

## "تخصیص بهینه آب از سد مخزنی یامچی و آب زیرزمینی محدوده شبکه بر اساس نیازهای جدید و بازنگری در جداول فرمان"

### مقدمه

وقوع خشکسالی‌ها و تغییر اقلیم در گستره کره زمین از یک طرف و افزایش تقاضا به دلیل رشد روزافزون جمعیت از طرف دیگر، تامین نیاز آبی بخشهای مختلف را دچار مشکل نموده است. تغییر در الگوی تامین نیازها یکی از راهکارهای مدیریت منابع محدود آب به شمار می‌رود و بدین ترتیب برنامه‌ریزان بخش آب با توجه به اولویت تخصیص آب به هر یک از مصارف، اقدام به بازنگری در سیاست‌های برنامه‌ریزی منابع آب می‌نمایند. در پژوهش حاضر، برنامه‌ریزی تخصیص و توزیع بهینه منابع محدود آب از سد مخزنی یامچی با نگرش تغییر تقاضا و جریان ورودی به مخزن مد نظر قرار گرفته و سعی شده است تا میزان رهاسازی از مخزن بر اساس موجودیت آب و تغییرات تقاضای پایین دست در شرایط جدید به صورت بهینه تعیین گردد. با توجه به اینکه سدهای مخزنی برای اهداف مختلفی از جمله تامین آب شرب، صنعت، کشاورزی و تامین نیاز زیست محیطی رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند بنابراین مطالعات زیادی برای بهینه‌سازی تخصیص برای اهداف فوق‌الذکر انجام گرفته است. در این گونه از مطالعات نیازهای شرب و بهداشت بصورت اولویت اول در تخصیص منابع آب مد نظر قرار گرفته و در کنار آن نیازهای دیگر نیز مورد شبیه‌سازی قرار گرفته‌اند. در ادامه به عنوان نمونه به تعدادی از آخرین کارهای صورت گرفته در این زمینه اشاره می‌شود:

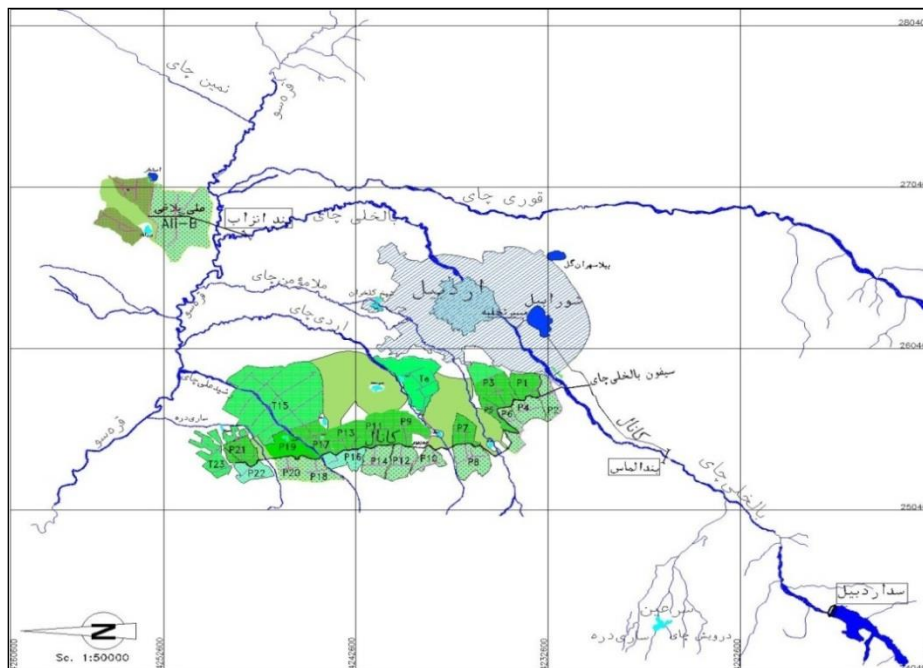
قدمی و همکاران (۱۳۸۸) بهره‌برداری بهینه از سیستمهای چند مخزنی را با استفاده از الگوریتم ژنتیک مطالعه و مدل بهینه توسعه داده شده را برای یک سیستم دو مخزنی در شمال خراسان رضوی اجرا نمودند. نتایج حاصل از اجرای مدل برای ترکیب متفاوتی از کلاس ابتدایی مخزن، رژیم رودخانه و بارندگی نشان داد که در شرایط خشکسالی تخصیص آب از مخزن به کلاس ابتدایی مخزن وابستگی دارد. علم‌محمدی و حسین‌زاده (۱۳۸۹) بهره‌برداری تلفیقی از آبهای سطحی و زیرزمینی حوزه ابهر را با هدف به حداقل رساندن افت تراز آبخوان، مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق، ابتدا رفتار آب زیرزمینی با استفاده از مدل شبیه‌ساز MODFLOW در قالب ماتریس‌های پاسخ واحد، مشخص و سپس مقادیر بدست آمده در یک مدل بهینه‌ساز خطی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان افت تراز میانگین در حالت استفاده تلفیقی از آبهای سطحی و زیرزمینی کمتر از مقدار آن در شرایط استفاده از آب زیرزمینی می‌شود. (Nagesh Kumar et al., 2006) به منظور تخصیص آب به گیاهان مختلف از یک سد مخزنی تک منظوره مطالعه‌ای را انجام دادند. اطلاعاتی از قبیل جریان ورودی به مخزن، میزان بارندگی در طول فصل، میزان رطوبت موجود در خاک در هر واحد زراعی، خصوصیات خاکشناسی منطقه، ویژگیهای زراعی گیاهان از جمله ضرائب حساسیت به آب، با هدف حداکثر نمودن عملکرد نسبی گیاهان کل تحت کشت سد مخزنی، وارد مدل‌سازی شده و میزان آب قابل تخصیص به هر گیاه و در مراحل رشد آنها بصورت بهینه بدست آمد. (Safavi and Esmikhani (2013) با بهره‌گیری از یک مدل ماشین پشتیبان بردار (SVMS) به عنوان مدل شبیه‌ساز و مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک (GA) برای استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود در اصفهان استفاده کردند. نتایج نشان داد دقت مدل SVMS به عنوان یک مدل شبیه‌ساز برای استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی خوب بوده و امکان کاهش کمبود آب برای شبکه آبیاری با بکارگیری از مدل پیشنهاد شده SVMS-GA وجود دارد.

