

Research Paper

Socio-hydrology Modeling with Changing Community Preferences in the Tashk-Bakhtegan Basin

Behzad Rahnama¹, Nilufar Najafi Tokhoshkeh², Farzin Nasiri Saleh^{3*}, Majid Koosheshi⁴, Reza Rafiei Atani²

1. Ph.D. student of Engineering and water resources management, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2. M.sc. Graduated of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3. Assistant professor at Department of Water Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
4. Assistant professor at Department of Demography, Faculty of Social Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

Received:2020/11/18

Revised:2021/02/07

Accepted:2021/04/15

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/wej.2022.26555.2279

Keywords:

Socio-hydrology, Community sensitivity variable, behavioral response, Tashk-Bakhtegan basin.

Abstract

Introduction: Agricultural development upstream of Tashk and Bakhtegan lakes along with droughts of the 2000s, has led to a sharp decline in the water surface of the lakes. This study demonstrates the potential of social-hydrology modeling to describe coupled human-water systems with simple concepts and relationships.

Methods: The focus of this study is on the development of a Socio-hydrological conceptual model in order to simulate the interactions between community response and hydrology in the Tashk-Bakhtegan basin. For the social submodel, the variables of community sensitivity and behavioral response are used, and for the hydrological submodel, the developed water balance model for the arid and semi-arid basins is used. Due to the vastness of the basin and the various features in different regions, it has been hypothesized that changes in human preferences and community sensitivities for upstream and downstream residents of the basin may be different. The time range of this research is from 1996 to 2013.

Findings: The selection of factors affecting the community sensitivity was an acceptable choice, because of considering the average error less than 10% in the simulation of cultivated areas. The results of hydrological submodel by considering two soil layers with the the calculated cultivated area as an input, showed the acceptable accuracy of the model in the ability to simulate streamflow in the Tashk-Bakhtegan basin.

Conclusion: The results showed that in the basin upstream areas, which has more rainfall and water resources, the community's perception of the threat to their quality of life is low and the priority of its residents is tendency to use more water and land resources. But in the downstream areas, with environmental issues and scarcity of water resources, people with a high sense of threat to their quality of life have shifted their priority to less use of water and land resources.

Citation: Rahnama B, Najafi Tokhoshkeh N, Nasiri Saleh F, Koosheshi M, Rafiei Atani R. Socio-hydrology modeling with changing community preferences in the Tashk-Bakhtegan Basin. Water Resources Engineering Journal. 2022;14 (51):1-20

*Corresponding author: Farzin Nasiri Saleh

Address: Department of Water Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Tell: +982182883300

Email: nasirisaleh@modares.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

According to increasing human activities in nature and its effects on the environment and water resources, the necessity to change the approach in hydrological modeling is inevitable. Although the linkage between human activities and water in a "system of mutual interaction" has been known for many years, so far little understanding of feedbacks, two-way interactions, and the concept of co-evolution has been possible. Socio-hydrology analyzes how feedbacks and interactions occur and pushes the boundaries of hydrology science toward human acceptance as an integral part of the hydrological cycle. From Researchers' views, agricultural activities play the most important role in changing hydrological conditions and water scarcity. Several location-based socio-hydrological studies have been conducted in agricultural development-dominated watersheds in Australia and China. As the same way in many parts of Iran, increased water extraction for agriculture has led to increased pressure on water resources and environmental degradation. The issue of drying up Tashk and Bakhtegan lakes is an obvious example of this environmental degradation in the country. In this study, socio-hydrology modeling approach is applied for investigation the change of the inhabitants' priority of different areas of the basin over time. The purpose of this modeling is to examine the impact of changes in the values and priorities of society as a stimulus for policy changes in water allocation.

Materials and Methods

The socio-hydrology framework consists of six sections: hydrology of the basin, economic benefits of agriculture, environmental conditions, population, community sensitivity and behavioral response. In this study we try to evaluate the behavior of farmers, their decisions and their interactions on basin water resources. In social submodel, there are two main feedback loops, including the economic-demographic loop and the sensitivity loop.

In fact, the community sensitivity variable has been used to balance the perception of environmental degradation with the climatic, economic and social conditions of the region. The community sensitivity and the demand for development of water extraction and land use (due to population growth and economic needs, etc.) are in opposition to each other and the behavioral response indicates that a society according to its climatic, socio-economic and political conditions, how will the society react to this confrontation?

In this modeling framework, it is assumed that by increasing sensitivity, behavioral and managerial decisions reduce the impact of society on the hydrological conditions of the basin (ie moving towards a more natural environment). In contrast, low sensitivity will be associated with more aggressive behavioral responses to manipulate available water resources to meet society needs (footprint of anthropogenic activities).

The hydrology sub-model has been developed based on the Jazim model (2006), which is a water balance model that uses two soil layers, each of which has a different capacity to maintain its moisture. The upper layer of soil moisture storage provides subsurface flow and the lower layer, in addition to connecting to groundwater, also provides the baseflow. The model input data, precipitation and pan evaporation and the outputs are the time series of simulated streamflow. The time range of this research is from 1996 to 2013.

Findings and Discussion

In the hydrology submodel, 7 parameters are optimized based on error maximization NSE index of computational and observational streamflow values, and in the social submodel, 4 parameters are optimized based on error minimization RMSE index of computational and observational cultivation area using genetic algorithm. Better results are obtained for zones 1, 2 and 5, while maximum values of cultivated area are not well simulated in zones 3 and 4. RMSE values (on average about 10% error in simulation of wheat crop area) indicate the appropriate accuracy of the simulation model.

Considering the characteristics of the basin, such as rainfall conditions and proper water resources in upstream, it is expected that when we move toward the downstream of the basin, the community sensitivity increase and the more people understand the threat to their quality of life. This issue is quite obvious according to the model results. In Zone 1, there is no priority in the farming society over restricting the use of water resources for allocation to lakes, and the simulation results of this variable show that the perception of people in that area has not reached the threshold required to change behavior. In zone 2, there are not many changes in the community sensitivity variable; this means that changes in this area are either very small or there is a balance between the agricultural economic benefits and their views on the health of the basin ecosystem. The results are in line with the reality of what happened in the basin; As in zones 4 and 5, which are located downstream of the basin and are more affected by drought and the consequences of drying lakes, the community sensitivity is higher than other zones. Also, zones 4 and 5 are more sensitive than zone 3 at the end of the modeling period compared to the beginning of the modeling period. Therefore, it is possible that the residents of these two zones have changed their priority to less use of water and land resources. Streamflow simulation results were better for zones 1 and 2 and for zones 3 and 4 in the recent years of the study differed from the actual values. In general, in all study areas, the minimum NSE index for streamflow simulation is 0.65. Streamflow reduction has occurred due to droughts in the basin as well as increased consumption in all sub-basins, which the developed model has been able to simulate this reduction well.

Conclusion

The results showed that in the basin upstream areas, which has more rainfall and water resources, the community's perception of the threat to their quality of life is low and the priority of its residents is tendency to use more water and land

resources. But in the downstream areas, with environmental issues and scarcity of water resources, people with a high sense of threat to their quality of life have shifted their priority to less use of water and land resources. Overall, it can be concluded that in all areas except zone 1, the inclusive behavior of society tends towards long-term collective benefit rather than short-term individual benefit.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

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

Funding

This article is sponsored by Tarbiat Modares University in the form of a Ph.D. thesis of the first author, and thus the authors of the article express their gratitude to Tarbiat Modares University.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Behzad Rahnama.

Methodology and data analysis: Behzad Rahnama, Nilufar Najafi Tokhoshkeh, Farzin Nasiri Saleh, Majid Koosheshi, Reza Rafiei Atani.

Supervision and final writing: Farzin Nasiri Saleh.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

مدل سازی هیدرولوژی اجتماعی با تغییر اولویت های جامعه در حوضه آبریز طشک - بختگان

بهزاد رهنما^۱، نیلوفر نجفی توه خشکه^۲، فرزین نصیری صالح^{۳*}، مجید کوشی^۴، رضا رفیعی آتانی^۲

۱. دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۴. استادیار گروه جمعیت شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: توسعه کشاورزی در بالادست دریاچه های طشک و بختگان همراه با خشکسالی های رخ داده در دهه ۱۳۸۰، منجر به کاهش شدید سطح آب دریاچه ها شده است. این مطالعه پتانسیل مدل سازی هیدرولوژی اجتماعی برای توصیف سیستم های درهم تنیده آب-انسان را با مفاهیم و روابط ساده نشان می دهد.

روش: تمرکز این مطالعه روی توسعه مدل مفهومی هیدرولوژی اجتماعی به منظور شبیه سازی اندرکنش های پاسخ جامعه با هیدرولوژی در حوضه آبریز دریاچه های طشک و بختگان است. برای بخش اجتماعی مدل از متغیرهای حساسیت جامعه و پاسخ رفتاری و برای بخش هیدرولوژی از مدل بیلان آبی توسعه داده شده برای حوضه های خشک استفاده شده است. به دلیل گسترده بودن حوضه و تفاوت های مناطق مختلف آن فرض شده است که تغییر در اولویت های انسانی و حساسیت های جامعه برای ساکنین بالادست و پایین دست حوضه می تواند متفاوت باشد. محدوده زمانی این تحقیق سال های آبی ۷۶-۱۳۷۵ تا ۹۲-۱۳۹۱ است.

یافته ها: یافته های پژوهش نشان داد که با توجه به میانگین خطای کمتر از ۱۰٪ در شبیه سازی سطوح زیرکشت، انتخاب عوامل مؤثر بر حساسیت جامعه، انتخاب مناسبی بوده است. نتایج مدل سازی هیدرولوژی حوضه با در نظر گرفتن دو لایه خاک با ورودی سطح زیرکشت محاسباتی، نشان از دقت قابل قبول مدل در توانایی شبیه سازی جریان رواناب در حوضه آبریز طشک-بختگان داشت.

نتیجه گیری: نتایج تحقیق نشان داد در نواحی بالادست حوضه که دارای بارش و منابع آب بیش تری است، درک جامعه از تهدید کیفیت زندگیشان پایین بوده و اولویت ساکنان آن تمایل به استفاده بیشتر از منابع آب و زمین است. اما در نواحی پایین دست حوضه با مشکلات زیست محیطی و کمبود منابع آب، مردم با درک بالایی از تهدید کیفیت زندگی خود، اولویت خود را به استفاده کمتر از منابع آب و زمین تغییر داده اند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸

تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۶

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



DOI:

10.30495/wej.2022.26555.2279

واژه های کلیدی:

هیدرولوژی اجتماعی، متغیر حساسیت جامعه، پاسخ رفتاری، حوضه آبریز طشک-بختگان.

* نویسنده مسئول: فرزین نصیری صالح

نشانی: گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تلفن: ۰۲۱۸۲۸۳۳۰۰

پست الکترونیکی: nasirisaleh@modares.ac.ir

مقدمه

با توجه به افزایش فعالیت‌های انسانی در طبیعت و اثرات آن بر محیط‌زیست و منابع آب، لزوم تغییر رویکرد در مدل‌سازی هیدرولوژی اجتناب‌ناپذیر است (۷). تا چند سال اخیر دانشمندان، علم هیدرولوژی را بدون در نظر گرفتن نقش و اثر تلفیقی دخالت انسان بر محیط‌زیست و برعکس، مورد مطالعه قرار می‌دادند. اما بعدها روشن شد که بدون آن، بررسی یک چرخه هیدرولوژی با خطا همراه است (۶). بازخوردها و برهم‌کنش‌های میان بشر و آب نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی منجر به ایجاد پیوستگی قوی میان سیستم‌های انسانی و هیدرولوژیکی شده و اثرات مثبت و منفی توسعه سیستم‌های اجتماعی از طریق تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بر سیستم‌های هیدرولوژیکی بازتاب می‌یابد (۱۳). اگرچه پیوند میان فعالیت‌های بشری و آب در "سیستمی از برهم‌کنش متقابل" سالیان زیادی است که شناخته شده، اما تاکنون درک کمی از بازخوردها، برهم‌کنش‌های دوسویه و مفهوم هم‌تکاملی در سیستم‌های پیوسته میسر نشده است (۲۲). هدف هیدرولوژی اجتماعی درک پویایی و تکامل توأمان سیستم‌های یکپارچه آب و انسان است. از دیگر اهداف آن به‌عنوان یک علم پژوهش محور، مشاهده، فهمیدن و پیش‌بینی پدیده‌هاست و عموماً روی زمان‌های طولانی‌مدت تمرکز می‌کند. هیدرولوژی اجتماعی چگونگی وقوع بازخوردها و برهم‌کنش‌های متقابل را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد و در چارچوب‌های اقتصاد و سیاست، مرزهای علم هیدرولوژی را به سمت پذیرش انسان به‌عنوان جزئی یکپارچه با چرخه هیدرولوژی سوق می‌دهد (۴۶).

