تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹
Volume 16, No. 2, Summer 2020 (IR-WRR)
۱۸-۳۴

# مدل‌سازی سیستم منابع آب تالاب هورالعظیم/هورالهویزه با رویکرد پویایی سیستم

نرگس خاتون دولت‌آبادی[۱]، محمدابراهیم بنی‌حبیب[۲*] و عباس روزبهانی[۳]

## چکیده

در دهه‌های اخیر، سطح آب تالاب هورالعظیم/هورالهویزه (در مرز ایران و عراق) به عنوان یکی از منابع آب مشترک، به شدت کاهش یافته است. در حوضه‌های مشترک، در نظر گرفتن تعاملات بین سیستم‌های منابع آب در کشورهای حوضه آبریز، با استفاده از رویکرد سیستم پویا امکان‌پذیر است. مدل ارائه شده، تعاملات بین سیستم‌های منابع آب ایران، عراق و ترکیه را بدون در نظر گرفتن سیستم‌های اجتماعی- اقتصادی این کشورها، در حوضه مشترک تالاب هورالعظیم/هورالهویزه برای دوره ۲۰۱۶- ۲۰۰۴ شبیه‌سازی نموده است که می‌تواند برای تحلیل سناریوهای مختلف در حوضه استفاده شود. به علاوه، این مطالعه سیستمی پویا را برای چندین تصمیم‌گیر با منافع مختلف، براساس یکپارچگی حوضه، توسعه داده است. صحت‌سنجی این مدل نشان داد مدل توسعه یافته، به منظور بازسازی رفتار پارامترهای مختلف درون سیستم، به خوبی واسنجی شده است. نتایج نشان می‌دهد که آب ورودی دجله به عراق از ترکیه، در دوره شبیه‌سازی، کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. متعاقباً، ورودی به تالاب هورالعظیم/هورالهویزه، به طور متوسط در این بازه زمانی، ۶۱ درصد کم‌تر از ظرفیت این تالاب بوده است. همچنین نتایج مدل برای دو سناریوی تکمیل پروژه GAP و کاهش ۱۰ درصدی سطح زیر کشت، در هر سه کشور، نشان می‌دهد که آب ورودی به تالاب به ترتیب ۴۰۰ میلیون مترمکعب کاهش و ۱۹۰۰ میلیون مترمکعب نسبت به ۲۰۲۰ افزایش می‌یابد. بطور کلی، از مدل ارائه شده می‌توان به عنوان ابزار پشتیبانی برای ارزیابی تصمیم‌های سیاست‌گذاران در منطقه استفاده نمود. در نتیجه، برای بهبود شرایط زیست‌محیطی، گزینه‌های مدیریتی باید با توجه به یکپارچگی حوضه‌های مشترک تعریف شوند.

***کلمات کلیدی:*** سیستم پویا، مدل‌سازی سیستم منابع آب مشترک، تالاب هورالعظیم/هورالهویزه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۶/۳۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۹/۲۲

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.
۲- استاد، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.
۳- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

# Modeling of the Water Resources System of Hoor-Al-Azim/Hawizeh Wetland Using System Dynamics Approach

*N. Dowlatabadi [1], M.E. Banihabib [2*], and A. Roozbahani [3]*

## Abstract

In recent decades, water level of the Hoor-Al-Azim/Hawizeh wetland (located on border of Iran-Iraq) as Shared resources has reduced sharply. In shared watersheds, interactions between riparian countries of a water resource system can be considered by a system dynamic model. The proposed model simulated the interactions among water resource systems of Iran, Iraq and Turkey without interactions of Socio-economic subsystem over the period of 2004–2016, which can be used to analyze various scenarios in the shared basin of Hoor-Al-Azim/Hawizeh. In addition, this study has developed a system dynamics model for several decision makers with different interests, based on integrated watershed. The model was validated for extreme conditions and the results showed well-calibration of the developed model to reconstruct the behavior of different parameters within the system. The results also showed that Tigris inflow to Iraq from Turkey has been decreased significantly during the simulation period. Subsequently, the inflow to the Hoor-Al-Azim/ Hawizeh wetland during the simulation period had been 61% less than the environmental flow averagely. Moreover, the model results for two scenarios of GAP project completion and 10% reduction in cultivated area of the three countries showed that wetland inflow decreases to 400 MCM and increases to 1900 MCM, respectively. In general, the proposed model can be used as support tool to evaluate decisions of policy-makers in the region. Thereupon, results of model for different scenarios indicate that improvement of environmental conditions would be approached by management alternatives based on integration of basin.

