نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره سوم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.13364.2802

ارزیابی عملکرد مخزن سد نهب در شرایط خشک‌سالی با استفاده از مدل MODSIM

***فرهاد میثاقی[1] و جواد صادقیها[2]**

[1]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان، [2]کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به کمبود منابع آب در دسترس و افزایش مداوم تقاضای آب، احداث سدهای جدید امری اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. سدها از جمله سازه‌های زیربنائی برای ذخیره و تأمین آب به‌ویژه در دوره‌های خشک‌سالی هستند. چنان‌چه بهره‌برداری از مخازن بهینه باشد، اهداف سد به نحو مطلوبی تأمین می‌شود، ولی از آن‌جا که بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های بزرگ منابع آبی وقت‌گیر، پیچیده و بعضاً دست‌نیافتنی است، استفاده از روش‌های جایگزین مدل‌های بهینه‌سازی که با دقت قابل‌قبول، امکان رسیدن به جواب مناسب نزدیک به بهینه را داشته باشند، راه‌حل مناسبی به‌نظر می‌رسد. یکی از این سدها که در مرحله اجرا می‌باشد، سد مخزنی نهب واقع بر روی رودخانه خررود در استان قزوین است. هدف بهره‌برداری از این سد، ذخیره جریانات نابهنگام و سیلابی رودخانه خررود و تنظیم آن برای تامین حقابه اراضی کشاورزی پایین‌دست و تغذیه آبخوان دشت قزوین می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی نحوه تخصیص آب به مصارف کشاورزی، زیست‌محیطی و تغذیه مصنوعی آبخوان در شرایط خشک‌سالی با استفاده از مدل MODSIM می‌باشد.

مواد و روش‌ها: شبیه‌سازی بهره‌برداری از سد نهب با استفاده از مدل MODSIM، برای یک دوره بلندمدت ۵۰ ساله و طی سال‌های آبی ٤٥-١٣٤٤ تا ٩٤-١٣٩٣ و همچنین یک دوره خشک‌سالی هیدرولوژیکی ۱۷ ساله طی سال‌های آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ٩٤-١٣٩٣ که بر اساس تغییرات متوسط آبدهی رودخانه نسبت به میانگین طولانی‌مدت تعیین گردیده، انجام شده است. شبیه‌سازی به‌صورت ماهانه برای چهار گزینه قبل از رسوب‌گذاری، رسوب‌گذاری ۲۰ ساله، رسوب‌گذاری ۵۰ ساله و شرایط مخزن صفر انجام شده است. اولویت‌بندی تخصیص آب شامل اولویت اول نیاز زیست‌محیطی، دوم حقابه کشاورزی و سوم نیاز تغذیه مصنوعی اختصاص داده شد. کاهش حجم آب خررود در محل احداث سد از سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا آخرین سال آبی ٩٤-١٣٩٣، به دلایل مختلف از جمله خشک‌سالی و برداشت از بالادست، باعث افت عملکرد سد نهب شده است، به‌طوری‌که نیازهای هیچ‌یک از بخش‌های مصرفی در حد قابل‌قبول تأمین نشده است.

یافته‌ها: با مقایسه نتایج گزینه‌های مربوط به رسوب‌گذاری مشخص می‌شود که در شرایط رسوبگذاری ۲۰ ساله، مخزن سد بهترین عملکرد را دارد که به‌دلیل حجم مرده کم در مقایسه با حجم مفید مخزن در این شرایط است. با

* مسئول مکاتبه: farhad_misaghi@znu.ac.ir

مقایسه عملکرد مخزن در شرایط مخزن صفر با گزینه‌های رسوبگذاری مشخص می‌شود که احداث سد تأثیر چندانی بر روی بهبود شرایط توزیع آب نخواهد داشت و مقادیر تأمین در این شرایط بهبود قابل‌توجهی نخواهد کرد. به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد نهب در گزینه‌های مختلف از شاخص‌های درصد تأمین حجمی، اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری استفاده شده است. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که در شبیه‌سازی بلندمدت (۵۰ ساله) و شرایط خشک‌سالی احداث سد تغییر بسیار کمی در افزایش درصد تامین حجمی و زمانی نیاز آب در منطقه خواهد داشت، به‌طوری‌که درصد تأمین کل حقابه‌ها در شرایط رسوبگذاری ۲۰ ساله و ۵۰ ساله به‌ترتیب از ۷۷/٤ به ۳۷/۷ درصد و از ۷۳/۷ به ۳۵/۸ درصد و برای شرایط مخزن صفر از ۵۸/۸ به ۳٤/۱ درصد کاهش یافته است، که در صورت ادامه شرایط خشکسالی و افزایش ۱ تا ۲ درصدی میزان تامین ها نسبت به شرایط موجود، احداث سد و ادامه روند اجرای آن را کاملاً توجیه‌ناپذیر می‌نماید.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که در صورت ادامه روند خشک‌سالی، احداث سد نهب جهت بهبود شرایط توزیع آب توجیه‌پذیر نمی‌باشد و شاید تنها کاربرد آن کنترل سیلاب‌های ناگهانی و جلوگیری از خسارت ناشی از سیلاب در پایین‌دست سد باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری، خشک‌سالی، سد نهب، شبیه‌سازی، MODSIM

مقدمه

سدها از جمله سازه‌های زیربنائی برای ذخیره و تأمین آب به‌ویژه در دوره‌های خشک‌سالی هستند. چنان‌چه بهره‌برداری از مخازن بهینه باشد، اهداف سد به‌نحو مطلوبی تأمین می‌شود، ولی از آن‌جا که بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های بزرگ منابع آبی وقت‌گیر، پیچیده و بعضاً دست‌نیافتنی است، استفاده از روش‌های جایگزین مدل‌های بهینه‌سازی که با دقت قابل‌قبول، امکان رسیدن به جواب مناسب نزدیک به بهینه را داشته باشند، راه‌حل مناسبی به‌نظر می‌رسد. بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب براساس مدل‌های مختلفی صورت می‌گیرد. این مدل‌ها به دو دسته کلی مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تقسیم می‌شوند. استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی، اهداف موردنظر در احداث این سیستم‌ها را به‌طور مطلوب تأمین می‌کند. یکی از بزرگ‌ترین معایب این روش‌ها محدودیت استفاده در سیستم‌های بزرگ منابع آب، به‌دلیل طولانی بودن زمان اجرای مدل و در برخی مواقع، عدم دستیابی به جواب مناسب است. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، راه‌حل دیگری برای بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب می‌باشد (٤ و ۱۱). یکی از این مدل‌ها که کاربرد زیادی نیز دارد، مدل MODSIM است. این بسته کامپیوتری توسط دانشگاه ایالتی کلرادو طراحی شده است (۳ و ٦). برخی کاربردهای MODSIM شامل برنامه‌ریزی بلندمدت، مدیریت میان‌مدت و بهره‌برداری کوتاه‌مدت؛ استفاده تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی؛ بررسی اثرات اعمال ساختارهای نهادی جهت تخصیص آب؛ محاسبه دقیق ظرفیت تولید برق‌آبی؛ شبیه‌سازی قاعده بهره‌برداری از مخازن سدها می‌باشد (۱، ۵، ۱۳ و ١٤). این مدل برای تخصیص آب از یک الگوریتم حل شبکه جریان با دنباله همگرای تکراری جهت آب برگشتی و منطق مشاهداتی استفاده می‌نماید. به‌عبارت دیگر، MODSIM یک مدل بهینه‌سازی شبکه جریان است

