

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

لیا احمدی^{۱*}، سید فرهاد موسوی^۲، حجت کرمی^۳

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 ۴۰ سال گذشته انجام شده و آورد رودخانه از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۱۶ با روش ARIMA برآورد شده است. براساس نتایج، متوسط اختلاف مدل‌های WEAP و Vensim در حالت بدون سد و با سد به ترتیب ۳/۷۴ درصد و ۸/۹۱ درصد می‌باشد. بیشترین کمبود آب مربوط به تأمین نیاز کشاورزی در ماه سپتامبر است که با ساخت سد، متوسط تأمین در این ماه از ۱۵/۸ درصد به ۹۴ 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 ۱۵۴ میلیون مترمکعب کفایت خواهد کرد.

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

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

L Ahmadi^{1*}, 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

ساده‌ترین تعریف از تخصیص آب^۱ 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

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، از جمله شرب، یک هدف نهایی است و آب عرضه شده به کشاورزی و صنعت به‌عنوان عاملی برای تولید، حیاتی است.

^۱. Water allocation

حوضه آبریز نیشابور و با تأکید بر حل مسئله روند افت سالانه تراز آبخوان در این دشت انجام دادند و با استفاده از نرم افزار *Vensim* اثر هر یک از متغیرها روی مسئله شبیه سازی 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 گرگانود 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*^۲، 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

حقوق و اولویت‌ها، آب دریافت کنند. طبیعت پیچیده مسائل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را در یک قالب به هم پیوسته گردآوری نماید. این همان مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب^۱ است. برای اتخاذ تصمیم‌های مناسب و جامع‌نگر باید از سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌آو 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. رستگاری پور 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 حالی که 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 پایین دست را با استفاده از مدل *Vensim* بررسی کردند. میثاقتی و همکاران (۱۳۹۳)، تحقیقی در

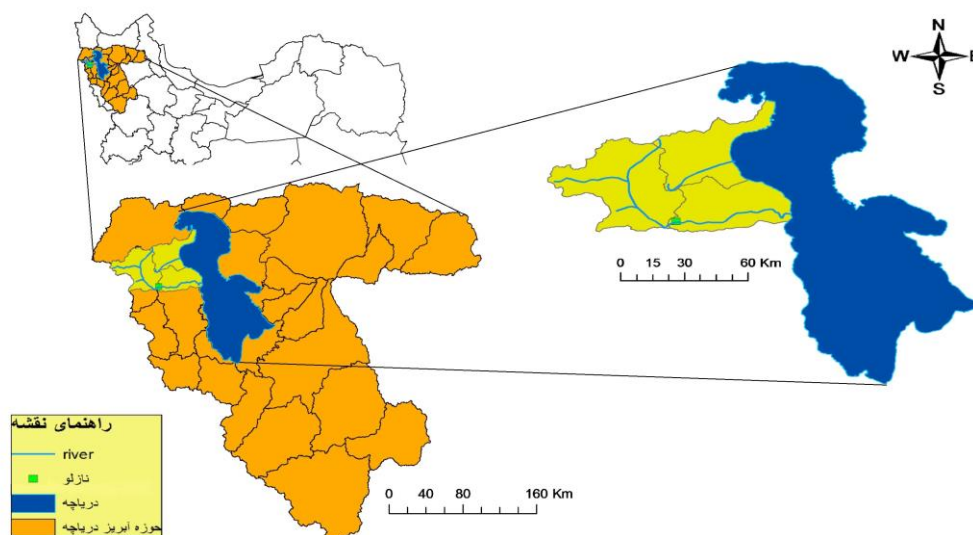
^۱. Integrated water resources management, IWRM

^۲. Decision support systems, DSS

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.

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



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به حوضه آبریز دریاچه ارومیه و نقشه کشوری.

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

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

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 ۲۰۱۶ *ARIMA* مدل برای پیش بینی آورد رودخانه استفاده گردید. با استفاده از روش پیش‌بینی *ARIMA* داده‌های آورد رودخانه برای چهار سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ 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 ۶ 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

می‌شود. مسائل موجود در این سامانه از دو ویژگی پویایی و ساختار بازخوردی برخوردارند. براساس ویژگی پویایی، ابعاد کمی 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 اتفافی و سری‌های زمانی با توجه به ماهیت اتفافی 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 ۲۰۱۶ که دبی رودخانه موجود نبود، از روش *ARIMA(1,1,0)* استفاده شده است.

شاخص خشکسالی *SPI*^۱ 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، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ 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

^۱. Standardized precipitation index

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، ۴۳/۰۹. در مجموع نیازهای تأمین نشده ۴۵/۱۰ میلیون مترمکعب در سال است.

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

که درصدی از بارش کل سالانه را به عنوان نیاز زیست‌محیطی در نظر می‌گیرد، این درصدها برای ماه‌های 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 بر حسب میلیون متر مکعب به ترتیب برابر است با: ۱۵/۶۱، ۵۷/۳۵، ۲۱/۵۷ و ۹۰/۰۴.

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.

جدول ۱- 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	۵۶/۴۷	۱۰۱/۲۲	۶۱/۰۱	۶/۹۹	۴/۰۱	۴/۷۵	۹/۳۹	۹/۰۷
۲۰۱۴	۹/۱۵	۹/۲۱	۱۷/۲۵	۵۶/۴۰	۱۰۱/۱۴	۶۰/۹۴	۶/۹۲	۳/۹۴	۴/۶۸	۹/۳۱	۸/۹۹
۲۰۱۵	۹/۰۸	۹/۱۴	۱۷/۱۸	۵۶/۳۳	۱۰۱/۰۷	۶۰/۸۶	۶/۸۵	۳/۸۶	۴/۶۱	۹/۲۴	۸/۹۲
۲۰۱۶	۹/۰۰	۹/۰۷	۱۷/۱۰	۵۶/۲۵	۱۰۱/۰۰	۶۰/۷۹	۶/۷۷	۳/۷۹	۴/۵۳	۹/۱۷	۸/۸۵

جدول ۲- 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
محیط زیست	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۴/۴۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
صنعت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۱/۰۵	۰/۰۱	۷۶/۴۸	۱۰۰	۱۰۰
کشاورزی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۶/۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۱۰۰	۱۰۰

در حالت بدون سد نازلو به ترتیب ۹۸ درصد، ۹۴ درصد، ۸۹ درصد و ۷۴ درصد می‌باشد.

