \leq 23328000 \quad (38)$$

$$175W + 2125A + 175B + 775C \leq 23328000 \quad (39)$$

$$300W + 1025A + 300B \leq 23328000 \quad (40)$$

$$125A \leq 23328000 \quad (41)$$

$$275W + 300A + 275B \leq 23328000 \quad (42)$$

$$300W + 225A + 300B \leq 23328000 \quad (43)$$

$$775W + 425A + 775B \leq 23328000 \quad (44)$$

$$F_{sw} \leq 200000000 \quad I_{ws} = S \quad F_{sw} \geq 160000000 \quad (45)$$

$$\max \quad t_1 \dots t_{17} \leq 200000000 \quad \min \quad t_1 \dots t_{17} \geq 160000000 \quad (46)$$

$$P_f - 0.00071r_f = -11745/43 \quad (47)$$

$$P_o - 0.00093r_o = -11630 \quad (48)$$

$$P_{kh} - 0.00087r_{kh} = -14704/05 \quad (49)$$

$$P_t - 0.00058r_t = -9357/18 \quad (50)$$

$$P_{mo} - 0.000436r_{mo} = -4306/29 \quad (51)$$

$$P_{sh} - 0.00046r_{sh} = -5844/78 \quad (52)$$

$$P_{me} - 0.000461r_{me} = -5360/7 \quad (53)$$

$$P_{ab} - 0.000433r_{ab} = -4266/78 \quad (54)$$

$$P_{az} - 0.000422r_{az} = -4058/97 \quad (55)$$

$$P_d - 0.00048r_d = -603/54 \quad (56)$$

$$P_b - 0.000419r_b = -5102/44 \quad (57)$$

$$P_{es} - 0.000397r_{es} = -5226/8 \quad (58)$$

معادله های ۱۵ تا ۵۸ محدودیت های مصرف آب در تامین آب شرب، تولید برق و مصرف کشاورزی، محدودیت لوله های انتقال آب و بیشینه و کمینه‌ی حجم آب سد را نشان می دهند.

نتایج و بحث

برای مجموع مصارف شرب یک سال، آرمانی به مقدار بیشینه‌ی ظرفیت انتقال خطوط لوله‌ی انتقال آب شرب، برای کشاورزی آرمان ۱۲۰۰ میلیون تومان درآمد ناخالص در سال و برای تولید برق میانگین تولید در ده سال گذشته (۱۳۵۴۵۵ مگاوات) به عنوان آرمان در نظر گرفته شد.

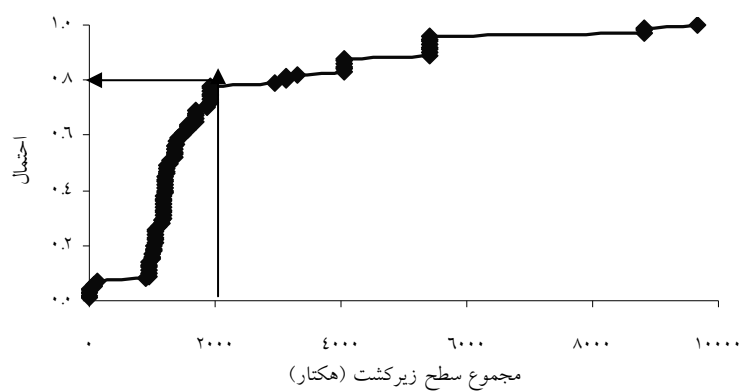
نتایج مدل برنامه ریزی آرمانی وزنی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به جدول ملاحظه می شود که درآمد ناخالص کشاورزان نزدیک به ۲۱۷۳ میلیون تومان است که از آرمان مورد نظر ۹۷۲ میلیون تومان بیشتر است. آب مصرفی کشاورزی در این حالت نزدیک به ۳۰

میلیون متر مکعب است. از آرمان شرب (۴۰۴ میلیون مترمکعب) انحراف منفی به مقدار ۵۷ میلیون مترمکعب وجود دارد.