***Keywords:*** Dynamic System, Modeling of Shared Water Resources, Hoor Al-Azim Wetland.

Received: September 22, 2019
Accepted: December 13, 2019

1- Ph.D. Student, Department of Irrigation and Drainage, College of Aburaihan , University of Tehran.
2- Professor, Department of Irrigation and Drainage, College of Aburaihan, University of Tehran. Email: banihabib@ut.ac.ir
3- Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage, College of Aburaihan , University of Tehran.
*- Corresponding Author

## ۱- مقدمه

مناقشات پیرامون آب‌های مشترک سبب افزایش آسیب به محیط‌زیست، افزایش مشکلات اجتماعی و همچنین مانعی در برابر رشد و توسعه اقتصادی است (Wolf, 2007). از این رو، توجه به چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب، یکی از راه‌کارها برای مدیریت آب‌های فرامرزی است (Ettehad, 2010). از سوی دیگر، همکاری کشورها در زمینه منابع آب به شدت به روابط سیاسی، اقتصادی و سطح اعتماد دو طرف به یکدیگر مرتبط است (Bazkar et al., 2013). فقدان توافق سیاسی و الگوهای پذیرفته شده بین‌المللی در میان کشورهای درحال توسعه، سبب پیچیدگی در مدیریت آب‌های فرامرزی شده است (Shahbazbegian et al., 2016). در واقع اصولاً در کشورها با منابع آب مشترک، کمبود آب منجر به مناقشات نمی‌شود بلکه سوء مدیریت و یک‌جانبه‌نگری در توسعه توسط هر یک از کشورهای واقع شده در حوضه آبریز سبب ایجاد مناقشات است (Banihabib and Dowlatabadi, 2017).

در مناطق خشک ضرورت وجود یک سیستم یکپارچه برای دیدن اثرات و پیامدهای استراتژی‌ها و گزینه‌های مختلف سیاسی در کل سیستم احساس می‌شود. Banihabib et al. (2015) بیان می‌کنند که چارچوب برنامه‌ریزی استراتژیک پایدار (SSPF)[1]، می‌تواند به آگاهی از نتایج استراتژی‌های اتخاذ شده برای بهبود شرایط در مدیریت منابع آب کمک کند. رویکردی که می‌تواند به مدیران و ذی‌مدخلان در پیرامون مدل‌سازی منابع مشترک کمک کند، مدل‌سازی پویای سیستم است. به طور خاص، مدل‌های پویای سیستم می‌توانند به مدیران و تصمیم‌گیران اطلاعات مهمی مربوط به ساختار سیستم را انتقال دهند و ذی‌مدخلان را به صورت بصری و با حداقل اصطلاح فنی، نسبت به پیامدهای اقدامات مختلف آگاه سازند (Stave, 2003). در این راستا، سیستم پویا می‌تواند به عنوان یک راه حل مناسب برای تصمیم‌گیری در حوضه‌های اصلی مورد توجه قرار گیرد (Azmi et al., 2012). در واقع، علم پویایی سیستم‌ها یک ابزار مدیریتی برای شبیه‌سازی پیامدهای تصمیم‌گیری‌های مختلف در سیستم‌های پیچیده منابع آب است (Salvitabar et al., 2006).