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

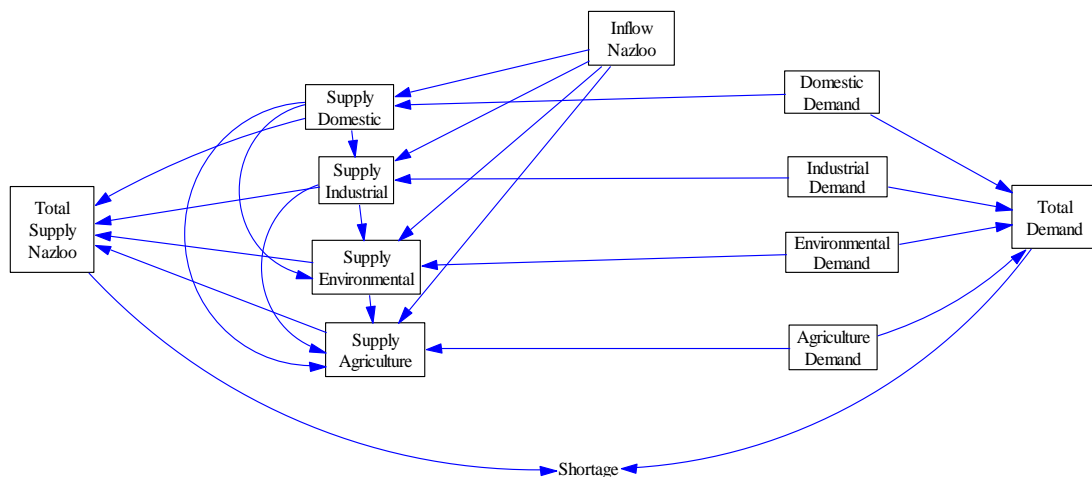
همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین نیاز تأمین نشده مربوط به ماه سپتامبر (شهریور) است.

به طور متوسط در سال‌های مورد مطالعه درصد تأمین مصارف شهری، زیست‌محیطی، صنعتی و کشاورزی

سال‌های مورد مطالعه درصد تأمین مصارف شهری، زیست‌محیطی، صنعتی و کشاورزی در صورت وجود سد نازلو به ترتیب ۹۹/۳ درصد، ۹۹ درصد، ۹۸ درصد و ۹۷/۹ درصد می‌باشد.

جدول ۳- متوسط درصد نیازهای برآورده شده منطقه در صورت وجود سد.

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
۹۸/۴۷	۹۸/۴۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۷/۰۳	۹۷/۳۶	۹۹/۹۰	۱۰۰	شهری
۹۸/۴۶	۹۸/۴۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶/۹۲	۹۶/۵۵	۹۸/۴۶	۱۰۰	محیط زیست
۹۸/۴۶	۹۸/۴۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶/۸۸	۹۴/۶۲	۹۶/۵۹	۱۰۰	صنعت
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۴۶	۹۷/۲۲	۹۴/۱۷	۹۳/۸۵	۹۵/۳۸	۱۰۰	کشاورزی



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

جدول ۴ 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 ۳/۷۴ درصد و ۸/۹۱ درصد می‌باشد. هر دو نرم‌افزار WEAP و Vensim برای مدل‌سازی از معادلات خطی استفاده می‌کنند. نزدیکی جواب‌های حاصل از دو نرم‌افزار دلیلی برای درستی مدل‌سازی می‌باشد.

همچنین با توجه به در دست بودن دبی پیش‌بینی شده رودخانه برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، می‌توان مقادیر

