Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۸ شماره ۴ صفحه‌های ۲۱۱ تا ۲۲۳ / سال ۱۳۹۷

تخصیص آب با استفاده از نرم‌افزارهای WEAP و Vensim (مطالعه موردی: حوضه نازلوچای)

لعیا احمدی[1]*، سید فرهاد موسوی[2]، حجت کرمی[3]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش:۹۷/۹/۲۵

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
۲- استاد گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
۳- استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:Liya7788@yahoo.com

چکیده

امروزه، با توجه به افزایش مصارف و تقاضاهای آب، باید تخصیص بهینه آب را جدی گرفت. در این تحقیق از مدل‌های *WEAP* و *Vensim* جهت برنامه‌ریزی و مدیریت آب حوضه رودخانه نازلوچای واقع در استان آذربایجان غربی استفاده شده است. با استفاده از این دو نرم‌افزار، دو مدل تهیه شده که یکی مربوط به تأمین آب منطقه با استفاده از آب به‌هنگام رودخانه (بدون سد نازلو) و دیگری مدل سد نازلو می‌باشد. نیازهای آب منطقه تا سال ۲۰۱۶ ارزیابی شده، تحلیل‌هایی روی آورد رودخانه در ٤٠ سال گذشته انجام شده و آورد رودخانه از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۱٦ با روش *ARIMA* برآورد شده است. براساس نتایج، متوسط اختلاف مدل‌های *WEAP* و *Vensim* در حالت بدون سد و با سد به ترتیب ۳/۷٤ درصد و ۸/۹۱ درصد می‌باشد. بیشترین کمبود آب مربوط به تامین نیاز کشاورزی در ماه سپتامبر است که با ساخت سد، متوسط تأمین در این ماه از ۱۵/۸ درصد به ۹٤ درصد حجم تقاضا افزایش می‌یابد. برای صحت‌سنجی نتایج نرم‌افزارها در مورد کمبود آب، از شاخص *SPI* استفاده شده که در ۷۲/۵ درصد موارد همخوانی وجود دارد. به طور کلی، بدون احداث سد، مصارف شرب و صنعت و محیط‌زیست منطقه در حد زیاد و قابل قبولی تأمین می‌شود، ولی در مصارف آب در کشاورزی کمبودهایی وجود خواهد داشت. از نقطه نظر تأمین آب، سدی با حجم مخزن ۱۰۰ میلیون مترمکعب به جای سدی با حجم مخزن ۱٥٤ میلیون مترمکعب کفایت خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: تخصیص آب، *ARIMA، SPI، Vensim، WEAP*

www.SID.ir

Archive of SID

Water Allocation Using WEAP and Vensim Softwares (Case study: Nazloo-chai basin)

L Ahmadi1*, SF Mousavi2, H Karami3

Received: 15 September 2015 Accepted: 21 May 2016
[1-] M.Sc. Graduate in Hydr. Structures, Faculty of Civil Engr., Semnan University, Semnan, Iran
[2-] Prof., Dept. of Water Engr. and Hydr. Structures, Faculty of Civil Engr., Semnan University, Semnan, Iran
[3-] Assit. Prof., Dept. of Water Engr. and Hydr. Structures, Faculty of Civil Engr., Semnan University, Semnan, Iran
*: Corresponding Author, Email: Liya7788@yahoo.com

Abstract

Nowadays, due to increased water consumption and demands, optimum water allocation should be taken as a serious need. In this research, WEAP and Vensim softwares are used to plan and manage the water resources and demands in Nazloo River basin, located in West-Azarbaijan province. By use of these softwares, two models were prepared: One for supplying water demands of the region using river flows (without Nazloo dam) and the other one with the same condition but by considering the Nazloo dam operation effect. Water demands of the region were assessed up to 2016, river flow of the past 40 years was analyzed, and river discharge of 2013-2016 was estimated by ARIMA method. Results showed that average differences between the results of WEAP and Vensim softwares were 3.74% and 8.91% for the with-dam and no-dam options, respectively. The highest water deficiency was in water supply to agricultural demand in September, which with construction of the dam, the average supply in this month increases from 15.8% to 94% of the demand amount. To verify the obtained results of the unmet water demand in various years, the SPI index was used, which in 72.5% of the cases it was consistent with the results of the softwares. In general, without constructing the dam, water needs of industry and environment will be mainly supplied, but there would be some deficiencies in water supply for agriculture. For water supply, instead of constructing a dam with a storage capacity of 154 MCM, a dam with a capacity of 100 MCM will be enough.

Keywords: ARIMA, SPI, Vensim, Water allocation, WEAP

مقدمه

با توجه به نیاز روزافزون به آب به‌عنوان حیاتی‌ترین عنصر زندگی و با توجه به محدودیت منابع آب قابل استحصال، اهمیت ابزارهای مدیریتی برای تخصیص بهتر آب بیش از پیش آشکار می‌شود. عرضه آب برای نیازهای مستقیم انسان، ازجمله شرب، یک هدف نهایی است و آب عرضه شده به کشاورزی و صنعت به‌عنوان عاملی برای تولید، حیاتی است.

ساده‌ترین تعریف از تخصیص آب[1] به اشتراک‌گذاری آن در میان کاربران است. اما تعریف بهتر این است که تخصیص آب ترکیبی از اقداماتی است که کاربران و مصرف‌کنندگان آب را قادر می‌سازد تا برای اهداف مفید، با توجه به یک سامانه به رسمیت شناخته شده

[1]. Water allocation

www.SID.ir

Archive of SID

حقوق و اولویت‌ها، آب دریافت کنند. طبیعت پیچیده مسائل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را در یک قالب به‌هم‌پیوسته گردآوری نماید. این همان مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب[۱] است. برای اتخاذ تصمیم-های مناسب و جامع‌نگر باید از سامانه‌های پشتیبان تصمیم[۲]و یا نرم‌افزارهای پویایی سامانه که ویژگی تجمیع تمامی اجزای لازم در کنار هم را دارند، استفاده کرد. در این تحقیق، از مدل *WEAP* که یک نرم‌افزار پشتیبان تصمیم و *Vensim* که یک مدل پویایی سامانه است، جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب استفاده شده است.

آقاکرمی و مریدی (۱۳۹۲)، از مدل *WEAP* جهت ارزیابی کمی سناریوهای تخصیص آب برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی در حوضه آبریز نمک واقع در استان تهران استفاده کردند. نتایج نشان داد که با اجرای طرح فاضلاب، سالانه ۱۱۷ میلیون مترمکعب پساب برگشتی به مصارف کشاورزی اختصاص داده می‌شود و همچنین برای تأمین مصرف شرب تهران ۳۱۸ میلیون مترمکعب از حوضه‌های اطراف به تهران منتقل می‌شود. رستگاری‌پور و پیرملک (۱۳۹۳)، از مدل *WEAP* جهت ارزیابی و اولویت‌بندی تخصیص منابع آب برای مصارف شرب و کشاورزی حوضه طرق در استان خراسان رضوی استفاده کردند. بر اساس نتایج به دست آمده نیاز بخش کشاورزی میزان به طور کامل تأمین شده در حالی‌که در بخش شهری میزان آب تأمین نشده وجود دارد.