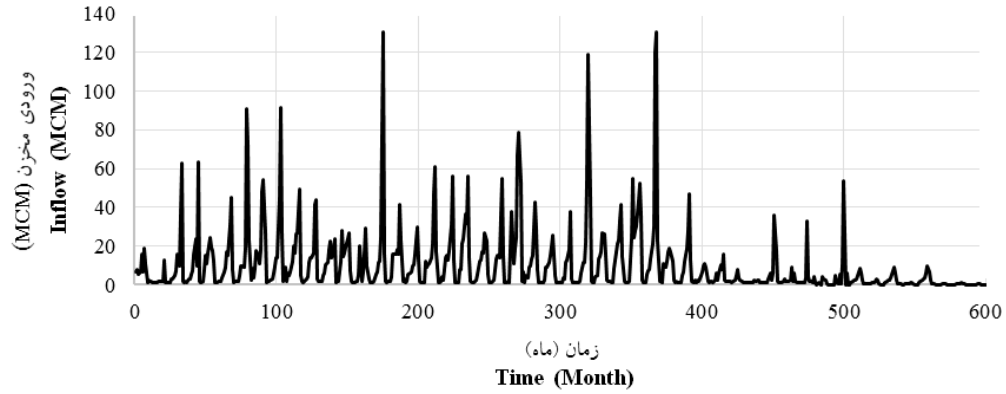
که البته برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود. بهینه‌سازی به کمک اولویت‌بندی مخازن انجام می‌شود و این‌گونه است که می‌توان توزیع ذخیره سیستم را کنترل نمود (٦). راثی‌نظامی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی سیستم منابع آب حوضه مهارلو- بختگان در جنوب ایران را مورد بررسی قرار دادند و به‌منظور مدل سازی این حوضه از مدل شبیه‌ساز MODSIM استفاده نمودند. با استفاده از این مدل، شبیه‌سازی وضعیت حال حاضر منابع و مصارف مختلف حوضه آبریز انجام‌شده و وضعیت کمی و کیفی رودخانه و تالاب‌های حوضه آبریز برای ۳۵ سال آتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و راهکارهای مدیریتی برای تأمین نیازهای مختلف آبی مصرف‌کنندگان و رودخانه‌ها و تالاب‌های حوضه آبریز ارائه شد. نتایج مدل تدوین‌شده برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در سطح حوضه آبریز با استفاده از مدل شبیه‌سازی MODSIM نشانگر کارایی این مدل در بررسی شرایط حال حاضر و پیش‌بینی شرایط آتی منابع آب مختلف در سطح یک حوضه آبریز می‌باشد (۱۰). نیک‌قلب و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1] و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[2] مشخص نمودند که مناسب‌ترین مدل شبیه‌سازی برنامه‌ریزی منابع آب از بین مدل‌های VENSIM، RIBASIM، MODSIM، MIKE SHE، MIKE BASIN و WEAP، با در نظر گرفتن خصوصیات هر یک از مدل‌ها و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه کدام است. مطالعه موردی در این پژوهش یکی از سرشاخه‌های رود کارون در استان چهارمحال و بختیاری انتخاب گردید و در نهایت از بین مدل‌های مطرح MODSIM به‌عنوان مدل منتخب مشخص شد (۹). سچی و سولیس (۲۰۱۰) در پژوهشی به مقایسه مدل‌های AQUATOOL، RIBASIM، WEAP، WARGI-SIM و MODSIM برای ارزیابی اقدامات کاهش اثرات خشک‌سالی در جنوب ایتالیا پرداختند که نتایج آن نشان داد که مدل‌های RIBASIM و WARGI-SIM تنها از الگوریتم شبیه‌سازی در شیوه سنتی اگر- آن‌گاه و مدل‌های AQUATOOL و MODSIM و WEAP اضافه بر شبیه‌سازی، از روش‌های بهینه‌سازی تک‌دوره‌ای به‌عنوان مکانیسم مؤثر، اما نه دقیقاً واقع‌گرایانه برای انجام شبیه‌سازی استفاده می‌کنند (۱۲). سیمونوویچ و همکاران (۱۹۹۷) روش پویایی سیستم‌ها را جهت ارزیابی درازمدت منابع آبی و تحلیل سیاست‌های اعمالی در حوضه رودخانه نیل به‌کار بردند. آن‌ها در این رابطه از نرم‌افزار VENSIM استفاده نمودند و نتایج مدل‌سازی آن‌ها نشان داد که روش پویایی سیستم برای ارزیابی یک سیستم منابع آب و بهره‌برداری از آن عملکرد خوبی داشته و می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت منابع آب در افق‌های آتی کمک کند (۱۵). فرهنگی و بزرگ‌حداد (۲۰۱۰) عملکرد دو مدل شبیه‌سازی MODSIM و WEAP را با مدل بهینه‌سازی غیرخطی Lingo، برای یک سیستم تک‌مخزنه و سپس یک سیستم چندمخزنه در یک دوره خشک مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای بررسی نحوه عملکرد مدل‌ها، از مقایسه چند معیار توسعه‌یافته جهت بیان کارایی سیستم مخازن استفاده نمودند. نتایج بیانگر آن بود که در بهره‌برداری تک‌مخزنه چنان‌چه هدف رسیدن به اعتمادپذیری حجمی مطلوب باشد، می‌توان از مدل‌های شبیه‌سازی به‌جای مدل‌های بهینه‌سازی استفاده کرد (۲). در این پژوهش، عملکرد سد مخزنی نهب بر روی رودخانه خررود در استان قزوین که در حال اجرا می باشد، در یک دوره خشک‌سالی ۱۷ ساله بین سال‌های آبی