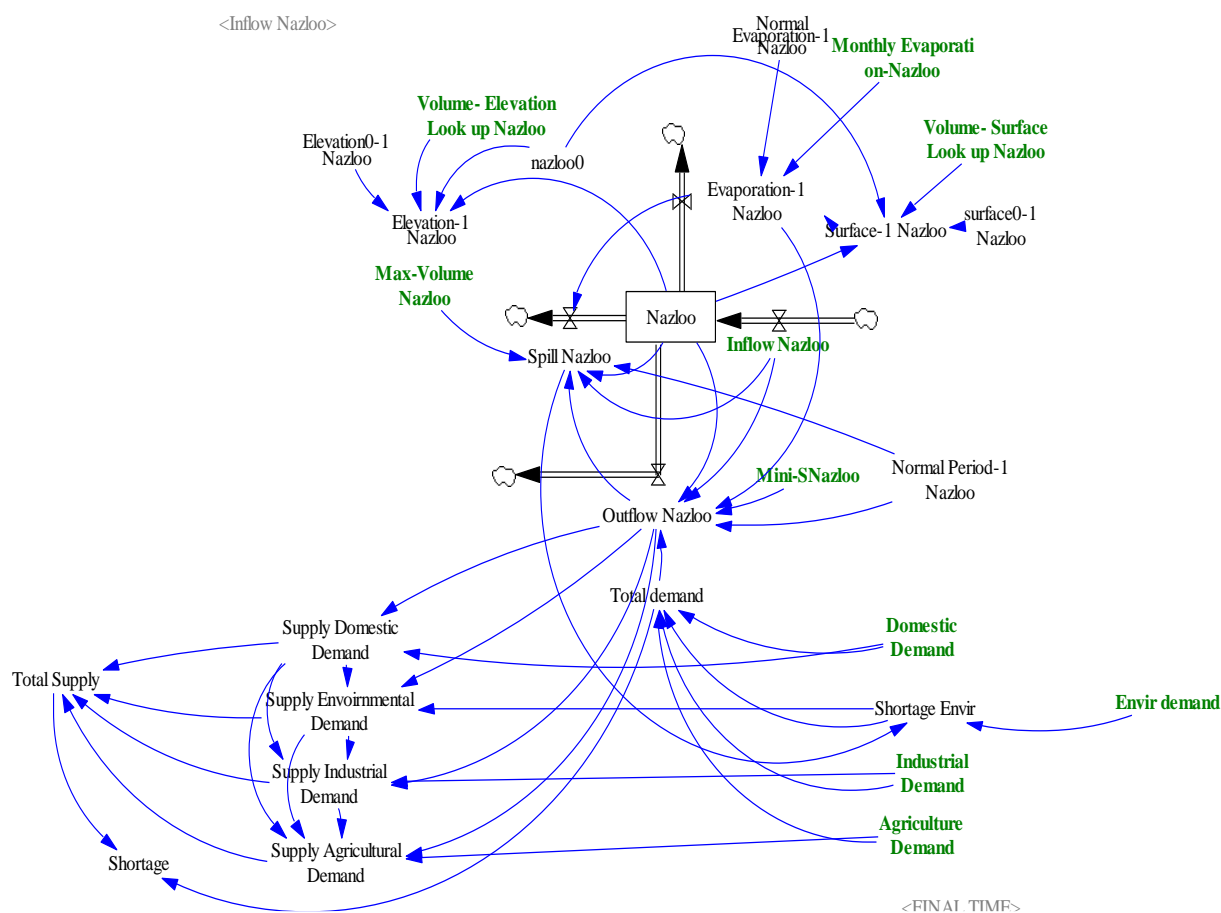
دو مدل در نرم‌افزار Vensim تهیه شده است که یکی نیازهای مختلف را با آورد به هنگام رودخانه تأمین می‌کند. طرح شماتیک این مدل، در شکل ۲ ارائه شده است. مدل دیگر شامل سد نازلو است و نیازها از خروجی‌های سد تأمین می‌شود. در شکل ۳، مدل سد نازلو و مصارف مختلف منطقه مشاهده می‌شود. در صورت عدم وجود سد، نتایج نرم‌افزار 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 ۴۳/۰۲. در مجموع نیازهای تأمین نشده ۴۵/۰۳ میلیون مترمکعب در سال است.

ارتفاع و مقادیر شدت تبخیر در سطح داده شده است، به همین دلیل وقتی احجام جدید به نرم افزار وارد می شود ارتفاع نرمال و سطح جدید مخزن بدست می آید. هرچه سطح کوچکتر باشد حجم از دست رفته به علت تبخیر کمتر خواهد بود. در شکل ۴ منحنی های سطح و حجم برحسب ارتفاع مشاهده می شود.

همچنین نتیجه شد که درصد اختلاف نتایج دو نرم افزار WEAP و Vensim کم و قابل قبول است. در مراحل مختلف برای بازطراحی، احجام مختلف به نرم افزارها وارد می شود تا حجم بهینه بدست آید.

نیازهای برآورده نشده درحالت وجود سد برحسب میلیون مترمکعب را در دست داشت که به ترتیب در جداول ۵ و ۶ مشاهده می شود. مشاهده می شود که در صورت وجود سد، بیشتر مقادیر کمبود آب در ماه های مختلف صفر گزارش شده است.

فاطمی و همکاران (۲۰۱۳)، از مدل پویایی سامانه Vensim و مدل WEAP برای برآورد نیاز زیست محیطی خلیج گرگانود استفاده کردند که نتایج کمبود آب بخش زیست محیطی از هر دو نرم افزار مشابه هم بدست آمد. بهینه از نقطه نظر تأمین مصارف، حجمی است که نیازهای مختلف آبی را در حد ۹۰ درصد تأمین می کند. در هر دو نرم افزار نمودار حجم-سطح و نمودار حجم-



شکل ۳- مدل سد نازلو.

جدول ۴- نتایج مجموع نیازهای برآورد نشده سالانه برحسب MCM و درصدهای اختلاف در حالت بدون سد.

