

## Research Paper

# Surface Water and Groundwater Resources Allocation for Agricultural and Environmental Purposes in Khanmirza Watershed

Sara Mardanian<sup>2</sup>, Khodayar Abdollahi\*<sup>1</sup>, Rafat Zare Bidaki<sup>3</sup> and Abouzar Salehi<sup>2</sup>

1 Assistant Professor in Water Resources Engineering, College of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord.

2 Graduated Student, Department of Rangeland and Watershed Engineering, College of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord.

3 Assistant Professor of Watershed Engineering, College of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord.

Received: 2021/01/08

Revised: 2021/07/08

Accepted: 2021/11/14

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/wej.2022.16787.1984

### Keywords:

Agriculture, Dynamic Systems, Optimal Water Resources Allocation, VENSIM, Water Resources Management, Consolidated Utilization.

### Abstract

**Introduction:** Due to rapid expansion of population, there is an increase in the number of water users. As a result, optimal water allocation has become a pivotal issue. System dynamics is a suitable methodology for simulating and representing of water availability in complex condition and impacts of water resources usage over time. In this study, a dynamic water allocation model within Vensim GUI was developed for the agricultural and environmental water resources of Khamirza catchment.

**Methods:** The model consists of two separate sections; the first part is a water balance module which is designed to provide surface water and groundwater simulations; the other part is a water allocation sub-model. After the development of the model, the water balance simulation optimized by optimizing the surface water and groundwater against observed data.

**Findings:** The water use policy includes the conjunctive use of groundwater and surface water to meet drinking, industrial, agricultural, and environmental demands. The results suggest that under current situation the quantity of available surface and groundwater could be insufficient to meet the demands of different sectors within the basin. Therefore, a scenario containing improved irrigation efficiency and 30% of the land in fallow may lead to the allocation vulnerability.

### Conclusion:

The results of this application indicate that system dynamics can be considered as an innovative tool in the planning and allocating water resources. Moreover, conjunctive use of groundwater and surface water resources may lead to a better water allocation policy.

**Citation:** Mardanian S, Abdollahi K, Zare R And Salehi A. Surface Water and Groundwater Resources Allocation for Agricultural and Environmental Purposes in Khanmirza Watershed. Water Resources Engineering Journal. 2022; 15(54): 69-92.

\***Corresponding author:** Khodayar Abdollahi

**Address:** Dept. of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Rahbar Boulevard, Shahrekord, 18. Chaharmahal Bakhtiari Province, Iran

**Tell:** +983832324401 **Email:** [kabdolla@sku.ir](mailto:kabdolla@sku.ir)

## Extended Abstract

### Introduction

Population growth in most parts of the world has led to an increase in frequent demand for optimal allocation of water. The basis of this work relays on system dynamic modeling via breaking the complicated problem into smaller parts and examining them separately in term of the time-dependent variables. System dynamics is a kind of modeling methodology based on a series of cause and effect relationships of complex systems using flows, inter-system feedbacks, lookup-table functions and time delays. Using these tools and causal loop diagram we have developed a conceptual model for Causal loop diagram for the dynamic soil water system. The approach provides a better understanding of the dynamic behavior of natural systems specially for time-delayed problems with internal relationships among the components. Available water resources of the area were estimated for different needs such as drinking, agriculture, industry and environmental needs. The study area of this research, Khanmirza watershed, is a region which is currently under water stress and due to the potential uncertainty's climate change water allocation day by day is receiving more attention. Hence an attempt has been made to simulate the behavior of the water balance components to allocate water resources in an optimal approach.

### Materials and Methods

To study the surface and subsurface components of Khanmirza watershed two separate dynamic sub-models were developed. Climatic data were used to simulate surface water behavior and the model parameters were calibrated using observational data. In the next step, these data were validated using a model efficiency index. In the groundwater section, the recharge was used as a remaining part of total rainfall as a portion that is not intercepted, stored as the soil moisture, evaporated or turned to surface runoff. The environmental water need for the basin was calculated by applying the Montana method to hydrometric data at the output gauge station of the basin, which is one the most

commonly used methods by the Deputy Minister of Water. The water needs for industrial purposes were estimated based on collected data from Javanmardi region. The agricultural water needs were obtained through the common water needs of the agricultural products with considering a correction coefficient for efficiency of irrigation systems. In order to calculate drinking water consumption a number of variables such as growth rate, initial population and per capita water consumption (drinking, sanitation, washing ...), commercial and industrial, public, green space and water losses, the consumption were used.

### Findings

Calibration results from comparing the base-flow and surface discharge observed data (2002-2012) of Zarrindrokht station showed that a Nash of 0.56 and 0.57 were obtained for both the surface and groundwater simulations at calibration stage. For validation period this metric was equal to 0.55 and 0.52 for surface and sub-surface simulations, respectively. On the base of these simulations, four different scenarios (based on changes in the irrigation efficiency systems, change in land uses, applying climatic scenarios, etc. were used. This assumption was checked to see if each scenario meets the supply and demand conditions based on the conditions of exploitation of surface and groundwater resources over the next 10 years or not. The water use policy includes the conjunctive use of groundwater and surface water to meet drinking, industrial, agricultural, and environmental demands. The results suggest that under current situation the quantity of available surface and groundwater could be insufficient to meet the demands of different sectors within the basin. Therefore, a scenario containing improved irrigation efficiency and 30% of the land in fallow may lead to the allocation vulnerability. The results of this application indicate that system dynamics can be considered as an innovative tool in the planning and allocating water resources.

### Discussion

Integrating water balance modeling in system dynamic provides an informative environment for simulating temporal variation of water components in the basin. From the results it can be deduced that in the future groundwater will play higher role for the area of interest. However, we can see that currently a heavy portion of demands are pushed to this water source as well. Our allocation tests show the drinking and industrial water need could be easily managed if we apply an optimal allocation. In this run we have given these two requirements a higher priority, and as a result, all the needs of these two sectors are fully met. For the environmental sector, it is observed that if the existing conditions in the basin continues, the available water sources will be able to supply 61% of the water needs for this sector. At the same time available water in the region can supply only 32% of the water needs in the agricultural sector. Comparing the results of the allocation indicators shows that a combination of some scenarios including improvement in land policy, irrigation systems and conservative agriculture may lead to the better water allocation option for the future management of the basin.

### Conclusion

The results indicate that conjunctive use of groundwater and surface water may provide a better methodology to meet the demands. Since most of the water consumption in the study area is used as irrigation, in case of any change scenarios, special attention should be paid to improving the efficiency of irrigation systems. Our results also suggest that climate change may have a significant effect on the availability of both surface and sub-surface water resources therefore for such a semi-arid area monitoring of water supply chain is necessary. Beside this high vulnerability, the area is highly depended on the groundwater resources. The results of this application indicate that system dynamics can be considered as an innovative tool in the planning and allocating water resources.

### Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

### Funding

No funding.

### Authors' contributions

Design and conceptualization: Khodayar Abdollahi and Sara Mardanian.

Methodology and data analysis: Khodayar Abdollahi, Sara Mardanian, Razaat Zare And Abouzar Salehi.

Supervision and final writing: Khodayar Abdollahi

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

## مقاله پژوهشی

برنامه‌ریزی پویایی تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی  
برای اهداف کشاورزی و محیط زیست در حوزه خانمیرزاسارا مردانیان<sup>۲</sup>، خدایار عبدالهی<sup>۱\*</sup>، رفعت زارع بیدکی<sup>۱</sup>، ابوذر صالحی<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

## چکیده

**مقدمه:** رشد جمعیت در اکثر حوزه‌های آبخیز منجر به افزایش تعداد و تنوع روزافزون حقایق‌بران شده که در نتیجه آن تخصیص بهینه آب، اهمیتی بیش از پیش پیدا می‌کند. در تحقیق حاضر برای تخصیص منابع آب کشاورزی و محیط زیست در محیط نرم‌افزار VENSIM مدلی به روش پویایی سیستم برای حوزه آبخیز خانمیرزا توسعه داده شده است.

**روش:** این مدل بیان و تخصیص آب شامل دو بخش جداگانه است که بخش نخست آن جهت به‌دست آوردن حجم آب سطحی و زیرزمینی تهیه شده و بخش دیگر، به منظور نحوه تخصیص منابع آب در شرایط موجود و آینده (با فرض حفظ روند موجود) طراحی شده است. سیاست بهره‌برداری شامل استفاده تلفیقی از آب زیرزمینی و سطحی حوزه جهت رفع نیازهای شرب، کشاورزی، صنعتی و زیست‌محیطی است.

**یافته‌ها:** پس از توسعه مدل اجرا و بهینه‌سازی حجم آب سطحی و زیرزمینی انجام و کارایی مدل بیان آزمون و بهینه‌شد. سپس با استفاده از روابط و قوانین مربوط به بهره‌برداری از منابع، برای تخصیص بهینه آب موجود در حوزه مورد مطالعه، الگویی ترکیبی حاصل گردید. با توجه به دینامیک تغییرات در حجم آب در دسترس در منطقه، نتایج گویای عدم کشش منابع برای تأمین کلیه نیازهای موجود و شرایطی در منطقه مخصوصاً در بخش کشاورزی آبی بوده است. لذا سناریو ترکیبی آیش و بهبود کارایی آبیاری می‌تواند آسیب‌پذیری تخصیص منابع را کاهش دهد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مدل نشان می‌دهد پویایی سیستم می‌تواند ابزاری خلاقانه در تخصیص منابع آب، برنامه‌ریزی و سیاست‌های مدیریتی مناسب در منطقه باشد و در این منطقه تحلیلهای علت معلولی نشان از اهمیت استفاده تلفیقی از منابع آب دارد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۹

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/wej.2022.16787.1984

## واژه‌های کلیدی:

پویایی سیستم، تخصیص بهینه منابع آب، VENSIM، بهره‌برداری تلفیقی.

\* نویسنده مسئول: خدایار عبدالهی

نشانی: گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

تلفن: ۰۳۸۳۳۳۴۴۰۱

پست الکترونیکی: kabdolla@sku.ac.ir

## مقدمه

کمتر از یک درصد از آب‌های جهان به شکل آب شیرین در دسترس بشر می‌باشد، با این وجود اگر چرخش آب به خوبی انجام شود و از این آب به طور صحیح استفاده شود، همین مقدار کم از آب می‌تواند همه نیازهای ضروری انسان را مرتفع سازد [۱۰]. تغییرات در الگوی بارش و دما از جمله مهمترین چالش‌های روبروی تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان و مصرف‌کنندگان منابع آب می‌باشد، همچنین افزایش جمعیت و توسعه بر شدت مشکل کمبود آب افزوده‌است. حال آنکه در کشور ایران نسبت به جهان شرایط بسیار نامناسب‌تر می‌باشد، به گونه‌ای که بارندگی در ایران حتی کمتر از یک سوم میانگین بارندگی در سطح دنیا است [۹].

