بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری و زمین‌های زراعی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

مصطفی مردانی نجف آبادی[۱]، منیره زینالی[۲]، محمود صبوحی[۳]
m.mardani@ramin.ac.ir

چکیده

بهینه سازی شبکه توزیع آب آبیاری برای مقدار آب در دسترس و زمین های قابل کشت، با توجه به بحران جهانی آب یکی از بهترین راه های افزایش سود کشاورزان تحت پوشش اراضی آن است. تخصیص آب در این سیستم ها معمولاً بر اساس پیش‌بینی عواملی مثل تقاضای آب برای محصولات و مقدار آب قابل دسترس صورت می‌گیرد. عدم اطمینان در پیش‌بینی این عوامل جزء ذات سیستم‌های توزیع آب کشاورزی است. در مطالعه حاضر به بهینه‌سازی تخصیص آب و اراضی تحت پوشش سدهای فعال در حوضه دریاچه ارومیه به منظور حداکثر کردن سود مصرف‌کنندگان برای سه سال افق برنامه‌ریزی (۹۹-۱۳۹۷) پرداخته شد. برای بررسی تأثیر عدم حتمیت در تخصیص آب و زمین‌های زراعی این منطقه از بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری استفاده شد. برای بررسی حساسیت مدل به افزایش راندمان و میزان محافظه‌کاری سناریوهای متفاوتی اعمال شد. مدل ارائه شده در چهار راندمان ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درصد، سطوح متفاوت عدم حتمیت و در نهایت ترکیبی از این سناریوها بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش احتمال انحراف محدودیت سود کشاورزان حاصل از

۱- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه رامین خوزستان
۲- دانش آموخته ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل
۳ - استادگروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

انتقال آب کاهش می‌یابد. جهت تأمین آب مود نیاز دریاچه ارومیه و هم‌چنین بخش‌های دیگر در محدوده بعضی از سدها نظیر سد شهرچایی و بوکان سطح زیرکشت حدود ۵۰ درصد در سال اول دوره برنامه‌ریزی و حدود ۴۰ درصد در سال دوم برنامه‌ریزی باید کاهش یابد. سدهای دیگر نیز سطح زیر کشت را نسبت به سطح زیر کشت فعلی حتی الامکان باید کاهش دهند.

طبقه‌بندی JEL : D31،C62 ،Q01

کلیدواژگان: بهینه‌سازی، سیستم‌های چند مخزنی، حوضه دریاچه ارومیه، عدم قطعیت

مقدمه

درچند دهه گذشته، کمبود آب با توجه به توسعه انسانی، اقتصادی، تغییرات شرایط آب و هوایی، کاهش آب در دسترس و کاهش کیفیت آب بیشتر از پیش جدی شده است. در بسیاری از مناطق سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل مصرف بی‌رویه برای آبیاری اراضی به طرز قابل توجهی کاهش یافته است (دایی و لی[1]، ۲۰۱۳).
در سال‌های اخیر با توجه به رشد روزافزون جمعیت و توسعه صنعتی، اقتصادی و کشاورزی، مدیریت بهم پیوسته منابع آب مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. این دیدگاه بر توسعه منابع آب و خاک و سایر منابع با حفظ عدالت، برابری اجتماعی و بازده اقتصادی تاکید دارد، بطوریکه پایداری اکوسیستم‌های حیاتی نیزحفظ شود (صفاری و ضرغامی، ۱۳۹۲).

مدیریت یکپارچه منابع آب در سطح حوضه آبریز (RBM)[2] یک مسأله دارای اهمیت برای طراحان، مدیران و قانونگذاران حیطه مسایل منابع آب بوده و به موضوع مدیریت سیستم‌های آبی به عنوان امری تأثیرگذار در محیط طبیعی و اجتماعی-اقتصادی دربرگیرنده آن‌ها نگریسته می‌شود. در این راستا، استفاده از ابزار سودمند و مؤثر برای کمک به پیدا نمودن پاسخ سوالات مطرح در مورد نحوه تخصیص منابع کمیاب آب در بین فعالیت‌های مختلف انسانی و بهینه سازی فرآیند تصمیم‌گیری به منظور توسعه و استفاده پایدار از منابع آب و خاک در دسترس، امری ضروری می‌نماید. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی بر مبنای شبیه‌سازی امروزه به عنوان یکی از روش‌های مؤثر و کارا در حل مسایل بزرگ مقیاس "سطح حوضه آبریز" مطرح است (شوریان و موسوی، ۱۳۸۵).

در ادامه به تعدادی از مطالعات انجام شده در زمینه مدیریت منابع مختلف آب پرداخته شده است.

سینگ و پاندا[3] (۲۰۱۲) مدل برنامه ریزی ریاضی خطی را جهت تخصیص بهینه آب و زمین در هاریانای[4] هند بکاربردند هدف مطالعه حداکثر کردن سود و بازده خالص سالانه حاصل از کشاورزی بود. کاندون و ماکسول[5] (۲۰۱۳) الگوریتم بهینه‌سازی خطی تخصیص آب را درون یک مدل هیدرولوژیکی فیزیکی به کار گرفتند. شتی و همکاران[6] (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای به بهینه‌سازی تخصیص منابع آب و الگوی‌کشت به صورت همزمان در منطقه بالاسور در کشور هندوستان پرداختند.