اعلمی و همکاران (۱۳۹۳)، در مقاله‌ای، اثرات سد مخزنی گلک در جمع‌آوری جریان‌های سیلابی در زمان‌های بارندگی، تأمین نیازهای منطقه و همچنین تغذیه آبخوان آبرفتی دشت پایین‌دست را با استفاده از مدل *Vensim* بررسی کردند. میثاقی و همکاران (۱۳۹۳)، تحقیقی در حوضه آبریز نیشابور و با تأکید بر حل مسئله روند افت سالانه تراز آبخوان در این دشت انجام دادند و با استفاده از نرم‌افزار *Vensim* اثر هر یک از متغیرها روی مسئله شبیه‌سازی شد. چو و همکاران (۲۰۰۹)، مدل پویایی سامانه *Vensim* برای یک دریاچه مصنوعی، شامل ذخیره مخزن، ملاحظات سیل و نیاز زیست-محیطی را ایجاد کردند. کی و چانگ (۲۰۱۱) مدل‌های پیش‌بینی قدیمی از جمله تحلیل سری زمانی و همچنین مدل‌های پیشرفته مانند شبکه عصبی مصنوعی را که اغلب برای پروژه‌های تقاضای آب شهری در یک بازه زمانی خاص مورد استفاده هستند، با استفاده از *Vensim* گسترش دادند.

فاطمی و همکاران (۲۰۱۳)، از مدل پویایی سامانه *Vensim* و مدل *WEAP* برای برآورد نیاز زیست‌محیطی خلیج گرگانرود استفاده کردند. نتایج هر دو نرم‌افزار در محاسبه نیاز زیست‌محیطی نزدیک به هم بوده است. در اجرای هر دو نرم‌افزار در سامانه کامپیوتری یکسان سرعت *Vensim* صد برابر *WEAP* است.

لی و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای، با استفاده از نرم‌افزار *WEAP* وضعیت آبی منطقه *BHNA*[۳]، سومین منطقه ساحلی تجاری در چین که با کمبود شدید آب مواجه است، را تا سال ۲۰۲۰ میلادی، با استفاده از بررسی سناریوهای جمعیتی، پیشرفت صنعتی و شهرسازی، مورد تحلیل قرار دادند. عمر و موسی (۲۰۱۶) پژوهشی با هدف بررسی سناریوهای مختلف تا سال ۲۰۲۵ با استفاده از مدل *WEAP* انجام دادند. بر اساس این تحقیق، کمبود آب کنونی در مصر ۱۳/۵ میلیارد مترمکعب در سال است و در صورت ادامه سیاست‌های فعلی، کمبود آب در سال ۲۰۲۵ برابر ۲۶ میلیارد مترمکعب در سال خواهد بود. در این پژوهش، طرح‌هایی برای کنترل مصارف آب ارائه شده است.

در تحقیق حاضر، تخصیص آب با دو نرم‌افزار *WEAP* و *Vensim* و مقایسه عملکرد آن‌ها در محدوده رودخانه

۱. Integrated water resources management, IWRM

۲. Decision support systems, DSS

۳. Binhai new area

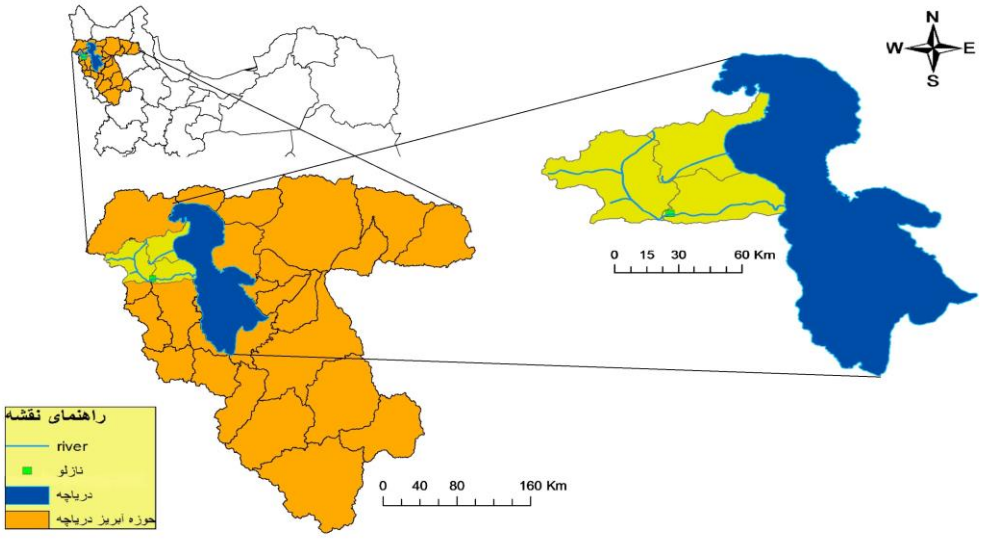
www.SID.ir

Archive of SID

نازلو در استان آذربایجان غربی، بررسی شده است. مخزن سد نازلوچای باز طراحی شده تا حجم مخزن بهینه از نقطه نظر تأمین مصارف آب بدست آید.

مواد و روش‌ها

حوضه رودخانه نازلو در شمال غربی کشور و در استان آذربایجان غربی واقع است. رودخانه نازلو یکی از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است. در شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به حوضه آبریز، دریاچه ارومیه و نقشه کشوری مشاهده می‌شود.



شکل۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به حوضه آبریز دریاچه ارومیه و نقشه کشوری.

برای انجام این تحقیق، آمار دبی رودخانه و بارش منطقه، برای سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۳ موجود است. از آمار دبی رودخانه برای تخصیص آب به مصارف مختلف و از آمار بارش برای بدست آوردن ضریب SPI استفاده شده است.

مدل WEAP

در این تحقیق از مدل *WEAP* جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب استفاده شده است. پایه این نرم‌افزار براساس محاسبه بیلان آب است که در آن هم مدیریت منابع آب و هم مدیریت محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته است. ساختار مدیریتی در *WEAP* با استفاده از سناریوهایی که در آن نوشته می‌شود وضعیت آینده آب را نشان می‌دهد. سناریوها از سال پایه اخذ می‌شوند. این نرم‌افزار در زمانی که مصرف آب چند منظوره و با رقابت انجام می‌شود امکان تحلیل الگوهای مختلف مدیریتی را ممکن می‌کند. تحلیل می‌تواند در مقیاس مکانی و زمانی و با استفاده از اطلاعات موجود صورت گیرد (سایبر و همکاران ۲۰۰۵). بررسی تغییرات عرضه و تقاضا در سطح حوضه آبریز در آینده با کمک سناریوی مرجع صورت می‌گیرد. این سناریو، یک سناریوی پایه است که در آن از داده‌های واقعی استفاده شده است تا بتوان به این وسیله، بهترین تخمین از دوره مورد مطالعه را انجام داد. همچنین سناریوی مرجع نشان می‌دهد که چنانچه روند کنونی در آینده ادامه یابد، با چه شرایط آبی روبرو خواهیم بود.

مدل Vensim

مدل دیگری که برای شبیه‌سازی استفاده شده، مدل *Vensim* است که از جمله مدل‌های پویایی سامانه محسوب می‌شود. پدیده پویایی‌شناسی سامانه، در واقع به روش درک و شناخت مسائل پیچیده در یک سامانه، حل، برنامه‌ریزی، نظارت و هماهنگی اجزای آن اطلاق

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. مسائل موجود در این سامانه از دو ویژگی پویایی و ساختار بازخوردی برخوردارند. براساس ویژگی پویایی، ابعاد کمّی و کیفی سامانه در طول زمان دستخوش تغییر است و براساس ساختار بازخوردی سامانه در طول فرایند تحول خود در هر مرحله به مرحله قبل و بعد خود اطلاعاتی را ارائه می‌دهد (حمیدی‌زاده، ۱۳۷۹).