بحران آب یکی از مهمترین تهدیدها در جوامع انسانی است که با رشد جمعیت تشدید و مانع توسعه اقتصادی می‌شود [۳۴]. در نواحی خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران، آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع استراتژیک برای جوامع بشری و توسعه پایدار محسوب می‌شود [۲۴]. از دیرباز متخصصین منابع آب جهت رفع بحران آب در این مناطق از روش‌های گوناگونی مانند طرح‌های انتقال آب، ساخت سد، بارور کردن ابرها، تغذیه سفره‌های زیرزمینی استفاده نموده‌اند [۱۹]. شواهد گویای گسترش بحران آب با تصمیمات ناپایدار جهت تأمین نیازهای آب می‌باشد [۱۷، ۱۳]. می‌توان گفت عدم موفقیت در گسترش راه‌حل‌های پایدار جهت مدیریت و رفع بحران آب در حوزه‌های آبریز به دلیل دانش ناکافی از طبیعت به‌هم‌پیوسته و پویایی زیرسیستم‌های حوزه آبخیز می‌باشد [۲۳]. برنامه‌ریزی منابع آب یکی از زمینه‌های مهم مطالعات منابع آب است که جهت دستیابی به مدیریت یکپارچه و توسعه پایدار منابع آب در سطح حوزه‌های آبخیز صورت می‌گیرد. تعیین میزان آب قابل تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی به نیازها و مصارف مختلف در حوزه‌های آبخیز براساس اولویت و با توجه به محدودیت‌های کیفی و امکان جابجایی تخصیص از یک مصرف به مصارف دیگر شکل می‌گیرد. افزایش روزافزون تعداد حقایق‌بران و تنوع آن‌ها در بیش‌تر حوزه‌های آبخیز، سبب شده است که تخصیص بهینه آب، بیش از پیش اهمیت پیدا کند [۶]. در دهه‌های گذشته رشد قابلیت‌های نرم‌افزاری، امکان توسعه مدل‌های رایانه‌ای را فراهم کرده‌است. امروزه با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به راحتی به تجزیه و تحلیل مسائل منابع آب می‌پردازند. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان آب را در سطح حوزه بین محل‌های تقاضا تخصیص نمود، به گونه‌ای که مشکلات در حال و آینده حداقل شوند [۲۹]. در این راستا، مدل‌های ریاضی

تخصیص می‌توانند نقش به‌سزایی در این زمینه ایفا نمایند. مدل‌های با این قابلیت، به سه دسته کلی بهینه‌سازی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی\_شبیه‌سازی قابل تقسیم هستند [۷]. در انتخاب مدل مناسب، توجه به قابلیت‌ها و داده‌های در دسترس و ساختار مدل بسیار مهم می‌باشند. در طرح جامع کشور که از سال ۱۳۸۸ شروع شد، مدل‌های MIKE BASIN، MODSIM<sup>۱</sup>، WEAP<sup>۲</sup> و VENSIM مدل‌های منتخب بودند. با توجه به مشکلات و پیچیدگی‌های موجود در سیستم‌ها و وجود بازخورد در اجزای سیستم منابع آب، استفاده از رویکرد پویایی سیستم که با نگرشی سیستمی و تفکر دینامیک و در نظر داشتن تعاملات دینامیکی بین اجزاء درون سیستم درکی عمیق از منشأ مشکلات سیستم را منجر می‌شود، ضروری می‌باشد.

لازمه داشتن رویکرد دینامیک در نظر گرفتن تعاملات و بازخوردهای درون سیستم می‌باشد. در اصل به‌نظر می‌رسد که SD و یا پویایی سیستم رویکرد مورد انتخاب برای مسائل چندرشته‌ای و چندعاملی می‌باشد. در نتیجه مقیاس‌های زمانی این مدل‌ها باید تقریباً طولانی باشد تا وجود تأخیر در سیستم را منعکس نماید [۹]. تحلیل پویایی سیستم به‌عنوان روشی که براساس تفکر سیستماتیک بنا نهاده شده‌است، برای مطالعه در ارتباط با سیستم‌های پیچیده کاربرد دارد. هدف اصلی این روش فهم چرایی و چگونگی یک رخداد دینامیکی و همچنین تلاش برای مدیریت آن رخداد می‌باشد [۳۰]. در روش تحلیل پویایی سیستم از چهار ابزار ذخیره، جریان، رابطه و تبدیل‌کننده‌ها استفاده می‌شود و به‌وسیله آن‌ها کارشناس منابع آب بصورت ذهنی آن‌ها را به نمودارهای ذخیره و جریان و تبدیل مرتبط می‌کند [۳۳، ۳۱]. استیو (۲۰۰۳) طی تحقیقی با روش فوق به مدیریت آب در لاس‌وگاس پرداخت. نتایج وی گویای مؤثر بودن این روش جهت افزایش تمایل عموم مردم در حل مشکلات مدیریت آب در منطقه بود. عبدالوند و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر آب‌های سطحی و زیرزمینی را بر سد نمرود با استفاده از روش سیستم پویا مورد بررسی قرار نمود. نتایج شبیه‌سازی گویای کاهش آب‌های زیرزمینی در طی زمان و کاهش پتانسیل ذخیره بود. صادقی خالق‌آبادی و همکاران (۲۰۱۴) از مدل VENSIM جهت توسعه پایدار در منابع آب در حوزه کرخه و بررسی شش سناریو استفاده کردند تا بهترین سیاست مدیریتی را مشخص نمایند. وی و همکاران (۲۰۱۲) جهت بررسی اثرات اجتماعی و اقتصادی در تخصیص زیست‌محیطی جریان رودخانه‌ای در چین، از رویکرد پایداری سیستم با استفاده از مدل VENSIM پرداختند. جهان‌دیده و همکاران (۲۰۱۴) از مدل VENSIM جهت شبیه‌سازی تولید برق در مخازن سد برق‌آبی کارون بهره

<sup>2</sup> Water Evaluation and Planning

<sup>1</sup> Colorado State University

بالای صفر می‌باشد. یک سوم حوزه را مناطق مسطح دشتی پوشش می‌دهد که این دشت با دارا بودن جمعیتی معادل ۳۱ هزار نفر دارای اشتغال ۸۶ درصدی در بخش کشاورزی می‌باشد [۱]. رودخانه موقتی خانمیرزا که از سرشاخه‌های حوزه آبخیز کارون شمالی محسوب می‌شود، مهم‌ترین منبع آب سطحی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. هم‌اکنون عمده منبع تامین آب آبیاری و آشامیدنی منطقه با بیش از ۱۰۰۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق تامین می‌شود. سالانه حدود ۹۰ میلیون متر مکعب از حجم تخلیه آب زیرزمینی، برای آبیاری اراضی کشاورزی استفاده می‌گردد. دشت خانمیرزا به دلیل بهره‌برداری غیراصولی از آب‌های زیرزمینی به خصوص طی دهه ۷۰ شمسی به بعد دچار افت شدید در سطح آب‌های زیرزمینی بوده است، به نحوی که در حال حاضر دو سوم دشت (محدوده شرقی) در حالت بحرانی شدید قرار دارد. شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری است.

## ۲-۲ روش پویایی سیستم

از آنجایی که سیستم‌ها در طول زمان در حال تغییر هستند و این تغییرپذیری دلیلی بر پویایی سیستم‌ها می‌باشد، اینگونه سیستم‌ها را سیستم‌های پویا می‌نامند. در روش برنامه‌ریزی پویا جهت حل مسائل پیچیده و غیرخطی آنها را به قطعات کوچکتر مسئله می‌شکنند. در سیستم‌های دینامیک اشاره به پنج عنصر اساسی از جمله سیستم، بازخورد، متغیرهای سطح و جریان، دیاگرام‌های مربوطه و فرآیندمدل‌سازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. رویکرد دینامیک سیستم برای اولین بار در اواسط قرن بیستم توسعه یافته‌است، این رویکرد به‌عنوان یک روش ارزشمند برای بررسی مشکلات پیچیده دینامیک در سیستم‌های مختلف شناخته می‌شود [۳۱، ۱۶]. از جمله تمایزات این روش استفاده از حلقه‌های بازخورد، متغیرهای جریان و حالت می‌باشد که در شناخت رفتار سیستم بسیار اهمیت دارد. مزیت اصلی این روش در خواص موجود در کل ساختار سیستم است که در تک تک اجزای سیستم به تنهایی نمی‌توان یافت. گاهی رفتار کل سیستم را نمی‌توان از روی رفتار اجزای آن توصیف نمود. این روش حاصل نوعی نگرش سیستمی پویا می‌باشد که جهت فهم ایجاد رفتار یک سیستم تحت تأثیر ساختار آن سیستم به‌کار می‌رود [۴].

## ۲-۳ مدل‌سازی سیستم‌های پویا

این نوع مدل‌سازی بر پایه روابط علت و معلولی بین عناصر بنا نهاده شده است. در مدل‌سازی سیستم‌های پویا ابتدا باید به ترتیب به شناخت مسئله، تعریف فرضیه‌هایی مبنی بر علت مشکل، ایجاد شکلی گرافیکی از ساختار عللی عوامل، کسب اطلاعات

گرفتند. نتایج تحلیل سیستمی نشان داد که اثر افزایش ظرفیت نیروگاه از افزایش حجم مخزن سد در تولید برق بیشتر می‌باشد. احمدی و همکاران (۲۰۱۴) به منظور بررسی عملکرد مخزن سد در ارائه نیازها از روش پویایی سیستم در مدل VENSIM استفاده نمودند. نتایج ایشان بیانگر مزیت‌های بسیار مدل پویایی سیستم نسبت به سیستم‌های شبیه‌سازی می‌باشد. نتایج گویای این موضوع بود که با استفاده از قواعد بهره‌برداری مناسب علاوه بر رفع نیازهای زیست‌محیطی، می‌توان از افت آب زیرزمینی در آینده جلوگیری نمود. مؤمنی (۱۳۸۵) جهت بررسی بهره‌برداری تلفیقی از آب زیرزمینی و سطحی از پویایی سیستم از مدل VENSIM استفاده کرد. الشوریگی و همکاران (۲۰۱۴) نیز با استفاده از این روش، به توسعه مدل سیستم یکپارچه منابع آب در حوزه‌ای در غرب کانادا پرداختند. شیخ‌خوزانی و همکاران (۱۳۸۹) جهت بررسی تأثیر سیاست‌ها در یک مخزن چندمنظوره و تأمین نیازها در افق آینده، بهره‌برداری از مخزن با روش دینامیک سیستم را مدل‌سازی نمودند. چانگ و همکاران (۲۰۱۴) از مدل گروه ساختمانی (GMB) و پویایی سیستم (SD)، جهت بررسی مدیریت منابع تالاب جیادینگ استفاده کردند. کدخداحسینی (۱۳۹۴) نیز با روش پویایی سیستم با استفاده از مدل VENSIM با بررسی پنج سناریو به تخصیص بهینه منابع آب در سد چغاخور پرداخت. مؤمنی و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از روش پویایی سیستم و مدل VENSIM اثر اجزای مختلف مدل بر یکدیگر و پویایی‌های سیستم صف را مطالعه کردند. نتایج گویای آن بود که این مدل می‌تواند با نشان دادن اثر تصمیمات مختلف مدیریتی بر رفتار سیستم، مدیریت را یاری می‌دهد.

حوزه آبخیز خانمیرزا از حوزه هائیتست که در حال حاضر تحت تنش آبی و در شرایط آبی نیز احتمالاً منابع آب آن در معرض عدم اطمینان ناشی از تغییرات اقلیمی است. طی این پژوهش تلاش شده با استفاده از مدل پویایی سیستم به شبیه‌سازی و بهره‌برداری بهینه از منابع آب در قالب سیستمی در حوزه خانمیرزا به عنوان یک مدل تصمیم‌گیری پرداخته شود.

## مواد و روش‌ها

### ۱-۱- بررسی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز خانمیرزا یکی از کانون‌های مهم کشاورزی در جنوب شرق استان چهارمحال و بختیاری است. این حوزه در حفاصل طول‌های جغرافیایی ۵۰° و ۵۸' و ۵۱' و ۱۶' و عرض‌های جغرافیایی ۳۱° و ۲۲' و ۳۱° و ۳۸' با میانگین بارندگی سالانه ۵۰۰ میلی‌متر و با مساحتی معادل ۴۹۲ کیلومتر مربع شامل ۵۰۰ هکتار باغ ۹۰۰۰ هکتار اراضی دیم و ۱۲۵۸۷ هکتار اراضی آبی دارای حداقل دمای منطقه ۵ درجه زیر صفر و حداکثر ۳۰ درجه

### ۴-۳-۲ زیرمدل جریان خروجی

جهت تعیین خروجی آب حوزه از نتایج حاصل از برآورد حجم ماهانه آب سطحی و زیرزمینی توسط روابط ایجاد شده در مدل استفاده شد. به این صورت که با مشخص شدن حجم آب سطحی و زیرزمینی و برآورد حجم آب تقاضا در بخش‌های مختلف اعم از شرب، کشاورزی، صنعت و زیست‌محیطی می‌توان بررسی کرد تا چه میزان منابع آب حوزه توانایی تأمین نیازهای مدل را دارا هستند. شکل ۴ نحوه عرضه و تقاضای آب موجود در حوزه را نشان می‌دهد.