مرور مطالعات انجام یافته نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی تخصیص آب در بخش کشاورزی عمدتاً بصورت توأم با تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن ذخیره آب همراه بوده و هدف اصلی در این نوع مطالعات، دستیابی به حداکثر سود با ملاحظه محدودیت‌های موجود در منابع آب و محدودیت‌های فیزیکی مخزن می‌باشد. البته در مخازن چندهدفه که علاوه بر نیازهای

کشاورزی اهداف دیگری همچون تامین مصارف شرب و صنعت و کنترل سیلاب نیز در بهره‌برداری از این مخازن نقش ایفا می‌کنند، توابع هدف متفاوتی در مدل‌سازی آنها وارد می‌شوند. همچنین در استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی، علاوه بر حداکثرسازی سود حاصل از تخصیص آب از منابع سطحی، حداقل‌سازی افت سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی نیز به عنوان هدف مدل‌سازی بوده و میزان استفاده از آب زیرزمینی به عنوان متغیر تصمیم مد نظر قرار گرفته است. بطور کلی، داشتن اطلاعات کافی از وضعیت فیزیکی و هیدرولوژیکی مخزن، خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی، مقادیر نیازهای شرب، صنعت و زیست‌محیطی رودخانه، نوع و خصوصیات زراعی گیاهان تحت کشت، شرایط و ویژگیهای خاکشناسی اراضی تحت آبیاری، اطلاعات هواشناسی، نیازآبی گیاهان و . . . برنامه‌ریزی بهینه تخصیص و توزیع آب در استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی را مقدور می‌سازد.

### منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی اردبیل در حدود ۲۵ کیلومتری شهر اردبیل و در موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی و ۳۸ درجه و ۴ دقیقه شمالی واقع شده است. حجم مفید مخزن ۸۰ میلیون متر مکعب و ارتفاع آن از بستر رودخانه ۶۱ متر می‌باشد. بررسی گزارش‌های اولیه نشان می‌دهد، این سد باید علاوه بر تامین حدود ۲۰ میلیون متر مکعب در سال برای مصارف شرب و حدود ۱/۶ میلیون متر مکعب نیاز زیست‌محیطی، آب مورد نیاز حدود ۱۳ هزار هکتار اراضی کشاورزی منطقه را در قالب سه واحد عمرانی مختلف تحت عنوان شبکه آبیاری یامچی تامین نماید. در حال حاضر به دلیل محدودیت منابع آب و افزایش تقاضای آب شرب به میزان ۳۰ میلیون متر مکعب در سال، بهره‌برداری از شبکه آبیاری تنها در واحد عمرانی اول انجام می‌پذیرد. علاوه بر تامین آب اراضی شبکه آبیاری توسط سد، آب مورد نیاز اراضی حقا به‌خارج از شبکه آبیاری نیز بر عهده سد بوده که وسعت آن ۵۸۰ هکتار است. الگوی کشت محصولات کشاورزی در شرایط موجود، شامل گندم، جو، سیب‌زمینی و لوبیا به ترتیب با تراکم ۳۰، ۱۰ درصد، ۴۰ و ۲۰ درصد می‌باشد. شکل ۱ موقعیت سد مخزن یامچی (اردبیل) و شبکه آبیاری تحت پوشش آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه سد و شبکه آبیاری یامچی

داده‌های مربوط به مشخصات شد و شبکه آبیاری از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل، مقادیر هزینه تولید در واحد سطح با توجه به مجموع هزینه‌های تولید محصول (دفتر آمار و فن آوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵) و قیمت واحد فروش محصول نیز بر اساس گزارش مرکز آمار ایران (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفت.