جدول (۲) الگوی کشت منطقه در برنامه ریزی آرمانی وزنی با وزن های یکسان

مجموع	گندم	یونجه	جو	پنبه	ذرت علوفه‌ای	
۲۱۷۳	۱۱۲۰	۱۶۳	۴۴۳	۲۹۶	۱۵۱	سطح زیرکشت (هکتار)
۳۰۳۷۷	۱۰۳۸۶	۳۹۶۴	۳۴۲۴	۶۷۵۱	۵۸۵۲	آب مورد استفاده (هزار مترمکعب)
۲۱۷۳	۱۰۶۴	۲۱۸	۲۰۱	۵۳۵	۱۵۴	درآمد ناخالص (میلیون تومان)

پس از حل مدل، تابع توزیع احتمال تجمعی (CDF) مانند نگاره‌ی شماره‌ی ۲ رسم شد تا احتمال کوچکتر بودن سطح زیرکشت از میانگین داده‌ها تعیین شود. در این حالت ۷۸ درصد داده‌های به دست آمده کمتر از میانگین بودند.



نگاره‌ی (۲) تابع توزیع احتمال

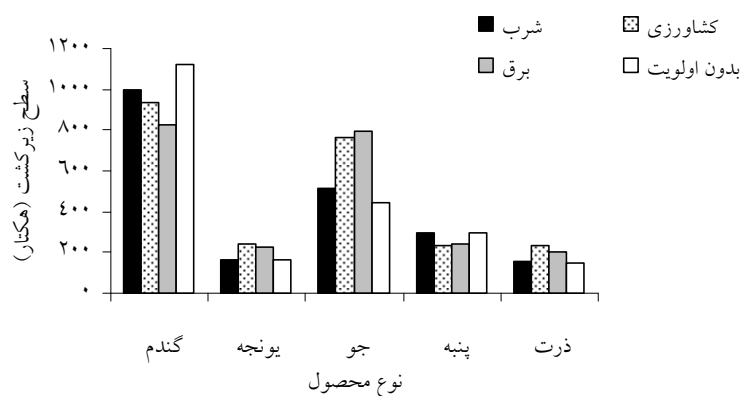
مقدار برق تولیدی و آب شرب تخصیصی مدل در جدول ۳ آمده است. میانگین آب شرب تخصیصی از آرمان مورد نظر تقریباً ۵۷ میلیون مترمکعب انحراف منفی نشان می‌دهد، یعنی آب شرب تخصیصی از آرمان در نظر گرفته شده، فاصله دارد. برق تولیدی از آرمان مورد نظر (۱۳۵۴۵۵ مگاوات) ۳۶۱۹۹ مگاوات انحراف مثبت دارد. پس از حل مدل، تابع توزیع تجمعی داده‌ها مانند نگاره‌ی ۲ رسم و احتمال جواب‌ها مشخص شد در این حالت ۷۱ درصد تولید برق در مجموع کمتر از میانگین برق تولیدی به دست آمد. ۵۹ درصد از مجموع آب تخصیص یافته به شرب در یک سال کمتر از مقدار میانگین داده‌ها بود. این بدین معنی است که احتمال تامین نشدن ۳۴۷/۵۲ میلیون مترمکعب آب شرب برای شهر تهران ۵۹ درصد است.

جدول (۳) مقدار برق تولیدی و شرب تخصیصی در برنامه ریزی آرمانی

ماه	برق تولیدی	آب شرب تخصیصی
فروردین	۱۵۴۴۱	۲۷/۲۸
اردیبهشت	۲۴۰۶۰	۲۸/۵۴
خرداد	۱۹۳۷۵	۳۰/۸۲
تیر	۱۴۷۴۱	۳۱/۸۶
مرداد	۱۴۳۹۵	۳۱/۸۴
شهریور	۱۳۱۶۶	۳۱/۲۵
مهر	۱۲۶۵۷	۲۹/۴۲
آبان	۱۲۵۴۸	۲۸/۴۱
آذر	۱۱۹۸۸	۲۷/۱۲
دی	۱۱۸۴۷	۲۶/۶۲
بهمن	۱۰۹۲۰	۲۶/۸۳
اسفند	۱۰۴۳۷	۲۷/۵۵
جمع	۱۷۱۵۷۴	۳۴۷/۵۲