در مروری که روی مدل‌سازی هیدرولوژی اجتماعی صورت گرفته (۱۳)، روش پویایی سیستم بیشترین استفاده صریح را در بین روش‌های دیگر داشته است. این موضوع شاید به دلیل مفید بودن این روش در توسعه درک سیستم است، زیرا حوزه هیدرولوژی اجتماعی در آغاز راه است. دلیل دیگر آن می‌تواند راحت بودن تجمیع دیسپلین‌های مختلف باشد. مطالعه سال ۲۰۱۳ یکی از این دسته مطالعات است که دیدگاه مفهومی را برای شرح دینامیک پیچیده پهنه‌های سیل‌خیز به‌عنوان سیستم جفت‌شده انسان و آب در قالب پنج جزء ارائه دادند (۱۲). اجزای این سیستم شامل هیدرولوژی، اقتصاد، فن‌آوری، جامعه و سیاست است. به‌عنوان مثال برای جزء سیاست، دو راهکار کلی برای جامعه‌ای که در مناطق سیل‌خیز سکونت می‌کند و رخداد سیلابی را تجربه کرده است، در نظر گرفته‌اند. اول فاصله گرفتن مردم از رودخانه و دوم ساخت یا افزایش ارتفاع خاکریزها و دیوارها برای محافظت از سیلاب‌دشت که البته می‌تواند ترکیبی از این دو راهکار نیز باشد. در حقیقت منظور از سیاست در تحقیق عنوان شده تنها نحوه برخورد جامعه براساس آگاهی با مقوله سیلاب است.

در حوضه مورومبیبج در استرالیا به بررسی تعادل بین برداشت آب و استفاده از آن برای تولید غذا و تلاش برای کاهش پیامدهای زیست‌محیطی پرداختند (۳۰). آن‌ها در تحلیل خود از اطلاعات تاریخی اجتماعی و هیدرولوژیکی بلندمدت (صد سال) استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که در این حوضه پدیده نوسان آونگی در رفتار بازیگران حوضه میان تخصیص اهداف توسعه کشاورزی و سلامت محیط‌زیست

وجود دارد. در ادامه تحقیقات روی این حوضه، مفهومی‌سازی سیستم به مدل کمی که شامل معادلات دیفرانسیل کوپل است، منتج شده است (۵۳). اجزای در نظر گرفته شده در این مطالعه شامل ذخیره مخزن (هیدرولوژی)، سطوح آبیاری، جمعیت انسان، سلامت اکوسیستم و شاخص تغییرات آگاهی زیست‌محیطی جامعه است. این مدل ریاضی نسبتاً ساده توانایی مدل‌سازی پیچیدگی ناشی از رفتار مشاهده‌ای سیستم به‌ویژه نوسان آونگی بین رفتارهای استثمار و احیا محیط‌زیست را دارد. تحقیقات صورت‌پذیرفته روی حوضه تاریخیم در غرب چین نیز فرآیند مشابهی را داشته است. بدین ترتیب که ابتدا ساختار مفهومی برای چشم‌انداز تاریخی حوضه توسعه داده شد (۳۴) و سپس برای آزمون ساختار از حالت کیفی، به کمی حرکت نمودند که مدل آن‌ها شامل اجزای هیدرولوژیکی، اکولوژیکی، اقتصاد و جامعه است (۳۳). تمرکز این مطالعه روی یادگیری سیستم در بلندمدت بوده و در نتیجه یک مدل مفهومی ساده برای تسهیل درک آسان براساس منحنی رشد لگاریتمی توسعه داده شده است. الشافعی و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای فرض کردند که نوسان آونگ شرح داده شده توسط کانداسامی و همکاران (۲۰۱۴) در حقیقت نشان‌دهنده تغییرات تدریجی حساسیت جامعه به تنش آبی در طول زمان است و یک مدل عمومی بر اساس تئوری انعطاف‌پذیری پیشنهاد کردند. آن‌ها مطالعات خود را در سال ۲۰۱۵ تکمیل نمودند و مدل دینامیکی هیدرولوژیکی اجتماعی برای مناطق نیمه‌خشک را ارائه دادند (۲۲). این مدل دارای دو ماژول اصلی هیدرولوژی و جامعه‌شناسی حوضه است. در ماژول جامعه‌شناسی ارائه شده، اجزای جمعیت، اقتصاد، خدمات اکوسیستم، حساسیت جامعه و واکنش‌های رفتاری وجود دارند. پس‌ازاین تحقیق، مطالعات مختلفی در مدل‌سازی هیدرولوژی اجتماعی از متغیرهای حساسیت جامعه و واکنش رفتاری توسعه داده شده به‌وسیله الشافعی و همکاران (۲۰۱۵) استفاده کرده‌اند (۱۹ و ۴۲). در ادامه با مدل‌سازی براساس مفهوم حساسیت جامعه به این نتیجه رسیدند که تنوع اقتصادی نقش حیاتی را در پایداری توسعه حوضه‌های کشاورزی تحت شرایط عدم قطعیت اقلیمی و اقتصادی دارد (۴۱).

درنهایت با بررسی اجزای استفاده شده در مطالعات پیشین می‌توان به این نتیجه رسید که جزء هیدرولوژی، مفهوم مشترک در تمامی مطالعات بوده است که به‌صورت رابطه ساده بیان به همراه روابط کمکی شامل مخزن ذخیره بیان شده است. جمعیت متغیر کاربردی دیگری است که در برخی مطالعات تابعی مستقل داشته و در برخی دیگر به‌عنوان متغیر در توابع اقتصاد و یا حساسیت جامعه استفاده شده است. اجزای آگاهی جامعه و حساسیت جامعه نیز به‌عنوان متغیرهای صریح پرکاربرد دیگر در اکثر مطالعات بوده‌اند.

از دیدگاه محققین فعالیت‌های کشاورزی مهم‌ترین نقش را در تغییر شرایط هیدرولوژیکی و کمبود آب دارند (۲۶ و ۸). با توجه به این واقعیت که کشاورزی اکنون تقریباً ۴۰٪ از اراضی جهان را پوشش می‌دهد و تقریباً ۸۵٪ از مصرف جهانی آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد (۱۸)، بررسی حوضه‌های آبریز متمرکز بر کشاورزی با توجه به ردپای جهانی آن‌ها ضروری است. چندین مطالعه هیدرولوژی اجتماعی مبتنی بر مکان در حوضه‌های تحت سلطه توسعه کشاورزی در استرالیا و چین

به‌طور جداگانه مدل نشده است و به‌طور ضمنی در چارچوب حساسیت جامعه گنجانده شده است. بررسی تأثیرگذاری چگونگی تغییرات در ارزش‌ها و اولویت‌های جامعه به‌عنوان محرکی برای تغییرات در تخصیص آب در مقیاس حوضه آبریز، هدف این مدل‌سازی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان در شمال استان فارس و در دامنه‌های شرقی بخش جنوبی رشته‌کوه‌های زاگرس واقع شده است. این حوضه دارای وسعتی حدود ۲۷۲۲۰ کیلومتر مربع بوده، از ۲۲ محدوده مطالعاتی تشکیل شده و دریاچه‌های طشک و بختگان به ترتیب با مساحت‌های ۴۱۰ و ۸۵۰ کیلومتر مربع در جنوب شرقی حوضه قرار گرفته‌اند. بارش متوسط سالانه حوضه ۲۳۰ میلی‌متر و دمای متوسط آن ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه، اقلیم غالب نیمه مرطوب و نیمه‌خشک معتدل و در نهایت خشک سرد در نواحی مختلف حوضه است. حوضه آبریز به ۵ ناحیه تقسیم شده که نواحی بالادست دارای بارش بیش‌تر و نواحی پایین‌دست بارش کم‌تری دارند. در جدول ۱ مشخصات کلی این نواحی ارائه شده است. این نحوه تقسیم‌بندی با در نظر گرفتن معیارهایی همچون ویژگی‌های هیدرولوژیکی مشترک، عدم تقاطع خط حوضه آبریز با آبخوان، توجه به مرز منابع آب زیرزمینی، سیستم هیدرولوژی رودخانه کر و سیوند و موقعیت دریاچه‌های طشک و بختگان صورت گرفته است (۲).

جدول ۱- مشخصات کلی نواحی مطالعاتی

ناحیه مطالعاتی	مساحت (کیلومتر مربع)	محدوده‌های مطالعاتی
۱	۴۶۸۸/۳	آسپاس، خسرو شیرین، بکان، دزکرد- کامفیروز
۲	۸۰۴۷/۴	نمدان، دهبید، قادرآباد، سرپنیران
۳	۴۰۹۰/۸	مرودشت (بالادست پل‌خان)، بیضا، سعادت‌آباد
۴	۴۱۶۸	ارستجان، توابع ارسنجان، داریون، سیدان - فاروق، مرودشت (پایین‌دست پل‌خان)
۵	۶۲۲۰/۸	آباد- طشک، جنوب دریاچه طشک، تنگ‌خنا، نیریز، استهبان، خیر، خانه کت

رودخانه‌های اصلی حوضه، کر و سیوند هستند که در انتهای ناحیه ۳ به هم متصل شده و رودخانه کر اصلی را تشکیل می‌دهند. این رود در انتهای ناحیه ۴ به دریاچه‌ها می‌ریزد. سه سد اصلی در این حوضه وجود دارد که دو سد ملاصدرا و درودزن روی رود کر و سد سیوند روی رود سیوند قرار دارد. محصول غالب در این حوضه، گندم است و بیش از ۵۰ درصد سطح زیرکشت را شامل می‌شود. خشکسالی‌های رخ داده در دهه ۱۳۸۰، همراه با توسعه سطوح زیرکشت آبی در بالادست دریاچه‌های

انجام شده است. در بسیاری از مناطق ایران نیز، افزایش استخراج آب برای کشاورزی منجر به افزایش فشار و تخریب محیط‌زیست شده است. مسئله خشک شدن دریاچه‌های طشک و بختگان نمونه‌ای بارز از این تخریب محیط‌زیست در کشور است. از دیرباز به دلیل وجود رودخانه کر در حوضه آبریز طشک-بختگان، این حوضه کانون توجه برای توسعه کشاورزی بوده است. فشار بخش کشاورزی بر سیستم منابع آب این حوضه آبریز سبب افزایش روند کاهش منابع آب شد و هم‌زمان با خشکسالی‌های دهه ۱۳۸۰ هجری شمسی باعث گشت تا دریاچه‌های طشک و بختگان به دلیل کاهش ورودی خشک شوند.

مطالعات مختلفی روی حوضه آبریز طشک-بختگان انجام شده است. برخی از این مطالعات تغییرات پهنه آبی دریاچه‌های طشک و بختگان تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی و میزان اثرگذاری عوامل مختلف را تحلیل کرده‌اند. نتایج تحلیل‌ها بیانگر این واقعیت بود که کاهش بارندگی و افزایش سطوح زیرکشت در بالادست دریاچه بختگان، سبب خشک شدن دریاچه شده و تأثیر عامل دوم پررنگ‌تر از کاهش بارندگی است (۱). در مطالعاتی دیگر مهم‌ترین ویژگی سازگاری ساختار حکمرانی منابع آب، یعنی ظرفیت یادگیری اجتماعی در کانون توجه قرار گرفته است (۵). نتایج این تحقیق حاکی از آن است که در بخش نهاد غیررسمی آب، مؤلفه‌های فرآیند یادگیری اجتماعی در بالادست حوضه در سطوح پایینی ارزیابی شدند؛ درحالی‌که در پایین دست به علت شدت تغییرات وارده به سیستم منابع آب، این مؤلفه‌ها در سطح مطلوب‌تری ارزیابی شده‌اند. در نتیجه ارزش‌ها و هنجارهای اجتماعی که منجر به تغییر در اولویت‌های ساکنان مناطق مختلف حوضه می‌شود، می‌تواند متفاوت باشد. در تحقیقات یادشده و مطالعات مشابه دیگر برای جمع‌آوری داده از روش‌های کیفی مصاحبه نیمه‌ساختاریافته و پرسشنامه استفاده شده و متعاقب آن تحلیل محتوای کیفی انجام شده است. در همین راستا با مروری روی ۴۱۹ مقاله در سال ۲۰۲۰، به این نتیجه رسیدند که تحقیقات هیدرواجتماعی معمولاً متکی به روش‌های کیفی بوده، در حالی‌که تحقیقات هیدرولوژی اجتماعی متکی به روش‌های کمی است (۴۰). بنابراین هرچند مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌ها می‌توانند اطلاعات مفیدی در خصوص ارزش و هنجارهای اجتماعی در اختیار محققین قرار دهند، لیکن همان‌گونه که در مرور تحقیقات بیان شد، هدف از به‌کارگیری رویکرد هیدرولوژی اجتماعی، استخراج بازخوردهای دو سویه بین انسان‌ها و آب در مقیاس زمانی بلندمدت با در نظر گرفتن تغییرات ارزش‌ها، رفتارها و اولویت‌ها است. در نتیجه با فرض طراحی صحیح و تکمیل مناسب پرسشنامه، اطلاعات آن می‌تواند منعکس‌کننده نگرش و اولویت‌های جامعه نسبت به همان سال و یا سال‌های اخیر باشد. اولویت‌های جامعه در چگونگی مدیریت و تخصیص آب و استفاده از آن بین توسعه کشاورزی و محیط‌زیست به‌هم‌پیوسته است (۲۲، ۳۰ و ۵۳).