### ۴-۳-۵ زیر مدل آب سطحی

در این زیربخش جهت برآورد حجم آب سطحی از داده‌های ماهانه بارش و تبخیر مشاهداتی مربوط به ایستگاه سینوپتیک لردگان که نزدیک‌ترین ایستگاه به حوزه می‌باشد و دارای آمار بلند مدت بیست و دو ساله است (۱۹۹۵-۲۰۱۶)، استفاده شد. به این ترتیب تبخیر و تعرق واقعی (AET) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (پیستوچی و همکاران، ۲۰۰۸).

$$AET = \frac{P}{\left(\alpha + \left(\frac{P}{PET}\right)^\beta\right)^\lambda} \quad (1)$$

که در آن، P میزان بارش ماهانه مشاهداتی، PET میزان تبخیر و تعرق ماهانه مشاهداتی،  $\alpha$  معادل ضریب داخلی  $\lambda$  و  $\beta$ ، ۱/۵ در نظر گرفته شد. در این رابطه، میزان تبخیر از خاک و برگاب نیز در آن اضافه گردید. از طرفی سطح زمین به سه قسمت: دارای پوشش گیاهی، خاک لخت و نفوذ ناپذیر تقسیم شد و به محاسبه حجم آب در هر بخش بطور جداگانه بررسی شد. از دیگر متغیرهای استفاده شده در این بخش حجم رواناب ایجاد شده در حوزه بود. میزان جذب ساقه‌ای، نیز از حجم برگاب محاسبه گردید. جدول ۱ نمایشگر روابط استفاده شده جهت محاسبه پارامترهای به کاررفته در مدل می‌باشد و در جدول ۲ معادل هر یک از پارامترهای روابط فوق آورده شده است.

### ۴-۳-۶ زیر مدل آب زیرزمینی

در این بخش جهت برآورد حجم آب زیرزمینی، آب نفوذی بصورت باقیمانده از بارش کل که صرف برگاب، تبخیر و رواناب سطحی نشده است، استفاده شد. از نتایج بخش قبلی، حجم رواناب و تبخیر و تعرق واقعی میزان نفوذ محاسبه گردید. دیگر پارامترها، شامل رطوبت خاک و جریان ورودی از آب زیرزمینی و پارامتر جریان پایه از اساسی‌ترین متغیرهای این بخش هستند. سایر روابط، پارامترها و نحوه محاسبه آن‌ها در جدول ۳ آورده شده است. مفهوم هر یک از پارامترها نیز در جدول ۴ آورده شده است.

اضافی برای علل، تبدیل گراف علی تقویتی به گراف جریانی پویا و نهایتاً به تبدیل گراف جریانی پویا به معادلات ریاضی پرداخت. در ضمن باید در حین توسعه مدل مرز سیستم و شرایط اولیه را نیز تعریف نمود و روابط علت و معلولی را در نظر گرفت و به بازخورهای مؤلفه‌های سیستمی توجه داشت (عبداللهی، ۱۳۹۵).

### ۴-۳-۱ نرم افزار VENSIM

نرم افزار VENSIM به عنوان یک ابزار توانمند در مدل‌سازی، جهت شبیه سازی و تجزیه و تحلیل سیستم‌های پویا به کار می‌رود. این نرم افزار یک شیوه انعطاف پذیر و ساده را با استفاده از نمودار علت و معلولی و نمودار جریان برای شبیه سازی مدل‌های دینامیکی فراهم می‌سازد. می‌توان به وسیله ارتباط بین متغیرهای سیستم رفتار مدل را در طول زمان مورد بررسی و پیش‌بینی نمود.

### ۴-۳-۲ توسعه مدل

برای بررسی رفتار سیستم و پیاده سازی اهداف، در این مرحله از روابط علی معلولی الهام گرفته و در این روش از نمودارهای جریان مدل رسم و فرمولهای ریاضی مربوطه استفاده می‌شود. پس از آن با مشخص کردن روابط بین متغیرها در مدل، زمینه برای اجرای آن فراهم شد.

### ۴-۳-۳ زیر سیستم‌های به کاررفته در مدل

اساس کار در مدل‌سازی پویا شکستن مسئله به بخش‌های کوچک‌تر است. در این بخش با استفاده از قابلیت پیش‌بینی جریان در مدل توسعه یافته حجم آب سطحی و زیرزمینی در حوزه مدنظر با اعمال روابط، میزان جریان ماهانه آب سطحی و زیرزمینی بدست آمد. از مقایسه حجم این دو منبع آب در مقیاس ماهانه با مقادیر مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه خروجی حوزه، ضریب کارایی از روش ضریب کارایی مدل هیدرولوژیکی بررسی شد. سپس با برآورد نیازهای مختلف شرب، کشاورزی، صنعت و زیست‌محیطی به تخصیص آب از دو منبع آب سطحی و زیرزمینی جهت رفع نیازها پرداخته شد. جهت ساخت مدل و نحوه ارتباط و اثرگذاری این متغیرها برهم، مدل علی و معلولی بیلان آب حوزه ترسیم گردید. شکل ۲ نشان‌دهنده نمودار خلاصه شده علی و معلولی فرآیندهای اثر گذار در حوزه آبخیز مورد مطالعه و شکل ۳ نمایشگر ساختار مدل ذخیره، جریان سطحی و زیرسطحی است که در آن حلقه‌های علی و معلولی به نمودارهای ذخیره و جریان تبدیل گردیده‌اند.

$$IE = 0.72 * PrI / (PrI + UnPrI) + 0.32 * UnPrI / (PrI + UnPrI) \quad (24)$$

که در آن IE راندمان آبیاری، PrI مساحت ماهانه اراضی تحت آبیاری تحت فشار، UnPrI مساحت اراضی تحت آبیاری ثقلی می‌باشد. نیاز آبی خالص محصولات غالب حوزه با استفاده از نرم‌افزار netwat محاسبه گردید و نهایتاً با استفاده از فرمول زیر نیاز آبی کشاورزی محاسبه شد.

$$AgD = (((grape * 0.09 * 12587) + (beetroot * 0.1 * 12587) + (wheat * 0.41 * 12587) + (walnut * 0.05 * 12587) + (barlay * 0.15 * 12587) + (bean * 12587 * 0.2)) / (SE * TE)) \quad (25)$$

که در فرمول فوق AgD بیانگر نیاز آب کشاورزی است و نیاز آبی خالص این محصولات با ضرب نیاز خالص هر محصول در نسبت کشت آن در مساحت کل اراضی آبی بدست آمد. محصولات غالب منطقه شامل انگور، چغندر، گندم، گردو، جو و لوبیا هستند که در فرمول مربوطه به ترتیب با علائم gr، bee، wh، wa، ba و bea نشان داده شده اند. همچنین در فرمول فوق IE راندمان آبیاری که با استفاده از فرمول شماره ۲۴ محاسبه گردید. SE و TE به ترتیب ضریب توزیع و انتقال می‌باشد.

## ۲-۵ روش ارزیابی مدل

### ۲-۵-۱ کالیبراسیون مدل

جهت کالیبره و همچنین اعتبارسنجی مدل از آمار دبی داده‌های مشاهداتی ۱۱ ساله (۲۰۰۲-۲۰۱۲) ایستگاه زیرین درخت که دارای دوره دراز مدت و در نزدیک به خروجی حوزه بود، استفاده شد. به این منظور در ابتدا با بکارگیری داده‌های آماری مشاهداتی و با استفاده از سایت WHAT دبی پایه از دبی کل تفکیک شد. در این مدل به دلیل بررسی آب سطحی و زیرزمینی نیاز به استفاده از داده‌های دبی کل و دبی پایه بود. بدین منظور از داده‌های دبی پایه جهت کالیبره کردن بخش زیرزمینی مدل و از داده‌های دبی کل برای کالیبره کردن بخش سطحی مدل استفاده شد. جهت کالیبراسیون مدل با تغییر ضرایب موجود در مدل و با استفاده از شاخص نش ساتکلیف که در زیر آورده شده است مقادیر پارامترهای مدل واسنجی شد به نحوی که مقدار ضریب نش مقداری مطلوب بدست آمد.

## ۲-۴ زیرمدل نیاز آبی

### ۲-۴-۱ نیاز شرب

به‌منظور محاسبه این نیاز، ابتدا با استفاده از متغیرهای نرخ رشد، جمعیت اولیه و سرانه مصرف آب، میزان مصرف آب آشامیدنی محاسبه گردید. سرانه مصرف آب شامل مصرف خانگی (شرب، بهداشت، شستشو...،) تجاری و صنعتی، عمومی، فضای سبز و تلفات آب می‌باشد که میزان مصرف آن برای هر فرد به‌طور سالانه در جدول ۵ آمده است. این مقادیر از روش مقایسه‌ای محاسبه شده‌اند.

نرخ رشد جمعیت در حوزه مورد مطالعه معادل ۱٫۳ درصد در سال می‌باشد. که با بررسی آمار جمعیت حوزه در سال‌های ۸۵،۹۰،۹۵ با استفاده از فرمول شماره ۲۲ این موضوع تأیید شد.

$$P = P0(1 + R)^n \quad (22)$$

که در آن p جمعیت سال مقصد، P0 جمعیت سال مبدأ، R نرخ رشد جمعیت و n تفاوت میان سال مبدأ و مقصد است. جمعیت اولیه نیز با توجه به سال شروع مدلسازی (معادل ۱۹۹۵) حساب شد. نهایتاً نیاز آب آشامیدنی از فرمول زیر محاسبه شد.

$$DWD = (UR * P) \quad (23)$$

در فرمول فوق DWD نشان‌دهنده نیاز شرب، UR نرخ مصرف و P جمعیت می‌باشند.

### ۲-۴-۲ نیاز زیست‌محیطی

این نیاز با استفاده از روش مونتانا که معتبرترین روش موجود توسط معاونت امور آب و آبفا برای ایستگاه زیرین درخت در خروجی حوزه مورد مطالعه محاسبه شد. در جدول ۶ نیاز آبی زیست‌محیطی به روش مونتانا ارایه شده است.

### ۲-۴-۳ نیاز صنعت

با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات مناسب به‌صورت داده‌های ماهانه این نیاز به روش ساده زیر محاسبه شد. با توجه به آمار کلی این نیاز مستخرج از گزارش فنی پیشنهاد ممنوعیت محدوده مطالعاتی جوانمردی برای شش ماه سرد و گرم محاسبه گردید. به این صورت که مقدار نیاز صنعت موجود برای شش ماه گرم ضربدر ۱٫۲ و برای شش ماه بقیه ضربدر ۰٫۸ شد و به این ترتیب این نیاز به صورت ماهانه بدست آمد.

### ۲-۴-۴ نیاز کشاورزی

برای تعیین نیاز کشاورزی نیز با به‌دست آوردن نیاز آبی محصولات غالب حوزه و ضریب راندمان آبیاری که با استفاده از مساحت‌های ماهانه اراضی تحت آبیاری تحت فشار و ثقلی به‌دست آمد و همچنین مساحت کل اراضی آبی لحاظ شد. در این ارتباط راندمان آبیاری با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.



ج- اطمینان‌پذیری حجمی: این شاخص مقایسه‌ای بین مصرف و نیاز واقعی در مقیاس سالیانه انجام می‌دهد، که علاوه بر اینکه مبین مصرف بیش از اندازه در سیستم است و می‌تواند تنش‌های آبی مواجه با آن رانشان دهد (کاندزویس و کیندلر، ۱۹۹۵).

$$RI_V = \frac{\int_0^T \min(Q_S(t), Q_D(t)) dt}{\int_0^T Q_D(t) dt} \quad (28)$$

که در آن  $RI_V$  شاخص اطمینان‌پذیری حجمی،  $Q_S(t)$  حجم آب مصرفی که در واقع آب تامین شده در زمان  $t$  بوده و  $Q_D(t)$  بیان‌کننده حجم تقاضا در زمان  $t$  می‌باشد.  
 د- شاخص آسیب‌پذیری (VI): این شاخص نشان‌دهنده الگوی مصرف سیستم در مقابل موجودی آن است. این مقدار بیان‌کننده برابری میزان مصرف در سیستم با موجودی آن است و گویای بیشترین آسیب‌پذیری می‌باشد (راسکین و همکاران، ۱۹۹۷). در حقیقت مقدار یک بیان‌کننده برابری میزان مصرف در سیستم با موجودی آن است و بیشترین آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد.