به دلیل توانایی مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده با متغیرهای متعدد و اجزای اصلی و همچنین تحلیل حساسیت، مدل‌سازی سیستم پویا می‌تواند به عنوان یک راه حل مناسب برای تصمیم‌گیری برای مدل‌سازی یکپارچه منابع آب در حوضه‌های اصلی مورد توجه قرار گیرد (Azmi et al., 2012). تا به حال مدل‌سازی پویای سیستم برای مدل‌سازی سیستم‌های زیست‌محیطی و آب در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Mereu et al., 2016; Qi and Chang, 2011). Babaeian et al. (2016) بیان نمودند که استفاده از مدل‌سازی سیستم پویا می‌تواند محیطی برای تصمیم‌گیری ایجاد نموده و با استفاده از آن به بررسی تأثیر گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری پرداخت. بر این اساس، برای ارزیابی اثرات اجتماعی- اقتصادی پروژه‌های بزرگ در تعیین پیشرفت‌های ملی/ منطقه‌ای در حوضه یک رودخانه با توجه به تلفیق زیرسیستم‌های اجتماعی- اقتصادی و منابع آب، تحقیقاتی صورت گرفته است و نتایج مطلوبی در شبیه‌سازی شرایط حاکم ارائه شده است (Jin et al., 2016; Han et al., 2017). همچنین Ebrahimi Sarindizaj and Zarghami (2018) در مطالعه‌ای برای احیاء پایدار دریاچه ارومیه، از دیدگاه پویایی سیستم برای بررسی اثرات و استراتژی‌های مختلف استفاده نموده‌اند. Nandalal and Simonovic (2003)، در یک مطالعه نظری با کاربرد سیستم پویا در حل مناقشات آب‌های مشترک، نشان دادند که دیدگاه‌های اولیه ذی‌مدخلان در مورد چگونگی تخصیص آب بر میزان تأثیر آن‌ها بر منابع مشترک و شدت مناقشه آن‌ها برای رسیدن به یک توافق نهایی مؤثر است. همچنین Bazkar et al. (2013)، در مطالعه‌ای برای برررسی مکانیزم‌های حاکم بر دشت سیستان برای کنترل پدیده گرد و غبار و سیلاب با تمرکز بر شهر زابل با توجه به بهره‌برداری از رودخانه مرزی هیرمند که بین ایران و افغانستان مشترک می‌باشد، استفاده از رویکرد پویای سیستم را پیشنهاد نموده‌اند؛ نتایج آن‌ها نشان داد، یکی از راه‌حل‌های رفع مسائل ایجاد شده مذاکره و برقراری روابط دوستانه با افغانستان است. در نتیجه، برای مدیریت منابع آب، ایجاد سیستم یکپارچه بهره‌برداری، حفاظت و نظارت بر منابع آب دارای اولویت می‌باشد (Azarnivand and Banihabib, 2017; Banihabib et al., 2017). علاوه بر موارد ذکر شده، Mazandarani zadeh et al. (2019)، با استفاده از تلفیق تئوری بازی و سیستم پویا در دشت قزوین نقش محصولات غیر استراتژیک را در افت سطح آبخوان و همچنین درآمد کشاورزان بررسی نمودند، نتایج آنان نشان داد که سناریو عدم کشت محصولات زراعی غیراستراتژیک به‌عنوان سناریوی تعادلی انتخاب شده است. از این رو، کاربرد یک مدل شبیه‌سازی پویای سیستم، فرصت مناسبی برای کشف رفتار و حل و فصل اختلافات با توجه به تخصیص آب نهایی و زمان لازم برای رسیدن به راه‌حل نهایی، را ارائه می‌دهد.

خشکسالی‌های پی‌درپی و عوامل انسانی همچون انحراف آب توسط رژیم بعث عراق، احداث سدهای عظیم بر روی رودهای منتهی به حوضه آبریز بین‌النهرین و شبکه‌های آبیاری زهکشی در هـر سه کشور ترکیه، عراق و ایـران، از عـوامل تأثیرگذار بـر کاهش سطح تالاب‌های بین‌النهرین از جمله تالاب هورالعظیم/هورالهویزه می‌باشد

(UNEP, 2013; Fouladavand and Sayyad, 2015). در واقع تصمیم‌گیران در حوضه دجله و کرخه سفلی تلاش کرده‌اند تا در طول دهه گذشته عرضه آب با میزان تقاضای آن مطابقت داشته باشد، در حالی‌که به اندازه کافی از تأثیر سیاست‌های انتخابی خود بر جنبه‌های دیگر سیستم پیچیده منابع آب منطقه، آگاهی نداشته‌اند.

