

Investigation of Water Allocation Conditions in Aharchay Basin under Climate Change Impacts

S. Zeinodini¹, S. Anvari^{2*} and Z. Zahmatkesh³

- 1- MSc in Engineering and Water Resources Management, Graduate University of Advanced Technology.
- 2*- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran (*s.anvari@kgut.ac.ir*)
- 3-Visiting Professor at Deptment of Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Graduate University of Advanced Technology.

Received: 29 September 2017

Revised: 25 April 2018

Accepted: 29 April 2018

Keywords: Water resource management, climate change, rainfall-runoff, water requirement, WEAP, Aharchay basin. **DOI:** 10.22055/jise.2018.23237.1648.

Introduction

Regarding water scarcity and climate change in Iran, it is necessary to choose an appropriate model for water resources management. To study the effects of climate change, the outputs of AOGCMs Models were used (Lane et al., 1999). Downscaled weather data using LARS-WG model were then used in the watershed simulation model to estimate the streamflow and crop water requirement so as to evaluate the effects of climate change. Hydrologic models were, indeed, needed to simulate the streamflow, and input to the watershed simulation model so as to estimate water supply in the watershed. WEAP model can be used for investigating and simulating the water system performance under the influence of climate and management scenarios. (Tarek et al., 2017). The purpose of this study was, thus, to investigate the climate change impacts on the amount of streamflow to water supply into the Sattarkhan reservoir as well as the allocation of water in Aharchay watershed.

Methodology

Historical data were used to develop and calibrate the rainfall-runoff. The projections of a GCM were downloaded and downscaled using LARS-WG. The modified weather and resultant streamflow were then implemented in WEAP to analyze climate change impacts on water allocation.

Climate Prediction

GCMs models were different, based on several criteria such as differences in representing coupled ocean-land system and carbon dioxide concentration. Greenhouse gas emissions scenarios and A1B, A2 and B1 were reported by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) to simulate the possible effect of climate change in future.

Downscaling

The LARS-WG model is a statistical downscaling model which have a better performance in comparison to other statistical models such as SDSM (Karamouz et al., 2012a).

Rainfall-runoff model

IHACRE model is used to perform the rainfall-runoff simulation. It consists of two interconnected linear and non-linear sections that are defined for the calculation of losses and conversions of the effective rainfall to runoff (Croke et al. 2005).

Simulation and uses different scenarios

WEAP model, which is based on the mass balance equilibrium of water, is used to simulate basin water resources. This model needs historical hydrometric and synoptic station data. The years 2008 and 2025 are selected as the base and end years for modeling such purposes, respectively.

Results and discussion**Downscaling model**

LARS-WG model was used for downscaling precipitation, temperature and sunshine hour data. Considering the confidence level of 0.05 for both Kolmogorov-Smirnov and t -tests, the critical p - values were obtained 0.275 and 2.57, for a sample size of 12. The statistical analysis showed that the differences between the generated and observed values are acceptable. Calculating the average value monthly during 2011-2030 indicated that rainfall decreased by 5.3%. Compared to the observation period, the same statistics for the minimum and maximum temperature increased by 0.5 and 0.6 degrees Celsius under A1B scenario, respectively.

IHACRES model results

Daily observation for the periods of 2008-2005 and 2011-2009 were used for the calibration and validation of IHACRES, respectively. Based on the results, R2 value for the calibration period was 0.65, and the values of RMSE and MAE metrics were 1.4 and 0.3, respectively. Input into the reservoir in the future periods was estimated by the developed IHACRES model. Data generated by LARS-WG under the A1B climate change scenario were, then, utilized. The results showed that the streamflow peak in the historical period in April was higher than that in the forecast period. However, this peak occurred earlier in March due to the changes in the rainfall pattern.

CropWat results

To analyze the effect of climate change on the evapotranspiration, the outputs of the LARS-WG model were used. Regarding the correlation between the weather variables (Ahmadi, 2010), the linear regression equation for the relative monthly humidity in the form of E. q. (2) was used:

$$RH = 84.1 - 1.42Sun + 1.83T_{min} - 1.62T_{max} + 0.14Rain \quad (2)$$

Where RH: Relative humidity (%), Tmax: Maximum temperature (°C), Tmin: Minimum temperature (°C), SUN: Sunshine hours, Rain: Precipitation (mm).

The amount of agricultural water demand increases by increasing the minimum and maximum temperature and decreasing precipitation in future periods. The crop water demand under A2 scenario is obtained 18067 (m³/ha), showing 7% increase compared to the A1B and B1 scenarios, which increases by 6% and 5%, respectively.

WEAP

If the weather conditions, the domestic water demand, and the total land area for cultivation are kept fixed during the whole simulation period, water deficit in the agricultural sector will be 6.7 million cubic meters. This is due to increased crops' water demand in this sector which is not satisfied. The demand coverage for this sector in the months of December, January and February for all three scenarios is 100%. The lowest deficit is under scenario B1 with 84.8 million cubic meters, which shows a better performance comparing to two other scenarios A2 and A1B, by %23 and %12, respectively.

Conclusion

In this research, the effect of climate change is analyzed on Aharchay water resources system using the GCMs model (HADCM3) projections under A1B, A2 and B1 scenarios. The findings showed that the agricultural sector will suffer a shortage of water supply in future under A2 scenario. The results also indicated that the lowest deficit in this sector is resulted under the B1 scenario, as 84.8 million cubic meters. The domestic sector will, in turn, have the most water deficit under scenario A2 in 2024, as 3.3 million cubic meters, while B1 scenario will result in less deficit.

Acknowledgment

The authors sincerely appreciate the reviewers for their constructive comments that substantially improved the paper.

References

- 1-Ahmadi, B., 2010. *A Climate Driven Model for Increased Water Productivity in Agricultural Sector*. MSc Thesis, Tehran University. (In Persian).
- 2-Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J. & Cuddy, S.M., 2005. *IHACRES user guide*.
- 3-Doorenbos, J., 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. Food and Agriculture organization. *Irrigation and Drainage*, Paper 24, p. 154.
- 4-Karamouz, M., Ahmadi, B. & Zahmatkesh, Z., 2012a. Developing an agricultural planning model in a watershed considering climate change impacts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(4), pp.349-363.
- 5-Lane, M.E., Kirshen, P.H. & Vogel, R.M., 1999. Indicators of impacts of global climate change on US water resources. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(4), pp.194-204.
- 6- Tarek, D., Azedine, H., Mouldi, S., Salam, B. & Samia, H. 2017. Water resources and their management under impact of climate change and users pressures in Kebir-West River basin, using the WEAP model. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 10(4), pp. 19-26.



ارزیابی وضعیت تخصیص منابع آب تحت اثر تغییر اقلیم در حوضه آبریز اهرچای

سمیرا زین‌الدینی^۱، صدیقه انوری^{۲*} و زهرا زحمتکش^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.

۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم محیطی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته s.anvari@kgut.ac.ir

۳- استاد مدعو در گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته،

پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۹

بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۵

دریافت: ۱۳۹۶/۷/۷

چکیده

امروزه تخصیص بهینه منابع آب برای مدیریت بین عرضه و تقاضا و هم‌چنین بررسی تأثیر سناریوهای اقلیمی مؤثر بر سامانه‌های آبی امری اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا با استفاده از مدل گردش عمومی (GCMS)، مقادیر متغیرهای بارندگی و درجه حرارت در دوره‌های آبی و تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای A1B، A2 و B1 پیش‌بینی و سپس با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس گردید. در ادامه با کمک این متغیرهای هواشناسی، مقادیر رواناب و هم‌چنین تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) به ترتیب توسط مدل‌های IHACRES و CropWat برآورد و نهایتاً خروجی این مدل‌ها با هدف بررسی نیازهای مختلف منطقه و شبیه‌سازی عملکرد سیستم تحت اثر سناریوهای اقلیمی به مدل WEAP وارد شدند. نتایج حاصل از ریزمقیاس کردن متغیرهای هواشناسی تحت سناریو A1B طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نشان داد که در نتیجه تغییر اقلیم مقادیر متوسط بارش ۵/۳ درصد کاهش و متوسط دمای حداقل و دمای حداکثر هرکدام به ترتیب ۰/۵ و ۰/۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهند داشت. این روند تغییرات برای دو سناریو اقلیمی دیگر A2 و B1 هم تکرار شد. با اجرای مدل WEAP و اعمال تغییرات نیاز بخش‌های مختلف متناسب با سه سناریو اقلیمی، این نتیجه حاصل شد که بیشترین کمبود در بخش کشاورزی بوده و ضرورت اتخاذ تصمیمات مقتضی برای مدیریت مصرف آب در این بخش را نشان می‌دهد. با وقوع شرایط اقلیمی تحت سناریو انتشار A2 در منطقه، درصد تأمین نیاز کشاورزی در مقایسه با دو سناریو دیگر مقدار کمتری را نشان داد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت منابع آب، تغییر اقلیم، بارش- رواناب، نیاز آبی، مدل WEAP، حوضه اهرچای.

