



Evaluation of Adaptation Strategies to Climate Change Based on Social, Economic and Environmental Water Security Indicators

S. Ansari Mahabadi¹, A.R. Massah Bavani^{2*} and A. Bagheri³

Abstract

Climate change effects on the hydrological system of the basin by changing amount of precipitation and temperature and, because of the interaction among systems, it would influence the environmental, economic, and social systems. The intensity of these unfavorable effects could be different given that vulnerability of the systems. Accordingly, presenting appropriate strategies is of importance for reduction of system vulnerability. Therefore, use of water security indicators considerably facilitates evaluating effective adaptation strategies. In this study, Tashk-Bakhtegan, with high interaction among its systems, was studied. Firstly, To simulate the effects of climate change, precipitation and temperature variable were extracted from the Atmosphere-Ocean General Circulation Model (CanESM2 and MPI-ESM-LR, GFDL-ESM2G) by the new scenario of greenhouse gases (RCP2.6). To minimize uncertainty caused by the downscaling method, three methods of multisite downscaling (XDS, Sequential k-nearest neighbor imputation method (SKNN) and Statistical Downscaling Model-Decision Centric (SDSM-DC)) were used. The integrated dynamic model for the catchment scale was then prepared. The effects of the climate change scenario and its adaptation strategies were simulated in the basin for a future period. Finally, measures of water security indicators were identified based on social, economic and environmental dimensions during the base and future period. Moreover, the influences of appropriate strategies on the reduction of vulnerability have been evaluated on the basis of change in indicators. The results showed that to decrease the vulnerability of system in the future period it is necessary to increase the economic water productivity in agricultural sector by increasing the irrigation efficiency and to reduce the agricultural activity. It is also essential to increase industrial activity for the economic and social indemnity.

Keywords: Climate Change, Water Security, Multisite Downscaling, Adaptation Strategies, Dynamic Integrated Model.

Received: February 14, 2018

Accepted: August 4, 2018

ارزیابی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم بر اساس نشانگرهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی امنیت آبی

ثمین انصاری^۱، علیرضا مساح بوانی^{۲*} و علی باقری^۳

چکیده

پدیده تغییر اقلیم با تغییر در میزان بارش و دمای هوا بر سیستم هیدرولوژی یک حوضه و به دلیل تعامل میان سیستم‌ها، بر زیرسیستم‌های کشاورزی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی اثرگذار بوده که شدت این اثرات نامساعد بسته به آسیب‌پذیری سیستم متفاوت می‌باشد. از این رو ارائه راهکارهای مناسب جهت کاهش آسیب‌پذیری سیستم در مقابل اثرات نامطلوب این پدیده در دوره‌های آتی می‌تواند حائز اهمیت باشد. در این راستا بکارگیری نشانگرهای امنیت آبی در ارزیابی راهکارهای سازگاری مؤثر بر آسیب‌پذیری، کمک شایانی می‌نماید. در این پژوهش حوزه آبریز طشک بختگان که دارای تعامل بالایی بین سیستم‌های مختلف است، بعنوان منطقه مطالعاتی انتخاب گردید. در این راستا به منظور شبیه‌سازی تغییرات اقلیم منطقه، متغیرهای بارش و دما از نتایج سه مدل گردش کلی (CanESM2, MPI-ESM-LR, GFDL-ESM2G) تحت سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ استخراج شده و جهت مدیریت عدم قطعیت ناشی از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، از سه روش ریزمقیاس‌نمایی چند ایستگاهی مد ایکس‌دی‌اس، انتساب نزدیکترین همسایگی متوالی-K و ریزمقیاس‌نمایی آماری مرکز تصمیم‌گیری (ام اس دی اس ام) استفاده گردید. در ادامه مدل شبیه‌ساز پویای یکپارچه منطقه در مقیاس حوزه آبریز تهیه شده و اثرات سناریوی تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با آن در حوضه برای دوره آتی شبیه‌سازی گردید. در نهایت با استفاده از نتایج مدل شبیه‌ساز، مقدار نشانگرهای امنیت آبی در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی در دوره پایه و در دوره آتی تحت اثر تغییر اقلیم تعیین شده و میزان اثرگذاری راهکارهای سازگاری در کاهش آسیب‌پذیری بر اساس تغییر در این نشانگرها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که جهت کاهش آسیب‌پذیری سیستم در دوره آتی می‌بایست ضمن افزایش بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی توسط افزایش راندمان آبیاری، فعالیت کشاورزی نیز کاهش یافته و به منظور جبران خسارت اقتصادی و اجتماعی، فعالیت در بخش خدمات و صنعت افزایش یابد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، امنیت آبی، ریزمقیاس‌نمایی چندایستگاهی، راهکارهای سازگاری، مدل پویای یکپارچه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۵/۱۳

1- Ph.D. Candidate, Department of Water Resources Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Associated Professor, Department of Water Resources Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: armassah@ut.ac.ir

3- Associated Professor, Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

گردد (Oji, 2014). شناخت از نحوه‌ی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی، دستیابی به این امر مهم را امکان‌پذیر می‌نماید. از این‌رو در ادامه به توضیح عملکرد و تفاوت این مدل‌ها پرداخته می‌شود.

مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی بر اساس نحوه عملکردشان در فضای مورد بررسی، به دو دسته تک ایستگاهی و چند ایستگاهی، تقسیم شده‌اند. در روش ریزمقیاس‌نمایی تک ایستگاهی، رابطه رفتار متغیر اندازه‌گیری شده در یک ایستگاه با رفتار متغیر پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس جوی در یک نقطه یا در یک محدوده مشخص، در نظر گرفته می‌شود. تاکنون در بیشتر مطالعات نیز، شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی توسط ریزمقیاس‌نمایی با روش‌های تک ایستگاهی از قبیل مدل لارس^۶ و اس‌دی‌اس‌ام^۷ صورت گرفته‌است (Ansari et al., 2017; Vaighan et al. 2017; Goodarzi et al., 2015, 2014; Dorji et al., 2017; Su et al., 2016; Farajzadeh et al., 2015). از ضعف‌های این روش در ریزمقیاس‌نمایی عدم لحاظ همبستگی ایستگاه‌های مجاور برای شبیه‌سازی می‌باشد. در صورتی که در ریزمقیاس‌نمایی چند ایستگاهی، ریزمقیاس‌نمایی همزمان برای چند ایستگاه یا چند متغیر انجام گرفته و همبستگی زمانی و مکانی ایستگاه‌ها لحاظ می‌گردد. ضمن آنکه در اغلب پژوهش‌های انجام شده کارایی بیشتر روش‌های چند ایستگاهی نسبت به روش‌های تک ایستگاهی جهت برآورد متغیرهای اقلیمی یک منطقه مورد تأیید قرار گرفته است (Khalili et al., 2011; Burger et al., 2012, 2013; Oji et al., 2016-2014). در نتیجه جهت برطرف کردن نقص روش ریزمقیاس‌نمایی تک ایستگاهی و رسیدن به جواب‌های دقیق‌تر در این پژوهش از روش‌های چند ایستگاهی استفاده شده است.

با تعیین متغیرهای اقلیمی در دوره آتی تحت سناریوهای تغییر اقلیم، امکان ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی سامانه‌های مختلف فراهم می‌گردد. در این راستا تاکنون مطالعات زیادی انجام گرفته که اکثر این مطالعات در جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم تنها بر یک سیستم مانند سیستم منابع آب زیرزمینی، منابع آب سطحی، کشاورزی و غیره متمرکز شده‌اند (Tzabiras et al., 2016; Gemitzi et al., 2017; Gosling et al., 2017; Liu et al., 2017; de Moraes Sá et al., 2017). این در حالی است که سیستم‌های مختلف با یکدیگر تعامل داشته و بر هم تأثیرگذارند که این تعاملات میان بخشی در آسیب‌پذیری کل سیستم مؤثر بوده و ضروری است در ارزیابی راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری آن نیز لحاظ گردند. از این‌رو این‌گونه ارزیابی‌های متمرکز بر روی یک زیرسیستم، به سبب عدم توانایی در درک اندرکنش‌ها و پویایی موجود در سیستم‌ها، تصویری جامع از سیستم و اثرات تغییر اقلیم بر آن و راهکارهای افزایش سازگاری با

پدیده تغییر اقلیم بر میزان منابع آب در دسترس اثر گذاشته که به دلیل محوریت آب در توسعه اقتصادی-اجتماعی و اندرکنش میان سیستم‌ها، این تغییرات در دوره آتی باعث آسیب به این بخش‌ها و ناپایداری در کل سیستم می‌گردد. در این شرایط ایجاد پایداری در سیستم هدف جهانی بوده و توسط راهکارهایی که در تمامی بخش‌ها سبب کاهش آسیب‌پذیری سامانه در مواجهه با این تغییرات شود، مقدور می‌گردد. از این‌رو ارزیابی اثرات تغییر اقلیم جهت ارائه راهکارهای سازگاری با آن و ارزیابی این راهکارها با شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی ضرورت می‌یابد.

جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، متغیرهای اقلیمی از سناریوهای تغییر اقلیم مدل‌های گردش کلی^۲ از سری گزارش‌های هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم برای دوره آتی استخراج شده و پس از ریزمقیاس‌نمایی، اثرات حاصل از تغییر این متغیرها در بخش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این رابطه به جز معدودی از تحقیقات (Farmanbar et al., 2018; AghakhaniAfshar et al., 2016; Kim et al., 2013; Fernandes et al., 2016; Vaighan et al., 2017; Farajzadeh et al., 2015) مطالعات پیشین در حوضه‌های آبریز ایران، استخراج و شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دوره آتی بر مبنای مدل‌های جفت شده (CMIP3^۴) ارزیابی گزارش چهارم انجام گرفته است (Panahi et al., 2017). در صورتی که این مدل‌ها قدرت تفکیک‌پذیری کمتری نسبت به مدل‌های CMIP5^۵ گزارش پنجم را دارا می‌باشند (AghakhaniAfshar et al., 2016). از این‌رو در این پژوهش جهت تولید داده‌های بزرگ مقیاس، مدل‌های گردش کلی از سری مدل‌های CMIP5 به کار برده شده‌است.