استفاده از مدل‌های اتفاقی و سری‌های زمانی با توجه به ماهیت اتفاقی و غیرقطعی مسائل مهندسی آب و مدیریت منابع آب به عنوان یکی از روش‌های توصیه شده در پیش‌بینی‌های پدیده‌های تصادفی است. مدل سری زمانی *ARIMA(1,1,0)* نتایج بسیار بهتری نسبت به سایر مدل‌های *ARIMA* دارد و روند تغییرات را بهتر شبیه‌سازی کرده و به خطای کمتری منجر می‌گردد (لطفی و کرمی ۱۳۹۲). به همین دلیل، برای پیش‌بینی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱٦ که دبی رودخانه موجود نبود، از روش *ARIMA(1,1,0)* استفاده شده است.

شاخص خشکسالی *SPI*[1] یا شاخص بارش استاندارد شده توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) با توجه به بررسی اثرات متفاوت کمبود بارش بر آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک، برف و جریان آبراهه، در ایالت کلرادوی آمریکا ارائه شد. آنها شاخص استاندارد شده بارش را در مقیاس‌های زمانی ۳، ٦، ۱۲، ۲٤ و ٤۸ ماهه محاسبه کردند. محاسبه *SPI* برای هر مکان، براساس ثبت بارش‌های طولانی‌مدت در دوره زمانی مورد نظر پایه‌گذاری شده است. داده‌های طولانی مدت ثبت شده، با یک توزیع احتمالاتی برازش داده می‌شوند و سپس به یک توزیع نرمال تبدیل می‌گردند. به طوری که میانگین *SPI* برای هر منطقه با دوره مورد نظر صفر است (وو و همکاران ۲۰۰۱). مقدار *SPI* مثبت بیانگر بارش بیشتر از متوسط و مقدار *SPI* منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط می‌باشد. زمانی که مقدار *SPI* محاسبه شده منفی باشد، نشانه شروع خشکسالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد، پایان خشکسالی را نوید می‌دهد. در این مطالعه از *SPI* دوازده ماهه استفاده شده است.

نتایج و بحث

با توجه به عدم وجود آمار از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۱٦ مدل *ARIMA* برای پیش بینی آورد رودخانه استفاده گردید. با استفاده از روش پیش‌بینی *ARIMA* داده‌های آورد رودخانه برای چهار سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱٦ پیش‌بینی شده است. در استفاده از روش‌های پیش‌بینی باید دقت داشت که از این روش‌ها در پیش‌بینی داده‌های کوتاه-مدت استفاده کرد. داده‌های پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار *MINITAB*، با استفاده از روش *ARIMA(1,1,0)* بدست آمده است. در جدول ۱ داده‌های پیش‌بینی شده قابل مشاهده می‌باشد.

نیازهای مصارف آبی مختلف باید به هر دو نرم‌افزار وارد شود و باید مقادیر این نیازها به صورت جداگانه موجود باشد. کل نیاز سالانه برای سال‌های مختلف محاسبه شده است. کافی است نرخ رشد جمعیت شهری و روستایی در حوضه نازلوچای در دسترس باشد تا برآوردی از میزان جمعیت در سال‌های آینده بدست آید. نرخ رشد جمعیت برای منطقه مورد مطالعه براساس آمارهای جمعیتی برابر ۱/۵٪ در نظر گرفته شده است. نیازهای صنعتی هم با توجه به مجموعه‌های در دست احداث صنعتی و میزان آب اختصاص یافته به هر کدام قابل محاسبه است. نیازهای شرب و صنعت در نیمه اول سال در مقایسه با نیمه دوم سال با افزایش ٦ درصدی روبرو هستند. رودخانه نازلوچای یکی از رودخانه‌های تأمین کننده دریاچه ارومیه است و به همین دلیل سهم نیاز زیست‌محیطی بالاست و در حدود ۳۳ درصد از نیازهای آبی منطقه را شامل می‌شود. نیازهای زیست‌محیطی منطقه با استفاده از روش مونتانا محاسبه شده است. روش مونتانا روشی است

[1]. Standardized precipitation index

www.SID.ir

Archive of SID

که درصدی از بارش کل سالانه را به عنوان نیاز زیست‌محیطی در نظر می‌گیرد، این درصدها برای ماه-های مختلف متفاوت است. نیازهای کشاورزی هم با توجه به سطح زیر کشت در حوضه نازلوچای، محصول کشت شده و میزان نیاز آبی هر محصول قابل محاسبه است. بیش از نیمی از مصارف آب منطقه به بخش کشاورزی اختصاص دارد. مجموع نیازهای منطقه نازلو، ۱۸۰/۲۸ میلیون مترمکعب در سال است.

نیازهای منطقه به ترتیب اولویت‌بندی تخصیص آب عبارت‌اند از: شهری، زیست‌محیطی، صنعتی و کشاورزی که متوسط مقادیر سالانه این نیازها برحسب میلیون متر مکعب به ترتیب برابر است با: ۱۵/٦۱، ۵۷/۳۵، ۲۱/۵۷ و ۹۰/۰٤.

سناریوهای مورد بحث و بررسی در این مطالعه، دو دسته می‌باشند که عبارت‌اند از:

الف- سناریوی مربوط به مدل‌سازی منطقه بدون وجود سد نازلوچای با هدف بررسی میزان کمبود آب.

ب- سناریوی مربوط به مدل‌سازی منطقه همراه با سد نازلوچای و بررسی میزان حجم مخزن لازم برای تأمین آب.

در این حوضه با هر دو نرم‌افزار دو مدل تهیه شده است. یکی از این دو مدل، شبیه‌سازی حوضه آبریز رودخانه بدون وجود سد است و مدل دیگر سد مخزنی نازلو را نیز در شبیه‌سازی گنجانده است. بدین ترتیب می‌توان درصد پوشش نیازهای آبی منطقه با استفاده از آورد به هنگام رودخانه را بدست آورد. در صورت عدم وجود سد، نتایج نرم‌افزار WEAP برای نیازهای برآورده نشده در سطح حوضه آبریز بر حسب میلیون مترمکعب برای نیازهای شهری، زیست‌محیطی، صنعتی و کشاورزی به ترتیب برابر است با: ۰/۲۱، ۰/۲۷، ۱/۵۲، ٤۳/۰۹. در مجموع نیازهای تأمین نشده ٤۵/۱۰ میلیون مترمکعب در سال است.

متوسط درصد تأمین مصارف مختلف در صورت عدم وجود سد در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول۱- آورد پیش بینی شده برای رودخانه نازلو بر حسب میلیون مترمکعب.

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۱۳	۹/۲۲	۹/۲۹	۱۷/۳۲	٥٦/٤۷	۱۰۱/۲۲	٦۱/۰۱	۲۱/۲۰	٦/۹۹	٤/۰۱	٤/۷۵	۹/۳۹	۹/۰۷
۲۰۱٤	۹/۱۵	۹/۲۱	۱۷/۲۵	٥٦/٤۰	۱۰۱/۱٤	٦۰/۹٤	۲۱/۱۳	٦/۹۲	۳/۹٤	٤/٦۸	۹/۳۱	۸/۹۹
۲۰۱۵	۹/۰۸	۹/۱٤	۱۷/۱۸	٥٦/۳۳	۱۰۱/۰۷	٦۰/۸٦	۲۱/۰۵	٦/۸۵	۳/۸٦	٤/٦۱	۹/۲٤	۸/۹۲
۲۰۱٦	۹/۰۰	۹/۰۷	۱۷/۱۰	٥٦/۲۵	۱۰۱/۰۰	٦۰/۷۹	۲۰/۹۸	٦/۷۷	۳/۷۹	٤/۵۳	۹/۱۷	۸/۸۵

جدول۲- متوسط درصد نیازهای برآورده شده منطقه در صورت عدم وجود سد.