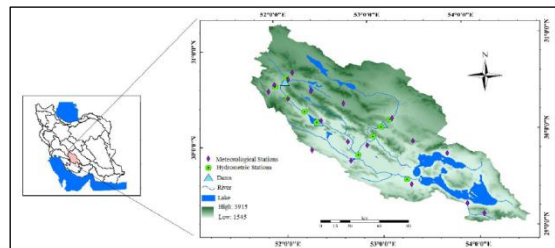
در این مطالعه با هدف بررسی تغییر اولویت ساکنان نواحی مختلف حوضه در طول زمان و نسبت به یکدیگر، از رویکرد مدل‌سازی هیدرولوژی اجتماعی استفاده شده است. در این راستا مدل مفهومی هیدرولوژی اجتماعی به‌منظور شبیه‌سازی اندرکنش‌ها بین منافع جامعه و هیدرولوژی توسعه داده شده است. در این مقاله ساختار حاکمیت

مسئله، الگوهای رفتاری تولید شده در این مسئله مورد توجه قرار می‌گیرند (۲۳).

در چارچوب مدل‌سازی دو حلقه بازخوردی اصلی شامل حلقه اقتصادی - جمعیتی و حلقه حساسیت وجود دارد. پاسخ رفتاری جامعه بوسیله دو متغیر تقاضا برای توسعه و حساسیت جامعه مدل‌سازی می‌شود. در حقیقت متغیر حساسیت جامعه برای برقراری تعادل بین درک از تخریب محیط‌زیست و شرایط اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی منطقه استفاده شده است. رویکردهای تاب‌آوری و آسیب‌پذیری هنگامی که برای سیستم‌های درهم‌تنیده انسان و محیط‌زیست در علم پایداری استفاده می‌شود، از چنین حلقه بازخوردی پشتیبانی می‌کند (۵۱). در مروری که پنی و گودارد در سال ۲۰۱۸ روی مطالعات موردی هیدرولوژی اجتماعی داشتند، یافتند که هر یک از مدل‌های هم‌تکاملی جنبه‌هایی از اصول تاب‌آوری را در برمی‌گیرد که می‌تواند بر مسیرهای سیستم هیدرولوژی اجتماعی تأثیر بگذارد. متغیر پاسخ رفتاری به‌عنوان مکانیزم بازخوردی قابل‌مشاهده، ارتباط تصمیمات مدیریت زمین و آب را به هیدرولوژی انعکاس می‌دهد. فرض رفتار منطقی به این احتمال وابسته است که احتمالاً رفتار فراگیر جامعه به سمت منفعت جمعی بلندمدت، به جای منفعت فردی کوتاه‌مدت تمایل دارد. در واقع شواهدی وجود دارد که از مفهوم وابستگی رفتار جامعه حوضه آبریز به درک آن‌ها از شدت و بزرگی مشکلات مواجه‌شده، حمایت می‌کند (۳۷ و ۵۵).

چارچوب هیدرولوژی اجتماعی استفاده‌شده در این تحقیق با در نظر گرفتن بخش‌های هیدرولوژی حوضه، سود اقتصادی کشاورزی، شرایط زیست‌محیطی، جمعیت، حساسیت جامعه و پاسخ رفتاری، سعی در بررسی رفتار جامعه کشاورزان، تصمیمات آن‌ها و اثرات متقابل آن بر منابع آب حوضه دارد. تغییرات حاشیه‌ای در اجزای اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی منجر به پاسخ رفتاری زیرسیستم انسانی شده و بازخورد این پاسخ، به زیرسیستم هیدرولوژیکی برمی‌گردد. برای شناسایی بازخوردها و محرک‌های سیستم درهم‌تنیده، در ابتدا چارچوب مدل در قالب حوضه‌های تک‌بعدی از نظر نوع فعالیت اقتصادی قرار می‌گیرد یعنی فرض می‌شود کشاورزی فعالیت غالب مردم حوضه است. اگر یک حوضه دست‌نخورده (پیش‌از تأثیر انسان) در نظر گرفته شود، جامعه و انسان به استفاده از آب و زمین پرداخته و کشاورزی توسعه می‌یابد، هرچه توسعه بیش‌تر شود، سود سرانه بیش‌تر شده و جمعیت بیش‌تری به آن منطقه جذب می‌شود؛ بنابراین تقاضا برای توسعه و استفاده بیش‌تر از منابع افزایش می‌یابد. تقاضای توسعه تا جایی ادامه می‌یابد که کمیت یا کیفیت یکی از منابع آب یا زمین کاهش یافته و به‌عنوان محدودکننده عمل نماید و در ازای توسعه بیش‌تر، سود اقتصادی ثابت یا نزولی باشد. در این‌صورت مردم جامعه کیفیت زندگی خود را در معرض تهدید می‌بینند و آگاهی آن‌ها از وضعیت موجود بیش‌تر شده، بنابراین به‌تدریج حساسیت آن‌ها افزایش یافته و به‌عنوان پاسخ مدیریتی به سمت کاهش استفاده از منابع و ترمیم محیط‌زیست پیش می‌روند (تغییر اولویت).

طشک و بختگان، منجر به کاهش شدید سطح آب دریاچه‌ها شده که در برخی از فصول سال باعث خشک شدن کامل آن‌ها شده است.

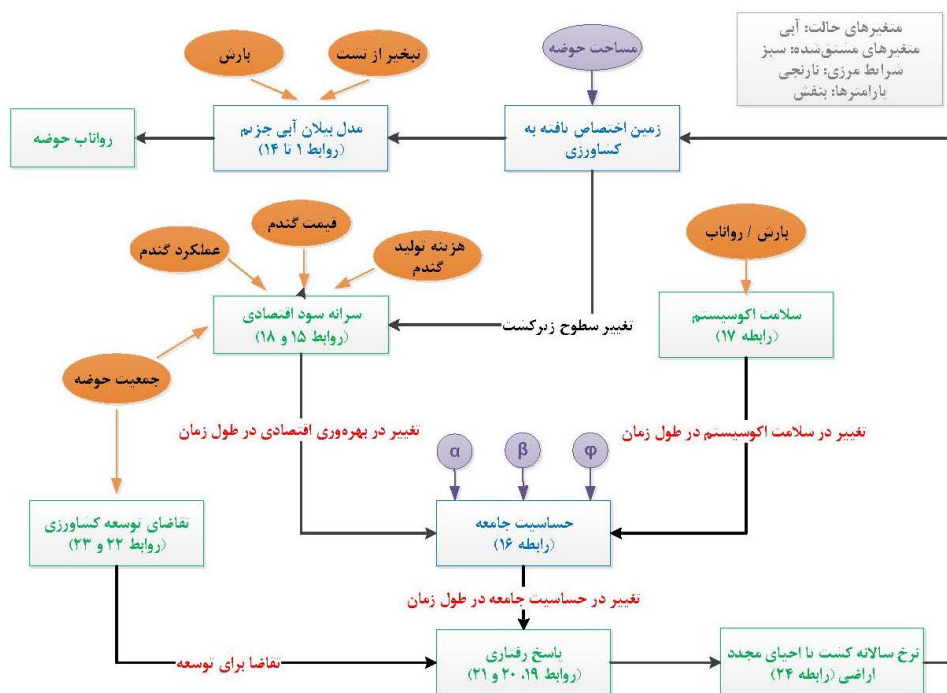


شکل ۱- حوضه آبریز طشک- بختگان (۴).

چارچوب مدل‌سازی هیدرولوژی اجتماعی

هیدرولوژی اجتماعی به‌طور مؤثر با یکپارچه‌نگری جنبه‌های اقتصادی- اجتماعی، زیست‌محیطی و هیدرولوژی، تمرکز خود را بر درک و پیش‌بینی برهم‌کنش‌ها، بازخوردها و هم‌تکاملی سیستم‌های هیدرولوژیکی و جوامع گذاشته است (۲۲). عواملی چون قومیت، هویت، ارزش‌ها و هنجارها می‌تواند بر رفتار انسان و در ادامه رفتار جامعه اثرگذار باشد. به عبارتی تغییرات در هویت، ارزش‌ها و هنجارها در جامعه سبب تغییرات در توسعه اقتصادی و سلامت اکوسیستم می‌شود که ناگزیر به ایجاد تغییرات در اولویت تخصیص منابع آب خواهد شد. به‌عنوان نمونه افزایش استخراج آب برای کشاورزی در بسیاری از مناطق ایران منجر به تخریب محیط‌زیست و متعاقب آن افزایش فشار بر منابع آب شده است. در پژوهش‌های روانشناسی و مدیریت منابع طبیعی، نظریه‌های بیشمار و مباحثه‌های مداومی در زمینه‌ی محرک‌های ارزش‌ها، احساسات، ادراک و رفتار جمعی انسانی وجود دارد (۱۰، ۱۵، ۲۴ و ۳۵). هرچند این نظریه‌ها برخلاف نظریه‌های فیزیکی جهان‌شمول نیستند و می‌توانند از جامعه‌ای به جامعه دیگر تغییر پیدا کنند، هدف این مقاله مشارکت در این مباحثه‌ها نیست. در مقابل ما به دنبال ساده کردن این محرک‌ها به پروکسی‌های مشاهداتی هستیم که درک صحیحی از چگونگی تعامل سیستم جفت‌شده هیدرولوژی اجتماعی امکان‌پذیر می‌کند.

چارچوب مدل مفهومی هیدرولوژی اجتماعی در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به مروری که بلیر و بویتاثرت در سال ۲۰۱۶ داشتند، رویکرد حاکم بر این چارچوب رویکرد پویایی سیستم است. این رویکرد با تمرکز روی رفتار کل سیستم بجای تمرکز روی فرآیندهای فردی می‌تواند به‌طور بالقوه از تحلیل گمراه‌کننده اندرکنش‌ها و افزایش مقیاس فرآیندهای کوچک مقیاس جلوگیری کند. با استفاده از پویایی سیستم، به‌جای در نظر گرفتن و مدل‌سازی عوامل به‌طور جداگانه، تمرکز بر روابط و فرایندها خواهد بود و همچنین به‌جای تمرکز بر نتیجه یک



شکل ۲- چارچوب مدل مفهومی هیدرولوژی اجتماعی مطابق با الشافعی و همکاران (۲۰۱۵)

بارش و تبخیر از تشت و خروجی‌های گرفته‌شده از این مدل سری زمانی رواناب شبیه‌سازی شده حوضه است (۳). در شکل ۳ ساختار مدل بیلان آبی مورد استفاده در این تحقیق ارائه شده است. در ساختار اولیه فرض شده است که تبخیر و تعرق پتانسیل با تبخیر از تشت نسبت دارد. رابطه (۱) در مواقعی که مقدار بارش ماهانه بزرگ‌تر از صفر است، برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی استفاده می‌شود. در رابطه (۱)، $E(t)$ تبخیر و تعرق واقعی، $E_0(t)$ مقادیر تبخیر از تشت، $P(t)$ بارش و c ضریبی است که برای در نظر گرفتن تأثیر تغییر مقیاس زمانی از سال به ماه در معادله اصلی استفاده شده است. زمانی که میزان بارش صفر است، تبخیر و تعرق بر رطوبت خاک در لایه بالایی آن اثر می‌کند.

$$E(t) = c * E_0(t) * \tanh[P(t)/E_0(t)] \quad (1)$$

در رابطه (۲)، $USM(t-1)$ رطوبت موجود در لایه بالایی خاک در زمان $(t-1)$ و $USMX$ بیش‌ترین ظرفیت رطوبت لایه بالایی خاک است. هنگامی که رطوبتی در لایه بالایی خاک وجود ندارد، تبخیر و تعرق واقعی از مخزن لایه پایینی خاک رخ می‌دهد. در رابطه (۳)، $LSM(t-1)$ معرف رطوبت موجود در لایه پایینی خاک در زمان $(t-1)$ و $LSMX$ بیش‌ترین ظرفیت رطوبت لایه پایینی خاک است.

