DOI: 10.22059/IJSWR.2019.282440.668221/ تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱، فروردین ۱۳۹۹ (ص۱۲-۱)

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

FATEMEH SALIMI MASTEALI[1], MARYAM HAFEZPARAST[1] AND FARHANG SARGORDI[*1]
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, Hersin dam reservoir which is uder 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 m3/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

* Corresponding Author's Email: fsargordi@razi.ac.ir

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

فاطمه سلیمی مستعلی[۱]، مریم حافظ پرست مودت[۱]، فرهنگ سرگردی[*۱]

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 منابع‌آب 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 تغییراقلیم 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 ومنابع آب دشت همدان- بهار سد اکباتان درنرم‌افزار WEAP انجام شده‌است. در ابتدا شرایط فعلی ازنظر منابع، مصارف و برداشت مجاز و غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی بررسی و با شرایط در افق‌های 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 خواهدبود (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 خواهندبود. 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). ازمدل 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 وسیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب تحت سناریوهای مختلف اجرا شد، تغییر الگوی کشت و تغییر درصد کشت آبی و دیم ازجمله سناریوهایی بود که در این پژوهش مورد بررسی قرارگرفت. هدف حداکثر کردن سود به هزینه بود که نتایج نشان داد تغییر الگوی کشت

* نویسنده مسئول: fsargordi@razi.ac.ir

میزان درصد کمبود 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 وجوددارد، در تحقیقی به‌منظور حداکثر کردن منافع اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی برای نیازهای شهری، کشاورزی و صنعتی شهر دالیان چین برنامه‌ریزی خطی (LP) توسعه داده‌شد. 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 آذربایجان‌شرقی مورد ارزیابی قرار گرفت. نیاز آبی محصولات باغی و زراعی با استفاده از مدل CROPWAT استخراج و با مدلLP تاثیر سناریوهای مختلف مدیریتی را بر تامین نیازهای پایین‌دست سد بررسی شد. باتوجه 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 LINGO و WEAP صورت گرفت و نتایج نشان داد که با احداث سد نهب در شرایط آبیاری سطحی افزایش سطح زیر کشت به ۱۰۰۰۰هکتار و در شرایط آبیاری تحت فشار به ۱۶۰۰۰ هکتار خواهد رسید. (Hafezparast *et al*., 2009). در پژوهشی دیگر سیاست‌های تخصیص آب مورد نیاز آبیاری در پایین‌دست شبکه آبیاری آیدوغموش تحت شرایط تغییراقلیم 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 ازنرم‌افزار 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 (۲۰۶۵-۲۰۴۶) تحت مدل‌های تغییراقلیم 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).

باتوجه به اهمیت برنامه‌ریزی در بهره‌برداری بهینه از مخزن 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

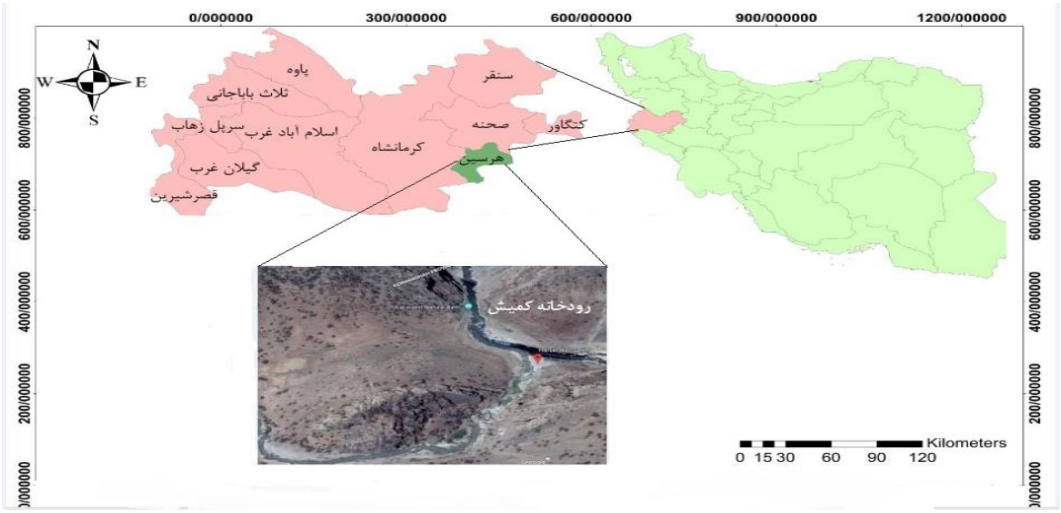
سدمخزنی هرسین که در فاز مطالعاتی قرار دارد، واقع در ۵۳ کیلومتری شرق کرمانشاه و در حوالی شهرستان هرسین قرار دارد به مختصات ″۲۰/۴ ′۳۹ °۴۷ طولی و ″۴۲ ′۱۵ °۳۴ عرضی و در ارتفاع ۱۴۵۲/۵ متری بالای سطح آزاد دریا در محدوده شرقی این شهرستان به سمت همدان و در فاصله ۴/۵ کیلومتری جنوب شهر هرسین برروی رودخانه‌ی کمیش 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 ۳۶/۳ میلیون متر مکعب می‌باشد.