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شهری	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
محیط زیست	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	٤٤/٤۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
صنعت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	٦۱/۰۵	۰/۰۱	۷٦/٤۸	۱۰۰	۱۰۰
کشاورزی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	٤٦/٤۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۱۰۰	۱۰۰

همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین نیاز تأمین نشده مربوط به ماه سپتامبر (شهریور) است.

به طور متوسط در سال‌های مورد مطالعه درصد تأمین مصارف شهری، زیست‌محیطی، صنعتی و کشاورزی در حالت بدون سد نازلو به ترتیب ۹۸ درصد، ۹٤ درصد، ۸۹ درصد و ۷٤ درصد می‌باشد.

در جدول ۳ میزان متوسط برآورد نیاز در صورت احداث سد نازلو مشاهده می‌شود. به طور متوسط در

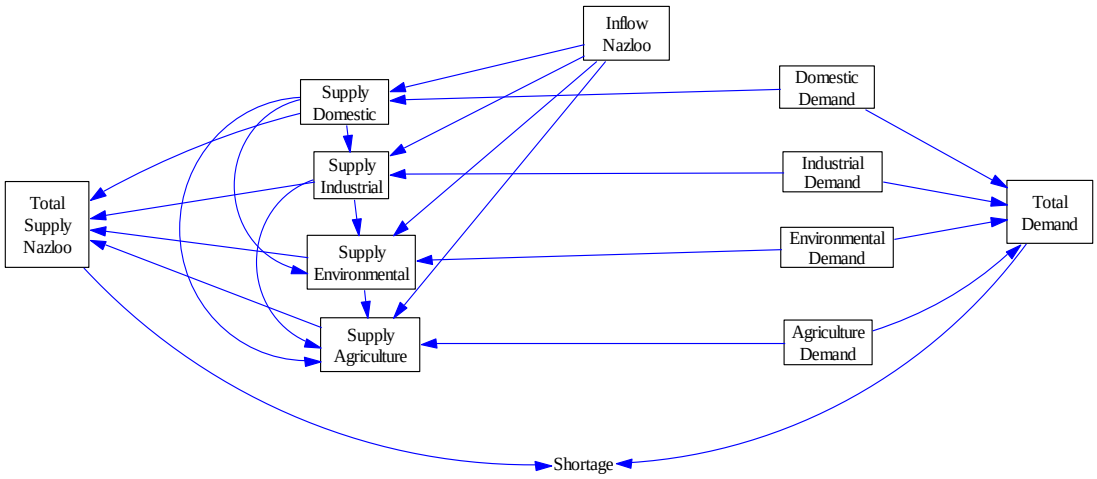
www.SID.ir

Archive of SID

سال‌های مورد مطالعه درصد تـأمین مصـارف شـهری، زیست‌محیطی، صنعتی و کشاورزی در صـورت وجـود سد نازلو به ترتیب ۹۹/۳ درصد، ۹۹ درصد، ۹۸ درصـد و ۹۷/۹ درصد می‌باشد.

جدول۳- متوسط درصد نیازهای برآورده شده منطقه در صورت وجود سد.

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شهری	۹۸/٤۷	۹۸/٤۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۷/۰۳	۹۷/۳٦	۹۹/۹۰	۱۰۰
محیط زیست	۹۸/٤٦	۹۸/٤٦	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹٦/۹۲	۹٦/۵۵	۹۸/٤٦	۱۰۰
صنعت	۹۸/٤٦	۹۸/٤٦	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹٦/۸۸	۹٤/٦۲	۹٦/۵۹	۱۰۰
کشاورزی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/٤٦	۹۷/۲۲	۹٤/۱۷	۹۳/۸۵	۹۵/۳۸	۱۰۰



شکل ۲- مدل تأمین آب مصارف منطقه با آورد به هنگام رودخانه.

دو مدل در نرم‌افزار Vensim تهیه شده است که یکی نیازهای مختلف را با آورد به‌هنگام رودخانه تأمین می-کند. طرح شماتیک این مدل، در شکل ۲ ارائه شده است. مدل دیگر شامل سد نازلو است و نیازها از خروجی‌های سد تأمین می‌شود. در شکل ۳، مدل سد نازلو و مصارف مختلف منطقه مشاهده می‌شود. در صورت عدم وجود سد، نتایج نرم‌افزار Vensim برای نیازهای برآورده نشده در سطح حوضه آبریز بر حسب میلیون مترمکعب برای نیازهای شهری، زیست‌محیطی، صنعتی و کشاورزی به ترتیب برابر است با: ۰/۲۱، ۰/۲۷، ۱/۵۱ و ٤۳/۰۲. در مجموع نیازهای تأمین نشده ٤۵/۰۳ میلیون مترمکعب در سال است.

جدول٤ نشان‌دهنده نتایج مجموع نیازهای برآورده نشده سالانه بر حسب میلیون مترمکعب به ترتیب در حالت بدون سد نازلو و با سد نازلو برای هر دو نرم‌افزار *WEAP* و *Vensim* و همچنین درصد اختلاف آن‌ها است. متوسط اختلاف نتایج دو نرم‌افزار *WEAP* و *Vensim* در حالت بدون وجود سد و با وجود سد، به ترتیب ۳/۷٤ درصد و ۸/۹۱ درصد می‌باشد. هر دو نرم‌افزار *WEAP* و *Vensim* برای مدل‌سازی از معادلات خطی استفاده می-کنند. نزدیکی جواب‌های حاصل از دو نرم‌افزار دلیلی برای درستی مدل‌سازی می‌باشد.

همچنین با توجه به دردست بودن دبی پیش‌بینی شده رودخانه برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱٦، می‌توان مقادیر

www.SID.ir

Archive of SID

نیازهای برآورده نشده درحالت وجود سد برحسب میلیون مترمکعب را در دست داشت که به ترتیب در جداول ۵ و ٦ مشاهده می‌شود. مشاهده می‌شود که در صورت وجود سد، بیشتر مقادیر کمبود آب در ماه‌های مختلف صفر گزارش شده است.