[1] Dai and Li
[2] River Basin Management
[3] Singh and Panda
[4] Haryana
[5] Condon and Maxwell
[6] Sethi *et al*

سامیان و همکاران[1] (۲۰۱۴) به بررسی عوامل مؤثر بر مدیریت بهینه منابع آب کشاورزی استان همدان پرداختند. برای این منظور آن‌ها ۱۴۸کشاورز را به طور تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرار دادند. کای و همکاران[2] (۲۰۱۳) به بهینه سازی عملکرد مخزنی در حوضه رودخانه یانگ‌تسه[3] چین پرداختند. آن‌ها از یک مدل بهینه‌سازی جهت بهره‌برداری از مخزن‌ها استفاده کردند تا تفاوت نیازهای زیست‌محیطی اکوسیستم‌های رودخانه را مقایسه کنند. فلسفی‌زاده و صبوحی (۱۳۸۹)، با بکارگیری مدل اقتصادی – زیست‌محیطی جامع، به بررسی آبیاری و برداشت از آب‌های سطحی در اراضی دشت رودخانه کر، سد درودزن تا دریاچه بختگان پرداختند. رستگاری‌پور و صبوحی (۱۳۸۹)، در مطالعه‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای چند مرحله‌ای به بهینه‌سازی بهره‌برداری از سد کارده پرداختند. صبوحی و شیرزادی (۱۳۸۸)، در مطالعه‌ای با عنوان کاربرد برنامه‌ریزی چندهدف در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه ساوجلباغ، میزان تخصیص بهینه آب را در منطقه تعیین و درصد تغییرات آن را با شرایط موجود مورد مقایسه قراردادند. ایکسوی و خان[4](۲۰۰۵) در مطالعه ای به مدیریت منابع آب در استرالیا با استفاده از بهینه‌سازی چند هدفه پرداختند.

صبوحی و مردانی (۲۰۱۳) از روش برنامه‌ریزی بهینه سازی قوی[5] جهت مدیریت منابع آب کشاورزی در شبکه آبیاری نکوآباد استفاده کرند. بوهلی و همکاران[6] (۲۰۱۳) با استفاده از بهینه‌سازی قوی به تعیین زمانبندی برداشت انگور از درخت مو پرداختند. صبوحی و مردانی (۱۳۹۱)، به طراحی سیستم عرضه آب مطمئن در شرایط عدم حتمیت در حوضه آبریز زاینده‌رود پرداختند. آن‌ها در این مطالعه از بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل کننده میزان محافظه‌کاری برای تخصیص بهینه آب استفاده نمودند.

اهمیت و وجه تمایز مطالعه حاضر

مطالعه حاضر در تلاش است تا با ارائه راه‌حل و مدلی مناسب مقدار آب موجود در حوضه دریاچه ارومیه واقع در بخش استان آذربایجان‌غربی را با توجه به بحران آب موجود در کشور بین مصارف رقیب با توجه به وجود عدم قطعیت بعضی از پارامترها به صورت بهینه تخصیص دهد. با توجه به اینکه در اکثر مطالعات صورت گرفته اکثراً بخش کشاورزی تنها در نظر گرفته شده و یا مطالعه بسیار محدود بوده و به جنبه تخصیص آب یا زمین زراعی به صورت جداگانه پرداخته مدل استفاده شده در مطالعه حاضر متفات با بقیه مطالعات بوده و سعی در تخصیص آب و زمین موجود در حوضه دریاچه ارومیه، ارائه الگوی کشت و همچنین تأمین نیاز آبی سایر بخش‌ها و از همه مهمتر تأمین نیاز آبی دریاچه ارومیه دارد. این مطالعه دو

[1]Samian *et al*
[2] Cai *et al*
[3] Yangtze
[4]Xevi and Khan
[5]Robust Optimization Approach
[6]Bohle *et al*

شرایط قطعیت و عدم قطعیت را مورد بررسی قرار داده، مقایسه نموده و گزینه‌های مختلف به دست آمده در شرایط متفاوت را جهت راهنمایی تصمیم‌گیران ارائه کرده است.

مواد و روش‌ها

فرم کلی مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل کننده میزان محافظه‌کاری

سویستر[1] (۱۹۷۳)، مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را برای یافتن جواب برای تمام داده‌های نامطمئنی که متعلق به یک مجموعه محدب هستند، ارائه کرد:

$$\begin{aligned} &Maximize \quad z = cx \\ &subject\ \ to \end{aligned} \qquad (۱)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \tilde{A}_{.j}\, x_j \le b, \qquad \forall \tilde{A}_{.j} \in K_j \qquad j = 1,\ldots,n, \qquad x_j \ge 0,$$

که $\tilde{A}_{.j}$، j امین ستون از ماتریس محدودیت‌ها را مشخص می‌کند و فرض می‌شود که ستون عدم حتمیت متعلق به مجموعه شناخته‌شده و محدب است. این مدل محدودیت‌های سخت[2] (به این معنی که تمامی این محدودیت‌ها باید تأمین شوند) را برای تمامی زیرمجموعه‌های K_j تعریف می‌کند. درنتیجه ممکن است که جواب بهینه در این شرایط، بعلت محافظه‌کارانه بودن مدل در مقابل شرایط عدم حتمیت، بهینگی خود را نسبت به قبل (مسئله در شرایط قطعیت) از دست بدهد (مردانی، ۱۳۹۰).