بدون سد										با سد									
سال	Vensim نتایج	WEAP نتایج	اختلاف درصد	Vensim نتایج	WEAP نتایج	اختلاف درصد	سال	Vensim نتایج	WEAP نتایج	اختلاف درصد	Vensim نتایج	WEAP نتایج	اختلاف درصد	سال	Vensim نتایج	WEAP نتایج	اختلاف درصد		
۱۹۹۵	۲۲/۹۴	۲۲/۲۵	۴/۱۰	۲۲/۹۴	۲۲/۲۵	۴/۱۰	۱۹۹۵	۲۲/۹۴	۲۲/۲۵	۴/۱۰	۲۲/۹۴	۲۲/۲۵	۴/۱۰	۱۹۹۵	۲۲/۹۴	۲۲/۲۵	۴/۱۰		
۱۹۹۶	۳۷/۷۸	۳۶/۶۰	۴/۲۳	۳۷/۷۸	۳۶/۶۰	۴/۲۳	۱۹۹۶	۳۷/۷۸	۳۶/۶۰	۴/۲۳	۳۷/۷۸	۳۶/۶۰	۴/۲۳	۱۹۹۶	۳۷/۷۸	۳۶/۶۰	۴/۲۳		
۱۹۹۷	۳۱/۴۹	۳۰/۸۴	۲/۰۹	۳۱/۴۹	۳۰/۸۴	۲/۰۹	۱۹۹۷	۳۱/۴۹	۳۰/۸۴	۲/۰۹	۳۱/۴۹	۳۰/۸۴	۲/۰۹	۱۹۹۷	۳۱/۴۹	۳۰/۸۴	۲/۰۹		
۱۹۹۸	۵۴/۷۵	۵۳/۲۹	۲/۷۴	۵۴/۷۵	۵۳/۲۹	۲/۷۴	۱۹۹۸	۵۴/۷۵	۵۳/۲۹	۲/۷۴	۵۴/۷۵	۵۳/۲۹	۲/۷۴	۱۹۹۸	۵۴/۷۵	۵۳/۲۹	۲/۷۴		
۱۹۹۹	۸۴/۳۲	۸۲/۷۳	۱/۹۳	۸۴/۳۲	۸۲/۷۳	۱/۹۳	۱۹۹۹	۸۴/۳۲	۸۲/۷۳	۱/۹۳	۸۴/۳۲	۸۲/۷۳	۱/۹۳	۱۹۹۹	۸۴/۳۲	۸۲/۷۳	۱/۹۳		
۲۰۰۰	۸۴/۷۰	۸۲/۹۲	۲/۱۴	۸۴/۷۰	۸۲/۹۲	۲/۱۴	۲۰۰۰	۸۴/۷۰	۸۲/۹۲	۲/۱۴	۸۴/۷۰	۸۲/۹۲	۲/۱۴	۲۰۰۰	۸۴/۷۰	۸۲/۹۲	۲/۱۴		
۲۰۰۱	۸۳/۳۳	۸۱/۴۲	۲/۳۴	۸۳/۳۳	۸۱/۴۲	۲/۳۴	۲۰۰۱	۸۳/۳۳	۸۱/۴۲	۲/۳۴	۸۳/۳۳	۸۱/۴۲	۲/۳۴	۲۰۰۱	۸۳/۳۳	۸۱/۴۲	۲/۳۴		
۲۰۰۲	۶۰/۸۷	۵۹/۰۴	۳/۰۹	۶۰/۸۷	۵۹/۰۴	۳/۰۹	۲۰۰۲	۶۰/۸۷	۵۹/۰۴	۳/۰۹	۶۰/۸۷	۵۹/۰۴	۳/۰۹	۲۰۰۲	۶۰/۸۷	۵۹/۰۴	۳/۰۹		
۲۰۰۳	۴۸/۷۹	۴۷/۰۹	۳/۶۰	۴۸/۷۹	۴۷/۰۹	۳/۶۰	۲۰۰۳	۴۸/۷۹	۴۷/۰۹	۳/۶۰	۴۸/۷۹	۴۷/۰۹	۳/۶۰	۲۰۰۳	۴۸/۷۹	۴۷/۰۹	۳/۶۰		
۲۰۰۴	۴۶/۷۸	۴۵/۱۹	۳/۵۱	۴۶/۷۸	۴۵/۱۹	۳/۵۱	۲۰۰۴	۴۶/۷۸	۴۵/۱۹	۳/۵۱	۴۶/۷۸	۴۵/۱۹	۳/۵۱	۲۰۰۴	۴۶/۷۸	۴۵/۱۹	۳/۵۱		
۲۰۰۵	۶۷/۸۴	۶۵/۸۹	۲/۹۶	۶۷/۸۴	۶۵/۸۹	۲/۹۶	۲۰۰۵	۶۷/۸۴	۶۵/۸۹	۲/۹۶	۶۷/۸۴	۶۵/۸۹	۲/۹۶	۲۰۰۵	۶۷/۸۴	۶۵/۸۹	۲/۹۶		
۲۰۰۶	۶۵/۸۱	۶۴/۴۱	۲/۱۸	۶۵/۸۱	۶۴/۴۱	۲/۱۸	۲۰۰۶	۶۵/۸۱	۶۴/۴۱	۲/۱۸	۶۵/۸۱	۶۴/۴۱	۲/۱۸	۲۰۰۶	۶۵/۸۱	۶۴/۴۱	۲/۱۸		
۲۰۰۷	۶۱/۲۹	۵۹/۵۳	۲/۹۶	۶۱/۲۹	۵۹/۵۳	۲/۹۶	۲۰۰۷	۶۱/۲۹	۵۹/۵۳	۲/۹۶	۶۱/۲۹	۵۹/۵۳	۲/۹۶	۲۰۰۷	۶۱/۲۹	۵۹/۵۳	۲/۹۶		
