بهره‌برداری و محاسبه‌ی شاخص‌های پایداری سد هرسین

سارا حشمتی[1*] فاطمه سلیمی مستعلی[2] مریم حافظ پرست مودت[3]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب دانشگاه رازی
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب دانشگاه رازی
۳- استادیار مهندسی آب دانشگاه رازی
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵

چکیده

توسعه کشاورزی، صنعتی، عمرانی و خدمات شهری بستگی به میزان آب قابل استفاده دارد. به همین دلیل صنعت آب در زمره صنایع مادر به حساب می‌آید. با این وجود، در بسیاری از کشورها، به ویژه کشورهای در حال توسعه این صنعت با مشکلاتی چون کمبود آب، آلودگی و افزایش خسارات ناشی از سیل مواجه است. بنابراین در کشورهایی مانند ایران که با کمبود آب مواجه می‌باشد، توجه به کلیه منابع آبی از اهمیت بالایی برخوردار است. مدیریت یکپارچه منابع آب، یک فرآیند سیستماتیک برای توسعه پایدار، تخصیص و پایش منابع آبی است، که برای اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی امکان احداث سد مخزنی هرسین در فاصله ۴۵ کیلومتری شهر کرمانشاه، بر روی رودخانه بابا زید به منظور مهار و ذخیره‌سازی جریان‌های سطحی و زیر زمینی است. جهت انجام تحقیق مد نظر، شبیه‌سازی سد هرسین به کمک نرم افزار و ویپ[2] با استفاده از آمار ۴۲ ساله صورت گرفت. همچنین شاخص‌های پایداری منابع آب با استفاده از خروجی مدل ویپ در محیط اکسل محاسبه گردید. نیازهای آبی مد نظر این حوضه شامل کشاورزی، زیست محیطی، شرب و صنعت است. نتایج نشان داد که مقادیر کمبود سالانه آب شرب حدود ۱/۷۴، کشاورزی ۱۴/۲، زیست محیطی ۶/۰۴، صنعت ۰/۴ درصد هستند. درصد کمبود سالانه اراضی کشاورزی در بعضی فصول قابل توجه است.

واژه‌های کلیدی: بهینه سازی، حوضه گاماسیاب، سد هرسین، شاخص‌های پایداری، شبیه‌سازی

مقدمه

ویپ نرم‌افزاری کاربرپسند می‌باشد که با رویکرد یکپارچه برای برنامه‌ریزی منابع آب طراحی گردیده است. سهولت کار با این نرم‌افزار موجب شده که کاربران زیادی بتوانند آن را مورد استفاده قرار دهند. در واقع یک چارچوب جامع، انعطاف‌پذیر و کاربردوست برای برنامه‌ریزی و تجزیه سیاست‌ها است و به همین دلیل هر روز بر تعداد متخصصانی که آن را مورد استفاده قرار می‌دهند افزوده می‌شود (حافظ‌پرست مودت و همکاران، ۱۳۸۷). رویکرد اصلی در استفاده از مدل‌هایی چون WEAP و LINGO مبتنی بر استفاده بهینه از منابع آب بدون وقفه در نیاز و نیز پایداری آن است. هر یک از این دو مدل به نوبه خود قابلیت‌هایی دارند. WEAP بر اساس معادلات پایه بیلان آبی عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های رودخانه‌های مرزی پیچیده به کار برد. علاوه بر این، ویپ می‌تواند طیف گسترده‌ای از اجزای طبیعی و مهندسی در این سیستم‌ها، از جمله بارش-رواناب، جریان پایه و تغذیه آب‌های زیرزمینی از بارش را شبیه‌سازی کند (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ نوذری و مصطفی، ۱۳۹۶). ویپ قادر به شبیه‌سازی سناریوهای احتمالی مختلف در آینده است. جهت ارزیابی سیستم‌های مدیریت آب و برق فعلی و آینده در حوضه‌ی رودخانه‌ی لانگات مالزی به عنوان یک شبکه‌ی برنامه‌ریزی برای حل اختلافات در جهت تخصیص آب و

[1] نویسنده مسئول: سارا حشمتی s.heshmati74@yahoo.com
[2] WEAP

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]