شبیه‌سازی

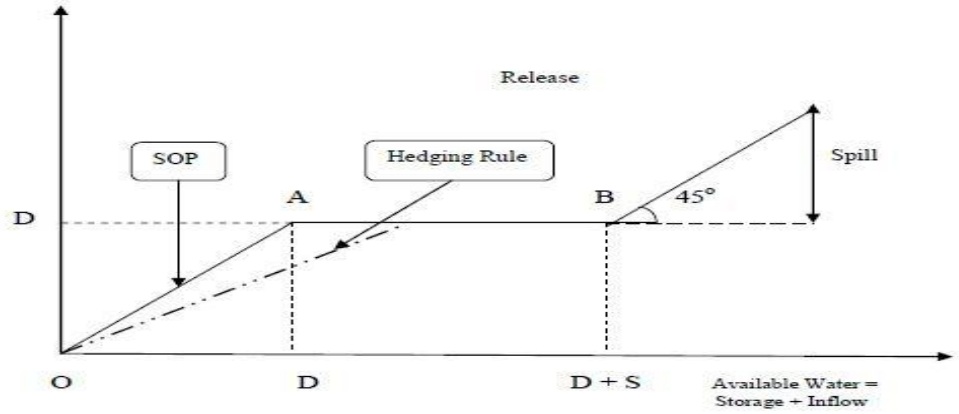
نرم‌افزار WEAP بر اساس معادلات پایه بیلان آبی (معادله ۱) عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم رودخانه‌ای پیچیده به کاربرد. علاوه براین WEAP می‌تواند طیف گسترده‌ای از اجزای طبیعی و مهندسی از سیستم‌ها، ازجمله بارش رواناب، جریان پایه، و تغذیه آب‌های زیرزمینی از بارش را شبیه‌سازی کند. از کاربردهای این مدل می‌توان به تجزیه و تحلیل تقاضای منطقه‌ای، حفاظت از آب، حقابه‌ها و اولویت تخصیص، بهره‌برداری از مخزن، تولید انرژی برقابی، 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)

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

در رابطه بالا S_{t+1} 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.



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



شکل ۲: منحنی روش بهره‌برداری استاندارد SOP

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 حقابه 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 خواهدشد که شکل ریاضی تابع هدف بصورت زیر خواهدبود:

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

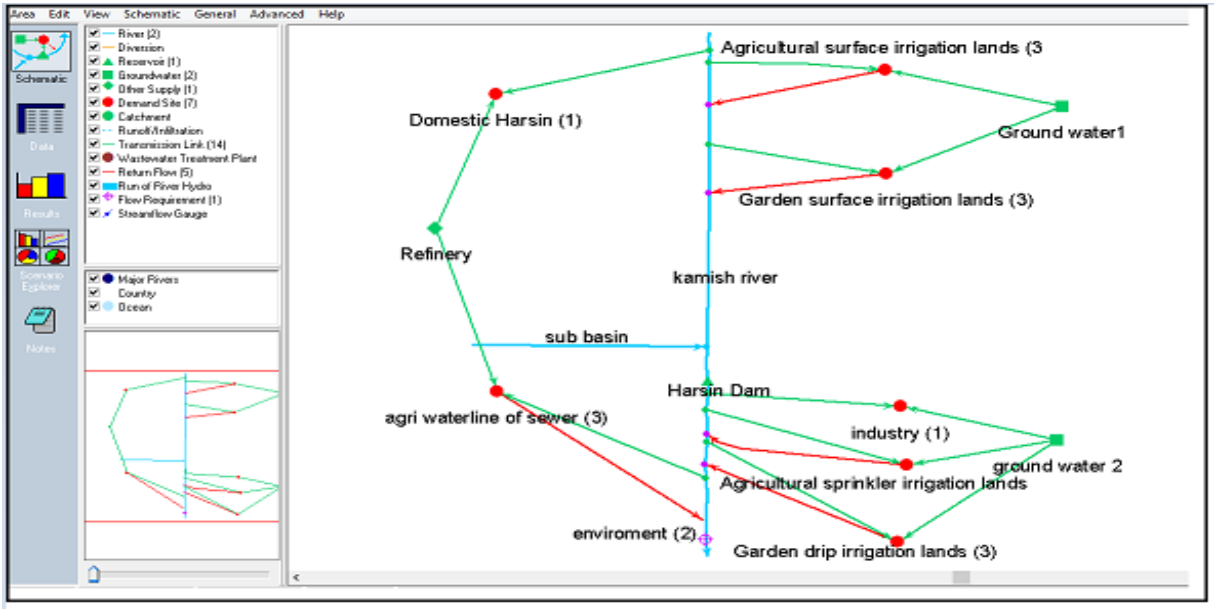
محدودیت‌هایی که برای مخزن و نیازها بایستی در نظر گرفته شود به شرح زیر است:

(رابطه ۳)
$$S_{\min} \le S_t \le S_{\max}$$

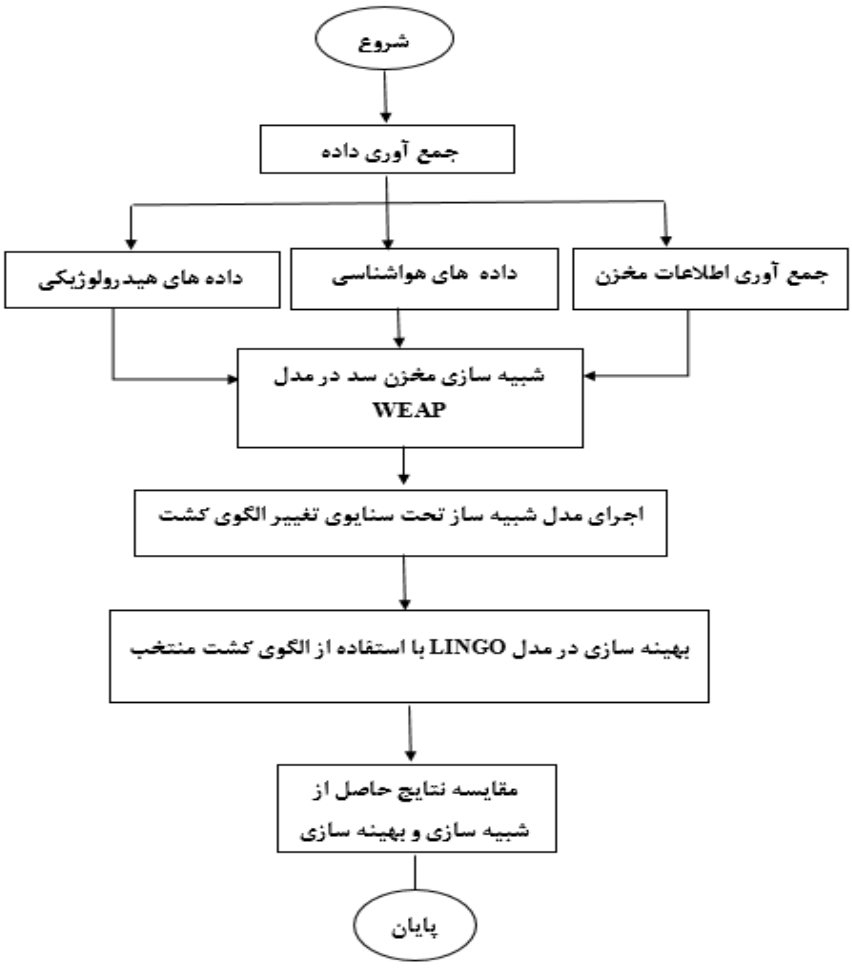
(رابطه ۴) $G_{\min} \le G_t \le G_{\max}$ t، G_{min} و G_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر برداشت آب زیرزمینی

(رابطه ۵) $R_t \le D_t$ و G_t حجم ذخیره آب زیر زمینی در دوره t و D_t مقدار نیاز در

S_{min} و S_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر ذخیره در دوره دوره t می‌باشند.