۲۰۰۸	۷۶/۵۶	۷۴/۶۸	۲/۵۲	۷۶/۵۶	۷۴/۶۸	۲/۵۲	۲۰۰۸	۷۶/۵۶	۷۴/۶۸	۲/۵۲	۷۶/۵۶	۷۴/۶۸	۲/۵۲	۲۰۰۸	۷۶/۵۶	۷۴/۶۸	۲/۵۲		
۲۰۰۹	۶۳/۱۳	۶۱/۵۵	۲/۵۶	۶۳/۱۳	۶۱/۵۵	۲/۵۶	۲۰۰۹	۶۳/۱۳	۶۱/۵۵	۲/۵۶	۶۳/۱۳	۶۱/۵۵	۲/۵۶	۲۰۰۹	۶۳/۱۳	۶۱/۵۵	۲/۵۶		
۲۰۱۰	۵۷/۱۳	۵۵/۳۳	۳/۴۴	۵۷/۱۳	۵۵/۳۳	۳/۴۴	۲۰۱۰	۵۷/۱۳	۵۵/۳۳	۳/۴۴	۵۷/۱۳	۵۵/۳۳	۳/۴۴	۲۰۱۰	۵۷/۱۳	۵۵/۳۳	۳/۴۴		
۲۰۱۱	۵۳/۳۴	۵۱/۵۳	۳/۵۱	۵۳/۳۴	۵۱/۵۳	۳/۵۱	۲۰۱۱	۵۳/۳۴	۵۱/۵۳	۳/۵۱	۵۳/۳۴	۵۱/۵۳	۳/۵۱	۲۰۱۱	۵۳/۳۴	۵۱/۵۳	۳/۵۱		
۲۰۱۲	۶۲/۸۱	۶۴/۵۳	۲/۶۷	۶۲/۸۱	۶۴/۵۳	۲/۶۷	۲۰۱۲	۶۲/۸۱	۶۴/۵۳	۲/۶۷	۶۲/۸۱	۶۴/۵۳	۲/۶۷	۲۰۱۲	۶۲/۸۱	۶۴/۵۳	۲/۶۷		
۲۰۱۳	۵۶/۹۳	۵۴/۹۷	۳/۵۶	۵۶/۹۳	۵۴/۹۷	۳/۵۶	۲۰۱۳	۵۶/۹۳	۵۴/۹۷	۳/۵۶	۵۶/۹۳	۵۴/۹۷	۳/۵۶	۲۰۱۳	۵۶/۹۳	۵۴/۹۷	۳/۵۶		
۲۰۱۴	۶۱/۵۰	۵۹/۴۰	۳/۵۴	۶۱/۵۰	۵۹/۴۰	۳/۵۴	۲۰۱۴	۶۱/۵۰	۵۹/۴۰	۳/۵۴	۶۱/۵۰	۵۹/۴۰	۳/۵۴	۲۰۱۴	۶۱/۵۰	۵۹/۴۰	۳/۵۴		
۲۰۱۵	۵۷/۰۴	۵۵/۰۷	۳/۵۶	۵۷/۰۴	۵۵/۰۷	۳/۵۶	۲۰۱۵	۵۷/۰۴	۵۵/۰۷	۳/۵۶	۵۷/۰۴	۵۵/۰۷	۳/۵۶	۲۰۱۵	۵۷/۰۴	۵۵/۰۷	۳/۵۶		
۲۰۱۶	۵۱/۸۶	۴۹/۹۹	۳/۷۵	۵۱/۸۶	۴۹/۹۹	۳/۷۵	۲۰۱۶	۵۱/۸۶	۴۹/۹۹	۳/۷۵	۵۱/۸۶	۴۹/۹۹	۳/۷۵	۲۰۱۶	۵۱/۸۶	۴۹/۹۹	۳/۷۵		
۱۹۷۳	۴۱/۲۳	۴۰/۵۳	۱/۷۳	۴۱/۲۳	۴۰/۵۳	۱/۷۳	۱۹۷۳	۴۱/۲۳	۴۰/۵۳	۱/۷۳	۴۱/۲۳	۴۰/۵۳	۱/۷۳	۱۹۷۳	۴۱/۲۳	۴۰/۵۳	۱/۷۳		
۱۹۷۴	۲۸/۹۳	۲۸/۰۶	۳/۱۱	۲۸/۹۳	۲۸/۰۶	۳/۱۱	۱۹۷۴	۲۸/۹۳	۲۸/۰۶	۳/۱۱	۲۸/۹۳	۲۸/۰۶	۳/۱۱	۱۹۷۴	۲۸/۹۳	۲۸/۰۶	۳/۱۱		
۱۹۷۵	۵۷/۲۳	۵۶/۷۳	۰/۹۰	۵۷/۲۳	۵۶/۷۳	۰/۹۰	۱۹۷۵	۵۷/۲۳	۵۶/۷۳	۰/۹۰	۵۷/۲۳	۵۶/۷۳	۰/۹۰	۱۹۷۵	۵۷/۲۳	۵۶/۷۳	۰/۹۰		
۱۹۷۶	۲۳/۵۵	۲۳/۰۹	۲/۰۰	۲۳/۵۵	۲۳/۰۹	۲/۰۰	۱۹۷۶	۲۳/۵۵	۲۳/۰۹	۲/۰۰	۲۳/۵۵	۲۳/۰۹	۲/۰۰	۱۹۷۶	۲۳/۵۵	۲۳/۰۹	۲/۰۰		
۱۹۷۷	۴۰/۲۱	۳۹/۴۸	۱/۸۷	۴۰/۲۱	۳۹/۴۸	۱/۸۷	۱۹۷۷	۴۰/۲۱	۳۹/۴۸	۱/۸۷	۴۰/۲۱	۳۹/۴۸	۱/۸۷	۱۹۷۷	۴۰/۲۱	۳۹/۴۸	۱/۸۷		
۱۹۷۸	۳۹/۸۱	۳۸/۸۵	۲/۴۷	۳۹/۸۱	۳۸/۸۵	۲/۴۷	۱۹۷۸	۳۹/۸۱	۳۸/۸۵	۲/۴۷	۳۹/۸۱	۳۸/۸۵	۲/۴۷	۱۹۷۸	۳۹/۸۱	۳۸/۸۵	۲/۴۷		
۱۹۷۹	۵۰/۵۸	۴۹/۷۲	۱/۷۴	۵۰/۵۸	۴۹/۷۲	۱/۷۴	۱۹۷۹	۵۰/۵۸	۴۹/۷۲	۱/۷۴	۵۰/۵۸	۴۹/۷۲	۱/۷۴	۱۹۷۹	۵۰/۵۸	۴۹/۷۲	۱/۷۴		