برنامه ریزی آرمانی اولویت دار

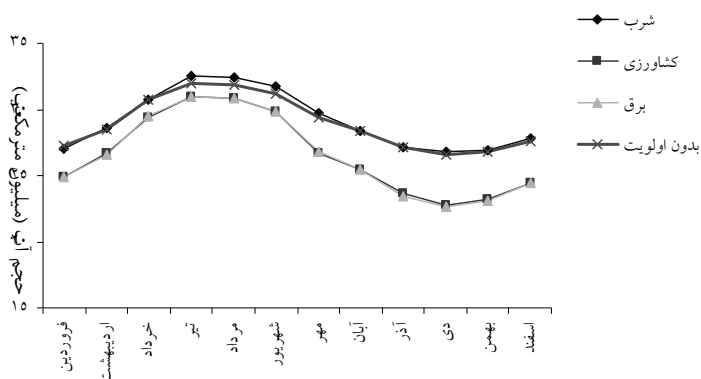
در مرحله ی نخست به دلیل اهمیت زیاد آب شرب این نیاز در اولویت نخست قرار گرفت. پس از آن درآمد ناخالص کشاورزان و در نهایت تولید برق در اولویت نخست قرار گرفت. با توجه به نگاره ی ۳، در همه ی موارد، گندم بالاترین سطح زیرکشت را به خود اختصاص می دهد. در صورتی که کشاورزی در اولویت نخست قرار گیرد، کل سطح زیرکشت ۲۴۱۳ هکتار و درآمد ناخالص کشاورزان منطقه نزدیک به ۲۲۲۶ میلیون تومان خواهد بود که در مقایسه با بدون اولویت قرار گرفتن آرمان ها نزدیک ۵۳ میلیون تومان بیشتر است.



نگاره ی (۳) سطح زیرکشت محصولات گوناگون پس از اولویت اول قرار دادن فعالیت ها

همان گونه که انتظار می رفت، درآمد ناخالص و سطح زیرکشت با اولویت اول قرار دادن کشاورزی نسبت به سایر اولویت ها افزایش یافت. در واقع، با مصرف آب بیشتر می توان سطح زیرکشت و درآمد ناخالص بیشتری در منطقه داشت. در این صورت، نزدیک به ۳۵ میلیون مترمکعب آب برای کشاورزی استفاده می شود که نسبت به سایر مورد ها این مقدار بیشتر است. همچنین، انحراف مثبتی به مقدار ۱۱۵ میلیون تومان وجود دارد، یعنی می توان درآمد ناخالصی بیش از آرمان مورد نظر (۱۲۰۰ میلیون تومان) داشت. پس از اولویت اول قرار

دادن درآمد ناخالص کشاورزی و برق، مقدار آب تخصیصی به شرب به ترتیب ۳۱۸/۶۹ و ۳۱۸/۵۱ میلیون مترمکعب شد که در مقایسه با در اولویت اول قرار دادن مصرف شرب (۳۴۹/۶۷) کمتر است. همان طور که در نگاره ی ۴ مشاهده می شود، هنگامی که شرب اولویت اول قرار می گیرد آب تخصیصی به شرب در ماه های پرمصرف تابستان نسبت به سایر موردها بیشتر افزایش می یابد.



نگاره ی ۴) آب شرب تخصیصی پس از اولویت اول قرار دادن هدف های گوناگون

در جدول ۴ مقدار برق تولیدی پس از اولویت اول قرار دادن برق نشان داده شده است. در همه‌ی موارد در ماههای اردیبهشت، خرداد و تیر به دلیل آب فراوان ناشی از ذوب شدن برف بیشترین برق تولید می شود و در سایر ماهها با وجود مصرف آب شرب بیشتر به علت کاهش حجم آب پشت سد نیروی کمتری به توربین وارد و یا آب کمتری از توربین خارج و در نتیجه برق کمتری تولید می شود.

جدول (۴) مقدار برق تولیدی در هر ماه پس از اولویت قرار دادن هدف‌های گوناگون

(واحد: کیلووات)

ماه	کشاورزی	شرب	شرب و کشاورزی
فروردین	۱۵۵۱۵	۱۷۶۳۲	۱۷۶۱۵
اردیبهشت	۱۶۲۸۵	۱۸۳۰۸	۱۸۳۲۰
خرداد	۱۴۴۱۴	۱۶۶۵۶	۱۶۶۵۸
تیر	۱۱۶۸۷	۱۵۱۲۶	۱۵۱۶۷
مرداد	۱۰۲۳۰	۱۴۳۳۲	۱۴۳۰۳
شهریور	۹۹۶۲	۱۳۸۳۲	۱۳۸۱۱
مهر	۹۵۱۶	۱۳۰۴۹	۱۳۰۴۵
آبان	۹۵۵۴	۱۲۵۴۶	۱۲۵۵۰
آذر	۹۴۷۴	۱۲۴۱۹	۱۲۴۲۰
دی	۹۵۳۷	۱۲۶۱۵	۱۲۶۲۴
بهمن	۹۹۲۷	۱۲۹۶۲	۱۲۹۷۱
اسفند	۱۱۱۴۱	۱۳۸۴۷	۱۳۸۹۶
جمع	۱۳۷۲۴۱	۱۷۳۳۲۴	۱۷۳۳۸۰