## روش تحقیق

با توجه به تامین قطعی نیازهای بخش شرب و زیست محیطی در تخصیص آب از سد مخزنی یامچی، تامین آب مورد نیاز بخش کشاورزی، مبنای مدل‌سازی قرار گرفت و نیاز بخش‌های دیگر به صورت قید در مدل وارد شد. به دلیل اینکه حساسیت گیاهان به تنش آب در دوره‌های مختلف رشد متفاوت است و عملکرد هر گیاه به میزان آب تامین یافته آن بستگی دارد، از مدلی که بتواند حداکثر سود اقتصادی را داشته باشد استفاده شد. در این مدل سود حاصل از تخصیص آب به محصولات مختلف کشاورزی در سه ناحیه آبیاری (اراضی توسعه، بهبود و حقایه‌دار) در طول یک سال پیشینه شده و سیاست رهاسازی آب از سد به تناسب آن و با در نظر گرفتن نیازهای بخش شرب و زیست محیطی تعیین گردید. تابع هدف، متغیرهای حالت و قیودات مورد نظر به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند:

$$\text{MAX: } \sum_{f=1}^{Nf} \sum_{c=1}^{Nc} A_{c,f} [B_c \left( \frac{Y_a}{Y_p} \right)_{c,f} - C_c] - \text{Penalty} \quad (1)$$

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{s=1}^{Ns} \left[ 1 - Ky_s \left( 1 - \frac{ETa_s}{ETp_s} \right) \right] \quad (2)$$

$$ETa_t = \begin{cases} ETp_t & \text{if } \theta a > (1-p) \times (\theta f - \theta w) \times Z \\ \frac{(\theta_t - \theta w) \times Z_t + RA_t + IR_t}{(1-p) \times (\theta f - \theta w) \times Z_t} \times ETp_t & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$\theta a_t = (\theta_t - \theta w) \times Z_t + RA_t + IR_t \quad (4)$$

$$\theta_{t+1} \times Z_{t+1} = \theta_t \times Z_t + IR_t + RA_t - ETa_t - DP_t + \theta c \times (Z_{t+1} - Z_t) \quad (5)$$

$$DP_t = \begin{cases} (\theta_{t+1} - \theta f) \times Z_t & \theta_{t+1} > \theta f \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$ETp_t = Kc \cdot ET0_t \quad (7)$$

$$\theta_t \geq \theta w \quad (8)$$

که  $A$  مساحت تحت کشت محصول (هکتار)،  $Y_p$  و  $Y_a$  به ترتیب عملکرد واقعی و پتانسیل محصول (کیلو گرم در هکتار)،  $B$  و  $C$  به ترتیب درآمد و هزینه محصول (ریال در هکتار)،  $Kc$  ضریب رشد گیاهی،  $ET0$  تبخیر تعرق گیاه مرجع،  $p$  جزء رطوبت بحرانی گیاه،  $\theta$  رطوبت خاک (متر در متر)،  $Z$  عمق توسعه ریشه گیاه (میلیمتر)،  $IR$  مقدار آب آبیاری (میلیمتر)،  $RA$  میزان بارندگی در منطقه (میلیمتر)،  $ETa$  تبخیر تعرق واقعی (میلیمتر)،  $ETp$  تبخیر تعرق پتانسیل (میلیمتر)،  $DP$  نفوذ عمقی (میلیمتر) و  $\theta c$  رطوبت ثابت لایه‌های زیرین قبل از کاشت (متر در متر)،  $\theta f$  رطوبت ظرفیت مزرعه (متر در متر)،  $\theta w$  رطوبت نقطه پژمردگی دائم (متر در متر)،  $\theta a$  رطوبت در دسترس خاک (میلیمتر)،  $ETa_s$  تبخیر تعرق واقعی دوره رشد  $s$  (میلیمتر)،  $ETp_s$  تبخیر تعرق پتانسیل دوره رشد  $s$  (میلیمتر)،  $Ky$  ضریب حساسیت به تنش آب،  $c$  شمارنده محصول،  $Nc$  تعداد کل محصولات،  $s$  بیانگر دوره رشد،  $Ns$  تعداد مراحل رشد،  $f$  شمارنده واحد کشاورزی،  $Nf$  تعداد کل واحدهای کشاورزی،  $t$  بیانگر گام زمانی و  $Penalty$  جریمه مربوط به تخطی از قیودها است. همچنین متغیرهای حالت و قیدهای مربوط به رهاسازی آب از مخزن سد به شرح زیر است:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t + P_t - R_t - EVP_t - Dz_t - Dsh_t - Spill_t \quad (11)$$

$$R_t = r \times R1_t + R2_t + R3_t \quad (12)$$

$$S_t \geq S_{min} \quad (13)$$

$$Spill_t = \begin{cases} S_t - S_{max} & \text{if } S_t > S_{max} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