1- Criteria Decision Making Multiple
2- Analytical Hierarchy Process

۷۸-۱۳۷۷ تا ۹٤-۱۳۹۳، با استفاده از مدل MODSIM در چهار گزینه شبیه‌سازی و با شاخص‌های درصد تأمین حجمی، اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری ارزیابی شده است. مدل MODSIM یک ابزار مدل‌سازی بصری است که به کاربر اجازه مستندسازی و شبیه‌سازی سیستم‌های پویا را می‌دهد. در حقیقت با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان حلقه‌های علیتی و نمودارهای جریان را تشکیل داد و شبیه‌سازی یک سیستم پویا را به‌سادگی و انعطاف‌پذیری زیادی انجام داد به‌طوری‌که بعد از اجرای مدل، رفتار تک‌تک متغیرهای موجود در مدل توسط نمودارها و جداول ارائه‌شده توسط آن قابل‌ملاحظه است (۱۸، ۱۹ و ۲۱). در این پژوهش تأثیر طولانی‌شدن دوره خشکسالی هیدرولوژیکی و عدم بازگشت‌پذیری آن به‌سمت ترسالی بررسی شده و وقوع پدیده تغییر اقلیم در حوضه آبریز رودخانه خررود مورد تأکید قرار گرفته است. در پژوهش‌های گذشته معمولاً اثرات پدیده تغییر اقلیم با مدل‌های پیش‌بینی برای دوره زمانی آینده تولید و برنامه‌ریزی منابع آب با استفاده از آن‌ها انجام گرفته است، در حالی‌که در این پژوهش تأثیر پدیده تغییر اقلیم حادث شده در منطقه مورد مطالعه بر روی متغیرهای برنامه‌ریزی منابع آب بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: بر اساس اطلاعات دریافتی از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان قزوین و مطالعات مصوب برنامه‌ریزی منابع آب سد نهب، ساختگاه سد مخزنی نهب در ٤۹ درجه و ۲۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ٤۹ دقیقه و ٤۷ ثانیه عرض شمالی در استان قزوین، ۳٦ کیلومتری جنوب‌غربی شهر تاکستان بر روی رودخانه خررود و در حوضه آبریز رود شور، قرار گرفته است. این سد از نوع خاکی با هسته رسی بوده و ارتفاع آن از بستر و از پی به‌ترتیب ٤٦ و ٤۹/۵ متر، طول و عرض تاج آن به‌ترتیب برابر ۲۱۵٦ و ۱۰ متر می‌باشد. تراز تاج سرریز آن در رقوم ۱٤۷۳ متر از سطح دریا واقع شده است. میزان آب تنظیمی سد ۱۰۷/۵۹ و ۱۰۲/۲ میلیون مترمکعب در سال برای شرایط رسوب‌گذاری ۲۰ و ۵۰ ساله می‌باشد. سری بلندمدت آبدهی ماهانه ورودی به مخزن سد جریان رودخانه خررود تنها جریان ورودی به مخزن سد می‌باشد و مقدار آبدهی آن در ایستگاه آب‌سنجی رحیم‌آباد اندازه‌گیری شده است. سری زمانی آورد رودخانه خررود در محل احداث سد در یک دوره ۵۰ ساله طی سال‌های آبی ٤۵-۱۳٤٤ تا ۹٤-۱۳۹۳ در شکل ۱ آورده شده است (۲۰).



شکل ۱- تغییرات ماهانه ورودی به مخزن سد نهب بر حسب میلیون مترمکعب- مطالعات مصوب برنامه‌ریزی منابع آب سد نهب.

Figure 1. Monthly changes of Inflow to the Nohob Dam reservoir – MCM Water resource planning studies of Nohob Dam.

تبخیر خالص از سطح مخزن: توزیع ماهانه تبخیر خالص از سطح مخزن سد با استفاده از آمار تشتک تبخیر و میزان بارش با توجه به ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه و کسر مقادیر تبخیر از بارش تعیین شده است. جدول ۱ میزان این مقادیر را بر حسب میلی‌متر نشان می‌دهد. مقادیر منفی تبخیر از سطح دریاچه سد نهب، نشان‌دهنده بالا بودن مقدار بارندگی نازل شده بر سطح دریاچه سد نسبت به‌میزان تبخیر از سطح آن، در ماه‌های مختلف می‌باشد (۲۰).

روابط هندسی مخزن: روابط هندسی مخزن برای سه حالت قبل از رسوب‌گذاری، رسوب‌گذاری ۲۰ ساله و رسوب‌گذاری ۵۰ ساله با توجه به‌میزان رسوبات ورودی و توزیع این رسوبات در کف مخزن سد در شکل ۲ آورده شده است (۲۰).

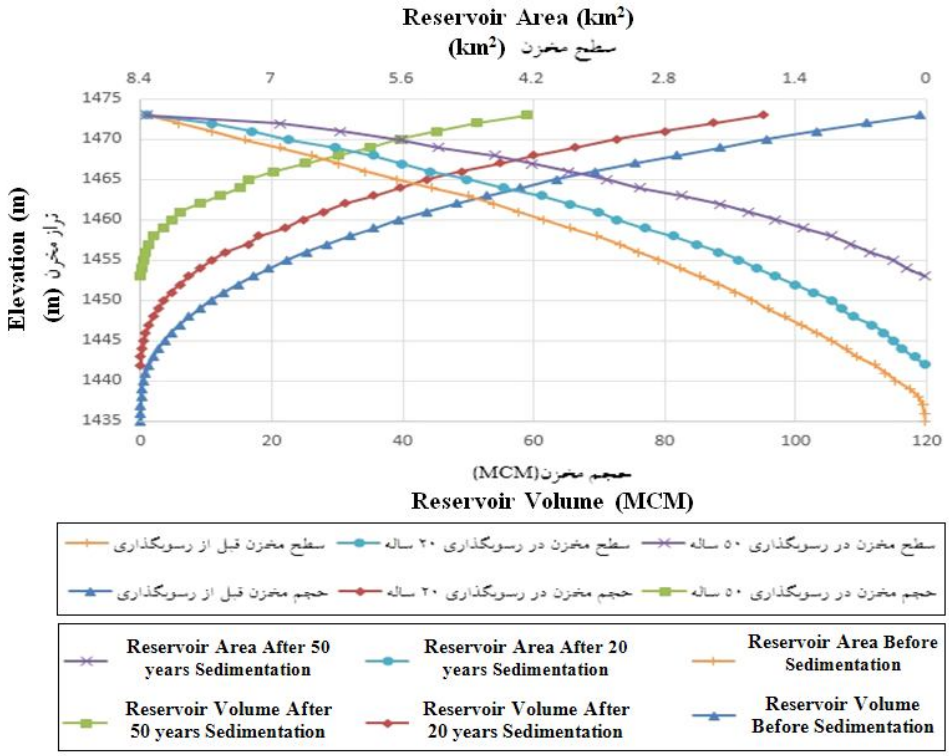
حجم مفید و حجم حداقل بهره‌برداری: با توجه به میزان حجم رسوب سالانه که برابر ۱/۲ میلیون مترمکعب محاسبه شده است، محاسبات مربوط به رسوب برای دو دوره ۲۰ و ۵۰ ساله انجام شده است. در نتیجه حجم مفید مخزن حاصل تفاضل حجم حداکثر و حجم رسوبات ورودی به مخزن می‌باشد که برای شرایط قبل از رسوب‌گذاری، رسوب‌گذاری ۲۰ ساله و ۵۰ ساله در جدول ۲ آمده است (۲۰).

مصارف آب: بر اساس مطالعات مصوب برنامه‌ریزی منابع آب سد نهب که از شرکت سهامی آب منطقه‌ای قزوین اخذ گردیده است، میزان حقابه کشاورزی، نیاز زیست‌محیطی و تغذیه مصنوعی آبخوان در جدول ۳ آورده شده است (۲۰). اراضی هدف سد نهب برابر ۳٦۸۷۷ هکتار می‌باشد، که میزان حقابه این اراضی با توجه به آخرین مصوبه تخصیص معاونت آب و آبفای وزارت نیرو در تاریخ ۱۳۸۷/۱۰/۲٤، برابر ۸۰ میلیون مترمکعب در سال است (۲۰). همچنین نیاز زیست‌محیطی رودخانه بر اساس روش مونتانا قابل‌قبول، معادل ۲۷/۳ میلیون مترمکعب برآورد شده است. طبق مصوبه بخشی از این نیاز از همپوشانی سرریز و آب رهاشده برای اراضی مناطق دو و سه قابل جبران بوده و آب مورد نیاز رهاسازی از سد برای نیاز زیست‌محیطی تنها ۵/۲ میلیون مترمکعب در سال خواهد بود. لازم به ذکر است که روش مونتانا از طرف دفتر تخصیص وزارت نیرو تأیید و پیشنهاد شده است (۲۰). بر اساس آخرین مصوبه تخصیص آب سد نهب سالانه ۲۵ میلیون مترمکعب با توزیع ماهانه نشان داده شده در جدول ۳ جهت تغذیه مصنوعی آبخوان برای جبران بخشی از افت آب زیرزمینی ناشی از برداشت بی‌رویه و همچنین برطرف کردن تأثیر منفی احداث سد بر آبخوان دشت باید از مخزن سد رها شود (۲۰).

