

## Simulation and Optimization of Dam Operation under Changing Cultivation Pattern Scenario (Case Study: Harsin Dam)

FATEMEH SALIMI MASTEALI<sup>1</sup>, MARYAM HAFEZPARAST<sup>1</sup> AND FARHANG SARGORDI<sup>\*1</sup>

1. Department of Water Science and Engineering, Razi University, Kermanshahi, Iran

(Received: May. 29, 2019- Revised: July. 27, 2019- Accepted: July. 27, 2019)

### ABSTRACT

Due to population growth, shortage and severe constraints of water resources in the country, one of the main steps in management and planning of water resources is to optimize reservoirs and change the cultivation pattern. In this study, using 40 years discharge data of Kamish River and WEAP model, Harsin dam reservoir which is under study, was simulated. Firstly, by considering different cultivated patterns, the reliability of domestic, industrial, agricultural, and environmental requirements were simulated by WEAP model and the proper crop pattern was selected on the basis of greater sustainability of the system. Then, optimization was performed by minimizing the shortages in downstream of the dam using LINGO model. According to the results, the annual average demands of environment, drip-irrigated gardens, sprinkler-irrigated lands and wastewater waterline, were estimated to be 98.98, 87.51, 89.79, and 95.63%, respectively, while these values obtained from the optimization model were 100, 99.99, 99.21, and 99.12%, respectively, which indicates that the percentage of shortcomings is less than 1%. The average overflow volume in simulation and optimization models were 7.31 and 4.09 million m<sup>3</sup>/year, respectively, which indicates that the optimization model has a lower water lost than the simulation model. Hence, by appropriate planning and management, it is possible to deduct the amount of deficits significantly, especially in the sector of agriculture.

**Keywords:** Reliability, Optimization, Harsin dam, WEAP, LINGO

## شبیه‌سازی و بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد تحت سناریوی تغییر الگوی کشت (مطالعه موردی: سد هرسین)

فاطمه سلیمی مستعلی<sup>۱</sup>، مریم حافظ پرست مودت<sup>۱</sup>، فرهنگ سرگردی<sup>۱\*</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۴/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۵/۵)

### چکیده

باتوجه به افزایش جمعیت، کمبود و محدودیت شدید منابع آب در کشور، یکی از گام‌های اساسی در زمینه‌ی مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب بهینه‌سازی مخازن و تغییر الگوی کشت می‌باشد. در تحقیق حاضر با استفاده از دبی (۴۰ ساله) رودخانه کمیش در مدل WEAP به شبیه‌سازی مخزن سد هرسین که در فاز مطالعاتی قرار دارد پرداخته‌شد. ابتدا با در نظر گرفتن الگوهای کشت مختلف، مقدار اطمینان‌پذیری نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی محاسبه و الگوی کشت مناسب که پایداری بیشتر سیستم را به همراه دارد انتخاب شد. سپس در مدل LINGO بهینه‌سازی با هدف حداقل کردن کمبود نیازهای پایین‌دست سد صورت گرفت. براساس نتایج شبیه‌سازی، میانگین سالانه‌ی درصد تامین نیازهای زیست‌محیطی، اراضی قطره‌ای باغی، اراضی بارانی زراعی و آب‌خور از فاضلاب به ترتیب ۹۸/۹۸، ۸۷/۵۱، ۸۹/۷۹ و ۹۵/۶۳ برآورد شد، این مقادیر در مدل بهینه‌ساز برابر با ۱۰۰، ۹۹/۹۹، ۹۹/۲۱ و ۹۹/۱۲ بود که نشان می‌دهد درصد کمبودها کمتر از ۱٪ می‌باشد. میانگین حجم سرریز در مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ۷/۱۳ و ۴/۰۹ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شد، که نشان داد حالت بهینه نسبت به شبیه‌سازی کمترین هدررفت آب را داشته‌است. بنابراین با برنامه‌ریزی و مدیریت درست می‌توان تا حد قابل توجهی مقدار کمبودها را بخصوص در زمینه کشاورزی کاهش داد.

**واژه‌های کلیدی:** اطمینان‌پذیری، بهینه‌سازی، سد هرسین، ویپ، لینگو.

### مقدمه

ایران جز کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان است. در سال‌های اخیر، افزایش جمعیت، محدودیت منابع آب و توزیع غیریکنواخت آن و همچنین استفاده بی‌رویه از منابع محدود، لزوم مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع موجود را بیش از پیش نمایان ساخته‌است. در زمینه‌ی شبیه‌سازی مطالعات زیادی صورت گرفته‌است از جمله اینکه در پژوهشی مدل برنامه‌ریزی WEAP برای توسعه‌ی کشاورزی در حوضه اهرچای تحت شرایط تغییر اقلیم و سناریوهای مدیریتی پیشنهاد داده‌شد و هدف حداکثر کردن سود خالص محصولات کشاورزی در این منطقه بود که با استفاده از الگوی کشت‌های مختلف راندمان آبیاری بهینه شد (Karamouze et al., 2013). همچنین مطالعه‌ای با استفاده از آمار ۴۰ ساله آب زیرزمینی و منابع آب دشت همدان- بهار سد اکباتان در نرم‌افزار WEAP انجام شده‌است. در ابتدا شرایط فعلی از نظر منابع، مصارف و برداشت مجاز و غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی بررسی و با شرایط در اقصای زمانی آینده مقایسه شد. نتایج نشان داد شهر همدان با منابع آب و روند رشد جمعیت موجود در سال‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۳۰ به ترتیب با کمبود ۱۹/۶ و

۳۴/۳ درصدی مواجه خواهد بود (Fatemi et al., 2016). نتایج حاصل از اجرای مدل WEAP برای مقایسه‌ی شرایط فعلی و آینده بهره‌برداری از منابع آب، حاکی از عملکرد مناسب آن در شبیه‌سازی منابع، مصارف و کمبودها بوده‌است. براین اساس برای بهبود وضع آینده، انجام برخی سناریوهای مدیریتی مانند اصلاح الگوی کشت پیشنهاد شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که اگر مصرف آب به همین روند شرایط فعلی صورت گیرد در بخش‌های مختلف، مصرف آب تا سال ۲۰۲۵، با ۲۶ درصد کمبود مواجه خواهند بود. در نهایت بایستی با استفاده از الگوی کشت اصلاح شده، روش‌های نوین آبیاری و اصلاح شبکه آبرسانی کمبودها را تا سال ۲۰۲۵ به محدوده مجاز برسانند (Mohie and Moussa, 2016). از مدل WEAP برای بهینه کردن تخصیص و مصارف آن در دشت دز بهره گرفته شده‌است. در این راستا اطلاعات حوضه آبریز از سال‌های آبی ۹۲-۸۷ جمع‌آوری و سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب تحت سناریوهای مختلف اجرا شد، تغییر الگوی کشت و تغییر درصد کشت آبی و دیم از جمله سناریوهایی بود که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. هدف حداکثر کردن سود به هزینه بود که نتایج نشان داد تغییر الگوی کشت

سد در تحقیق حاضر با استفاده از مدل‌های WEAP و LINGO به ارزیابی وضعیت برنامه‌ریزی منابع آب منطقه مورد مطالعه تحت سناریو تغییر الگوی کشت پرداخته می‌شود.