به‌رغم بهبود قدرت تفکیک‌پذیری مدل‌های CMIP5 همچنان عملکرد این مدل‌ها در تفکیک مکانی ضعیف بوده و دارای خطاهای سیستماتیک می‌باشند. جهت تصحیح این خطاها و افزایش دقت خروجی آن‌ها در مقیاس محلی استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی ضرورت می‌یابد. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی با تصحیح بخشی از خطاهای سیستماتیک توسط برقراری روابط آماری بین مشاهدات محلی و متغیرهای بزرگ مقیاس (Burger, 1996; Wilby and Dawson, 2007) دقت خروجی مدل‌های گردش کلی را تا ابعاد ایستگاهی افزایش می‌دهند. بنابراین ارزیابی و انتخاب روش مناسب ریزمقیاس‌نمایی جهت پیش‌بینی صحیح متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد به طوری که بکارگیری روش نامناسب می‌تواند سبب افزایش عدم قطعیت در نتایج

تغییر اقلیم را ارائه نمی‌نمایند. علاوه بر این در هر سیستم فرآیندهایی وجود دارند یا در طول زمان شکل خواهند گرفت که این فرآیندها باعث پیامدهای ناخواسته‌ای شده که برنامه‌ریزی مدیران و تصمیم‌گیران را جهت برقراری تعادل و پایداری سیستم با مشکل مواجه خواهند نمود (Bagheri and Hjorth, 2007). بنابراین بررسی اثرات تغییر اقلیم و ارائه راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری سیستم در برابر آن نیازمند شناسایی فرآیندهای مذکور و نگاهی یکپارچه با لحاظ اندرکنش میان سیستم‌ها و بخش‌های مختلف می‌باشد تا با شناختی صحیح از سیستم و ارزیابی درستی از میزان تغییرات کاهش آسیب‌پذیری سیستم توسط این راهکارها، مدیران بتوانند تصمیمات درستی را به منظور افزایش سازگاری سیستم در برابر این پدیده اتخاذ نمایند.

جهت شناخت دقیق سیستم و فرآیندهای آن، استفاده از رویکرد پویایی سیستم کمک شایانی می‌نماید. این رویکرد بر اساس تفکر سیستمیک و تئوری فرآیندهای بازخوردی بوده و امکان بررسی اندرکنش‌های میان زیرسیستم‌های هیدرولوژی، اقتصادی (شامل بخش‌های صنعت، خدمات و کشاورزی) و اجتماعی را در سیستمی یکپارچه فراهم می‌نماید. تاکنون مطالعاتی نیز با رویکرد پویایی سیستم جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب صورت گرفته‌است (Füssel and Klein, 2006; Venkat, 2011; Biesbroek et al., 2010; Rahimi khoob et al., 2015; Gohari et al., 2017). در این تحقیقات زیرسیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و هیدرولوژی و ارتباط میان آن‌ها بسته به اهداف و شرایط منطقه توسعه داده شده و اثرات تغییر اقلیم بر روی این زیرسیستم‌ها نشان داده شده‌اند. با بررسی اثرات تغییر اقلیم، محدوده‌هایی از سیستم که اعمال راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم در آن‌ها ضروری است مشخص می‌شوند و امکان ارائه راهکارهای سازگاری متعددی فراهم می‌گردد.

از میان راهکارهای ارائه شده تعیین راهکارهای مؤثر و سیاست‌های هدف‌مند به منظور کاهش آسیب‌پذیری سیستم در مواجهه با تغییر اقلیم، با بکارگیری شاخصی مناسب در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و راهکارهای مذکور محقق می‌گردد. در این راستا استفاده از شاخص امنیت آبی می‌تواند مفید واقع گردد؛ زیرا آب نهاده بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی می‌باشد و تغییر در میزان آن در اثر تغییر اقلیم، عملکرد بخش‌های اقتصادی را تحت شعاع قرار داده که به دلیل ارتباط متقابل بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی و زیست‌محیطی، عملکرد این بخش‌ها نیز متأثر می‌گردد. از این رو اتخاذ شاخص امنیت آبی با معیارهای مختلف می‌تواند چشم‌انداز مناسبی را از وضعیت آسیب‌پذیری در دوره آتی فراهم نموده (Babaeian et al., 2017) و

با ارائه و بررسی نشانگرهایی در ابعاد مختلف، میزان تأثیر راهکارهای سازگاری در بهبود عملکرد امنیت آبی سیستم و کاهش آسیب‌پذیری آن را ارزیابی نماید. از این رو در این تحقیق مدلی با رویکرد پویایی سیستم شامل روابط و تعاملات میان بخش‌های مختلف هیدرولوژی، اقتصادی (بخش‌های خدمات و کشاورزی و صنعت) و اجتماعی جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم به صورت یکپارچه توسعه داده شد. متغیرهای اقلیمی در دوره آتی از مدل‌های گردش کلی گزارش پنجم استخراج شده و پس از مقیاس گاهی از روش ریزمقیاس‌نمایی چند ایستگاهی، وارد مدل پویایی شبیه‌ساز گردید. در ادامه با تشخیص فرآیندها و ساختارهای فعال و معیوب منطقه با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، محل اعمال راهکارهای مدیریتی تعیین شد. نتایج شامل بررسی اثرات تغییر اقلیم بر زیرسیستم زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی و مقایسه راهکارها با نشانگرهای امنیت آبی می‌باشد. در نهایت با دیدگاه مدیریت پایدار منابع طبیعی، الگویی در جهت افزایش سازگاری و کاهش آسیب‌پذیری در مقابل اثرات تغییر اقلیم با هدف ثبات اقتصادی-اجتماعی و پایداری سیستم ارائه می‌شود. در تحقیقات مرور شده داخلی استفاده از سری مدل‌های CMIP5 به همراه چند روش ریزمقیاس‌نمایی چند ایستگاهی انجام نشده و در تحقیقات خارجی نیز مراحل کامل انجام این تحقیق و مقایسه راهکارهای سازگاری با شاخص امنیت آبی صورت نگرفته است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان یکی از مهمترین زیستگاه‌های کشور و بخشی از حوضه آبریز مرکزی بوده که در شمال استان فارس و در دامنه‌های شرقی بخش جنوبی زاگرس قرار گرفته است. مساحت این حوضه ۲۶۵۸۰ کیلومترمربع و متوسط بارش ۴۰ ساله آن حدود ۳۶۲ میلی‌متر می‌باشد. رودخانه‌های اصلی حوضه با عنوان گر و سیوند مهم‌ترین منابع تأمین آب این دو دریاچه می‌باشند. این رودخانه‌ها از ارتفاعات شمال و شمال‌غربی حوضه (ارتفاعات زاگرس) سرچشمه گرفته و پس از تلاقی در دشت مرودشت در محلی به نام پل‌خان به دریاچه بختگان منتهی می‌شوند (Farsab, 2016; Jamab, 2013). جهت مطالعه و شبیه‌سازی حوضه با هدف بهره‌برداری بهینه از منابع آبی و افزایش امنیت آبی، با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و واکنش رفتاری ساکنان، این حوضه به ۵ زیرحوضه تقسیم گردید. شکل ۱ محدوده‌های مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری را نشان می‌دهد.



Fig. 1- The location of Tashk-Bakhtegan study area

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

زمانی تولید شده توسط این مدل‌ها برای استفاده مستقیم در مدل‌های شبیه‌ساز مناسب نبوده و نیاز به تکنیک‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی دارند. مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی بر حسب عملکردشان در فضای مورد بررسی به دو دسته تک ایستگاهی و چند ایستگاهی تقسیم می‌گردند. خروجی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی تک ایستگاهی، فقط برای یک ایستگاه محاسبه شده و روابط بین ایستگاهی و همبستگی فضایی متغیرها را مد نظر قرار نمی‌دهند و از این رو ممکن است خروجی‌های دو ایستگاه مجاور هم، از همبستگی بالایی برخوردار نباشند. این مسأله بر نتایج مدل‌ها و محاسبات وابسته به متغیرهای مختلف آب و هوایی تأثیرگذار می‌باشد. در صورتی که در ریزمقیاس‌نمایی چند ایستگاهی، ریزمقیاس‌نمایی همزمان برای چند ایستگاه در منطقه یا چند متغیر صورت گرفته و همبستگی زمانی و مکانی ایستگاه‌ها در حین ریزمقیاس‌نمایی چند ایستگاهی در نظر گرفته می‌شود. از این رو، در این تحقیق به منظور مدیریت عدم قطعیت در خروجی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی چند ایستگاهی، از سه روش ریزمقیاس‌نمایی چندایستگاهی مد ایکس‌دی‌اس¹⁴ (ModExDS)، روش انتساب نزدیکترین همسایگی متوالی-K (SKNN¹⁵) و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری-مرکز تصمیم‌گیری (ام اس دی اس ام¹⁶ MSDSM) استفاده گردید. روش مد ایکس‌دی‌اس توسط (Bürger, 1996) جهت ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی روزانه و بخصوص برای مواردی که متغیرهای مذکور از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند، ابداع شد.

۲-۲- تولید سناریوهای اقلیمی در دوره آتی

۱-۲-۲- استخراج داده‌های اقلیمی از مدل‌های AOGCM

در پژوهش حاضر به منظور شبیه‌سازی تغییر اقلیم منطقه، از نتایج مدل‌های گردش کلی پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده گردید (IPCC⁸, 2014) و تغییرات دو متغیر بارش و دمای منطقه در دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۸۲) و در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۹) از مدل‌های MPI-ESM-LR¹⁰, CanESM2⁹ و GFDL-ESM2G¹¹ (جدول ۱) تحت سناریوی جدید انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 استخراج شد (IPCC, 2014). این مدل‌ها جزء سری مدل‌های CMIP5 از گزارش پنجم AR5¹² ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم می‌باشند (Arora et al., 2011). در مدل‌های CMIP5 گزارش پنجم، از سناریوهای جدید انتشار با عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای استفاده شده که این سناریوها براساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ میلادی ایجاد شده‌اند. سناریوی حدی RCP2.6¹³ یک سناریوی کاهشی سخت‌گیرانه (خوشبینانه) بوده که حداکثر اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ را ۲/۶ وات بر مترمربع (m²/W) برآورد می‌کند.