جدول ۱- مقادیر تبخیر خالص در محل سد نهب (میلی‌متر)- مطالعات مصوب برنامه‌ریزی منابع آب سد نهب.

Table 1. Net evaporation values at the Nohob dam site (mm) Water resource planning studies of Nohob Dam.

ماه Month	تبخیر خالص (mm) Net Evaporation	ماه Month	تبخیر خالص (mm) Net Evaporation	ماه Month	تبخیر خالص (mm) Net Evaporation	ماه Month	تبخیر خالص (mm) Net Evaporation
مهر Mehr	112.2	دی Dey	-28.2	فروردین Farvardin	39.6	تیر Tir	246.0
آبان Aban	6.2	بهمن Bahman	-31.2	اردیبهشت Ordibehesht	98.4	مرداد Mordad	243.2
آذر Azar	-17.2	اسفند Esfand	-8.2	خرداد Khordad	191.9	شهریور Shahrivar	193.3



شکل ۲- روابط هندسی مخزن سد نهب- مطالعات مصوب برنامه‌ریزی منابع آب سد نهب.

Figure 2. Geometric Relations of the Nohob dam reservoir Approved Water resource planning studies of Nohob Dam.

جدول ۲- حجم مخزن در شرایط مختلف رسوب‌گذاری- مطالعات مصوب برنامه‌ریزی منابع آب سد نهب.

Table 2. Reservoir volume in different sediment conditions Approved Water resource planning studies of Nohob Dam.

رسوبگذاری ۵۰ ساله After 50 years Sedimentation	رسوبگذاری ۲۰ ساله After 20 years Sedimentation	قبل از رسوبگذاری Before Sedimentation	پارامتر Parameters
59	95	119	حجم مفید (MCM) Useful Volume
29.5	47.5	60	حجم اولیه (MCM) Initial Volume
6	7	17.4	حجم حداقل بهره‌برداری (MCM) Minimum Operation Volume

جدول ۳- حقابه کشاورزی، نیاز محیط‌زیست و نیاز تغذیه مصنوعی- میلیون مترمکعب مطالعات مصوب برنامه‌ریزی منابع آب سد نهب.

Table 3. Agricultural rights, environmental and artificial recharge demands – MCM (Approved Nohob Water Resources Planning Studies - Qazvin Regional Water Company) Approved Water resource planning studies of Nohob Dam.

حقابه کشاورزی (MCM) Agricultural Rights	نیاز محیط‌زیست (MCM) Environmental Demand	نیاز تغذیه مصنوعی (MCM) Artificial Recharge	ماه Month
3.7	0	0	مهر Mehr
0.2	0.4	5	آبان Aban
0	0.6	1.5	آذر Azar
0	0.9	1.5	دی Dey
0.1	1.0	2	بهمن Bahman
2.6	0.1	5	اسفند Esfand
8.4	2.2	5	فروردین Farvardin
12.9	0	5	اردیبهشت Ordibehesht
18.2	0	0	خرداد Khordad
17.4	0	0	تیر Tir
14.2	0	0	مرداد Mordad
2.3	0	0	شهریور Shahrivar
80.0	5.2	25	سالانه Annual

شبیه‌سازی منابع آب: شبیه‌سازی بهره‌برداری از سد نهب با استفاده از مدل MODSIM، برای یک دوره بلندمدت ۵۰ ساله و طی سال‌های آبی ٤٥-١٣٤٤ تا ٩٤-١٣٩٣ انجام شده است. برای مشخص نمودن دوره‌های خشک و تر هیدرولوژیکی، تغییرات سالانه آبدهی رودخانه خررود با میانگین ۵۰ ساله در طی سال‌های آبی ٤٥-١٣٤٤ تا ٩٤-١٣٩٣ مقایسه و در شکل ۳ ارائه شده است. بر این اساس طولانی‌تری دوره خشک‌سالی بین سال‌های آبی ٧٨-١٣٧٧ تا ٩٤-١٣٩٣ و به‌مدت ۱۷ سال رخ داده است. طولانی شدن دوره خشکسالی هیدرولوژیکی که از سال ۱۳۷۸ آغاز شده و تاکنون ادامه داشته و عدم برگشت متوسط

جریان به مقدار بلندمدت آن، می تواند نشان‌دهنده وقوع پدیده تغییر اقلیم در منطقه و کاهش بارندگی و جریانات سطحی در حوضه آبریز خرروود باشد. شبیه‌سازی به‌صورت ماهانه برای چهار گزینه قبل از رسوب‌گذاری، رسوب‌گذاری ۲۰ ساله، رسوب‌گذاری ۵۰ ساله و شرایط مخزن صفر در دو دوره شبیه‌سازی بلندمدت ۵۰ ساله و دوره خشکسالی ۱۷ سال انجام شده است. اولویت‌بندی تخصیص آب شامل اولویت اول نیاز زیست‌محیطی، دوم حقابه کشاورزی و سوم نیاز تغذیه مصنوعی اختصاص داده شد (۲۰).

شاخص‌های ارزیابی: به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد نهب در گزینه‌های مختلف از شاخص‌های درصد تأمین حجمی، اعتمادپذیری[1]، برگشت‌پذیری[2] و آسیب‌پذیری[3] استفاده شده است (۷).

درصد تأمین حجمی: این شاخص نشان می‌دهد که چه میزان از نیاز از نظر حجمی تأمین شده است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۱)

$$\text{درصد تأمین حجمی} = \frac{\text{مجموع میزان تأمین‌های ماهانه}}{\text{مجموع نیازهای تعریف‌شده}} \times 100$$

در شکل‌های ٤ و ٥ مقایسه مقادیر درصد تأمین نیازها و حقابه کشاورزی در گزینه‌های مختلف شبیه‌سازی در کل دوره شبیه‌سازی ۵۰ ساله و دوره خشکسالی ارائه شده است (۷).

اعتمادپذیری: اعتمادپذیری یک سری زمانی و یا یک مدل با استفاده از نسبت تعداد داده‌هایی که در محدوده رضایت‌بخش[4] قرار دارند به تعداد کل داده‌های سری زمانی و یا خروجی‌های مدل در دوره‌های شبیه‌سازی، تعیین می‌شود. اعتمادپذیری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(۲)

$$\text{اعتمادپذیری} = \frac{\text{تعداد داده‌هایی که در محدوده رضایت‌بخش قرار دارند}}{\text{تعداد کل داده‌های سری زمانی}}$$

اعتمادپذیری در واقع بیان‌کننده آن است که سری زمانی با چه سرعتی می‌تواند از مقادیر نامطلوب به مقادیر مطلوب برگشت نموده و آن‌ها را پوشش می‌دهد. مقادیر این شاخص در محدوده [۰و۱] بوده و مقادیر بالاتر اعتمادپذیری نشان‌دهنده توانایی سری زمانی در برگشت سریع‌تر به محدوده مطلوب می‌باشد (۷).