استفاده از رویکرد پویایی سیستم در مسائل منابع آب، هنگامی مؤثر است که مسأله دارای پیچیدگی بوده و استفاده از روش‌هایی همچون بیلان نتواند این پیچیدگی را مرتفع سازد. از این رو، استفاده از رویکرد پویایی سیستم این پژوهش را قادر به یافتن ارتباطات علی و معلولی و جریانات حاکم بر سیستم منابع آب این منطقه کرده است و این تحقیق به لحاظ شبیه‌سازی سیستم پیچیده منابع آب تالاب هورالعظیم/هورالهویزه به عنوان یک تالاب مشترک بین‌المللی حائز اهمیت می‌باشد. تاکنون در مطالعات استفاده از رویکرد پویایی سیستم در حل و فصل مناقشات آب‌های مشترک مورد بررسی قرار گرفته و پیشنهاد شده است (Bazrkar et al., 2013; Shahbazbegian et al., 2016). در این راستا، مطالعه‌ای بر روی سد رنسانس بزرگ اتیوپی (GERD)[۲] در حوضه رودخانه نیل آبی[۳] مشترک بین کشورهای اتیوپی، مصر و سودان، با هدف تمرکز بر رویکردهای مدیریت این سد صورت گرفته است، در این مطالعه از تلفیق مدل سیستم پویا با مدل بهینه‌سازی برای به حداقل رساندن کمبود آب برای تولید انرژی و تقاضای آبیاری استفاده شده است (Tan et al., 2017). همچنین Sehlke and Jacobson (2004)، از مدل‌سازی سیستم پویا برای سیستم هیدرولوژیک رودخانه Bear، مشترک بین سه ایالت در امریکا استفاده نموده‌اند، علاوه بر موارد ذکر شده، مطالعه‌ای با رویکرد سیستم پویا در حوضه رودخانه مکونگ جنوبی (LMB)[۴] صورت گرفته است، به گونه‌ای که تمام مصارف و نیازها در کشورهای لائوس، ویتنام، تایلند و کامبوج به عنوان یک جزء در نظر گرفته شده‌اند (Pittock et al., 2016). بر این اساس، تاکنون از رویکرد مدل‌سازی سیستم پویا در حوضه مشترک بین چندین کشور با در نظر گرفتن تعاملات سیستم منابع آب این کشورها در حالی که تقاضاها به تفکیک مدل‌سازی شده باشد، استفاده نشده است. همچنین Ebrahimi Sarindizaj and Zarghami (2018)، پیشنهاد کردند که ذینفعان در انتخاب و اجرای طرح‌ها مشارکت نمایند. علاوه بر این، رویکردهای مدل‌سازی تا به امروز برای بررسی بازخوردهای بین عرضه و تقاضا با وجود یک تصمیم‌گیر در سطح حوضه صورت گرفته است؛ اما در این مطالعه سعی شده است که این نقص برطرف شود. در این راستا، ابتدا برای هر یک از سه کشور زیرسیستم منابع آب به صورت مجزا مدل‌سازی شده است، تا بتوان اثرات تصمیم‌گیری هر یک از تصمیم‌گیران در فضای تحت اختیار آنان مورد بررسی قرار گیرد، سپس این سه زیرسیستم با یکدیگر تلفیق شده و مدل سیستم منابع آب تالاب هورالعظیم/هورالهویزه توسعه یافته است. در نتیجه استفاده از این مدل فرصتی برای تولید اثرات تصمیم‌گیری‌های متفاوت در هر یک از سه کشور را فراهم می‌نماید. در ادامه مدل توسعه یافته در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۴ صحت‌سنجی شد و نتایج قابل قبول آن نشان داد که از این مدل می‌توان برای بررسی سناریوها در آینده استفاده نمود. از سوی دیگر، رویکرد مدل‌سازی ارائه شده در این پژوهش، در مناقشات منابع آب بین‌المللی از جمله تالاب‌های مشترک نیز قابل تعمیم می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز تالاب هورالعظیم/هورالهویزه شامل دو رودخانه بزرگ دجله و کرخه سفلی می‌باشد. در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی رودهای دجله و کرخه سفلی و همچنین موقعیت تالاب هورالعظیم/هورالهویزه در مرز بین ایران و عراق نشان داده شده است. مساحت حوضه‌آبریز رودخانه دجله ۲۲۱۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد که از این مقدار ۱۹ درصد در ایران، ۵۶/۱ در عراق، ۰/۴ در سوریه و ۲۴/۵ درصد ترکیه قرار دارد (Kumpel & Khalaf, 2013). همچنین رودخانه دجله و سرشاخه‌های آن به‌طور متوسط، سالانه حدود ۴۸/۰۵ میلیارد مترمکعب آب دارد. حجم آب سالانه دجله و سرشاخه‌های آن در ترکیه حدود ۲۱/۳ میلیارد مترمکعب و در عراق به‌طور متوسط حدود ۲۴/۴ میلیارد مترمکعب می‌باشد (Najafi Marghmaleki, 2017). مساحت تالاب هورالعظیم/هورالهویزه حدود ۳۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد که از این میزان حدود یک سوم آن در ایران قرار گرفته است و دو سوم از این مساحت در عراق واقع شده است. از سویی دیگر، دولت مرکزی عراق از سال ۱۹۸۵ برای امکان جابه‌جایی ارتش در تالاب و اکتشافات نفتی، پروژه‌های زهکشی و خشک نمودن تالاب را آغاز نمود که این پروژه‌ها تا ۲۰۰۳ ادامه داشته‌اند، به گونه‌ای که در سال ۲۰۰۰ کمتر از ۱۰ درصد از سطح تالاب باقی مانده بود (Al-Ansari et al., 2012). با این وجود حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد از تالاب که حجمی برابر ۵/۵ میلیارد مترمکعب دارد، قابل احیاء و آبگیری می‌باشد (Al-Ansari et al., 2012). به طور کلی، ظرفیت تالاب در بخش ایرانی در حدود ۱۰۵۵/۷۶ میلیون مترمکعب می‌باشد (ABFA, 2013). به همین ترتیب، عدم مدیریت صحیح منابع آب‌های مشترک بین سه کشور ایران، عراق و ترکیه و همچنین نادیده گرفتن مسائل زیست‌محیطی در توسعه‌های زیربنایی در این کشورها یکی از مهم‌ترین دلایل شکل‌گیری معضلات زیست‌محیطی همچون پدیده طوفان گرد و غبار در این منطقه می‌باشد (Banihabib & Dowlatabadi, 2016; Banihabib et al., 2018). از این رو، با توجه به مسائل مطرح شده