### مواد و روش‌ها

سد مخزنی هرسین که در فاز مطالعاتی قرار دارد، واقع در ۵۳ کیلومتری شرق کرمانشاه و در حوالی شهرستان هرسین قرار دارد به مختصات  $20^{\circ} 39' 47''$  طولی و  $34^{\circ} 15' 42''$  عرضی و در ارتفاع  $1452/5$  متری بالای سطح آزاد دریا در محدوده شرقی این شهرستان به سمت همدان و در فاصله  $4/5$  کیلومتری جنوب شهر هرسین بر روی رودخانه‌ی کمیش از سر شاخه‌های رودخانه گاماسیاب و در حوضه آبریز رودخانه سیمره واقع شده‌است. رودخانه گاماسیاب پس از تلاقی با رودخانه قره‌سو، رودخانه سیمره را تشکیل داده و پس از تلاقی با رودخانه‌های چرداول و کشکان به رودخانه کرخه منتهی می‌شود. بخش عمده آبدهی رودخانه کمیش از چشمه سرآب هرسین که دارای منشا کارستی است و در شهر هرسین واقع است تامین می‌شود. متوسط آبدهی دراز مدت سالانه چشمه سرآب هرسین  $36/3$  میلیون متر مکعب می‌باشد.

### شبیه‌سازی

نرم‌افزار WEAP بر اساس معادلات پایه بیلان آبی (معادله ۱) عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم رودخانه‌ای پیچیده به کاربرد. علاوه بر این WEAP می‌تواند طیف گسترده‌ای از اجزای طبیعی و مهندسی از سیستم‌ها، از جمله بارش رواناب، جریان پایه، و تغذیه آب‌های زیرزمینی از بارش را شبیه‌سازی کند. از کاربردهای این مدل می‌توان به تجزیه و تحلیل تقاضای منطقه‌ای، حفاظت از آب، حقایقه‌ها و اولویت تخصیص، بهره‌برداری از مخزن، تولید انرژی برقایی، روندیابی آلودگی و کیفیت آب، ارزیابی آسیب‌پذیری و الزامات زیست‌محیطی اشاره کرد. مزیت اصلی WEAP در رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها می‌باشد (Fatemi et al., 2016)

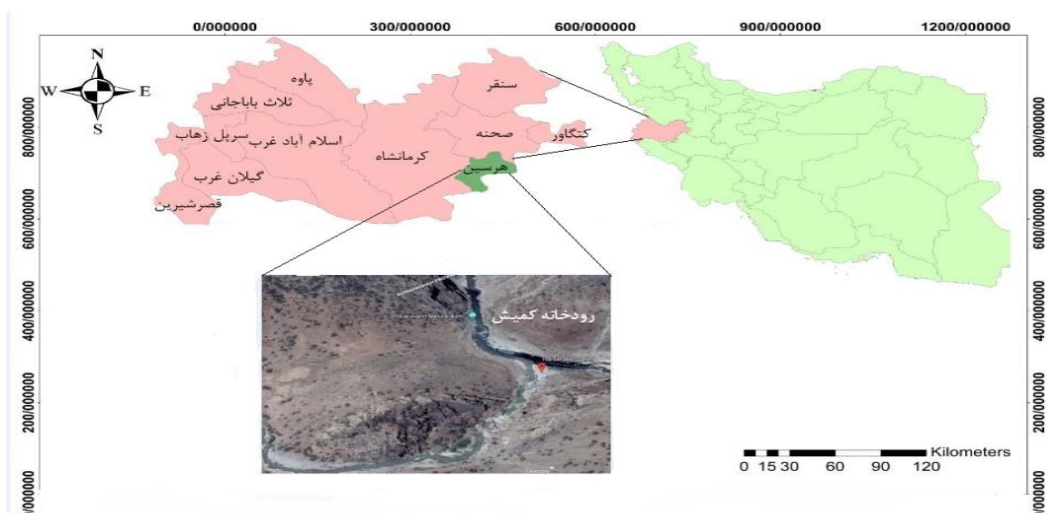
$$S_{t+1} = S_t + Q_t - E_t - R_t - spill \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه بالا  $S_{t+1}$  حجم ذخیره در دوره  $t+1$  و  $S_t$ ،  $Q_t$ ،  $E_t$ ،  $R_t$  و  $spill$ ، به ترتیب حجم ذخیره ابتدای دوره  $t$ ، جریان ورودی، میزان تبخیرخالص، حجم رهاسازی و سرریز در همان دوره می‌باشند. مدل WEAP بر اساس روش بهره‌برداری استاندارد SOP عمل می‌کند، در این روش خروجی تابعی از کل آب در دسترس است.

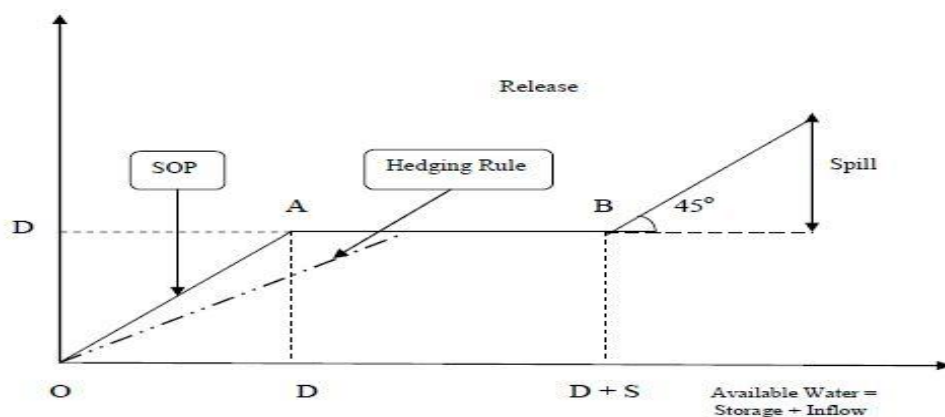
میزان درصد کمیود نیازها ۱۵ درصد کاهش یافت و همچنین تغییر کشت آب و دیم باعث کاهش ۴۸ درصدی مصرف آب شد (Shahvali kohshori et al., 2018). پژوهش‌های زیادی نیز در زمینه‌ی بهینه‌سازی مخزن سد وجود دارد، در تحقیقی به‌منظور حداکثر کردن منافع اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی برای نیازهای شهری، کشاورزی و صنعتی شهر دالیان چین برنامه‌ریزی خطی (LP) توسعه داده شد. نتایج حاصله حاکی از این بود که آب ناشی از تصفیه و آب مصرفی کشاورزی نسبت به مقدار کل به ترتیب افزایش و کاهش یافت (Han et al., 2008). مدل برنامه‌ریزی خطی (LP) و رویکرد تخصیص بهینه آب نیازهای پایین‌دست سد ستارخان برای حوضه رودخانه اهرچای واقع در استان آذربایجان شرقی مورد ارزیابی قرار گرفت. نیاز آبی محصولات باغی و زراعی با استفاده از مدل CROPWAT استخراج و با مدل LP تاثیر سناریوهای مختلف مدیریتی را بر تامین نیازهای پایین‌دست سد بررسی شد. با توجه به اینکه هدف حداکثر سازی سود خالص از بخش کشاورزی بود الگو و سطح کشت بهینه محصولات بدست آمد (Zeynodini et al., 2016).