که  $S$  حجم ذخیره مخزن (متر مکعب)،  $Q$  حجم جریان ورودی به مخزن (متر مکعب)،  $P$  حجم بارش بر سطح دریاچه مخزن (متر مکعب)،  $EVP$  حجم آب تبخیر شده از مخزن (متر مکعب)،  $Spill$  حجم آب سرریز شده از مخزن (متر مکعب)،  $R$  حجم آب رها شده از مخزن به بخش کشاورزی (متر مکعب)،  $R1$  حجم آب تخصیص یافته به اراضی توسعه شبکه آبیاری (متر مکعب)،  $R2$  حجم آب تخصیص یافته به اراضی بهبود شبکه آبیاری (متر مکعب)،  $R3$  حجم آب تخصیص یافته به اراضی کشاورزی حق آبه-بر (متر مکعب)،  $S_{min}$  حداقل حجم آب مخزن (متر مکعب)،  $S_{max}$  حداکثر حجم آب مخزن (متر مکعب)،  $Dz$  حجم آب مربوط به نیازهای زیست محیطی (متر مکعب)،  $Dsh$  حجم آب مربوط به نیاز شرب (متر مکعب)،  $Ec$  راندمان انتقال آب (اعشار) و  $r$  نسبتی از نیاز آبیاری اراضی بخش توسعه در شبکه آبیاری است که از طریق سد مخزنی تامین می شود.

## نتایج و بحث

با توجه به اینکه حداکثرسازی سود حاصل از تخصیص آب به محصولات مختلف بخش کشاورزی به عنوان تابع هدف مدل-سازی در نظر گرفته شد لذا متغیرهای تصمیم در فرآیند بهینه سازی، آب اختصاص یافته به تک تک محصولات در گامهای زمانی مختلف بوده و از این طریق آب رها شده از سد برای مصارف کشاورزی در سه واحد زراعی مختلف، حجم آب خروجی از مخزن، حجم آب ذخیره مخزن، تبخیر و آب سرریز شده از آن در هر گام زمانی محاسبه شد. از طرف دیگر با توجه به خاصیت غیر قطعی متغیرهای بارندگی و جریان ورودی به مخزن، بارندگی با استفاده از شاخص خشکسالی  $SPI$  به سه رژیم مختلف نرمال، کم آبی و پرآبی و جریان ورودی به مخزن نیز متناسب با جریان حداقل و حداکثر ورودی به مخزن به سه طبقه نرمال، حداقل و حداکثر تقسیم شد. همچنین حجم اولیه مخزن به طبقات مختلفی با طول بازه ۱۰ میلیون متر مکعب گسسته شد و سپس بهره برداری بهینه از مخزن برای تامین نیازهای مختلف در ازاء ترکیب مختلفی از ذخیره آب در مخزن در ابتدای فصل، جریان رودخانه و بارندگی اجرا گردید. درصد تامین آب نیاز بخش توسعه شبکه آبیاری از سد که به عنوان پارامتر مهم در الگوی تخصیص بوده است با توجه به مقادیر مجاز برداشت آب طبق پروانه بهره برداری چاه های کشاورزی (حدود ۷ میلیون متر مکعب) حداکثر ۲۰ درصد نیاز آبی در نظر گرفته شد. جدول ۱ مقادیر سود نسبی (تابع هدف) در حالات مختلف را نشان می دهد. با افزایش حجم اولیه مخزن سود نسبی افزایش می یابد که این مقدار برای سناریو با تامین ۸۰ درصد نیاز بخش کشاورزی توسط سد، بیشتر از سناریوی دیگر بوده است که بیانگر تطابق آب تخصیص یافته با موجودیت آب مخزن است. رژیم بارندگی و جریان ورودی مخزن نیز تاثیر مستقیمی بر سود نسبی داشته ولی در حجم اولیه بالای مخزن تاثیر آن زیاد نبوده است. کمترین سود نسبی مربوط به حالتی بوده است که حجم اولیه مخزن ۴۰ میلیون متر مکعب، رژیم بارندگی و جریان ورودی حداقل و درصد تامین نیاز بخش کشاورزی توسط سد ۱۰۰ درصد بوده است که با توجه به هزینه ها و درآمد حاصل از تخصیص آب به محصولات مختلف، کاملاً منطقی به نظر می رسد.