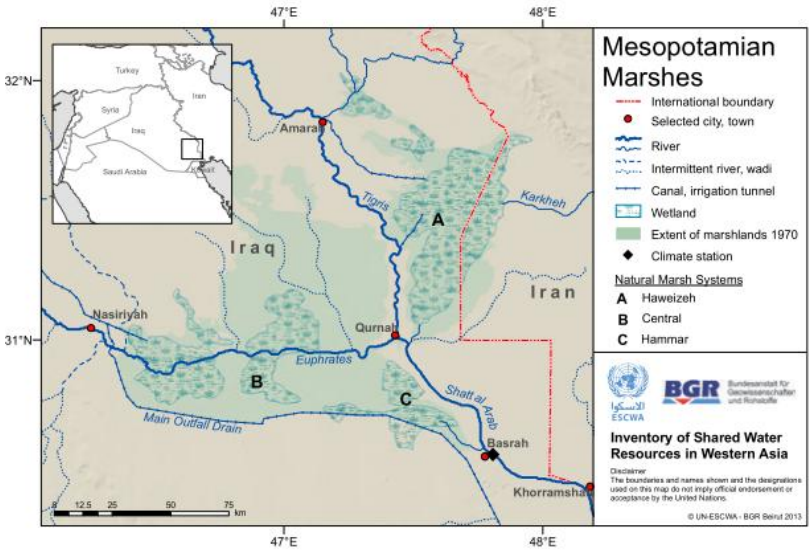


**Fig. 1- Location of the Hoor-Al-Azim/ Hawizeh Wetland, Karkheh and Tigris Rivers (UN-ESCWA. And BGR. 2013) (Rekacewicz, 2005)**

**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی تالاب هورالعظیم/هورالهویزه و رودخانه‌های دجله و کرخه سفلی (Rekacewicz, 2005)**

پیرامون کاهش سطح تالاب هورالعظیم/هورالهویزه، این تالاب به عنوان منطقه مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب شده است.