مقدمه

معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سامانه‌های گوناگون استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده با مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (Atmosphere-Ocean Global Circulation Model (AOGCM)) است (Lane et al, 1999). برای فائق آمدن به مشکل قدرت تفکیک کم این مدل‌ها لازم است که خروجی آن‌ها در تحقیقات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس شوند (IPCC, 2001). امروزه استفاده از انواع مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی هم چون LARS-WG و مانند آن برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط گوناگون جهان معمول است. Wilby et al (2002) اولین نسخه مدل ریزمقیاس آماری را ارائه نمودند. تولید داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی با استفاده از مدل LARS_WG در حوضه آبخیز قره‌سو با هدف بررسی تغییر

با توجه به کمبود منابع آب در کشور، اتخاذ مدل مناسب برای مدیریت و بهره‌برداری از این منابع به نحوی که بتواند شرایط مختلف جوی و پیامد تغییر اقلیم را در تصمیم‌گیری‌ها دخالت دهد امری ضروری است. هیأت بین‌المللی تغییر اقلیم (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) بیان نموده است که بسامد و شدت وقایع حدی مانند خشکسالی‌ها و سیلاب با افزایش پیامدهای تغییر اقلیم، رو به افزایش است و به تغییرات محسوس در عملکرد سیستم‌های منابع آب منجر شود (IPCC, 2001). از این‌رو بررسی آثار تغییر اقلیم بر مولفه‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی سامانه‌های آبی (نظیر متغیرهای بارش، دما، رواناب و نیاز آبی گیاهان) از ضروریات برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های منابع آب کشورها بخصوص در ایران محسوب می‌شود.

RIBASIM (River، MODSIM، AquaTool، WARGI-SIM و Basin Simulation Model) و WEAP را در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی یک سیستم چند مخزنی در جنوب ایتالیا مورد ارزیابی قرار دادند (Sechi and Sulis, 2010). در این راستا Karamouz et al (2012b) در برخورد با حوادث خشکسالی تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی رویکرد مدیریت یکپارچه را در حوضه اهرچای در بخش شمال‌غرب ایران توسعه دادند. نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم، کاهش مقادیر بارش و رواناب را نشان داد. در تحقیقی دیگر، Karamouz et al (2012a) یک مدل برنامه‌ریزی توسعه کشاورزی را با هدف حداکثر کردن سود خالص محصولات مختلف حوضه اهرچای، تعیین الگوی کشت و بازده بهینه آبیاری پیشنهاد دادند و سناریو مختلف مدیریتی با استفاده از WEAP مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که از بین طرح‌های مختلف، توسعه اراضی باغی بهترین راه بسوی توسعه پایدار در شرایط تغییر اقلیم است. Li et al (2015) به بررسی مدیریت منابع آب در منطقه BHNA واقع در چین پرداختند. آن‌ها وضعیت آینده آب را در این منطقه با طرح سناریوهای مختلف توسعه اجتماعی و شهرنشینی تا سال ۲۰۲۰ با استفاده از مدل WEAP بررسی کردند. نتایج نشان داد که فشار بر منابع آب در آینده افزایش خواهد یافت. همچنین Tarek et al (2017) بررسی پیامدهای احتمالی تغییرات آب و هوا در تامین آب و تقاضا و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی آن از مدل WEAP استفاده کردند.

هدف تحقیق حاضر بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر مقادیر تخصیص در نقاط مصرف و مقدار ذخیره آب پشت سد است که در این راستا متغیرهای هواشناسی و مقادیر جریان ورودی به سد ستارخان واقع در حوضه آبریز اهرچای تحت سناریوهای انتشار مورد مطالعه قرار گرفتند. با توجه به عملکرد رضایت‌بخش مدل WEAP در مطالعات انجام شده این مدل برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم منابع آبی بکار گرفته شد که سه سناریو اقلیمی طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵، برای بررسی چگونگی رفتار نیازهای بخش تقاضای پایین‌دست سد در هر شرایط تجزیه و تحلیل شده است. در این مطالعه تلاش شده است تا دقت مدل شبیه‌سازی منطقه (WEAP) با استفاده از خروجی آن در قسمت ذخیره مخزن و ایستگاه هیدرومتری تازکند واقع در انتهای حوضه و مقایسه با داده‌های مشاهداتی قابل قبول واقع شود که به این کار در مطالعات گذشته توجه کمتری نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

الگوریتم تحقیق حاضر در شکل (۱) نشان داده شده است. مطابق این شکل در ابتدا با استفاده از داده‌های مشاهداتی مدل‌های پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی، رواناب و تخمین نیاز آبی برای

متغیرهای اقلیمی انجام شد. بر اساس برآورد مدل LARS_WG برای سناریوهای انتشار مورد بررسی (A1B، A2 و B1) در دوره‌های آبی، میانگین دمای حوضه بر اثر پدیده تغییر اقلیم به میزان ۰/۵۶ تا ۴/۰۴ درجه سانتی‌گراد افزایش و مقدار بارش نیز در مقایسه با دوره پایه به میزان ۱۰/۲۸ تا ۲۳/۷۱ درصد افزایش می‌یابد (Khosrovanian et al, 2015). همچنین Ramak et al (2017) در بررسی احتمال وقوع بارش حداکثر در حوضه رودخانه کارون در محل پل شالو از مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی بارش آینده استفاده کردند و اثر تغییر اقلیم بر PMP را تحت سه سناریو A1B، A2 و B1 مورد ارزیابی قرار دادند.

بسیاری از روش‌های موجود در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ارتباط مستقیم و یا غیرمستقیم با پیش‌بینی هیدرولوژیکی دارند (Young and Garnier, 2006). در این راستا Jakeman و Hornberger (1993) الگوریتمی را ارائه نمودند و با استفاده از این الگوریتم رابطه میان بارش و رواناب در حوضه مورد نظر برقرار نمودند. همچنین Karamouz et al (2012a) با استفاده از مدل IHACRES به بررسی روند تغییرات رواناب در دوره‌های آینده پرداختند. نتایج نشان داد میانگین رواناب سالانه در سه دوره نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد (Karamouz et al, 2012a). در بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه رودخانه زاینده رود پس از شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی با استفاده از مدل LARS-WG در ریزمقیاس نمایی خروجی HADCM3، INCM3 و NCCSM، از مدل IHACRES در تخمین رواناب حوضه استفاده شد و نتایج حاکی از کاهش شدید رواناب بود (Khajeh et al., 2017).

از دیگر اثرات تغییر اقلیم، تغییرات دما و در نتیجه تغییر نیاز آبی گیاهان می‌باشد. تعیین این نیاز که در قالب مقادیر تبخیر و تعرق (Evapotranspiration (ET)) گیاهان در دوره‌های مختلف رشد پدیدار می‌شود نقش مهمی برای مشخص کردن زمان آبیاری و نیاز آبی گیاهان دارد. از جمله مدل‌هایی که در آن از روش پنمن-ماتیتث برای محاسبه تبخیر-تعرق استفاده و در این مقاله هم به‌کارگرفته شد مدل CropWat می‌باشد. بعد از بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی مولفه‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی سامانه‌های آبی، مسأله مدیریت منابع آب تحت تأثیر این پدیده اقلیمی به‌عنوان اصلی‌ترین راهکار ممکن در رفع معضلات ناشی از کمبود آب مطرح می‌شود. از جمله مدل‌هایی که برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده می‌شود مدل (Water Evaluation And Planning (WEAP)) است که تمام ابعاد مدیریت آب و چاره‌اندیشی‌های متفاوت را می‌تواند ارزیابی کند و مصارف چند منظوره رقابتی را در یک سیستم منابع آب مدل نماید (Yazdan Panah et al, 2008). پژوهش‌های متنوعی با هدف مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های ریاضی برای اعمال گزینه‌های مختلف مدیریتی انجام شده است. عملکرد مدل‌های

(Mohammadnejad, 2008). در این تحقیق برای بررسی آثار تغییر اقلیم بر منابع آب حوزه اهرچای از مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شده است. مدل‌های GCMs مختلفی بر پایه تفاوت‌هایی در شبکه‌بندی در اقیانوس و خشکی، تعداد لایه‌ها، غلظت دی‌اکسیدکربن و کاربردهای متفاوت در مراکز مختلف اجرا شده‌اند که در اینجا از مدل HADCM3 که در مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم Hadley انگلستان (Hadley Center for Climate Prediction and Research (HCCPR)) توسعه داده شده است و تحلیل عدم قطعیت در بین مدل‌های GCMs نشان داد که این مدل دارای بیشترین قطعیت است استفاده شد (Ahmadi, 2010). به دلیل اهمیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره آینده لازم است تا برای اجرای مدل‌های GCMs در دوره زمانی هدف، وضعیت گازهای گلخانه‌ای مورد نظر قرار گیرد. محاسبه و تعیین انتشار این گازها در دوره بعد به‌طور قطعی امکان‌پذیر نیست. از این‌رو سناریو که شامل چگونگی تغییرات این گازها در آینده می‌باشد ارائه شده است که آن‌ها را سناریوهای انتشار گویند. در اینجا از سناریو A1B، A2 و B1 برای بررسی شرایط اقلیم در آینده استفاده شده است. در طرح A1B جهان با رشد سریع اقتصادی، افزایش رشد جمعیت که در اواسط قرن ۲۱ به اوج خود خواهد رسید و از آن به بعد کاهش می‌یابد و معرفی تکنولوژی‌های جدید و کارآمدتر و استفاده از منابع فسیلی و غیر فسیلی به‌صورت متعادل در نظر گرفته شده است. سناریوهای خانواده A2 در برگیرنده تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده‌ها و رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی می‌باشد. در سناریو B2 تأکید بر راه‌حل‌های منطقه‌ای برای تقویت مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی می‌باشد.