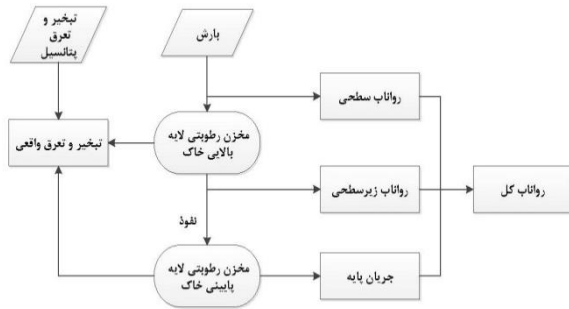
$$E(t) = USM(t-1) * \left(1 - \exp\left[-\frac{E_0(t)}{USMX}\right]\right) \quad (2)$$

$$E(t) = LSM(t-1) * \left(1 - \exp\left[-\frac{E_0(t)}{LSMX}\right]\right) \quad (3)$$

درواقع حساسیت جامعه نشان‌دهنده آگاهی و درک مردم آن جامعه از مشکلاتی است که در صورت عدم توجه به محیط‌زیست به صورت مستقیم بر آن‌ها اثر گذاشته و می‌تواند به شرایط زندگی آن‌ها آسیب رساند. میزان حساسیت جامعه و تقاضای توسعه استفاده از آب و زمین (در اثر رشد جمعیت و نیازهای اقتصادی و...) در تقابل باهم قرار دارند و پاسخ رفتاری نشان‌دهنده این است که یک جامعه با توجه به شرایط اقلیمی، اجتماعی-اقتصادی و سیاسی آن جامعه، چه واکنش و پاسخی به این تقابل خواهند داد. در این چارچوب مدل‌سازی، فرض بر این است که با افزایش حساسیت، تصمیم‌گیری‌های رفتاری و مدیریتی منجر به کاهش تأثیر جامعه بر شرایط هیدرولوژیکی حوضه می‌شود (یعنی حرکت به سمت یک محیط طبیعی‌تر). در مقابل میزان حساسیت پایین با واکنش‌های رفتاری تهاجمی‌تری برای دستکاری منابع آب موجود برای رفع نیازهای جامعه همراه خواهد بود (ردپای فعالیت‌های انسان‌محور). در ادامه ساختار و روابط مدل شرح داده می‌شود.

مدل هیدرولوژیکی

مدل‌سازی هیدرولوژی حوضه بر مبنای مدل جزیم، (۲۰۰۶) توسعه داده‌شده که یک مدل بیلان آب است و در آن از دو لایه خاک که هر یک دارای توان متفاوتی در حفظ رطوبت خود هستند، استفاده شده است (۲۹). این مدل دارای ساختاری مفهومی است و همچنین امکان ارتباط با آب زیرزمینی در آن دیده شده است. لایه بالایی ذخیره رطوبت خاک، فراهم‌کننده آب زیرسطحی و لایه پایینی علاوه بر ارتباط با آب زیرزمینی، تأمین‌کننده جریان پایه نیز می‌باشد. داده‌های ورودی مدل،



شکل ۳- ساختار مدل بیان آبی مطابق با مدل جزیم (۲۰۰۶).

مدل اجتماعی

الشافی و همکاران (۲۰۱۴) چارچوب مفهومی برای بررسی پویایی یکپارچه در سیستم هیدرولوژی اجتماعی برای حوضه‌های متمرکز بر کشاورزی توسعه داده‌اند که از ۶ جزء کلیدی تشکیل شده‌است. این اجزا عبارت‌اند از: هیدرولوژی حوضه، جمعیت، اقتصاد، خدمات اکوسیستم، حساسیت اجتماعی و پاسخ رفتاری. در بخش قبل جزء هیدرولوژی حوضه بر پایه مدل جزیم (۲۰۰۶) توضیح داده شد و در ادامه اجزای دیگر ساختار مدل برای حوضه مطالعاتی این تحقیق معرفی می‌شوند.

جمعیت: از آنجاکه اطلاعات جمعیت ساکن در هر ناحیه از نتایج سرشماری‌ها استخراج می‌شود و فاصله بین سرشماری‌ها ۱۰ یا ۵ سال است، جمعیت در هر سال و در فاصله سال‌های ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۹۵، با یک تابع خطی و با استفاده از نرخ رشد جمعیت بین دو سرشماری درون‌یابی شده است.

سود اقتصادی: برای محاسبه سود اقتصادی حوضه از اختلاف درآمد فروش و هزینه تمام‌شده تولید محصول گندم مطابق رابطه (۱۵) استفاده شد.

$$E_{PC} = ([P_C A_C B_C] - [C_A A_C]) / p_n \quad (15)$$

در رابطه (۱۵) E_{PC} سرانه سود اقتصادی حوضه است، جمله اول نشان‌دهنده درآمد می‌باشد که در آن P_C قیمت فروش محصول گندم، A_C سطح زیرکشت محصول و B_C عملکرد محصول را نشان می‌دهد. جمله دوم نشان‌دهنده هزینه است که در آن C_A هزینه تمامی مراحل تولید محصول شامل هزینه زمین، کاشت، داشت و برداشت است. p_n در بردارنده جمعیت حوضه است.

سلامت اکوسیستم: تابع سلامت اکوسیستم برای نشان دادن شرایط زیست‌محیطی حوضه استفاده می‌شود و از این تابع در محاسبه متغیر حساسیت جامعه بهره گرفته شده است. شواهد قابل توجهی وجود دارد که تغییرات جریان و یا کاهش کیفیت آب بر خدمات اکوسیستم تأثیر منفی می‌گذارد (۱۷، ۱۱ و ۵۰). گریزتی و همکاران در سال ۲۰۱۶ مروری بر ارزیابی و ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم برای مدیریت منابع آب انجام دادند و لیستی از شاخص‌ها و پروکسی‌ها برای این منظور تهیه کردند. تغییرات در بارش و رواناب به عنوان دو شاخص به‌طور مستقیم بر خدمات اکوسیستم‌های آبی تأثیر می‌گذارند. با توجه به قرارگیری دریاچه‌های طشک و بختگان در انتهای حوضه مطالعاتی که

در مخزن ذخیره رطوبت لایه بالایی خاک از معادله پیوستگی که اساس بیان آبی است مطابق با رابطه (۴)، استفاده می‌شود و این روند تا زمانی که رطوبت مخزن لایه بالایی خاک از مقدار آستانه $USMX$ خود عبور کند، ادامه دارد (رابطه (۵)). همچنین بخشی از آب اضافی EX براساس رابطه (۶) تبدیل به رواناب سطحی SRO می‌شود.

$$USM(t) = USM(t-1) + P(t) - E(t) \quad (4)$$

$$EX(t) = USM(t) - USMX \quad (5)$$

$$SRO(t) = K_1(EX(t)) \quad (6)$$

باقی‌مانده تبدیل به رواناب زیرسطحی SSF شده (رابطه (۷)) و باقی‌مانده به مخزن رطوبت لایه پایینی خاک (PER) طبق رابطه (۸) نفوذ می‌کند.

$$SSF(t) = K_2(REX(t)) \quad (7)$$

$$PER(t) = REX(t) - SSF(t) \quad (8)$$

مخزن رطوبت لایه پایینی خاک (LSM) به‌طور پیوسته به‌وسیله مخزن لایه بالایی خاک تغذیه شده (PER) و به‌وسیله جریان پایه (BSF)، نفوذ عمیق در آب زیرزمینی (SEP)، تبخیر و تعرق واقعی (تنها هنگامی رخ می‌دهد که مخزن لایه بالایی خالی شود)، تخلیه می‌شود. در روابط (۹) و (۱۰) حالات وقوع تغذیه و تخلیه مخزن رطوبتی تحتانی به‌صورت ریاضی بیان شده است:

if $PER > 0$ then

$$LSM(t) = LSM(t-1) + PER(t) - BSF(t-1) - SEP(t-1) \quad (9)$$

if $PER \leq 0$ then

$$LSM(t) = LSM(t-1) - BSF(t-1) - SEP(t-1) \quad (10)$$

نفوذ عمیق به‌طور پیوسته طبق رابطه (۱۱) محاسبه شده و فرض می‌شود جریان پایه (BSF) هنگامی که رطوبت مخزن لایه پایینی خاک از حد بالای خودش عبور کرد، اتفاق می‌افتد (رابطه (۱۲)). جریان پایه با ضریبی از آب مازاد در این مخزن (SUR) مطابق با رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود:

$$SEP(t) = K_3(LSM(t)) \quad (11)$$

$$SUR(t) = LSM(t) - LSMX \quad (12)$$

$$BSF(t) = K_4(SUR(t)) \quad (13)$$

رواناب شبیه‌سازی شده کلی $Q(t)$ حاصل مجموع رواناب سطحی، جریان زیرسطحی و جریان پایه است که از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$Q(t) = SRO(t) + SSF(t) + BSF(t) \quad (14)$$

در نهایت مقدار نیاز آبی گندم آبی محاسبه شده و از میزان رواناب کل کسر می‌شود تا رواناب محاسبه شده توسط مدل به واقعیت نزدیک باشد.

در رابطه (۱۶) \bar{L}_{ES} و \bar{E}_{PC} به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات نسبی سلامت اکوسیستم و سرانه سود اقتصادی است. از سه پارامتر در مقیاس ملی یا منطقه‌ای (پارامترهای بزرگ مقیاس) شامل رژیم اقلیمی منطقه‌ای که حوضه در آن واقع شده است (α)، توسعه اجتماعی - اقتصادی (β) و رژیم سیاسی - ملی (ϕ) استفاده شده است.

الف: متغیر تغییرات نسبی سلامت اکوسیستم (\bar{L}_{ES})، در این تحقیق از رواناب خروجی هر زیرحوضه به‌عنوان شاخص پروکسی که نشان‌دهنده وضعیت سلامت اکوسیستم زیرحوضه است؛ استفاده شده است. نحوه محاسبه آن بدین‌صورت است که سری زمانی رواناب‌ها برای هر سال براساس بیشینه میزان خروجی رواناب در بازه مطالعاتی، در محدوده بین صفر و یک قرار می‌گیرند. مقدار صفر نشانه بدترین شرایط و مقدار یک نشان‌دهنده بهترین شرایط محیط‌زیستی حوضه است. با رو به وخامت رفتن خدمات اکوسیستم، انتظار می‌رود سطح حساسیت جامعه افزایش یابد (۲۰، ۱۶ و ۴۹). به‌کارگیری جریان رودخانه به‌عنوان شاخص سلامت اکوسیستم با توجه به منطقه مطالعاتی که دریاچه‌های طشک و بختگان در انتهای آن واقع شده‌اند، می‌تواند با بازخورد دادن به توابع حساسیت و پاسخ رفتاری، منجر به تخصیص مجدد آب برای احیای محیط‌زیست شود. حال براساس شاخص پروکسی سلامت اکوسیستم محاسباتی، مطابق با رابطه (۱۷) متغیر سلامت اکوسیستم محاسبه می‌شود. در این رابطه، ΔL_{ES} تغییرات سلامت اکوسیستم در دو سال متوالی و \bar{L}_{ES} متوسط ده ساله مقدار این تابع را نشان می‌دهد.

$$\bar{L}_{ES} = \frac{\Delta L_{ES}}{L_{ES}} \quad (17)$$

ب: متغیر تغییرات نسبی سرانه سود اقتصادی (\bar{E}_{PC})، دومین متغیر در مقیاس حوضه است که بر درک جامعه از آسیب‌پذیری و میزان انعطاف‌پذیری تأثیر می‌گذارد. در حقیقت این تابع شرایط اقتصادی کشاورز را براساس سود کشاورزی از سال گذشته ارزیابی می‌کند. فرض بر این است که شرایط اقتصادی نامطلوب ممکن است کشاورزان را به سمت الگوی محصول سودآورتر با هزینه کمتر و یا حتی فشار بیشتر روی محیط‌زیست وادارد (۳۹). هرچه E_{PC} بیش‌تر باشد، حساسیت جامعه کم‌تر می‌شود. زیرا تغییرات E_{PC} به‌معنی تغییر در ثروت جامعه است و می‌تواند کیفیت زندگی را تغییر دهد که آن‌هم بر حساسیت جامعه اثر می‌گذارد. E_{PC} از تقسیم سود اقتصادی حوضه بر جمعیت به‌دست می‌آید و در رابطه حساسیت طبق رابطه (۱۸) وارد می‌شود.

$$\bar{E}_{PC} = \frac{\Delta E_{PC}}{E_{PC}} \quad (18)$$

در این رابطه ΔE_{PC} تغییرات نسبی سرانه سود اقتصادی در حوضه در دو سال متوالی است و \bar{E}_{PC} متوسط ده ساله سرانه سود است.