۲-۲-۲- ریزمقیاس‌نمایی

به دلیل قدرت کم تفکیک مکانی مدل‌های گردش کلی، سری‌های

Table 1- Characteristics of CanESM2, MPI-ESM-LR and GFDL-ESM2G model**Pr=Precipitation, Tasmin, Tasmx= temperature****جدول ۱- مشخصات مدل‌های MPI-ESM-LR, GFDL-ESM2G and CanESM2****دمای حداقل و حداکثر= Tasmin, Tasmx و بارش= Pr**

Model Name	Resolution (atmosphere) (longitude ×latitude)	Resolution (temporal)	Host institute	Used parameter	References
CanESM2	2.8°×2.8°	daily	Canadian Center for Atmospheric Research, Canada	Pr, Tasmin, Tasmx	Arora et al. (2011)
MPI-ESM-LR	1.9°×1.9°	daily	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	Pr, Tasmin, Tasmx	Roeckner et al. (2006)
GFDL-ESM2G	2.5°×2°	daily	NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), United States	Pr, Tasmin, Tasmx	Donner et al. (2011)

۲-۳- شبیه‌سازی سیستم یویای یکپارچه منابع آب ۲-۳-۱- تهیه مدل مفهومی و تعیین ساختارهای حاکم بر منطقه

مدل مفهومی این حوضه بر مبنای مطالعات موجود (Farsab, 2016; Jamab, 2013) و بازدیدهای صورت گرفته از حوزه آبریز طشک - بختگان، با هدف تعیین مرز سیستم، متغیرهای درون‌زا و برون‌زا و نحوه اثرگذاری بر زیرسیستم‌ها توسعه داده شد. با توجه به نتایج بدست آمده از فاز مفهوم‌سازی، چرخه‌های علت و معلولی برای منطقه مورد مطالعه حاصل گردید و ساختارهای فعال و معیوب در هر یک از زیرحوضه‌های پنج‌گانه حوضه به شرح زیر تعیین شدند:

ساختار رشد و افول^{۱۹}: در این ساختار یک فرآیند در دوره‌ای به طور خود به خود رشد یافته، از حد ظرفیت برد سیستم فراتر می‌رود، و پس از آن شروع به کندشدن، توقف و در مواردی شروع به سقوط می‌نماید. در زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ حوزه آبریز، یک دوره رشد به دلیل داشتن منابع آب و با انگیزه افزایش درآمد حاصل از کشاورزی ایجاد شده و پس از مدتی به دلیل عوامل محدودکننده‌ی زمین و منابع آبی موجود فرآیند متعادل‌کننده شکل گرفته است. ساختار فوق برای فعالیت‌های اقتصادی صنعت و خدمات نیز برقرار بوده و حلقه تعادلی آن‌ها مربوط به محدودیت آب، سرمایه‌گذاری و نیروی انسانی می‌باشد.

ساختار پیروزی در پی پیروزی^{۲۰}: این ساختار بر اثر رقابت دو فعالیت جهت استفاده از منابع محدود ایجاد شده و فعالیتی که به موفقیت بیشتری دست یابد، مقدار بیشتری از این منابع را به خود اختصاص

در مدل مد ایکس دی‌اس، روشهای خطی به لحاظ سادگی و نیز قابل کنترل بودن پارامترهای مدل شده، مورد استفاده قرار گرفته است و صرفاً جهت حفظ کواریانس فضایی و بین ایستگاهی از روشهای غیر خطی در این مدل استفاده می‌گردد. مد ایکس دی‌اس، بر اساس این ایده بنا نهاده شد که رویدادهای محلی به گردش جوی نرمال نزدیک بوده و می‌تواند به آن وابسته باشند، اما بطور همزمان هم تغییرپذیری محلی واقعی (در متغیرها و ایستگاه‌ها) را تولید می‌نمایند. Kim et al. (2004) روش انتساب داده‌های مفقود مبتنی بر خوشه‌بندی را جهت شبیه‌سازی مقادیر مفقود اطلاعات میکرو آرایه‌ای DNA¹⁷ ارائه دادند که الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی متوالی K-SKNN نام گرفت. در این روش (Kim, 2008)، داده‌ها به دو مجموعه کامل و ناقص تقسیم می‌گردد. در مجموعه داده‌های ناقص، رتبه داده‌های مفقود به ژن‌ها نسبت داده شده، مقادیر مفقود بوسیله مقدار میانگین وزنی ژن‌های نزدیکترین همسایه ستون متناظر در مجموعه کامل، پر می‌شوند. بطوری‌که، ابتدا مقادیر مفقود مربوط به ژن دارای کمترین مقادیر مفقود، منتسب شده و سپس بطور متوالی از مقادیر نسبت داده شده مذکور برای انتساب‌های بعدی استفاده می‌شود. در روش ام اس دی اس ام (Wilby and Dawson, 2002-)، شاخص‌های گردش جوی و متغیرهای هواشناسی محلی، متغیرهای زمان‌بندی را (مثل وقوع بارش و یا دمای حداکثر)، که بیانگر هوای روزانه در یک ایستگاه می‌باشند، تخمین می‌زنند. شرح بیشتر این روش‌ها در Bürger (1996) و Kim et al. (2004) و Wilby and Dawson (2002, 2013) آمده است.

۲-۴- بررسی اثرات تغییر اقلیم و ارائه راهکارهای سازگاری با آن به وسیله مدل شبیه‌ساز یکپارچه

پس از تهیه مدل کمی شبیه‌ساز سیستم پویای یکپارچه منابع آب حوضه، متغیرهای بارش و دمای حاصل از سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 در بازه زمانی (۲۰۴۹-۲۰۲۰) به صورت سری‌های زمانی ۳۰ ساله وارد این مدل گردید. تغییر در میزان بارش در دوره آبی سبب تغییر در میزان رواناب و آب نفوذیافته شده و در نتیجه پتانسیل منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه را دستخوش تغییر خواهد نمود. با توجه به ارتباطات متقابل بخش‌های مختلف، تغییر در حجم پتانسیل منابع آب منطقه در شرایط تغییر اقلیم بر دیگر زیرسیستم‌ها اثرگذار بوده که میزان این اثرگذاری با بررسی تغییرات نشان‌گرهای امنیت آبی در هر بخش تعیین گردید. قابل ذکر است جهت اجرای مدل برای دوره آبی، فرضیاتی در نظر گرفته شد. بدین شرح که در هر زیرحوضه روند رشد جمعیت با همان رفتار قبل لحاظ شده و برای سرمایه‌گذاری در بخش صنعت، سالانه میزان سرمایه‌گذاری متوسطی بطور ثابت در نظر گرفته شد. در بخش کشاورزی نیز حداکثر ظرفیت برداشت از آب زیرزمینی برابر آخرین میزان برداشتی لحاظ شد و به طور کلی نرخ‌های رشد در سایر بخش‌ها با همان روند قبلی ادامه داده شد. در ادامه به منظور حذف ساختارهای معیوب در حوضه و همچنین تعدیل اثرات تغییر اقلیم، راهکارهایی متناسب با شرایط حوضه در دوره آبی (تحت اثر تغییر اقلیم) به صورت گزینه‌های سیاستی ارائه گردید و در مدل یکپارچه شبیه‌سازی شد. با توجه به شکل‌گیری ساختار رشد و افول (بخش ۲-۳-۱) با راهکار کاهش سطح زیرکشت منجر به اثرگذاری حلقه تعادلی محدودیت زمین قبل از حلقه تعادلی محدودیت آب و شکست سیستم می‌گردد همچنین این سیاست با محدود نمودن توسعه کشاورزی و در نتیجه سود حاصل از این فعالیت سبب کند شدن ساختار پیروزی در پیروزی می‌گردد. سیاست افزایش راندمان آبیاری نیز با توجه به کمبود منابع و افزایش تبخیر در دوره آبی بر اثر افزایش دما پیشنهاد شده که اجرای این سیاست به همراه اجرای همزمان سیاست کاهش سطح زیرکشت از شکل‌گیری مجدد ساختار راه‌حل‌های منجر به شکست جلوگیری می‌نماید. راهکارهای سیاستی سازگاری با تغییر اقلیم در دوره آبی به شرح زیر در نظر گرفته شدند:

- S0: سیاست ادامه روند موجود در منطقه در دوره آبی تحت اثر تغییر اقلیم بدون اعمال هرگونه راه‌کار سازگاری
- S1: سیاست کاهش یک سوم از سطوح زیرکشت در دوره آبی تحت اثر تغییر اقلیم
- S2: سیاست افزایش ۱۵ درصدی راندمان آبیاری و در نتیجه کاهش میزان نیاز ناخالص آبی محصولات در دوره آبی تحت اثر تغییر اقلیم

داده و فعالیت دوم با کمبود منابع مواجه خواهد شد. در این حوضه نیز درآمد حاصل از کشاورزی عامل محرک جهت توسعه بیشتر کشاورزی بوده که سبب افزایش تقاضا جهت بهره‌برداری از منابع و در نتیجه تخصیص بیشتر منابع به این بخش شده و در نتیجه موجب کاهش رشد و جذب کمتر منابع در دیگر فعالیت‌های اقتصادی شده است. این ساختار علاوه بر فعالیت‌های مختلف اقتصادی در هر یک از زیرحوضه‌ها، در میان زیرحوضه‌های ۱ و ۳ با پیروزی زیرحوضه ۳ در برداشت بیشتر از منابع آب سطحی و میان زیرحوضه‌های ۳ و ۴ با پیروزی زیرحوضه ۴ در برداشت بیشتر از منابع آب سطحی حاکم می‌باشد.

راه‌حل‌های منجر به شکست^{۲۱}: این ساختار راه‌حل‌هایی را که در دوره کوتاه‌مدت به عنوان مسکن عمل کرده، ولی در بلندمدت با شکست مواجه می‌گردند، نشان می‌دهد. در این حوضه راه‌های تکنولوژیکی (سیستم نوین آبیاری، سد و شبکه آبرسانی) باعث شده کشاورزان سطح زیرکشت را افزایش دهند که این افزایش موجب افزایش درآمد ولی در عین حال تقاضای بیشتر آب گشته است. افزایش درآمد در نهایت توانایی اقتصادی جهت توسعه بیشتر را فراهم کرده است.

ساختار تراژدی منابع مشترک^{۲۲}: این ساختار میان زیرحوضه ۳ و ۴ مدل بر اثر استفاده از منابع آب زیرزمینی مشترک رخ داده و موجب برداشت هر چه بیشتر از این منبع با ارزش و در نتیجه افت آبخوان شده است.

۲-۳-۲- تعریف روابط و معادلات

در ادامه فرآیند تعیین ساختار علت و معلولی، زیرسیستم‌های هیدرولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی بر اساس روابط بازخوردی توسعه داده شدند. به دنبال ارائه زیرسیستم‌ها، رابطه ریاضی بین متغیرها تعریف شده و مدل کمی شبیه‌ساز سیستم پویای یکپارچه منابع آب توسط نرم‌افزار سیمولینک ارائه گردید. در این مدل زیرسیستم منابع آب شامل معادله بیلان آب زیرزمینی، معادله بیلان هیدروکلیماتولوژی و بیلان آب سطحی و زیرسیستم‌های اقتصادی-اجتماعی شامل بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات و جمعیت می‌باشند. واسنجی و صحت‌سنجی جهت تطابق رفتار پارامترهای منابع آب زیرزمینی و سطحی، جمعیت، اشتغال، مصارف آب و ارزش افزوده‌ی فعالیت‌های اقتصادی و سطح زیرکشت در بخش کشاورزی مدل با داده‌های مشاهداتی به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۱ و ۲۰۱۱-۲۰۰۶ انجام گرفت. شرح بیشتر در (Jalali, 2017) آمده است.