سیاست‌های آن عمل می‌کند (Weng & Huang, 2010). آنالیز سیستم‌های مدیریت منابع آب شهری برای شهر لس‌آنجلس به منظور ارزیابی فرصت‌ها جهت دست‌یابی به آب محلی می‌باشد. مدل شبکه‌ی آب جریان برای تحول مدیریت در ارتباط با مسائل مهندسی، اجتماعی و محیط زیست است. همزمان با افزایش تقاضا برای آب ظرفیت آب حاصل از طوفان‌های دریایی (سیلاب‌ها) نیز افزایش یافته که در این منطقه بیش از ۳۰۰ درصد بوده است. از این مسئله برای اولویت‌بندی مجدد آب با استفاده از تسهیلات موجود و تامین بخشی از آب مورد نیاز شهرها می‌توان استفاده نمود (این سهم تا ۳۰ درصد می‌تواند باشد). این عمل می‌تواند با پایداری محیط بهره‌وری اقتصادی و حفاظت از منابع آب زیرزمینی همراه باشد (Melosi, 2011). Azari و همکاران (2015) در یک مطالعه موردی در دشت دز واقع در استان خوزستان، برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی را با استفاده از ایجاد اتصال دینامیکی بین منابع آب سطحی و زیرزمینی، شبیه‌سازی کردند، به طوری که داده‌ها و نتایج به طور ماهیانه بین مدل آب سطحی WEAP[۳] و مدل آب زیرزمینی MODFLOW در گردش قرار گرفت. نتایج نشان داد که در قسمت‌های شمالی تا میانه دشت، رودخانه‌ی دز و کرخه بیشتر باعث تغذیه آبخوان شده و در قسمت‌های میانه دشت و رو به پایین، بیشتر نقش زهکش را به عهده دارد. همچنین نتایج نشان داد به طور کلی در دشت دز در مناطقی که از هر دو منبع تأمین آب استفاده می‌شود، بیش از ۸۰ درصد از نیازها توسط آب سطحی و کمتر از ۲۰ درصد توسط آب زیرزمینی تأمین می‌شود. Li و همکاران (2015)، با استفاده از مدل ویپ وضعیت آینده آب را در چین با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار دادند. توسعه شهرنشینی، رشد اقتصادی و بهبود ساختار صنعتی و تغییر سیاست‌های تخصیص منابع آب، از جمله سناریوهای مورد ارزیابی در این تحقیق بودند. این سناریوها برای مدت زمان ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در آینده، بحران منابع آبی در منطقه مذکور افزایش خواهد یافت. با توجه به این موضوع، Li و همکارانش، پیشنهاداتی را برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح و بهتر منابع آبی جهت کمک به تصمیم گیرندگان در این زمینه و کاهش خطرات آتی مطرح نمودند. عده‌ای از محققان حوضه رودخانه اردن را با نرم افزار ویپ شبیه‌سازی کردند. آن‌ها اثرات کمبود آب در حوضه مورد نظر و پاسخ مکانی و زمانی الگوها تحت چهار سناریوی منطقه‌ای از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۵۰ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل نشان می‌دهد که زیر ساخت‌های انتقال آب در حال حاضر محدود است. هم چنین ظرفیت آب شیرین کن بزرگ به دو دلیل جوابگو نیست: ۱- بخش بزرگی از سیستم آب قابل دسترس نیست ۲- نصب آب شیرین کن بزرگ زمان زیادی را به خود اختصاص می‌دهد، (Bonzi, 2016). Mourad و Alshihabi (2016) از مدل ویپ برای بررسی کمبود آب در سوریه تا سال ۲۰۵۰ استفاده کردند. آن‌ها در این تحقیق از ۶ سناریو مرجع، بهترین تکنولوژی در دسترس، سناریو با تکنولوژی بالا، سناریو تغییر اقلیم، سناریو همکاری منطقه‌ای و سناریو جنگ و درگیری استفاده کردند و به این نتایج رسیدند که هیچ یک از این سناریوها نمی‌تواند مشکل کمبود آب در این کشور را به طور کامل حل کند. اما با این وجود تعدادی از سناریوها می‌توانند مشکلات آبی را در تعدادی از حوضه‌ها برطرف نمایند. در این تحقیق سعی شده تا شبیه‌سازی سد هرسین به همراه نیازهای آبی پایین دست مورد ارزیابی قرار گیرد، همچنین شاخص‌های پایداری منابع آب با استفاده از خروجی مدل ویپ در محیط اکسل محاسبه گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سد هرسین به فاصله تقریبی ۴۵ کیلومتر مرکز استان کرمانشاه، در جنوب شهرستان هرسین و در حد فاصل خطوط جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه طول خاور و ۳۴ درجه۱۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. سد مخزنی هرسین از نوع خاکی با هسته رسی، ارتفاع تاج سد از بستر رودخانه

[3] Water Evaluation and Planning System Programming

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]

۴۴ متر، طول تاج سد ۳۴۵ متر، تراز تاج سد ۱۴۹۷ متر و تراز نرمال ۱۴۹۱ متر می‌باشد. این سد بر روی رودخانه کمیش از سر شاخه‌ی رودخانه گاماسیاب و در حوضه آبریز رودخانه‌ی سیمره واقع شده است (شکل ۱). رودخانه گاماسیاب پس از تلاقی با رودخانه قره سو، رودخانه سیمره را تشکیل داده و با بهم پیوستن رودخانه‌ی چرداول و کشکان به رودخانه کرخه منتهی می‌شود. بخش عمده آبدهی رودخانه کمیش از چشمه سر آب هرسین که دارای منشا کارستی است تامین می‌شود. متوسط آبدهی دراز مدت سالانه چشمه سر آب هرسین ۳۶/۳ میلیون متر مکعب می‌باشد. در بالادست سد نیازهای کشاورزی و شهری وجود دارند که قسمتی از نیازهایشان را از چشمه‌ی هرسین تامین می‌کنند و همچنین از آب زیر زمینی بالا دست سد برای کشاورزی و از تصفیه خانه در حال ساخت هرسین برای نیاز شهری آب رهاسازی می‌شود.

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

روش تحقیق

مراحل اجرای این پروژه شامل جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سد هرسین، مقادیر نیازهای زیست محیطی، صنعت، شرب و کشاورزی است که در ویپ شبیه‌سازی شده است. حجم ذخیره سد ۱۶/۶ میلیون متر مکعب است. به همین ترتیب مقادیر تبخیر، تراز سد، آب‌دهی رودخانه، نیازهای کشاورزی، صنعت و زیست محیطی از سال ۱۹۶۷ الی ۲۰۰۸ میلادی مدل‌سازی گردید. این مدل‌سازی طی مراحل زیر صورت گرفت: بررسی اسناد و گزارشاتی که در مرحله طراحی و مطالعات سد هرسین مورد نیاز بود. از این داده‌ها به عنوان ورودی به دو نرم افزار مورد اشاره، استفاده گردید. در این مرحله مشخصات فنی، پلان اجرایی، مکان‌های پیشنهادی و حجم کار هر یک از اقدامات اجرا شده مورد بررسی قرار گرفت؛ همچنین بازدید میدانی از محل احداث سد و ارزیابی اجمالی آن‌ها با توجه به اهداف پیش‌بینی شده جهت برآورد نیازهای آبی کشاورزی، صنعت، شرب و زیست محیطی نیز انجام گردید.