برگشت‌پذیری: برگشت‌پذیری نشان‌دهنده آن است که یک مدل که در یک گام زمانی نتایج نامطلوب تولید نموده است، چقدر احتمال دارد که در گام زمانی بعدی، نتیجه‌اش به محدوده رضایت‌بخش برگردد. به‌عبارت دیگر، احتمال این‌که مدل در گام t+1 مقدار رضایت‌بخشی داشته باشد با توجه به این‌که در گام t دارای نتیجه نامطلوب بوده، توسط برگشت‌پذیری تعیین می‌شود. بنابراین نسبت تعداد گام‌های زمانی که مقادیر رضایت‌بخش پس از مقادیر نامطلوب مشاهده می‌شود، به تعداد گام‌های زمانی که مقادیر نامطلوب اتفاق افتاده است، میزان برگشت‌پذیری یک مدل را مشخص می‌نماید.

(۳)

$$\text{برگشت‌پذیری} = \frac{\text{تعداد گام‌های زمانی که مقادیر رضایت‌بخش پس از مقادیر ناخوشایند مشاهده می‌شود}}{\text{تعداد گام‌های زمانی که مقادیر ناخوشایند اتفاق افتاده است}}$$

1- Reliability
2- Resilience
3- Vulnerability
4- Satisfactory

مقادیر این شاخص نیز در محدوده [۰و۱] بوده و مقادیر بالاتر برگشت‌پذیری نشان‌دهنده احتمال بیش‌تر مشاهده یک نتیجه رضایت‌بخش پس از یک نتیجه ناخوشایند می‌باشد.

آسیب‌پذیری: آسیب‌پذیری نسبت تفاوت بین مقادیر حدی[1] و مقادیر نامطلوب سری زمانی به تعداد گام‌های زمانی که مقادیر نامطلوب مشاهده شده است، می‌باشد. مقدار آسیب‌پذیری با توجه به مقدار قابل‌انتظار برای یک سری زمانی به‌شرح زیر تعیین می‌شود:

$$\text{آسیب‌پذیری} = \frac{\text{مجموع تفاوت بین مقادیر حدی و مقادیر ناخوشایند}}{\text{تعداد گام‌های زمانی با مقادیر ناخوشایند}} \qquad (٤)$$

هرچه مقدار آسیب‌پذیری یک سری زمانی کم‌تر باشد، نشان‌دهنده کارایی مناسب‌تر آن است (۷).

مقادیر حدی: مقادیر حدی نشان‌دهنده مرز پیروزی و شکست سیستم می‌باشند که برای هریک از نیازها و حقابه‌ها بر اساس نظام‌نامه تخصیص آب وزارت نیرو، به‌صورت زیر در نظر گرفته شده است:

نیاز محیط‌زیست: درصد تأمین ۱۰۰-۹۰

حقابه کشاورزی و نیاز تغذیه مصنوعی: درصد تأمین ۱۰۰-۸۵

نتایج و بحث

در این پژوهش با استفاده از روش‌های تک‌متغیره شناسایی داده‌های پرت هم‌چون آزمون گراب، گوس، دیکسون و نمودار جعبه‌ای و نیز روش‌های چندمتغیره شناسایی داده‌های پرت هم‌چون تحلیل مؤلفه‌های اصلی، داده‌های پرت حذف شده‌اند. همچنین اطلاعات آبدهی رودخانه در طی دوره آماری ۵۰ ساله با استفاده از آزمون ران تست[2] و منحنی جرم مضاعف[3] همگن‌سازی شده است. با توجه به جدول ٤ در تمامی گزینه‌ها نیاز محیط‌زیست به‌دلیل اولویت بالاتر، حجم کم‌تر و توزیع زمانی در ماه‌های پربارش آبان تا فروردین، با درصد بالاتری از دو بخش کشاورزی و تغذیه مصنوعی تأمین شده است و درصد تأمین دو بخش حقابه کشاورزی و نیاز تغذیه مصنوعی در حدود ٤۰ درصد می‌باشد، که نشان می‌دهد کم‌تر از نیمی از حقابه و نیاز اختصاص داده شده به این دو بخش در صورت بروز خشک‌سالی و ادامه روند کنونی، تأمین می‌شود. از مقایسه نتایج مربوط به رسوب‌گذاری مشخص می‌شود که، در شرایط رسوب‌گذاری ۲۰ ساله درصد تأمین تمامی حقابه‌ها بهتر از سایر گزینه‌های رسوب‌گذاری می‌باشد و این موضوع به‌خاطر پر شدن حجم مرده مخزن سد با رسوبات می‌باشد. در شرایط مخزن صفر (یعنی زمانی که سد ساخته نشده است)، درصد تأمین نیاز زیست‌محیطی بیش‌تر از زمانی است که سد ساخته شده باشد، که به‌دلیل از بین رفتن تلفات ناشی از حجم مرده مخزن سد و همچنین تلفات ناشی از تبخیر و حجم کم نیاز زیست‌محیطی محاسبه شده است. تأمین حقابه کشاورزی و نیاز تغذیه مصنوعی در شرایط شبیه‌سازی بلندمدت و مخزن صفر به‌ترتیب برابر ۵۸/۰ و ۷۰/۲ درصد، و در شرایط خشکسالی به‌ترتیب برابر ۳۷/۱ و ۳۵/۱ درصد است، که نشان‌دهنده تأثیر ناچیز ساخت سد در شرایط وقوع تغییر اقلیم و طولانی شدن خشکسالی، در تأمین حقابه و نیاز این دو بخش است. همچنین شکل ٦ که میزان مجموع کمبود هر سه بخش کشاورزی، زیست‌محیطی و تغذیه مصنوعی را به‌طور سالانه مشخص می‌نماید، تأثیر ناچیز ساخت سد نهب در کاهش کمبودها در

1- Threshold

2- RunTest
3- Double Mass Curve

شرایط وقوع تغییر اقلیم و بروز خشکسالی را نشان می‌دهد، که با نتایج پژوهش‌های مهتا و همکاران (۲۰۱۳) تطابق دارد (۸).

بر اساس جدول ۵ اعتمادپذیری تمامی نیازها در شرایط خشکسالی و مخزن صفر کم‌تر از سایر گزینه‌ها می‌باشد. بنابراین با ساخته شدن سد حتی در شرایط خشکسالی هم با افزایش اعتمادپذیری در بهره‌برداری همراه خواهد بود. در بخش کشاورزی و تغذیه مصنوعی، اعتمادپذیری با افزایش رسوب‌گذاری کم‌تر شده است. درواقع در زمان شبیه‌سازی بلندمدت و خشک‌سالی تفاوت معناداری بین مقادیر اعتمادپذیری در گزینه‌های مختلف رسوب‌گذاری مشاهده نمی‌شود. مقایسه شاخص اعتمادپذیری در دوره شبیه‌سازی بلندمدت با دوره خشکسالی نشان‌دهنده کاهش ۵۰ درصدی می‌باشد و بیانگر آن است که با وقوع خشکسالی و ادامه آن توزیع زمانی تامین نیازها بسیار تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. شاخص اعتمادپذیری در دوره خشکسالی برای رسوب‌گذاری ۲۰ ساله در بخش حقابه کشاورزی و نیاز تغذیه مصنوعی، به‌ترتیب ۳۱/۲ و ۳۳/۶ درصد و برای شرایط مخزن صفر به‌ترتیب برابر ۲۵/۳ و ۲۷/۷ درصد است. این موضوع نشان می‌دهد که با ساخت سد توزیع زمانی بهتر صورت گرفته است، ولی این مقدار بهبود در شرایط وقوع تغییر اقلیم و طولانی‌شدن خشکسالی حادث شده، چندان رضایت‌بخش و معنادار نیست، که با نتایج پژوهش‌های شرتریج و همکاران (۲۰۱۶، ۲۰۱۷) تطابق دارد (۱۶ و ۱۷).