### ۳-۵-۲ سیاست بهره‌برداری

به منظور پیش‌بینی وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی حوزه به پیش‌بینی بارش و تبخیر که دو ورودی اصلی مدل می‌باشند. از جمله معتبرترین و پرکاربردترین منابع اقلیمی، مدل‌های جهانی اقلیمی می‌باشند که فرآیندهای مهم جو را در مقیاس جهانی شبیه‌سازی می‌کنند. طی این پژوهش با بررسی تمامی سناریوهای موجود پارامتر دما و بارش در سایت اقلیمی کانادایی (GCM/RCM Monthly Data Download) و با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه سینوپتیک لردگان بهترین سناریو اقلیمی شامل مدل NCARCCSM3 (Mean) با سناریو (SR-A2) انتخاب گردید. نهایتاً با استفاده از آن‌ها به پیش‌بینی داده‌های پارامتر دما و بارش در سال‌های آتی معین شد، همچنین برای پیش‌بینی داده‌های تبخیر از داده‌های پیش‌بینی شده دما استفاده شد. چهار سناریو مدیریتی زمین نیز در این ارتباط تعریف شدند:

- S1: پیش‌روی شرایط به فعلی.
- S2: افزایش راندمان بخش کشاورزی تا ۷۵ درصد.
- S3: آیش یک سوم اراضی کشاورزی (کشت هر سه سال یکبار)
- S4: ترکیب موارد فوق.

$$EC_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (C_O^i - C_E^i)^2}{\sum_{i=1}^n (C_O^i - \bar{C}_O)^2} \quad \text{نش (۲۶):}$$

که در آن  $EC_{NS}$  شاخص نش ساتکلیف،  $C_O^i$  دبی مشاهداتی،  $C_E^i$  دبی مستخرج از مدل،  $\bar{C}_O$  متوسط دبی مشاهداتی می‌باشد. از این شاخص هم در کالیبره کردن آب سطحی مدل و هم آب زیرزمینی مدل استفاده شد.

### ۲-۵-۲ اعتبارسنجی

جهت اعتبارسنجی مدل پس از کالیبره کردن مدل و رسیدن به مقادیر مناسب و ثابت برای ضرایب مدل شده، از داده‌های دبی تاریخی ۶ سال (۱۹۹۵-۲۰۰۲) ایستگاه زرین درخت استفاده گردید. در این مرحله بدون تغییر در ضرایب بدست آمده در مرحله کالیبراسیون مدل اجرا و میزان کارائی نتایج بدست آمده بررسی شد.

### ۳-۵-۳ بررسی شاخص‌های تخصیص

در این بخش برای بررسی کارائی تخصیص آب در مدل توسعه یافته از چهار شاخص به شرح زیر استفاده گردید:

الف- شاخص اطمینان‌پذیری (RI): از قدیمی‌ترین و کاربردی‌ترین معیارهای ارزیابی برای تحلیل سیستم‌های منابع آب، شاخص اطمینان‌پذیری دریک سیستم بهره‌برداری منابع آب می‌باشد که به دو صورت حجمی و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ب- اطمینان‌پذیری زمانی: این شاخص به آنالیز وضعیت سیستم در زمینه شکست و یا عدم شکست می‌پردازد (هاشمیتو و همکاران، ۱۹۸۲).

$$RI_t = 1 - \frac{\sum_{j=1}^M d(j)}{T} \quad (27)$$

این رابطه گویای نسبت تعداد کل ماه‌هایی است که سیستم در زمینه تأمین آب آن موفق بوده است نسبت به کل ماه‌های بهره‌برداری است (کجلدسن و روسبجرگ، ۲۰۰۴). که در رابطه فوق  $RI_t$  شاخص اطمینان‌پذیری زمانی،  $M$  تعداد کل وقایع شکست سیستم،  $d(j)$  عبارت است از زامین واقعه شکست سیستم و  $T$  تعداد کل دوره‌های تعریف شده در سیستم می‌باشد.

روابط ایجاد شده حلقه‌های علت و معلولی و تأثیرگذاری پارامترها برهم در دوره شبیه‌سازی (۱۹۹۵-۲۰۱۲) به‌دست آمد. نتایج در شکل ۶ آورده شده‌است.

همچنین جهت پیش‌بینی وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه، پس از انجام مراحل کالیبراسیون و اعتبارسنجی و حاصل شدن نتایج مطلوب بدست آمده از ضرایب نش، داده‌های پیش‌بینی شده دما، بارش و تبخیر و تعرق که با روش مدل جهانی اقلیمی بازسازی شدند به مدل داده شد و شرایط ده سال آبی منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌دست آمد. شکل ۷ نشان‌دهنده پیش‌بینی حجم ماهانه آب سطحی در ده سال آینده و شکل ۸ پیش‌بینی ماهانه حجم آب زیرزمینی (سفره) در ده سال آبی را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج پیداست، حجم غالب منابع آب حوزه در بخش آب زیرزمینی متمرکز است.

### ۳-۱ کالیبراسیون مدل

باتوجه به توضیحات داده شده در بخش مواد و روش، از داده‌های دبی پایه و دبی سطحی تفکیک شده حاصل از داده‌های مشاهداتی ۱۱ ساله (۲۰۰۲-۲۰۱۲) ایستگاه زرین‌درخت، با استفاده از سایت WHAT، به ترتیب جهت کالیبره کردن در بخش زیرزمینی و سطحی استفاده شد. نتایج واسنجی پارامترها، پس از انجام کالیبراسیون طبق روش بیان شده، مقدار نش مربوط به آب سطحی در این مرحله برابر با ۰٫۵۶ و مقدار نش مربوط به آب زیرزمینی در این مرحله برابر با ۰٫۵۷ محاسبه گردید. شکل ۹ نشان‌دهنده مقایسه دبی مشاهده‌ای آب سطحی (Qo) و دبی محاسبه‌شده آب سطحی (Qe) (منتج از اجرای مدل) در مرحله کالیبراسیون و شکل ۱۰ مقایسه دبی مشاهده‌ای آب پایه (Qo) و دبی محاسبه‌شده آب پایه (Qe) (منتج از اجرای مدل) در مرحله کالیبراسیون را نشان می‌دهد. جدول ۷ مقادیر ثابت‌های ورودی اولیه و پارامترهای مدل پس از واسنجی را نشان می‌دهد.

### ۳-۲ اعتبارسنجی

نتایج اعتبارسنجی، مقدار نش مربوط به آب سطحی را در این مرحله برابر با ۰٫۵۵ و مقدار کارائی نش مربوط به آب زیرزمینی در این مرحله برابر با ۰٫۵۲ محاسبه گشت. شکل ۱۱ و ۱۲ به ترتیب مقایسه دبی مشاهده‌ای آب سطحی و آب پایه (Qo) و دبی محاسبه‌شده آب سطحی و آب پایه (Qe) در مرحله اعتبارسنجی را نشان می‌دهد.

پس از تأیید مقادیر مناسب پارامترهای به‌کاررفته در مدل در مراحل کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل، شبیه‌سازی مدل برای یک دوره ۱۸ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۲)، انجام شد. نتایج دبی

الگوی مصرف سیستم در مقابل موجودی آن است. این مقدار بیان‌کننده برابری میزان مصرف در سیستم با موجودی آن است و گویای بیشترین آسیب‌پذیری می‌باشد (راسکین و همکاران، ۱۹۹۷). در حقیقت مقدار یک بیان‌کننده برابری میزان مصرف در سیستم با موجودی آن است و بیشترین آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد.

### ۳-۵-۲ سیاست بهره‌برداری

به منظور پیش‌بینی وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی حوزه به پیش‌بینی بارش و تبخیر که دو ورودی اصلی مدل می‌باشند، از جمله معتبرترین و پرکاربردترین منابع اقلیمی، مدل‌های جهانی اقلیمی می‌باشند که فرآیندهای مهم جو را در مقیاس جهانی شبیه‌سازی می‌کنند. طی این پژوهش با بررسی تمامی سناریوهای موجود پارامتر دما و بارش در سایت اقلیمی کانادایی (GCM/RCM Monthly Data Download) و با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه سینوپتیک لردگان بهترین سناریو اقلیمی شامل مدل NCARCCSM3 (Mean) با سناریو (SR-A2) انتخاب گردید. نهایتاً با استفاده از آن‌ها به پیش‌بینی داده‌های پارامتر دما و بارش در سال‌های آبی بدست آمده، همچنین برای پیش‌بینی داده‌های تبخیر از داده‌های پیش‌بینی شده دما استفاده شد. چهار سناریو مدیریتی زمین نیز در این ارتباط تعریف شد:

- S1: پیش‌روی شرایط به فعلی.
- S2: افزایش راندمان بخش کشاورزی تا ۷۵ درصد.
- S3: آیش یک سوم اراضی کشاورزی (کشت هر سه سال یکبار)
- S4: ترکیب موارد فوق.

### نتایج

در بخش حاصل برای محاسبات هیدرولوژیکی مدل جهت برآورد حجم آب سطحی با استفاده از داده‌های مشاهداتی ماهانه بارش و تبخیر ابتدا به محاسبه میزان تبخیر و تعرق واقعی و نفوذ ارائه شده است. شکل ۵ تبخیر و تعرق واقعی و نفوذ محاسبه شده در محیط VENSIM در دوره شبیه‌سازی (۱۹۹۵-۲۰۱۲) را نشان می‌دهد.

از طرفی باتوجه به اینکه سطح زمین به سه بخش دارای پوشش گیاهی، بخش خاک لخت و بخش نفوذ ناپذیر تقسیم شده بود، نتایج محاسبه حجم آب در هر بخش در ادامه ارائه شده است. این نتایج شامل حجم رواناب و کل جریان سطحی و حجم جریان پایه و کل حجم آب زیرزمینی ایجاد شده در حوزه، با توجه به

در این سناریو شرایط همچون شرایط سناریو S1 می‌باشد تنها با فرض اینکه هر سه سال یکبار زمین در شرایط آیش قرارگیرد، مدل اجرا گردید. نتایج شاخص‌های تخصیص در این سناریو در جدول ۱۰ آورده شده است. همچنین نتایج بررسی حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز کشاورزی و زیست‌محیطی طی ده سال آینده (۲۰۱۲-۲۰۲۳) در حوزه در این سناریو در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ آورده شده است.

### ۳-۳-۱-۴ سناریو (S4):

در این سناریو شرایط همچون شرایط سناریو S1 می‌باشد، با فرض توسعه راندمان آبیاری به ۷۵ درصد و اینکه هر سه سال یکبار زمین در شرایط آیش قرارگیرد، مدل اجرا گردید. نتایج شاخص‌های تخصیص در این سناریو در جدول ۱۱ آورده شده است. همچنین نتایج بررسی حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز کشاورزی و زیست‌محیطی طی ده سال آینده (۲۰۱۲-۲۰۲۳) در حوزه در این سناریو در شکل‌های ۲۱ و ۲۲ آورده شده است.

همانطور که از نتایج استنتاج می‌شود در آینده نیز عمده منبع آب حوزه مختص به بخش زیرزمینی می‌باشد و بار اصلی منطقه در تأمین نیازهای آبی برعهده این منبع می‌باشد. در تأمین نیازهای منطقه براساس قوانین بهره‌برداری تنظیم شده در مدل، تخصیص به‌گونه‌ای تنظیم شده است که نیاز شرب و صنعت در اولویت تأمین می‌باشند و در نتیجه کلیه نیازهای این دو بخش به‌طور کامل تأمین شده است. برای بخش زیست‌محیطی پس از اجرای مدل مشاهده می‌شود که در صورت ادامه شرایط موجود در حوزه، منابع آب حوزه توان تأمین ۶۱ درصد از تقاضای این بخش را داراست. همچنین حجم آب موجود در منطقه توان تأمین تنها ۳۲ درصد از نیاز آبی در بخش کشاورزی را دارا می‌باشد. با توجه به اینکه این بخش عمده مصرف آب در منطقه را شامل می‌شود جهت جلوگیری از افت آب زیرزمینی و تأمین نیازهای این بخش باید برنامه‌های مدیریتی مناسبی در پیش گرفت و با توجه به راندمان پایین ۳۲ درصد در منطقه، با بهره‌وری از روش‌های آبیاری پیشرفته و جایگزینی سیستم‌های آبیاری تحت فشار به‌جای سیستم‌های آبیاری سنتی تلاش در بالا بردن راندمان آبیاری شود. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در تمامی سناریوها نیاز شرب و صنعت با توجه به در اولویت بودن تخصیص به‌طور کامل تأمین می‌شوند. جمع‌بندی مقایسه سناریوها نشان‌دهنده این واقعیت است که ادامه وضع موجود آسیب‌پذیری بالائی برای تخصیص منابع خواهد داشت. مقایسه نتایج شاخص‌های تخصیص گویای این مطلب است که ترکیب سناریوها بهترین گزینه تخصیص در شرایط آتی است.