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



شکل ۴:مراحل انجام تحقیق

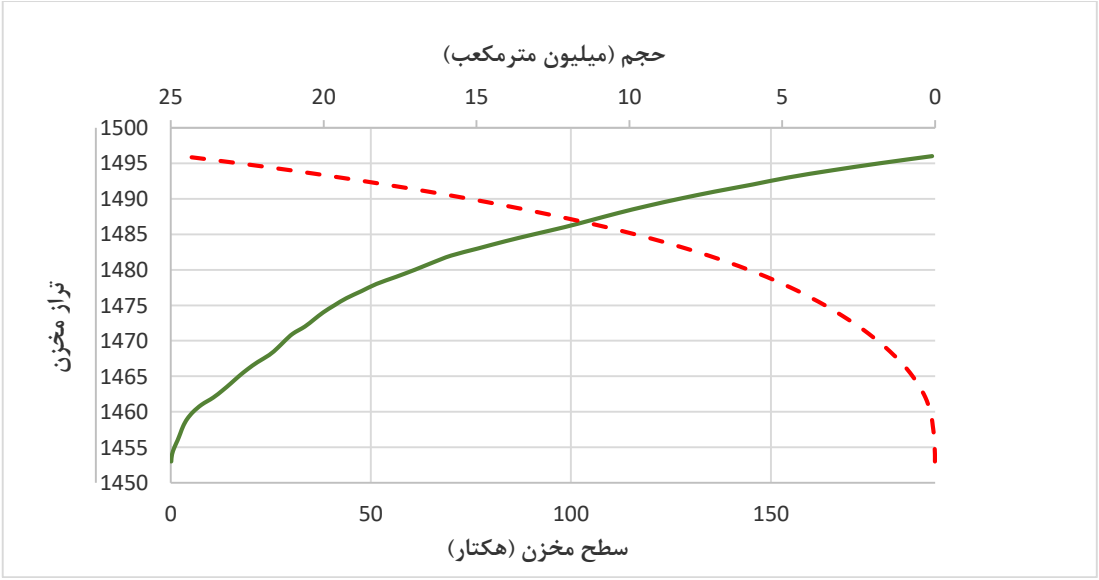
داده‌ها و اطلاعات طرح

مشخصات مخزن سد هرسین بر اساس اطلاعات اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه استخراج شد که در جدول (۱) ارائه شده‌است. همچنین بر اساس نقشه‌های توپوگرافی مخزن سد هرسین با مقیاس ۱:۲۵۰۰، منحنی‌های حجم-سطح-ارتفاع مخزن ترسیم شد که در شکل (۵) نشان داده‌شده‌است (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 دریاچه سد مخزنی هرسین می باشد که در جدول (۲) موجود می‌باشد.

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 آبریز۶/۷۷ میلیون مترمکعب، رواناب حوضه میانی ۸/۰۶ آبخوان بالادست و پایین‌دست به ترتیب ۰/۳ و ۲/۱ میلیون مترمکعب می‌باشند. دبی در یک دوره ۴۰ ساله (۲۰۱۷-۱۹۷۸) بصورت ماهانه به مدل داده‌شده‌است (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 نظرگرفته 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 آتش‌نشانی 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 گرفته‌شود 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 شده‌است.

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	۰	۰
آذر	۰/۵۵۹	۰	۰	۰
دی	۰/۵۶۵	۰	۰	۰
بهمن	۰/۵۲۹	۰	۰	۰
اسفند	۰/۴۸۴	۰	۰	۰
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		
	شماره۱	شماره۲	شماره۳	شماره۱	شماره۲	شماره۳
مهر	۰/۲۰۹	۰/۲۰۵	۰/۲۱۷	۰/۵۷۶	۰/۵۷۹	۰/۶۱۳
آبان	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۲۷	۰/۰۳۳	۰/۰۴۳
آذر	۰	۰	۰	۰	۰	۰
دی	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بهمن	۰	۰	۰	۰	۰	۰
اسفند	۰	۰	۰	۰	۰	۰
فروردین	۰/۱۷	۰/۱۵۹	۰/۱۶۶	۰/۴۰۳	۰/۳۷۹	۰/۳۹۴
اردیبهشت	۰/۴۹	۰/۴۶۴	۰/۴۶۵	۱/۲۸	۱/۱۹	۱/۱۶
خرداد	۰/۷۳	۰/۸۰۹	۰/۸۴۶	۲/۲۲	۲/۴۵	۲/۶۱
تیر	۰/۸۸	۱/۰۵	۱/۱۱	۲/۸۵	۳/۲۹	۳/۵۶
مرداد	۰/۷۸۶	۰/۹۱۹	۱/۰۳	۲/۴۵	۲/۸۹	۳/۱۲
شهریور	۰/۳۷	۰/۴۵۸	۰/۵۵۴	۱/۱۱	۱/۳۳	۱/۴۸

ترکیب الگوی کشت‌های مختلف در محدوده‌ی مطالعاتی تحت تاثیر منابع آب دردسترس، شرایط اقلیمی منطقه و اقتصاد تولید محصولات، شکل گرفته‌است. در شرایط حاضر فعالیت‌های کشاورزان در منطقه متحول شده و کشاورزان به اقتصاد محصول توجه خاصی مبذول می‌نمایند. منطقه مطالعاتی ازنظر 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 شده‌است که زارعین، درصورت دسترسی به آب تابستانه اراضی خود را به دو قسمت تقسیم و بخشی را تحت کشت محصولات صیفی و بخشی را تحت کشت محصولات شتوی قراردهند. جدول (۵) درصد کشت هریک از محصولات در سه الگوی کشت ارائه شده را نشان می‌دهد.