بر اساس جدول ٦ میزان شاخص برگشت‌پذیری تمامی نیازها در شرایط شبیه‌سازی بلندمدت و دوره خشکسالی در تمامی گزینه‌ها و نیازها، کم‌تر از ۳۲ درصد می‌باشد. تغییرات مقدار این شاخص در دوره خشکسالی نسبت به دوره شبیه‌سازی با کاهش صفر تا ٤٥ درصدی مواجه شده است. بنابراین با وقوع خشکسالی و ادامه آن، احتمال برگشت از شرایط ناخوشایند به یک نتیجه رضایت‌بخش بسیار کم می‌باشد.

با توجه به مقادیر ارائه‌شده برای شاخص آسیب‌پذیری در جدول ۷، هر چه مخزن سد در اثر رسوب‌گذاری کوچک‌تر گردد، آسیب‌پذیری سیستم کم‌تر می‌شود و آسیب‌پذیری در شرایطی که سد ساخته نشده است، کم‌تر از زمانی است که سد احداث‌شده باشد. این موضوع نشان می‌دهد که بر اثر کاهش حجم آب ورودی به مخزن سد در زمان خشک‌سالی، مخزن سد کارایی خود را از دست داده و در برخی جهات در جهت عکس اهداف از پیش تعیین‌شده عمل می‌نماید. همچنین می‌توان به این نتیجه رسید که حجم مخزن سد در صورتی که کوچک‌تر انتخاب شود، آسیب‌پذیری کم‌تری خواهد داشت که با نتایج پژوهش‌های شرتریج و همکاران (۲۰۱٦، ۲۰۱۷) تطابق دارد (١٦ و ١٧).

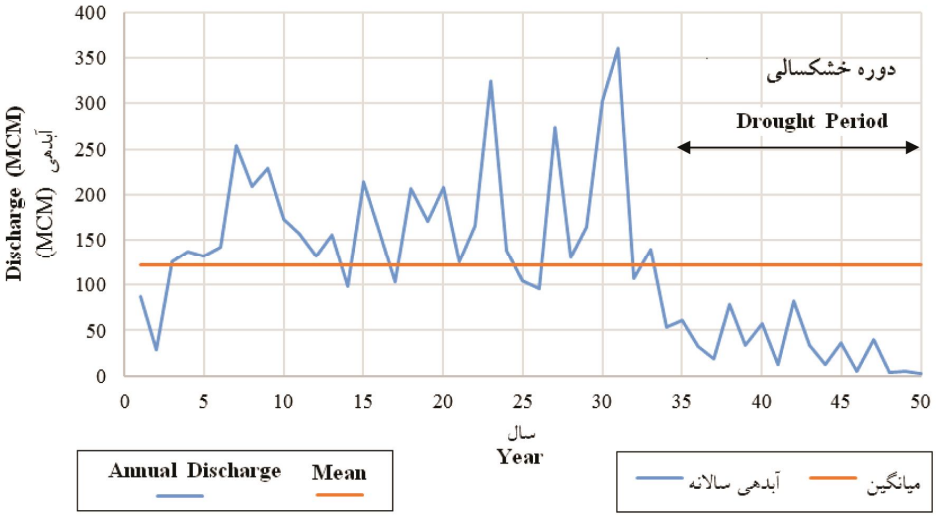
نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی، مشخص می‌شود که کاهش دبی خرروود در محل احداث سد از سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ٩٤-۱۳۹۳، به دلایل مختلف از جمله خشک‌سالی، وقوع پدیده تغییر اقلیم، برداشت از بالادست و سرشاخه‌های خرروود، باعث افت عملکرد سد نهب شده است به‌طوری‌که نیازهای هیچ یک از بخش‌های مصرفی در حد قابل‌قبول تأمین نشده است. با مقایسه نتایج گزینه‌های مربوط به رسوب‌گذاری مشخص می‌شود که در شرایط رسوب‌گذاری ۲۰ ساله مخزن سد بهترین عملکرد را دارد، که به‌دلیل حجم مرده کم در مقایسه با حجم مفید مخزن در این شرایط است. با مقایسه عملکرد مخزن در شرایط مخزن صفر (شرایطی که سد ساخته نشده است) با گزینه‌های رسوب‌گذاری (شرایطی که سد ساخته شده است) مشخص می‌شود که احداث سد تأثیر چندانی بر روی بهبود شرایط توزیع آب نخواهد داشت و مقادیر تأمین در این شرایط بهبود قابل‌توجهی نخواهد داشت که

این موضوع با توجه به شکل ٤ بیش‌تر نمایان می‌شود. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که در صورت ادامه روند خشک‌سالی، احداث سد نهب جهت بهبود شرایط توزیع آب توجیه‌پذیر نمی‌باشد و شاید تنها کاربرد آن کنترل سیلاب‌های ناگهانی و جلوگیری از خسارت ناشی از سیلاب در پایین‌دست سد باشد.

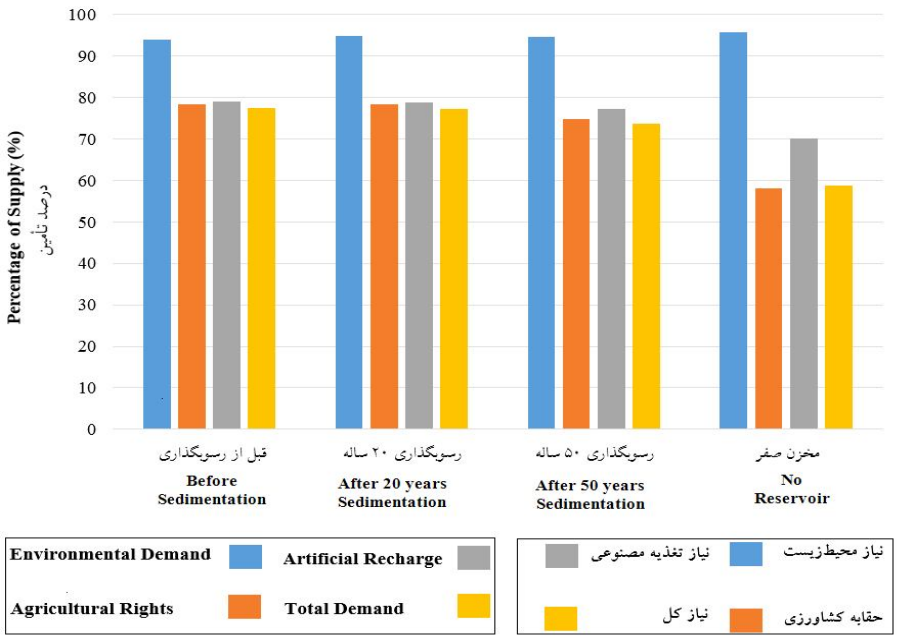
سپاسگزاری

در پایان لازم است مراتب سپاسگزاری و تشکر از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان قزوین که در زمینه جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سد نهب همکاری لازم را داشتند به جا آورده شود.