S3: سیاست افزایش ۱۵ درصدی راندمان آبیاری به همراه کاهش یک سوم سطح زیرکشت در دوره آبی تحت اثر تغییر اقلیم

۲-۵- بررسی اثرات راهکارهای سازگاری توسط نشانگرهای امنیت آبی

اثرپذیری سیستم‌ها از پدیده تغییر اقلیم بسته به میزان آسیب‌پذیری آن‌ها متفاوت می‌باشد و از این‌رو با ارائه راهکارهای مناسب جهت کاهش آسیب‌پذیری سیستم، از تأثیرات این پدیده بر روی سیستم‌ها کاسته می‌گردد. ارزیابی میزان اثربخشی راهکارهای مختلف در بهبود عملکرد اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی سیستم در دوره آبی ملزم به بکارگیری چارچوب و معیاری مناسب می‌باشد. در این تحقیق از

چارچوب (Füssel, 2007) جهت تحلیل آسیب‌پذیری استفاده شده و مؤلفه نگرانی امنیت آبی در سیستم اقتصادی-اجتماعی و آبی تحت خطر کمبود آب حاصل از تغییر اقلیم با مرجع زمانی سالانه مورد بررسی قرار گرفت. میزان اثرگذاری هر راهکار در مؤلفه نگرانی امنیت آبی توسط نشانگرهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی پیشنهادی سازمان ملل ارزیابی گردید (جدول ۲). در این جدول مقادیر معیار هر نشانگر با توجه به مقادیر نرم کشوری (متوسط مقادیر نشانگر در دو سال ۱۳۸۵ و ۱۳۸۰) (Babaeian et al., 2016)، جهانی (UNSD, 2012) و یا حوضه‌ای (حقاب دریاچه) آن تعیین شده و در ادامه میزان بهبود در عملکرد امنیت آبی سیستم توسط راهکارهای سازگاری نسبت به این مقادیر نرم سنجیده شد.

Table 2- Dimensions and indicators of water security evaluation

جدول ۲- ابعاد و نشانگرهای سنجش امنیت آبی

Dimensions	Indicator	Criterion value	Criterion used	Reference	
Environmental	Dependence on groundwater(percent)	50	UNSD	Ministry of Energy (2011b); Management and Planning Organization (2005)	
	water use intensity	0.4	UNSD		
	A Water Right for the Environment(MCM)	580	basin		Bagheri (2016)
	Use Static Aquifer Volume	0	USGS		-
Economic	The share of water consumption in the agriculture sector(percent)	92.4	country	Ministry of Energy (2000); Management and Planning Organization (2005)	
	The share of water consumption in the industry sector(percent)	1.2	Country		
	The share of water consumption in the services sector(percent)	6.4	country		
	Total economic water Productivity IRR/m3	12422.8	country		
	Agricultural economic water Productivity IRR/m3	3005	country		
	Industry economic water Productivity IRR/m3	382677.7	country		
	Services economic water Productivity IRR/m3	460697	country		
	Statistical Center of Iran; Ministry of Energy (2000,2001); Management and Planning Organization (2005)				
Social	The share of Employment in the agricultural sector (percent)	18	country	Statistical Center of Iran;	
	The share of Employment in the industrial sector (percent)	31.7	country		
	The share of Employment in the services sector (percent)	47.9	country		
	Labor productivity in the agricultural sector (10 ⁶ IRR/ person)	155693865	country		
	Labor productivity in the industrial sector (10 ⁶ IRR/ person)	318979334	country		
	Labor productivity in the services sector (10 ⁶ IRR/ person)	191285500	country		
	Total Labor productivity (10 ⁶ IRR/ person)	180649002	country		
	Employment productivity in the agricultural sector (person/MCM)	42	country		
	Employment productivity in the industrial sector (person/MCM)	5902	country		
	Total Employment productivity (person/MCM)	219	country		
	Employment productivity in the services sector (person/MCM)	1635	country		
	Per capita income	52471796	country		

۳- نتایج

۳-۱- اعتبارسنجی روش‌های ریزمقیاس نمائی

توانایی سه روش ریزمقیاس‌نمایی بکارگرفته شده در این تحقیق در بازتولید سری زمانی داده‌های مشاهداتی دما و بارش منطقه، به ترتیب با ضریب همبستگی پیرسن^{۲۳} و میانگین قدر مطلق خطا (MAE^{۲۴})، در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۱-۱۹۸۲) برای ۲۵ ایستگاه باران‌سنجی منطقه (p)، ۱۰ ایستگاه دمای کمینه (tn) و ۱۰ ایستگاه دمای بیشینه (tx) منطقه در شکل‌های (۲ و ۳) نشان داده شده‌اند. نتایج نشان از ضریب همبستگی بالا (بیش از ۰/۸) و میانگین قدر مطلق خطای پایین (بین ۲ تا ۳ درجه سلسیوس) برای دمای بیشینه و کمینه در هر سه روش ریزمقیاس‌نمایی دارد. این در حالی است که این سه روش برای ریزمقیاس‌نمایی بارش همانند دما عمل نکرده و ضرایب همبستگی در بعضی از ایستگاه‌ها (۴ ایستگاه) کمتر از ۰/۲ بدست آمده است. از طرف دیگر گرچه در ریزمقیاس‌نمایی دمای بیشینه و کمینه اختلاف زیادی بین سه روش ریزمقیاس‌نمایی وجود ندارد ولی در ریزمقیاس‌نمایی بارش روش MSDSM بهترین عملکرد و روش SKNN ضعیف‌ترین عملکرد را بخود اختصاص داده است. نهایتاً از هر سه روش برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های منطقه با استفاده از

خروجی سه مدل MPI-ESM-، GFDL-ESM2G، CANESM2 و LR تحت سناریوی RCP2.6 برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ میلادی استفاده شد.

۳-۲- شبیه‌سازی دما و بارش منطقه در دوره‌های آتی

بمنظور شبیه‌سازی دما و بارش ایستگاه‌های منطقه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ میلادی، خروجی مدل‌های CanESM2، MPI-ESM-LR و GFDL-ESM2G تحت سناریوی انتشار RCP2.6 با استفاده از سه روش MSDSM، ModEXDS و SKNN بر روی ایستگاه‌های دما و بارش منطقه ریزمقیاس گردید. در ادامه به‌منظور استفاده از همادی^{۲۵} سناریوهای تغییر اقلیم در محاسبات آتی، ۹ سناریو موجود برای هر ایستگاه ترکیب شده و یک سری زمانی حاصل شد. سپس به‌منظور بررسی تغییرات دما و بارش هر یک از ۵ زیرحوضه موجود در منطقه میانگین منطقه‌ای این دو متغیر محاسبه شد. شکل‌های ۴ و ۵ میانگین درازمدت سالانه بارش و دما در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ را نسبت به شرایط موجود تحت سناریوی RCP2.6، برای ۵ زیرحوضه موجود در منطقه نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست آمده، بارش در تمامی مناطق بجز منطقه ۱ در دوره آتی کاهش خواهد یافت.

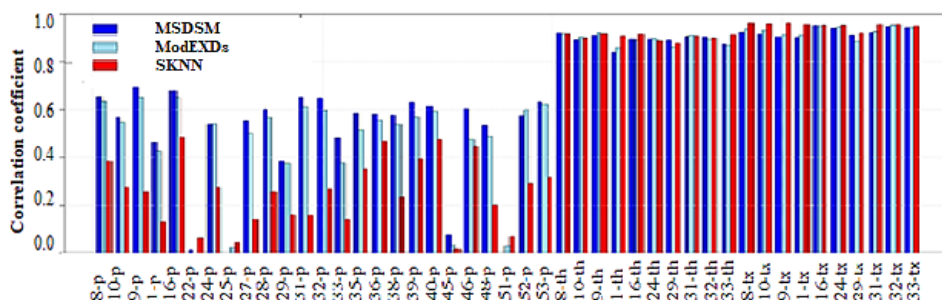


Fig. 2- Pearson correlation diagram of observed and simulated values in observation station (198-2011)
شکل ۲- نمودار همبستگی پیرسون مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های مشاهداتی طی دوره اعتبارسنجی (۱۹۸۲-۲۰۱۱)

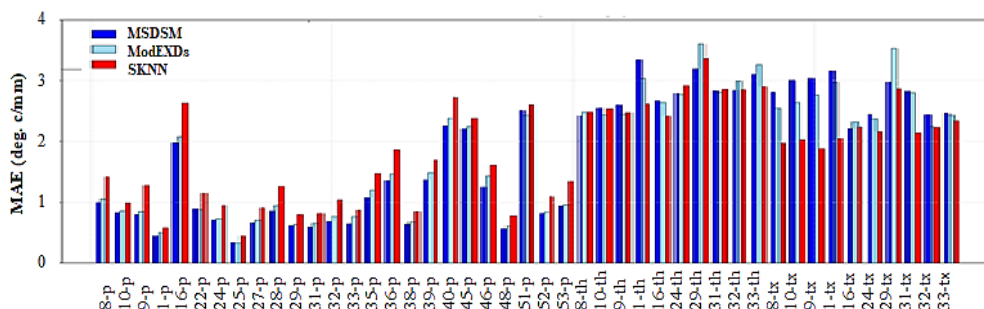


Fig. 3- Mean absolute error diagram of observed and simulated values in observation station (198-2011)
شکل ۳- نمودار میان MAE مطلق مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های مشاهداتی طی دوره اعتبارسنجی (۱۹۸۲-۲۰۱۱)

دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ خواهد رسید.

با وقوع یک دوره خشکسالی، به عنوان راه حلی مقطعی برداشت از آب‌های زیرزمینی انجام شد که متأسفانه ادامه این روند تاکنون موجب شکل‌گیری ساختار راه حل‌های منجر به شکست، توسعه سطح زیرکشت و استفاده هرچه بیشتر از منابع آب زیرزمینی شده است. در دوره آتی تحت اثر تغییر اقلیم نیز کاهش بارش موجب کاهش آب نفوذیافته به منابع آب زیرزمینی شده و علاوه بر آن بر اثر کاهش میزان رواناب حاصله، میزان تغذیه سفره آب زیرزمینی از آب‌های سطحی کاهش می‌یابد. بدین ترتیب ادامه روند برداشت بی‌رویه موجود به همراه اثرات تغییر اقلیم منجر به کاهش چشمگیر و نابودی این منبع با ارزش می‌گردد. به طوری که حجم سفره آب زیرزمینی از ۲۴۳۲۶ میلیون مترمکعب در دوره پایه به ۱۶۲۰۹ میلیون مترمکعب در دوره آتی کاهش خواهد یافت.

۳-۴- شبیه‌سازی تغییرات نشانگرهای اقتصادی-اجتماعی در بخش‌های خدمات، صنعت و کشاورزی حوضه در دوره‌های پایه
به منظور بررسی تغییرات در شرایط اقتصادی-اجتماعی دوره آتی، ابتدا شرایط موجود بر اساس نتایج حاصل از اجرای مدل شبیه‌ساز در این دوره (۲۰۱۱-۲۰۱۱) مورد ارزیابی قرار گرفت.