روش کار در نرم افزار ویپ

ویپ مدلی است که با رویکردی یکپارچه به برنامه‌ریزی منابع آب مورد نظر می‌پردازد و این مدل بر اساس اصل مقدماتی موازنه آب عمل می‌کند. این مدل توسط مؤسسه محیط زیست استکهلم ایجاد شده است و در بخش مدل‌سازی هیدرولوژیکی، تمامی فرآیندهای لازم جهت موازنه کمی آب‌های سطحی و اندرکنش سفره آب زیرزمینی با جریان رودخانه را مدل می‌کند. در ویپ دوره شبیه‌سازی ماهانه در نظر گرفته می‌شود و روابط سطح و حجم با ارتفاع

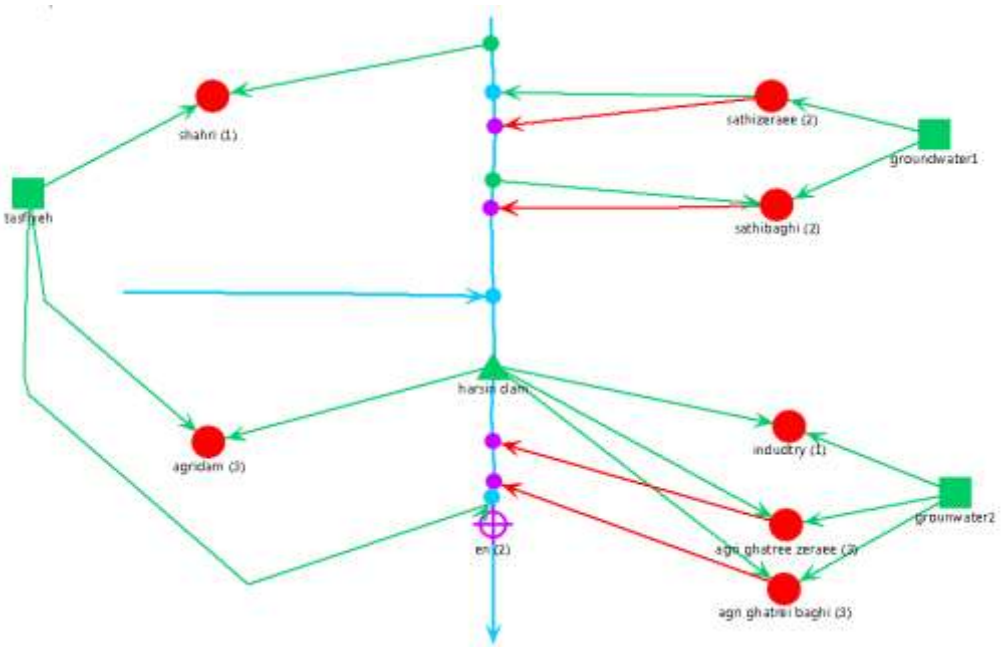
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]

مخزن سد و نیازهای شرب و کشاورزی مورد نظر و همچنین سری زمانی آبدهی ورودی به مخزن و ارتفاع تبخیر از سطح مخزن و عواملی نظیر نشت از مخزن، به عنوان اطلاعات ورودی در نظر گرفته می‌شوند.

به طور ساده روش کار با ویپ مطابق رابطه (۱) است:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - E_t \qquad (۱)$$

که در آن S_{t+1} حجم مخزن در دوره بعد، S_t حجم مخزن، I_t جریان ورودی به مخزن، R_t جریان خروجی از مخزن و E_t میزان تبخیر از مخزن است. نحوه ورود و پردازش داده در این مدل در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲): شماتیکی از منابع و مصارف از محدوده طرح در نرم افزار ویپ

همان طور که بر روی شماتیک نشان داده شده نیاز شرب و صنعت دارای اولویت ۱، زیست‌محیطی ۲ و کشاورزی‌ها دارای اولویت ۳ می‌باشند. همچنین بر روی خطوط انتقال اولویت‌هایی تعریف شده به این صورت که نیازهای بالادست ابتدا از رودخانه تامین و در صورت کمبود از آب زیرزمینی تغذیه شوند، نیازهای پایین دست سد نیز ابتدا از سد سپس از آب زیرزمینی آب مورد نیاز خود را بگیرند.

.

داده و اطلاعات طرح

نیازهایی که در پایین دست هستند و از سد هرسین آب می‌گیرند به شرح زیر می‌باشند:

اراضی قطره‌ای زراعی، اراضی قطره‌ای باغی و صنعت که نیاز سالانه ۱۱ میلیون متر مکعب می‌باشد. مقادیر ماهانه به طور یکسان در نظر گرفته شده است همچنین اطلاعات مربوط به سد در جدول (۱) مشخص شده است.

جدول (۱): داده‌های سد

حجم ذخیره سد	حجم اولیه	حجم غیر فعال
۱۶/۶ میلیون‌متر مکعب	۰/۷ میلیون متر مکعب	۰/۷ میلیون متر مکعب

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]

پارامترهای هواشناسی مورد نیاز شامل مقادیر متوسط ماهانه تبخیر از سطح آزاد آب و مقدار بارندگی متوسط ماهانه در محل دریاچه سد مخزنی هرسین در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین مقدار نیاز زیست محیطی به روش تنانت محاسبه و در جدول (۳) ذکر شده است.