جدول ۱: مقادیر سود (ریال) حاصل از تخصیص آب به بخش کشاورزی

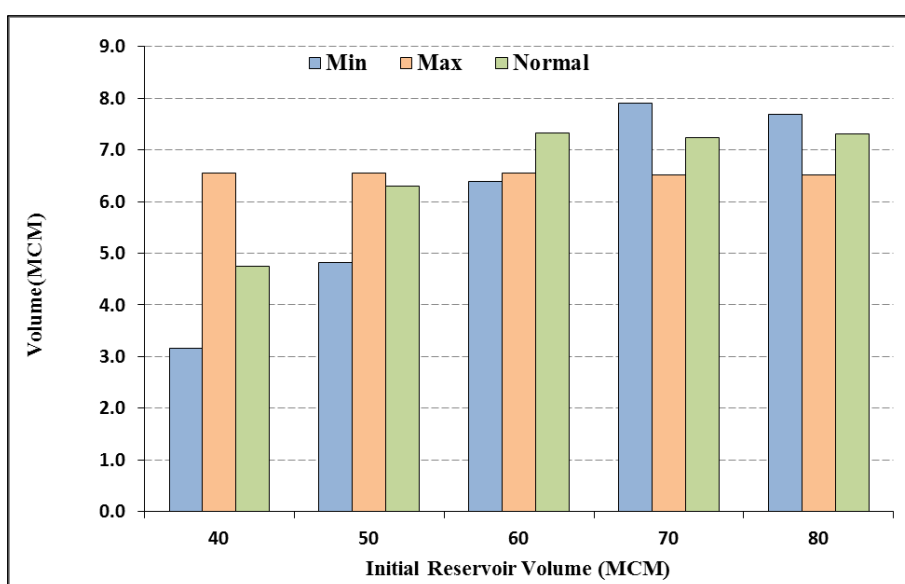
Scenario			Percentage of agricultural water supply from dam	Initial volume of reservoir (MCM)
Min	Max	Normal		
1.393E+11	6.559E+11	1.539E+11	100	40
7.064E+10	6.813E+11	3.264E+11	80	
1.541E+11	6.892E+11	4.331E+11	100	50
2.129E+11	6.925E+11	5.607E+11	80	
3.638E+11	6.928E+11	6.104E+11	100	60
5.248E+11	6.949E+11	6.898E+11	80	
5.702E+11	6.940E+11	6.907E+11	100	70
6.819E+11	6.983E+11	6.898E+11	80	
6.875E+11	6.983E+11	6.968E+11	100	80
6.875E+11	6.983E+11	6.986E+11	80	

حجم آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی در همه سناریوها و حالات ابتدایی مخزن (جدول ۲) نشان می‌دهد که کمترین مقدار تخصیص آب از سد به بخش کشاورزی در سناریو حداقل با ۱۸/۷۷۵ میلیون متر مکعب بوده است. این حجم آب تخصیص یافته با توجه به الگو و سطح زیر کشت محصولات کمترین سود را داشته است.

جدول ۲- مقدار آب تخصیص یافته بهینه به بخش کشاورزی در سناریوهای مختلف

Scenario			Percentage of agricultural water supply from dam	Initial volume of reservoir (MCM)
Min	Max	Normal		
18.775	45.265	28.599	100	40
17.776	40.462	28.591	80	
28.663	47.080	38.447	100	50
28.639	40.456	38.435	80	
38.496	46.384	48.252	100	60
38.414	40.495	44.818	80	
48.284	46.914	51.453	100	70
47.900	40.237	44.275	80	
54.210	46.752	51.820	100	80
46.648	40.237	44.578	80	

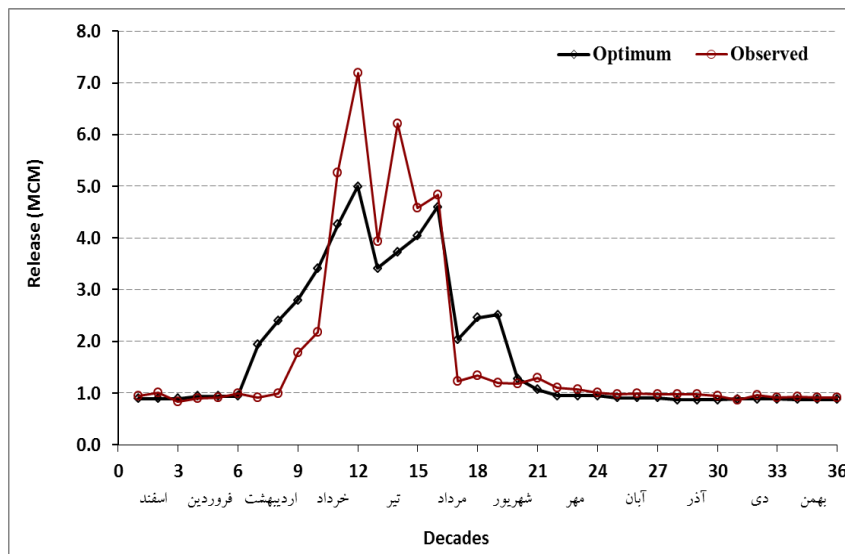
استفاده از آب زیرزمینی محدوده شبکه آبیاری با اعمال درصد مشخصی از کل آب مورد نیاز اراضی کشاورزی وارد مدل بهینه گردید. نتایج اجرای مدل برای حالات مختلف طبق شکل ۲ نشان می‌دهد که در سناریوهای حداقل و نرمال با افزایش مقادیر حجم‌های اولیه مخزن، حجم آب تخصیص یافته از آب زیرزمینی افزایش یافته است. در سناریو حداکثر، حجم اولیه مخزن تاثیری بر آب تخصیص یافته از منابع زیرزمینی نداشته و مقدار تقریباً ثابتی (حدود ۶/۵ میلیون متر مکعب) داشته است. در این سناریو به دلیل کفایت آب موجود برای تخصیص بین مصارف مختلف، کل نیاز بخش کشاورزی از طریق منابع سطحی و زیرزمینی تامین می‌شود و لذا در سطوح مختلف حجم اولیه مخزن، حداکثر آب مورد نیاز بخش کشاورزی به تناسب از منابع سطحی و زیرزمینی تامین شده است. در واقع در سناریوهای حداقل و نرمال، میزان بارندگی و آورد رودخانه کم است که در نتیجه این کمبود بارش باید با آب آبیاری جبران شده و نیاز آبی و در نتیجه رطوبت خاک به میزان مناسبی جهت ارضای قید مربوطه تأمین شود.