همچنین در مجموع بارش کل حوضه در دوره آتی تا حدود ۱۰ درصد نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت. همچنین بر اساس نتایج شکل ۵، دما در تمامی ۵ زیرحوضه منطقه افزایشی بوده بطوریکه میانگین سالانه دمای حوضه به میزان ۲/۳ درجه افزایش خواهد یافت.

۳-۳- شبیه‌سازی تغییرات رواناب سطحی و زیرزمینی حوضه در دوره‌های آتی

بمنظور شبیه‌سازی وضعیت رواناب منطقه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹، مقادیر سری زمانی دما و بارش ترکیب یافته (Ensemble) هر ایستگاه در دوره آتی (حاصل از سه مدل AOGCM و سه روش ریزمقیاس‌نمایی) به مدل شبیه‌ساز پویای منطقه معرفی گردید و رواناب موجود در ۵ زیرحوضه منطقه و ورودی به دریاچه شبیه‌سازی گردید. با توجه به جدول (۳)، نتایج نشان می‌دهد که بدلیل کاهش بارش و افزایش دما در حوضه، میانگین سالانه رواناب حوضه (بدون احتساب مصارف) به میزان ۶/۸ درصد در دوره آتی نسبت به شرایط دوره پایه کاهش خواهد یافت. همچنین بدلیل ادامه روند موجود توسعه و برداشت از آب‌های سطحی در نواحی مختلف حوضه به همراه کاهش بارش بر اثر تغییر اقلیم در دوره آتی، منابع آب سطحی حوضه و در نتیجه میانگین سالانه جریان ورودی به دریاچه کاهش یافته و از مقدار ۴۵۶ میلیون مترمکعب در ۱۰ سال اخیر به حدود ۱۰۲ میلیون مترمکعب در

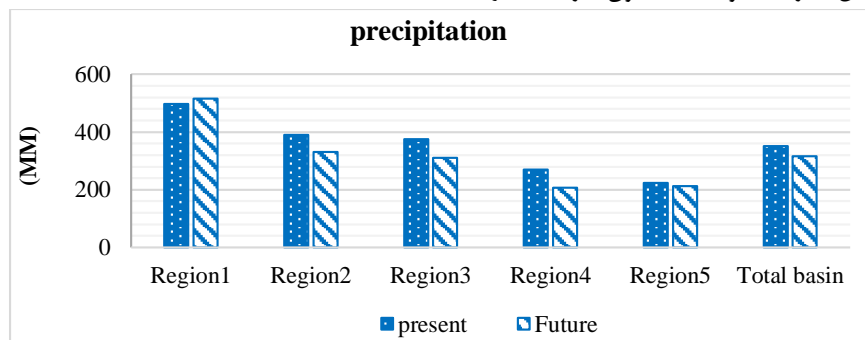


Fig. 4- Future precipitation of sub-basins in comparison with that of present
شکل ۴- وضعیت بارش در زیرحوضه‌ها در دوره پایه (۲۰۱۱-۲۰۱۱) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۹)

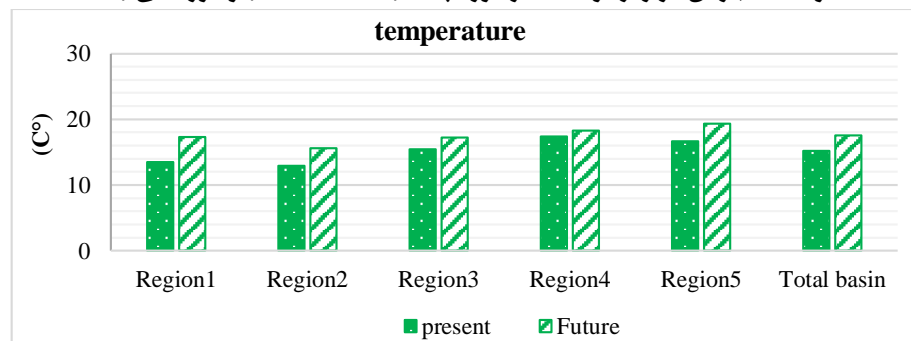


Fig. 5- Future temperature of sub-basins in comparison with that of present
شکل ۵- وضعیت دما در زیرحوضه‌ها در دوره پایه (۲۰۱۱-۲۰۱۱) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۹)

Table 3- Comparing the Status of water resources in the sub-basins for the base period (2001-2011) versus the future period (2020-2049)

جدول ۳- مقایسه وضعیت منابع آب ۵ زیرحوضه در دوره پایه (۲۰۱۱-۲۰۰۱) با دوره آتی (۲۰۴۹-۲۰۲۰)

Area	Ground water(MCM)		Runoff(MCM)		Inflow to Lake(MCM)	
	Present	Future	Present	Future	Present	Future
Sub basin 1	3442	3395	1294	1342	-	-
Sub basin 2	5509	2836	349	286	-	-
Sub basin 3			752	622	-	-
Sub basin 4	13638	9034	64	39	-	-
Sub basin 5	17388	943	16	15	-	-
Basin	24326	16209	2480	2305	456	102

است. در نتیجه این روند علاوه بر ضعیفتر شدن سایر بخش‌های اقتصادی (به خصوص صنعت) و عدم توانایی این بخش‌ها در جذب سرمایه مناسب، منابع آب و نیروی کار، منجر به از دست رفتن هر چه بیشتر منابع آبی و ایجاد شرایط ناپایدار در حوضه می‌شود.

۳-۵- شبیه‌سازی تغییرات نشانگرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در بخش‌های خدمات، صنعت و کشاورزی حوضه در دوره‌های آتی

با فرض ادامه روند ساختار موجود در حوضه در دوره آتی و تحت شرایط تغییر اقلیم بر اساس نتایج مدل شبیه‌سازی پویا، نشانگرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی امنیت آبی محاسبه گردید.

شکل ۶ وضعیت برداشتها و آب برگشتی سه فعالیت اقتصادی خدمات، صنعت و کشاورزی را در منطقه در شرایط فعلی نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، بخش کشاورزی با حدود ۹۶ درصد بیشترین برداشت کننده آب در حوزه آبریز طشک-بختگان می‌باشد که این امر، به دلیل ارزش افزوده بالا در بخش کشاورزی و شکل‌گیری مکانیزیم پیروزی در پی پیروزی و تخصیص فزاینده آب به این بخش ایجاد شده‌است. این در حالی است که بر اساس این شکل نه تنها نسبت آب بازگشتی به آب برداشتی در این بخش نیز کمتر از دو بخش صنعت و خدمات می‌باشد بلکه بر اساس جدول ۴ که شامل نشانگرهای اقتصادی و اجتماعی بخش‌های مختلف در دوره پایه می‌باشد، بهره‌وری آب، بهره‌وری نیروی کار و بهره‌وری اشتغال در بخش کشاورزی نسبت به بخش‌های صنعت و خدمات به مراتب پایین‌تر

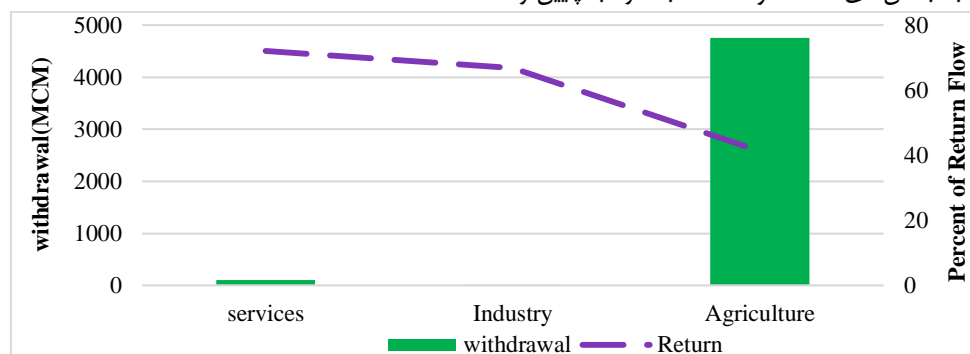


Fig. 6- Average water withdrawal and return flow associated to the different economic sectors 2001-2011 (Jamab, 2013)

شکل ۶- متوسط نسبت برداشتها و آب برگشتی هر یک از فعالیت‌های اقتصادی در حوزه آبریز طشک-بختگان (۲۰۱۱-۲۰۰۱)

Table 4- Economic indicators in service, industrial and agricultural sectors for the whole basin in the base period (2001-2011)

جدول ۴- نشانگرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در بخش‌های خدمات، صنعت و کشاورزی کل حوضه در دوره پایه (۲۰۱۱-۲۰۰۱) (هزینه‌ها و درآمدها براساس قیمت‌های ثابت سال پایه‌ی ۱۳۹۰ بیان شده‌اند)

Types of consumption	Economic water Productivity IRR/m^3	Employment productivity (person/MCM)	Labor productivity (10^6 IRR/ person)	Added value (10^6 IRR)
Services	599295	2580	231	18,296,426
Industry	2643248	9811	238	1,521,271
Agriculture	2076	41	51	5,785,202

به منظور مقایسه این نشانگرها در دوره پایه و آتی، مقادیر این نشانگرها و مقادیر نرم آنها با استفاده از روش نرم خطی نرمال (بی‌بعد) شده و در نمودار رادار ترسیم گردید. در این دیاگرام میزان انحراف از مقادیر نرم به منزله‌ی فاصله از برقراری شرایط امنیت آبی در حوضه می‌باشد. شکل ۷ دیاگرام وضعیت نشانگرها را در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در دوره پایه و آتی نسبت به نرم‌های جهانی و کشوری (جدول ۲) نشان می‌دهد. شکل (۷-الف) نشانگرهای امنیت آبی را با معیار زیست‌محیطی بررسی می‌کند در هر دو دوره پایه و آتی شدت مصرف آب و وابستگی به منابع آب زیرزمینی از حالت نرم بیشتر بوده و با توجه به سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی تحت تأثیر مصرف در این بخش می‌باشد. همچنین با ادامه روند موجود در دوره آتی، حجم استاتیک آبخوان نیز مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت. حقایق زیست‌محیطی دریاچه به ازای عملکرد زیست‌محیطی (حدود ۷۳۰۰۰ تعداد فلامینگو) و اقتصادی آن (حدود ۱۶۰۰۰ تن انجیر) (Bagheri, 2016) نه در دوره پایه و نه در دوره آتی تأمین نشده بلکه در دوره آتی با کاهش شدید روبرو شده که سبب نابودی این حیات زیستی می‌گردد. بر اساس نتایج این شکل (۷-ب)، سهم مصرف آب در بخش خدمات و صنعت در دوره پایه و آتی به مراتب کمتر و در بخش کشاورزی بیشتر از حالت نرم بوده و بهره‌وری اقتصادی آب حوضه در دوره پایه و آتی نسبت به مقدار نرم آن کمتر می‌باشد که متأثر از بهره‌وری پایین اقتصادی بخش کشاورزی در این حوضه می‌باشد. با ادامه روند موجود در دوره آتی بهره‌وری اقتصادی بخش خدمات با توجه به رشد جمعیت حوضه در دوره آتی بیش از دوره پایه بوده در صورتی که بهره‌وری اقتصادی بخش صنعت در دوره آتی به سبب جذب سرمایه در بخش کشاورزی کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل (۷-ج)، در این حوضه سهم اشتغال در بخش کشاورزی تحت شرایط پایه و آتی بیشتر از سهم اشتغال دو بخش صنعت و خدمات در این شرایط و نسبت به حالت نرم می‌باشد که این مطلب گویای آسیب‌پذیری بالای اجتماعی حوضه در شرایط تغییر اقلیم به همراه کاهش منابع آب می‌باشد. همچنین بهره‌وری اشتغال در کل حوضه در حالت نرم بیشتر از مقادیر دوره پایه و آتی می‌باشد در صورتی که بهره‌وری اشتغال حوضه در بخش خدمات بیشتر از حالت نرم بوده و این اختلاف به سبب بهره‌وری پایین اشتغال در بخش صنعت و کشاورزی ایجاد شده است. از آنجا که بخش کشاورزی وابستگی زیادی به آب داشته و تغییرات آن منتج از تغییر میزان آب در دسترس می‌باشد. بهره‌وری نیروی کار حوضه نیز به دلیل بهره‌وری پایین نیروی کار در بخش کشاورزی از مقدار نرم آن کمتر می‌باشد. ادامه روند موجود توسعه در دوره آتی بدون در نظر گرفتن معیارهای اجتماعی (اشتغال) و زیست‌محیطی (اکوسیستم دریاچه)، موجب از دست رفتن منابع حوضه و افزایش مشکلات اجتماعی از جمله بیکاری شده و عامل اصلی