شبیه‌سازی شده و دبی مشاهده‌ای در این دوره شبیه‌سازی در محیط VENSIM در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ آورده شده است. نتایج کالیبراسیون و واسنجی نیز گویای تطابق خوب داده‌های مشاهده‌ای دبی ایستگاه و دبی محاسبه شده توسط مدل VENSIM در دو بخش آب سطحی و زیرزمینی است. پس می‌توان با اطمینان از مدل ساخته شده جهت بررسی وضعیت منابع آب و تخصیص آن در آینده (در اینجا از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳) استفاده نمود.

### ۳-۳-۲ افق آینده

در این قسمت به بررسی شرایط عرضه و تقاضا با تکیه بر شرایط بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی در طول ۱۰ سال آینده (۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳) پرداخته شد.

### ۳-۳-۱-۳ سناریوها:

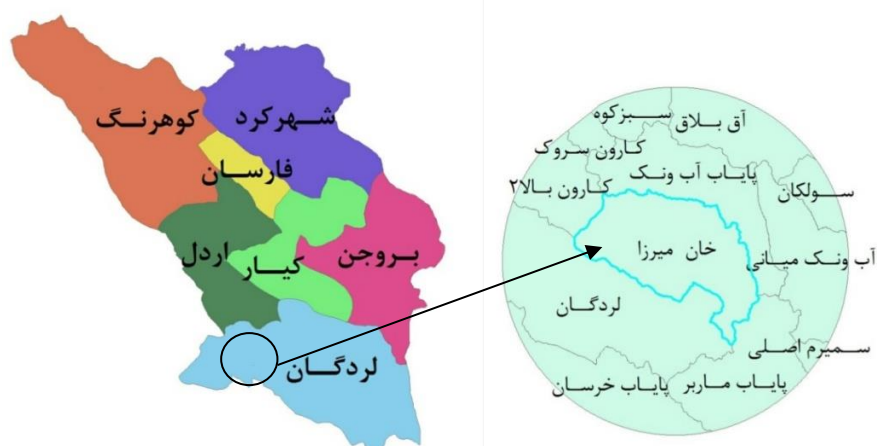
#### ۳-۳-۱-۳-۱ سناریوی (S1):

مورد بررسی در این تحقیق در بخش تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی، فرض پیش‌روی شرایط فعلی در آینده می‌باشد. در این بخش فرض بر این است که در خلال این سال‌ها وضعیت نیاز در بخش شرب، زیست‌محیطی، صنعت و کشاورزی همان مقدار درخواست در سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۲ می‌باشد. برای پیاده کردن این موضوع جهت محاسبه نیاز شرب، نرخ رشد برابر با همان مقدار ۱,۳ درصد و سرانه مصرف نیز ۱۶۱ لیتر در نظر گرفته شد. نیاز صنعت و زیست‌محیطی در طی سال‌های آتی همانند سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۲ در نظر گرفته شد. در بخش نیاز کشاورزی راندمان آبیاری بدست آمده در بخش کالیبراسیون ثابت در نظر گرفته شد و به این ترتیب نیاز در ده سال آتی پیش بینی شد. نتایج شاخص‌های تخصیص در این سناریو در جدول ۸ آورده شده است. همچنین نتایج بررسی حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز کشاورزی و زیست‌محیطی طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه در این سناریو در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ آورده شده است.

#### ۳-۳-۱-۳-۲ سناریو (S2):

در این سناریو شرایط همچون شرایط سناریو S1 می‌باشد تنها با فرض توسعه راندمان آبیاری به ۷۵ درصد مدل اجرا گردید. نتایج شاخص‌های تخصیص در این سناریو در جدول ۹ آورده شده است. همچنین نتایج بررسی حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز کشاورزی و زیست‌محیطی طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه در این سناریو در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ آورده شده است.

#### ۳-۳-۱-۳-۳ سناریو (S3):



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری.

جدول ۱- روابط بکاررفته جهت محاسبه پارامترهای محاسبات مدل

فرمول	شماره فرمول
$RI = (P/1000) * Ia$	۲
$Rv = Va * (P/1000)$	۳
$RBS = BSa * (P/1000)$	۴
$RO = (BSrc * RBS) + (VRC * RV) + (IRC * RI)$	۵
$IC = RV * ICc$	۶
$Thf = Ic * SFR$	۷
$Qs = ((SF * DS) + ((1 - SF) * TF))/2600000$	۸

جدول ۲- توصیف معادل هر یک از پارامترهای بکار رفته در روابط جدول ۱.

حرف اختصاری	معادل فارسی	ردیف
$R_I$	حجم بارش در سطح نفوذ ناپذیر	۱
$P$	بارش	۲
$I_a$	سطح نفوذ ناپذیر	۳
$R_v$	حجم بارش در سطح دارای پوشش گیاهی	۴
$V_a$	سطح دارای پوشش گیاهی	۵
$R_{BS}$	حجم بارش در سطح خاک لخت	۶
$BS_a$	سطح خاک لخت	۷
$RO$	حجم رواناب	۸
$BS_{R,C}$	ضریب رواناب ناشی از بارش مازاد در سطح خاک لخت	۹
$V_{R,C}$	ضریب رواناب ناشی از بارش مازاد در سطح دارای پوشش گیاهی	۱۰
$I_{rc}$	ضریب رواناب ناشی از بارش مازاد در سطح نفوذناپذیر	۱۱
$IC$	برگاب	۱۲
$IC_c$	ضریب برگاب	۱۳

ThF	ساقاب	۱۴
STR	نرخ جریان ساقه ای	۱۵
Q <sub>s</sub>	دبی جریان سطحی	۱۶
SF	فاکتور ذخیره	۱۷
D <sub>s</sub>	تأخیر در آب سطحی	۱۸
TF	کل جریان سطحی	۱۹

**جدول ۳-** روابط بکاررفته جهت محاسبه پارامترهای بخش زیرزمینی.

فرمول	شماره فرمول
$INF = IF THEN ELSE( (RBS + RV + RI) - (RO) - ((ET * A * 0.001) * ETf) < 0 ; 0 ; (RBS + RV + RI) - (RO) - ((ET * A * 0.001) * ETf) )$	۹
$BF = (BFC * GW) + (IBF * y)$	۱۰
$IBF = delay\ fixed( Ss ; 1 ; Ss)$	۱۱
$Ss = IF THEN ELSE( X * INF <= 0 ; 0 ; X * INF )$	۱۲
$DBF = delay\ fixed(BF ; 1 ; BF)$	۱۳
$QBF = ((SF2 * DBF) + ((1 - SF2) * BF))/2600000$	۱۴
$GW = ((INF * DSC) - OF)$	۱۵
$OF = GW * Rate$	۱۶
$AqA = 138 * 10^6$	۱۷
$DSC = (1 - X - B)$	۱۸
$GW = (GW/AqA) + 45$	۱۹
$PrH = delay\ fixed( GWH ; 1 ; GWH)$	۲۰
$CWL = GWH - PrH$	۲۱

**جدول ۴-** معادل هر یک از پارامترهای روابط جدول ۳.

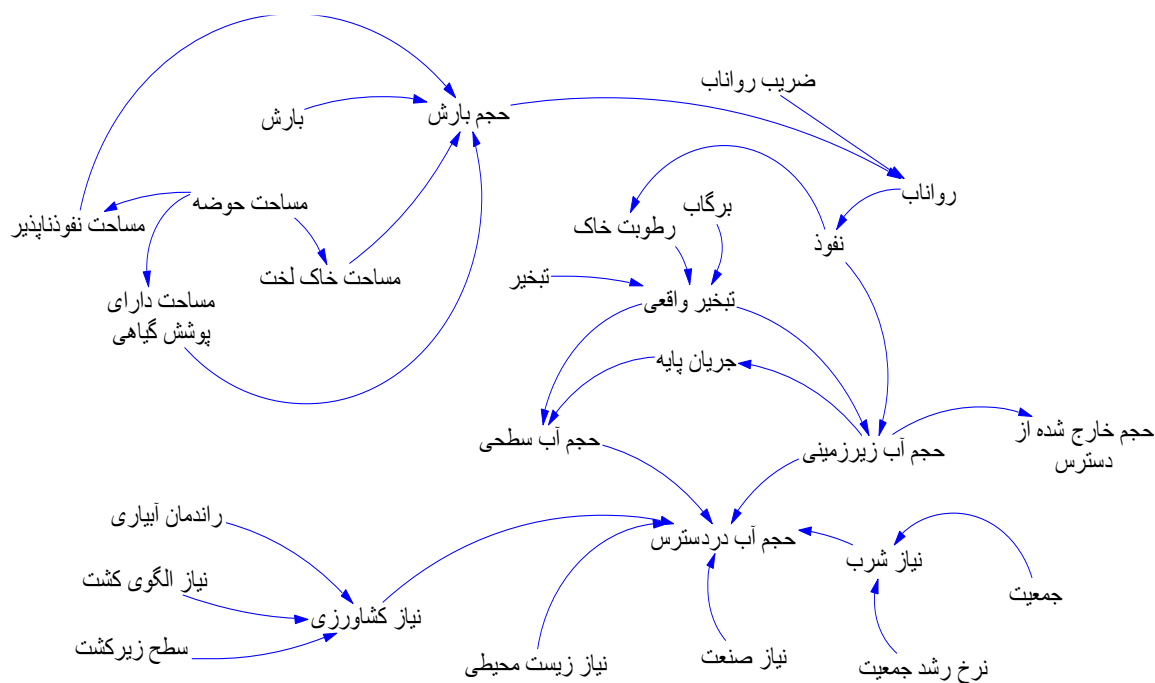
حرف اختصاری	معادل فارسی	ردیف
INF	نفوذ	۱
A	مساحت حوزه	۲
ETF	فاکتور تبخیر	۳
BF	جریان پایه	۴
BFC	ضریب جریان پایه	۵
GW	آب زیرزمینی	۶
IBF	جریان پایه اولیه	۷
Y	ضریب جریان پایه اولیه	۸
Ss	ذخیره خاک	۹
DBF	تأخیر جریان پایه	۱۰
QBF	دبی جریان پایه	۱۱
SF2	فاکتور ذخیره خاک	۱۲
DSC	ضریب ذخیره عمقی	۱۳
OF	جریان خارج شده از دسترس	۱۴
AqA	مساحت آبخوان	۱۵
PrH	سطح پیشین آب	۱۶