شکل ۲: حجم آب قابل تخصیص از منابع آب زیرزمینی به بخش کشاورزی در سناریوهای مختلف

## بررسی نتایج اجرای مدل بهینه برای سال آبی ۹۵-۹۴:

به منظور مقایسه مقادیر مشاهده شده با نتایج حاصل از اجرای مدل بهینه برای سال آبی ۹۵-۹۴، جریان ورودی به سد، حجم اولیه آب مخزن (اول اردیبهشت)، مساحت محصولات مختلف کشت شده در نواحی کشاورزی تحت پوشش سد و پارامترهای دیگر وارد مدل بهینه گردید. پس از اجرای مدل بهینه، نتایج خروجی نشان داد که کل حجم آب خارج شده از سد بر اساس تخصیص بهینه برابر ۶۳/۹ میلیون متر مکعب می‌باشد که از این مقدار ۲۸/۸ میلیون متر مکعب به بخش کشاورزی، ۳۳/۵ میلیون متر مکعب به بخش شرب و ۱/۶ میلیون متر مکعب به بخش زیست محیطی تخصیص می‌یابد. شکل ۳ آب خروجی مشاهده شده در این سال با مقدار بدست آمده از مدل بهینه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان گفت که در فصول بهره‌برداری از سد برای مصارف کشاورزی تفاوتی بین این دو منحنی وجود دارد.

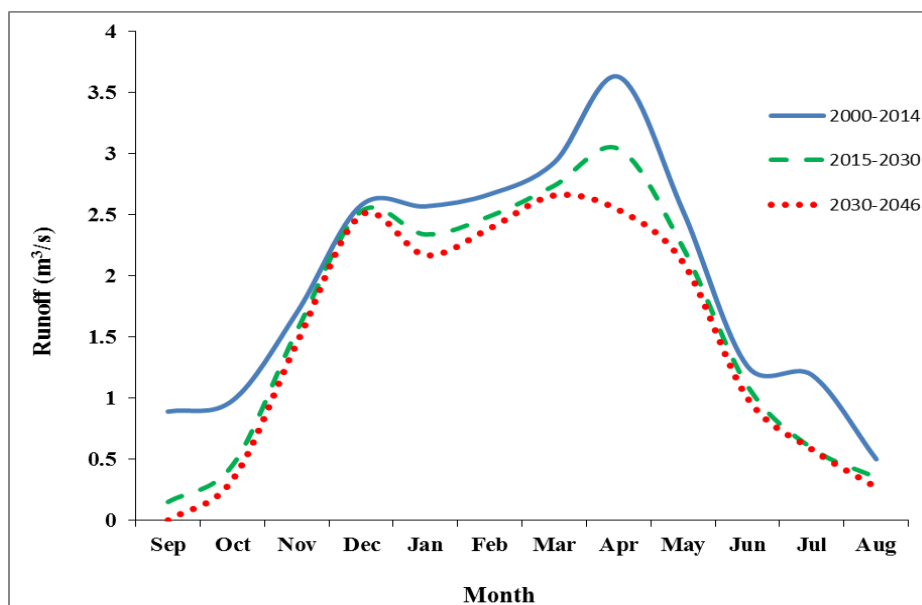


شکل ۳: آب رها شده بهینه از سد و مقایسه آن با مقادیر مشاهده شده در سال ۹۴-۹۵

## نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منحنی فرمان سد

به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جداول و منحنی فرمان سد یامچی از نتایج گزارش نهایی "بازنگری در برنامه منابع و مصارف سدهای در حال بهره‌برداری به روش دینامیک سیستمها: مطالعه موردی سد یامچی" استفاده شده است. در گزارش یاد شده از سناریو A2 و داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 استفاده شده و سپس داده‌های بزرگ مقیاس تهیه شده، با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شده است. به منظور برآورد جریان ورودی به مخزن سد یامچی نیز، از نتایج خروجی مدل‌های گردش عمومی جو و مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شده است.

با استفاده از نتایج حاصل از شبکه عصبی انتخاب شده و ورود پارامترهای تغییر اقلیم به عنوان ورودی مدل، رواناب ورودی به سد یامچی محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق این شکل مقدار رواناب رودخانه بالخلوچای در محل سد مخزنی یامچی، در تمام ماه‌ها نسبت به مقادیر مشاهداتی کاهش خواهد داشت. همچنین متوسط دبی ورودی به سد نسبت به دوره مشاهداتی در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۳۰ و ۲۰۳۰-۲۰۴۶ به ترتیب به میزان ۱۶ و ۲۳ درصد کاهش خواهد داشت.