دوره‌های تاریخی اجرا و در نهایت نتایج هر یک از مدل‌ها برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب به مدل WEAP وارد شدند.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز اهر چای واقع در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. این حوضه مساحتی حدود ۲۲۳۲ کیلومترمربع دارد که در شمال غرب ایران در استان آذربایجان و در محدوده جغرافیایی ۲۰' ۴۶° تا ۳۰' ۴۷° طول شمالی و ۳۸' ۴۵° تا ۳۸' ۴۵° عرض شمالی قرار دارد. رودخانه اهرچای در قسمت جنوبی شهرستان اهر به سمت شرق جریان پیدا می‌کند و به ارس می‌ریزد. در شکل (۲) موقعیت رودخانه اهر چای و سرشاخه‌های آن و سد ستارخان، نمایش داده شده است. برای اجرای تحقیق حاضر از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اهر (پایین‌دست سد ستارخان) و اطلاعات رواناب ایستگاه‌های اورنگ، تازکند، برمیس، روسجان و اشدلق استفاده شده است. در حوضه اهرچای انواع نیاز، اعم از شرب، صنعت، زیست‌محیطی پایین دست رودخانه و کشاورزی وجود دارد. بدین جهت سد ستارخان، اهمیت ویژه‌ای در کنترل و مدیریت آورد رودخانه دارد. بر اساس تغییرات بلندمدت دمای حداکثر سالانه در بازه زمانی ۱۹۸۷-۲۰۰۷ در منطقه، این متغیر دارای افزایشی معادل ۱/۴ درجه سانتی‌گراد در سی سال گذشته بوده است. همچنین با توجه به روند تغییرات در همین بازه زمانی مقدار مجموع بارش سالانه حدود ۲ میلی‌متر در سال کاهش داشته است. می‌توان مجموعه این تغییرات را نشانه‌هایی از وجود اثرات تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفت.

پیش‌بینی‌های اقلیمی

مدل‌های اقلیم جهانی، مدل‌های ریاضی از خصوصیات و فرایندهای جو-اقیانوسی هستند که هدف آن‌ها توصیف سیستم اقلیمی کره زمین است (Nabibidhendi and

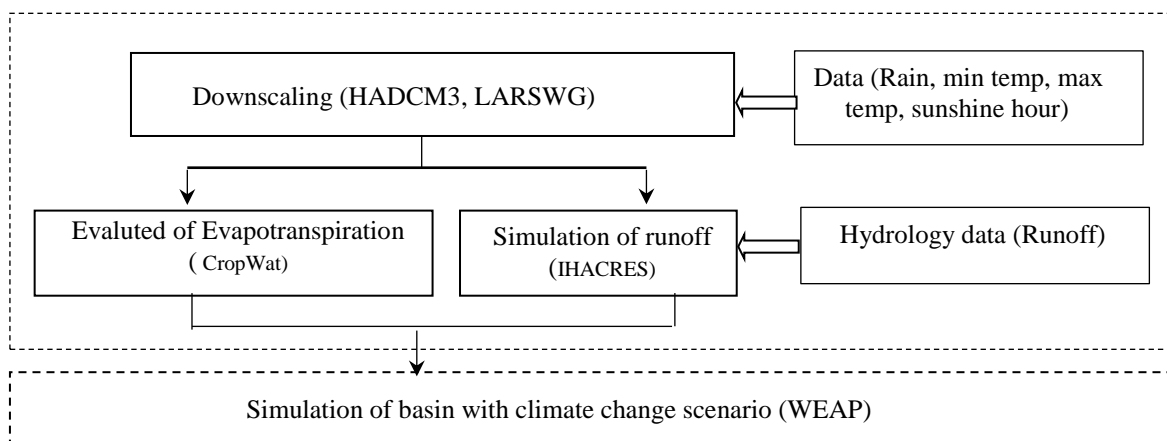


Fig. 1- Flowchart of the Research

شکل ۱- الگوریتم تحقیق

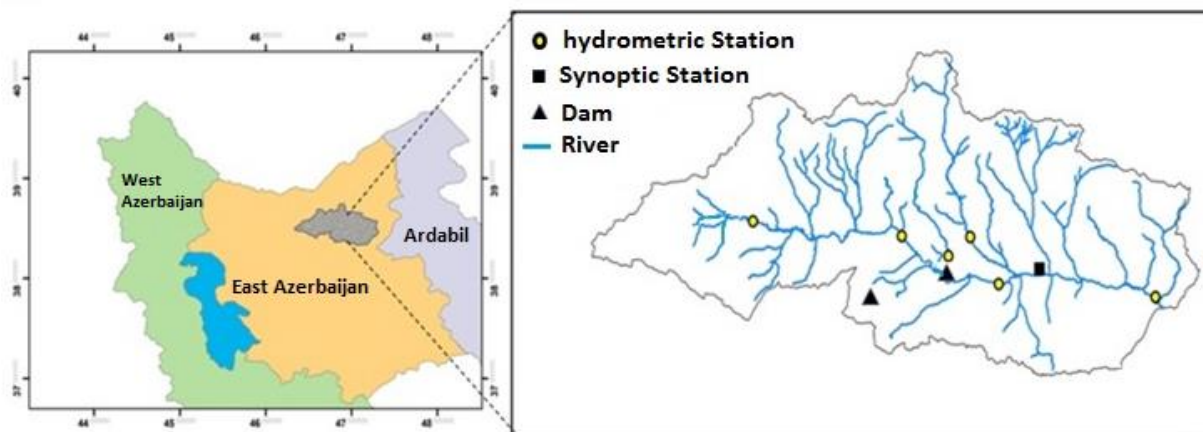


Fig. 2- Location of aharchay basin in AzarbaijanSharghi with synoptic and hydrology station
 شکل ۲- موقعیت حوضه آبریز اهر چای در استان آذربایجان شرقی به همراه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

برای محاسبه تلفات و تبدیل بارش مؤثر به رواناب تعریف شده است (Croke et al, 2005). به منظور تبدیل بارش به بارندگی مؤثر در حوضه از شاخص تری حوضه (sk) استفاده می‌گردد. ذکر بیشتر جزئیات و مبانی کار این روش در مرجع Kheirfam et al. (2014) قابل دسترسی است.

تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل

کمیت بین‌المللی آبیاری و زهکشی و سازمان خوار و بار جهانی روش فائو پنمن-مانتیت را به‌عنوان یک روش استاندارد برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پیشنهاد نموده است (Doorenbos, 1975). معادله آن به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_0 = \frac{0.408 * R_n - G + g \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{D + g(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

که در آن ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mmd^{-1}), R : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$), G : شار گرما به داخل زمین بر حسب $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ که می‌توان آن را برابر صفر فرض کرد، T : متوسط دمای روزانه در ارتفاع ۲ متری ($^{\circ}\text{C}$), U_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری (ms^{-1}), e_s : فشار بخار اشباع (kPa), e_a : فشار بخار واقع (kPa), Δ : شیب منحنی فشار بخار، g : ثابت سایکرومتری (kPaC^{-1}) می‌باشند.

در محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (Origin ET_0) (Evapotranspiration (ET₀), تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_m) و نیاز آبیاری گیاه از نرم‌افزار CropWat استفاده شد. این مدل که در

ریز مقیاس نمایی

یکی از مهم‌ترین مشکلات کار با مدل‌های گردش عمومی، وضوح مکانی اندک آن‌ها و نیاز به داده‌های منطقه‌ای برای مطالعات تغییرات اقلیم است. استفاده از خروجی خام این مدل‌ها در هیچ منطقه‌ای توصیه نمی‌شود و استفاده از آن نیازمند تبدیل به داده‌های منطقه است (Shafaei et al, 2013). به تبدیل داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی به منطقه‌ای ریز مقیاس نمایی گفته می‌شود. مدل LARS-WG یک مدل آماری ریز مقیاس کننده است. نسخه اولیه این مدل در بوداپست مجارستان در سال ۱۹۹۰ ابداع شد. این مدل، برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای کوچک مقیاس محلی و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی از داده‌های مستقل مشاهداتی استفاده می‌کند. تولید داده‌های این مدل در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از واسنجی، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. این مدل علاوه بر دقت مناسب‌تر، سهولت کار بیشتر و کارایی مناسبی نسبت به سایر مدل‌های آماری از جمله SDSM دارد (Karamouz et al, 2012a).