GWH	سطح آب زیرزمینی	۱۷
CWC	تغییرات سطح آب زیرزمینی	۱۸

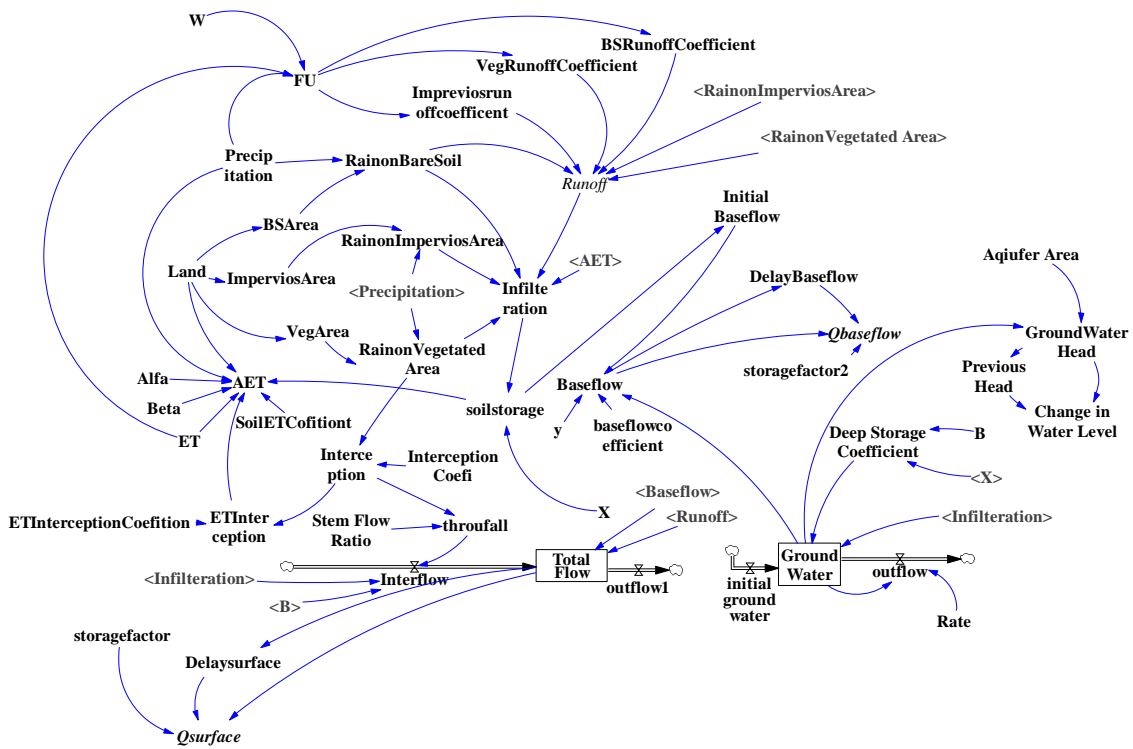
### جدول ۵- متوسط مصرف سرانه کل محدوده طرح

(بخش چهارم مطالعات تعیین حداکثر عمق کف شکنی چاه‌ها در دشت های ممنوعه استان چهارمحال و بختیاری).

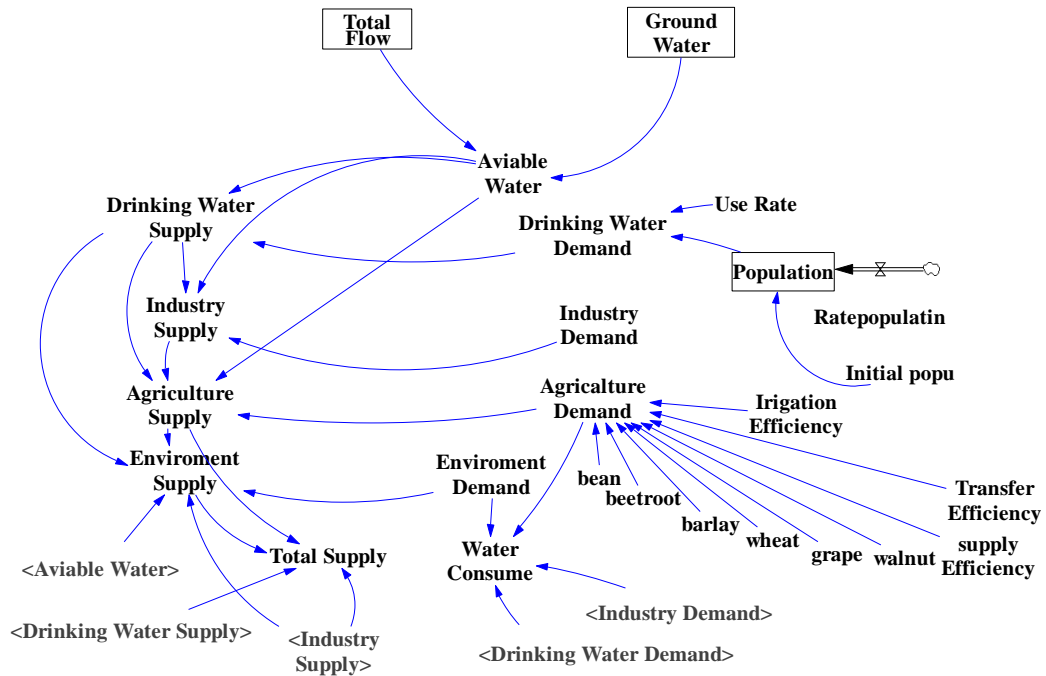
اجزاء	استاندارد پیشنهادی (لیتر در روز به ازای هر نفر)	رقم پیشنهادی (لیتر در روز به ازای هر نفر)
مصارف خانگی	۷۵-۱۵۰	۱۰۴
مصارف صنعتی - تجاری	۱۰-۴۵	۱۰
مصارف عمومی	۱۰-۲۰	۱۰
مصارف فضای سبز خانگی و عمومی	۱۰-۴	۱۰
تلفات	۲۰ درصد کل مصارف	۲۷
مجموع		۱۶۱



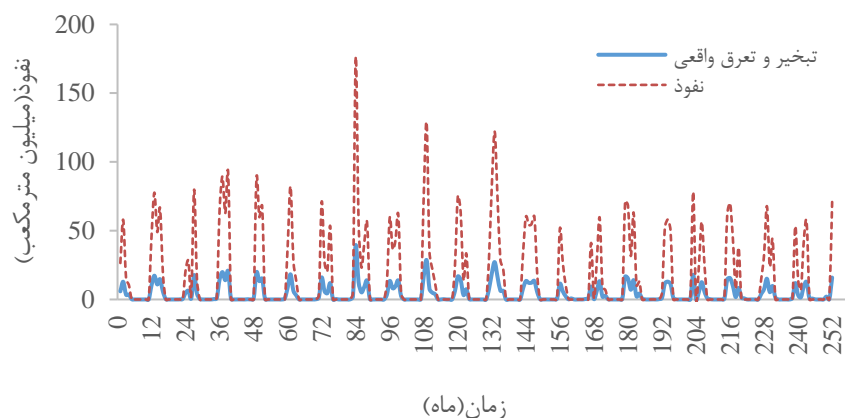
شکل ۲- ساختار گرافیکی خلاصه شده از روابط علی و معلولی اجزاء مدل توسعه یافته در محیط VENSIM.



شکل ۳- ساختار ذخیره و جریان آب سطحی و زیرزمینی در حوزه آبخیز خانمیرزا.



شکل ۴- نحوه عرضه و تقاضای آب موجود در حوزه.



شکل ۵- تبخیر و تعرق واقعی و نفوذ محاسبه شده در دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۲.

**جدول ۶- حداقل نیاز زیست محیطی به روش مونتانا.**

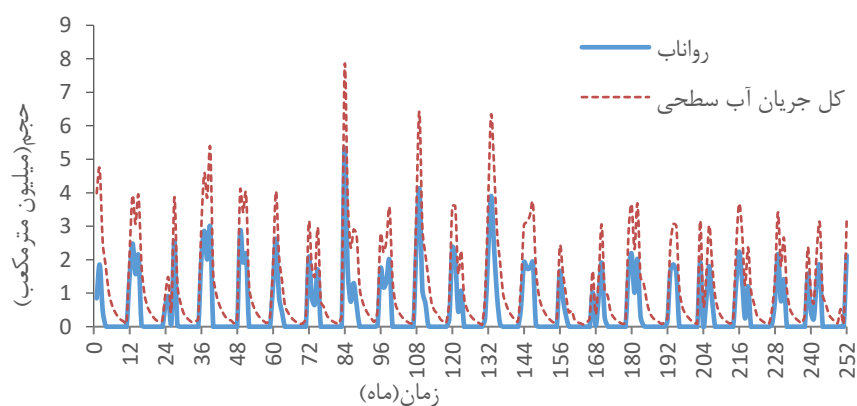
سهم میانگین سالانه رودخانه (درصد)		کیفیت حیات ماهی در رودخانه
مهر تا اسفند	فروردین تا شهریور	
۶۰-۱۰۰	۶۰-۱۰۰	وضعیت بهینه
۴۰	۶۰	بسیار عالی
۳۰	۵۰	عالی
۲۰	۴۰	خوب
۱۰	۳۰	قابل قبول
۱۰	۱۰	ضعیف
۱۰ <	۱۰ <	کمبود شدید

**جدول ۷- مقادیر پایه و پارامترهای حاصل از کالیبراسیون.**

ردیف	مقدار پارامتر	پارامتر
۱	۰/۰۹	ضریب رواناب در سطح نفوذ ناپذیر $I_{rc}$
۲	۰/۰۳	ضریب رواناب در سطح دارای پوشش گیاهی $V_{RC}$
۳	۰/۰۷	ضریب رواناب در سطح خاک لخت $BS_{RC}$
۴	۰/۲۹	فاکتور تبخیر $ETF$
۵	۰/۴	کسر از سطح خاک لخت $BS_a$
۶	۰/۳	کسر از سطح نفوذ ناپذیر $I_a$
۷	۰/۳	کسر از سطح دارای پوشش گیاهی $V_a$
۸	۰/۵	ضریب تبخیر از خاک $S_{et.c}$
۹	۰/۱۱	ضریب برگاب $I_{c.c}$
۱۰	۰/۷	ضریب تبخیر از برگاب $ET_{ic}$
۱۱	$۱-۰.۶^y$	ضریب اولیه جریان پایه $y$
۱۲	۰/۰۱۱	ضریب جریان پایه $BF_c$
۱۳	۰/۷۴	فاکتور ذخیره خاک در بخش آب سطحی $SF$
۱۴	۰/۸۵	فاکتور ذخیره خاک در بخش آب زیرزمینی $SF2$



B	ضریب آب زیر قشری	۰/۱	۱۵
X	ضریب ذخیره خاک	۰/۳۵	۱۶
DSC	ضریب ذخیره عمقی	۰/۶۵	۱۷
OF	جریا خارج شده از آب زیرزمینی	۰/۴۲	۱۸
IGW	حجم اولیه آب زیرزمینی	$۸^{\wedge}۱۰ * ۱/۲۲$	۱۹
UR	نرخ مصرف آب	$۳۰ * ۰/۱۶۱$	۲۰
IE	راندمان آبیاری	۰/۳۲	۲۱
TE	ضریب انتقال	۰/۷۷	۲۲
SE	ضریب توزیع	۰/۵	۲۳
RP	نرخ رشد ماهانه جمعیت	۰/۰۰۱۵	۲۴
IP	جمعیت اولیه	۲۰۶۶۳	۲۵



شکل ۶- حجم کل جریان سطحی و رواناب ایجاد شده در دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۲.