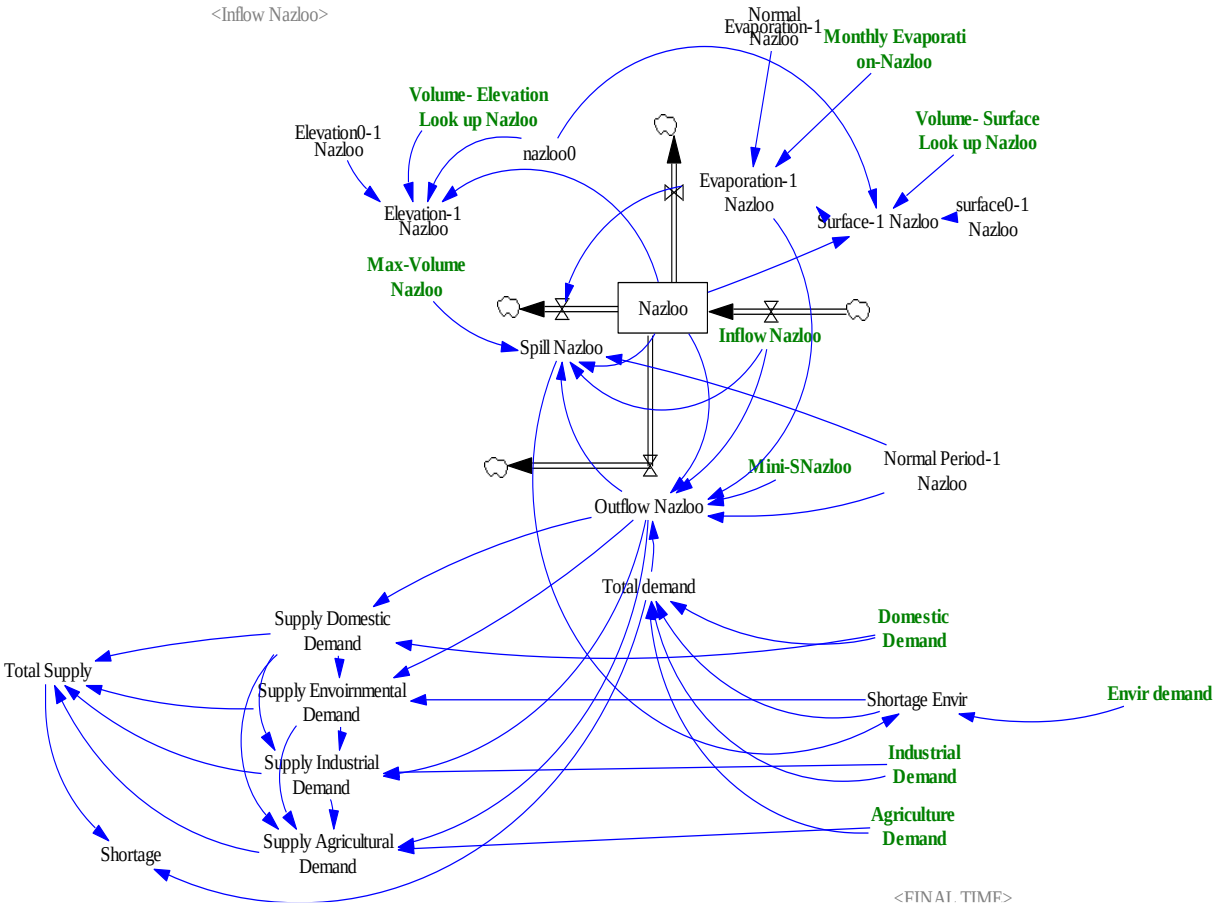
فاطمی و همکاران (۲۰۱۳)، از مدل پویایی سامانه *Vensim* و مدل *WEAP* برای برآورد نیاز زیست‌محیطی خلیج گرگانرود استفاده کردند که نتایج کمبود آب بخش زیست‌محیطی از هر دو نرم‌افزار مشابه هم بدست آمد.

بهینه ازنقطه نظر تأمین مصارف، حجمی است که نیازهای مختلف آبی را در حد ۹۰ درصد تأمین می‌کند.

در هر دو نرم‌افزار نمودار حجم-سطح و نمودار حجم-ارتفاع و مقادیر شدت تبخیر در سطح داده شده است، به همین دلیل وقتی احجام جدید به نرم‌افزار وارد می‌شود ارتفاع نرمال و سطح جدید مخزن بدست می‌آید. هرچه سطح کوچکتر باشد حجم از دست رفته به علت تبخیر کمتر خواهد بود. در شکل ٤ منحنی‌های سطح و حجم برحسب ارتفاع مشاهده می‌شود.

همچنین نتیجه شد که درصد اختلاف نتایج دو نرم‌افزار *WEAP* و *Vensim* کم و قابل قبول است.

در مراحل مختلف برای بازطراحی، احجام مختلف به نرم‌افزارها وارد می‌شود تا حجم بهینه بدست آید.



شکل۳- مدل سد نازلو.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۴- نتایج مجموع نیازهای برآورد نشده سالانه برحسب MCM و درصدهای اختلاف در حالت بدون سد.

بدون سد					با سد				
سال	نتایج Vensim	نتایج WEAP	اختلاف	درصد	نتایج Vensim	نتایج WEAP	اختلاف	درصد
۱۹۷۳	۴۱/۲۳	۴۰/۵۳	۱/۷۳		۰	۰	۰	۰
۱۹۷۴	۲۸/۹۳	۲۸/۰۶	۳/۱۱		۰	۰	۰	۰
۱۹۷۵	۵۷/۲۳	۵۶/۷۳	۰/۹۰		۲/۶۹	۳/۵۳	۳۱/۱۶	
۱۹۷۶	۲۳/۵۵	۲۳/۰۹	۲/۰۰		۰	۰	۰	۰
۱۹۷۷	۴۰/۲۱	۳۹/۴۸	۱/۸۷		۰	۰	۰	۰
۱۹۷۸	۳۹/۸۱	۳۸/۸۵	۲/۴۷		۰	۰	۰	۰
۱۹۷۹	۵۰/۵۸	۴۹/۷۲	۱/۷۴		۰	۰	۰	۰
۱۹۸۰	۵۹/۴۲	۵۸/۶۷	۱/۲۸		۵/۰۲	۵/۵۴	۱۰/۳۸	
۱۹۸۱	۳۵/۹۲	۳۵/۱۹	۲/۰۹		۰	۰	۰	۰
۱۹۸۲	۴۸/۰۶	۴۷/۳۰	۱/۶۰		۰	۰	۰	۰
۱۹۸۳	۴۷/۶۱	۴۶/۶۵	۲/۰۶		۰	۰	۰	۰
۱۹۸۴	۵۰/۰۸	۴۹/۳۰	۱/۵۸		۰	۰	۰	۰
۱۹۸۵	۵۰/۱۷	۴۹/۲۱	۱/۹۴		۰	۰	۰	۰
۱۹۸۶	۵۸/۱۸	۵۷/۲۷	۱/۶۰		۳/۸۰	۴/۰۹	۷/۵۳	
۱۹۸۷	۴۷/۷۷	۴۶/۷۰	۲/۲۹		۰	۰	۰	۰
۱۹۸۸	۱۲/۳۲	۱۱/۵۷	۶/۴۹		۰	۰	۰	۰
۱۹۸۹	۷۸/۳۵	۷۷/۳۰	۱/۳۶		۲۴/۲۲	۲۴/۵۱	۱/۲۲	
۱۹۹۰	۴۴/۸۲	۴۳/۸۸	۲/۱۵		۰	۰	۰	۰
۱۹۹۱	۶۶/۴۱	۶۵/۲۴	۱/۷۹		۱۲/۴۲	۱۲/۷۶	۲/۷۲	
۱۹۹۲	۱۵/۹۶	۱۵/۲۶	۴/۶۴		۰	۰	۰	۰
۱۹۹۳	۰/۷۵	۰/۵۰	۴۸/۷۴		۰	۰	۰	۰
۱۹۹۴	۲۱/۴۲	۲۰/۱۵	۶/۳۰		۰	۰	۰	۰