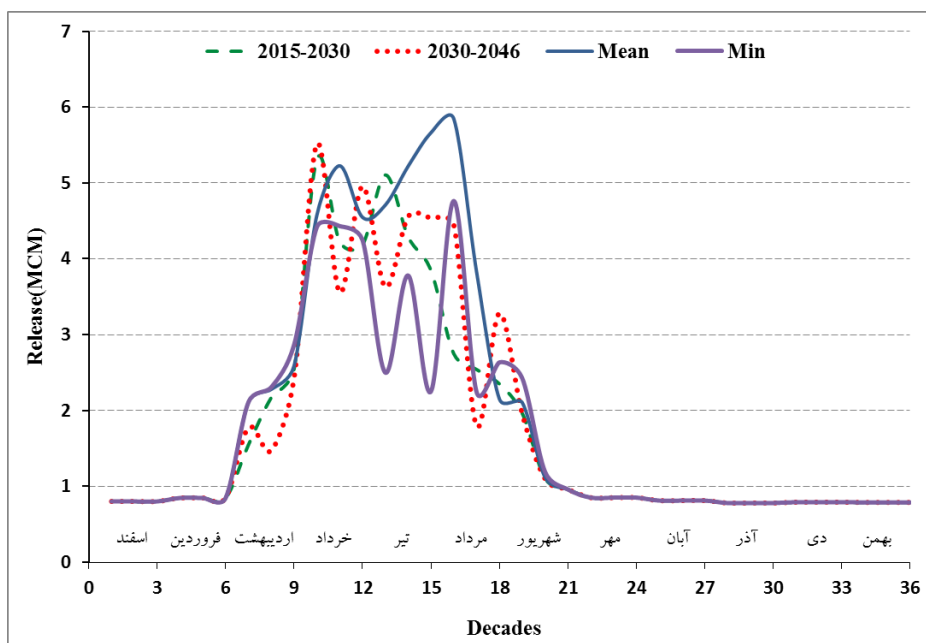


شکل ۴: هیدروگراف تاریخی و برآوردی دبی ورودی رودخانه بالخلوچای به مخزن سد یامچی طی دوره‌های مختلف در سناریو A2

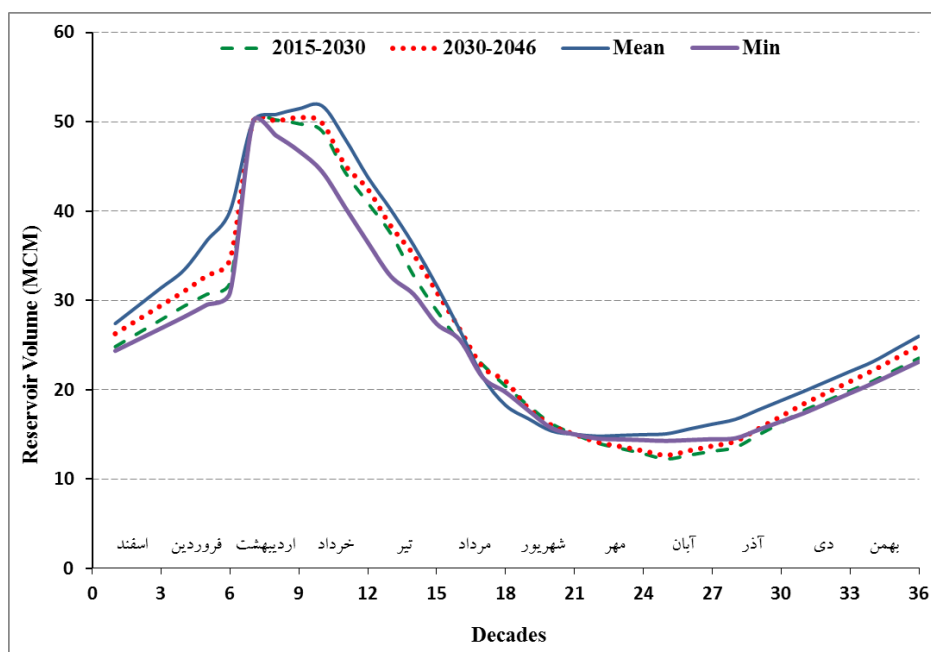
با معلوم بودن جریان ورودی به مخزن سد یامچی و تغییرات عوامل اقلیمی (دما و بارش) در دوره‌های آتی، مدل بهینه با شرایط جدید اصلاح و اجرا شد. نتایج نشان داد جریان ورودی به مخزن سد در هر دو دوره آتی در حدود ۵۰ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. جدول ۳ خلاصه‌ای از نتایج اجرای مدل بهینه برای سناریو تغییر اقلیم در دو دوره آتی را نشان می‌دهد. شکل ۵ و ۶ نیز مقایسه حجم آب خروجی از سد و حجم ذخیره مخزن در دو دوره آتی را با مقادیر آنها در دو سناریو نرمال و حداقل نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود در شرایط تغییر اقلیم، حجم آب خروجی از مخزن و حجم آب ذخیره مخزن، مابین سناریو حداقل و سناریو نرمال قرار گرفته است. به بیان دیگر سناریو حداقل که در بخش قبل بطور کامل تشریح شد شرایط بحرانی‌تری نسبت به سناریو تغییر اقلیم بوده و نتایج آن می‌تواند به عنوان یکی از راه کارهای مدیریتی در تصمیم‌گیرهای تخصیص آب مد نظر قرار گیرد.