ناپایداری سیستم می‌باشد و تغییر اقلیم نیز در این راستا با کاهش منابع آب در دسترس بر سرعت کاهش عملکرد سیستم در ابعاد زیست‌محیطی، سیاسی و اجتماعی می‌افزاید. در صورتی که به دلیل حساسیت کمتر بخش‌های خدمات و صنعت نسبت به میزان آب در دسترس، توسعه در این بخش‌ها می‌تواند سبب پایداری منطقه از لحاظ بعد امنیت آبی گردد.

۳-۶- بررسی اثر راه‌کارهای سازگاری در تغییر نشانگرهای امنیت آبی

با توجه به شرایط حاکم بر منطقه، راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم در جهت رفع ساختارهای معیوب (توضیح در بخش ۳-۲) و بهبود نشانگرهای امنیت آبی حوضه نسبت به اثرات تغییر اقلیم ارائه گردید (بخش ۴). شکل‌های (۸ الف-ب-ج) مقادیر نرمال شده نشانگرهای امنیت آبی را در ازای اجرای هر یک از این راهکارها در دوره آتی نسبت به مقادیر نرم و شرایط پایه متناظر آن‌ها نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، راهکار S1 (افزایش ۱۵ درصد راندمان آبیاری) به سبب بهره‌وری پایین اقتصادی بخش کشاورزی پیشنهاد شده و با افزایش راندمان آبیاری علاوه بر رهاسازی آب به سمت دریاچه سبب افزایش بهره‌وری اقتصادی و سهم اشتغال در این بخش و در نتیجه افزایش بهره‌وری اقتصادی کل حوضه می‌گردد. در عین حال به دلیل افزایش سطح زیرکشت و کاهش نفوذ، نشانگر شدت مصرف را افزایش داده و باعث بهره‌برداری از حجم ذخیره ثابت منابع آب زیرزمینی می‌گردد. راهکار S2 با کاهش یک سوم سطح زیر کشت، حقایق زیست‌محیطی دریاچه را میزان بیشتری از راهکار S1 (۲۵۷ میلیون مترمکعب) افزایش داده و باعث کاهش وابستگی به آب زیرزمینی، افزایش حجم سفره آب زیرزمینی و عدم برداشت از حجم ذخیره ثابت آن می‌گردد. همچنین با کاهش سهم مصرف آب و سهم اشتغال در بخش کشاورزی نسبت به شرایط بدون اعمال راهکار سبب افزایش سهم مصرف آب و اشتغال در بخش خدمات و صنعت و در نتیجه افزایش بهره‌وری اشتغال و بهره‌وری نیروی کار بخش کشاورزی را کاهش داده که با توجه به وابستگی اقتصاد حوضه به کشاورزی، سبب کاهش بهره‌وری نیروی کار و سرانه درآمد در حوضه می‌گردد. راهکار ترکیبی S3 با افزایش راندمان و کاهش سطح زیر کشت، کمترین میزان نشانگر شدت مصرف آب و بیشترین میزان نشانگر حقایق زیست‌محیطی را دارا می‌باشد و علاوه بر کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی، با کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی سبب عدم تجاوز به حجم ذخیره ثابت آبخوان شده و به عبارتی اثر افزایش راندمان را در کاهش حجم آبخوان تعدیل می‌نماید.

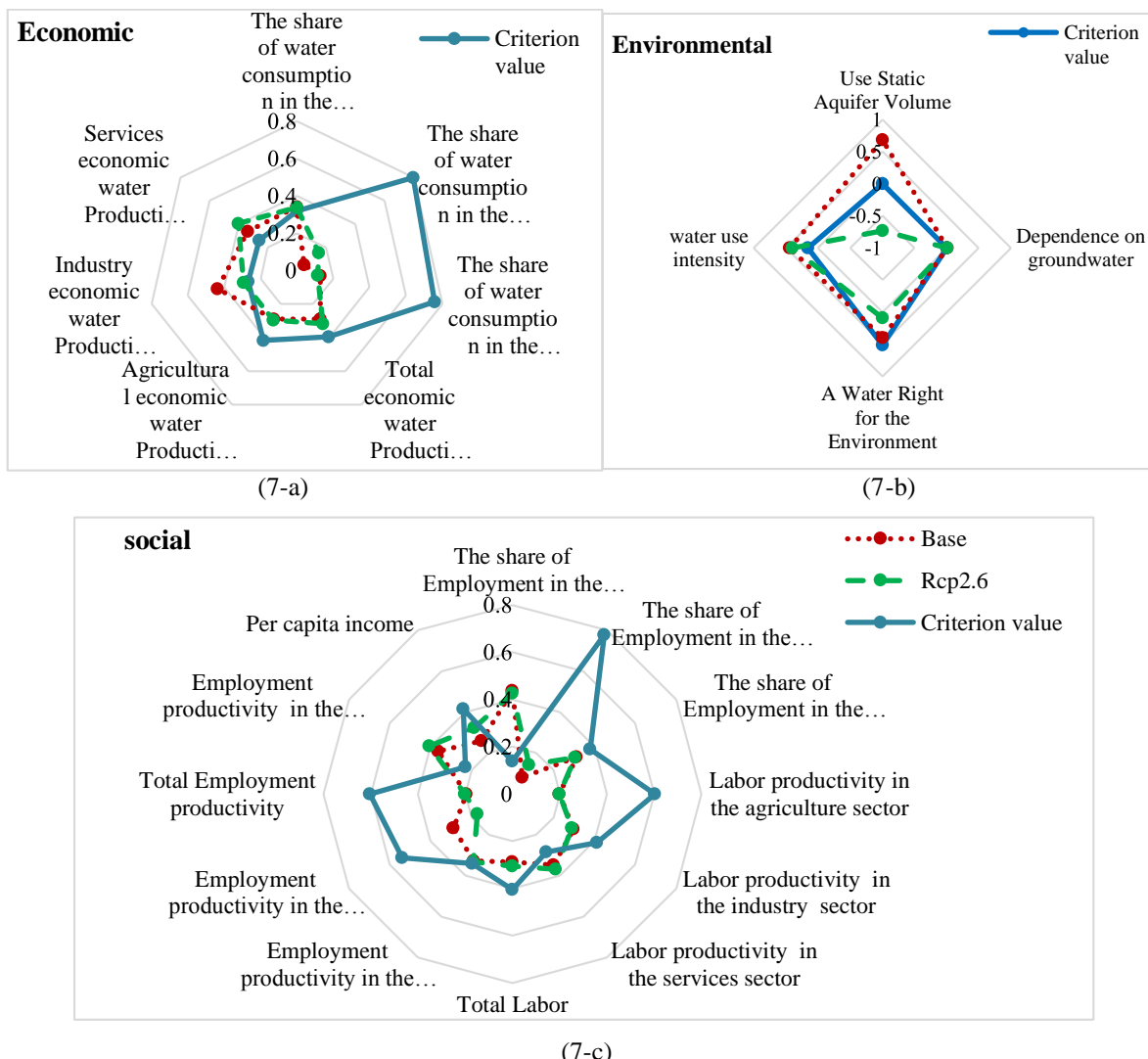


Fig. 7- The diagram of the status of water security indicators: (a) Environment (b) Economic and (c) social
 شکل ۷- دیاگرام وضعیت نشانگرهای امنیت آبی: (الف) زیست‌محیطی، (ب) اقتصادی و (ج) اجتماعی

حوضه از میزان نرم کشوری آن کمتر می‌باشد که بیانگر ضرورت توسعه دیگر بنگاه‌های اقتصادی در بخش خدمات و صنعت می‌باشد. بررسی و مقایسه نشانگرهای امنیت آبی در هر یک از زیرمجموعه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی بیانگر حساسیت‌های متفاوت این نشانگرها نسبت به گزینه‌های سیاستی می‌باشد با توجه به اجرای گزینه‌های سیاستی در بخش کشاورزی و مصرف بالای آب در این بخش، تغییر در نشانگرهای حقایق محیط زیست و حجم ذخیره ثابت آبخوان از میان نشانگرهای زیست‌محیطی محسوس‌تر می‌باشد. همچنین تغییر در میزان آب کشاورزی به ازای اجرای هر یک از سیاست‌ها ابتدا بر روی بهره‌وری اشتغال (نفر به ازای مترمکعب مصرف آب) در بخش کشاورزی و در نتیجه بهره‌وری اشتغال کل حوضه تأثیرگذار می‌باشد و این در حالی است که به سبب ارزش افزوده بالا در دیگر بخش‌ها، تغییرات بهره‌وری نیروی کار (ریال به ازای هر نفر)

این راهکار سهم مصرف آب صنعت و خدمات را نسبت به هر دو راهکار مذکور افزایش داده و علاوه بر کاهش سهم آب کشاورزی سبب افزایش بهره‌وری اقتصادی بخش کشاورزی و کل حوضه می‌گردد. این راهکار بیشترین بهره‌وری اشتغال را ایجاد نموده و بهره‌وری نیروی کار و سرانه درآمد را نسبت به راهکار S2 تعدیل می‌نماید. با توجه به نتایج حاصل، راهکار S1 با وجود بهره‌وری نیروی کار و سرانه درآمد بیشتر نسبت به دو راهکار دیگر، از بعد اقتصادی و زیست‌محیطی توجیه‌پذیر نمی‌باشد. از سویی دیگر با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی و اجتماعی، در راهکار S2 نیز افزایش حجم سفره آب زیرزمینی توجیه کننده این راهکار نسبت به راهکار S3 نبوده و از این رو راهکار S3 جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم و افزایش عملکرد نشانگرهای امنیت آبی توصیه می‌گردد. علی‌رغم اعمال راهکارهای فوق، بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، بهره‌وری اشتغال و نیروی کار و سرانه درآمد در

در بخش کشاورزی در سیاست‌های مختلف سهم کمتری را در تغییر نشانگرهای اجتماعی امنیت آبی، تغییر در بهره‌وری اشتغال محسوس‌تر بهره‌وری نیروی کار کل حوضه دارا می‌باشد. بنابراین در میان سری است.