جدول (۲): مقدار تبخیر (برحسب میلی متر)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
تبخیر	۱۷۲/۹	۸۶/۲	۴۲/۷	۳۳/۵	۳۲/۷	۶۶	۱۱۰/۲	۱۴۷/۱	۲۳۹	۳۲۳/۳	۳۱۹/۵	۲۶۰/۶

جدول (۳): مقدار نیاز زیست محیطی (میلیون متر مکعب)

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

نتایج و بحث

در این تحقیق شبیه‌سازی سد هرسین واقع در استان کرمانشاه به منظور تامین نیازهای شرب، کشاورزی، صنعت و زیست محیطی با اولویت‌های متفاوت انجام یافت. با مدیریت منابع آب و توزیع آن بر اساس داده‌های حاصل از این نرم‌افزار ضمن لحاظ نمودن نیازهای مذکور، جریان دایم رودخانه نیز در طول سال برقرار بوده و نیاز زیست محیطی تامین خواهد شد. بر مبنای منحنی فرمان در نرم‌افزار ویپ مشخص می‌شود که در ۱۱ درصد حالات مخزن سد کاملا پر شده (تکمیل ظرفیت مخزن) و در ۹ درصد نیز سرریز وجود خواهد داشت. این روند به طور خیلی ساده از روابط (۲) و (۳) تبعیت می‌کنند.

(۲) تبخیر – ورودی = خروجی

(۳) سرریز – خروجی = تنظیم

شاخص‌ها

شاخص اطمینان پذیری نیازها بیش از ۸۷ درصد است که نشان دهنده‌ی این است که سیستم بیشتر نیازها را در طول دوره شبیه‌سازی تامین کرده و مقدار کمبود کم است (تعداد دفعاتی که نیاز به طور کامل تامین شده زیاد است).

شاخص برگشت‌پذیری: هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد بهتر است زیرا این شاخص نشان دهنده‌ی این است که سیستم پس از شکست به حالت مطلوب برسد.

شاخص آسیب‌پذیری: هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد بهتر است زیرا این شاخص نشان دهنده‌ی شکست‌های سیستم است، در نتیجه هر چقدر کمبودها در طول دوره شبیه‌سازی بیشتر باشد آسیب‌پذیری سیستم هم بیشتر می‌شود.

شاخص پایداری: با توجه که امروزه توسعه‌ی پایدار از اصول مهم در انتخاب سیستم‌های منابع آب مناسب است، هر چه قدر شاخص پایداری بیشتر بهتر است.

در این تحقیق شبیه‌سازی منابع اب سد هرسین واقع در استان کرمانشاه با استفاده از نرم‌افزار ویپ انجام یافت. چون حجم سد کم است در نتیجه مقدار تبخیر از سد هم کم خواهد بود. همچنین در این پروژه دو منبع آب زیرزمینی، چشمه، مقدار آب تصفیه شده و مقدار رواناب رودخانه کمیش در تامین نیازهای منطقه کمک می‌کنند. در این حالت چون اولویت نیازها فرق دارد میزان کمبودهای دیگر برابر نخواهد شد ابتدا آب آن نیازی که اولویت بالاتری

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]

دارد تامین می‌شود (جدول ۴). همچنین میزان ورودی، خروجی، تبخیر، سرریز و تنظیم در جدول (۴) آورده شده است. در کل مقادیر کمبودها پایین و حداقل تامین نیازها ۸۰ است.

جدول (۴): نیازهای آبی (میلیون متر مکعب)

نوع نیاز آبی	مقدار تقاضا	تامین نیاز آبی	کمبود	درصد تامین	درصد کمبود
کشاورزی قطره‌ای باغی	۱/۰۹	۰/۸۵	۰/۲۴	۷۷/۹۹	۲۲/۰۱
کشاورزی قطره‌ای زراعی	۱۰/۹۲	۸/۸۱	۲/۱۱	۸۰/۶۸	۱۹/۳۲
کشاورزی سطحی باغی	۳	۲/۰۸	۰/۹۲	۶۹/۳۴	۳۰/۶۶
کشاورزی سطحی زراعی	۳/۶۶	۲/۷۱	۰/۹۵	۷۴/۰۵	۲۵/۹۵
آبخور از فاضلاب زراعی	۵	۳/۹۳	۱/۰۷	۷۸/۶	۲۱/۴
صنعتی	۱۰	۹/۹۶	۰/۰۴	۹۹/۶	۰/۴
شرب	۷/۴۵	۷/۳۲	۰/۱۳	۹۸/۲۶	۱/۷۴
مجموع	۴۱/۱۲	۳۵/۶۶	۵/۴۶		۱۳/۲۷

با توجه به درصد تامین‌ها برای هر نیاز برداشت از منابع مختلف آبی در دسترس بدست آورده شد (جدول ۵).