## ۲-۲- مدل‌سازی سیستم پویا

یک سیستم به عنوان مجموعه‌ای از عناصر تعریف شده است که به طور مداوم در طول زمان به شکل یکپارچه در تعامل هستند (Simonovic, 2012). در حقیقت سیستم‌ها از اجزاء وابسته به هم و زیرسیستم‌های در حال تعامل تشکیل می‌شوند که رفتار کلی سیستم را هدایت می‌نمایند و در نهایت به عنوان یک کل مورد تحلیل قرار می‌گیرد (Simonovic, 2012). مدل‌های پویایی سیستم می‌توانند پاسخ سیستم را به مداخلات در طول زمان بازتولید کنند، کـه باعث می‌شـود مسائل موجود در مقیاس و دامنه مناسب مطرح شود (Mirchi et al., 2012). اولین و مهمترین مرحله در مدل‌سازی پویایی سیستم، تعیین ساختار سیستم، متشکل از روابط گسسته مثبت و منفی بین اجزا و حلقه‌های بازخورد است (Sterman, 2001). به طور کلی، مرحله تجزیه و تحلیل کیفی مطالعه سیستم پویا شامل دو مرحله عمده: (۱) ایجاد یک مدل مفهومی با نمودار علی و معلولی [۵](CLD) برای مسأله مورد بررسی؛ و (۲) توسعه نمودار ذخیره جریان [۶](SFD) براساس نمودار علی و معلولی است (Gohari et al., 2013). در این مطالعه، انتخاب چارچوب مناسب برای بررسی مناقشه در تالاب هورالعظیم/هورالهویزه براساس دو معیار انتخاب شده است: ۱) مدلی که بتواند دیدگاه کلی از سیستم منابع آب حوضه آبریز را فراهم کند که در واقع بتواند مسأله زیست‌محیطی کاهش آب در تالاب را با عواملی همچون تامین آب آشامیدنی، صنعتی و کشاورزی در هر سه کشور مرتبط سازد. ۲) مدلی که بتواند اثر انتخاب استراتژی‌های مختلف از سوی هر سه کشور را بر مسائل زیست‌محیطی تالاب آشکار سازد. بنابراین، در این پژوهش از اصول مدل‌سازی سیستم پویا استفاده شده است. در این مطالعه مدل‌سازی مناقشه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه در سه مرحله انجام شده است: ۱) یک مدل مفهومی با استفاده از نمودارهای علی و معلولی برای زیرسیستم منابع آب در هر یک از سه کشور ایران، عراق و ترکیه براساس عناصر مدل و روابط علی و معلولی شناسایی شده و سپس یک مدل شبیه‌سازی یا نمودار ذخیره- جریان بر اساس مدل مفهومی و داده‌های ثبت‌شده در منطقه توسعه داده شد. ۲) صحت‌سنجی مدل مفهومی و مشاهده الگوهای رفتاری پارامترهای مختلف جهت اعتماد به مدل صورت گرفت. ۳) اجرای سناریو برای حل مسأله در انتهای این مطالعه انجام شده است.

### ۲-۲-۱- مدل مفهومی

در این مطالعه زیرسیستم "منابع آب" برای حل مناقشه در تالاب هورالعظیم/هورالهویزه برای هر یک از سه کشور ایران، عراق و ترکیه به صورت مجزا در نظر گرفته شده است. شکل ۲، نمودار علی و معلولی زیرسیستم منابع آب در نظر گرفته شده برای هر یک از سه کشور را نشان می‌دهد. هر یک از زیرسیستم‌ها شامل شاخه‌های متفاوتی از توسعه مدیریت منابع آب در حوضه یکپارچه دجله در دو کشور عراق و ترکیه و همچنین حوضه کرخه سفلی در ایران می‌باشد. قابل ذکر است حوضه کرخه سفلی در این مطالعه شامل چهار منطقه مطالعاتی دشت آزادگان، دشت عباس شرقی، چنانه خسرج و دشت آوان می‌باشد. همچنین، دو رودخانه زاب کوچک و دیاله که از ایران سرچشمه گرفته

و از مرز ایران عبور کرده و به عراق وارد شده و در نهایت به دجله می‌پیوندند. حجم آورد این دو رودخانه در مدل‌سازی در حجم رودخانه دجله در عراق لحاظ شده‌اند. سیستم منابع آب تالاب هورالعظیم/ هورالهویزه شامل سیستم منابع آب رودخانه دجله در ترکیه و عراق و همچنین سیستم منابع آب رودخانه کرخه سفلی در ایران، طراحی شده است. در این راستا سیستم منابع آب تالاب در سه کشور با درنظر گرفتن نقاط مرزی فیزیکی شامل ورودی آب به عراق از ترکیه و تالاب هورالعظیم/هورالهویزه در مرز بین ایران و عراق تلفیق شده است.