در تحقیقی مشابه با پژوهش حاضر، وضعیت منابع آب منطقه‌ی دشت تاکستان از لحاظ سناریوهای مختلف تخصیص آب مورد بررسی قرار گرفته‌است و منابع آب سطحی و زیرزمینی به مصارف موجود، قبل و بعد از احداث سد نهب مقایسه شده‌است. این مطالعات با استفاده از مدل‌های WEAP و LINGO صورت گرفت و نتایج نشان داد که با احداث سد نهب در شرایط آبیاری سطحی افزایش سطح زیر کشت به  $10000$  هکتار و در شرایط آبیاری تحت فشار به  $16000$  هکتار خواهد رسید. (Hafezparast et al., 2009). در پژوهشی دیگر سیاست‌های تخصیص آب مورد نیاز آبیاری در پایین‌دست شبکه آبیاری آیدوغموش تحت شرایط تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. شبیه‌سازی عملکرد مخزن در تامین تقاضای آب با توجه به سیاست عملیاتی استاندارد (SOP) و مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی WEAP و همچنین از نرم‌افزار LINGO به منظور حداقل کردن کمبودها در هر دوره استفاده شد (Ashofteh et al., 2013). در مطالعه‌ای یک سیستم پویا (WEAP) برای مدیریت منابع آب در یک حوضه در ایران برای دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) تحت مدل‌های تغییر اقلیم اعمال شد. نتایج نشان داد دبی ورودی به مخزن در این حوضه کاهش و تقاضا برای آبیاری افزایش یافته‌است. در تحقیقات دیگر، این پژوهشگر برنامه کاربردی ژنتیک را برای مخزن تحت تغییرات آب و هوایی اجرا شد و طبق نتیجه بدست آمده شاخص قابلیت اطمینان برای تامین آب در دوره آینده و آسیب‌پذیری در مقایسه با دوره پایه کاهش و افزایش می‌یابند (Ashofteh et al., 2017a, 2017b).

با توجه به اهمیت برنامه‌ریزی در بهره‌برداری بهینه از مخزن



شکل ۱: نقشه منطقه مطالعاتی سد مخزنی هرسین (شهرستان هرسین)



شکل ۲: منحنی روش بهره‌برداری استاندارد SOP

زیست‌محیطی رهاسازی می‌شود که مقدار آن برابر ۵ میلیون مترمکعب در سال است.

### بهینه‌سازی

نرم‌افزار LINGO مجموعه ابزار گسترده‌ای برای طراحی و حل مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی به بهترین و ساده‌ترین شکل است که از کارایی بالایی نیز برخوردار است. LINGO یک بسته نرم‌افزار یکپارچه است که برای ساخت، ویرایش و حل انواع مختلفی از مسائل بهینه‌سازی کاربرد دارد. در این تحقیق به بهینه‌سازی سد مخزنی هرسین با هدف کاهش درصد کمبود نیازهای پایین‌دست سد در نرم‌افزار LINGO پرداخته خواهد شد که شکل ریاضی تابع هدف بصورت زیر خواهد بود:

$$\text{Minimize} = \sum_{t=1}^n \left( \frac{D_t - R_t}{D_t} \right)^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

محدودیت‌هایی که برای مخزن و نیازها بایستی در نظر گرفته شود به شرح زیر است:

$$S_{\min} \leq S_t \leq S_{\max} \quad (\text{رابطه ۳})$$

باتوجه به شکل (۲) چنان‌چه آب در دسترس کمتر یا برابر با مقدار تقاضا باشد، کل آب در دسترس برای تامین نیازها رها می‌شود و مخزن در این مرحله خالی می‌باشد (شاخه OA). در صورتی که آب در دسترس بیشتر از نیاز باشد، مقدار آب اضافه بر نیاز ذخیره می‌شود تا جایی که در بیشینه ظرفیت مخزن شروع به سرریز شدن می‌کند (شاخه AB و BC). در روش SOP بیشترین اولویت با رهاکردن آب برای مصارف اقتصادی کنونی است.

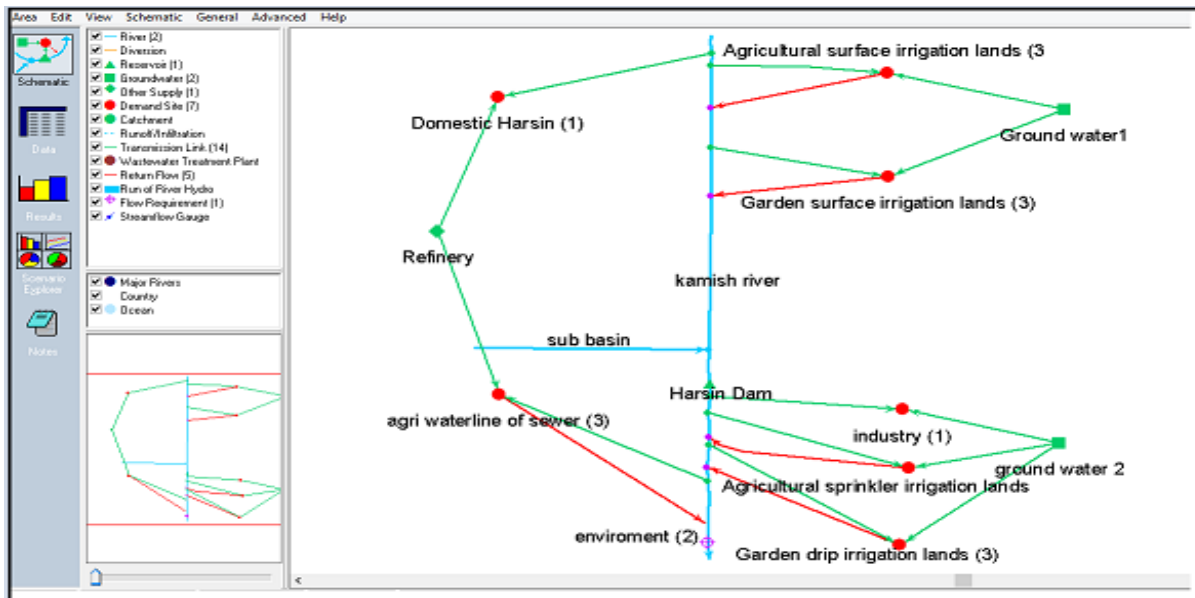
در بالادست سد، رودخانه کمیش که چشمه هرسین به آن می‌ریزد به گونه‌ای است که نیازهای شهری و کشاورزی (شامل اراضی سطحی زراعی و سطحی باغی) از آبخوان بالادست و چشمه سرآب هرسین تامین می‌شوند. در پایین‌دست سد نیازهای صنعت (سالانه ۱۰ میلیون مترمکعب)، اراضی بارانی زراعی، قطره‌ای باغی که از مخزن سد و آبخوان پایین‌دست آب می‌گیرند و زمین‌های کشاورزی (که منابع تامین این اراضی تصفیه‌خانه و مخزن سد می‌باشد) مشاهده می‌شوند. در انتهای رودخانه حقایبه

$G_{min}$  و  $G_{max}$  به ترتیب حداقل و حداکثر برداشت آب زیرزمینی در دوره  $t$  و  $D_t$  مقدار نیاز در دوره  $t$  می‌باشند.