جدول (۵): برداشت نیازهای بالادست سد از منابع آبی در دسترس (میلیون متر مکعب)

نیاز	برداشت از چشمه	برداشت از آبخوان بالادست	برداشت از تصفیه خانه
شهری (شرب)	۷/۳۹	-	۰
سطحی زراعی	۳/۱۷	۰/۰۲	-
سطحی باغی	۲/۰۸	۰/۰۳	-

جدول (۶): برداشت نیازهای پایین دست سد از منابع آبی در دسترس (میلیون متر مکعب)

نیاز	برداشت از سد	برداشت از آبخوان پایین دست	برداشت از تصفیه خانه
صنعتی	۹/۹۲	۰/۰۶	-
قطره‌ای زراعی	۷/۵۱	۱/۷۷	-
قطره‌ای باغی	۰/۸۵	۰/۰۵	-
آبخور از فاضلاب	۴/۱۲	-	۰/۰۷

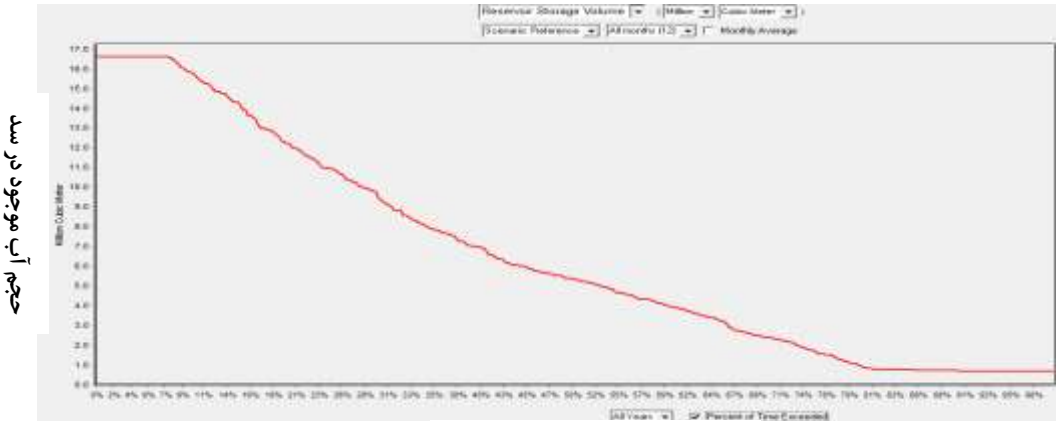
جدول (۷): بیلان سد (میلیون متر مکعب)

تنظیم	سرریز	خروجی	تبخیر	ورودی
۲۳/۰۳	۷/۸	۳۰/۸۳	۱/۲۶	۳۲/۰۹

تحلیل مخزن

در این مرحله، میزان آب خروجی از مخزن برای بازه‌های زمانی مختلف ارزیابی شد. به این منظور، از منحنی فرمان سد کمک گرفته شد. منحنی فرمان بهره‌برداری سد، دستور العملی است که ارائه آن این امکان را برای بهره‌بردار ایجاد می‌کند تا در هر مرحلهٔ زمانی، با توجه به مشخصات مخزن و کل حجم آب در دسترس، در خصوص میزان خروجی مخزن تصمیم گیری کند. در این نمودار محور افقی درصد پر بودن مخزن از آب و محور عمودی حجم آب موجود در سد را بر حسب میلیون متر مکعب نشان می‌دهد. براساس این منحنی مشخّص شد ۸ درصد اوقات مخزن کاملا پر و سد دارای سرریز است. در ۱۰ درصد اوقات مخزن خالی و در تراز ۰/۷ میلیون متر مکعب (حجم مرده) قرار خواهد گرفت (شکل ۳).

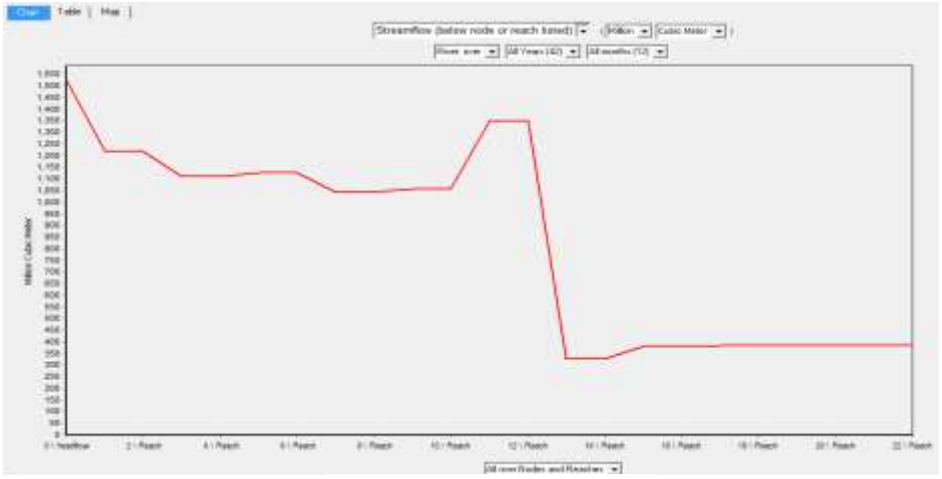
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]



شکل (۳): منحنی پر و خالی شدن مخزن سد هرسین

تحلیل رودخانه

مقدار نیاز زیست‌محیطی رودخانه به روش تنانت محاسبه و در ویپ شبیه‌سازی گردید. طبق این روش باید حداقل نیاز زیست‌محیطی تامین گردد وضعیت رودخانه کمیش، در نمودار نشان می‌دهد که در طول دوره شبیه‌سازی با توجه به اینکه در پایین دست سد نیاز زیست محیطی تعریف شده رودخانه خشک نشده است. به دلیل به هنگام بودن جریان آب در روخانه بعد از برداشت آب برای هر نیاز آب باقی مانده در رودخانه جریان می‌یابد و در مسیر خود با اضافه شدن پساب کشاورزی به تامین سایر نیازها کمک می‌کند. آب جریان یافته در قسمت‌های مختلف روخانه را نشان می‌دهد و کاملا روشن است که جریان آب در رودخانه بعد از تامین نیازها کاهش یافته و با اضافه شدن آب برگشتی از کشاورزی افزایش می‌یابد (شکل ۴).