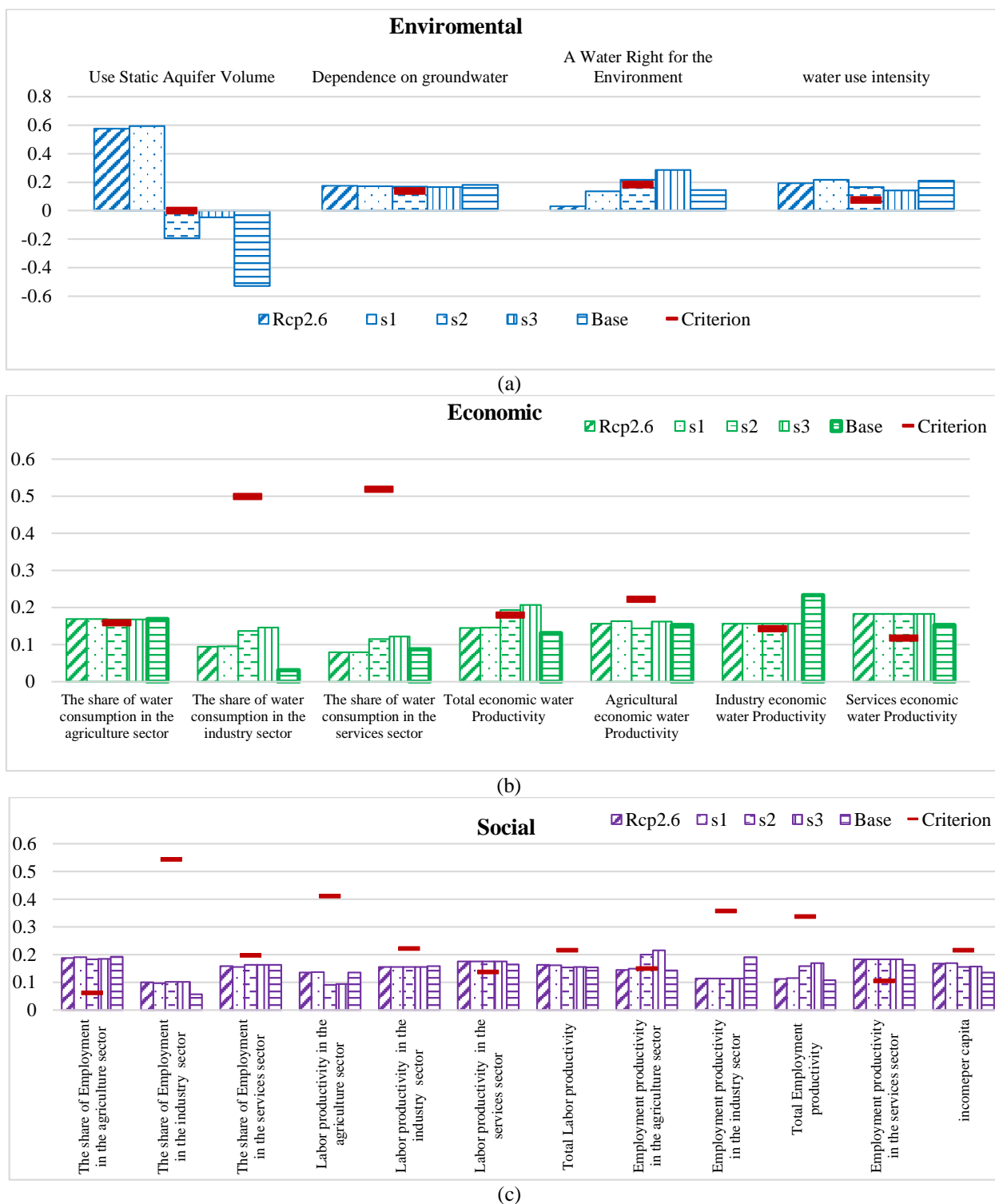


Fig. 8- Water security indicators for climate change adaptation strategies: (a) Environment, (b) Economic, (c) social

شکل ۸- مقادیر نشانگرهای امنیت آبی برای راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم: (الف) زیست محیطی، (ب) اقتصادی و (ج) اجتماعی

در سری نشانگرهای اقتصادی نیز بهره‌وری اقتصادی آب در حوضه به دلیل کاهش سهم آب بخش کشاورزی با بهره‌وری پایین، تغییرات محسوسی را نشان می‌دهد. بنابراین در میزان حساسیت این نشانگرها نسبت به راهکارهای مختلف شرایط حوضه آبریز نیز دخیل می‌باشد.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این تحقیق اثرات نامطلوب تغییر اقلیم بر سیستم یکپارچه منابع آب با هدف ارائه راهکار جهت کاهش این اثرات و ایجاد شرایط پایدار در دوره آبی مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اندرکنش میان بخش‌های مختلف و ساختارهای تأثیرگذار بر منطقه از رویکرد پویایی سیستم‌ها به منظور شبیه‌سازی رفتار واقعی سیستم استفاده گردید. در نهایت با شناسایی ساختارهای معیوب و ارزیابی اقتصادی شرایط موجود و همچنین مقایسه آن با شرایط دوره آبی تحت اثر تغییر اقلیم توسط نشانگرهای امنیت آبی سیاست‌هایی جهت اصلاح الگوهای موجود و ثبات اقتصادی-اجتماعی جهت کاهش آسیب‌پذیری سیستم در دوره آبی ارائه گردید. نتیجه‌گیری و پیشنهادها حاصل از این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- با توجه به وجود الگوی رشد و افول در حوضه، توسعه کشاورزی خسارت جبران‌ناپذیری به منابع آب زیرزمینی وارد نموده که در دوره آبی و با کاهش منابع آب سطحی این روند تشدید شده و منجر به شکست سیستم (استفاده از ذخیره ثابت و از بین رفتن این منبع با ارزش) خواهد شد. از این رو اعمال محدودیت در برداشت آب به همراه کاشت محصولات با نیاز آبی کمتر و ارزش افزوده بالاتر می‌تواند علاوه بر افزایش بهره‌وری اقتصادی بخش کشاورزی باعث جلوگیری از روند افزایشی افت سفره آب زیرزمینی گردد که با توجه به وابستگی بخش کشاورزی به آب و کاهش منابع آب در دوره آبی، این راهکار در نهایت به نفع کشاورزان نیز می‌باشد.

۲- تمرکز بر بخش کشاورزی به عنوان محور توسعه اقتصادی، باعث شکل‌گیری ساختار پیروزی در پی پیروزی و رشد ناهماهنگ (تضعیف) دو بخش خدمات و صنعت شده است. با توجه به اینکه آب نهاده اصلی در بخش کشاورزی محسوب می‌گردد. حساسیت این بخش نسبت به تغییرات میزان آب در دسترس بیشتر بوده و در نتیجه ریسک اقتصادی حاصل از این فعالیت نیز بیشتر می‌باشد در حالی که وابستگی بخش‌های صنعت و خدمات به منابع آب کمتر بوده و با تغییر در میزان آب در دسترس حتی تحت اثر تغییر اقلیم کمتر دچار تنش شده و با تغییرات کمتری در سود اقتصادی خود مواجه می‌گردند. در نتیجه توسعه این فعالیت‌ها جهت کاهش ریسک و برقراری ثبات اقتصادی در منطقه، پیشنهاد می‌شود. با در نظر گرفتن بهره‌وری بالای اشتغال و نیروی کار دو بخش خدمات و صنعت، سیاست ترکیب بخشی به اشتغال با توسعه

این دو فعالیت توصیه شده که موجب کاهش آسیب‌پذیری حوضه در برابر اثرات تغییر اقلیم می‌گردد. علاوه بر این توسعه در این دو بخش به دلیل مصرف پایین آب و بهره‌وری بالای اقتصادی آب در آن دو موجب افزایش نشانگرهای امنیت آبی و حفظ منابع آبی می‌باشد.

۳- درآمد به عنوان نیروی محرکه سبب افزایش فعالیت کشاورزی شده که این خود منجر به بهره‌برداری رقابتی از منابع آب زیرزمینی زیرحوضه‌ای ۳ و ۴ و شکل‌گیری تراژدی منابع مشترک گشته است. از اینرو جهت پیشنهاد می‌گردد با تغییر در الگوی اقتصادی و اشتغال منطقه از کشاورزی به دیگر فعالیت‌های اقتصادی با مصرف آب کمتر و کسب درآمد از آن‌ها به خصوص در زیرحوضه ۴ به دلیل کاهش بیش از حد و افزایش شوری منابع آب زیرزمینی این زیرحوضه، این ساختار معیوب رفع گردد.

۴- با توجه به الگوی راه حل‌های منجر به شکست در زیرحوضه‌های ۳ و ۴، مدیریت عرضه آب (مانند احداث سد و شبکه و انتقال بین حوضه‌ای) به تنهایی قادر به حل مشکل کمبود آب حوضه نبوده و با افزایش تقاضا (افزایش زمین‌های تحت کشت) مواجه شده است، از اینرو مدیریتی یکپارچه با لحاظ راهکارهایی در جهت کاهش تقاضا از جمله تغییر الگوی اقتصادی از کشاورزی به صنعت و خدمات ضرورت می‌یابد.