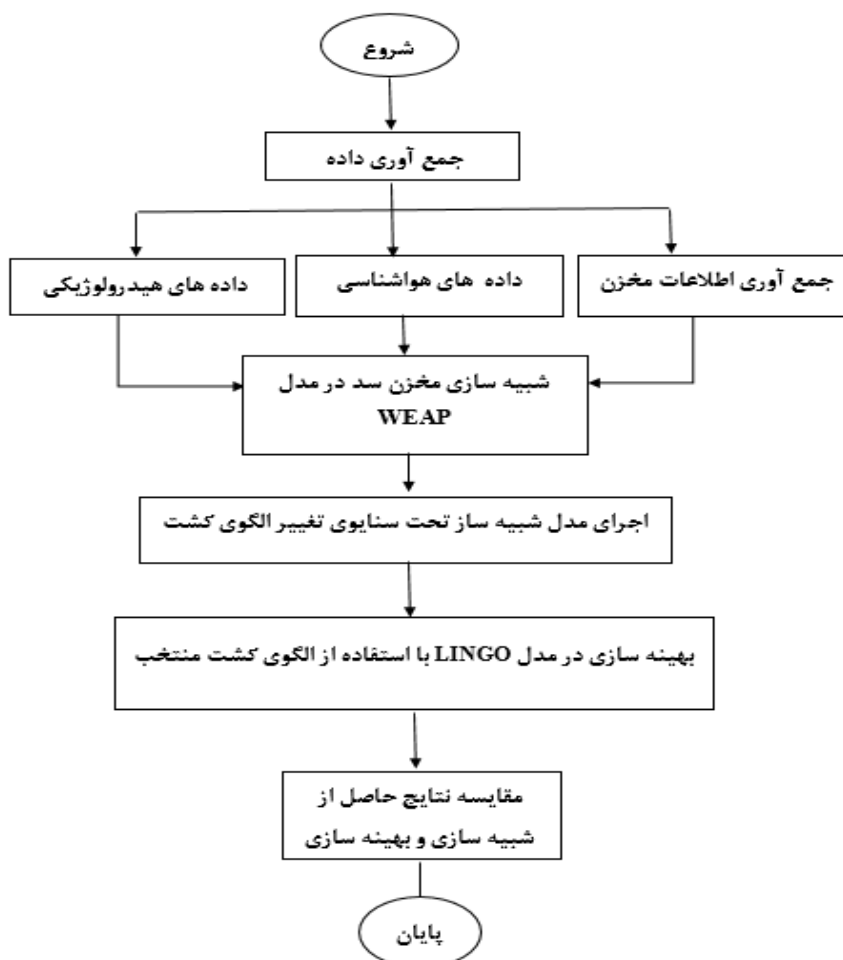
(رابطه ۴)  $G_{min} \leq G_t \leq G_{max}$

(رابطه ۵)  $R_t \leq D_t$

$S_{min}$  و  $S_{max}$  به ترتیب حداقل و حداکثر ذخیره در دوره



شکل ۳: مدلسازی سیستم منابع، مصارف سد هرسین در نرم‌افزار WEAP



شکل ۴: مراحل انجام تحقیق

دریاچه سد مخزنی هرسین می باشد که در جدول (۲) موجود می باشد.

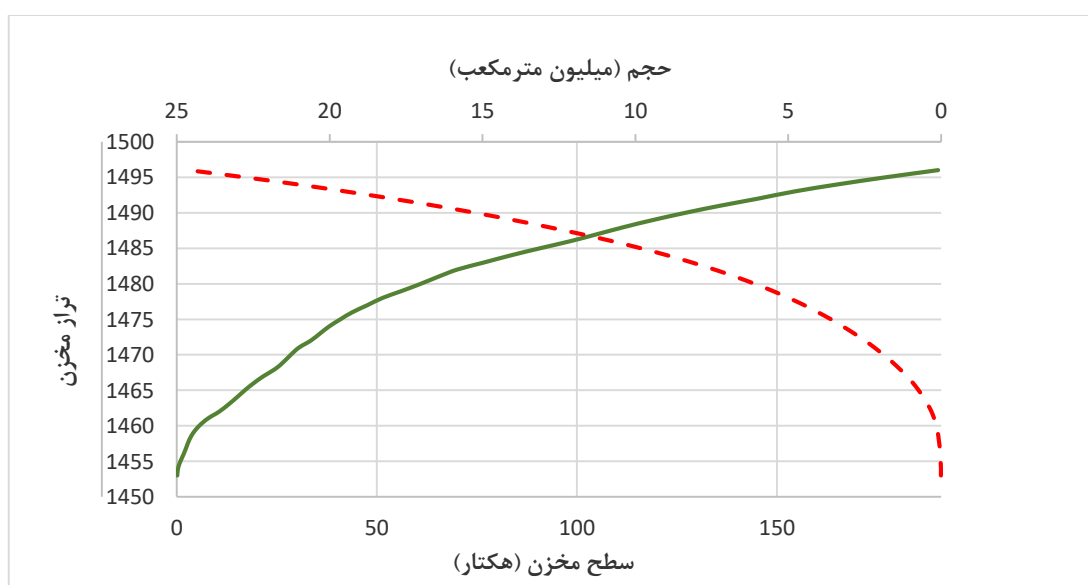
داده‌ها و اطلاعات طرح

مشخصات مخزن سد هرسین بر اساس اطلاعات اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه استخراج شد که در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین بر اساس نقشه‌های توپوگرافی مخزن سد هرسین با مقیاس ۱:۲۵۰۰، منحنی‌های حجم-سطح-ارتفاع مخزن ترسیم شد که در شکل (۵) نشان داده شده است (Studies (first phase of Harsin Dam, 2012).

پارامترهای هواشناسی مورد نیاز شامل مقادیر متوسط ماهانه تبخیر از سطح آزاد و مقدار بارندگی متوسط ماهانه در محل

جدول ۱: مشخصات مخزن سد هرسین

مشخصات	مقادیر
حجم مخزن در تراز عادی بهره‌برداری	۱۶/۶ میلیون مترمکعب
حجم مخزن در تراز حداقل بهره‌برداری	۰/۷ میلیون مترمکعب
ارتفاع نرمال مخزن	۳۸/۵ متر
رقوم نرمال مخزن	۱۴۹۱ متر بالای سطح آزاد دریا
رقوم حداقل بهره‌برداری	۱۴۶۵ متر بالای سطح آزاد دریا
مساحت حوضه آبریز در محل سد	۱۵۴ کیلومترمربع



شکل ۵: منحنی حجم-سطح-ارتفاع سد هرسین

جدول ۲: پارامترهای هواشناسی دریاچه‌ی سد (شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه)

ماه	بارندگی (میلی متر)	تبخیر (میلی متر)
مهر	۹/۹۳	۱۷۲/۹
آبان	۴۴/۳۵	۸۶/۲
آذر	۶۴/۱۳	۴۲/۷
دی	۵۴/۲۷	۳۳/۵
بهمن	۲۳/۵۴	۳۲/۷
اسفند	۷۷/۰۹	۶۶
فروردین	۵۳/۸۲	۱۱۰/۲
اردیبهشت	۳۹/۱۵	۱۴۷/۱
خرداد	۲/۴۱	۲۳۹
تیر	۰/۳	۳۲۳/۳
مرداد	۰/۱۶	۳۱۹/۵
شهریور	۰/۱۶	۲۶۰/۶

منابع آبی طرح

منابع آبی موجود که مقادیر متوسط درازمدت سالانه آن‌ها عبارتند از: آبدهی سرآب هرسین ۳۶/۳ میلیون مترمکعب، رواناب ناشی از بارش در حوضه آبریز ۶/۷۷ میلیون مترمکعب، رواناب حوضه میانی ۸/۰۶ آبخوان بالادست و پایین دست به ترتیب ۰/۳ و ۲/۱ میلیون مترمکعب می‌باشند. دبی در یک دوره ۴۰ ساله (۱۹۷۸-۲۰۱۷) بصورت ماهانه به مدل داده شده است (شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه).