شکل (۴): نمودار رودخانه کمیش

شاخص‌های پایداری سامانه‌ی منابع آبی

جهت محاسبه شاخص‌های پایداری همه این مقادیر حاصل شده از مدل شبیه‌سازی منابع و مصارف WEAP به اکسل منتقل و محاسبه گردید.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]

۱- اطمینان پذیری (Reliability)

شاخصی است که نشان می‌دهد با چه احتمالی آب اختصاص یافته به مصرف کننده نیاز آن را تامین می‌کند و سیستم تا چه حد در حالت مطمئن و عدم شکست کار می‌کند (رابطه ۴):

$$Re=\frac{N_s}{T}*100 \quad (۴)$$

Ns= تعداد دفعاتی که نسبت تامین به نیاز یک شده است.

T=تعداد گام‌های زمانی شبیه‌سازی

Re= اطمینان پذیری

۲- شاخص برگشت‌پذیری یا انعطاف پذیری (Resiliance)

این پارامتر برای سیستم‌های آبی به این شکل تعریف می‌شود: احتمال اینکه سیستم پس از شکست به حالت مطلوب بازگردد چقدر است؟ به علت اینکه شرایط آب و هوایی و شرایط سیستم‌های منابع آب در بسیاری از مواقع یکنواخت نیست برگشت‌پذیری به عنوان یک پارامتر آماری برای بررسی انعطاف‌پذیری سسیستم نسبت به تغییر شرایط و سیاست‌های مختلف مدیریتی در نظر گرفته می‌شود. احتمال اینکه یک سیستم پس از شکست به حالت مطلوب برگردد را برگشت پذیری می‌گویند. فرمول این شاخص به صورت‌زیراست.

$$Res=\frac{N_{t=1}^{T}(D_{t+1}^{j}=0|D_t^j>0)}{N_{t=1}^{T}(D_t^j>0)} \quad (۵)$$

$N_{t=1}^{T}(D_{t+1}^{j}=0|D_t^j>0)$ تعداد دفعاتی که بعد از یک شکست، سیستم پیروز شود:

$N_{t=1}^{T}(D_t^j>0)$: تعداد دفعاتی که سیستم دچار شکست شده باشد:

۳- شاخص آسیب پذیری (Vulnerability)

آسیب‌پذیری پدیده‌ها شبیه به کمبودها در سیستم است (اگر اتفاق بیفتد). اساسا آسیب‌پذیری شدت شکست‌های سیستم را بیان می‌کند می‌تواند به عنوان یک میانگین شکست‌ها بیان شود. آسیب‌پذیری مجموع کل کمبودها به تعداد گام‌هایی است که در آن کمبود اتفاق افتاده تقسیم بر کل نیاز کاربر باشد.

$$Vul=\frac{(\frac{\sum_{j=1}^{t}(D_t^j|D_t^j>0)}{N_{t=1}^{T}(D_t^j>0)})}{\sum_{t=1}^{T}Demand} \quad (۶)$$

$\sum_{j=1}^{t}(D_t^j|D_t^j>0)$ مجموع کل کمبودها

$N_{t=1}^{T}(D_t^j>0)$ تعداد گام‌های زمانی که در آن‌ها کمبود اتفاق افتاده است

$\sum_{t=1}^{T}Demand$ مجموع کل نیازها

۴- شاخص پایداری (Sustainability Index)

شاخص پایداری جمع‌بندی معیارهای عملکردی سیستم در یک شاخص کلی جهت تسهیل در مقایسه و تصمیم‌گیری بین گزینه‌های مختلف مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب است (رابطه ۷).

$$SIj = Re \times Res \times (1-VUI)^{1/3} \quad (۷)$$

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]

SI^j: شاخص پایداری، Re: شاخص اطمینان پذیری، Res: شاخص برگشت پذیری و Vul: شاخص آسیب پذیری است.

این شاخص‌ها برای نیازهای پایین دست سد بررسی شد که تاثیر مثبت سد مخزنی هرسین را نشان می‌دهد (جدول ۸).

جدول (۸): پارامترهای بدست آمده برای محاسبه شاخص پایداری سامانه‌ی آبی

نیاز	N_s	T	$N_{t=1}^{T}(D_{t+1}^{j}=0 \mid D_t^j>0)$	$N_{t=1}^{T}(D_t^j>0)$	مجموع کل کمبود	مجموع کل نیاز
صنعتی	۵۰۰	۵۰۴	۲	۴	۰/۵۵	۴۲۰
قطره‌ای زراعی	۲۸۵	۳۳۶	۱۴	۵۱	۷۱/۵۷	۴۵۸/۶۱
قطره‌ای باغی	۲۴۱	۲۹۴	۱۴	۵۳	۸/۳	۴۵/۸۴
آبخور از فاضلاب	۲۷۹	۳۳۶	۱۵	۵۷	۳۵/۰۷	۲۱۰

جدول (۹): شاخص‌ی بدست آمده برای نیازهای پایین دست سد (درصد)

نیاز	اطمینان پذیری (Re)	برگشت پذیری (Res)	آسیب پذیری (VUI)	شاخص پایداری (SI)
صنعتی	۹۹/۲۱	۵۰	۰/۰۳۲	۷۹/۱۵
قطره‌ای زراعی	۸۴/۸۲	۲۷/۴۵	۰/۳۱	۶۱/۴۶
قطره‌ای باغی	۸۱/۹۷	۲۶/۴۲	۰/۳۴	۵۹/۹۸
آبخور از فاضلاب	۸۳/۰۴	۲۶/۳۲	۰/۲۹۳	۶۰/۱۷

شاخص اطمینان پذیری برای نیازها مقدار بالایی می‌باشد. برای صنعت این شاخص بیشترین مقدار را دارد هر چقدر شاخص اطمینان پذیری بیشتر باشد سیستم در شرایط بهتری می‌باشد و نشان می‌دهد سیستم در حالت مطمئن و عدم شکست کار می‌کند.