پس از رسم تابع توزیع تجمعی مشخص شد که اگر شرب در اولویت نخست قرار گیرد ، ۶۰ درصد داده های به دست آمده از تخصیص آب به شرب، ۷۳ درصد از نتایج تولید برق و ۸۰ درصد از سطوح زیرکشت پایین تر از مقدار میانگین قراردادارند. در سایر مورد ها نیز این تابع رسم و نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است.

جدول (۵) احتمال وقوع هر یک از اهداف

احتمال (درصد)			سناریو
بیشتر از میانگین سطح زیرکشت	کمتر از میانگین مصرف شرب	کمتر از میانگین برق تولیدی	
۲۱	۴۲	۷۳	۱. اولویت شرب
۲۱	۶۰	۷۲	۲. اولویت کشاورزی
۲۱	۴۲	۷۲	۳. اولویت برق
۲۲	۵۹	۷۱	۴. بدون اولویت

با توجه به این که افزایش راندمان آبیاری موجب افزایش آب در دسترس و در نتیجه باعث افزایش سطح زیرکشت می شود، راندمان از ۴۰ تا ۶۰ درصد در نظر گرفته شد و نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به این جدول با افزایش راندمان از ۴۰ به ۶۰ درصد، سطح زیرکشت ۲۰ و درآمد ناخالص ۲۳ درصد افزایش و آب مورد استفاده ۱۰ درصد کاهش می یابد. یعنی می توان با افزایش راندمان آبیاری افزون بر ایجاد درآمد بیشتر برای کشاورزان مصرف آب آنها را کمتر کرد و در نتیجه آب بیشتری به شرب اختصاص داد که این مسئله به گونه‌ی غیر مستقیم بر مدیریت سد اثر خواهد گذاشت.

جدول (۶) الگوی کشت منطقه پس از تغییر در راندمان آبیاری

راندمان	۴۰ درصد	۵۰ درصد	۶۰ درصد
گندم (هکتار)	۱۱۲۰	۹۸۲	۱۰۰۹
یونجه (هکتار)	۱۶۳	۲۶۹	۲۷۵
جو (هکتار)	۴۴۳	۶۰۱	۶۱۴
پنبه (هکتار)	۲۹۶	۳۸۳	۴۳۷
ذرت علوفه ای (هکتار)	۱۵۱	۲۶۴	۲۶۷
مجموع سطح زیرکشت (هکتار)	۲۱۷۳	۲۴۹۹	۲۶۰۳
درآمد ناخالص (میلیون تومان)	۲۱۷۳	۲۵۲۷	۲۶۶۸
آب مورد استفاده (هزار مترمکعب)	۳۰۳۷۷	۳۱۴۱۱	۲۷۴۲۳

با افزایش راندمان، همان گونه که در جدول ۷ مشاهده می شود ، افزون بر مصرف آب کمتر در بخش کشاورزی آب تخصیصی به شرب نیز افزایش می یابد. این مقدار در ماههای اوج مصرف آب شرب (مرداد و شهریور) بیشتر از سایر موردهاست.

جدول (۷) آب شرب تخصیصی در راندهاهاى متفاوت (واحد: میلیون مترمکعب)

ماه	٪۴۰	٪۵۰	٪۶۰
فروردین	۲۷/۲۸	۲۷/۵۲	۲۷/۵۸
اردیبهشت	۲۸/۵۴	۲۸/۶۷	۲۸/۷۴
خرداد	۳۰/۸۲	۳۰/۸۰	۳۰/۸۶
تیر	۳۱/۸۶	۳۱/۹۵	۳۱/۹۰
مرداد	۳۱/۸۴	۳۱/۹۷	۳۱/۹۸
شهریور	۳۱/۲۵	۳۱/۲۸	۳۱/۳۱
مهر	۲۹/۴۲	۲۹/۴۳	۲۹/۴۵
آبان	۲۸/۴۱	۲۸/۴۰	۲۸/۴۱
آذر	۲۷/۱۲	۲۷/۰۴	۲۷/۰۵
دی	۲۶/۶۲	۲۶/۴۸	۲۶/۴۸
بهمن	۲۶/۸۳	۲۶/۶۹	۲۶/۶۸
اسفند	۲۷/۵۵	۲۷/۴۱	۲۷/۳۸
جمع	۳۴۷/۵۲	۳۴۷/۶۲	۳۴۷/۸۲