نیاز صنعت، آب شهری و کشاورزی هرسین در شرایط طرح

نیاز آب صنعتی سهم سد مخزنی هرسین برای مصارف آینده پالایشگاه در دست ساخت کرمانشاه حدود ۱۰ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. مقادیر ماهانه نیاز آب صنعتی در تمام ماه‌ها یکسان در نظر گرفته شده که برابر ۰/۸۳ میلیون مترمکعب است (شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه). بر اساس استعلام انجام شده از شرکت آب و فاضلاب استان کرمانشاه، نیاز آبی شهر هرسین با جمعیت ۵۳۶۰۰ نفر در سال ۱۳۸۵ به مقدار ۴/۹

میلیون مترمکعب در سال از چشمه سرآب هرسین تامین می‌گردد. بر اساس آب مصرفی سالانه و جمعیت شهر هرسین در سال ۱۳۸۵، مصرف سرانه آب شهری هرسین ۲۵۰ لیتر در شبانه روز خواهد بود که شامل تلفات آب از شبکه، نیازهای فضای سبز آتش نشانی و مصارف عمومی هم می‌گردد. باتوجه به اینکه افزایش جمعیت در افق طرح (سال ۱۴۱۵)، با نرخ رشد حدود ۱/۲ درصد در سال، از ۵۳۶۰۰ به ۷۶۷۱۲ نفر خواهد رسید و با فرض اینکه نیاز سرانه مصرف آب در شرایط آینده با مقدار فعلی برابر در نظر گرفته شود مقدار نیاز سالانه آب شهری ۷ میلیون مترمکعب در سال در افق طرح خواهد بود.

نیاز شهری، کشاورزی و اراضی باغی در جدول (۳) ارائه شده است.

برای بهبود وضعیت آبیاری اراضی واقع در دره کمیش، سه الگوی کشت زراعی سازگار با اقلیم، شرایط محلی، اجتماعی، اقتصادی و زراعی به شرح جدول (۴) است.

جدول ۳: مقادیر نیازهای شهری و کشاورزی (میلیون متر مکعب)

ماه	نیاز شهری	اراضی آبخور از فاضلاب	اراضی باغی سطحی	اراضی باغی قطره‌ای
مهر	۰/۶۶۸	۰/۴۲	۰/۲۲۵	۰/۰۸۲
آبان	۰/۶۵۶	۰/۰۱۱	.	.
آذر	۰/۵۵۹	.	.	.
دی	۰/۵۶۵	.	.	.
بهمن	۰/۵۲۹	.	.	.
اسفند	۰/۴۸۴	.	.	.
فروردین	۰/۵۵۲	۰/۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۰۹
اردیبهشت	۰/۷۰۸	۰/۸۳	۰/۱۸۷	۰/۰۶۸
خرداد	۰/۶۸۳	۱/۰۱	۰/۵۲۹	۰/۱۹
تیر	۰/۷۰۸	۱/۰۷	۰/۷۴۸	۰/۲۷۲
مرداد	۰/۶۷۲	۰/۹۴	۰/۷۴۳	۰/۲۷۰
شهریور	۰/۶۶۵	۰/۴۰	۰/۵۴	۰/۱۹۷

جدول ۴: الگوی کشت اراضی زراعی (میلیون مترمکعب)

ماه	نیاز آبی الگوی کشت اراضی سطحی زراعی		نیاز آبی الگوی کشت اراضی بارانی زراعی	
	شماره ۱	شماره ۲	شماره ۳	شماره ۴
مهر	۰/۲۰۹	۰/۲۰۵	۰/۲۱۷	۰/۶۱۳
آبان	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۴۳
آذر	.	.	.	.
دی	.	.	.	.
بهمن	.	.	.	.
اسفند	.	.	.	.
فروردین	۰/۱۱۷	۰/۱۵۹	۰/۱۶۶	۰/۳۹۴
اردیبهشت	۰/۴۹	۰/۴۶۴	۰/۴۶۵	۱/۱۶
خرداد	۰/۷۳	۰/۸۰۹	۰/۸۴۶	۲/۶۱
تیر	۰/۸۸	۱/۰۵	۱/۱۱	۳/۵۶
مرداد	۰/۷۸۶	۰/۹۱۹	۱/۰۳	۳/۱۲
شهریور	۰/۳۷	۰/۴۵۸	۰/۵۵۴	۱/۴۸

به آب تابستانه اراضی خود را به دو قسمت تقسیم و بخشی را تحت کشت محصولات صیفی و بخشی را تحت کشت محصولات شتوی قرار دهند. جدول (۵) درصد کشت هر یک از محصولات در سه الگوی کشت ارائه شده را نشان می‌دهد.

#### حقابه زیست محیطی

در جدول (۶) مقادیر ماهانه حقابه زیست محیطی رودخانه کمیش بر اساس حالت « کیفیت حیات آبریان در رودخانه در حد قابل قبول » روش تنانت ارائه شده است.

ترکیب الگوی کشت‌های مختلف در محدوده‌ی مطالعاتی تحت تاثیر منابع آب در دسترس، شرایط اقلیمی منطقه و اقتصاد تولید محصولات، شکل گرفته است. در شرایط حاضر فعالیت‌های کشاورزان در منطقه متحول شده و کشاورزان به اقتصاد محصول توجه خاصی مبذول می‌نمایند. منطقه مطالعاتی از نظر اقلیمی دارای آب و هوای نیمه خشک سرد است لذا به دلیل طولانی بودن دوره‌ی سرمای زمستانه و محدودیت طول فصل رویش نباتات، امکان کشت مجدد و افزایش تراکم با محدودیت‌هایی مواجه می‌باشد و این امر باعث شده است که زارعین، در صورت دسترسی

جدول ۵: درصد کشت محصولات مختلف در سه الگوی کشت

درصد کشت محصولات اراضی بارانی زراعی			درصد کشت محصولات اراضی سطحی زراعی			محصولات
شماره ۳	شماره ۲	شماره ۱	شماره ۳	شماره ۲	شماره ۱	
۱۹/۷۷	۲۳/۵۴	۲۹/۵۵	۲۵	۲۵/۸۸	۳۴/۱۲	گندم
۱۰/۴۶	۱۱/۷۶	۱۴/۷۵	۱۱/۹	۱۵/۲۹	۱۶/۴۷	جو
۱۱/۶۳	۱۱/۷۶	۱۰/۲۳	۱۱/۹	۹/۴۱	۵/۸۸	چغندر قند
۱۶/۲۸	۱۱/۷۶	۱۰/۲۳	۱۴/۲۹	۱۱/۷۶	۱۱/۷۶	یونجه
۱۰/۴۶	۱۰/۵۹	۱۰/۲۳	۵/۹۵	۱۱/۷۶	۵/۸۸	ذرت علوفه‌ای
۸/۱۴	۵/۸۸	۴/۵۵	.	.	.	ذرت دانه‌ای
.	.	.	۱۱/۹	۹/۴۱	۵/۸۸	پياز
۱۷/۴۴	۱۴/۱۲	۱۰/۲۳	۱۱/۹	۹/۴۳	۵/۸۸	سیب زمینی
.	.	.	۷/۱۶	۷/۰۶	۵/۸۸	گوجه فرنگی
.	.	.	.	.	۸/۲۵	لوبیا
۵/۸۲	۱۰/۵۹	۱۰/۲۳	.	.	.	سویا

جدول ۶: مقادیر ماهانه نیاز حقابه زیست محیطی (مترمکعب بر ثانیه)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
حقابه	۰/۰۵	۰/۰۴۶	۰/۰۵۳	۰/۰۶۵	۰/۰۹۵	۰/۰۱۴۱	۰/۴۴۶	۰/۵۶۲	۰/۳۴۷	۰/۲۶۶	۰/۲۱۷	۰/۱۸۲

به دو الگوی دیگر افزایش می‌یابد.