ج: برای به دست آوردن (α) از شاخص خشکی (UNEP 1997) استفاده می‌شود. تغییر یکسان در کمیت آب پیامدهای مختلفی را به دنبال دارد، به‌نحوی که در حوضه‌های خشک نسبت به حوضه‌هایی با منابع آب فراوان، انتظار می‌رود که واکنش بیشتری در سطح حساسیت بوجود آید. این پارامتر مقداری بین صفر و یک دارد، که به ترتیب نشان‌دهنده حوضه‌های بسیار خشک و خیلی مرطوب است. مقدار آن از تقسیم متوسط بارش سالانه بر تبخیر در حوضه محاسبه می‌شود و در

سبب می‌شود تغییرات سطح دریاچه‌ها متأثر از بارش و جریان‌های ورودی بالادست حوضه باشد؛ از بارش و جریان خروجی هر زیرحوضه به‌عنوان شاخص سلامت اکوسیستم زیرحوضه استفاده شده و از کیفیت جریان صرف‌نظر شده است. در نتیجه برای بررسی تغییرات آن در این تحقیق، میزان بارش یا رواناب خروجی در سال مدنظر بر بیشینه بارش یا رواناب مشاهداتی در طول بازه زمانی مطالعاتی در هر زیرحوضه تقسیم‌شده است. به‌کارگیری این شاخص می‌تواند با بازخورد دادن به توابع حساسیت و پاسخ رفتاری، منجر به تخصیص مجدد آب برای احیای این اکوسیستم‌های آبی شود.

تابع حساسیت جامعه: در چارچوب این مدل‌سازی قرار گرفتن در معرض تغییر در سیستم هیدرولوژی اجتماعی (اعم از شدید یا تدریجی) به‌وسیله توابعی که ناشی از تغییر در متغیرهای آب و زمین است، در نظر گرفته می‌شود. حساسیت جامعه نسبت به مواجهه با این تغییرات همان چیزی است که در متغیر حساسیت به دنبال ثبت آن هستیم؛ این در حالی است که انعطاف‌پذیری سیستم به‌طور مؤثر در تابع پاسخ رفتاری منعکس می‌شود و این متغیر، محرک تغییر واقعی سطوح زیرکشت در حوضه می‌شود. فرض اصلی در حلقه حساسیت این است که تصمیم‌گیری‌های رفتاری و مدیریتی به‌طور مستقیم توسط ارزش‌های اجتماعی و زیست‌محیطی یک جامعه، اقدام محلی، لابی کردن و مواردی از این دست انجام می‌شود که همه این موارد حساسیت جامعه را نسبت به اثرات مستقیم و غیرمستقیم یک یا چند تغییر حاشیه‌ای در متغیرهای آب نشان می‌دهد. کینزیگ و همکاران (۲۰۱۳)

این پیشنهاد را مطرح می‌کنند که حساسیت جامعه از سطح احساس تهدید کیفیت زندگی ناشی می‌شود، که می‌توان به آن از نظر اختلال در هنجارها و رفتارهای تعیین‌شده خود نیز اندیشید (۳۱). هرچه جامعه کیفیت زندگی خود را در معرض تهدید درک کند، احتمال افزایش حساسیت نسبت به عواملی که متعاقباً می‌توانند بر کیفیت زندگی تأثیر منفی بگذارد، بیشتر می‌شود (۲۲).

وی و همکاران (۲۰۱۷) برای سنجش و کمی‌سازی ارزش‌ها و هنجارهای اجتماعی از تحلیل محتوای مقاله‌های روزنامه‌ها استفاده کردند. یافته‌های آن‌ها از این فرضیه که در طول زمان ارزش‌ها و اولویت‌های اجتماعی از انسان‌محور به محیط‌زیست‌محور تغییر می‌کند، پشتیبانی کرده است (۵۴). یکی دیگر از یافته‌های مهم آن‌ها، حمایت قوی از تئوری پایه استفاده از متغیر ترکیبی حساسیت جامعه بوده است. بنابراین در این مقاله نیز برای محاسبه متغیر حالت حساسیت جامعه از دو متغیر اصلی که یکی نشان‌دهنده شرایط اقتصادی و دیگری شرایط زیست‌محیطی حوضه است، استفاده شد. ذکر این نکته ضروری است که عوامل تأثیرگذار بر تابع حساسیت جامعه می‌تواند از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییر پیدا کند. بنابراین لازم است برای منطقه مورد مطالعه روابط این تابع براساس مطالعات میدانی اصلاح و یا تدقیق شود. متغیر حساسیت جامعه (V) یک متغیر بی‌بعد است که در ادامه هر یک از اجزای رابطه (۱۶) معرفی می‌شوند.

$$\frac{dV}{dt} = [(-\bar{L}_{ES} \gamma_{es} - \bar{E}_{PC} \gamma_e)(1 - \alpha) \beta \phi] V \quad (16)$$

در نظر گرفته شود. به طور مثال روباوانان و همکاران (۲۰۱۷)، بازه زمانی ۵ ساله را در نظر گرفته‌اند. در این تحقیق نیز میانگین‌گیری‌های ۱۰ ساله، ۵ ساله و ۳ ساله در مدلسازی صورت پذیرفته که نهایتاً با توجه به شاخص خطای RMSE و NSE برای سطح زیرکشت محاسباتی و مشاهداتی بازه زمانی ۱۰ ساله انتخاب شده است. لازم به اشاره است با توجه به بازه زمانی مدلسازی (سال‌های آبی ۷۶-۱۳۷۵ تا ۹۲-۱۳۹۱)، انتخاب اعداد بالاتر منطقی به نظر نمی‌رسید.

تابع پاسخ رفتاری: دو محرک اصلی تابع پاسخ رفتاری (X)، متغیرهای حساسیت جامعه و تقاضا برای توسعه است. این محرک به‌طور مؤثری نشان‌دهنده مسیر کلی انگیزه و اولویت جامعه برای اقدام است. مقدار مثبت این تابع نشان‌دهنده انگیزه بیشتر برای انجام اقدامات محیط‌زیست-محور و مقدار منفی آن نماینده تحرک برای واکنش‌ها و فعالیت‌های توسعه محور است و از رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود که در آن برای قابل قیاس شدن حساسیت جامعه و تقاضای توسعه، این دو متغیر نرمال می‌شوند. $f(V^*)$ حساسیت نرمال شده و $f(D_E)$ تقاضای نرمال شده است (۲۲). این پاسخ، به تغییر رفتار در سطح زیرکشت (A_C) می‌انجامد.

$$X = f(V^*) - f(D_E) \quad (19)$$

مقدار V^* از رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود که در آن V_{max} بیش‌ترین حساسیت و V_{t10} متوسط حساسیت در ده سال است. دلیل استفاده از میانگین ۱۰ سال گذشته حساسیت جامعه در رابطه (۲۰)، به حساب آوردن عملکرد حافظه کوتاه‌مدت جامعه است. لازم به اشاره است که تغییرات حساسیت جامعه به صورت سالانه مدلسازی می‌شود (رابطه ۱۶) و این میانگین‌گیری برای V^* جهت مشخص کردن نوع بازخورد حساسیت به متغیر پاسخ رفتاری است. برای واردکردن حساسیت به تابع پاسخ رفتاری، $f(V^*)$ از رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود. پارامتر V_{crit}^* برای سنجش V^* در نظر گرفته‌شده تا نویزهای احتمالی را پوشش دهد (۲۱). فرض می‌شود V_{crit}^* ، V_{max} ، X_{maxV} و k_V به ترتیب برابر با مقادیر ۰/۰۰۴، ۱۲۰، ۱۰۰ و ۱ باشند (۲۲ و ۲۱).

$$V^* = \frac{dV}{dt} \max(V_{max} - V_{t10}, 0.01) \quad (20)$$

$$f(V^*) = \begin{cases} 0 & V^* \leq V_{crit}^* \\ X_{maxV} \left(\frac{(V^*)^2}{(k_V^2 + (V^*)^2)} \right) & V^* > V_{crit}^* \end{cases} \quad (21)$$

دومین محرک برای پاسخ رفتاری جامعه، تابع تقاضا (D_E) یا انگیزه توسعه کشاورزی است. این تقاضا از دو محرک رشد جمعیت و رشد کشاورزی در اقتصاد ایجاد می‌شود (۲۲). متغیرهای منابع آب و زمین، تقاضا را محدود می‌کنند و بهبود بهره‌وری، متعادل‌کننده این تقاضا است. تابع تقاضا از رابطه (۲۲) محاسبه می‌شود (الشافعی و همکاران، ۲۰۱۵). برای محاسبه میزان تقاضا (D_E) از سطح زیرکشت (A_C)، مساحت حوضه (A_T)، تابع سهم صادرات کشاورزی ($f(Z_C)$ ، جمعیت (P_{ni}) و تغییرات هر ساله آن (ΔP_{ni}) استفاده می‌شود. تابع $f(D_E)$ از رابطه (۲۳) محاسبه می‌شود که در آن X_{maxD} برابر با ۱۰۰ و k_D برابر

این تحقیق برابر ۰/۲ به دست آمده است که نشان‌دهنده خشک و نیمه‌خشک بودن اقلیم منطقه مطالعاتی است. هرچه حوضه آبریز خشک‌تر باشد (یعنی α کمتر)، تغییر نسبی در متغیر حساسیت جامعه افزایش‌یافته و بنابراین دامنه نوسانات در این متغیر بیشتر می‌شود.

۵: برای مقایسه شرایط توسعه اقتصادی کشورها (β)، شاخص توسعه انسانی (HDI) که توسط UNDP (2013) منتشرشده، در نظر گرفته‌شده است. این شاخص دارای مقدار بین صفر و یک است که صفر نشان‌دهنده اقتصاد روستایی و یک نماد اقتصاد کاملاً صنعتی است. با حرکت کشورها از مقیاس روستایی به گذار به صنعتی، انتظار می‌رود سطح تاب‌آوری افزایش یابد. برخی مطالعات شواهد این ارتباط را با توجه به افزایش تنوع درآمدی توضیح داده‌اند؛ زیرا اقتصاد کشورها در مسیر توسعه از وابستگی به یک منبع پایه به وابستگی به منابع پایه متنوع‌تر انتقال می‌یابند (۲۷، ۱۴ و ۴۷). برخی مطالعات دیگر بر افزایش ظرفیت اجتماعی و اقتصادی در اقتصادهای توسعه‌یافته‌تر و از نظر فناوری پیشرفته متمرکز شده‌اند (۹، ۲۶ و ۴۵)؛ بنابراین انتظار می‌رود اقتصادهای ثروتمندتر و توسعه‌یافته توانایی بیشتری در پاسخ فعالانه به تنش‌های آبی با اصلاح بیلان آبی حوضه داشته باشند. در نتیجه چنین جوامعی حساسیت کمتری نسبت به فشارها دارد. این نتیجه‌گیری به این معنا نیست که جامعه در واقع چنین تغییراتی را در صورت بروز تنش‌ها اعمال خواهد کرد، بلکه این توانایی را دارد که چنین کند و بنابراین سطح تهدید درک شده آن پایین‌تر است. مقدار β در سال ۲۰۱۵ برای کشور ایران برابر ۰/۷۸۹ است (UNDP, 2015).

۵: در این تحقیق از پارامتر φ برای انعکاس میزان پاسخگویی دولت به احساسات جامعه^۲ استفاده‌شده است. بدین منظور بیشتر به این مسئله اهمیت داده‌شده که آیا رژیم سیاسی موجود مانعی برای خواست‌های جامعه است؟ فوربس و همکاران (۲۰۰۴) بین ثبات رژیم سیاسی و آسیب‌پذیری جامعه ارتباط برقرار کردند؛ هرچه ثبات بیشتر و چارچوب نظارتی قوی‌تر باشد، آسیب‌پذیری جامعه نیز پایین‌تر خواهد بود؛ بنابراین برای در نظر گرفتن شرایط سیاسی (φ)، از شاخص ادراک فساد (CPI^۳) که توسط Transparency International توسعه‌یافته، استفاده‌شده است. مقدار این شاخص عددی بین صفر و یک است که عدد یک، نمایان‌گر رژیم سیاسی بسیار سالم و عدد صفر نشان‌گر رژیم سیاسی بسیار فاسد است. هرچه نظامی دموکراتیک‌تر باشد، احتمال ایجاد مانع فعال بین حساسیت و پاسخ جامعه کمتر است (۲۲). مقدار این شاخص برای کشور ایران براساس گزارش سازمان شفافیت بین‌المللی در سال ۲۰۱۶، ۰/۲۹ است.