حقابه زیست‌محیطی

در جدول (۶) مقادیر ماهانه حقابه زیست‌محیطی رودخانه کمیش بر اساس حالت « کیفیت حیات آبزیان در رودخانه در حد قابل قبول» روش تنانت ارائه شده‌است.

جدول ۵: درصد کشت محصولات مختلف در سه الگوی کشت

محصولات	درصد کشت محصولات اراضی سطحی زراعی			درصد کشت محصولات اراضی بارانی زراعی		
	شماره۱	شماره۲	شماره۳	شماره۱	شماره۲	شماره۳
گندم	۳۴/۱۲	۲۵/۸۸	۲۵	۲۹/۵۵	۲۳/۵۴	۱۹/۷۷
جو	۱۶/۴۷	۱۵/۲۹	۱۱/۹	۱۴/۷۵	۱۱/۷۶	۱۰/۴۶
چغندر قند	۵/۸۸	۹/۴۱	۱۱/۹	۱۰/۲۳	۱۱/۷۶	۱۱/۶۳
یونجه	۱۱/۷۶	۱۱/۷۶	۱۴/۲۹	۱۰/۲۳	۱۱/۷۶	۱۶/۲۸
ذرت علوفه‌ای	۵/۸۸	۱۱/۷۶	۵/۹۵	۱۰/۲۳	۱۰/۵۹	۱۰/۴۶
ذرت دانه‌ای	۰	۰	۰	۴/۵۵	۵/۸۸	۸/۱۴
پیاز	۵/۸۸	۹/۴۱	۱۱/۹	۰	۰	۰
سیب‌زمینی	۵/۸۸	۹/۴۳	۱۱/۹	۱۰/۲۳	۱۴/۱۲	۱۷/۴۴
گوجه فرنگی	۵/۸۸	۷/۰۶	۷/۱۶	۰	۰	۰
لوبیا	۸/۲۵	۰	۰	۰	۰	۰
سویا	۰	۰	۰	۱۰/۲۳	۱۰/۵۹	۵/۸۲

جدول ۶: مقادیر ماهانه نیاز حقابه زیست‌محیطی(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

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

یافته‌ها

به منظور تامین نیازهای شرب، کشاورزی، صنعت و حقابه زیست‌محیطی شبیه‌سازی مخزن سد هرسین در مدل WEAP با الگوهای کشت مختلف برای نیاز کشاورزی زراعی بالا و پایین‌دست سد انجام شد. جدول (۷) نشان می‌دهد در صورت استفاده از الگوی کشت شماره ۲ اطمینان‌پذیری سیستم نسبت به دو الگوی دیگر افزایش می‌یابد.

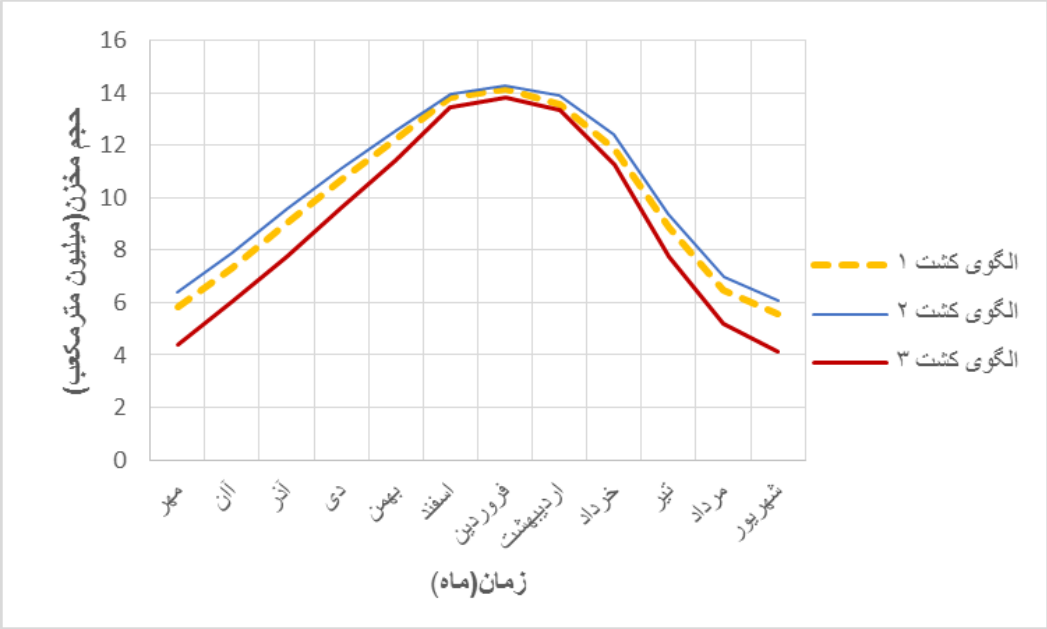
درصورتی که الگوی کشت شماره ۲ به کار گرفته شود بیشترین میزان کمبود را نیازهای کشاورزی دارند که درصد کمبود برای اراضی آبخور از فاضلاب ٪۳/۹۷، اراضی قطره‌ای باغی، سطحی باغی، سطحی زراعی و بارانی زراعی به ترتیب ۱۰/۷۹، ۱۵/۸۴، ۱۳/۶۶ و ۸/۸۲ درصد خواهد بود. نیازهای صنعت، شهری و زیست‌محیطی دارای کمبود ناچیزی هستند که مقادیر درصد کمبود به ترتیب برابر ۰/۱۹، ۰/۰۲۶و ۱/۱۷ درصد است.