در طول زمان مدل پیشنهادی Soyster دچار تغییرات زیادی شد و دقت آن بسیار افزایش یافت و در نهایت به مدل زیر که توسط (برتسیماس و سیم[3]، ۲۰۰۴) پیشنهاد شد تغییر یافت:

[1] Soyster
[2] Hard constraints
[3] Bertsimas and Sim

$$Maximize \quad cx$$

$$subject \ \ to \ \ \sum_i \bar{a}_{ij} x_j +$$

$$\max_{\{S_i \cup \{t_i\} | S_i \subseteq J_i, |S_i| = \lfloor \Gamma_i \rfloor, t_i \in J_i \setminus S_i\}} \left\{ \sum_{j \in S_i} \hat{a}_{ij} y_j + (\Gamma_i - \lfloor \Gamma_i \rfloor) \hat{a}_{it_i} y_t \right\} \le b_i, \qquad \forall i \qquad (۲)$$

$$-y_j \le x_j \le y_j, \qquad \forall j \in J_i$$

$$l \le X \le u,$$

$$y \ge 0$$

که در آن برای هر j ، $y_j = |x_j^*|$ می‌باشد. در مدل (۳)، $\sum \bar{a}_{ij} x_j \le b_i$ معرف محدودیت iام در شرایط حتمیت است. مدل (۲) یک فرم غیرخطی مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل کننده میزان محافظه‌کاری است. دلیل غیرخطی بودن این مدل، جمله حداکثر کننده اضافی موجود در آن است. این جمله حداکثر کننده به وسیله پارامتر کنترل کننده میزان محافظه‌کاری (Γ_i)، باعث تضمین قابلیت اعتماد به مدل در مقابل عدم حتمیت می‌گردد. اگر جمله حداکثر کننده خارج از مدل محاسبه و سپس به مدل اضافه شود، مدل (۲) تبدیل به مدل خطی می‌شود. برای جلوگیری از پیچیدگی محاسبات برای محاسبه جمله حداکثر کننده از فرم خطی مدل (۲) به صورت زیر استفاده می‌شود (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴):

$$Maximize \quad z = cx$$

$$subject \ \ to \quad \sum_j a_{ij} x_j + z_i \Gamma_i + \sum_{j \in J_i} p_{ij} \le b_i \quad \forall i \qquad (۳)$$

$$z_i + p_{ij} \ge \hat{a}_{ij} y_j \quad \forall i, j, \in J_i$$

$$\forall i$$

y متغیرهای اضافی[1] غیر منفی و p متغیر دوگان[2] برای لحاظ کردن عدم حتمیت در مدل هستند. در مدل (۳) که فرم خطی بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل کننده میزان محافظه است، $n+k+1$ متغیر و $m+k+n$ محدودیت وجود دارد. میزان اطمینان مدل در مقابل عدم حتمیت به مقدار پارامترهای Γ_i بستگی دارد. هرگاه $\Gamma_i = .$ باشد، جمله حداکثر کننده از مدل حذف و محدودیت در شرایط عدم حتمیت به محدودیت در شرایط حتمیت تبدیل می‌گردد. هرگاه $\Gamma_i = |J_i|$

[1] Additional Variable
[2] Dual Variable

باشد، میزان حفاظت سیستم در مقابل عدم حتمیت به حداکثر خود و بطور کامل انجام می‌شود. در این روش، مبادله‌ای بین میزان محافظه‌کاری سیستم در مقابل عدم حتمیت (Γ_i) و ظرفیت سیستم (x_i) انجام می‌گیرد. بعبارت دیگر، هرقدر میزان محافظه‌کاری سیستم در مقابل عدم حتمیت افزایش یابد از ظرفیت سیستم کاسته می‌شود. مطالعه حاضر در طی سه دوره و با چهار راندمان متفاوت تحت بررسی قرار گرفته است.