\bar{E}_{PC} و \bar{E}_{ES} به همراه مقدار شاخص‌های α ، β ، φ ، در رابطه (۱۶) قرار می‌گیرند تا تغییرات حساسیت در طول زمان $\frac{dV}{dt}$ را محاسبه کنند. V میزان حساسیت در سال گذشته است. در نهایت γ_{ES} و γ_E پارامترهای رابطه هستند که با استفاده از مقادیر مشاهداتی سطح زیرکشت و انسجی می‌شوند. مرجع بازه زمانی ذکرشده برای میانگین‌گیری‌ها در مخرج کسر روابط ۱۷ و ۱۸، مطالعات الشافعی و همکاران، (۲۰۱۴، ۲۰۱۵) است. اعداد ارائه‌شده با توجه به منطقه مطالعاتی می‌تواند کمتر یا بیشتر

³ Corruption Perception Index

¹ Human Development Index

² Community Sentiment

سطح کارایی در مدل هیدرولوژی ۷ پارامتر $USMX, LSMX, C, K_1, K_2, K_3, K_4$ براساس بیشینه کردن خطای (NSE) مقادیر رواناب محاسباتی و مشاهداتی در هر یک از نواحی بهینه می‌شوند. در مدل اجتماعی نیز ۴ پارامتر $\nu_e, \nu_{es}, A_{Cmax}$ و A_{Rmax} براساس کمینه کردن خطای (RMSE) سطح زیرکشت محاسباتی و مشاهداتی در هر یک از نواحی بهینه می‌شوند. حدود بالا و پایین پارامترهای مدل سازی به همراه مقادیر بهینه آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. در ارزیابی نتایج سطح زیرکشت و جریان خروجی محاسباتی از هر دو شاخص خطای (RMSE) و (NSE) استفاده شده است. در روابط (۲۵) و (۲۶) به ترتیب شاخص خطای (RMSE) و (NSE) ارائه شده است. در این روابط A_{C0} سطح زیرکشت مشاهداتی، A_{Cs} سطح زیرکشت شبیه‌سازی شده، Q_{O_i} رواناب مشاهداتی، Q_{S_i} رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل و \bar{Q}_O میانگین رواناب مشاهداتی است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_{Cs} - A_{C0})^2} \quad (25)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{O_i} - Q_{S_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{O_i} - \bar{Q}_O)^2} \quad (26)$$

نتایج شبیه‌سازی سطح زیرکشت گندم در همه نواحی در شکل ۴ ارائه شده است. برای نواحی ۱، ۲ و ۵ نتایج بهتری حاصل شده است، درحالی‌که در نواحی ۳ و ۴ مقادیر بیشینه به‌خوبی شبیه‌سازی نشده است. مقادیر RMSE (به‌طور متوسط حدود ۱۰ درصد خطا در شبیه‌سازی سطح زیرکشت گندم) نشان از دقت مناسب مدل شبیه‌سازی دارد. یکی از متغیرهای اساسی در این مدل سازی که تأثیر مستقیم روی تغییرات سطوح زیرکشت دارد، متغیر حساسیت جامعه است. شکل ۵ میزان حساسیت جامعه در تمامی پنج ناحیه را نمایش می‌دهد. این متغیر، یک متغیر ذهنی و بی‌بعد بوده، بنابراین برای نواحی مختلف مقایسه شده است. با توجه به ویژگی‌های حوضه یعنی وضعیت بارش و منابع مناسب در بالادست و همچنین برداشت قابل توجه از آب رودخانه کر در بالادست، انتظار می‌رود هرچه به سمت پایین دست حوضه پیش می‌رود میزان حساسیت جامعه بیش‌تر شده و مردم آن جامعه درک بیش‌تری از تهدید کیفیت زندگی خود داشته باشند. این موضوع با توجه به نتایج مدل نیز کاملاً مشهود است.

حساسیت جامعه در ناحیه ۱ از سال ۱۳۷۹ نزولی است. احتمالاً این ناحیه در فاز توسعه بوده و به دلیل بهتر بودن شرایط زیست‌محیطی و منابع آبی، اولیوی در جامعه کشاورزان نسبت به ایجاد محدودیت منابع برای تخصیص برای دریاچه‌ها وجود ندارد و نتایج شبیه‌سازی این متغیر نشان می‌دهد که درک مردم آن ناحیه از محدودیت منابع به حد آستانه موردنیاز برای تغییر روش رفتاری نرسیده است. در ناحیه ۲ متغیر حساسیت جامعه در کل سال‌های مورد مطالعه در حوالی ۱۰۰ نوسان می‌کند این بدان معناست که تغییرات در این ناحیه یا بسیار کم بوده یا تعادلی بین سود اقتصادی حاصل از کشاورزی و دیدگاه آن‌ها نسبت به سلامت اکوسیستم برقرار است و نمی‌تواند بر تغییر اولویت و رفتار کلی آن‌ها تأثیر بگذارد. حساسیت جامعه در ناحیه ۳ پس از یک نزول کوتاه

با ۱ فرض می‌شود. با توجه به عدم دسترسی به سری زمانی اطلاعات صادرات گندم از حوضه و همچنین سیاست‌های دولت در خودکفایی تولید گندم، در محاسبه تقاضا از این تابع صرف‌نظر شده است.

$$D_E = \left[\frac{\Delta P_n}{P_{ni}} + f(Z_C) \right] \left(1 - \frac{A_C}{A_T} \right) \quad (22)$$

$$f(D_E) = X_{maxD} \left(\frac{D_E}{k_D + D_E} \right) \quad (23)$$

مقدار X بزرگی و ماهیت کلی پاسخ رفتاری را نشان می‌دهد. این مقدار در واکنش‌های مدیریتی نمود می‌یابد و می‌تواند منجر به تغییرات سطح زیرکشت (ΔA_C) شود. اگر X منفی باشد به این معناست که تقاضای توسعه بر میزان حساسیت جامعه غالب بوده و پاسخ رفتاری جامعه به سمت افزایش استفاده از منابع آب و زمین پیش می‌رود و برعکس. نحوه اثرگذاری پاسخ رفتاری در سطح زیرکشت در رابطه (۲۴) ارائه شده است. در این رابطه A_{Cmax} نشان‌دهنده بیش‌ترین درصد سالانه تغییر زمین با پوشش طبیعی به زمین کشاورزی و A_{Rmax} بیشترین درصد از سطح زمین که پوشش گیاهی طبیعی کاشته شده یا پوشش قدیمی آن بازیابی شده است. در مدل اجتماعی این دو پارامتر به همراه دو پارامتر معرفی شده در رابطه (۱۶)، چهار پارامتر کالیبراسیون مدل هستند که به‌وسیله الگوریتم ژنتیک بهینه می‌شوند.

$$\frac{dA_C}{dt} = \begin{cases} -\frac{X}{100} \cdot A_{Cmax} \cdot A_T & X \leq 0 \\ -\frac{X}{100} \cdot A_{Rmax} \cdot A_T & X > 0 \end{cases} \quad (24)$$

در ادامه با استفاده از مدل تشریح‌شده، سطح زیرکشت محصول گندم آبی شبیه‌سازی شده و حساسیت جامعه در هر یک از ۵ ناحیه حوضه آبریز طشک- بختگان به‌دست آمده است. سپس با در نظر گرفتن آب مصرفی گندم آبی، میزان جریان خروجی از هر ناحیه تا رسیدن به محل دریاچه‌ها شبیه‌سازی شده است.

نتایج و بحث

در این تحقیق سطح زیرکشت براساس سود اقتصادی و شرایط زیست‌محیطی (سلامت اکوسیستم) با مدل اجتماعی شبیه‌سازی شده و از مدل هیدرولوژیکی برای محاسبه جریان خروجی استفاده شده است. روابط مدل هیدرولوژی اجتماعی ارائه شده در این مقاله با استفاده از زبان برنامه‌نویسی متلب کدنویسی شده است. برای واسنجی پارامترها از روش بهینه‌سازی تکاملی الگوریتم ژنتیک با مقادیر حقیقی بهره گرفته شده است. اصلی‌ترین جزئی که لازم است در کدهای این الگوریتم در یک زبان برنامه‌نویسی (مطلب) تغییر کند، تابع هدف و پارامترهای مدل است. تابع هدف در مدل اجتماعی و هیدرولوژیکی به‌ترتیب شاخص خطای جذر میانگین مربعات (RMSE⁴) و شاخص معیار کارایی نش- ساتکلیف (NSE⁵) است. در این تحقیق برای رسیدن به بهترین جواب ممکن از احتمال‌های وقوع ترویج و جهش متفاوتی استفاده شده است. نرخ ترویج بین بازه ۰/۷ تا ۰/۹۵ و نرخ جهش در بازه ۰/۰۸ تا ۰/۱۵ تغییر می‌کند. همچنین به‌منظور رسیدن به بالاترین

⁵ Nash-Sutcliffe Efficiency

⁴ Root Mean Square Error

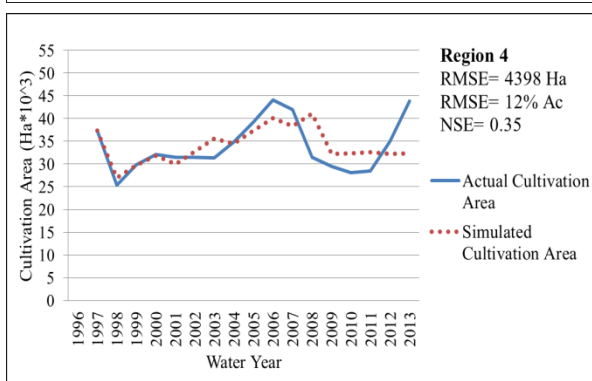
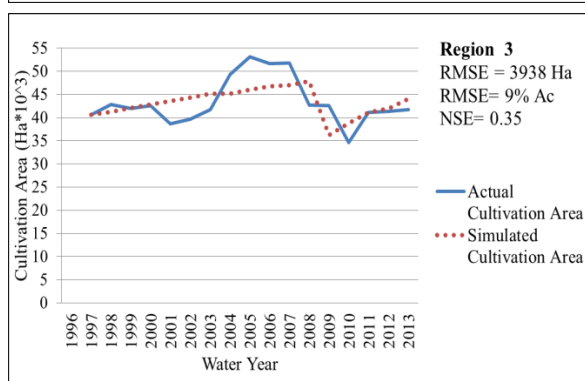
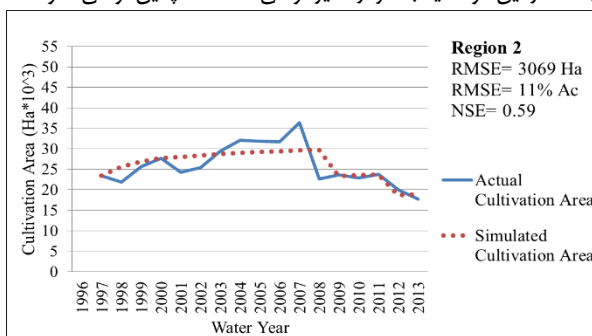
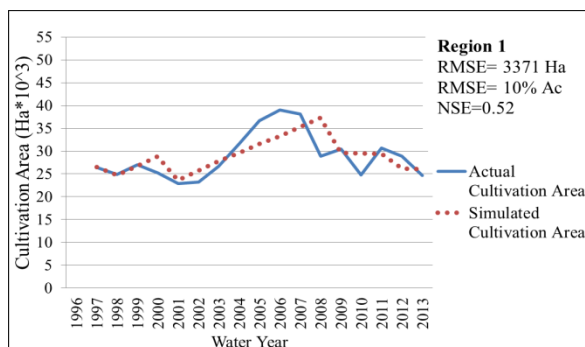
از سال ۱۳۷۹ در محدوده ۹۰ نوسان می‌کند که در مقایسه با ناحیه ۱ دارای حساسیت بیشتر و در مقابل ناحیه ۲ حساسیت کمتری دارند. در ناحیه ۴ حساسیت جامعه در حدود اعداد ۱۰۰ تا ۱۱۰ نوسان می‌کند.

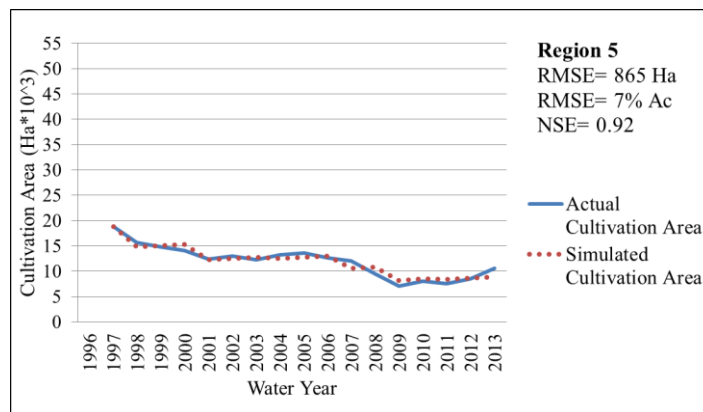
جدول ۲- حدود بالا و پایین پارامترهای مدل‌سازی.