۵- علاوه بر مسائل اقتصادی، بحث اشتغال نیز در برقراری شرایط پایدار در منطقه حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به اینکه سهم بالایی از افراد شاغل این منطقه را کشاورزان تشکیل می‌دهند، کاهش سهم آب کشاورزی و تخصیص آن به بخش صنعت در کوتاه‌مدت ساکنان را با مشکل بیکاری مواجه خواهد نمود؛ زیرا اشتغال در بخش صنایع، نیازمند مهارت و آگاهی می‌باشد. بنابراین سرمایه‌گذاری جهت توسعه بخش صنعت باید به گونه‌ای انجام شود که علاوه بر ایجاد شغل بیشتر با توجه به جمعیت نیروی کار منطقه، برخلاف صنایع پیشرفته به مهارت و تحصیلات خاصی نیازمند نبوده و با یک دوره آموزشی کوتاه مدت، نیروی کار محلی بتواند جذب آن گردد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Vensim
- 2- Simulink
- 3- Atmosphere-Ocean General Circulation Model
- 4- Coupled Model Inter comparison Phase 3
- 5- Coupled Model Inter comparison Phase 5
- 6- LARS
- 7- SDSM
- 8- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC
- 9- Second Generation Canadian Earth System Model CanESM2
- 10- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Earth System Model 2G GFDL-ESM2G

- Bagheri A, Hosseini SA (2011) A system dynamics approach to assess water resources development scheme in the Mashhad plain, Iran, versus sustainability. In: Pro. of the 4th International Perspective on Water Resources & the Environment (IPWE), Jan, Singapore
- Bagheri MH (2016) Determining the objectives for revitalization of Bakhtegan Lake and calculating the corresponding environmental water requirement based on a comprehensive approach. Agriculture department, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University (In Persian)
- Biesbroek GR, Swart RJ, Carter TR, Cowan C, Henrichs T, Mela H, Rey D (2010) Europe adapts to climate change: comparing national adaptation strategies. *Journal of Global Environmental Change* 20(3):440-450
- Bürger G, Sobie S, Cannon A, Werner A, Murdock T (2013) Downscaling extremes: An intercomparison of multiple methods for future climate. *Journal of Climate* 26(10):3429-3449
- Bürger G (1996) Expanded downscaling for generating local weather scenarios. *Climate Research*, 7(2):111-128
- Bürger G, Murdock TQ, Werner AT, Sobie SR, Cannon AJ (2012) Downscaling extremes an intercomparison of multiple statistical methods for present climate. *Journal of Climate* 25(12):4366-4388
- De Moraes Sá JC, Lal R, Cerri CC, Lorenz K, Hungria M, de Faccio Carvalho PC (2017) Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Journal of Environment International* 98:102-112
- Dorji S, Herath S, Mishra BK (2017) Future climate of Colombo downscaled with SDSM. *Journal of Neural Network Climate* 5(1):24
- Farajzadeh M, Oji R, Cannon A, Ghavidel Y, Bavani AM (2015) An evaluation of single-site statistical downscaling techniques in terms of indices of climate extremes for the Midwest of Iran. *Journal of Theoretical and Applied Climatology* 120(1-2):377-390
- Farmanbar Z, Delavar M, Imani Amirabadi S (2018) The effects of climate change on water resources and agricultural systems in the context of regional risk assessment (Case study: Lake Zarebar Basin). *Journal of Iran-Water Resources Research* 13(4):75-88 (In Persian)
- Fernandes MR, Segurado P, Jauch E, Ferreira MT (2016) Riparian responses to extreme climate and land-use
- 11- Max Planck Institute Earth System Model, Low Resolution MPI-ESM-LR
- 12- Fifth Assessment Report, AR5
- 13- Representative Concentration Pathway, RCP
- 14- Expanded Downscaling (ModExDs)
- 15- Sequential k-Nearest Neighbor Imputation Method
- 16- Statistical Downscaling Model-Decision Centric
- 17- DNA Microarray Data
- 18- Causal Loop Diagram
- 19- Limit to Growth
- 20- Success to the Successful
- 21- Fixes That Backfire
- 22- Tragedy of the Commons Pool
- 23- Pearson Correlation
- 24- Mean Absolute Error
- 25- Ensemble

۵- مراجع

- Aghakhani Afshar AM, Hassanzadeh Y, Besalatpour AA, Pourreza Bilondi M (2016) Seasonal changes of precipitation and temperature of mountainous watersheds in future periods with approach of fifth report of Intergovernmental Panel on Climate Change (Case study: Kashafrood Watershed Basin). *Journal of Water and Soil* 30(5):1718-1732 (In Persian)
- Alley WM, Reilly TE, Franke OL (1999) Sustainability of ground-water resources (Vol. 1186). US Department of the Interior, US Geological Survey (USGS)
- Arora V, Scinocca J, Boer G, Christian J, Denman K, Flato G, Merryfield, W (2011) Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. *Geophysical Research Letters* 38(5)
- Arshadi M, Bagheri A (2014) A System dynamic approach to sustainability analysis in Karun River basin, Iran. *Journal of Iran-Water Resources Research* 9(3):1-13(In Persian)
- Aswathy S, Sajikumar N, Mehra M (2016) Watershed modelling using control system concept. *Journal of Procedia Technology* 24:39-46
- Babaeian F, Bagheri A, Rafieian M (2016) Vulnerability analysis of water resources systems to water scarcity based on a water accounting framework (Case Study: Rafsanjan Study Area). *Journal of Water Resources Research* 12(1):1-17 (In Persian)
- Bagheri A, Hjorth P (2007) A framework for process indicators to monitor for sustainable development: practice to an urban water system Environment. *Journal of Development and Sustainability* 9(2):143-161

- Liu M, Xu X, Xu C, Sun AY, Wang K, Scanlon BR, Zhang L (2017) A new drought index that considers the joint effects of climate and land surface change. *Journal of Water Resources Research* 53(4):3262-3278
- Makropoulos C, Natsis K, Liu S, Mittas K, Butler D (2008) Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. *Journal of Environmental Modelling and Software* 23(12):1448-1460
- Management and Planning Organization, Jamab Consultant Engineering Company (2005) Master plan on adaptation to climate change (Balance between supply and demand in the basins, The status quo and the future conditions, Kavir Daranjir-Saghand Basin. Technical Report, Vol 1 (In Persian)
- Ministry of Energy (2011b) National water master plan-groundwater assessment in Kavir DaranjirSaghand basin, Technical Report, Vol 5 (In Persian)
- Panahi E, Bafkar A, Hafezparast M (2017) Assessment of sustainable mmanagement alternatives of jamishan watershed in the climate scenarios. *Journal of Iran-Water Resources Research* 13(1):139-151 (In Persian)
- Pires VF, Silva JFA (2002) Teaching nonlinear modeling, simulation, and control of electronic power converters using MATLAB/SIMULINK. *IEEE Transactions on Education* 45(3):253-261
- Rahimi Khoob H, Sotoudeh Nia A, Massah Bavani AR, Gohari A (2015) Integrated assessment of climate change effects on water resources and agriculture systems of Hashtgerd Plain using the dynamic systems approach. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 46(2):183-193 (In Persian)
- Sakellari I, Makropoulos C, Butler D, Memon FA (2005) Modelling sustainable urban water management options. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, Thomas Telford Ltd 158(3):143-153
- Shabani S, Monem MJ, Bagheri A (2015) System dynamic model for foomanat irrigation network improvement from adequacy and equity point of view. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 4(8):826-836 (In Persian)
- Soares F, Branco PC (2001) Simulation of a 6/4 switched reluctance motor based on Matlab/Simulink environment. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 37(3):989-1009
- Su X, Gough W, Shen Q (2016) Correlation of PM2.5 and meteorological variables in Ontario cities: statistical downscaling method coupled with change scenarios. *Journal of Science of the Total Environment* 569:145-158
- Forrester JW (1961) *Industrial dynamics*. MIT Press, Cambridge, MA
- Füssel HM, Klein RJ (2006) Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Journal of Climatic Change* 75(3):301-329
- Gemitzi A, Ajami H, Richnow HH (2017) Developing empirical monthly groundwater recharge equations based on modeling and remote sensing data-Modeling future groundwater recharge to predict potential climate change impacts. *Journal of Hydrology* 546:1-13
- Ghashghaei M, Bagheri A, Morid S (2013) Rainfall-runoff modeling in a watershed scale using an object oriented approach based on the concepts of system dynamics. *Journal of Water Resources Management* 27(15):5119-5141
- Gohari A, Mirchi A, Madani K (2017) System dynamics evaluation of climate change adaptation strategies for water resources management in central Iran. *Journal of Water Resources Management* 31(5):1413-1434
- Gosling SN, Zaherpour J, Mount NJ, Hattermann FF, Dankers R, Arheimer B, Kumar R (2017) A comparison of changes in river runoff from multiple global and catchment-scale hydrological models under global warming scenarios of 1 C, 2 C and 3 C. *Journal of Climatic Change* 141(3):577-595
- IPCC Fifth Assessment Synthesis Report-Climate Change (2014) Synthesis report assessment report. Cambridge University Press
- Iran Water Resource Management Company, Farsab Sanat consulting Engineers (2016) Water resources balance updating of Study Areas Basin, Tashk-Bakhtegan and Maharloo Lakes Basin
- Jalali A (2017) Integrated assessment of system of water resources management in a basin level: case study, Tashk-Bakhtegan lake basin, M.Sc. Thesis, Agriculture department, Tarbiat Modares University (In Persian)
- Khalili M, Brissette F, Leconte R (2011) Effectiveness of multiSite weather generator for hydrological modeling JAWRA. *Journal of the American Water Resources Association* 47(2):303-314
- Kim KY, Cha IH, Ahn JB, Kim NK, Rha SY, Chung HC, Shin SJ (2013) Estimating the adjuvant chemotherapy effect in elderly stage II and III colon cancer patients in an observational study. *Journal of Surgical Oncology* 107(6):613-618

- Adaptation Strategies for Global Change 21(2):233-247
- Water and Wastewater Planning Office, Jamab Consulting Engineering (2013) Improvement studies of water basin comprehensive plans, Tashk-Bakhtegan and Maharloo Lakes Basin. Technical Report (In Persian)
- Wilby RL, Dawson CW, Barrow EM (2002) SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Journal of Environmental Modelling and Software* 17(2):145-157
- Wilby RL, Dawson CW (2007) SDSM 4 2-A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User Manual London, UK
- Wilby RL, Dawson CW (2013) The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology* 33(7):1707-1719
- Zhou XY, Lei K, Meng W, Khu ST, Zhao J, Wang M, Yang J (2017) Space-time approach to water environment carrying capacity calculation. *Journal of Cleaner Production* 149:302-312
- artificial neural network. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 207:215-226
- Tzabiras J, Loukas A, Vasiliades L (2016) A hybrid downscaling approach for the estimation of climate change effects on droughts using a geo-information tool (Case study: Thessaly), Central Greece. *Open Geosciences* 8(1):728-746
- United Nations Statistics Division (UNSD) (2012) System of environmental-economic accounting for water. Technical Report
- Vaighan AA, Talebbeydokhti N, Massah Bavani AR (2017) Assessing the impacts of climate and land use change on streamflow, water quality and suspended sediment in the Kor River Basin, Southwest of Iran. *Journal of Environmental Earth Sciences* 76(15):543
- Venkat K (2011) The climate change and economic impacts of food waste in the United States. *International Journal on Food System Dynamics* 2(4):431-446
- Wang Xj, Zhang Jy, Ali M, Shahid S, He Rm, Xia Xh, Jiang Z (2016) Impact of climate change on regional irrigation water demand in Baojixia irrigation district of China. *Journal of Mitigation and*