نتایج

طرح‌های توسعه منابع آبی از جمله فعالیت‌هایی هستند که بیشترین اثرات زیست‌محیطی را بر منابع آبی دارند. این نوع طرح‌ها از الویت‌های برنامه‌های سازمان آب در هر دو استان آذربایجان شرقی و غربی هستند. طی چند دهه اخیر، پروژه‌های متعدد توسعه و بهره‌برداری منابع آب مبتنی بر احداث سد و کنترل جریان‌های سیلابی اجرا شده است و همزمان کشاورزان نیز با احداث چاه‌های کم عمق تا عمیق، بهره‌برداری از ذخایر آب زیرزمینی را توسعه داده‌اند. اولین اقدامات برای توسعه منابع آب، پروژه‌های سد سازی بر روی رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه و نیز مهاباد و اجرای شبکه‌های آبیاری و زهکشی در دشت‌های میاندوآب و مهاباد بوده است که در دهه‌های ۱۳۴۰ و ۱۳۵۰ انجام گرفت. طی دو دهه اخی اجرای این‌گونه طرح‌ها در هر دو استان آذربایجان شرقی و غربی شتاب بیشتری گرفت. خلاصه‌ای از اقدامات انجام شده در جدول ۱ نشان داده شده است (جامعه مهندسین مشاور ایران، ۱۳۹۰).

جدول ۱ . وضعیت طرح‌های سدسازی در حوضه آبریز (بر حسب میلیون مترمکعب)

	در دست بهره‌برداری		در دست اجرا		در دست مطالعه	
استان	تعداد	ظرفیت	تعداد	ظرفیت	تعداد	ظرفیت
آذربایجان‌شرقی	۲۲	۲۳۴	۴	۳۸۷	۱۰	۱۳۹
آذربایجان‌غربی	۷	۱۴۷۸	۱۱	۱۰۲۷	۴	۴۵۶
کردستان	-	-	۱	۸۶	۳	۶۲

منبع: سازمان آب منطقه‌ای ارومیه

طبق آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان ارومیه و هم‌چنین اطلاعات دریافت شده از شرکت سهامی آب منطقه‌ای این شهرستان، الگوی کشت محصولات عمده در حوضه سدهای تحت بررسی بسیار به هم شبیه می‌باشد. لذا برای حوضه تمامی این سدها الگوی کشت یکسانی در نظر گرفته شده است. محصولات تحت کشت با نماد n نمایش داده می‌شوند. درصد سطح زیر کشت محصولات متفاوت با توجه به الگوی کشت موجود مشخص و با ضرب این درصدها در کل سطح زیر کشت هر حوضه، هکتار کشت اختصاص یافته به هر محصول در هر حوضه مشخص گردید. جدول ۲ محصولات عمده کشت شده و هم‌چنین درصد سطح زیر کشت و کل زمین موجود در حوضه هر سد را نشان می‌دهد. طبق بررسی‌های به عمل آمده مشخص شد که محصول گندم بیشترین سهم کشت را با ۳۴ درصد به خود اختصاص داده است. جو، یونجه، چغندرقند و سایر محصولات (محصولاتی نظیر پیاز، گوجه‌فرنگی، سیب زمینی، آفتابگردان، لوبیا،

خیار، هندوانه، خربزه و ...) در الویت‌های بعدی قرار داشتند. بیان نام این محصولات به طور کلی و با نام سایر محصولات در مدل به این دلیل که هر کدام از این محصولات سهم ناچیزی در کشت داشته و هم‌چنین به دلیل صرفه‌جویی در زمان و انرژی منطقی‌تر به نظر می‌رسید.

جدول ۲. مشخصات کشت و سطح زیر کشت محصولات عمده

محصولات / سدهای فعال	درصد کشت محصولات متفاوت در حوضه سدهای مورد نظر(٪)					کل زمین موجود در حوضه هر سد (هکتار)
	گندم	جو	یونجه	چغندرقند	سایر محصولات	
شهرچایی	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۷۵۰۰
مهاباد	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۱۲۰۰
بوکان	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۴۱۰۰۰
حسنلو	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۵۳۰۰
زولا	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۳۱۰۰
دیریک	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۱۷۰۰
ساروق	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۵۲۱

منبع: سازمان آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی

نتایج مدل در شرایط قطعیت

مقدار کل سود حاصل شده برای جمع مصارف در محدوده هر سد و هر دوره برنامه‌ریزی در جدول ۳ اشاره شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از این جدول همچنان سد بوکان در طی دوره سوم برنامه‌ریزی و در تمام راندمآن‌های مورد مطالعه و سد دیریک در راندمان ۳۵ درصد کمترین میزان سود در طی دوره اول برنامه‌ریزی را به ترتیب با دو مقدار ۸۸۹۱۸/۶۴ و ۰/۲۱ میلیارد ریال به خود اختصاص داده اند. کسب بیشترین میزان سود خالص توسط سد بوکان به دلیل دارا بودن بیشترین میزان ورودی منطقی به نظر می‌رسد.