نواحی مطالعاتی					مدل هیدرولوژی			
ناحیه ۵	ناحیه ۴	ناحیه ۳	ناحیه ۲	ناحیه ۱	حد بالا	حد پایین	پارامتر	ردیف
-	۸.۴۵	۵.۰۱	۹.۲۶	۱۴.۰۳	۴۰۰	۰	USMX	۱
-	۱۹.۸۳	۵.۰۰	۴۵.۴۰	۶۳.۸۵	۴۰۰	۰	LSMX	۲
-	۰.۹۷	۰.۹۷	۱	۰.۹۶	۱	۰.۵	C	۳
-	۰.۲۱	۰.۷۶	۰.۰۶	۰.۴۷	۱	۰	K1	۴
-	۰.۶۰	۰.۳۶	۰.۰۹	۰	۱	۰	K2	۵
-	۰.۳	۰.۰۱	۱	۰.۳	۱	۰	K3	۶
-	۱	۰.۶۴	۰.۲۳	۱	۱	۰	K4	۷
مدل اجتماعی								
ناحیه ۵	ناحیه ۴	ناحیه ۳	ناحیه ۲	ناحیه ۱				
۰.۷۱	۰.۲۲	۰.۰۰۰۵	۰.۲۷	۱.۰۷	۵	۰	γ_{es}	۱
۰.۰۰۰۱	۰.۱۰	۰.۱۸	۰.۲۸	۴.۰۰	۵	۰	γ_e	۲
۰.۰۴	۰.۸۰	۰.۲۵	۰.۰۴	۰.۵۱	۱	۰	A_{Cmax}	۳
۰.۰۱	۰.۲۰	۰.۳۲	۰.۲۰	۰.۰۸	۱	۰	A_{Rmax}	۴

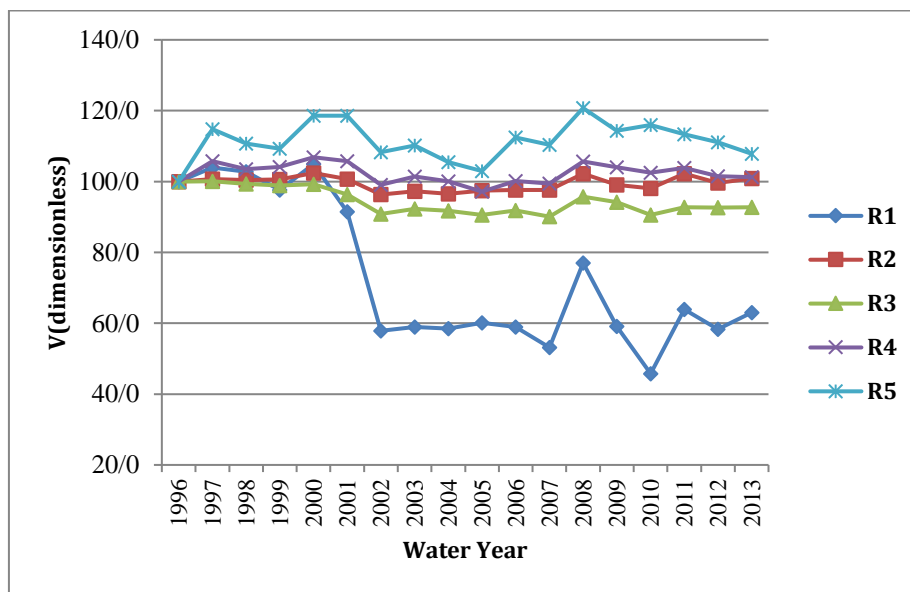
۵ نسبت به ناحیه ۳، در انتهای دوره مدل‌سازی حساسیت بیشتری نسبت به ابتدای دوره مدل‌سازی دارند. بنابراین ساکنان این دو ناحیه حساسیت بیشتری نسبت به مسائل زیست‌محیطی حوضه داشته و احتمال اینکه اولویت خود را به استفاده کمتر از منابع آب و زمین تغییر داده باشند، وجود دارد.

در ناحیه ۵ یعنی زمین‌های اطراف دریاچه طشک- بختگان بین اعداد ۱۱۰ تا ۱۲۰ که نسبت به سه ناحیه دیگر بیشتر است. نتایج بدست آمده با واقعیت رخ داده در منطقه نیز هماهنگی دارد؛ به‌گونه‌ای که در نواحی ۴ و ۵ که در پایین‌دست حوضه قرار دارند و بیشتر تحت تأثیر خشکسالی و پیامدهای خشک شدن دریاچه‌ها قرار می‌گیرند، حساسیت جامعه در این دو ناحیه بالاتر از سایر نواحی است. همچنین نواحی ۴ و





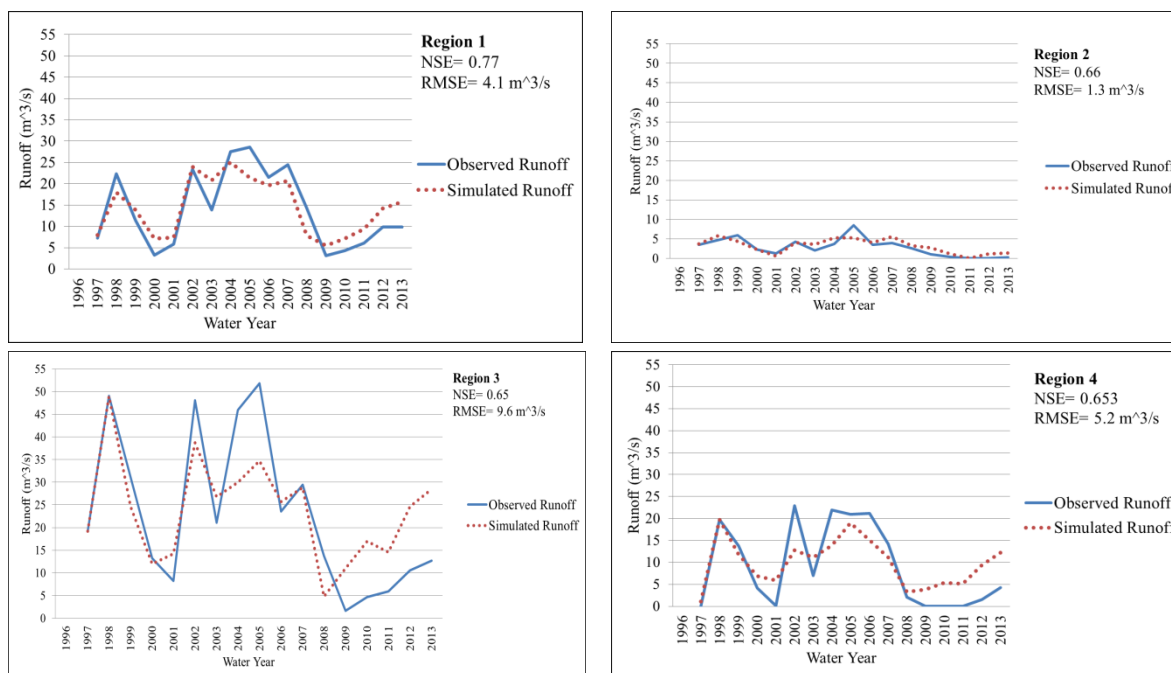
شکل ۴- سطح زیرکشت مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در نواحی پنج گانه حوضه.



شکل ۵- حساسیت جامعه در نواحی پنج گانه حوضه.

است. نواحی ۱، ۳ و ۴ روند مشابهی داشته‌اند. در ناحیه ۱ و ۳ میزان جریان خروجی از این نواحی از سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ بسیار کم شده اما پس از آن افزایش می‌یابد. در هر دو ناحیه عنوان شده، مدل توانایی شبیه‌سازی این تغییر روند را داشته است. در ناحیه ۴ هم همین روند وجود دارد اما پس از سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ این میزان تا سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ صفر بوده و پس از آن، رواناب خروجی از این ناحیه با مقدار بسیار اندک (کم‌تر از ۵ مترمکعب در ثانیه) جریان دارد. در مدل هیدرولوژیکی خصوصاً در نواحی ۳ و ۴ پس از سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ میزان جریان خروجی افزایشی و روبه بهبود بوده و با روند واقعی اختلاف دارد، این اختلاف می‌تواند ناشی از مصارف و برداشت‌های پنهان در حوضه آبریز باشد.

در شکل ۶ جریان خروجی از نواحی در ایستگاه‌های درودزن، تنگ بلاغی، پل خان و حسن‌آباد- خرامه به ترتیب برای ناحیه اول تا چهارم ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی برای نواحی ۱ و ۲ بهتر و برای نواحی ۳ و ۴ دارای اختلاف با مقادیر واقعی در سال‌های انتهایی تحقیق بوده است. ناحیه ۵ به دلیل نداشتن رودخانه دائمی، ایستگاه آب‌سنجی ندارد، بنابراین مدل هیدرولوژیکی برای این ناحیه اجرا نشده است. به‌طور کلی در تمامی نواحی مطالعاتی حداقل شاخص NSE برای شبیه‌سازی رواناب، ۰/۶۵ می‌باشد. جریان خروجی (رواناب رودخانه) در ناحیه ۲ در طی سال‌های تحقیق از حدود ۵ مترمکعب بر ثانیه در سال‌های اولیه به حدود صفر در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ و سال‌های پس از آن رسیده که مدل توسعه داده شده به خوبی توانسته است این کاهش را شبیه‌سازی کند. دلیل این کاهش رواناب، کاهش بارش‌ها به دلیل خشکسالی سال‌های پیشین در حوضه و سال‌های پس از آن و همچنین افزایش مصارف بوده



شکل ۶- رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴.

برخلاف نتایج مطالعات پیشین تمامی نواحی بالادست شرایط مشابهی نسبت به توسعه کشاورزی و یا حفاظت از محیط‌زیست و منابع آب ندارند. ناحیه ۲ علیرغم اینکه در بالادست حوضه قرار دارد، دارای حساسیت به مراتب بیشتری نسبت به ناحیه ۱ است. در ناحیه ۴ علیرغم افزایش سطح زیرکشت، پیش‌بینی می‌شود که در صورت عدم وقوع دوره ترسالی، با توجه به اینکه کشاورزان آسیب‌های زیست‌محیطی و اثر آن بر سود خود را مشاهده کرده‌اند (شور شدن اراضی کشاورزی)، اولویت و رفتار آن‌ها تغییر یافته و به کاهش سطح زیرکشت منجر شود. ناحیه ۵ که دارای مشکلات زیست‌محیطی بیش‌تری نسبت به سایر نواحی است، بیش‌ترین میزان حساسیت جامعه را داراست. در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در تمامی نواحی به‌غیر از ناحیه ۱، رفتار فراگیر جامعه به سمت منفعت جمعی بلندمدت به جای منفعت فردی کوتاه‌مدت تمایل دارد.

جمع‌آوری داده در مطالعات هیدرولوژی اجتماعی که موضوعی میان‌رشته‌ای است از منابع مختلفی صورت می‌پذیرد. در شرایطی که اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری مانند بارش و دبی رودخانه می‌تواند به‌صورت سری زمانی بلندمدت و در مقیاس روزانه یا ماهانه موجود باشد، امکان دسترسی به سایر داده‌ها با چنین دقتی مهیا نیست. داده‌های جمعیتی و اقتصادی که سازمان‌های مختلفی متولی تهیه آن‌ها هستند، با داده‌های هیدرولوژی چالش‌نازگاری مقیاس زمانی و مکانی دارند. در حالی که برای سنجش و بررسی تغییر در ارزش‌ها و باورهای اجتماعی و آستانه‌های واکنش رفتاری جامعه این چالش تبدیل به چالش کمبود و نبود منابع اطلاعاتی می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات پیوسته در تمامی ابعاد سیستم‌های منابع آب، چاره‌ای نیست که مدیریت این سیستم‌ها بر مبنای سازوکاری برای درک تغییرات و انطباق با آن‌ها استوار شود. در این تحقیق از مدل مفهومی هیدرولوژی-اجتماعی برای بررسی تغییر اولویت ساکنان حوضه آبریز طشک-بختگان استفاده شده است. این مطالعه با استفاده از محرک‌های اثرگذار بر تعامل کشاورزان و آب، پتانسیل مدل‌سازی هیدرولوژی اجتماعی برای توصیف سیستم‌های درهم‌تنیده آب-انسان را با مفاهیم ساده نشان می‌دهد. در چارچوب مدل‌سازی دو حلقه بازخوردی شامل حلقه اقتصادی-جمعیتی و حلقه حساسیت وجود دارد. در حقیقت متغیر حساسیت جامعه برای برقراری تعادل بین درک از تخریب محیط‌زیست و شرایط اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی منطقه استفاده شده است. در نهایت متغیر پاسخ رفتاری به‌عنوان مکانیزم بازخوردی قابل‌مشاهده، ارتباط تصمیمات مدیریت زمین و آب را به هیدرولوژی انعکاس می‌دهد.