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

در جدول (۸) میزان برداشت هریک از نیازهای بالا و پایین‌دست سد از منابع آبی موجود و در نهایت تامین سالیانه تقاضاها آورده شده است. به منظور جلوگیری از افت زیاد آب زیرزمینی، در تمام موارد برداشت از آبخوان‌ها کمتر از آب‌های سطحی می‌باشد. از این رو ابتدا برداشت از آب‌های سطحی صورت گرفته و درصورت نیاز از آب زیرزمینی استفاده شده است.

جدول ۷: مقادیر اطمینان‌پذیری سه الگوی کشت

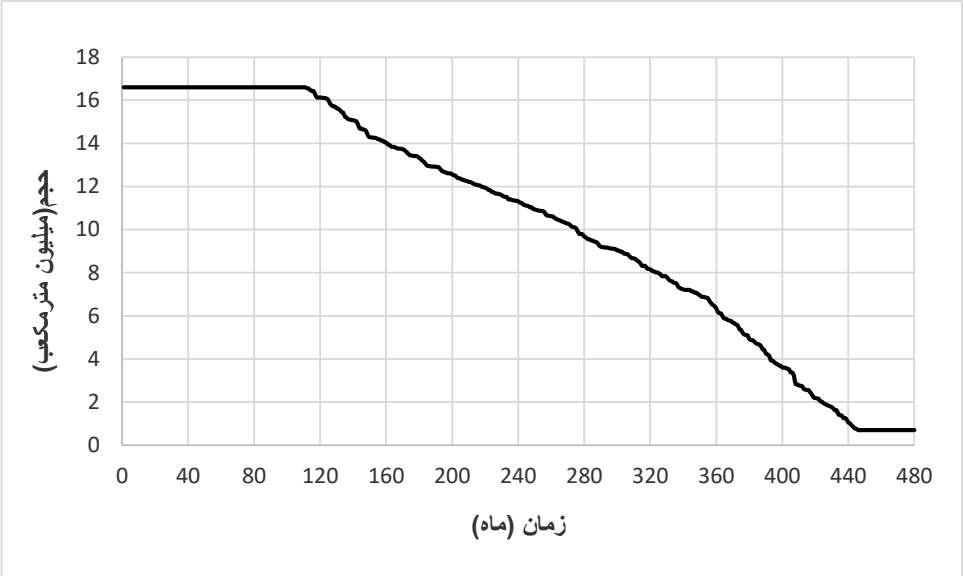
نیازها	اطمینان‌پذیری الگوی کشت ۱	اطمینان‌پذیری الگوی کشت ۲	اطمینان‌پذیری الگوی کشت ۳
اراضی آبخور از فاضلاب	۹۴/۵۸۳	۹۵/۲۰۸	۹۲/۵
اراضی قطره ای باغی	۹۱/۴۵۸	۹۲/۷۰۸	۸۹/۳۷۵
اراضی سطحی باغی	۸۵/۴۱۷	۹۰/۲۰۸	۸۴/۳۷۵
اراضی بارانی زراعی	۹۱/۴۵۸	۹۲/۷۰۸	۸۹/۳۷۵
اراضی سطحی زراعی	۸۵/۴۱۷	۹۰/۲۰۸	۸۴/۳۷۵
صنعت	۹۸/۷۵	۹۸/۷۵	۹۸/۷۵
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