با توجه به اعداد محاسبه شده در جدول (۹) میزان برگشت‌پذیری برای نیازهای کشاورزی پایین بوده که بیانگر این است در طول دوره شبیه‌سازی تعداد برگشت سیستم از حالت شکست به پیروزی بسیار کم است اما برای صنعت در حد قابل قبولی قرار دارد. خوشبختانه آسیب‌پذیری سیستم کم بوده بنابراین میانگین کمبودها در طول دوره شبیه‌سازی پایین است و در شرایط مناسبی تخصیص آب صورت می‌گیرد. شاخص پایداری نیز برای تمام نیازها بالای ۵۰ درصد بوده که این عدد پایداری سیستم در حد مطلوب را می‌رساند. در حالت کلی با توجه به تمام شاخص‌ها تامین نیاز صنعت در شرایط خوبی می‌باشد و سد مخزنی هرسین تاثیر بیشتری نسبت به سایر نیازها برای تامین نیاز صنعت داشته است همچنین برای ارزیابی بیشتر این پروژه می‌توان به بحث درباره‌ی کارهای مشابه پرداخت برای مثال حافظ-پرست و فاطمی (۱۳۹۵)، حوضه‌ی گاماسیاب را در نرم‌افزار ویپ مدل‌سازی نموده سپس به کمک نرم‌افزار اکسل شاخص‌های پایداری منابع آب و حوضه آبریز را محاسبه کردند نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها بیانگر پایداری حوضه آبریز با استفاده از عوامل سازه‌ای و غیر سازه‌ای است. آشفته (۱۳۹۷) به منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن با هدف تأمین آب، تابع هدفی به صورت کمینه کردن مجموع مجذور کمبودهای ماهانه تعیین نمود. بدین منظور، برای حل مسئله به وسیله روش بهینه‌سازی خطی از نرم‌افزار لینگو استفاده گریده است. قدوسی و همکاران (۱۳۹۷) به منظور حداقل‌سازی حجم مصالح مورد نیاز در ساخت سدهای خاکی غیر همگن، طراحی ابعاد هندسی مقطع عرضی این نوع سدها به صورت یک مسئله بهینه‌سازی تک هدفه تعریف کردند. برای دستیابی به یک هندسه بهینه، تعدادی قید مانند محدوده پارامترهای مورد بررسی و ضرایب اطمینان شیروانی‌های بالادست و پایین‌دست در نظر گرفته شد. پارامترهای

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]

بهینه با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم افزار لینگو محاسبه گردید. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های Yilmaz و Harmancioglu (2010) در منطق گدیز ترکیه همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی امکان احداث سد مخزنی هرسین در فاصله ۴۵ کیلومتری شهر کرمانشاه، بر روی رودخانه بابا زید به منظور مهار و ذخیره‌سازی جریان‌های سطحی و زیر زمینی است. جهت انجام تحقیق مد نظر شبیه‌سازی سد هرسین به کمک نرم‌افزارهای ویپ[4] با استفاده از آمار ۴۲ ساله صورت گرفت. همچنین شاخص‌های پایداری منابع آب با استفاده از خروجی مدل ویپ در محیط اکسل محاسبه گردید. نیازهای آبی مد نظر این حوضه شامل کشاورزی، زیست محیطی، شرب و صنعت است. نتایج نشان داد که مقادیر کمبود سالانه آب شرب حدود ۱/۷۴، کشاورزی ۱۴/۲، زیست محیطی ۶/۰۴، صنعت ۰/۴ درصد هستند. درصد کمبود سالانه اراضی کشاورزی در بعضی فصول قابل توجه است. با مطالعه کارهای صورت گرفته در زمینه منابع و مصارف آب مشاهده می‌شود که این مدل قابلیت لازم برای برای برنامه‌ریزی و مطالعه منابع با سناریوهای مختلف مصرف در زمان حال و بازه‌های زمانی مختلف را دارد. امروزه برای کنترل بحران آب، به ویژه در شرایط خشکسالی راهکارهای مختلفی پیشنهاد می‌شود. هر راهکاری باید با توجه به شرایط و پتانسیل‌های منطقه مورد مطالعه مد نظر قرار گیرد. در این مدل امکان تجزیه و تحلیل کمی منابع آب به منظور برنامه‌ریزی پایدار آن و رفع نیاز آبی در بخش‌های مختلف وجود دارد. همچنین قابلیت برنامه‌ریزی مدیریت بهره‌برداری از منابع آب را همزمان با اتخاذ راهکارهایی در شرایط سازه‌ای و غیر سازه‌ای توام با تحلیل کمبود آب در دوره‌های زمانی کوتاه مدت و بلند مدت دارد. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده‌ی کمک سد هرسین به تامین نیازهای آبی محدوده‌ی خود با در نظر گرفتن حقابه رودخانه پایین دست سد است.