جدول ۳ .مقدار کل سود خالص در هر دوره برای سدهای مختلف

نام سد و دوره (t)	سود خالص (میلیارد ریال)			
	راندمان			
	٪۳۵	۴۵٪	٪۵۵	٪۶۵
شهرچایی-۱	۱۰۳۵۳/۸۸	۱۰۳۵۳/۸۸	۱۰۳۵۳/۸۸	۱۰۳۵۳/۸۸
شهرچایی-۲	۲۶۸۹۹/۷۷	۲۶۸۹۹/۷۷	۲۶۸۹۹/۷۷	۲۶۸۹۹/۷۷
شهرچایی-۳	۲۴۷۴۴/۴۲	۲۴۷۴۴/۴۲	۲۴۷۴۴/۴۲	۲۴۷۴۴/۴۲
مهاباد-۱	۶۰۹/۸۲	۶۰۹/۸۲	۶۰۹/۸۲	۶۰۹/۸۲
مهاباد-۲	۳۸۳/۷۹	۳۸۳/۷۹	۳۸۳/۷۹	۳۸۳/۷۹
مهاباد-۳	۷۷۷/۷۲	۷۷۷/۷۲	۷۷۷/۷۲	۷۷۷/۷۲
بوکان-۱	۷۹۰۸۰/۷۵	۷۹۰۸۰/۷۵	۷۹۰۸۰/۷۵	۷۹۰۸۰/۷۵
بوکان-۲	۵۹۱۴۱/۲۶	۵۹۱۴۱/۲۶	۵۹۱۴۱/۲۶	۵۹۱۴۱/۲۶
بوکان-۳	۸۸۹۱۸/۶۴	۸۸۹۱۸/۶۴	۸۸۹۱۸/۶۴	۸۸۹۱۸/۶۴
حسنلو-۱	۳۲۰۱/۹۴	۳۲۰۱/۹۴	۳۲۰۱/۹۴	۳۲۰۱/۹۴
حسنلو-۲	۳۵۲۱/۷۹	۳۵۲۱/۷۹	۳۵۲۱/۷۹	۳۵۲۱/۷۹
حسنلو-۳	۳۸۷۴/۷۵	۳۸۷۴/۷۵	۳۸۷۴/۷۵	۳۸۷۴/۷۵
زولا-۱	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۸۱
زولا-۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۸۱
زولا-۳	۰/۸۴	۰/۹۲	۱/۰۲	۱/۰۱
دیریک-۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱
دیریک-۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۵
دیریک-۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۷
ساروق-۱	۱۰۰۴/۸۵	۱۰۰۴/۸۵	۱۰۰۴/۸۵	۱۰۰۴/۸۵
ساروق-۲	۹۵۳/۴۷	۹۵۳/۴۷	۹۵۳/۴۷	۹۵۳/۴۷
ساروق-۳	۲۰۴۳/۰۵	۲۰۴۳/۰۵	۲۰۴۳/۰۵	۲۰۴۳/۰۵

منبع: یافته‌های تحقیق

کل سود خالص حاصل شده برای مجموع مصارف و سدهای مورد بررسی (مقدار تابع هدف) به ازای راندمآن‌های مختلف در جدول ۴ خلاصه شده است. همانگونه که از نتایج این جدول پیداست مقدار سود خالص با افزایش راندمان افزایش داشته و در راندمان ۶۵ درصد بیشترین میزان سود خالص به دست آمده است.

چدول۴ .کل سود خالص حاصل شده در طول دوره برنامه‌ریزی براساس راندمآن‌های متفاوت (میلیارد ریال)

	راندمان			
	٪۳۵	۴۵٪	٪۵۵	٪۶۵
سود خالص (میلیارد ریال)	۳۰۴۹۲۷/۱۳	۳۰۵۱۲۰/۲۱	۳۰۵۲۰۶/۷۱	۳۰۵۲۶۷/۵۷

منبع: یافته‌های تحقیق

حل مدل در شرایط عدم قطعیت

رسم جداول۵، ۶ و ۷ کمک زیادی جهت بررسی و مقایسه تأثیر شرایط عدم قطعیت بر سود کل سیتم در کل افق برنامه‌ریزی سه ساله و هم‌چنین درک بهتر تأثیر این شرایط در راندمآن‌های مختلف نمودند براساس اطلاعات حاصل شده از این جدول‌ها مقدار کل سود حاصل شده با راندمان اعمال شده رابطه مستقیم داشته به مرور با افزایش راندمان سود افزایش یافته است. سود ایجاد شده همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش میزان عدم حتمیت و هم‌چنین افزایش پارامتر کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری کاهش یافته است. نتایج به دست آمده از این مطالعه با نتایج به دست آمده از نتایج پایان‌نامه مردانی (۱۳۹۰) که با استفاده از مدل به کار برده شده در این تحقیق جهت مدیریت آب سد زاینده‌رود سود صورت گرفته است یکسان بوده و در هر دو با افزایش میزان عدم حتمیت سود کاش یافته است. نتایج مطالعات رستگاری پور (۱۳۸۷) با استفاده از مدل برنامه ریزی تصادفی چند مرحله ای با پارامترهای بازه‌ای در شرایط عدم حتمیت جهت مدیریت آب سد کارده خلاف نتایج این تحقیق بوده و در تحقیق ایشان با افزایش میزان عدم حتمیت سود نیز افزایش یافته است.