#### جدول ۸- نتایج شاخصهای تخصیص در شرایط ادامه وضع موجود (S1).

شاخص	نیاز کشاورزی	نیاز زیست محیطی
شاخص اطمینان‌پذیری حجمی	۰,۳۲	۰,۵۸
شاخص اطمینان‌پذیری زمانی	۰,۴۶	۰,۴۷
شاخص آسیب‌پذیری	۰,۵۳	۰,۵۳

#### جدول ۹- نتایج شاخصهای تخصیص در شرایط افزایش راندمان آبیاری به ۷۵ درصد (S2).

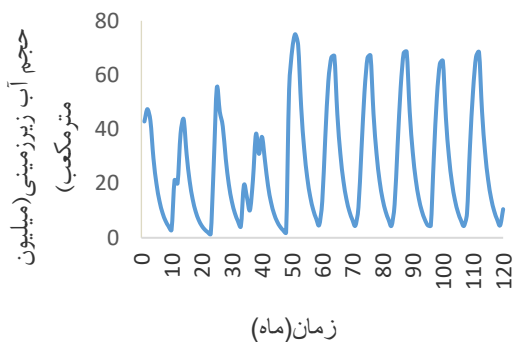
شاخص	نیاز کشاورزی	نیاز زیست محیطی
شاخص اطمینان‌پذیری حجمی	۰,۶۰	۰,۷۴
شاخص اطمینان‌پذیری زمانی	۰,۵۷	۰,۵۵
شاخص آسیب‌پذیری	۰,۴۷	۰,۴۸

#### جدول ۱۰- نتایج شاخصهای تخصیص در شرایط آیش زمین هر سه سال یکبار (S3).

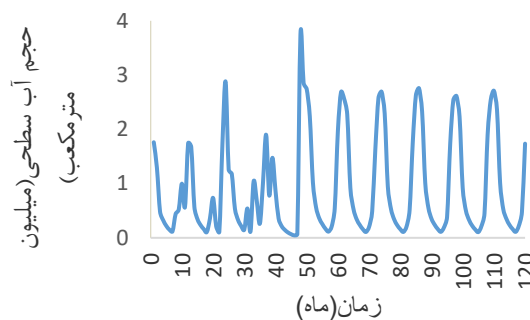
شاخص	نیاز کشاورزی	نیاز زیست محیطی
شاخص اطمینان‌پذیری حجمی	۰,۴۲	۰,۵۸
شاخص اطمینان‌پذیری زمانی	۰,۴۷	۰,۵۵
شاخص آسیب‌پذیری	۰,۵۲	۰,۵۲

**جدول ۹-** نتایج شاخصهای تخصیص در شرایط آیش زمین و افزایش توام راندمان (S4).

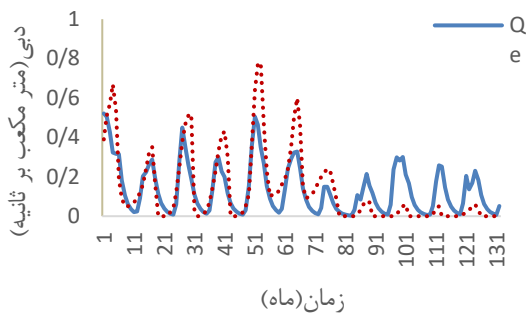
شاخص	نیاز کشاورزی	نیاز زیست محیطی
شاخص اطمینان پذیری حجمی	۰,۷۴	۰,۸۴
شاخص اطمینان پذیری زمانی	۰,۷۰	۰,۷۱
شاخص آسیب پذیری	۰,۲۹	۰,۲۸



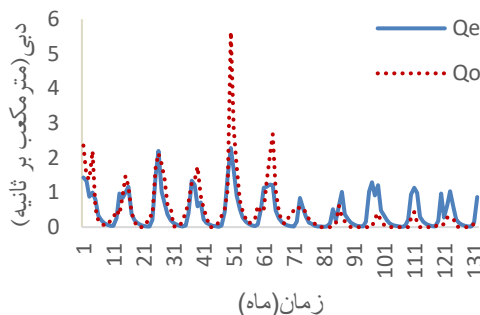
**شکل ۸-** حجم آب زیرزمینی در ده سال آینده ۲۰۱۳-۲۰۲۳.



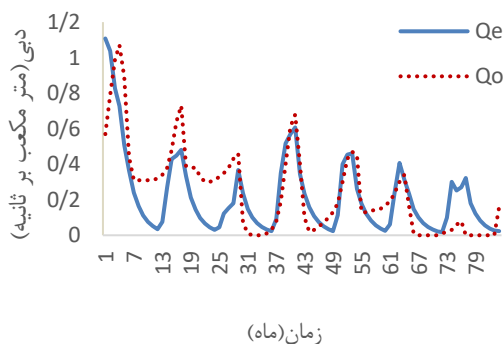
**شکل ۷-** حجم آب سطحی در ده سال آینده ۲۰۱۳-۲۰۲۳.



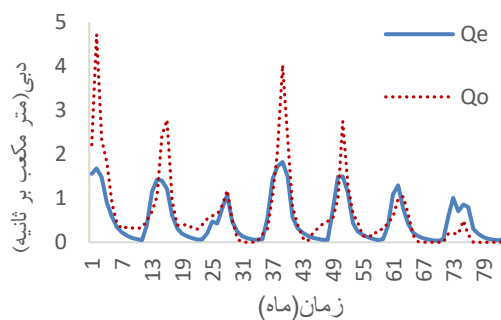
**شکل ۱۰-** مقایسه دبی مشاهده‌ای آب پایه (Qo) و دبی محاسبه شده آب پایه (Qe) در مرحله کالیبراسیون



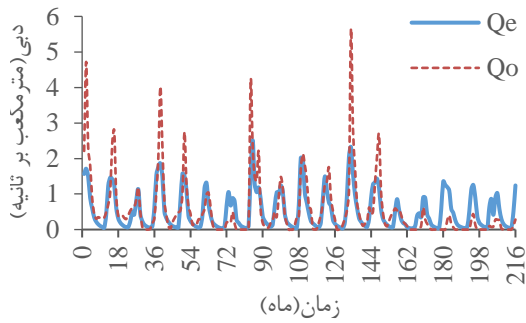
**شکل ۹-** مقایسه دبی مشاهده‌ای آب سطحی (Qo) و دبی محاسبه شده آب سطحی (Qe) در مرحله کالیبراسیون



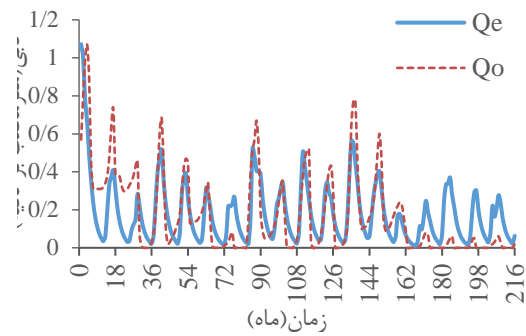
**شکل ۱۲-** مقایسه دبی مشاهده‌ای آب پایه (Qo) و دبی محاسبه شده آب پایه (Qe) در مرحله اعتبارسنجی.



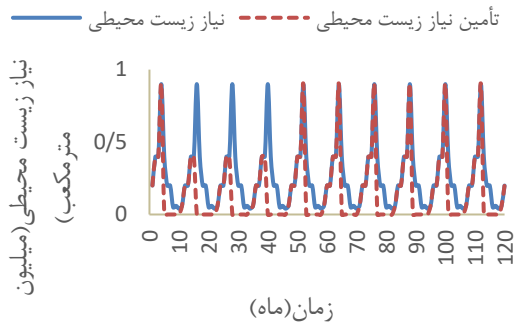
**شکل ۱۱-** مقایسه دبی مشاهده‌ای آب سطحی (Qo) و دبی محاسبه شده آب سطحی (Qe) در مرحله اعتبارسنجی.



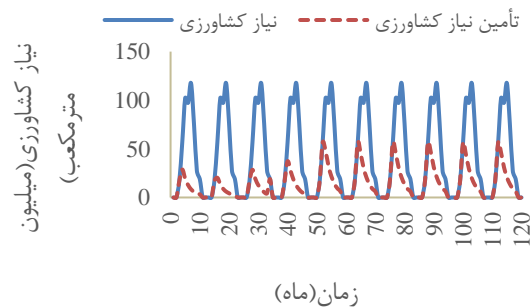
**شکل ۱۴-** مقایسه دبی مشاهده‌ای و دبی محاسبه‌شده مربوط به بخش آب سطحی در طول دوره شبیه‌سازی (۱۹۹۵-۲۰۱۲).



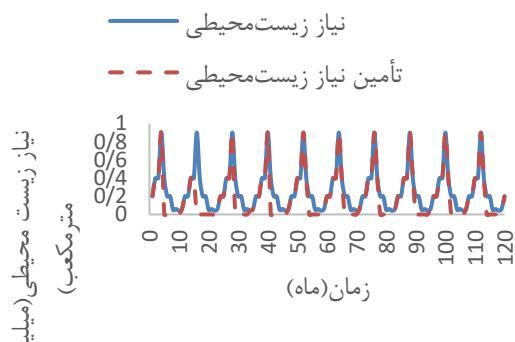
**شکل ۱۳-** مقایسه دبی مشاهده‌ای و دبی محاسبه‌شده مربوط به بخش آب زیرزمینی در طول دوره شبیه‌سازی (۱۹۹۵-۲۰۱۲).



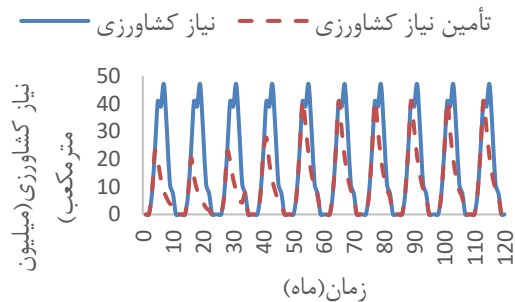
**شکل ۱۶-** حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز زیست محیطی به روش مونتانا طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه (S1).



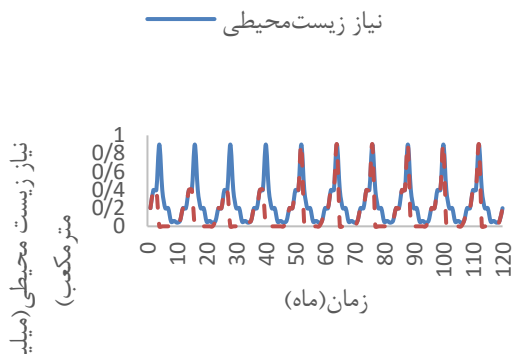
**شکل ۱۵-** حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز کشاورزی طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه (S1).



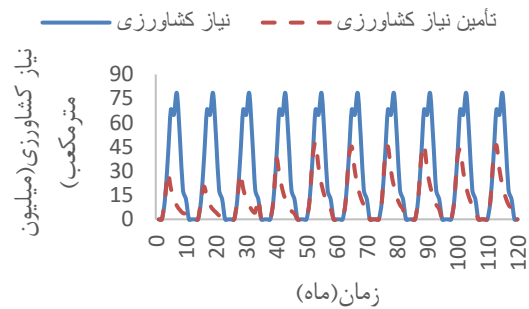
**شکل ۱۸-** حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز زیست محیطی به روش مونتانا طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه (S2).



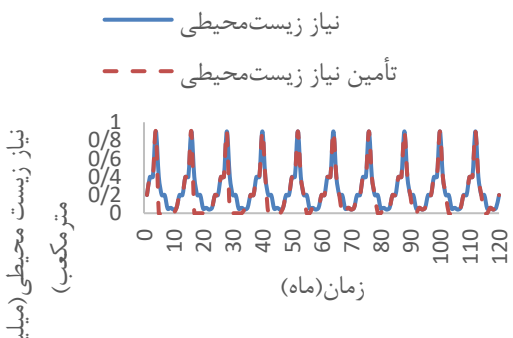
**شکل ۱۷-** حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز کشاورزی طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه (S2).