نتیجه گیری

در این مطالعه، تخصیص آب سد کرج بین مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از برنامه ریزی آرمانی و شبیه سازی جریان رودخانه به روش مونت کارلو مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده از حل مدل توسط برنامه ریزی آرمانی وزنی و اولویت دار، می توان آب تخصیصی به شرب را از ۳۳۵ میلیون مترمکعب که به طور میانگین در ۵ سال اخیر به شرب اختصاص داده شده است، به ۳۴۷/۵ میلیون مترمکعب رسانید. در بخش کشاورزی، سطح زیرکشت با راندهاها آبپاری ۴۰ درصد، ۲۱۷۳ هکتار و مصرف آب نزدیک به ۳۰ میلیون مترمکعب بدست آمد. در این حالت، درآمد بخش کشاورزی ۲ میلیارد تومان بود. با این حال، سطح زیرکشت به احتمال ۷۸ درصد کمتر از ۲۱۷۳ هکتار می باشد. میانگین برق تولیدی نیز از میانگین آن در ۱۵ سال گذشته بیشتر شد. افزون بر آن، می توان اولویت های

گوناگون را با استفاده از نظرتصمیم‌گیران در مدل لحاظ و نتایج آن را مورد بررسی قرارداد. برای مثال با افزایش راندمان آبیاری می‌توان درآمد کشاورزان و مقدار آب شرب تخصیصی را افزایش داد.

منابع

- حسینی فرازمند، م. (۱۳۷۹). طراحی مدل ریاضی بهره‌برداری منابع آب در سد کرخه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت دانشگاه تربیت مدرس.
- سازمان بهره‌برداری آب غرب استان تهران. (۱۳۸۵). واحد آمار و اطلاعات سدها.
- سازمان جهاد کشاورزی شهرستان کرج. (۱۳۸۵). دفتر طرح و برنامه.
- صدر، ک. (۱۳۸۰). نقش نهاد بازار و بخش عمومی در مدیریت و توسعه پایدار بخش آب. دفتر اقتصاد آب. گزارش علمی، ۸۵.
- فتوحی، ر. (۱۳۷۳). مدل بهینه‌سازی استوکاستیک بهره‌برداری از سد کرج. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- کرامت‌زاده، ع.، چیدری، ا.، یوسفی، ع. و بلالی، ح. (۱۳۸۶). تخصیص بهینه آب و اولویت بندی مناطق گوناگون در مصرف آن (مطالعه موردی سد بارزو شیروان). مجله اقتصاد و کشاورزی. شماره ۲. ص ۱۱-۲۹.
- موسوی ندوشنی، س. (۱۳۶۷). تهیه برنامه بهره‌برداری به منظور استفاده بهینه از سد کرج. دانشگاه تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد.
- Foued, B., and Sameh, M. (۲۰۰۱). Application of goal programming in a multi objective reservoir operation model in Tunisia. European Journal of Operational Research, ۱۳۳: ۳۵۲-۳۶۰.
- Hadjibiros, K., katsiri, A., and Andreadakis, A. (۲۰۰۵). Multi-criteria reservoir water management Global NEST Journal, ۷,۳.

- Hardaker, J. B., Huirne, B. M., Anderson, R., and Lien, G. (۲۰۰۴). Copying with Risk in Agriculture. CABI. Publishing. Australia.
- Kehkha, A. (۲۰۰۵). Modeling water resources management in the Sistan region of Iran. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. University of New England.
- McGregor, M. J., and Dent, J. B. (۱۹۹۳). An application of lexicographic goal programming to resolve the allocation of water from Rakaia River (New Zealand), Agricultural Systems. ۴۱: ۲۵-۳۶.
- Nayak, R. C., and Panda, R. K. (۲۰۰۱). Integrated management of a canal command in a River Delta using multi-objective techniques. Water Resources Management, ۱۵: ۳۹۳-۴۰۱.
- Romero, C. (۲۰۰۴). A general structure of achievement functions for a goal programming model. European Journal of Operational Research, ۱۵۳: ۶۷۵-۶۸۶.
- Watkins. K. (۲۰۰۶). Human development report beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis. Published for the United Nations Development Programmed (UNDP).