شبیه‌سازی بارش - رواناب

در این بخش از مدل IHACRE برای انجام شبیه‌سازی بارش - رواناب استفاده شده و اساس کار آن مبتنی بر الگوریتم پیشنهادی توسط Hornberger و Jakeman (1993) می‌باشد که توسط Jakeman et al. (1990) توسعه داده شده است. اطلاعات موردنیاز در این مدل شامل: مساحت حوضه، سری زمانی پیوسته بارش، جریان و همچنین یک متغیر هواشناسی نظیر اطلاعات دما یا تبخیر می‌باشند (Jakeman and Hornberger, 1993). مدل شامل دو بخش به هم پیوسته غیرخطی و خطی است که به ترتیب

داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه (۲۰۰۷-۱۹۸۶) همچنین شاخص‌های خطاسنجی از جمله میانگین خطای مطلق، میانگین انحراف خطا و میانگین مربعات خطا در جدول (۱) نشان داده شده است.

نتایج حاصل از پارامترهای آماری که از به‌کارگیری داده‌های شبیه‌سازی و داده‌های مشاهداتی به‌دست آمد. تست کلموگروف-اسمیرنوف و تست t به‌ترتیب برای تعیین این‌که آیا توزیع آماری و میانگین داده‌های ساختگی دارای اختلاف زیادی نسبت به خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی می‌باشند، به‌کار می‌روند. با انتخاب سطح اطمینان $0/05$ برای دو آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و t ، مقدار بحرانی p با داشتن اندازه نمونه‌ها برابر با $0/12$ و $0/275$ از جداول به‌دست آمدند.

در جدول (۲) نتایج بیشینه حاصل از این دو آزمون آماری آمده است و توزیع آماری آن‌ها که در آن آورده شده است اختلاف مقادیر تولید شده و مشاهداتی همگی در محدوده قابل قبول قرار دارند و می‌توان از پارامترهای به‌دست آمده در مرحله واسنجی مدل، برای ساخت اطلاعات بارش، درجه حرارت و ساعت آفتابی استفاده کرد. در شکل (۴) میانگین ماهانه این متغیرها در بازه زمانی سال‌های محدوده $2030-2011$ ، $2065-2046$ و $2099-2080$ برای سناریو اقلیمی A1B ترسیم شده است. نتایج نشان داد تحت اثر تغییر اقلیم و سناریو A1B طی دوره $2030-2011$ ، متغیرهای هواشناسی همانند بارش به میزان $5/3$ درصد کاهش می‌یابد.

متغیرهای دیگر همانند ساعات آفتابی که $0/11$ ساعت بر روز و دمای حداقل و دمای حداکثر هرکدام به‌ترتیب $0/5$ و $0/6$ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهند داشت. همچنین دمای حداقل در دوره‌های $2065-2046$ و $2099-2080$ به‌ترتیب به مقدار $2/2$ و $3/7$ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره مشاهداتی و دمای حداکثر در این دوره‌ها $2/2$ و $3/68$ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.

سال ۱۹۹۰ برای اولین بار توسط FAO تدوین شد یک مدل بیلان آب است که تنش رطوبتی روی گیاه و محاسبه میزان کاهش محصول را بر پایه روش‌های مدون برآورد تبخیر و تعرق شبیه‌سازی می‌کند. داده‌های موردنیاز در این برنامه عبارتند از داده‌های هواشناسی برای محاسبه ET_0 ، آمار و اطلاعات مربوط به الگوی کشت، خصوصیات محصولات مختلف و ویژگی‌های خاک می‌باشد.

شبیه‌سازی منابع و مصارف حوضه و اعمال سناریوهای مختلف

برای مدل‌سازی بخش تقاضا و ارتباط آن‌ها با منابع تأمین آب از مدل WEAP استفاده شده است. بر معادله‌های بیلان آبی استوار می‌باشد و قابلیت شبیه‌سازی و بهینه‌سازی حبابه‌ها را با در نظر گرفتن اولویت‌های تخصیص دارد؛ (Sieber and Purkey, 2007؛ Yates et al, 2005). سناریوی پایه با استفاده از داده‌های تاریخی ایستگاه‌های هیدرومتری و سینوپتیک، بیلان مخزن و مصارف حوضه تنظیم شده است. در این منطقه سه نقطه مصرف کشاورزی، صنعت و شرب وجود دارد که از دو منبع آب سطحی و زیر زمینی تأمین می‌شوند (شکل ۳). سال‌های 2008 و 2025 به‌ترتیب به‌عنوان سال‌های پایه و انتهایی برای مدل‌سازی انتخاب شده است. برای شناسایی آثار تغییر اقلیم و نحوه پاسخ‌دهی سیستم به تنش‌های ناشی از افزایش تقاضا (ناشی از تغییرات اقلیمی آینده) سناریوهای انتشار $A1B$ ، $A2$ و $B1$ به مدل معرفی شدند.

نتایج و بحث

ریز‌مقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی

همان‌طور که قبلاً ذکر شد از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های هواشناسی بارش، دما و ساعت آفتابی استفاده شد. بدین صورت که در ابتدا مقدار ضریب تعیین در مورد

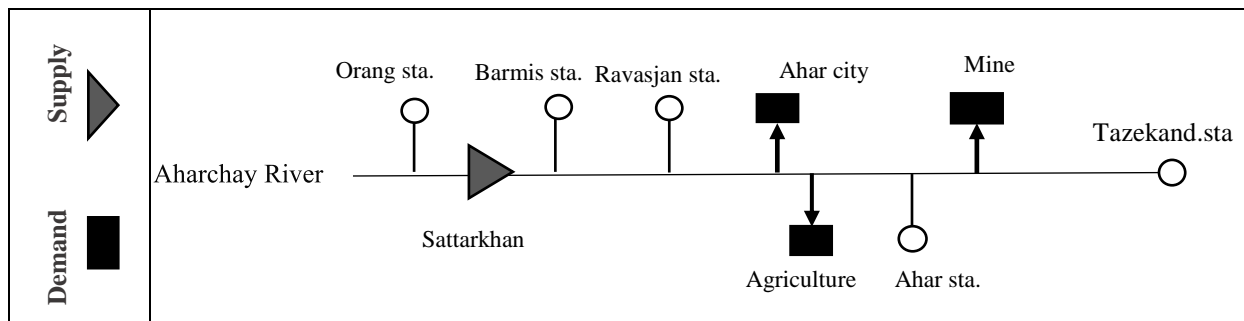


Fig. 3 Schematic of resources and demands in the basin

شکل ۳- شماتیک منابع و مصارف در حوضه

جدول ۱- ارزیابی مدل LARS-WG در دوره واسنجی (۱۹۸۶-۲۰۰۷)

Table 1- Evaluation of LARS-WG model during calibration period (1986-2007)

Variable	R2	RMSE	MAE	MBE
Min.				
Temperature	0.99	0.34	0.29	-0.16
Max.				
Temperature	0.99	0.45	0.35	-0.12
Rain	0.85	5.37	4.17	-1.75
Sunshine	0.98	0.24	0.2	0.005

جدول ۲- مقادیر بیشینه تست کلموگروف-اسمیرنوف و t برای چهار پارامتر هواشناسی

Table 2- Maximum value for Kolmogorov-Smirnov and T test

Max. Value	Rain		Min. Temp		Max. Temp		Sun shine	
	K-S	T-test	K-S	T-test	K-S	T-test	K-S	T-test
Value	0.0176	1.055	0.158	1.191	0.153	0.935	0.131	1.4
Month	Sep	Agu	Jan	Jan	Agu	Jan	Nov & Dec	Sep