### ۲-۳- سیستم منابع آب تالاب هورالعظیم/هورالهویزه

سیستم منابع آب هر یک از سه کشور شامل عناصر هیدرولوژیکی (میانگین متوسط بارش، دمای سالانه، تبخیر از آب‌های سطحی- زیرزمینی و تبادل آب سطحی- زیرزمینی)، تقاضای آب در بخش شرب (سرانه مصرف آب شرب، جمعیت و نرخ رشد جمعیت)، تقاضای آب در بخش صنعت (سرانه مصرف آب صنعت، جمعیت و نرخ رشد جمعیت)، تقاضای آب در بخش کشاورزی (سطح زیر کشت، حجم آب مصرفی در هر هکتار)، تامین آب (منابع آب سطحی و زیرزمینی موجود، برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی) و آب برگشتی (شامل آب برگشتی از بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب به منابع آب سطحی- زیرزمینی) می‌باشد. لازم به ذکر است که در این مطالعه، تعاملات بین سیستم‌های منابع آب و زیرسیستم‌های اجتماعی- اقتصادی در سه کشور در نظر گرفته نشده است. در رویکرد پویایی سیستم‌ها، سیستم‌ها به عنوان یک شبکه از ذخیره و جریان مدل‌سازی می‌شوند. در مدل‌های توسعه یافته با سیستم پویا، متغیر ذخیره نشان‌دهنده تغییرات ذخیره در یک جزء سیستم می‌باشد (Wa'el et al., 2017). به طور کلی، متغیرهای ذخیره، وضعیت سیستم را توصیف می‌کنند و اطلاعاتی را که بتوان مبتنی بر آن‌ها استراتژی‌ها و تصمیم‌ها تعیین شود را تولید می‌کنند. علاوه بر این متغیرهای ذخیره در پاسخ به تغییرات متغیرهای جریان که به آن‌ها وارد و یا خارج می‌شوند، افزایش یا کاهش می‌یابند. شکل ۳ نمودار ذخیره- جریان سیستم منابع آب منطقه که به عنوان چارچوبی برای حل مناقشه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه توسعه داده شده است را نشان می‌دهد. هر فلش نشان‌دهنده یک ارتباط علی و معلولی است. مدل توسعه داده شده، حاصل از روابط بازخوردی بین عوامل اقلیمی و منابع آب است. در سیستم منابع آب تالاب هورالعظیم/هورالهویزه، متغیرهای ذخیره شامل آب سطحی در دسترس، آب زیرزمینی در دسترس، تأمین آب و جمعیت در هر یک از کشورها در حوضه آبریز می‌باشد. میزان تقاضای آب در بخش شرب و صنعت وابسته به جمعیت و نرخ رشد جمعیت در هر منطقه است، از سویی دیگر افزایش جمعیت منجر به افزایش سطح زیر کشت در بخش کشاورزی خواهد شد. بنابراین، با افزایش تقاضا در بخش شرب، صنعت و کشاورزی برداشت از منابع نیز روند افزایشی خواهد داشت. همچنین جریان برگشتی از بخش غیر مصرفی آب در بخش‌های مختلف به صورت بازگشت به آب‌های سطحی و شارژ مجدد آب‌های زیرزمینی به سیستم تغذیه می‌شود. از سویی دیگر، برداشت از منابع تجدیدپذیر برای تأمین تقاضا در کشورهای واقع شده در حوضه‌های مشترک، منجر به تشدید بحران کمبود آب و همچنین مناقشات در این مناطق می‌شود (Wolf, 2007). همچنین از شاخص بحران آب سازمان ملل (UN/WCI)[۷] جهت ارزیابی شرایط بحران و کمبود آب در منطقه و وضعیت میزان برداشت از منابع تجدیدپذیر استفاده شده است.