بدون سد					با سد				
سال	نتایج Vensim	نتایج WEAP	اختلاف	درصد	نتایج Vensim	نتایج WEAP	اختلاف	درصد
۱۹۹۵	۲۲/۹۴	۲۲/۲۵	۳/۱۰		۰	۰	۰	۰
۱۹۹۶	۳۷/۷۸	۳۶/۶۰	۳/۲۳		۰	۰	۰	۰
۱۹۹۷	۳۱/۴۹	۳۰/۸۴	۲/۰۹		۰	۰	۰	۰
۱۹۹۸	۵۴/۷۵	۵۳/۲۹	۲/۷۴		۰/۹۲	۰/۵۲	۴۳/۰۹	
۱۹۹۹	۸۴/۳۲	۸۲/۷۳	۱/۹۳		۴۸/۳۵	۴۵/۰۲	۶/۸۷	
۲۰۰۰	۸۴/۷۰	۸۲/۹۲	۲/۱۴		۳۱/۵۷	۳۰/۱۵	۴/۵۱	
۲۰۰۱	۸۳/۳۳	۸۱/۴۲	۲/۳۴		۴۳/۵۷	۴۰/۷۴	۶/۵۰	
۲۰۰۲	۶۰/۸۷	۵۹/۰۴	۳/۰۹		۶/۵۹	۵/۸۲	۱۱/۷۱	
۲۰۰۳	۴۸/۷۹	۴۷/۰۹	۳/۶۰		۰/۴۵	۰	۱۰۰	
۲۰۰۴	۴۶/۷۸	۴۵/۱۹	۳/۵۱		۰	۰	۰	۰
۲۰۰۵	۶۷/۸۴	۶۵/۸۹	۲/۹۶		۱۳/۹۴	۱۳/۴۴	۳/۵۵	
۲۰۰۶	۶۵/۸۱	۶۴/۴۱	۲/۱۸		۱۱/۳۸	۱۱/۳۸	۰/۰۶	
۲۰۰۷	۶۱/۲۹	۵۹/۵۳	۲/۹۶		۶/۹۳	۶/۴۸	۶/۵۰	
۲۰۰۸	۷۶/۵۶	۷۴/۶۸	۲/۵۲		۲۸/۰۸	۲۴/۸۹	۱۱/۳۸	
۲۰۰۹	۶۳/۱۳	۶۱/۵۵	۲/۵۶		۸/۷۲	۸/۴۶	۳/۰۱	
۲۰۱۰	۵۷/۱۳	۵۵/۲۳	۳/۴۴		۲/۸۱	۲/۱۹	۲۲/۱۰	
۲۰۱۱	۵۳/۳۴	۵۱/۵۳	۳/۵۱		۰	۰	۰	۰
۲۰۱۲	۶۲/۸۱	۶۴/۵۳	۲/۶۷		۸/۳۹	۱۱/۹۶	۴۲/۵۹	
۲۰۱۳	۵۶/۹۳	۵۴/۹۷	۳/۵۶		۲/۵۹	۱/۷۳	۳۳/۲۵	
۲۰۱۴	۶۱/۵۰	۵۹/۴۰	۳/۵۴		۷/۱۳	۶/۱۸	۱۳/۳۵	
۲۰۱۵	۵۷/۰۴	۵۵/۰۷	۳/۵۶		۲/۷۱	۱/۸۹	۳۰/۴۶	
۲۰۱۶	۵۱/۸۶	۴۹/۹۹	۳/۷۵		۰	۰	۰	۰

جدول ۵- میزان کمبود آب برای مصارف منطقه برای سال آبی ۲۰۱۵ برحسب میلیون مترمکعب.

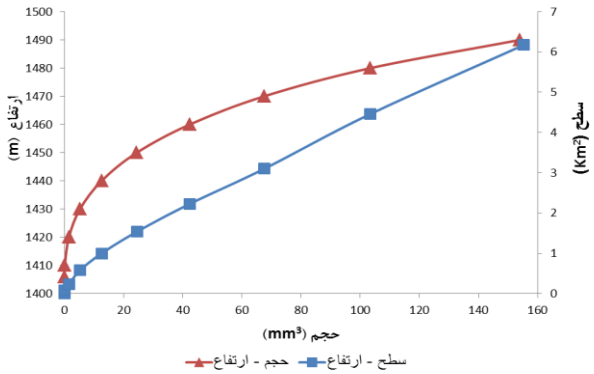
	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شهری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
محیط زیست	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۹۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
صنعت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۸	۲/۶۰	۰/۴۰	۰/۰۰	۰/۰۰
کشاورزی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۲/۱۵	۲۱/۳۴	۱۳/۶۳	۲/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰

جدول ۶- میزان کمبود آب برای مصارف منطقه برای سال آبی ۲۰۱۶ برحسب میلیون مترمکعب.

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شهری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
محیط زیست	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
صنعت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۱	۲/۶۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
کشاورزی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹/۸۳	۲۱/۳۵	۱۳/۶۳	۲/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- منحنی‌های سطح و حجم برحسب ارتفاع.

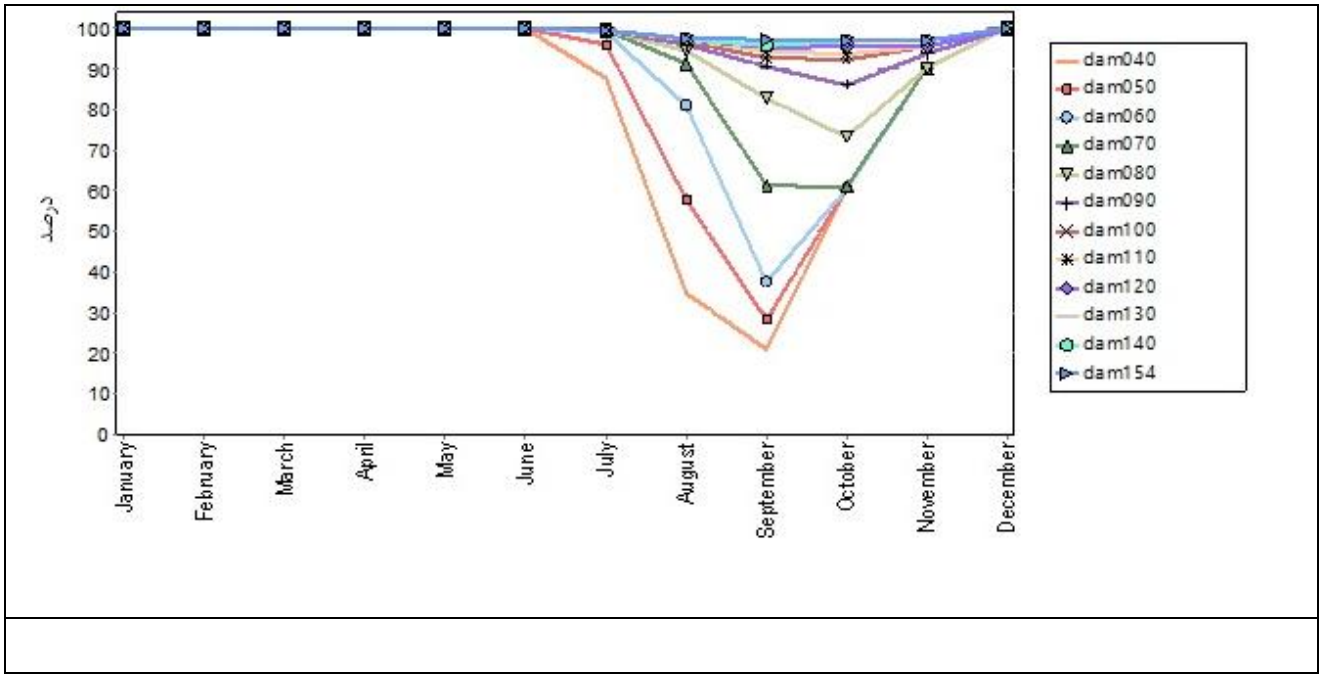
بعد از دستور توقف سد نازلو به همراه سه سد دیگر به علت شرایط کم آبی دریاچه ارومیه، یکی از پیشنهادها برای سد نازلو، ادامه احداث سد با حجم مخزن کوچکتر است. حجم طراحی شده اولیه توسط شرکت مشاور آبساران ۱۵٤ میلیون مترمکعب است. ولی از نقطه نظر تأمین آب می‌توان حجم مخزن را کوچکتر در نظر گرفت. چندین حجم مخزن کوچکتر از حجم اولیه به نرم‌افزار وارد شد تا بتوان حجم بهینه را بدست آورد. شکل ٥، نمودار متوسط درصد تأمین مصرف آب در کشاورزی در حجم‌های متفاوت مخزن را نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که در صورت وجود سدی با حجم مخزن ۱۰۰ میلیون مترمکعب، متوسط درصد تأمین مصرف کشاورزی بیشتر از ۹۰ درصد می‌باشد.