جدول ۵ .کل سود خالص حاصل شده در تمام دوره برنامه‌ریزی تحت شرایط مختلف عدم قطعیت (میلیارد ریال)

سود خالص(میلیارد ریال)							
$\varepsilon = 0.01 \quad \Gamma = 0.3$				$\varepsilon = 0.01 \quad \Gamma = 0.5$			
راندمان				راندمان			
٪۳۵	۴۵٪	٪۵۵	٪۶۵	٪۳۵	۴۵٪	٪۵۵	٪۶۵
۳۰۱۶۰۴/۳۵	۳۰۱۷۹۲/۸۹	۳۰۱۸۸۴/۳۱	۳۰۱۹۷۲/۳۷	۲۹۸۴۶/۷۲	۲۹۸۰۳۳/۸۹	۲۹۸۱۲۵/۲۳	۲۹۸۱۸۲/۴۰

منبع:یافته‌های تحقیق

جدول ۶ .کل سود خالص حاصل شده در تمام دوره برنامه‌ریزی تحت شرایط مختلف عدم قطعیت (میلیارد ریال)

سود خالص(میلیارد ریال)			
$\varepsilon = 0.01 \quad \Gamma = 0.4$			
راندمان			
٪۳۵	۴۵٪	٪۵۵	٪۶۵
۲۹۹۷۲۵/۵۳	۲۹۹۹۱۳/۳۹	۳۰۰۰۰۴/۷۷	۳۰۰۰۶۲/۳۸

منبع:یافته‌های تحقیق

جدول ۷ .کل سود خالص حاصل شده در تمام دوره برنامه‌ریزی تحت شرایط مختلف عدم قطعیت (میلیارد ریال)

سود خالص(میلیارد ریال)							
$\varepsilon = 0.02 \quad \Gamma = 0.3$				$\varepsilon = 0.02 \quad \Gamma = 0.4$			
راندمان				راندمان			
٪۳۵	۴۵٪	٪۵۵	٪۶۵	٪۳۵	۴۵٪	٪۵۵	٪۶۵
۲۹۵۹۶۷/۹۱	۲۹۶۱۵۴/۳۹	۲۹۶۲۴۵/۶۹	۲۹۶۳۰۲/۴۱	۲۹۲۲۱۰/۱۳	۲۹۲۳۹۵/۴۰	۲۹۲۴۸۶/۶۱	۲۹۲۵۴۲/۴۳

منبع:یافته‌های تحقیق

نتیجه گیری و پیشنهادها

دریاچه ارومیه مدت‌هاست که کم آب شده و کم کم به سوی خشک شدن می‌رود. بسیاری از متخصصان و کارشناسان مطلع عامل خشک شدن دریاچه ارومیه را گسترش بخش کشاورزی در حوضه سدهایی دانسته‌اند که قبلاً به این دریاچه آبرسانی می‌کرده و اکنون با گسترش کشاورزی یا مقدار بسیار ناچیزی به دریاچه رها کرده و یا اصلاً این مقدار را نیز قطع نموده‌اند. خشکسالی‌های پی در پی نیز عامل دیگری بود که بر آن تأکید داشتند. جهت بررسی صحت این ادعا که گسترش کشاورزی در این حوضه عامل کم شدن ورود آب به دریاچه بوده تحقیق حاضر به بهینه‌سازی تخصیص آب و زمین‌های زراعی موجود در محدوده سدهای فعال واقع درحوضه دریاچه ارومیه پرداخت. البته مطالعه محدود به استان آذربایجان غربی بوده و هدف از آن حداکثر کردن سود مصرف کنندگان مختلف موجود در این حوضه با توجه به تأمین مقدار آب مورد نیاز دریاچه ارومیه بود. برای انجام این مطالعه ۴ راندمان ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ در نظر گرفته شد. با تجه به این که الگوی کشت محصولات عمده در محدوده سدهای تحت بررسی تقریباً یکسان بود لذا ۵ محصول گندم، جو، یونجه، چغندرقند و ترکیبی از محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی، سیب زمینی و پیاز به نام سایر محصولات جهت بررسی در مطالعات بخش کشاورزی این تحقیق گنجانده شد. سدهای فعال واقع در این حوضه سدهای شهرچایی، مهاباد، بوکان، حسنلو، زولا، دیریک و ساروق بودند. این مطالعه برای یک افق برنامه‌ریزی سه ساله بوده و برای سال ۱۳۹۹-۱۳۹۷ برنامه‌ریزی شده است. لازم به ذکر است که تأمین نیاز آبی بخش‌های دیگری که از این سدها استفاده می‌کنند مانند بخش صنعت، مصارف خانگی و