۱۹۸۰	۵۹/۴۲	۵۸/۶۷	۱/۲۸	۵۹/۴۲	۵۸/۶۷	۱/۲۸	۱۹۸۰	۵۹/۴۲	۵۸/۶۷	۱/۲۸	۵۹/۴۲	۵۸/۶۷	۱/۲۸	۱۹۸۰	۵۹/۴۲	۵۸/۶۷	۱/۲۸		
۱۹۸۱	۳۵/۹۲	۳۵/۱۹	۲/۰۹	۳۵/۹۲	۳۵/۱۹	۲/۰۹	۱۹۸۱	۳۵/۹۲	۳۵/۱۹	۲/۰۹	۳۵/۹۲	۳۵/۱۹	۲/۰۹	۱۹۸۱	۳۵/۹۲	۳۵/۱۹	۲/۰۹		
۱۹۸۲	۴۸/۰۶	۴۷/۳۰	۱/۶۰	۴۸/۰۶	۴۷/۳۰	۱/۶۰	۱۹۸۲	۴۸/۰۶	۴۷/۳۰	۱/۶۰	۴۸/۰۶	۴۷/۳۰	۱/۶۰	۱۹۸۲	۴۸/۰۶	۴۷/۳۰	۱/۶۰		
۱۹۸۳	۴۷/۶۱	۴۶/۶۵	۲/۰۶	۴۷/۶۱	۴۶/۶۵	۲/۰۶	۱۹۸۳	۴۷/۶۱	۴۶/۶۵	۲/۰۶	۴۷/۶۱	۴۶/۶۵	۲/۰۶	۱۹۸۳	۴۷/۶۱	۴۶/۶۵	۲/۰۶		
۱۹۸۴	۵۰/۰۸	۴۹/۳۰	۱/۵۸	۵۰/۰۸	۴۹/۳۰	۱/۵۸	۱۹۸۴	۵۰/۰۸	۴۹/۳۰	۱/۵۸	۵۰/۰۸	۴۹/۳۰	۱/۵۸	۱۹۸۴	۵۰/۰۸	۴۹/۳۰	۱/۵۸		
۱۹۸۵	۵۰/۱۷	۴۹/۲۱	۱/۹۴	۵۰/۱۷	۴۹/۲۱	۱/۹۴	۱۹۸۵	۵۰/۱۷	۴۹/۲۱	۱/۹۴	۵۰/۱۷	۴۹/۲۱	۱/۹۴	۱۹۸۵	۵۰/۱۷	۴۹/۲۱	۱/۹۴		
۱۹۸۶	۵۸/۱۸	۵۷/۲۷	۱/۶۰	۵۸/۱۸	۵۷/۲۷	۱/۶۰	۱۹۸۶	۵۸/۱۸	۵۷/۲۷	۱/۶۰	۵۸/۱۸	۵۷/۲۷	۱/۶۰	۱۹۸۶	۵۸/۱۸	۵۷/۲۷	۱/۶۰		
۱۹۸۷	۴۷/۷۷	۴۶/۷۰	۲/۲۹	۴۷/۷۷	۴۶/۷۰	۲/۲۹	۱۹۸۷	۴۷/۷۷	۴۶/۷۰	۲/۲۹	۴۷/۷۷	۴۶/۷۰	۲/۲۹	۱۹۸۷	۴۷/۷۷	۴۶/۷۰	۲/۲۹		
۱۹۸۸	۱۲/۳۲	۱۱/۵۷	۶/۴۹	۱۲/۳۲	۱۱/۵۷	۶/۴۹	۱۹۸۸	۱۲/۳۲	۱۱/۵۷	۶/۴۹	۱۲/۳۲	۱۱/۵۷	۶/۴۹	۱۹۸۸	۱۲/۳۲	۱۱/۵۷	۶/۴۹		
۱۹۸۹	۷۸/۳۵	۷۷/۳۰	۱/۳۶	۷۸/۳۵	۷۷/۳۰	۱/۳۶	۱۹۸۹	۷۸/۳۵	۷۷/۳۰	۱/۳۶	۷۸/۳۵	۷۷/۳۰	۱/۳۶	۱۹۸۹	۷۸/۳۵	۷۷/۳۰	۱/۳۶		
۱۹۹۰	۴۴/۸۲	۴۳/۸۸	۲/۱۵	۴۴/۸۲	۴۳/۸۸	۲/۱۵	۱۹۹۰	۴۴/۸۲	۴۳/۸۸	۲/۱۵	۴۴/۸۲	۴۳/۸۸	۲/۱۵	۱۹۹۰	۴۴/۸۲	۴۳/۸۸	۲/۱۵		
۱۹۹۱	۶۶/۴۱	۶۵/۲۴	۱/۷۹	۶۶/۴۱	۶۵/۲۴	۱/۷۹	۱۹۹۱	۶۶/۴۱	۶۵/۲۴	۱/۷۹	۶۶/۴۱	۶۵/۲۴	۱/۷۹	۱۹۹۱	۶۶/۴۱	۶۵/۲۴	۱/۷۹		
۱۹۹۲	۱۵/۹۶	۱۵/۲۶	۴/۶۴	۱۵/۹۶	۱۵/۲۶	۴/۶۴	۱۹۹۲	۱۵/۹۶	۱۵/۲۶	۴/۶۴	۱۵/۹۶	۱۵/۲۶	۴/۶۴	۱۹۹۲	۱۵/۹۶	۱۵/۲۶	۴/۶۴		
۱۹۹۳	۰/۷۵	۰/۵۰	۴۸/۷۴	۰/۷۵	۰/۵۰	۴۸/۷۴	۱۹۹۳	۰/۷۵	۰/۵۰	۴۸/۷۴	۰/۷۵	۰/۵۰	۴۸/۷۴	۱۹۹۳	۰/۷۵	۰/۵۰	۴۸/۷۴		
۱۹۹۴	۲۱/۴۲	۲۰/۱۵	۶/۳۰	۲۱/۴۲	۲۰/۱۵	۶/۳۰	۱۹۹۴	۲۱/۴۲	۲۰/۱۵	۶/۳۰	۲۱/۴۲	۲۰/۱۵	۶/۳۰	۱۹۹۴	۲۱/۴۲	۲۰/۱۵	۶/۳۰		