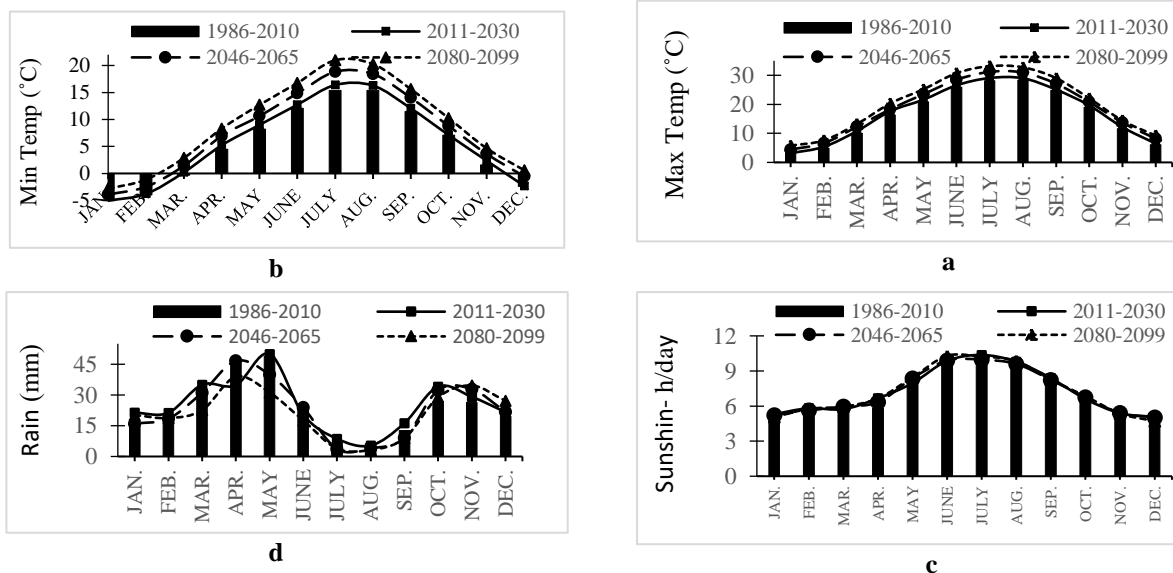


Fig. 4- Comparison of average monthly observed and generated with A1B scenario, a)Maximum temp., b) Minimum temp., c)Sunshine hour, d) Rain

شکل ۴- مقایسه میانگین ماهانه مشاهداتی و تولید شده از سناریوی A1B الف) دمای حداکثر، ب) دمای حداقل، ج) ساعت آفتابی، د) بارش

نتایج مدل IHACRES

در این بخش برای انجام مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES، از مقادیر جریان روزانه مشاهداتی به‌ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۱ و ۲۰۰۵-۲۰۰۸ استفاده شده است. مقادیر روزانه جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل در مقابل داده‌های مشاهداتی از ماه مارس ۲۰۰۹ در شکل (۵) رسم شده است.

به‌طور کلی تحت اثر تغییر اقلیم در آینده بارش به‌طور میانگین ۰/۶۱ میلی‌متر کاهش می‌یابد و مقادیر متوسط دما و ساعات آفتابی افزایش خواهند یافت. مقایسه نتایج به‌دست آمده از دو سناریو اقلیمی A2 و B1 نیز کاهش متوسط بارش به مقدار ۳۵ و ۳۳ درصد و افزایش دمای حداقل ۰/۶۵ و ۱/۶۵ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر ۰/۶۴ و ۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد را برای دوره‌های آینده پیش‌بینی می‌کند.

مدل بارش- رواناب از داده‌های تولید شده توسط LARS-WG تحت سناریو تغییر اقلیم A1B استفاده شد. نتایج نشان داد که در ماه آوریل پیک دبی در دوره مشاهداتی نسبت به دوره پیش‌بینی بیشتر است اما در دوره آتی به دلیل تغییر الگوی بارش در منطقه پیک جریان یک ماه زودتر بوده و در ماه مارس اتفاق خواهد افتاد. همچنین با بررسی جریان در دو دوره این نتیجه به دست می‌آید که تنها در ماه فوریه مقدار جریان نسبت به دوره مشاهداتی به مقدار شش درصد افزایش خواهد داشت اما در سایر ماه‌ها این مقدار کاهش می‌یابد. مقدار جریان ورودی به سد در دوره‌های آتی در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۶) مشخص است که طبق هر سه سناریو اقلیمی در سال ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ مقدار جریان به حداقل مقدار نسبت به سایر سال‌ها می‌رسد که کاهش آن برای دو سناریو A1B و A2 در سال ۲۰۲۴ با مقدار ۲۳ و ۲۲ میلیون مترمکعب بیشتر است. نتایج حاصل شده از این مدل تغییرات فصلی مطابق با دو سناریو A2 و B1 در جدول (۳) آورده شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده مقدار R^2 دوره واسنجی برابر با ۰/۶۵ پیش‌بینی نسبتاً خوبی را انجام می‌دهد. Motovilov et al (1999) که مطالعه‌ای بر اساس هفت سال داده انجام دادند بیان نموده‌اند که اگر مقادیر ضریب تعیین در ارزیابی مدل بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۷۵ باشد نتایج خوب و در صورتی که این مقدار بین ۰/۳۵ تا ۰/۷۵ باشد نتایج قابل قبول هستند. در مرحله اعتبارسنجی نیز ارزیابی مقادیر جریان روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سال‌های (۲۰۰۵-۲۰۰۸) مورد بررسی قرار گرفته است. مقادیر ضریب R^2 ، RMSE و MAE به ترتیب ۰/۵۶، ۱/۴ و ۰/۳ است که نشان‌دهنده قابل قبول بودن نتایج می‌باشد. هر چند که در این تحقیق نیز عملکرد ضعیف IHACRES در شبیه‌سازی نقاط پیک قابل مشاهده است (Karamouz et al., 2012b).

اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی

مقدار جریان ورودی به مخزن در دوره‌های آتی توسط مدل IHACRES به دست آمد. برای شبیه‌سازی این متغیر با استفاده از

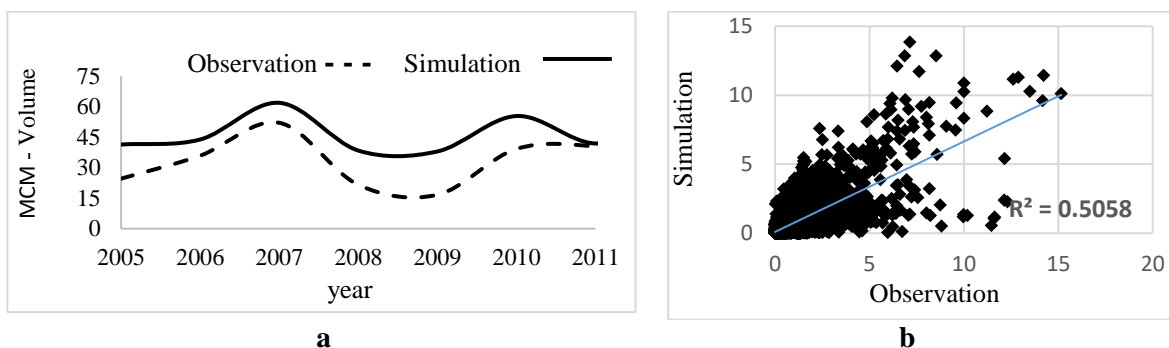


Fig. 5- Comparison of observed and simulated runoff using IHECRAS model at Orang station during calibration and verification a) annual runoff b) Distribution chart of daily values of observed and simulation runoff

شکل ۵- مقایسه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی از مدل IHACRES در ایستگاه اورنگ طی دوره واسنجی و صحت‌سنجی (الف) توزیع سالانه (ب) نمودار پراکنش مقادیر روزانه رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی

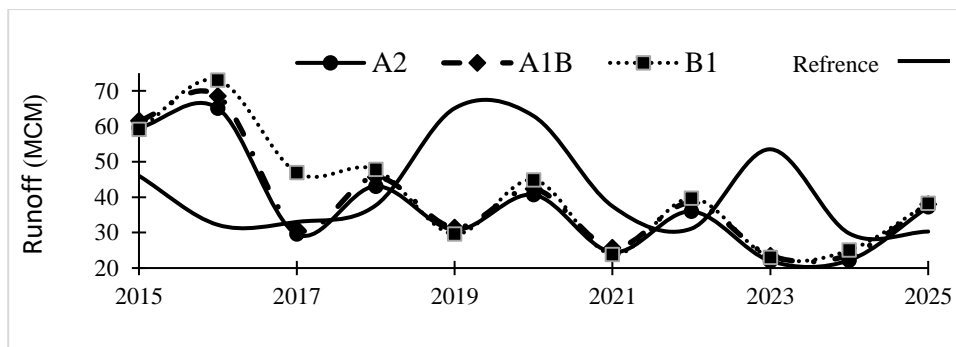


Fig. 6- Annual inflow to the reservoir
شکل ۶- جریان سالانه ورودی به مخزن (۲۰۱۵-۲۰۲۵)

جدول ۳- تغییرات فصلی و سالانه رواناب در دوره ۲۰۱۵-۲۰۲۵

Table 3- Seasonal and annual variations of runoff (2015-2025)