برای صحت‌سنجی نتایج بدست‌آمده از هر دو نرم‌افزار *WEAP* و *Vensim*، از شاخص خشکسالی *SPI* دوازده ماهه استفاده شده است. برای سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۳ آمار بارش در منطقه نازلو موجود است. با استفاده از این داده‌ها، شاخص خشکسالی *SPI* دوازده ماهه بدست آمد که با مقادیر کمبود آب منطقه در حالت بدون وجود سد مقایسه شد. به این ترتیب که انتظار می‌رفت، برای سال‌هایی که مقادیر کمبود آب کمتر گزارش شده است سال پرآب‌تری نسبت به سال‌های دیگر بود. مقادیر شاخص *SPI* دوازده ماهه برای سال‌های ۱۹۷٤ تا ۲۰۱۳ در جدول ۷ ارائه شده است. در مقایسه بین نیاز تأمین نشده و شاخص *SPI*، از نتایج بدست آمده از نرم‌افزار *WEAP* استفاده شده است چون نتایج بدست آمده از نرم‌افزارها به طور متوسط فقط ۳/۷٤ درصد اختلاف داشتند و این مقدار تغییر چندانی در نتایج این قسمت ایجاد نخواهد کرد. مقدار *SPI* مثبت بیانگر بارش بیشتر از متوسط و مقدار *SPI* منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط می‌باشد. زمانی که مقدار *SPI* محاسبه شده منفی باشد، نشانه شروع خشکسالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد، پایان خشکسالی را نوید می‌دهد. بنابراین زمانی که مقدار *SPI* کم می‌شود چون خشکسالی شروع شده است پس میزان کمبود آب افزایش یابد و زمانی که مقدار *SPI* زیاد می‌شود میزان کمبود آب کاهش یابد. پس بین کمبود آب و شاخص خشکسالی *SPI* رابطه معکوس وجود دارد.

در شکل ٦ منحنی‌های مقادیر *SPI* و کمبود آب در سال-های مختلف مشاهده می‌شود. در ۲۹ سال از ٤۰ سال مورد مطالعه، یعنی در ۷۲/٥ درصد از سال‌های مورد مطالعه، همزمان با افزایش شاخص خشکسالی، میزان کمبود آب کاهش یافته است. یعنی در ۷۲/٥ درصد از سال‌های مورد مطالعه بین نتایج شاخص خشکسالی و مقدار تأمین آب منطقه مورد مطالعه تطابق وجود دارد. بخصوص در زمان‌هایی که تغییرات میزان کمبود آب گزارش شده توسط نرم‌افزار محسوس است، میزان تغییرات *SPI* مرتبط با آن سال‌ها محسوس‌تر است. به عنوان مثال، از سال ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۹ کمبود آب به صورت تصاعدی افزایش یافته است که مشاهده می-شود نمودار *SPI* متناظر با آن سال‌ها حالت نزولی دارد و نشانه‌ای از خشکسالی است.

www.SID.ir

Archive of SID



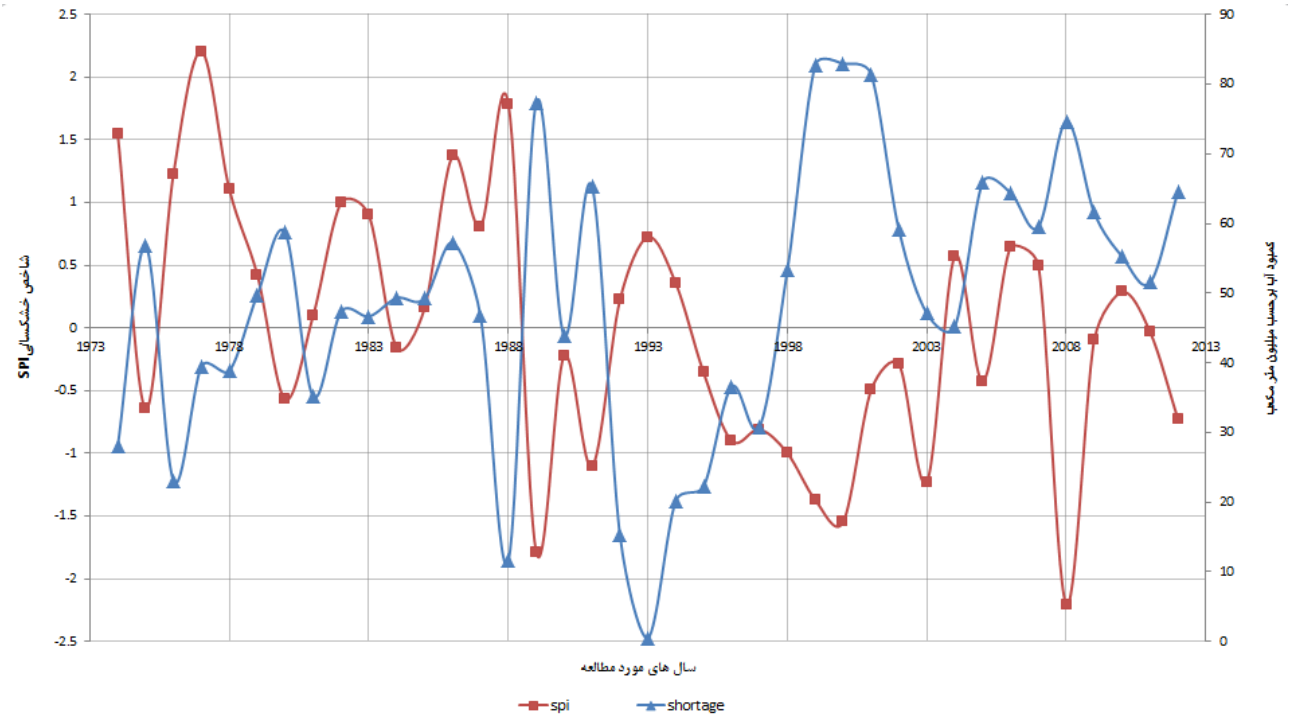
شکل ۵- متوسط درصد ماهانه تأمین مصرف آب در کشاورزی به ازای حجم‌های متفاوت مخزن.

جدول ۷- میزان کمبود آب برحسب *MCM*، بارش برحسب میلی‌متر و شاخص *SPI*.