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

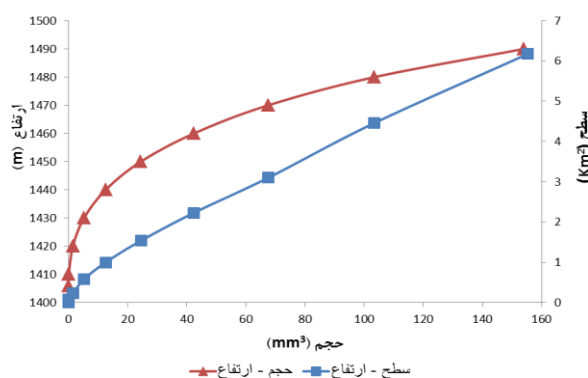
شهری	محیط زیست	صنعت	کشاورزی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شهری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
محیط زیست	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۹۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
صنعت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰	۲/۶۰	۰/۹۸	۰/۰۰	۰/۰۰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

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

شهری	محیط زیست	صنعت	کشاورزی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه
------	-----------	------	---------	--------	-------	------	-------	----	------	-------

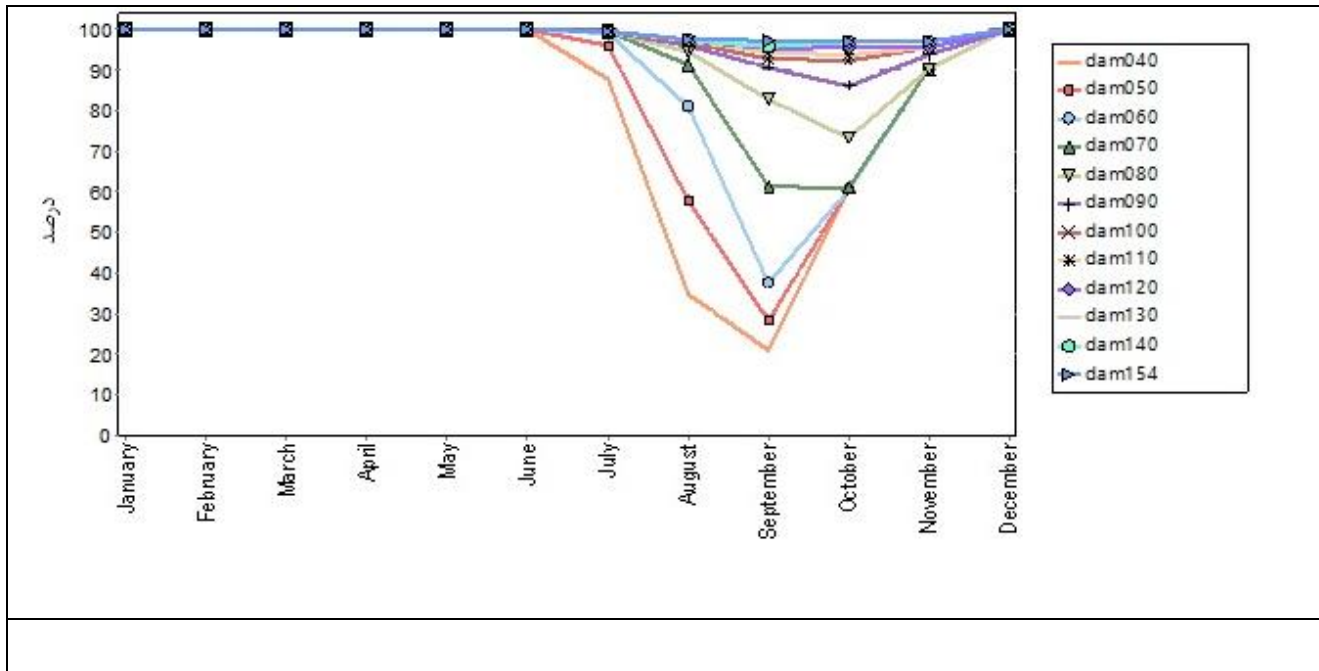
شاخص *SPI* دوازده ماهه برای سال‌های ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۳ در جدول ۷ ارائه شده است. در مقایسه بین نیاز تأمین نشده و شاخص *SPI*، از نتایج بدست آمده از نرم‌افزار *WEAP* استفاده شده است چون نتایج بدست آمده از نرم‌افزارها به طور متوسط فقط ۳/۷۴ درصد اختلاف داشتند و این مقدار تغییر چندانی در نتایج این قسمت ایجاد نخواهد 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 ۶ منحنی‌های مقادیر *SPI* و کمبود آب در سال‌های مختلف مشاهده می‌شود. در ۲۹ سال از ۴۰ سال مورد مطالعه، یعنی در ۷۲/۵ درصد از سال‌های مورد مطالعه، همزمان با افزایش شاخص خشکسالی، میزان کمبود آب کاهش یافته است. یعنی در ۷۲/۵ 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 می‌شود نمودار *SPI* متناظر با آن سال‌ها حالت نزولی دارد و نشانه‌ای از خشکسالی است.



شکل ۴- منحنی‌های سطح و حجم بر حسب ارتفاع.

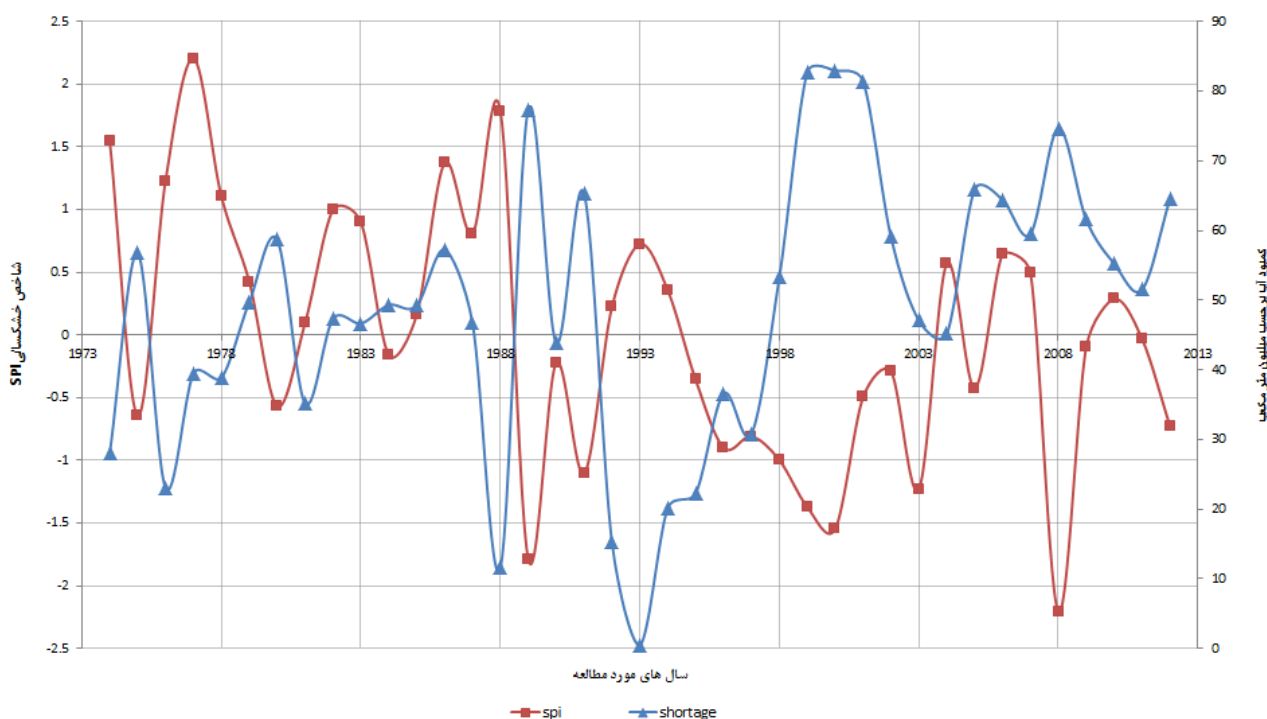
بعد از دستور توقف سد نازلو به همراه سه سد دیگر به علت شرایط کم آبی دریاچه ارومیه، یکی از پیشنهادها برای سد نازلو، ادامه احداث سد با حجم مخزن کوچکتر است. حجم طراحی شده اولیه توسط شرکت مشاور آساران ۱۵۴ میلیون مترمکعب است. ولی از نقطه نظر تأمین آب می‌توان حجم مخزن را کوچکتر در نظر گرفت. چندین حجم مخزن کوچکتر از حجم اولیه به نرم‌افزار وارد شد تا بتوان حجم بهینه را بدست آورد. شکل ۵، 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 بدست آمده 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