پیشنهادات

- محاسبه‌ی خسارات وارد شده به اراضی کشاورزی به صورت ریالی در صورت تنش‌های آبی و محیطی مانند افزایش یا کاهش ناگهانی دما زیرا برآورد خسارت به شکل درصد دقت بالایی ندارد.
- همچنین می‌توان جهت بهبود بهره‌برداری از سد سناریوهای مختلف مانند تغییر الگوی کشت بررسی گردد.
- در صورت تامین نشدن نیاز زیست‌محیطی بازدید میدانی از محل رودخانه صورت گیرد.

منابع

۱. آشفته، پ. (۱۳۹۷). بررسی شاخص انعطاف پذیری سامانه‌ی مخزن در شرایط تغییر اقلیم در تامین بهینه‌ی آب. تحقیقات آب و خاک ایران دوره۴۹، شماره ۲، ۲۷۹-۲۶۹ صفحه.

۲. حافظ‌پرست مودت، م.، م. خلقی و س.ا. فاطمی (۱۳۸۷). ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب دشت تاکستان با استفاده از مدل‌های WEAP و LINGO، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تهران.

۳. حافظ‌پرست مودت، م. و س.ا. فاطمی (۱۳۹۵). محاسبهٔ شاخص‌های پایداری آب و پایداری حوضهٔ آبریز در راستای حفظ توسعهٔ پایدار جغرافیا وپایداری محیط ۲۱، شماره۲، ۳۳-۲۱ صفحه.

۴. فاطمی، س.ا.، ع. بهراملو و م. ادیب‌راد (۱۳۹۵). بررسی راهکارهای سازهای و غیرسازهای مدیریت پایدار منابع آب دشت همدان- بهار. جغرافیا و پایداری محیط ۲۰، شماره ۲، ۶۷-۵۵ صفحه.

۵. قدوسی، م. ف. وکیلی تنها و ک. شاهوردی (۱۳۹۷). کاربرد الگوریتم فراکاوشی sce و مدل lingo11 در بهینه‌سازی ابعاد سدهای خاکی. تحقیقات آب و خاک ایران دوره ۴۹، شماره ۲، ۲۴۲-۲۳۳ صفحه.

[4] WEAP

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]

۶. نوذری، ح. و م. مصطفی (۱۳۹۶). مدیریت بهره برداری از آب مخزن سد امیرکبیر به کمک روش پویایی سیستم و مدل برنامه‌ریزی غیر خطی. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸، شماره ۲، ۳۴۷-۳۳۵ صفحه.

7. Azari A., Akhoond Ali A.M., Radmanesh F., Haghighi A. *(2015). Groundwater–Surface Water Interaction Simulation in Terms of Integrated Water Resource Management (Case Study: Dez Plain).* Irrigation sciences and enginering (JISE) (Scientific journal of agriculture). *38(2), 47-33.*
8. Bonzi C. *(2016). Analysing stakeholder driven scenarios with a transboundary water planning tool for IWRM in the Jordan River Basin*. Integrated Water Resources Management: Concept, Research and Implementation. Springer International Publishing. *413-433:27(3)*.
9. Melosi M. *(2011). Precious commodity: Providing water for America's cities*. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh. *105-108:19(4.)*
10. Mourad K.A. and Alshihabi *O. (2016). Assessment of future Syrian water resources supply and demand by the WEAP model*. Hydrological Sciences Journal *393-401 (61) 2.*
11. Roozbahani A. *(2008). "Using multi-criteria Decision making approach to the utilization of water resources, reservoir dams "(Case study: Dam Darebad Gargak). 1-8 :(6)2*
12. Weng S.Q. Huang G.H. and Li Y.P. *(2010). Expert Systems with Applications*. 7419-8914: (37)12.
13. Yilmaz B. and Harmancioglu. N. *(2010). An Indicator Based Assessment for Water Resources Management in Gediz River Basin, Turkey*. Water Resources Management, *4359–4379: 24 (15).*
14. Li X. Zhao Y., Shi C., Sha J., Wang Zh.L. and Wang Y., *(2015). Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China*. Ocean & Coastal Management,.*97-109: 10(6).*

Productivity and sustainability index evaluation for Harsin dam

Sara Heshamti[1], Fatemeh Salaimi Mostali[2], Maryam Hafezparast Mavadat[3]
1- Graduate student, Water Resource Management, Razi University
2- Graduate student, Water Resource Management, Razi University
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi Unviversity
Received: 2019/03
Accepted: 2019/08

Abstract

Water availability significantly affects development of agriculture, industry and urban services. Thus, the water industry is among the fundamental industries. Yet, most countries, especially developing countries, are suffering from water deficit, water pollution and flood hazards. These problems are more severe in Iran due to improper management of water resources. Integrated water management is a systematic process for sustainable development and water monitoring which considers socioeconomic and environmental needs. The objective of this study was to evaluate the capability of Harsin dam reservoir on Babazaid River, located 45 km east of Kermanshah, Iran for storage of surface water and groundwater recharge. Water productivity and the results of simulation were analyzed through LINGO and WEAP software using 42 years' data. Water sustainability index was also calculated via the WEP model and Excel while taking into account the water needs of agriculture, environment and urban supply. The results indicated that the annual water deficit for urban supply, agriculture, environment and industry were 1.74, 14.2, 6.04 and 0.4%, respectively. The water need for agriculture sector in summer was considerable.
Keywords: Optimization, Simulation, Sustainable Environment, Harsin Dam

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.1.3.1]