سال	بارش	SPI	نیازتأمین نشده	سال	بارش	*SPI*	نیازتأمین نشده
۱۹۷٤	٦۰۳/۷	۱/۵۵	۲۸/۰٦	۱۹۹٤	۳۸۸	۰/۳٦	۲۰/۱۵
۱۹۷۵	۲٦۱	-۰/٦٤	۵٦/۷۳	۱۹۹۵	۲۹۳	-۰/۳٦	۲۲/۲۵
۱۹۷٦	۵۸۸	۱/۲۳	۲۳/۰۹	۱۹۹٦	۲۲۵	-۰/۹۰	۳٦/٦۰
۱۹۷۷	۷۰۸/۵	۲/۲۱	۳۹/٤۸	۱۹۹۷	۲۲۷	-۰/۸۱	۳۰/۸٤
۱۹۷۸	۵۲۵	۱/۱۱	۳۸/۸۵	۱۹۹۸	۲۱۸	-۱/۰۰	۵۳/۲۹
۱۹۷۹	۳۸۹	۰/٤۳	٤۹/۷۲	۱۹۹۹	۱۹۳	-۱/۳۷	۸۲/۷۳
۱۹۸۰	۲٦۸	-۰/۵۷	۵۸/٦۷	۲۰۰۰	۱۷۰	-۱/۵۵	۸۲/۹۲
۱۹۸۱	۳۵۱	۰/۱۰	۳۵/۱۹	۲۰۰۱	۲٦۹	-۰/۵۰	۸۱/٤۲
۱۹۸۲	۵۱۰	۱/۰۰	٤۷/۳۰	۲۰۰۲	۲۹۳/۵	-۰/۲۹	۵۹/۰٤
۱۹۸۳	٤۹۵/۵	۰/۹۰	٤٦/٦۵	۲۰۰۳	۱۹۷/۵	-۱/۲۳	٤۷/۰۹
۱۹۸٤	۳۱۵	-۰/۱٦	٤۹/۳۰	۲۰۰٤	٤۳۹	۰/۵۷	٤۵/۱۹
۱۹۸۵	۳۵۵	۰/۱٦	٤۹/۲۱	۲۰۰۵	۲۸۱/۳	-۰/٤۳	٦۵/۸۹
۱۹۸٦	۵۹۵	۱/۳۷	۵۷/۲۷	۲۰۰٦	٤٦۹	۰/٦٤	٦٤/٤۱
۱۹۸۷	٤۸۸	۰/۸۱	٤٦/۷۰	۲۰۰۷	٤۰۹/۵	۰/۵۰	۵۹/۵۳
۱۹۸۸	٦۰۷	۱/۷۹	۱۱/۵۷	۲۰۰۸	۱۵۷/۵	-۲/۲۱	۷٤/٦۸
۱۹۸۹	۱٦٤	-۱/۷۹	۷۷/۳۰	۲۰۰۹	۳۱۸/۵	-۰/۱۰	٦۱/۵۵
۱۹۹۰	۲۹٦/۵	-۰/۲۲	٤۳/۸۸	۲۰۱۰	۳۷٦/۵	۰/۲۹	۵۵/۲۳
۱۹۹۱	۲۱۰	-۱/۱۱	٦۵/۲٤	۲۰۱۱	۳٤۱	-۰/۰۳	۵۱/۵۳
۱۹۹۲	۳۵۹/۵	۰/۲۲	۱۵/۲٦	۲۰۱۲	۲۵۱/۵	-۰/۷۲	٦٤/۵۳
۱۹۹۳	٤۷۵/۵	۰/۷۲	۰/۵۰	۲۰۱۳	۳۵۰	۰/۰۳	۵٤/۹۷

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- مقایسه SPI و کمبود آب در حوضه نازلو.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از کاربرد دو نرم‌افزار WEAP و *Vensim* نشان می‌دهد که درصد کمبود تأمین آب در دوره پیش‌بینی، بسیار شبیه دوره آماری ٤٠ ساله بود. بدون احداث سد، مصارف شرب و صنعتی و محیطزیستی منطقه در حد بالا و قابل قبولی تأمین می‌شود ولی در مصارف آب در کشاورزی کمبودهایی وجود خواهد داشت. از نقطه نظر تأمین آب، سدی با حجم مخزن ۱۰۰ میلیون مترمکعب به جای سدی با حجم مخزن ١٥٤ میلیون مترمکعب کفایت خواهد کرد. نرم‌افزار *Vensim* سرعت اجرای بالاتری نسبت به WEAP دارد. در ۷۲/۵ درصد از سال‌های مورد مطالعه یعنی ۲۹ سال از ٤٠ سال، میزان مجموع کمبود آب در مصارف مختلف و شاخص *SPI* در آن سال هم‌خوانی وجود دارد.

مطمئناً افزایش راندمان در همه مصارف اقدامی مؤثر است. ولی در مورد مصارف کشاورزی که بیشترین نیاز آبی منطقه محسوب می‌شود، افزایش راندمان اقدامی مؤثرتر است با توجه به نتایج ارائه شده در این مطالعه مشاهده می‌شود که با توجه به اولویت‌دهی خاص در منطقه مورد مطالعه، بیشترین کمبود آب مربوط به مصارف کشاورزی است. در صورت ایجاد هرگونه افزایش راندمان در مصارف کشاورزی اثر آن مستقیماً در تأمین نیازهای آبی منطقه مشاهده می‌شود. در چنین شرایطی و با توجه به توقف احداث سد نازلو، اصلاح الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری توصیه می‌شود. صرفه‌جویی و یا افزایش راندمان در هر یک از مصارف شرب یا صنعت میزان تأمین نیاز کشاورزی را افزایش می‌دهد. بهتر است با توجه به بحران کم آبی دریاچه ارومیه اولاً از سطح زیر کشت محصولاتی که صرفه اقتصادی ندارند کاسته شود و ثانیاً محصولاتی که نیاز آبی کمتری دارند مدنظر قرار گیرند؛ مثلاً به جای کاشت چغندرقند که نیاز آبی بسیار بالایی دارد، محصولاتی مانند گندم و جو کشت شود و در ضمن دیم‌کاری در منطقه افزایش یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع مورد استفاده

اعلمی مت، فرزین س، احمدی مح و آقابالایی ب، ۱۳۹۳. مدل‌سازی پویای سیستم سد و آب‌های زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه آب (مطالعه موردی: سد گلک). نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، دوره ۱، شماره ۷٤، صفحه‌های ۱تا۱۲.

آقاکرمی م و مریدی ع، ۱۳۹۲.ارزیابی کمی سناریوهای تخصیص آب با استفاده از WEAP (مطالعه موردی: دشت تهران- کرج). پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

حمیدی‌زاده مر، ۱۳۷۹. پویایی سیستم. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

رستگاری‌پور ف و پیرملک ف، ۱۳۹۳. اولویت‌بندی تخصیص منابع آب به نیازها در محدوده سد طرق با استفاده از مدل WEAP. مجله اقتصاد منابع طبیعی(توقف انتشار)، دوره ۳، شماره ۵، ۰-.

لطفی ح و کرمی ح، ۱۳۹۲. ارزیابی مدل‌های تصادفی سری زمانی در مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی متوسط سالانه رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه جاجرود). هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ماه، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

میثاقی ع، داوری ک، قهرمان ب و هاشمی‌نیا س‌م، ۱۳۹۳. مدل‌سازی منابع آب در حوضه آبریز با استفاده از روش پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور). مجله علوم و مهندسی آب، دوره ۳۷، شماره ۳، پاییز، صفحه‌های ۸۳ تا ۹٤.

Chu H, Chang L, Lin Y, Wang Y and Chen Y, 2009. Application of system dynamic on shallow multipurpose artificial lakes: A case study of detention pond at Tainan, Taiwan. Environmental Modeling & Assessment 15(3): 211-221.

Fatemi SE, Vafaie F and Bressers H, 2013. Assessment of environmental flow requirement effects at an estuary. Journal of Water Management 166: 411-421.

Li X, Zhao Y, Shi C, Sha J, Wang Z and Wang Y, 2015. Application of water evaluation and planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. Journal of Ocean and Coastal Management 106: 97-109.

McKee TB, Doesken NJ and Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales, Pp. 179-186. Eighth Conference on Applied Climatology, 17-23 January, American Meteorological Society, Anaheim CA.

Omar M and Moussa A, 2016. Water management in Egypt for facing the future challenges. Journal of Advanced Research, doi: 10.1016/j.jare.2016.02.005

Qi C, and Chang NB, 2011. System dynamic modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. Journal of Environmental Management 92: 1628-1641.

Sieber J, Swartz C and Huber-Lee A, 2005. User Guide for WEAP21. Stockholm Environment Institute, Tellus Institute, Boston.

Wu H, Hayes MJ, Weiss A and Hu Q, 2001. An evaluation of the standardized precipitation index, the China-z index and the statistical z-score. International Journal of Climatology, 21: 45–758.

www.SID.ir