نیاز آبی دریاچه نیز در این مدل مورد توجه قرار گرفته است. برق تولیدی نیز یکی دیگر از محدودیت‌هایی بود که باید تأمین می‌شد. این مطالعه در دو شرایط قطعیت و عدم قطعیت (با توجه به اینکه عدم قطعیت در پدیده‌های طبیعی همیشه وجود دارد) صورت گرفت. جهت انجام مطالعه در شرایط عدم حتمیت از مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری استفاده شد. جهت اعمال شرایط عدم حتمیت ۰/۰۱، ۰/۰۲ = ε و ۰/۵ و ۰/۴، ۰/۳ = Γ ۰ در نظر گرفته شد. مدل استفاده شده بسیار منعطف بوده و پاسخ‌های مختلفی در شرایط متفاوت ایجاد می‌نماید که این موضوع می‌تواند به تصمیم‌گیران در جهت انتخاب بهترین تصمیم کمک نماید. جهت پیش‌بینی مقدار آب ورودی به سدهای مورد مطالعه در طی افق برنامه‌ریزی سه ساله از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد. جهت پیش‌بینی موارد لازم دیگر در مطالعه صورت گرفته نظیر هزینه‌های بخش‌های غیرکشاورزی ، سود این بخش‌ها، قیمت محصولات کشاورزی و کلاً مواردی که نیاز به پیش‌بینی در آینده داشتند از روش پیش‌بینی *ARIMA* با انحرافات مختلف استفاده شد. برای تخمین تقاضای بخش شرب، صنعت و برق از داده‌های سال‌های گذشته استفاده شد. سود حاصل شده نیز برای بخش‌های شرب و صنعت براساس سود حاصل شده از سال‌های گذشته به ازای تغییر هر واحد آب مصرفی محاسبه شده و برای دوره مورد برنامه‌ریزی شبیه‌سازی شد.

سود به ازای تأمین هر واحد آب مورد نیاز دریاچه ارومیه با استفاده از مطالعه‌ای که در این زمینه در استان آذربایجان غربی صورت گرفته بود با استفاده از روش ارزشگذاری مشخص و برای سه دوره مورد مطالعه ثابت در نظر گرفته شد. حداکثر و حداقل تقاضای آب آبیاری با استفاده از روش *RIO* برآورد شد. پس از فرموله کردن مدل بهینه‌سازی، برنامه مورد نظر در نرم‌افزار *GAMS* نوشته و حل شد. نتایج حاصل از مدل بیانگر تأثیر مثبت راندمان بر سود حاصل شده بود و با افزایش آن مقدار آب مصرفی برای سطح زیر کشت ثابت کاهش یافته و یا با همان میزان جریان سطح بیشتری می‌توانست زیر کشت برود. برای محصول گندم در راندمان ۳۵ درصد مقدار جریان تخصیصی و سطح زیر کشت به ترتیب ۵/۸۹ میلیون مترمکعب و ۷۹۲/۸۸ هکتار به دست آمده است در حالی که در راندمان ۶۵ درصد با وجود جریان تخصیصی ثابت سطح زیر کشت ۶۷۹/۶۲ هکتار افزایش داشته و ۱۴۷۲/۵۰ هکتار به دست آمده است. بیشترین تخصیص جریان در راندمان ۳۵، ۵۵، ۴۵ و ۶۵ درصد مربوط به محصول یونجه (۷۹/۹۵ = l_{331133}) کشت شده در محدوده سد بوکان در طی دوره برنامه‌ریزی می‌باشد. دلیل بالا بودن مقدار جریان تخصیصی می‌تواند به دلیل وسعت منطقه تحت کشت یونجه در محدوده سد بوکان باشد. بیشترین سطح زیر کشت نیز مربوط به محصول گندم در تمام راندمان‌های مورد مطالعه در محدوده سد بوکان است. کمترین میزان جریان و سطح زیر کشت به دست آمده تحت راندمان ۳۵ درصد در بین محصولات و هم‌چنین در محدوده سدهای تحت بررسی مربوط به محصول جو در دوره سوم برنامه‌ریزی و سد ساروق است.درحالت کلی نتیجه مهمی که به‌دست آمد این بود که در اکثر سدهای مورد مطالعه نظیر سدهای شهرچایی و بوکان مدل قادر به تأمین حداقل‌ها بوده و با این شرایط توانسته است مقدار نیاز دریاچه ارومیه و سایر بخش‌ها را تأمین کند.

بررسی نتایج در شرایط عدم حتمیت نشان داد مقدار جریان تخصیصی به سد بوکان در دوره دوم ($\Gamma = ۰/۳$) ۸۴۷/۲۰ میلیون مترمکعب بوده در حالیکه همین مقدار با افزایش ε به ۰/۰۲ و سطح ثابت Γ به ۸۴۰/۷۱ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. سود نیز به تبع آن از مقدار ۵۴۳۳۷/۸۱ میلیارد ریال به ۴۲۷۲۸/۰۷ میلیارد ریال کاهش یافته است. براساس اطلاعات حاصل شده از این جدول‌ها مقدار کل سود حاصل شده با راندمان اعمال شده رابطه مستقیم داشته و به مرور با افزایش راندمان سود افزایش یافته است. سود ایجاد شده همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش میزان عدم حتمیت و هم‌چنین افزایش پارامتر کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری کاهش یافته است.

منابع

۱. صفاری، ن. ضرغامی، م. (۱۳۹۲) تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استآن‌های ذینفع با روش‌های تصمیم‌گیری فاصله محور. *نشریه دانش آب و خاک* / جلد ۲۳ شماره ۱ صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۴۹.

۲. شوریان، م و موسوی، ج. ۱۳۸۵. برنامه‌ریزی بهینه تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز با اهداف انتقال آب بین حوضه‌ای، *کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*.