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

جدول ۷- میزان کمیود آب برحسب MCM، بارش برحسب میلی‌متر و شاخص SPI

سال	بارش	SPI	نیازتأمین نشده	سال	بارش	SPI	نیازتأمین نشده
۱۹۷۴	۶۰۳/۷	۱/۵۵	۲۸/۰۶	۱۹۹۴	۳۸۸	-۰/۳۶	۲۰/۱۵
۱۹۷۵	۲۶۱	-۰/۶۴	۵۶/۷۳	۱۹۹۵	۲۹۳	-۰/۳۶	۲۲/۲۵
۱۹۷۶	۵۸۸	۱/۲۳	۲۳/۰۹	۱۹۹۶	۲۲۵	-۰/۹۰	۳۶/۶۰
۱۹۷۷	۷۰۸/۵	۲/۲۱	۳۹/۴۸	۱۹۹۷	۲۲۷	-۰/۸۱	۳۰/۸۴
۱۹۷۸	۵۲۵	۱/۱۱	۳۸/۸۵	۱۹۹۸	۲۱۸	-۱/۰۰	۵۳/۲۹
۱۹۷۹	۳۸۹	-۰/۴۳	۴۹/۷۲	۱۹۹۹	۱۹۳	-۱/۳۷	۸۲/۷۳
۱۹۸۰	۲۶۸	-۰/۵۷	۵۸/۶۷	۲۰۰۰	۱۷۰	-۱/۵۵	۸۲/۹۲
۱۹۸۱	۳۵۱	-۰/۱۰	۳۵/۱۹	۲۰۰۱	۲۶۹	-۰/۵۰	۸۱/۴۲
۱۹۸۲	۵۱۰	۱/۰۰	۴۷/۳۰	۲۰۰۲	۲۹۳/۵	-۰/۲۹	۵۹/۰۴
۱۹۸۳	۴۹۵/۵	-۰/۹۰	۴۶/۶۵	۲۰۰۳	۱۹۷/۵	-۱/۲۳	۴۷/۰۹
۱۹۸۴	۳۱۵	-۰/۱۶	۴۹/۳۰	۲۰۰۴	۴۳۹	-۰/۵۷	۴۵/۱۹
۱۹۸۵	۳۵۵	-۰/۱۶	۴۹/۲۱	۲۰۰۵	۲۸۱/۳	-۰/۴۳	۶۵/۸۹
۱۹۸۶	۵۹۵	۱/۳۷	۵۷/۲۷	۲۰۰۶	۴۶۹	-۰/۶۴	۶۴/۴۱
۱۹۸۷	۴۸۸	-۰/۸۱	۴۶/۷۰	۲۰۰۷	۴۰۹/۵	-۰/۵۰	۵۹/۵۳
۱۹۸۸	۶۰۷	۱/۷۹	۱۱/۵۷	۲۰۰۸	۱۵۷/۵	-۲/۲۱	۷۴/۶۸
۱۹۸۹	۱۶۴	-۱/۷۹	۷۷/۳۰	۲۰۰۹	۳۱۸/۵	-۰/۱۰	۶۱/۵۵
۱۹۹۰	۲۹۶/۵	-۰/۲۲	۴۳/۸۸	۲۰۱۰	۳۷۶/۵	-۰/۲۹	۵۵/۲۳
۱۹۹۱	۲۱۰	-۱/۱۱	۶۵/۲۴	۲۰۱۱	۳۴۱	-۰/۰۳	۵۱/۵۳
۱۹۹۲	۳۵۹/۵	-۰/۲۲	۱۵/۲۶	۲۰۱۲	۲۵۱/۵	-۰/۷۲	۶۴/۵۳
۱۹۹۳	۴۷۵/۵	-۰/۷۲	-۰/۵۰	۲۰۱۳	۳۵۰	-۰/۰۳	۵۴/۹۷



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 ۴۰ 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 ۱۵۴ 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 ۴۰ 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 چغندر قند که نیاز آبی بسیار بالایی دارد، محصولاتی مانند گندم و جو کشت شود و در ضمن دیم‌کاری در منطقه افزایش یابد.

منابع مورد استفاده

- اعلمی م، 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 ۷۴، صفحه‌های ۱ تا ۱۲.
- 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، -.
- 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 س، 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 ۹۴.
- 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.