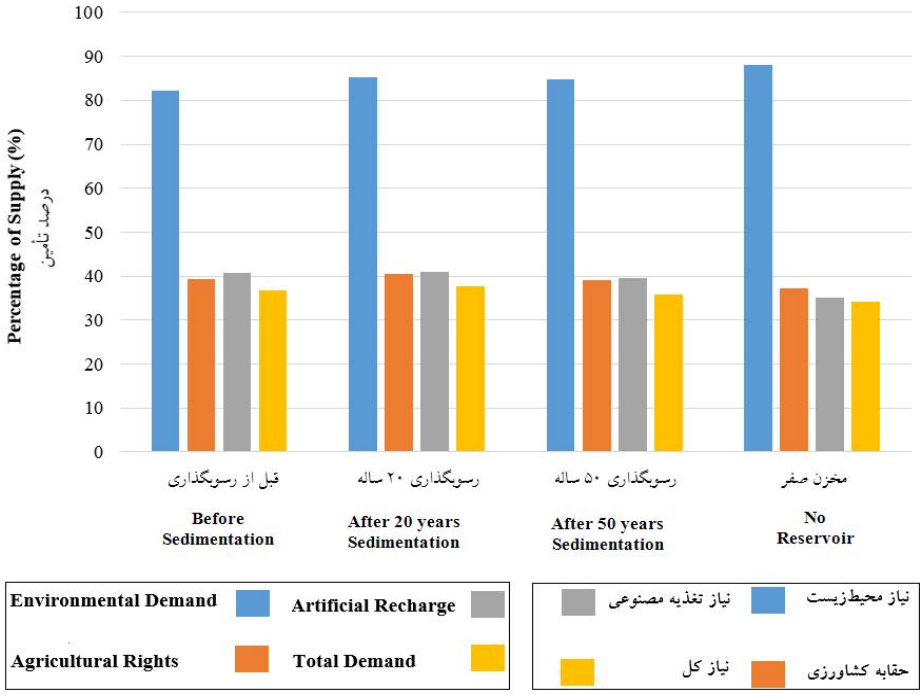
شکل ۳- آبدهی سالانه رودخانه خررود در سال‌های نرمال و خشک‌سالی.

Figure 3. Annual discharge of the Khar-Rud river in drought and normal years.



شکل ٤- مقایسه مقادیر درصد تأمین نیازها در گزینه‌های مختلف در دوره شبیه‌سازی ۵۰ ساله.

Figure 4. Comparison of percentages of requirements for different options in the 50-year simulation period.



شکل ۵- مقایسه مقادیر درصد تأمین حقابه‌ها در گزینه‌های مختلف شبیه‌سازی در دوره ۱۷ ساله خشکسالی.

Figure 5. Comparison of percentages of cost pertaining to different simulation options in the 17-year period of drought.

جدول ٤- مقایسه مقادیر درصد تأمین نیازها در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی بلندمدت و دوره خشکسالی (درصد).

Table 4. Comparison of percentages of supply requirements in different scenarios of long-term simulation and drought period (%).

نیاز آبی Water Demand	قبل از رسوب‌گذاری Before Sedimentation		رسوب‌گذاری ۲۰ ساله After 20 years Sedimentation		رسوب‌گذاری ۵۰ ساله After 50 years Sedimentation		مخزن صفر No Reservoir	
	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period
نیاز محیط‌زیست Environmental Demand	93.9	82.3	94.9	85.3	94.7	84.8	95.8	88.0
حقابه کشاورزی Agricultural Rights	78.3	39.4	78.5	40.5	74.8	39.2	58.0	37.1
نیاز تغذیه مصنوعی Artificial Recharge Demand	79.1	40.8	78.8	41.1	77.2	39.5	70.2	35.1
نیاز کل Total Demand	77.5	36.7	77.4	37.7	73.7	35.8	58.8	34.1

شکل ٦- کمبود سالانه کل نیازها در هر چهار سناریوی شبیه‌سازی.

Figure 6. The annual deficit of total demands in all four simulation scenarios.

جدول ٥- مقایسه مقادیر اعتمادپذیری حقابه‌ها در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی بلندمدت و دوره خشکسالی (درصد).

Table 5. Comparison of reliability on different simulation scenarios (%).

نیاز آبی Water Demand	قبل از رسوب‌گذاری Before Sedimentation		رسوب‌گذاری ۲۰ ساله After 20 years Sedimentation		رسوب‌گذاری ۵۰ ساله After 50 years Sedimentation		مخزن صفر No Reservoir	
	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period
نیاز محیط‌زیست Environmental Demand	92.0	77.4	92.7	79.4	92.7	79.4	93.0	79.4
حقابه کشاورزی Agricultural Rights	75.2	31.2	74.8	31.2	68.4	30.0	45.6	25.3
نیاز تغذیه مصنوعی Artificial Recharge Demand	78.8	33.6	76.0	33.6	74.4	31.9	64.0	27.7

جدول ٦- مقایسه مقادیر برگشت‌پذیری حقابه‌ها در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی بلندمدت و دوره خشکسالی (درصد).

Table 6. Comparison of vulnerability on different simulation scenarios (%).

نیاز آبی Water Demand	قبل از رسوب‌گذاری Before Sedimentation		رسوب‌گذاری ۲۰ ساله After 20 years Sedimentation		رسوب‌گذاری ۵۰ ساله After 50 years Sedimentation		مخزن صفر No Reservoir	
	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period
نیاز محیط‌زیست Environmental Demand	29.2	26.1	31.8	28.6	31.8	28.6	31.8	28.6
حقابه کشاورزی Agricultural Rights	10.5	10.2	11.1	10.2	16.4	10.9	17.9	11
نیاز تغذیه مصنوعی Artificial Recharge Demand	13.2	12.6	14.3	12.6	18.3	14.8	29.4	16.3

جدول ۷- مقایسه مقادیر آسیب‌پذیری حقابه‌ها در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی بلندمدت و دوره خشکسالی (درصد).

Table 7. Comparison of vulnerability on different simulation scenarios (%).

نیاز آبی Water Demand	قبل از رسوب‌گذاری Before Sedimentation		رسوب‌گذاری ۲۰ ساله After 20 years Sedimentation		رسوب‌گذاری ۵۰ ساله After 50 years Sedimentation		مخزن صفر No Reservoir	
	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period	بلندمدت long-term	خشکسالی drought period
نیاز محیط‌زیست Environmental Demand	66.6	65.8	59.6	61.4	61.6	63.5	46.6	47.9
حقابه کشاورزی Agricultural Rights	72.3	72.8	70.2	71.2	64.4	71.7	61.5	68.9
نیاز تغذیه مصنوعی Artificial Recharge Demand	73.1	74.1	73.2	73.8	70.6	73.9	67.6	74.6

منابع

1.Ahmed, S., and Simonovic, S.P. 2000. System Dynamics Modeling of Reservoir Operation for Flood management, J. Com. Civil Engin. 14: 3. 190-198.

2.Farhangi, M., and Bozorg Haddad, A. 2010. Evaluation criteria for designation in management models in water tanks system (Case study: Karun Basin). J. Water Res. 4: 7. 33-46.