	B1					A2				
	Annual	Atumn	Sum.	Spring	Win.	Annual	Atumn	Sum.	Spring	Wint.
2015	59.5	54.4	2.6	47.9	133.1	60.1	41.1	2.1	56.4	139.7
2016	74.2	23.1	9.9	53.3	210.4	66.1	18	1.9	75	169.3
2017	46.9	48	15.9	53	70.9	29.8	13.4	2.9	61.9	41.2
2018	47.8	47	1.9	69.6	82.8	43.1	37.6	1.6	75.5	57.7
2019	30	21.5	3.4	33.8	61.6	31.2	17	2.6	41.6	63.7
2020	45	34.8	9	40.7	95.4	40.7	26.3	7.3	44.2	85.1
2021	23.8	15.4	6.2	45.3	28.5	24.6	12.1	4.7	51.4	30.2
2022	39.7	24.2	5.3	59.4	69.8	35.9	18.1	4	63.7	57.8
2023	23.1	23.2	1.1	34.5	33.7	22.1	18.2	0.8	40.4	28.9
2024	25.1	55	1.9	16.6	27	22.3	41.7	1.3	18.5	27.8
2025	38.5	16.9	5.5	42.6	89.1	37.6	12.9	4.3	49	84.2

حداقل و حداکثر و کاهش بارش در دوره‌های آبی نسبت به دوره مشاهداتی مقدار نیاز محصولات کشاورزی نیز افزایش خواهد یافت و این تغییر نیاز آبی محصولات در سناریو A2 با مجموع ۱۸۰۶۷ مترمکعب بر هکتار و افزایش هفت درصد نسبت به دوسناریو A1B و B1 که افزایش شش و پنج درصدی را بدنبال خواهند داشت دارد.

نتایج مدل WEAP

در این بخش با استفاده از مدل WEAP و به‌کارگیری آمار مربوط به نیازها منابع موجود در منطقه و اطلاعات شبیه‌سازی شده در دوره‌های آبی به بررسی وضعیت منابع و چگونگی تخصیص آب در بین نیازها با توجه به شرایط تغییر اقلیم پرداخته شده است. به‌منظور ایجاد اطمینان در خروجی‌های مدل، نتایج این شبیه‌سازی‌ها که به‌طور منطقی نزدیک به داده‌های واقعی بودند به‌دست آمد که در دو بخش مقادیر اندازه‌گیری شده در مخزن سد و مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری بررسی شدند. در بخش حجم مخزن داده‌های جریان ایستگاه اورنگ طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ به‌عنوان حجم آب ورودی به مخزن استفاده شده است. اطلاعات این ایستگاه به‌صورت ماهانه وارد مدل شد. هم‌چنین اطلاعات تبخیر از سطح دریاچه پشت سد که به‌صورت تاریخی در دسترس بودند و به‌طور میانگین ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال است استفاده و به مقایسه حجم مشاهده‌ای و شبیه‌سازی مخزن پرداخته شد. شکل (۸) مقایسه احجام مشاهده‌ای و شبیه‌سازی مخزن سد ستارخان را نشان می‌دهد. نتایج این شبیه‌سازی‌ها حاکی از آنست که در دوره واسنجی مدل برای حجم مخزن، ضریب تبیینی برابر با مقدار ۷۲/۸ درصد بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به دست آمد. میانگین سالانه جریان شبیه‌سازی و مشاهده‌ای به‌ترتیب ۳۰/۶ و ۲۵/۳ میلیون مترمکعب است که خطایی برابر با ۱۷/۵ درصد دارد (شکل ۹).

نتایج مدل CropWat

متغیرهای هواشناسی موردنیاز برای به‌دست آوردن تبخیر-تعرق پتانسیل به روش پنمن مانیتیت عباتند از: دمای حداقل و حداکثر، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد. سری زمانی این داده‌ها در ایستگاه سینوپتیک اهر ثبت شده‌اند و از طریق پایگاه اینترنتی سازمان هواشناسی قابل دسترس است و بنابراین می‌توان تبخیر تعرق پتانسیل به دوره مشاهداتی (۲۰۰۷-۱۹۸۶) را به سادگی به‌دست آورد. برای تحلیل تغییرات این متغیر در شرایط سناریو اقلیمی از خروجی‌های مدل LARS-WG استفاده می‌شود. با توجه به همبستگی بین متغیرهای هواشناسی Ahmadi (2010) معادله رگرسیون خطی رطوبت نسبی ماهانه را به شکل رابطه (۲) به‌دست آورد.

$$RH = 84.1 - 1.42Sun + 1.83T_{min} - 1.62T_{max} + 0.14Rain \quad (2)$$

RH: رطوبت نسبی (%); T_{min} : دمای حداکثر ($^{\circ}C$); T_{max} : دمای حداقل ($^{\circ}C$); SUN: ساعت آفتابی، Rain: بارش (mm).

مقدار ضریب تعیین مربوط به این رابطه ۸۵/۴ درصد است. برای هر دسته از اطلاعات مقادیر متوسط ماهانه رطوبت نسبی نیز به‌دست آمد و این مجموعه داده‌ها در مدل CropWat وارد شد. اطلاعات گیاهی همچون ضرایب K_c در مراحل مختلف رشد و هم‌چنین طول دوره رشد از مراجعی نظیر مجلات شماره ۳۳ و ۲۴ فائو و هم‌چنین نرم‌افزار OPTIWAT با استفاده از اطلاعات محصولات دشت اهر-ورزقان استخراج شده است (Doorenbos and Kassam, 1979; Doorenbos, 1975). تاریخ کاشت محصولات مختلف زراعی و باغی نیز با استفاده از تقویم زراعی استان آذربایجان شرقی تعیین شده است. نتایج به‌دست آمده از محاسبات نیاز آبی برای دوره مشاهداتی و دوره‌های آبی در شکل (۷) آمده‌اند. با افزایش دمای

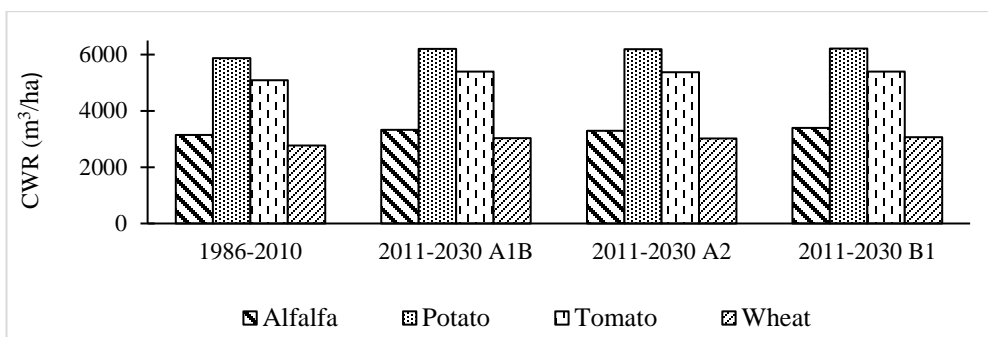


Fig. 7- Crop water requirement in observation and simulation period under A1B scenario
 شکل ۷-مقادیر نیاز خالص آبی محصولات کشاورزی در دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی تحت سناریوهای A1B، A2 و B1

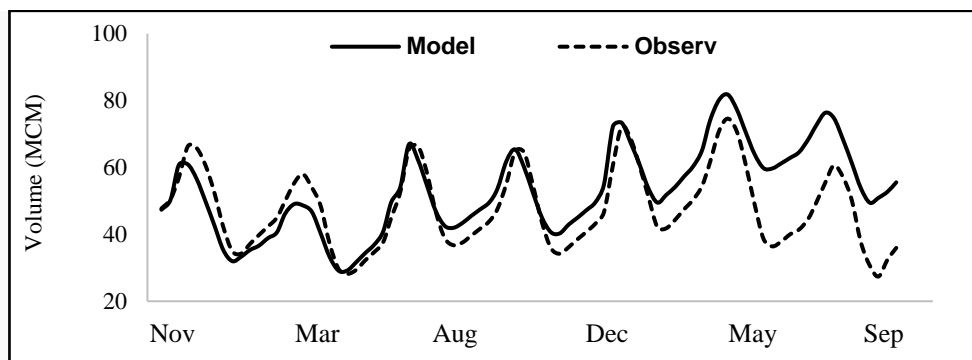


Fig. 8- The monthly observation and simulation of the volume of Sattarkhan Dam (MCM)
 شکل ۸- میانگین ماهان مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی حجم مخزن سد ستارخان بر حسب (MCM)

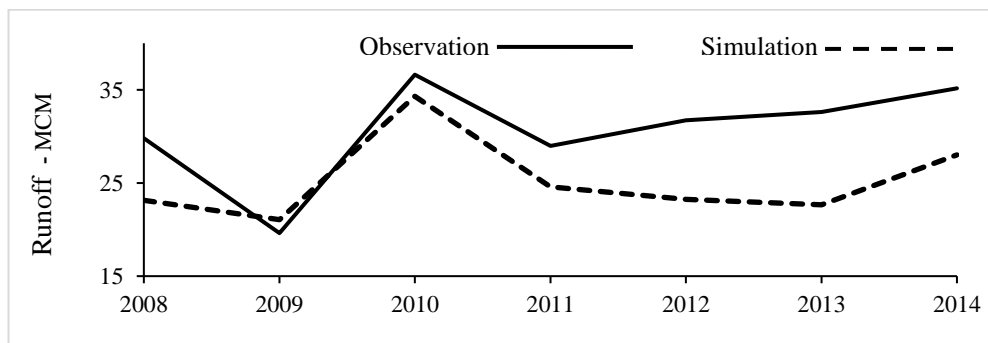


Fig. 9- Comparison of annual simulated and observed flow in Tazekand station
 شکل ۹- مقایسه جریان سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه تازه کند

تعریف می‌شود. در این مطالعه، سال پایه، ۲۰۰۸ و سال انتهایی برای مدل‌سازی، ۲۰۲۵ است. هدف از طرح سناریوی مرجع، مقایسه سناریوهای مدیریتی با وضع موجود است. در مورد سناریو تغییر اقلیم

بررسی سناریوهای مختلف در مدل
 ساختار مدیریتی در WEAP با استفاده از سناریوهایی که در آن منظور می‌شود و نشان‌دهنده وضعیت آینده آب در آن منطقه است

سناریوها در بخش‌های مختلف نیاز توسط مدل شبیه‌سازی می‌شود که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است.