در صورتی که الگوی کشت شماره ۲ به کار گرفته شود بیشترین میزان کمبود را نیازهای کشاورزی دارند که درصد کمبود برای اراضی آبخور از فاضلاب ۳/۹۷٪، اراضی قطره‌ای باغی، سطحی باغی، سطحی زراعی و بارانی زراعی به ترتیب ۱۰/۷۹، ۱۵/۸۴، ۱۳/۶۶ و ۸/۸۲ درصد خواهد بود. نیازهای صنعت، شهری و زیست محیطی دارای کمبود ناچیزی هستند که مقادیر درصد کمبود به ترتیب برابر ۰/۱۹، ۰/۲۶ و ۱/۱۷ درصد است.

همانطور که شکل (۶) نشان می‌دهد در صورتی که از الگوی کشت ۲ استفاده شود حجم ماهانه مخزن بیشتر از حالتی است که الگوهای کشت ۲ و ۳ به کار گرفته شود.

مقدار سالانه حقابه زیست محیطی رودخانه کمیش ۶/۶ میلیون مترمکعب یا به طور متوسط ۲۰۸ لیتر در ثانیه می‌باشد. در شرایط موجود در فصل زراعی حقابه زیست محیطی توسط زارعین برای آبیاری اراضی کشاورزی به کار برده شده است.

#### یافته‌ها

به منظور تامین نیازهای شرب، کشاورزی، صنعت و حقابه زیست محیطی شبیه‌سازی مخزن سد هرسین در مدل WEAP با الگوهای کشت مختلف برای نیاز کشاورزی زراعی بالا و پایین دست سد انجام شد. جدول (۷) نشان می‌دهد در صورت استفاده از الگوی کشت شماره ۲ اطمینان پذیری سیستم نسبت

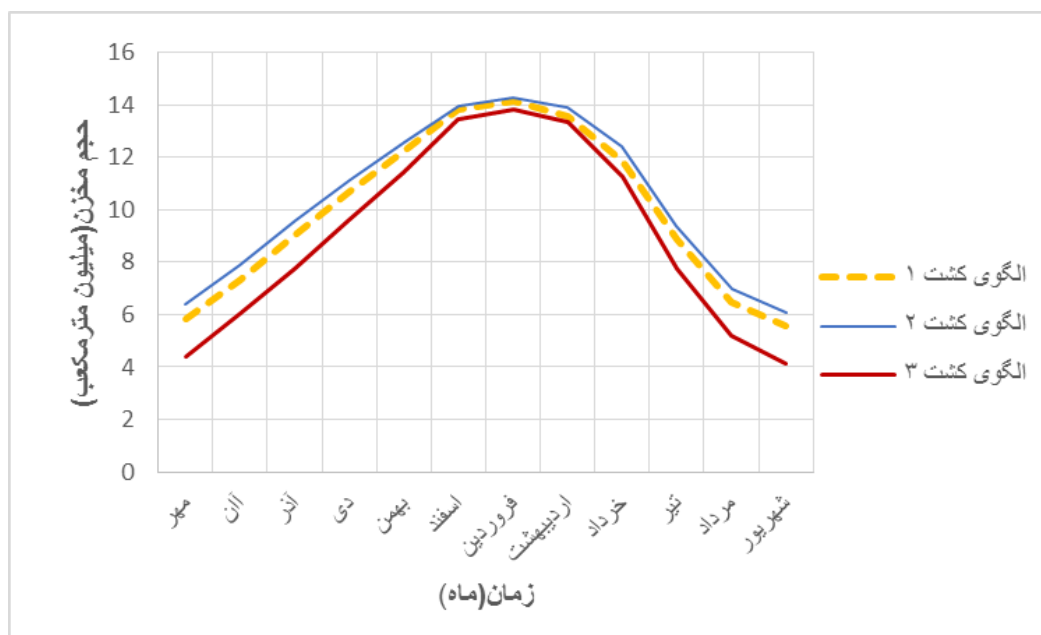


زیرزمینی، در تمام موارد برداشت از آبخوانها کمتر از آبهای سطحی می باشد. از این رو ابتدا برداشت از آبهای سطحی صورت گرفته و در صورت نیاز از آب زیرزمینی استفاده شده است.

در جدول (۸) میزان برداشت هریک از نیازهای بالا و پایین دست سد از منابع آبی موجود و در نهایت تامین سالیانه تقاضاها آورده شده است. به منظور جلوگیری از افت زیاد آب

جدول ۷: مقادیر اطمینان پذیری سه الگوی کشت

نیازها	اطمینان پذیری الگوی کشت ۱	اطمینان پذیری الگوی کشت ۲	اطمینان پذیری الگوی کشت ۳
اراضی آبخور از فاضلاب	۹۴/۵۸۳	۹۵/۲۰۸	۹۲/۵
اراضی قطره ای باغی	۹۱/۴۵۸	۹۲/۷۰۸	۸۹/۳۷۵
اراضی سطحی باغی	۸۵/۴۱۷	۹۰/۲۰۸	۸۴/۳۷۵
اراضی بارانی زراعی	۹۱/۴۵۸	۹۲/۷۰۸	۸۹/۳۷۵
اراضی سطحی زراعی	۸۵/۴۱۷	۹۰/۲۰۸	۸۴/۳۷۵
صنعت	۹۸/۷۵	۹۸/۷۵	۹۸/۷۵
نیاز شهری	۹۹/۵۸۳	۹۹/۵۸۳	۹۹/۵۸۳
نیاز زیست محیطی	۹۷/۷۰۸	۹۷/۹۱۷	۹۷/۵



شکل ۶: حجم ماهانه مخزن تحت سناریو تغییر الگوی کشت

جدول ۸: مقادیر برداشت نیازها از منابع آبی (میلیون مترمکعب)