جدول ۳: خلاصه‌ای از نتایج خروجی مدل بهینه برای بهره‌برداری سد یامچی در سناریو تغییر اقلیم

دوره آتی	درصد تامین نیاز کشاورزی از سد	آب رها شده از سد	آب تبخیر شده از مخزن	آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی			آب تخصیص یافته به سرریز شده از سد	آب قابل تخصیص از آبخوان به بخش کشاورزی
				آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی از سد	آب تخصیص یافته به بخش شرب از سد	آب تخصیص یافته به بخش محیطی از سد		
(MCM)	(MCM)	(MCM)	(MCM)	(MCM)	(MCM)	(MCM)	(MCM)	(MCM)
2015-2030	100	63.044	1.790	31.484	30.00	1.5552	0.00	36.352
2030-2046	80	63.037	1.813	31.477	30.00	1.5552	0.00	36.339
2015-2030	100	61.990	1.781	30.430	30.00	1.5552	0.00	33.346
2030-2046	80	61.972	1.775	30.413	30.00	1.5552	0.00	33.371



شکل ۵: حجم آب خروجی ماهانه از سد یامچی در سناریو تغییر اقلیم طی دوره‌های مختلف در شرایط تامین ۸۰ درصد نیاز بهینه بخش کشاورزی توسط سد



شکل ۶: حجم آب ماهانه موجود در مخزن سد در سناریو تغییر اقلیم طی دوره‌های مختلف در شرایط تامین ۸۰ درصد نیاز بهینه بخش کشاورزی توسط سد

## نتایج و دستاوردهای تحقیق

تغییرات به وجود آمده در الگوی تامین نیازها در سیستم منابع آب سد یامچی به دلیل افزایش حجم تخصیص آب به بخش شرب، تغییر در سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، کاهش مساحت تحت پوشش شبکه و کاهش جریان ورودی به سد، ضرورت بازنگری در بهره‌برداری از سد و اصلاح منحنی‌های فرمان آن را تحت شرایط مختلف منابع آب نشان می‌دهد. پژوهش حاضر در راستای این هدف انجام و نتایج آن به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- جداول فرمان بهره‌برداری سد برای سه سناریو مختلف (نرمال، حداقل و حداکثر) ارائه شد که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و میزان ذخیره سد در ابتدای دوره بهره‌برداری یکی از آن انتخاب و سپس بر اساس آن رهاسازی انجام می‌شود.



- در صورت استفاده از مدل بهینه برای تخصیص و توزیع آب از سد یامچی، سود کل بیشتر از شرایط مشاهده شده‌ای است که عاید بهره‌برداران شده است.
- مساحت زیر کشت هر محصول در شبکه آبیاری دستخوش تغییر بوده است. این امر باعث تغییر در نیاز آبی کل شبکه شده و بنابراین بهره‌برداری شبکه را با مشکل مواجه نموده است.
- برای شرایط تغییر اقلیم نیز مدل بهینه اجرا شد. جداول فرمان بهره‌برداری بهینه بدست آمده برای شرایط تغییر اقلیم نشان می‌دهد که در وضعیت تغییر اقلیم آتی، شرایط بهینه بهره‌برداری از سد مابین سناریو حداقل و سناریو نرمال خواهد بود و سناریو حداقل، شرایط بحرانی تری نسبت به سناریو تغییر اقلیم است.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مادی شرکت آب منطقه ای اردبیل در قالب طرح پژوهشی به شماره ۹۵/۲/۶۵۶۶/۹۰۰ انجام گرفته است که جا دارد از حمایت‌های شرکت و نظرات ارزشمند کارشناسان آن تشکر و قدردانی شود.

## منابع

- علیمحمدی، س. و حسین‌زاده، ح. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه ابهر. مجله آب و فاضلاب. شماره ۳.
- قدمی، س. م.، قهرمان ب. و شریفی م. ب. و رجبی مشهدی ح. ۱۳۸۸. بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستمی چند مخزنی منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک. مجله تحقیقات منابع آب ایران. سال پنجم شماره ۲.
- Nagesh Kumar, D., Srinivasa Raju, K. and Ashok, B. (2006). Optimla reservoir operation for irrigation of multiple crops using genetic algorithms. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 132(2), 123-129.
- Safavi H R, Esmikhani M (2013) Conjunctive Use of Surface Water and Groundwater: Application of Support Vector Machines (SVMs) and Genetic Algorithms. Water Resources Management 27:2623-2644.