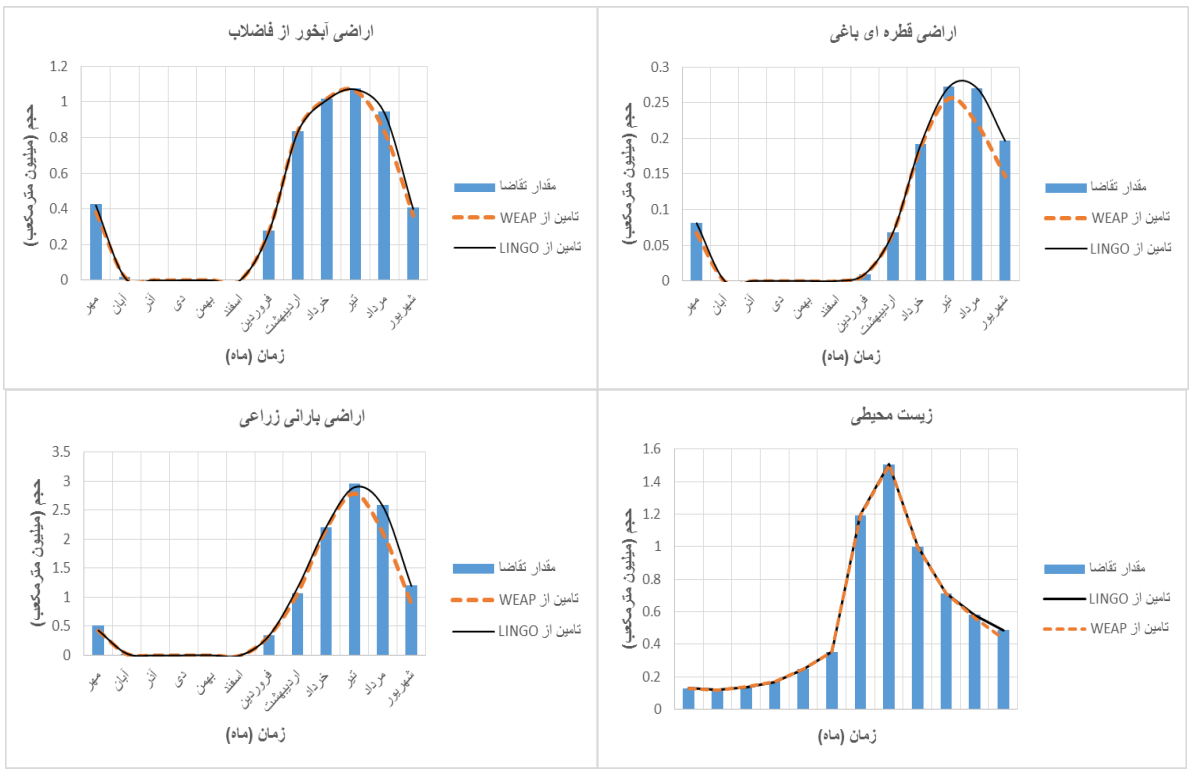
جدول ۸: مقادیر برداشت نیازها از منابع آبی (میلیون مترمکعب)

نیازها	چشمه هرسین	آبخوان بالادست	آبخوان پایین‌دست	تصفیه خانه	سد هرسین	تامین سالیانه
اراضی آبخور از فاضلاب	۰	۰	۰	۴/۷۶	۰/۰۴	۴/۸
اراضی قطره‌ای 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

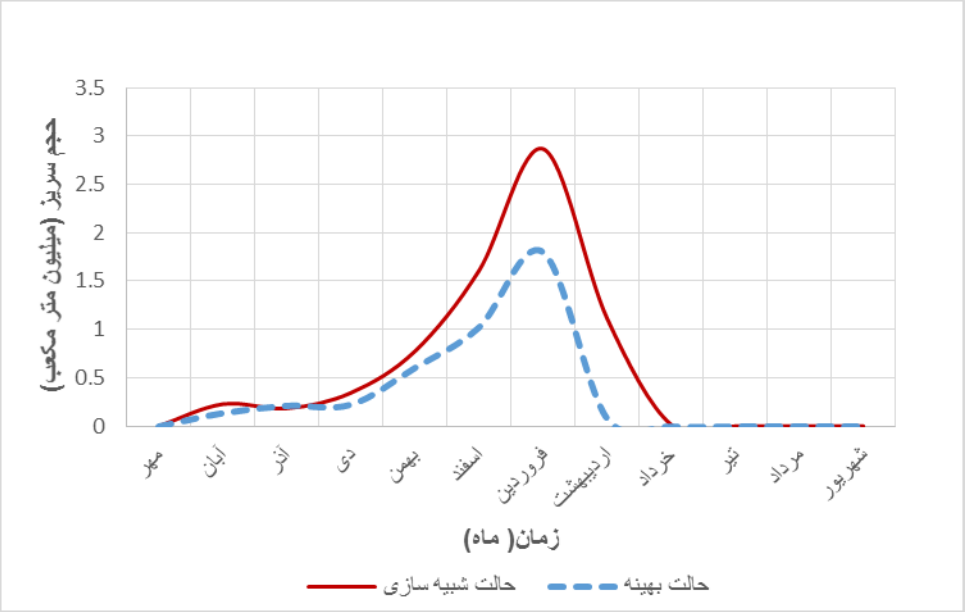
در شرایط شبیه‌سازی و با بکارگیری الگوی کشت ۲، ۲۳٪ مواقع مخزن سد پر می‌باشد و ارتفاع آب در رقوم نرمال (۱۴۹۱ متری) قرار می‌گیرد. همچنین ۸٪ مواقع مخزن سد کاملا خالی بوده و به حجم مرده می‌رسد (شکل ۷). اما درصد پر بودن مخزن در الگوی کشت ۱ و ۳ به ترتیب ۲۰ و ۱۸ ٪ و درصد رسیدن به حجم مرده به ترتیب ۱۰ و ۱۲ ٪ است. بنابراین باتوجه 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.