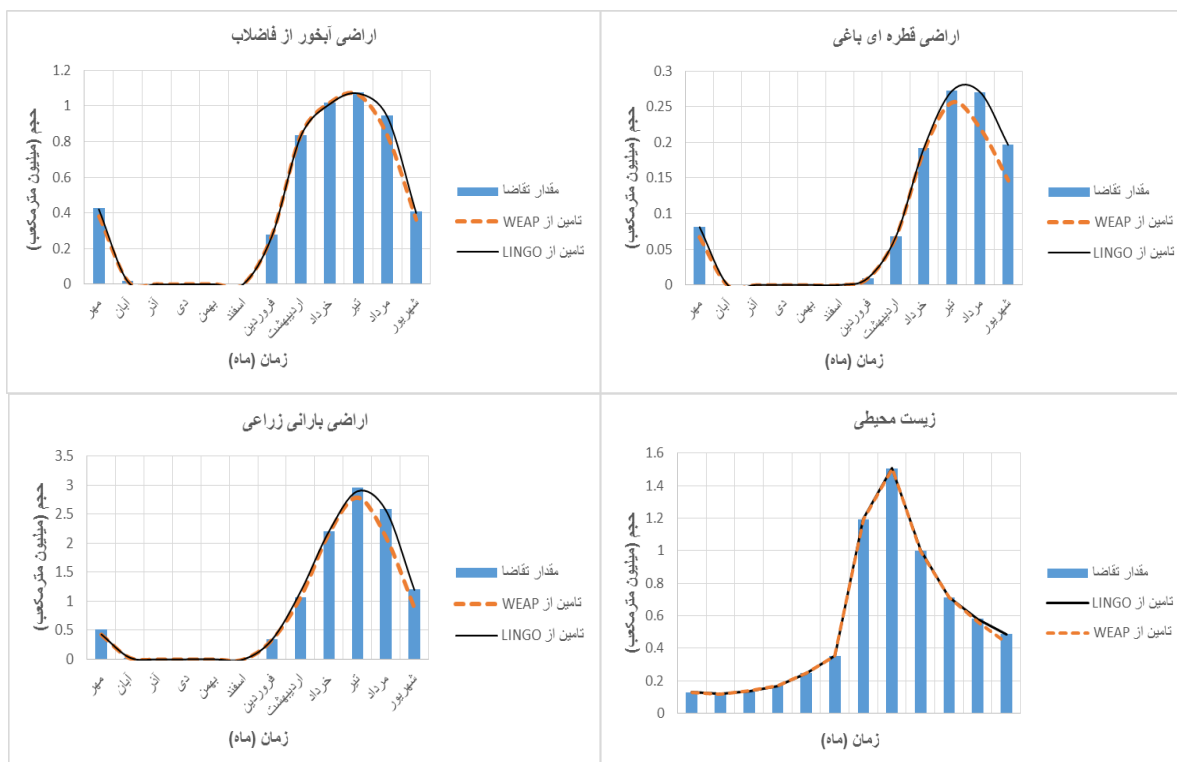
نیازها	چشمه هرسین	آبخوان بالادست	آبخوان پایین دست	تصفیه خانه	سد هرسین	تامین سالیانه
اراضی آبخور از فاضلاب	۰	۰	۰	۴/۷۶	۰/۰۴	۴/۸
اراضی قطره ای باغی	۰	۰	۰/۱۶	۰	۰/۸۱	۰/۹۷
اراضی سطحی باغی	۲/۳	۰/۲۲	۰	۰	۰	۲/۵۲
اراضی بارانی زراعی	۰	۰	۱/۸۶	۰	۹/۲۲	۱۱/۰۸
اراضی سطحی زراعی	۰/۳	۰/۰۵	۰	۰	۰	۰/۳۵
صنعت	۰	۰	۰/۰۸	۰	۹/۹	۹/۹۸
نیاز شهری	۳/۷۲	۰	۰	۳/۷۳	۰	۷/۴۵



شکل ۷: درصد پر و خالی بودن مخزن

حجم مرده به ترتیب ۱۰ و ۱۲٪ است. بنابراین با توجه به اینکه الگوی کشت شماره ۲ مناسب‌ترین الگو به دلیل بالابودن درصد رسیدن به ارتفاع نرمال و همچنین از نظر افزایش درصد تامین می‌باشد، با انتخاب این الگوی کشت بهینه‌سازی سد در مدل LINGO انجام می‌شود.

در شرایط شبیه‌سازی و با بکارگیری الگوی کشت ۲، ۲۳٪ مواقع مخزن سد پر می‌باشد و ارتفاع آب در رقوم نرمال (۱۴۹۱ متری) قرار می‌گیرد. همچنین ۸٪ مواقع مخزن سد کاملاً خالی بوده و به حجم مرده می‌رسد (شکل ۷). اما درصد پر بودن مخزن در الگوی کشت ۱ و ۳ به ترتیب ۲۰ و ۱۸٪ و درصد رسیدن به



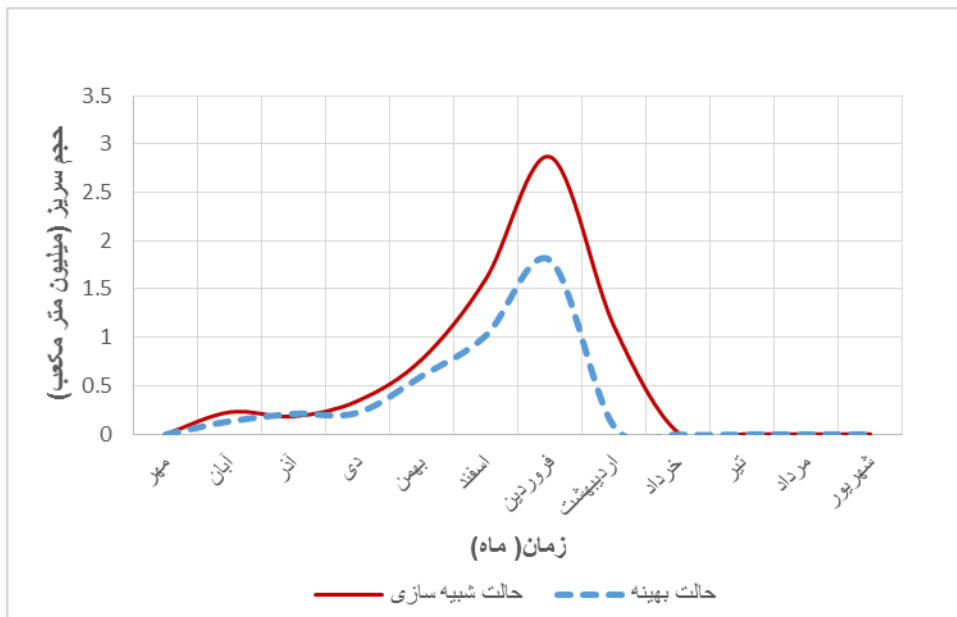
شکل ۸: تامین نیازهای پایین دست سد در شرایط شبیه‌سازی و بهینه

وجود ندارد و ذخیره آب سدها کم خواهد بود عرضه آب نیز کاهش می‌یابد. بنابراین با بهینه کردن مخزن سد می‌توان کمبود را در این ماه‌ها جبران کرد که این موضوع با توجه به نمودارهای اشاره

شکل (۸) میزان تامین نیازهای پایین دست سد را در شرایط شبیه‌سازی و بهینه‌سازی نشان می‌دهد، همانطور که مشخص است در ماه‌های گرم سال (تیر، مرداد و شهریور) که بارندگی

بارانی زراعی و آبخور از فاضلاب به ترتیب ۱۲/۳۹، ۹/۴۲ و ۳/۵ بوده است. نمودار نیاز صنعت به دلیل مقدار خیلی ناچیز کمبود و محدود بودن نمودارها ارائه نشده است.

شده اتفاق افتاده است. در حالت بهینه نیاز زیست محیطی نسبت به حالت شبیه سازی شده مقدار تامین ۱/۰۳٪ افزایش داشته، این افزایش درصد تامین برای نیازهای کشاورزی قطره ای باغی،



شکل ۹: نمودار سرریز در حالت شبیه سازی و بهینه سازی

استفاده از مدل بهینه سازی LINGO درصد تامین نیازهای پایین دست سد با کاهش دادن سرریز از مخزن به بالای ۹۹ درصد افزایش یافت.