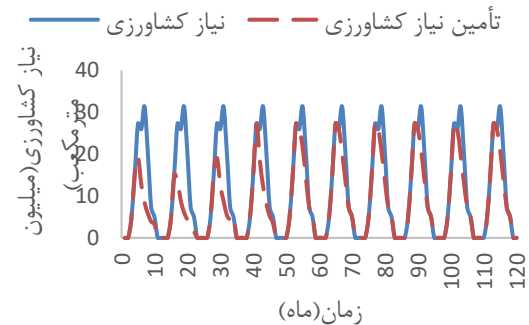
**شکل ۲۰- حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز زیست محیطی به روش مونتانا طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه (S3).**



**شکل ۱۹- حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز کشاورزی طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه (S3).**



**شکل ۲۲- حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز زیست محیطی به روش مونتانا طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه (S4).**



**شکل ۲۱- حجم آب مورد تقاضا و قابل تأمین نیاز کشاورزی طی ده سال آینده ۲۰۱۲-۲۰۲۳ در حوزه (S4).**

در ده سال آینده پیش بینی شد. نتایج نشان دهنده بالا بودن اهمیت حجم آب زیرزمینی در منطقه بود. در حوزه مورد مطالعه عمده بخش تقاضای آب در حوزه مربوط به بخش کشاورزی می باشد. در تأمین نیازهای موجود در منطقه با در نظر گرفتن قوانین مربوط به بهره برداری از منابع و اولویتهای تخصیص و با فرض ثابت بودن نرخ رشد جمعیت و راندمان آبیاری و سطوح زیر کشت و پیش روی نیازهای صنعت و زیست محیطی به روش مونتانا به شیوه سابق، مدل اجرا گردید. نتایج گویای تأمین ۱۰۰ درصد نیازهای شرب و صنعت که به ترتیب در اولویت اول و دوم تخصیص بودند، بود. در شرایط ادامه وضع موجود نیاز زیست محیطی منابع آب موجود قادر به تأمین ۶۱ درصد از این نیاز می باشد. در حالی که نیاز کشاورزی منابع آب حوزه تنها قادر به تأمین ۳۲ درصد از این نیاز می باشد. با توجه به نتایج می توان اظهار داشت که حتی با در دست داشتن کلیه حجم آب سطحی و زیرزمینی منطقه قادر به تأمین کلیه نیازها نمی باشد و تنها حدود ۳۳ درصد از آن را تأمین می کند. از طرفی با توجه به حجم بالای

## بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق سیستم منابع آب حوزه خانمیرزا با در نظر گرفتن رویکرد پویایی سیستم برای بررسی وضعیت حجم آب سطحی و زیرزمینی موجود در تأمین نیازهای شرب و صنعت و کشاورزی و زیست محیطی در خلال سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲ بررسی شد و سپس به شبیه سازی در محیط VENSIM در ده سال آینده برآورد شد. به منظور پیش بینی داده های ورودی به مدل که شامل داده های بارش و تبخیر ده سال آینده می باشد از در سایت اقلیمی کانادایی (GCM/RCM Monthly Data Download) استفاده شد واز میان تمام سناریوهای موجود بهترین سناریو اقلیمی انتخاب گردید و با استفاده از روش حداقل مربعات خطا بهترین داده های اقلیمی که هم خوانی مناسبی با داده های مشاهده ای ایستگاه داشت، استخراج و اصلاح گردید. با ورود این داده های پیش بینی شده در مدل وضعیت منابع آب در محتمل ترین حالت و وضعیت تخصیص آن با فرض پیش روی شرایط به رویه موجود (در خلال سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲) در حوزه

مخزن سد در رفع نیازها پرداختند، که نتایج همگی گویای دقت مناسب رویکرد پویایی سیستم در شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده و نتایج قابل قبول آن در پیش‌بینی تخصیص منابع آب را داشتند، مطابقت داشت.

### پیوستها

تصاویر و جداول تکمیلی این مقاله بصورت پیوست ارائه شده اند.

### ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

### حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

### مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: خدایار عبدالهی، رفعت زارع بیدکی، سارا مردانیان؛ روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: خدایار عبدالهی، سارا مردانیان، ابودر صالحی؛ نظارت و نگارش نهایی: خدایار عبدالهی.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

### References

- Ahmadifard A. and Hindu H., 2014. Salvation of the fertile plain of Khanmirza. Chaharmahal and Bakhtiari province site. [In Persian]
- Shafianfard D, Koochian Afzal F and Yakhkashi M, 2014. Determining the best options for exploiting water resources using the WEAP model and multi-indicator decision analysis (Case study: Zingel area). Journal of Watershed Management, Volume 5, Number 9. [In Persian]
- Sheikh Khazani, Z. Hosseini, K. And Rahimian M., 2010. Modeling the operation of multi-purpose tanks by system dynamics. Modeling in engineering. Volume 21. Pages 57-66.

نیاز آبی در بخش کشاورزی، مدیریت و برنامه‌ریزی ویژه در این بخش جهت جلوگیری از افت آب زیرزمینی که منبع اصلی تأمین آب در منطقه می‌باشد کاملاً ملموس می‌باشد. علاوه بر سناریو وضع حاضر، با توجه به راندمان پایین ۳۲ درصدی آبیاری در منطقه تمرکز جهت بالا بردن آن با جایگزینی روش‌های آبیاری تحت فشار بجای سنتی امری ضروری می‌باشد. باتوجه به بررسی شاخص‌های منابع آبی بطور کلی می‌توان اظهار کرد که کاربری آب کشاورزی در حوزه مورد مطالعه بصورت رقیب کاربری محیط زیست عمل می‌کند و بدون مدیریت زمین مدیریت آب با تنش مواجه خواهد بود.

بررسی سناریوها نشان داد که تلفیق گزینه‌های مدیریت زمین و افزایش راندمان آبیاری می‌تواند آسیب‌پذیری تخصیص را به نحو مطلوبی کاهش دهد. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که مدل پویایی سیستم عملکرد مناسبی در شبیه‌سازی و بهره‌برداری بهینه از منابع آب را دارا می‌باشد.

نتایج این پژوهش با مطالعات انجام‌شده مشابه همچون مطالعات مؤمنی (۱۳۸۵)، که جهت بهره‌برداری تلفیقی از آب زیرزمینی و سطحی از مدل VENSIM استفاده کرد، ویی و همکاران (۲۰۱۲)، و کدخدا حسینی (۱۳۹۶) که از مدل VENSIM و روش رویکرد پویایی سیستم در مدیریت منابع آب در تخصیص بهینه منابع آب استفاده نمودند، شیخ خوازانی و همکاران (۱۳۸۹) که به بررسی تأثیر سیاست در مخزن و تأمین نیازها در آینده با رویکرد پویایی سیستم پرداخت و احمدی و همکاران (۲۰۱۴) که از مدل VENSIM در بررسی عملکرد

[In Persian]

[DOI: 10.22075/JME.2017.1560]

- Abdollahi, K., 2006. Iran Hydrology Reference Website, <http://www.hydr.ir> Accessed: April 10, 2017. [In Persian]
- Kadkhoda Hosseini M, 1394. Using the system dynamics approach in the allocation of water resources (Case study: Choghakhor Dam). Master Thesis in Water Resources. Shahrekord University. School of Agriculture. ShahreKord. Iran. [In Persian]
- Morid S. and Bagheri Harouni M, 2012. Comparison of WEAP and MIKE BASIN models in water resources allocation (Case study: Talvar River). Soil and Water Conservation Research, Volume 20, Number 1. [In Persian]
- Mo'meni, 2005. Determining the optimal rule for multi-purpose operation of reservoirs, using a dynamic system.

- Master Thesis, Sharif University of Technology, p.103. [In Persian]
8. Mo'meni M. and Morvati Sh., 2006. Modeling the queue system dynamics using the system dynamics approach. Journal of Scientific-Research Shahed University. 13th year.No 17. [In Persian]
  9. Mirzaei Sh, Shahgholian K, Asilizadeh, Selukdar and Zandafafandeh, (Translators), 2013. System Dynamics. Cashmere Publications. Tehran.p. 349. [In Persian]
  10. Mohammadian Kobria M, 2012. Water resources management using WEAP computer model (case study of Tajan river). Master Thesis, Department of Agricultural Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources.[In Persian]
  11. Abdolvandi A.F, Parsamehr A, Babazadeh H, Eslamian S, and Hossenipour Z. 2014. Conjunctive use of surface and groundwater resources using system dynamic approach (case study: Namrod Dam). World environmental and resources congress. 1-5June. Portland.
  12. Ahmadi M.H, Rajabpour R, Raeiszadeh F, Farzin S. 2014. Investigation the effects of reserior operation on providing different demands by system dynamics(Case study: Kowsar Dam in Iran). International Journal of Scientific Research and Management. 2(14): 1807-1811.
  13. Cai X, McKinney D.C, Rosegrant M.V. 2003. Sustainability analysis for irrigation water management in the aral sea region. Agricultural Systems. 76 (3): 1043-1066. [DOI: 10.1016/S0308-521X(02)00028-8]
  14. Chang Y, Chen H, Chen K. 2014. Integrated wetland management: an analysis whith group model building based on system daynamics model. Journal of enviremental management. 146: 309-319. [DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.05.038]
  15. Elshorbagy A, Gober P, Hassanzadeh E, Wheater H. 2014. Managing water in complex systems: An integrated water resources model for saskatchewan, canada. Joural of Environmental Modelling & Software. 58: 12-26. [DOI: 10.1016/j.envsoft.2014.03.015]
  16. Forrester J. 1961. Industrial dynamics. MIT Press. Cambridge. 484p.
  17. Gleick P. 1998. Water in crisis: paths to sustainable water use. Journal of Applied Ecology. 8: 571- 579.
  18. Hashimoto T., Stedinger J. R. and Loucks D. P. 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water resources research, 18(1), 14-20. [DOI: 10.1029/WR018i001p00014]
  19. Hutchinson C.F, Varady R.G, Drake S. 2010. Old and new: changing paradigms in arid lands water management. In: Schneier-Madanes M.F. Courel G. (eds.) Water and sustainability in arid regions, Chapter 3. Springer. Berlin. pp: 311-332. [DOI: 10.1007/978-90-481-2776-4\_19]
  20. Jahandideh Tehrani M, Bozorg Hadad O, Marino M.A. 2014. Power generation simulation of a hydropower reservoir system using system dynamics: Case study of Karoon reservoir system. Journal Energy Engineering. :140: 1\_12.
  21. Kjeldsen T.R and Dan Rosbjerg. 2004. Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems /Choix d'estimateurs de fiabilité, de résilience et de vulnérabilité pour les analyses de risquede systèmes de ressources en eau, Hydrological Sciences Journal. 49:5, -767. [DOI: 10.1623/hysj.49.5.755.55136]
  22. Kundzewicz Z. W, Kindler J. 1995. Multiple criteria for evaluation of reliability aspects of water resource systems. Modelling and Management of Sustainable Basin-scale Water Resource Systems (Proceedings of a Boulder Symposium, July 1995). IAHS Publ. No. 231.
  23. Mirchi A, Watkins D, Madani K. 2010. Modeling for watershed planning, management, and decision making. In: Vaughn J.C. (Ed.) Watersheds: Management, Restoration and Environmental Impact. Chapter 6. Nova

- Science Publishers. New York. pp: 354-392.
24. Momeni A, Tajrishi M, Abrishamchi A. 2006. Multipurpose operation modeling of multi-purpose tank using system dynamics method. *Water and Wastewater Journal*. Volume 57. Pages 47\_58.
  25. Pistocchi A, Bouraoui F, Bittelli M. 2008. A simplified parameterization of the monthly topsoil water budget. *WATER RESOURCES RESEARCH*. VOL. 44, W12440. [DOI:10.1029/2007WR006603]
  26. Raskin P. P, Gleick P, Kirshen G, Pontius and Strzepek K. 1997. *Water Futures: Assessment of Ling-range Patterns and Prospects*. Stockholm Environment Institute, Stockholm, 77p.
  27. Sadeghi Khalegh abadi L, Shamsi A, and Goharnejad H. 2014. An analysis of the sustainability oof baisin water resources using Vensim model. *Journal of Civil Engineering*. 19(6): 1941-1949. [DOI: 10.1007/s12205-014-0570-7]
  28. Saysel A.K, Barlas Y, Yenigun O. 2002. Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach. *Journal of Environment Management*. 64(3): 247-260. [DOI: 10.1006/jema.2001.0488]
  29. Sieber J, Swartzand C, A. 2005. Huber-Lee. WEAP21 A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model Part 1: Model Characteristics International Water Resources Association Water International. Volume 30. Number 4. Pages 487-500. [DOI: 10.1080/02508060508691893]
  30. Simonovic S.P, Ahmad S. 2002. System dynamics modeling of reservoir operation for management. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 14(3): 190-198.
  31. Simonovic S.P. 2009. *Managing water resources, methods and tools for a system approach*. United Nations Educational. Scientific and Cultural Organization. UNESCO Publishing. Paris. 640p.
  32. Stave K. 2003. A System dynamics model to facilitate public understanding of water management option of Las Vegas, Nevada. *Journal of eNvironmental Management*. 67(4): 303-313.
  33. Sterman J.D. 2000. *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw- Hill Higher Education. Boston. 982p.
  34. UN-Water. 2005. *A Gender Perspective on Water Resources and Sanitation*. Interagency task force on gender and water. In: *The 12th Session of the commission on sustainable development*. USA. New York. 25p.
  35. UN-Water. 2008. *Status report on integrated water resources management and water efficiency plans*. In: *The 16th Session of the Commission on Sustainable Development*. USA. New York. 53p.
  36. Wei SH, Yang H, Sond J, Abbaspour K and Xu Z. 2012. System Dynamics simulation model for assessing socio-economic impact of different levels of envirmetal flow alloction in the weihe River Basin , China. *European journal of Operational Research*. 221: 248\_262. [DOI: 10.1016/j.ejor.2012.03.014]