پیامد تغییر اقلیم بر بخش مصرف کشاورزی

میانگین ماهانه درصد تأمین نیاز آب در بخش کشاورزی حوضه برای دوره شبیه‌سازی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ در شکل (۱۱) نشان داده شده است. پوشش برای این بخش برای ماه‌های ژانویه و فوریه و ماه انتهایی سال برای هر سه سناریو صددرصدی می‌باشد. بیشترین مقدار کمبود در تأمین در ماه‌های گرم سال یعنی ماه آگوست و سپتامبر با مقدار ۲/۹ میلیون مترمکعب در ماه آگوست و برای سناریو A2 می‌باشد. کمترین کمبود در سناریو B1 با مقدار ۸۴/۸ میلیون متر مکعب خواهد بود که نسبت به دو سناریو A2 و A1B به ترتیب ۲۳ و ۱۲ درصد عملکرد بهتری را خواهد داشت.

تأثیر تغییر اقلیم بر بخش مصرف شرب

برای بخش شرب کمترین درصد پوشش را سناریو A2 در کنار حفظ سایر شرایط سناریو مرجع با مقدار ۸۵/۳ درصد در ماه آگوست دارد. نمودار سطح پوشش این نیاز در شکل (۱۲) نشان داده شده است. مقدار تأمین نشده این نیاز برای سه سناریو A2، A1B و B1 به ترتیب ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۱ میلیون متر مکعب در ماه آگوست است. سال ۲۰۲۴ با ۳/۳ میلیون متر مکعب بیشترین کمبود را در این دوره و در سناریو A2 به دنبال دارد در حالی که سناریو B1 با مجموع ۱/۹ میلیون متر مکعب در انتهای این دوره در تأمین این بخش نتیجه بهتری را خواهد داشت (شکل ۱۳). به‌طور کلی مقادیر تأمین نشده در هر سه سناریو به‌طور مجزا در هر سال مشخص شده است.

با توجه به کاهش مقدار رواناب مقدار تخصیص نیز کاهش یافته است. به‌منظور ارزیابی سناریوها در مدل شبیه‌سازی شده حوضه هرچای برای مصارف مختلف شاخص کمبود به‌صورت جداگانه برای بخش‌های مختلف مصرف برای هر سناریو آورده شده است. در مدل WEAP اولویت تخصیص به بخش‌های مختلف مصرف به‌ترتیب اهمیتشان تعریف شده است. ابتدا به بررسی رفتار نیازهای پایین‌دست تحت شرایطی که روند تغییرات آب‌وهوا مطابق با دوره‌های قبل باشد پرداخته شد. در بخش‌های شرب و صنعت با توجه به اولویت تأمین نیازی که به آن‌ها داده شد کمبودی وجود نخواهد داشت و مقادیر آن-ها مطابق شکل صفر است. نتایج حاصل از اجرای مدل برای این دوره و مطابق سناریو مرجع برای مقدار کمبود بخش کشاورزی در شکل (۱۰) آورده شده است.

همان‌طور که شکل (۱۰) نشان می‌دهد اگر تا انتهای دوره شبیه‌سازی شده شرایط آب و هوایی، نیاز بخش شرب، و سطح زیرکشت محصولات کشاورزی و نحوه آبیاری زمین‌های زراعی به شکل گذشته ثابت باقی بماند مقدار کمبود ناخالص در بخش کشاورزی تا انتهای دوره متوسط برابر ۶/۷ میلیون متر مکعب خواهد بود که به علت افزایش نیاز آبی محصولات است و بیشتر نیاز تأمین نشده در این بخش است. با توجه به وقوع پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن در پدیده‌های هواشناسی تأمین نیازها با نظر به این امر بررسی شد. بعد از ارزیابی داده‌های حاصل برای هریک از سناریوهای تغییر اقلیم نتایج رواناب و مقدار نیاز آبی محصولات به مدل WEAP وارد شدند. در ادامه به بررسی تغییرات کمبود هر یک از سناریوها در مقایسه با سناریو مرجع می‌پردازیم. مقدار نیاز تأمین نشده مربوط به

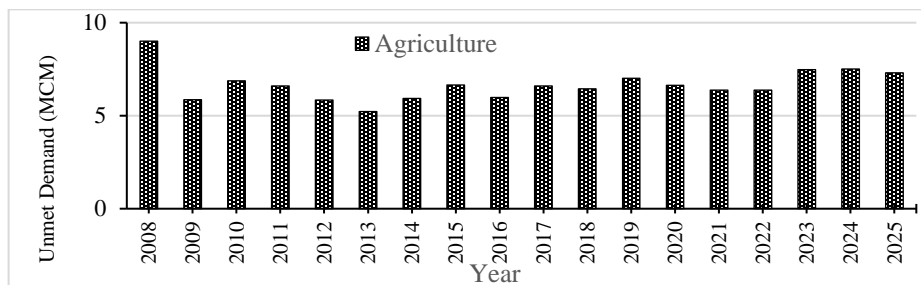


Fig. 10- Unmet Demand in the reference scenario

شکل ۱۰- نیاز تأمین نشده در سناریو مرجع

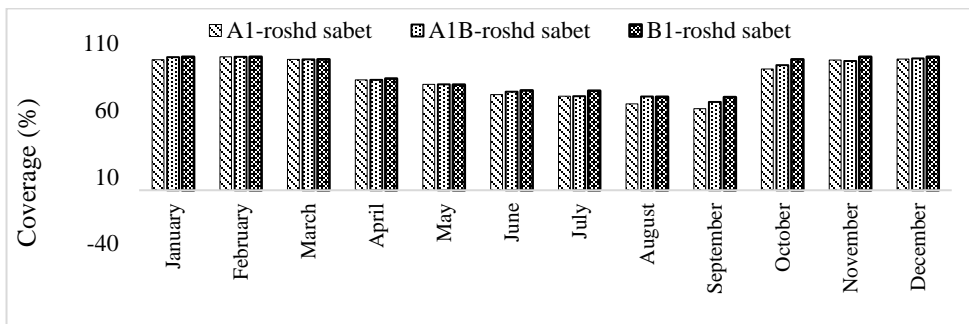


Fig. 11- Coverage of Agriculture demand

شکل ۱۱- پوشش نیاز کشاورزی

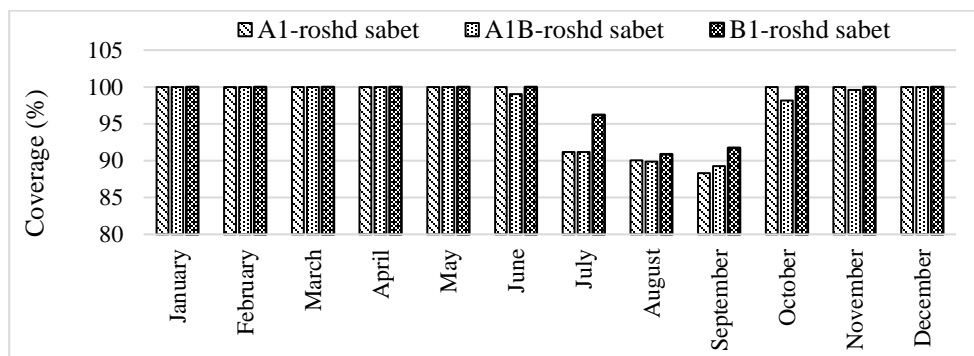


Fig. 12- Coverage of Domestic demand

شکل ۱۲- پوشش نیاز شرب

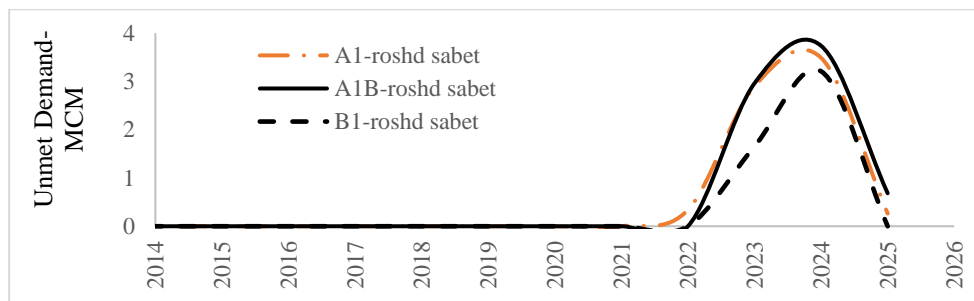


Fig. 13- Unmet Dend of Domestic under conditions of climate change in 3 scenarios