۳. فلسفی‌زاده، ن. و صبوحی، م. (۱۳۸۹) تعیین برداشت بهینه آب از رواناب محیطی حوضه آبریز رودخانه کر، سد درودزن. *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳: ۴۲۴-۴۱۵.

۴. رستگاری‌پور، ف. و صبوحی، م. (۱۳۸۹) مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد کارده با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای چند مرحله‌ای. *مجله آب و فاضلاب*، ۳: ۹۸-۸۸.

۵. صبوحی، م. و شیرزادی لسکوکلایه، س. (۱۳۸۸) کاربرد برنامه‌ریزی چندهدف در مدیریت منابع آب سطحی و زیر زمینی منطقه ساوجلباغ. *مجله اقتصاد کشاورزی*، ۳ (۲): ۹۸-۸۳.

۶. صبوحی، م. و مردانی، م. (۱۳۹۱) طراحی سیستم عرضه آب مطمئن در شرایط عدم حتمیت مطالعه موردی حوضه آبریز زاینده رود. *مجله آب و فاضلاب*، ۳: ۱۳۹۱-۱۳۸۹.

۷. مردانی، م. (۱۳۹۰) بهینه‌سازی تخصیص آب در شبکه آبیاری نکوآباد تحت شرایط عدم حتمیت. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی*، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل.

۸. جامعه‌ی مهندسین مشاور ایران. (۱۳۹۰) *بحران محیط زیست در دریاچه ارومیه*.

۹. رستگاری‌پور، ف. (۱۳۸) مدیریت آب سد کارده با استفاده از مدل برنامه ریزی تصادفی چند مرحله ای با پارامترهای بازه‌ای در شرایط عدم حتمیت. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی*، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل.

10. Bertsimas, D and Sim, M. (2004) The price of robustness. *Journal of Operations Research*, 52 (1), 35–53.

11. Xevi, E and S, Khan. (2005) A multi-objective optimization approach to water management. Journal of Environmental Management.77: 269–277.
12. Sabouhi, M and Mardani, M. (2013) Application of robust optimization approach for agricultural water resource management under Uncertainty. *Journal of Irrigation And Drainage Engineering*. 139:571-581.
13. Bohle, C., Maturana, S. and Vera J. (2008) A robust optimization approach to wine grape harvesting scheduling. European Journal of Operational Reserch, 200: 245-252.
14. Soyster, A.L. (1973) Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming. *Journal of Operations Research*, 21: 1154–1157.
15. Singh, A and Nath Panda, S. (2012) Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. *Agricultural Water Management*, 115: 267– 275.
16. Condon, Laura and Maxwell Reed M. (2013) Implementation of a linear optimization water allocation algorithm into a fully integrated physical hydrology model. *Advances in Water Resources*, 60: 135–147
17. Sethi, L.N., Panda, S.N. and Nayak, M.K. (2006) Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin, Orissa, India. *Journal of* agricultural water management, 83:209-220.
18. Samian, M., Naderi- Mahdei, K., Saadi, H and Movahedi, R. 2014. Identifying factors affecting optimal management of agricultural water. *Saudi Society of Agricultural Sciences*, http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2014.01.001.
19. Cai, W., Zhang, L., Zhu, X., Zhang, A., Yin; and Wang, H. (2013) Optimized reservoir operation to balance human and environmental requirements: A case study for the Three Gorges and Gezhouba Dams, Yangtze River basin, China. *Ecological Informatics*, 18: 40–48.
20. Dai, Z.Y. and Li, Y.P. (2013) A multistage irrigation water allocation model for agricultural and-use planning under uncertainty.*Agricultural Water Management*, 129.

Optimization of Irrigation Water Consumption and Arable Land in The Catchment Area Of Lake Urmia

Abstract

Optimizing the irrigation water distribution network for the amount of available water and arable land, in view of the global water crisis, is one of the best ways to increase the profit of the farmers covered by its land. Water allocation in these systems is usually based on the prediction of factors such as water demand for products and the amount of available water. Uncertainty in predicting these factors is part of the essence of agricultural water distribution systems. In the present study, optimization of water and land allocation under active dams in the lake of Urmia was carried out in order to maximize consumer profits for 3 years planning horizons (2018-2020). In order to investigate the effect of uncertainty on the allocation of water and agricultural land, this area was optimized with conservative controlling parameters. To evaluate the sensitivity of the model to increase the efficiency and conservatism, different scenarios were applied. The model presented in four efficiencies of 35, 45, 55 and 65 percent, different levels of uncertainty, and finally a combination of these scenarios. The results showed that farmers' profit from water transfer decreased due to uncertainty. The results showed that in order to provide water, the needs of Lake Urmia as well as other parts in the area of some dams such as Shahr-e Chahi Dam and Bokan aquifer will inevitably be about 50% in the first year of planning and about 40% in the second year of planning should be reduced. Other dams should reduce the area under cultivation as much as possible in the current crop area.

Classification JEL: Q01 ،C62،D31

Keywords: Optimization, Multi-Reservoir Systems, Urmia Lake Basin, Uncertainty