3.Gabriel, L., Azevedo, T., Timothy, K., Gates Darrell, G., Fontane, John W., Labadie, and Rubem, L. Porto. 2000. Integration of Water Quantity and Quality in Strategic River Basin Planning. J. Water Recour. Plan. Manage. 126: 6. 85-97.

4.Graham, L.P., Labedie, J.W., Hutchison, I.P.G., and Ferguson, K.A. 1986. Allocation of Augmented Water Supply under a Priority Water Rights System. Water Resources Research, 22: 7. 1083-1094.

5.Koch, H., and Grünewald, U. 2009. A Comparison of Modeling Systems for the Development and Revision of Water Resources Management Plans. Water Resources Management, 23: 1403-1422.

6.Labadie, J.W. 1995. MODSIM: River Basin Network Flow Model for Conjunctive Stream-Aquifer Management Program User Manual and Documentation. Department of Civil Engineering Colorado State University, 104p.

7.Loucks, D.P., and Van Beek, E. 2005. Water Resources Systems Planning and Management. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO, 680p.

8.Mehta, V.K., Aslam, O., Dale, L., Miller, N., and Purkey, D.R. 2013. Scenario-based water resources planning for utilities in the Lake Victoria region. Physics and Chemistry of the Earth, 61: 22-31.

9.Nikghalb, H., Massahi, H., and Alimohammadi, S. 2015. MODSIM model in the assessment of basin water resources development projects. Ninth International Congress of Civil Engineering, University of Isfahan, May 9-11. (In Persian)

10.Rasi Nezami, S., Zariha, M., Baghvand, A., and Moridi, A. 2011. Allocation of water resources at the basin scale models to meet the needs of environmental approach (Case study: Maharlu basin Bakhtegan). Fifth National Conference and Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, Iran, Nov 22-24. (In Persian)

11.Razzaghi, P., Babazadeh, H., and Sechi, M.G., and Sulis, A. 2010. Development of multi-purpose reservoir operation hedging rule in water resources shortage conditions using MODSIM8.1. J. Water Soil Resour. Cons. 3: 2. 11-23. (In Persian)

12.Sechi, M.G., and Sulis, A. 2010. Inter-comparison of Generic Simulation Models for Water Resource Systems. International Congress on Environmental Modeling and Software Modeling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada, July 5-8.

13.Shourian, M. 2012. Rationing policy development in conditions of limited water resources multipurpose reservoir operation by using MODSIM 8.1. J. Soil Water Cons. 2: 11-23. (In Persian)

14.Shourian, M., Mousavi, S.J., and Tahershamsi, A. 2008. Basin-wide Water Resources Planning by Integrating PSO Algorithm and MODSIM. Water Resources Management, 22: 1347-1366.

15.Simonovic, P.S., Fahmy, H., and Ei-Shorbaghy, A. 1997. The Use of Object-Oriented Modeling for Water Resources Planing in Egypt, J. Water Resour. Manage. 11: 243-261.

16.Shortridge, J.E., and Guikema, S.D. 2016. Scenario Discovery with Multiple Criteria: An Evaluation of the Robust Decision-Making Framework for Climate Change Adaptation. Risk Analysis, 36: 12. 2298-2312.

17.Shortridge, J., Guikema, S., and Zaitchik, B. 2017. Robust decision making in data scarce contexts: addressing data and model limitations for infrastructure planning under transient climate change. Climatic Change, 140: 2. 323-337.

18. Tadesse, A., McCartney, M., and Seifu, K. 2010. The water resource implications of planned development in the Lake Tana catchment, Ethiopia. Ecohydrology and Hydrobiology, 10: 2. 211-222.
19. Tidwell, V., Howard, C., Passell, D., Conrad, S.H., and Thomas, R.P. 2004. System dynamics modeling for community-based water planning Application to the Middle Rio Grande, Aquat. Sci, 66: 357-372.
20. Water Resources Planning Studies of Nohob dam. 2010. Qazvin Regional Water Company. 251p.
21. Zhang, X.H., Zhang, H.W., Chen, B., Chen, G.Q., and Zhao, X.H. 2008. Water resources planning based on complex system dynamics: A case study of Tianjin city. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 13: 2328-2336.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(3), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.13364.2802

Performance assessment of Nohob dam reservoir under drought conditions using MODSIM model

***F. Misaghi[1] and J. Sadeghiha[2]**

[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Zanjan,
[2]M.Sc. of Irrigation and Drainage, Dept. of Water Engineering, University of Zanjan
Received: 05.24.2017; Accepted: 05.09.2018

Abstract

Background and Objectives: Due to lack of available water resources and the continuous increase in the water demands, construction of new dams seems to be inevitable. Dams are infrastructures for water storage and supply, especially in drought periods. If the operation of the reservoir is optimized, the purposes of dam construction is efficiently supplied. Since the optimum operation of large water resource systems are time consuming, complex and sometimes unattainable, the use of alternative methods of optimization models seems to be a good solution which are accurately acceptable and give near-optimum answer. Nohob Dam is one of these dams which are implementing at Khar-Rud River at the Qazvin province. The aim of the operation of this dam is to store Khar-Rud river flows and adjust to meet water rights for agricultural lands located downstream and artificial recharge of Qazvin plain. The aim of this study was to investigate the water allocation to agriculture and environmental uses and artificial recharge of aquifers in drought conditions using MODSIM model.

Materials and Methods: The operation of the dam was simulated using the MODSIM model for a long period of 50-year and during the periods of 1965 to 2015, as well as a 17-year hydrological drought period during the periods of 1998 to 2015, which is determined on the basis of average changes in river discharge relative to the long-term average. Simulation was conducted monthly for four options of "before the sedimentation", "20-year sedimentation", "50-year sedimentation" and "no-reservoir conditions". Water allocation priorities are as follows: 1- environmental requirements, 2- agricultural water rights and 3- artificial recharge. Reducing Khar-Rud water volume at the dam site from the years 1998 to 2015, has caused the loss of Nohob dam performance for various reasons, including drought and water withdraw from upstream, so that the needs of any water consuming sections is not supplied.

Results: By comparing the results of sedimentation options, it is identified that in 20-year sedimentation conditions, the reservoir has the best performance, which is due to the low dead volume compared to the useful volume of the reservoir in these conditions. By comparing reservoir performance with no-reservoir conditions with the other sedimentation options, it can be concluded that the dam construction will not have much effect on improving the water distribution conditions and the amount of supply in these conditions will not be significantly improved. In order to evaluate the simulation results of the operation of the reservoir, various parameters, such as, supply percentages, reliability, resilience and vulnerability were used. Also, the simulation results showed that in long-term simulation (50-year) and drought conditions, the dam construction would slightly change the increase in the volume and temporal water supply and demand in the region, so that the percentage of provision of the total demands of water in

* Corresponding Author; Email: farhad_misaghi@znu.ac.ir

20-year and 50-year sedimentation conditions are reduced from 77.4 to 37.6% and 73.7 to 35.8%, respectively and for no-reservoir conditions, it is decreased from to 58.8 to 34.1%. By continuing the drought conditions and increasing water supply up to 1-2% as compared to the no-reservoir conditions, the dam construction and the continuation of its implementation is completely unjustified.

Conclusion: In general, it can be concluded that in the drought conditions, construction of the dam to improve the water distribution conditions is not justified and perhaps its application is only to control the sudden flooding and prevent the damage caused by the flood at downstream of the dam.

***Keywords*:** Drought, MODSIM, Nohob Dam, Operation, Simulation