شکل ۱۳- نیاز تامین نشده شرب تحت شرایط تغییر اقلیم در سه سناریو

موجود در منطقه با مقدار میانگین نیاز تامین نشده ۷/۶ میلیون متر مکعب در طی دوره شبیه‌سازی با اختلاف ۰/۸ میلیون متر مکعب از سناریو مرجع کمترین مقدار را در این بخش دارد. بیشترین مقدار کمبود در بخش‌های نیاز شرب و کشاورزی مربوط به سال‌های انتهایی دوره یعنی ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ است که به علت روند مربوط به تغییرات جریان در این سال‌ها و افزایش نیاز محصولات در بخش کشاورزی با توجه به افزایش دما و نهایتاً افزایش نیاز آبی آن‌ها می‌باشد.

پیامد تغییر اقلیم بر بخش صنعت

درصد پوشش با استفاده از مدل WEAP برای این بخش و دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ محاسبه شد. با توجه به اینکه این نیاز در مدل ثابت فرض شده است و هیچ تغییری در استفاده از آب در اینجا اعمال نشد مقدار آب مورد نیاز مطابق با هر سه سناریو به‌طور کامل تامین خواهد شد و تا انتهای دوره هیچ کمبودی نخواهد داشت.

با به وقوع پیوستن شرایط تغییر اقلیم در حوضه اهرچای و شرایطی که برای هر سناریو تعریف شد این نتیجه حاصل شد که کمبود در بخش‌های مختلف سناریو اقلیمی B1 با حفظ شدن شرایط

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پیامدهای تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه اهرچای و همچنین تقاضای بخش کشاورزی در دوره ۲۰۱۵-۲۰۲۵ با استفاده از مدل GCMs (HADCM3) تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 تجزیه و تحلیل شد. نتایج در مجموع نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما دارد. مقدار بارندگی مطابق سناریو A1B، ۵/۳ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش خواهد داشت و همچنین این کاهش در اثر دو سناریو A2 و B1 نیز مشاهده می‌شود. برای شبیه‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل IHACRES در ایستگاه اورنگ مقدار میانگین ماهانه جریان در دوره‌های بعد کاهش خواهد داشت و تنها با یک افزایش شش درصدی در ماه فوریه مواجه می‌شود. بررسی‌هایی که توسط مدل، تحت سناریوهای انتشار انجام گرفت نشان داد که در دوره‌های آینده بیشترین بخشی که با کمبود تأمین آب مواجه خواهد شد بخش کشاورزی است که با احتمال وقوع

سناریو A2 تجربه خواهد کرد و کمترین مقدار کمبود در این بخش با سناریو B1 و مقدار ۸۴/۸ میلیون متر مکعب خواهد بود. بخش شرب نیز در سال ۲۰۲۴ با ۳/۳ میلیون متر مکعب بیشترین کمبود در سناریو A2 به دنبال دارد و سناریو B1 بخش نتیجه بهتری را خواهد داشت. و در نهایت بخش صنعت تنها بخشی از نیازهای پایین دست سد ستارخان است که تغییر اقلیم هیچ تأثیری بر تأمین نیاز آبی نخواهد داشت و این نیاز تا انتهای دوره با فرض ثابت ماندن در همین سطح به طور کامل تأمین می‌شود.

سپاسگزاری

در این بخش، نویسندگان مقاله از داوران محترم که با نظرات سازنده‌شان باعث غنی‌تر شدن محتوای این تحقیق شده‌اند، تشکر می‌کنند.

References

- 1- Ahmadi, B., 2010. *A Climate Driven Model for Increased Water Productivity in Agricultural Sector*. MSc Thesis, Tehran University. (In Persian).
- 2- Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J. and Cuddy, S.M., 2005. *IHACRES user guide*.
- 3- Doorenbos, J., 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. Food and Agriculture Organization. *Irrigation and Drainage*, Paper 24, p. 154.
- 4- Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage*, Paper 33, p. 193.
- 5- IPCC, C.C., 2001. The Scientific Basis, Intergovernmental Panel on Climate Change. Third Assessment Report.
- 6- Jakeman, A.J. and Hornberger, G.M., 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model?. *Water Resources Research*, 29(8), pp. 2637-2649.
- 7- Jakeman, A.J., Littlewood, I.G., Whitehead, P.G., 1990. Computation of the instantaneous unit hydrograph and 204 identifiable component flows with application to two small upland catchments, *Journal of Hydrology*, pp. 275-300.
- 8- Karamouz, M., Ahmadi, B. and Zahmatkesh, Z., 2012a. Developing an agricultural planning model in a watershed considering climate change impacts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(4), pp. 349-363.
- 9- Karamouz, M., Imen, S. and Nazif, S., 2012b. Development of a demand driven hydro-climatic model for drought planning. *Water Resources Management*, 26(2), pp. 329-357.
- 10- Khajeh, S., Paimozd, S. and Moghaddasi, M., 2017. Assessing the impact of climate changes on hydrological drought based on reservoir performance indices (case study: ZayandehRud River basin, Iran). *Water Resources Management*, 31(9), pp.2595-2610.

- 11- Kheirfam, H, Mostafazade, R. and Sadeghi, SH., 2014. Estimates of Daily Stream flow by using IHACRES model in some watersheds of Golestan. *Journal of Watershed Management Research*, pp 127-114. (In Persian).
- 12- Khosrovanian, J., Onagh, M., Guderzi, M. and Hejazi, S., 2015. Prediction of Climatic Parameters Using LARS-WG Model in Ghare-su Basin. *Geography and Planning*. pp. 93-115. (In Persian).
- 12- Lane, M.E., Kirshen, P.H. and Vogel, R.M., 1999. Indicators of impacts of global climate change on US water resources. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(4), pp.194-204.
- 13- Li, X., Zhao, Y., Shi, C., Sha, J., Wang, Z.L. and Wang, Y., 2015. Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. *Ocean & Coastal Management*, 106, pp.97-109.
- 14- Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K. and Rodhe, A., 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99, pp.257-277.
- 15- Nabibidhendi, Gh. and Mohammadnejad, Sh., 2008. *Concepts of Climate Change Changes with Considerations of the Kyoto Protocol*. University of Tehran, Second Edition. (In Persian).
- 16- Ramak, Z., Porhemmat, J., Sedghi, H., Fattahi, E. and Lashni-Zand, M., 2017. The climate change effect on probable maximum precipitation in a catchment. A case study of the Karun river catchment in the Shalu bridge site (Iran). *Russian Meteorology and Hydrology*, 42(3), pp.204-211.
- 17- Sechi, G.M. and Sulis, A., 2010. Intercomparison of generic simulation models for water resource systems. *International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada*.
- 18- Sieber, J. and Purkey, D., 2007. Water evaluation and planning system user guide for weap21. *Stockholm Environment Institute, US Center*.
- 19- Shafaei, AH. AraghiNejad, Sh. and Boani, AR., 2013. Investigating the effects of climate change on the exploitation of surface reservoirs in Gorganroud Basin. *Journal of Water and Irrigation Management*, 2, pp 43-58. (In Persian).
- 20- Tarek, D., Azzedine, H., Mouldi, S., Salam, B. And Samia, H. 2017. Water resources and their management under impact of climate change and users pressures in Kebir-West River basin (North-Eastern Algeria), using the WEAP model. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 10(4), 19-26.
- 21- Wilby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow, E.M., 2002. SDSM: a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), pp.145-157.
- 22- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. and Huber-Lee, A., 2005. WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. *Water International*, 30(4), pp.487-500.
- 23- Yazdan Panah, T., Khodashenas, S.R., Davari, K. and Ghahreman, A., 2008. Water Resources Management in the Basin Using WEAP Model (Case Study of Azghand Basin). *Water and Soil Journal*. 22(1), pp. 213-222. (In Persian).
- 24- Young, P.C. and Garnier, H., 2006. Identification and estimation of continuous-time, data-based mechanistic (DBM) models for environmental systems. *Environmental Modelling and Software*, 21(8), pp.1055-1072.