با مقایسه این تحقیق با پژوهش های مشابه صورت گرفته می توان به این نتیجه رسید که مدل استفاده شده برای برنامه ریزی منابع آب تحت سناریوهای مختلف مدیریتی از جمله تغییر اولویت، تغییر الگوی کشت، تغییر اقلیم و ... کاربرد دارد. در پژوهشی که مربوط به (Ashofteh et al. (2013 است، سیاست های تخصیص آب مورد نیاز آبیاری در پایین دست شبکه آبیاری آیدوغموش ارزیابی شد و سناریوهایی که مورد استفاده قرار گرفت مربوط به تغییر اقلیم بود. شبیه سازی و بهینه سازی نیز در مدل های WEAP و LINGO به منظور حداقل کردن کمبودها صورت گرفت. همچنین (Shahvali kohshori et al. (2018 در پژوهشی با هدف بهینه کردن تخصیص و مصارف آب در دشت دز از مدل WEAP استفاده کردند. آنها با تغییر الگوی کشت و تغییر درصد کشت آبی و دیم میزان کمبود و مصرف آب را به ترتیب ۱۵ و ۴۸ درصد کاهش دادند. نتایج بهینه سازی مطالعات (Mohie and Moussa (2016، (Karamouze et al. (2013 و (Zeynodini et al. (2016 نیز با یافته های این پژوهش همخوانی دارد، بنابراین به منظور مدیریت و برنامه ریزی درست سیستم های منابع آب می توان از سناریوها و راهکارهای پیشنهاد شده استفاده نمود.

بهینه سازی مخزن سد علاوه بر اینکه باعث افزایش درصد تامین نیازهای پایین دست سد شد، بر روی میزان سرریز نیز تاثیر گذاشت، طوری که کاهش ۴۲/۷ درصدی سرریز را به دنبال داشت (شکل ۹). می توان گفت از آب ذخیره شده در مخزن با کمترین هدر رفت عرضه ای آب با بالاترین اطمینان پذیری صورت گرفته است.

### بحث

همانطور که ملاحظه شد، با اعمال سناریوهای تغییر الگوی کشت در مدل شبیه ساز WEAP، الگوی کشت مناسب جهت افزایش اطمینان پذیری و پایداری سیستم انتخاب شد. نیازهای شرب و صنعت به دلیل اینکه اولویت اول به آنها اختصاص داده شده با کمبود بسیار ناچیزی مواجه هستند. با توجه به اینکه میانگین درصد کمبود سالانه ای نیازهای اراضی آبخور از فاضلاب، اراضی قطره ای باغی، اراضی بارانی زراعی و حقایه زیست محیطی در حالت شبیه سازی به ترتیب برابر با ۴/۳۷، ۱۲/۴۹، ۱۰/۲۱ و ۱/۰۲ است، این مقادیر در شرایط بهینه سازی به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۰۱، ۰/۷۹ و درصد کمبود زیست محیطی برابر با صفر برآورد شده است. همچنین با بهینه سازی، حجم سرریز از ۷/۱۳ به ۴/۰۹ میلیون مترمکعب در سال کاهش یافته است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که با بهینه سازی بهره برداری از مخازن سدها می توان درصد کمبود نیازها را تا حد مطلوبی کاهش داد، که در این پژوهش با

## نتیجه‌گیری

در صورت وجود کمبود از آب زیرزمینی استفاده شد. در نهایت میزان هدررفت و سرریز از مخزن سد با استفاده از روش بهینه‌سازی ۴۲/۷٪ کاهش یافت که این رقم قابل توجه می‌باشد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که مدل بهینه‌ساز عملکرد بهتری را نسبت به شبیه‌ساز دارد اما نتایج حاصل از شبیه‌سازی به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد، علت این امر این است که در بهینه‌سازی به دفعات مختلف از ابتدا به انتهای سیستم بررسی می‌شود و بهترین حالت ممکن برای تخصیص آب به تمامی نیازها انتخاب خواهد شد.

## پیشنهادات

- بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های کاوشی و فراکاوشی و عدم قطعیت بررسی گردد.
- سناریوهای تغییر اقلیم در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ارزیابی شود.
- همچنین می‌توان سود حاصل از الگوی کشت‌های مختلف را بهینه کرد.

هدف از این تحقیق، مدیریت و برنامه‌ریزی سد هرسین بود. برای این منظور با استفاده از الگوهای کشت مختلف به بررسی اطمینان‌پذیری و پایداری سیستم منابع آب پرداخته شد. سپس با توجه به مطلوب‌ترین حالت بهره‌برداری، مناسب‌ترین الگوی کشت انتخاب شد. با اعمال الگوی کشت منتخب حداکثر درصد کمبودی که سیستم با آن مواجه بود مربوط به نیاز کشاورزی سطحی باغی بود که برابر با ۱۵/۸۴٪ می‌باشد. هدف بهینه‌سازی در این پژوهش حداقل کردن درصد کمبود می‌باشد، به عبارت دیگر کاهش یافتن درصد کمبود، افزایش شاخص اطمینان‌پذیری سیستم را به دنبال دارد. بطور مثال برای نیازهای زیست‌محیطی، کشاورزی قطره‌ای باغی، بارانی زراعی و آبخور از فاضلاب که در پایین دست سد قرار دارند شاخص اطمینان‌پذیری به ترتیب ۲/۰۸، ۶/۱۹، ۶/۱۹ و ۴/۰۲۲٪ افزایش داشته است، که مقدار این شاخص برای نیازهای کشاورزی به بالای ۹۸٪ و برای نیاز زیست‌محیطی که در اولویت دوم تخصیص قرار دارد به ۱۰۰٪ رسیده است. در این مطالعات برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی نیز مدنظر قرار گرفت و برای عرضه آب ابتدا از منابع آب سطحی و

## REFERENCES

- Ashofteh, P. S., Haddad, O. B., & A. Mariño, M. (2013). Climate change impact on reservoir performance indexes in agricultural water supply. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(2), 85-97.
- Ashofteh, P. S., Rajaei, T., & Golfam, P. (2017a). Assessment of water resources development projects under conditions of climate change using efficiency indexes (EIs). *Water Resources Management*, 31(12), 3723-3744.
- Ashofteh, P. S., Bozorg-Haddad, O., & Loáiciga, H. A. (2017b). Logical genetic programming (LGP) development for irrigation water supply hedging under climate change conditions. *Irrigation and Drainage*, 66(4), 530-541.
- Fatemi, S.A., Bahramloo, A. and Adibrad, M. (2016) Investing the Structural and non-structural solutions of sustainable management of water Resources in Hamedan-Bahar plain. *Geography and Environmental Sustainability* 20, No2. 55-67. (In Farsi)
- Hafezparast, M., Kholghi, M. and Fatemi, S.A. (2009) Evaluate and planning of water resources of the Takestan plain with WEAP and LINGO models. In 4th national congress on civil engineering, university of Tehran. (In Farsi)
- Han, Y. Xu, S.G. and Xu, X.Z. (2008). Modelling multisource multiuser water resources allocation. *Water Resour Manag.* 22(7). 911-923.
- Karamouz, M., Ahmadi, B., & Zahmatkesh, Z. (2013). Developing an agricultural planning model in a watershed considering climate change impacts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(4), 349-363.
- Mohie El Din, M. O., & Moussa, A. M. (2016). Water management in Egypt for facing the future challenges. *Journal of advanced research*, 7(3), 403-412.
- Shahvali kohshori, S., Ghazanfari, S. and Khanjani, M.J. (2018) Optimal management of water resources using application of various scenarios of water allocation (Case Study: Dez basin). *Irrigation Sciences and Engineering*, Vol. 41, 45-55. (In Farsi)
- Studies first phase of Harsin Dam (2012), *Water Resources Planning Studies Report*, Regional Water company of Kermanshah Province
- Zeynodini, s., anvari, s. and zahmatkesh, z. (2016) optimization of water resources allocation using linear programming method LINGO. Iran's second national irrigation and drainage congress. 23-25 Agust. (In Farsi)