نتایج مدل‌سازی حاکی از آن است که با توجه به میانگین خطای کمتر از ۱۰٪ در شبیه‌سازی سطوح زیرکشت، انتخاب عوامل مؤثر بر حساسیت جامعه، انتخاب مناسبی بوده است. هرچند که می‌توان با اضافه کردن سهم دیگر بخش‌های اقتصادی (صنعت و خدمات)، شبیه‌سازی مناسب‌تری از حساسیت کل جامعه بدست آورد. نتایج مدل‌سازی هیدرولوژی حوضه با در نظر گرفتن دو لایه خاک با ورودی سطح زیرکشت محاسباتی، نشان از دقت قابل‌قبول مدل در توانایی شبیه‌سازی جریان رواناب در حوضه طشک-بختگان دارد.

کشاورزان در نواحی بالادست حوضه به دلیل درگیر نبودن با مشکلات زیست‌محیطی، اقداماتشان در مجموع به سمت حفاظت از منابع آب و سلامت اکوسیستم حوضه تمایل پیدا نکرده و سود اقتصادی برای آن‌ها در اولویت است. نکته حائز اهمیت تفاوت در ناحیه ۱ و ۲ است،

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهشی

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

حامی مالی

حمایت مالی این مقاله در قالب رساله دکتری نویسنده اول، توسط دانشگاه تربیت مدرس انجام شده و بدینوسیله نویسندگان مقاله، مراتب قدردانی خود را از دانشگاه تربیت مدرس ابراز می‌دارند.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: بهزاد رهنما؛

روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: بهزاد رهنما، نیلوفر نجفی توه‌خشکه، فرزین نصیری صالح، مجید کوششی، رضا رفیعی آتانی؛ نظارت و نگارش نهایی: فرزین نصیری صالح.

تعارض منافع

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

References

1. Bagheri, M.H., Bagheri, A., and Sohooli, Gh. A. 2016. Analysis of changes in the Bakhtegan lake water body under the influence of natural and human factors. *Iran-Water Resources Research*, 12(3): 1-11. [In Persian].
2. Jalali, A. (2017) Evaluation of water resources management system at the catchment scale Case study: Tashk - Bakhtegan Basin). M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture Sciences, Tarbiat Modares University (TMU) [In Persian].
3. Rahnema, B. (2013) Optimization of monthly water balance model structure via multi-evaluation criteria. M.Sc. Thesis, School of Civil Engineering, University of Tehran [In Persian].
4. Abbasi, H., Delavar, M., and Bigdeli Naalbandan, R. 2020. Evaluation of climate change impacts on water resource sustainability in river basins using the water footprint scarcity indicators. *Iran-Water Resources Research*, 15(4): 259-272. [In Persian].
5. Moghimi Benhangi, S., Bagheri, A., and Abolhasani, L. 2018. Assessment of social learning capacity of water institution in the Tashk-Bakhtegan basin. *Iran-Water Resources Research*, 14(2): 100-118. [In Persian].
6. Mianabadi, A., Jarkeh, M.R., Mianabadi, H., and Kolahi, M. 2018. Socio-hydrology. *The Socio-Cultural Research Journal of Rahbord*, 7(27): 47-78. [In Persian].
7. Mianabadi, A., Mianabadi, H., and Alizadeh, A. 2017. A Novel Attitude on Classical Hydrology. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(11): 539-551. [In Persian].
8. AghaKouchak A, Norouzi H, Madani K, Mirchi A, Azarderakhsh M, Nazemi A, Nasrollahi N, Farahmand A, Mehran A and Hasanzadeh E. 2015. Aral Seasynndrome desiccates Lake Urmia: call for action. *J. Great Lakes Res.* 41(1):307-311.
9. Allan J A. 1996. Policy responses to the closure of water resources: Regional and global issues, in: *Water policy: Allocation and management in practice*. edited by Howsam P, Carter R C, CRC Press, London, UK:228-234.
10. Armitage C and Christian J. 2003. From attitudes to behaviour: Basic and applied research on the theory of planned behavior. *Current Psychology*. 22:187-195.
11. Arthington A H and Pusey B J. 2003. Flow restoration and protection in Australian rivers. *River Research and Applications*, 19:377-395.
12. Baldassarre G D, Viglione A, Carr G, Kuil L, Salinas J and Blöschl G. 2013. Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. *HESS*. 17(8):3295-3303.
13. Blair P and Buytaert W. 2016. Socio-hydrological modeling: a review asking "why, what and how?" *HESS*. 20(1):443-478.
14. Briguglio L, Cordina G, Farrugia N, and Vella S. 2009. Economic vulnerability and resilience: Concepts and measurements. *Oxford Development Studies*. 37: 229-247.
15. Broderick K. 2007. Getting a handle on social-ecological systems in catchments:

- the nature and importance of environmental perception. *Aust Geogr.* 38:297-308.
16. Bunch M J, Morrison K E, Parkes, M W, and Venema H D. 2011. Promoting Health and Well-Being by Managing for Social Ecological Resilience: the potential of integrating ecohealth and water resources management Approaches. *Ecology and Society.* 16:6-23.
 17. Bunn S E and Arthington AH. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management.* 30:492-507.
 18. Carpenter S R, Stanley E H and Vander Zanden M J. 2011. State of the world's freshwater ecosystems: Physical, chemical, and biological changes. *Annu. Rev. Env. Resour.* 36:75-99.
 19. Chen X, Wang D, Tian F, and Sivapalan M. 2016. From channelization to restoration: Sociohydrologic modeling with changing community preferences in the Kissimmee River Basin, Florida. *Water Resources Research* 52(2):1227-1244.
 20. Daily G C. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems.* Island Press, Washington DC.
 21. Elshafei Y, Coletti J, Sivapalan M and Hipsey M. 2015. A model of the socio-hydrologic dynamics in a semiarid catchment: Isolating feedbacks in the coupled human-hydrology system. *Water Resour. Res.* 51(8):6442-6471.
 22. Elshafei Y, Sivapalan M, Tonts M and Hipsey M. 2014. A prototype framework for models of socio-hydrology: identification of key feedback loops and parameterisation approach. *HESS.* 18(6):2141-2166.
 23. Enteshari S, Safavi H R, van der Zaag P. 2020. Simulating the interactions between the water and the socio-economic system in a stressed endorheic basin. *Hydrological Sciences Journal,* 65(13):2159-2174.
 24. Ertsen M, Murphy J, Purdue L and Zhu T. 2014. A journey of a thousand miles begins with one small step-human agency, hydrological processes and time in socio-hydrology. *HESS.* 18(4):1369-1382.
 25. Falkenmark M. 1979. Main problems of water use and transfer of technology. *GeoJournal.* 3(5):435-443.
 26. Folke C. 2003. Freshwater for Resilience: A Shift in Thinking. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B.* 358:2027-2036.
 27. Forbes B C, Fresco N, Shvidenko A, Danell K, and Chapin F S. 2004. Geographic variations in anthropogenic drivers that influence the vulnerability and resilience of social-ecological systems. *Ambio.* 33:377-382.
 28. Grizzetti B, Lanzanova D, Liqueste C, Reynaud A, Cardoso A C. 2016. Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy.* 61: 194-203.
 29. Jazim A A. 2006. A Monthly Six-parameter Water Balance Model and Its Application at Arid and Semiarid Low Yielding Catchments. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences* 19(1):65-81.
 30. Kandasamy J, Sountharajah D, Sivabalan P, Chanan A, Vigneswaran S and Sivapalan M. 2014. Socio-hydrologic drivers of the pendulum swing between agricultural development and environmental health: a case study from Murrumbidgee River basin, Australia. *HESS.* 18:1027-1041.
 31. Kinzig A P, Ehrlich P R, Alston L J, Arrow K, Barrett S, Buchman T G, Daily G C, Levin B, Levin S, and Oppenheimer M. 2013. Social norms and global environmental challenges: The complex interaction of behaviors, values, and policy. *BioScience.* 63:164-175.
 32. Kuil L, Carr G, Viglione A, Prskawetz A and Blöschl G. 2016. Conceptualizing socio-hydrological drought processes: The case of the Maya collapse. *Water Resour. Res.* 52(8):6222-6242.
 33. Liu D, Tian F, Lin M, and Sivapalan M. 2015. A conceptual socio-hydrological model of the co-evolution of humans and water: case study of the Tarim River basin, western China, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19:1035-1054.
 34. Liu Y, Tian F, Hu H and Sivapalan M. 2014. Socio-hydrologic perspectives of

- the co-evolution of humans and water in the Tarim River basin, Western China: the Taiji-Tire model. *HESS*. 18(4):1289-1303.
35. Mankad A. 2012. Decentralised water systems: Emotional influences on resource decision making. *Environment International*. 44:128-140.
 36. Mirchi A, Watkins D W, Huckins C J, Madani K, and Hjorth P. 2014. Water resources management in a homogenizing world: averting the Growth and Underinvestment trajectory. *Water Resour. Res.* 50(9): 7515-7526.
 37. Molle F. 2003. Development trajectories of river basins: a conceptual framework. Research Report, International Water Management Institute, 72, Colombo, SriLanka.
 38. Penny G and Goddard J J. 2018. Resilience principles in socio-hydrology: A case-study review. *Water Security*. 4-5: 37-43.
 39. Pouladi P, Afshar A, Afshar M H, Molajou A, Farahmand H. 2019. Agent-based socio-hydrological modeling for restoration of Urmia Lake: Application of theory of planned behavior. *J. Hydrol.* 576: 736-748.
 40. Ross A and Chang H. 2020. Socio-hydrology with hydrosocial theory: two sides of the same coin? *Hydrological Sciences Journal*. 65(9):1443-1457.
 41. Roobavannan M, Kandasamy j, Pande S, Vigneswaran s, and Sivapalan M. 2020. Sustainability of agricultural basin development under uncertain future Climate and economic conditions: A socio-hydrologic analysis. *Ecological Economics*. 174.
 42. Roobavannan M, Kandasamy j, Pande S, Vigneswaran s, and Sivapalan M. 2017. Role of Sectoral Transformation in the Evolution of Water Management Norms in Agricultural Catchments: A Sociohydrologic Modeling Analysis. *Water Resour. Res.* 53: 8344-8365.
 43. Scott C A, Vicuña S, Blanco-Gutiérrez I, Meza F and Varela-Ortega C. 2014. Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin resilience. *HESS*. 18(4):1339-1348.
 44. Seymour E, Curtis A, Pannell D, Allan C, and Roberts A. 2010. Understanding the role of assigned values in natural resource management. *Australasian Journal of Environmental*, 17:142-153.
 45. Sherrieb K, Norris F H, and Galea S. 2010. Measuring Capacities for Community Resilience. *Social Indicators Research*. 99:227-247.
 46. Sivapalan M, Savenije H H, and Blöschl G. 2012. Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrol. Processes*, 26(8):1270-1276.
 47. Smith J, Moore R, Anderson D, and Siderelis C. 2012. Community Resilience in Southern Appalachia: A Theoretical Framework and Three Case Studies. *Human Ecology*. 40:341-353.
 48. Srinivasan V, Lambin E F, Gorelick S M, Thompson B H and Rozelle S. 2012. The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies. *Water Resour. Res.* 48:W10516.
 49. Steffen W, Grinevald J, Crutzen P, and McNeill J. 2011. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives, *Philosophical Transactions of The Royal Society, A*. 369:842-867.
 50. Tolun L G, Ergenekon S, Hocaoglu S M, Donertas A S, Cokacar T, Husrevoglu S, Beken C P, and Baban A. 2012. Socioeconomic Response to Water Quality: a First Experience in Science and Policy Integration for the Izmit Bay Coastal System. *Ecology and Society*. 17:40-53.
 51. Turner B L. 2010. Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science?. *Glob. Environ. Change*. 20:570-576.
 52. UNDP. 2015. Human Development report 2015. New York. NY 10017.
 53. van Emmerik T H M, Li Z, Sivapalan M, Pande S, Kandasamy J, Savenije H H G., Chanan A, and Vigneswaran S. 2014. Socio-hydrologic modeling to understand and mediate the competition for water between agriculture development and environmental health: Murrumbidgee River basin, Australia, *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 18:4239-4259.
 54. Wei J, Wei Y, Western A. 2017. Evolution of the societal value of water resources for economic development versus environmental sustainability in

- Australia from 1843 to 2011. *Glob. Environ. Change.* 42:82-92.
55. Zilberman D, Dinar A, MacDougall N, Khanna M, Brown C, and Castillo F. 2011. Individual and institutional responses to the drought: the case of California agriculture. *J. Contemp. Water Res. Educ.* 121:17-23.