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

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

شده اتفاق افتاده‌است. در حالت بهینه نیاز زیست‌محیطی نسبت به حالت شبیه‌سازی شده مقدار تامین ۱/۰۳ ٪ افزایش داشته، این افزایش درصد تامین برای نیازهای کشاورزی قطره‌ای باغی، بارانی زراعی و آبخور از فاضلاب به ترتیب ۱۲/۳۹، ۹/۴۲و ۳/۵ بوده‌است. نمودار نیاز صنعت به دلیل مقدار خیلی ناچیز کمبود و محدود بودن نمودارها ارائه نشده‌است.



شکل ۹: نمودار سرریز در حالت شبیه‌سازی و بهینه‌سازی

بهینه‌سازی مخزن سد علاوه براینکه باعث افزایش درصد تامین نیازهای پایین‌دست 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 عرضه‌ی آب با بالاترین اطمینان‌پذیری صورت گرفته‌است.

بحث

همانطور که ملاحظه شد، با اعمال سناریوهای تغییر الگوی کشت در مدل شبیه‌ساز WEAP، الگوی کشت مناسب جهت افزایش اطمینان‌پذیری 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 سالانه‌ی نیازهای اراضی آبخور از فاضلاب، اراضی قطره‌ای باغی، اراضی بارانی زراعی و حقابه زیست‌محیطی در حالت شبیه‌سازی به ترتیب برابر با ۴/۳۷، ۱۲/۴۹، ۱۰/۲۱ و ۱/۰۲ است، این مقادیر در شرایط بهینه‌سازی به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۰۱، ۰/۷۹ و درصد کمبود زیست محیطی برابر با صفر برآورد شده‌است. همچنین با بهینه‌سازی، حجم سرریز از ۷/۱۳ به ۴/۰۹ میلیون مترمکعب در سال کاهش یافته‌است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها می‌توان درصد کمبود نیازها را تا حد مطلوبی کاهش داد، که در این پژوهش با استفاده از مدل بهینه‌سازی LINGO درصد تامین نیازهای پایین‌دست سد با کاهش دادن سرریز از مخزن به بالای ۹۹ درصد افزایش یافت.

با مقایسه این تحقیق با پژوهش‌های مشابه صورت‌گرفته می‌توان به این نتیجه رسید که مدل استفاده شده برای برنامه-ریزی منابع آب تحت سناریوهای مختلف مدیریتی از جمله تغییر اولویت، تغییر الگوی کشت، تغییراقلیم و ... کاربرد دارد. در پژوهشی که مربوط به Ashofteh *et al.* (2013) است، سیاست‌های تخصیص آب مورد نیاز آبیاری در پایین دست شبکه آبیاری آیدوغموش ارزیابی شد و سناریوهایی که مورد استفاده قرار گرفت مربوط به تغییراقلیم بود. شبیه‌سازی و بهینه‌سازی 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 الگوی‌کشت و تغییر درصد کشت آبی و دیم میزان کمبود و مصرف آب را به ترتیب ۱۵و ۴۸ درصد کاهش دادند. نتایج بهینه‌سازی مطالعات Karamouze *et al.* (2013)، Mohie and Moussa (2016) و Zeynodini *et al.* (2016) نیز با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد، بنابراین به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی درست سیستم‌های منابع آب می‌توان از سناریوها و راهکارهای پیشنهاد شده استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

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 پایین‌دست 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٪ رسیده‌است. در این مطالعات برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی نیز مدنظر قرار گرفت و برای عرضه آب ابتدا از منابع آب سطحی و درصورت 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 شبیه ساز 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 خواهدشد.

پیشنهادات

- بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های کاووشی و فراکاووشی وعدم قطعیت بررسی گردد.
- سناریوهای تغییراقلیم در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ارزیابی شود.
- همچنین می‌توان سود حاصل از الگوی کشت‌های مختلف را بهینه کرد.

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., Rajaee, 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 Sustainability20, 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)