به طور کلی، در شبیه‌سازی سیستم منابع آب در مسائلی همچون تالاب هورالعظیم/هورالهویزه که دارای پیچیدگی بوده و دسترسی به اطلاعات و آمار با توجه به بین‌المللی بودن حوضه و اشتراک آن بین چندین کشور به راحتی امکان‌پذیر نیست؛ رویکرد سیستم پویا قابل استفاده است. برای شبیه‌سازی سیستم منابع آب تالاب هورالعظیم/هورالهویزه، زیرسیستم منابع آب برای هر سه کشور به صورت زیرسیستمی مجزا در نظر گرفته شده است و سپس تلفیق گردید. در بخش ایرانی مدل، تامین آب بیشتر از طریق رودخانه کرخه سفلی و در بخش عراق و ترکیه تأمین آب بیشتر از طریق رودخانه دجله صورت می‌گیرد. میزان استفاده از آب زیرزمینی در ایران براساس گزارش وزارت نیرو در نظر گرفته شده است (ABFA, 2013). همچنین در عراق در حدود ۵ الی ۹ درصد از نیازها از آب زیرزمینی تأمین می‌شود (Al-Ansari et al., 2014). به همین ترتیب، با توجه به عدم اطلاعات کافی در مورد استفاده از آب زیرزمینی در کشور ترکیه، فرض شده است که آب موررد نیاز حوضه در ترکیه، در ابتدا از آب سطحی و در صورت کمبود از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. برخی از مقادیر مانند میانگین بارش و دمای سالانه و سطح زیر کشت را به عنوان متغیرهای کمکی به صورت سری زمانی سالانه در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۴ به مدل وارد شده است. تالاب هورالعظیم/هورالهویزه به عنوان یک متغیر ذخیره در مرز بین ایران و عراق در حوضه کرخه سفلی و دجله به عنوان مرز فیزیکی پایین دست سیستم در نظر گرفته شده است. همچنین در نظر گرفتن متغیر جریانی با عنوان میزان آب ورودی به عراق از ترکیه سبب یکپارچگی مدل در این منطقه شده است.

### ۲-۴- شاخص بحران آب سازمان ملل (UN/WCI)

کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل، میزان درصد برداشت از آب تجدیدپذیر را به عنوان شاخص اندازه‌گیری بحران آب معرفی کرده است.

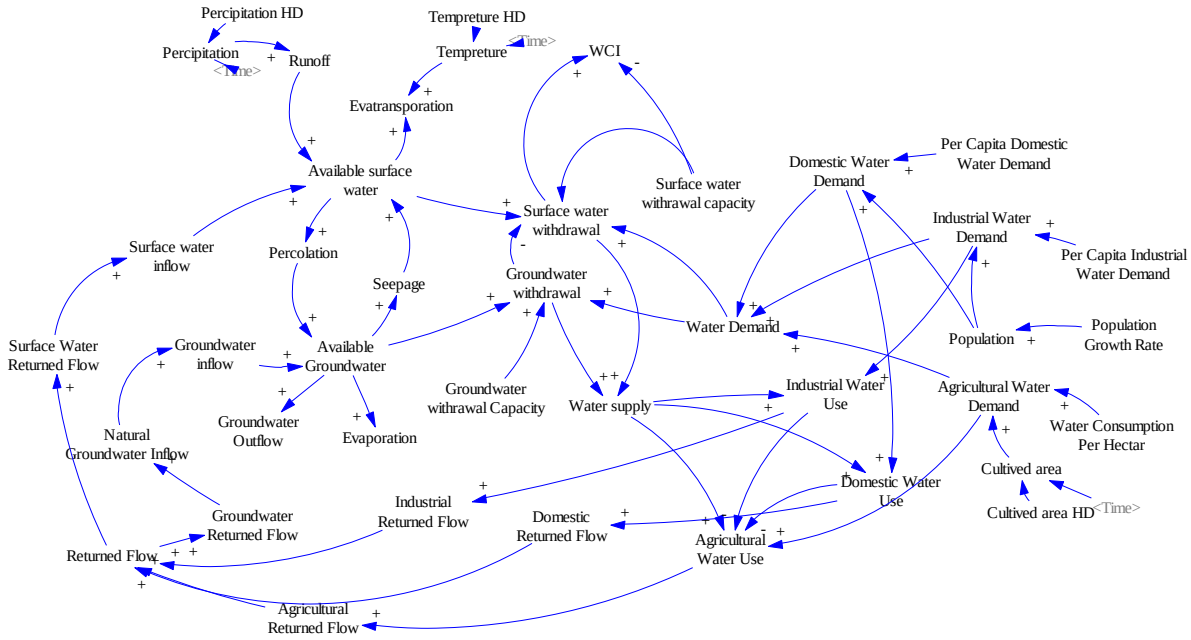


**Fig. 2- Causal Loop Diagram (CLD) for water resource system**

**شکل ۲- نمودار علّی و معلولی (CLD) زیرسیستم منابع آب**

از این رو، در این تحقیق از شاخص بحران آب سازمان ملل (UN/WCI) براساس رابطه زیر برای تعیین میزان برداشت از آب‌های تجدیدپذیر در حوضه مشترک مورد نظر استفاده شده است.

$$\mathrm{WCI} = \frac{\text{Surface water withdrawal}}{\text{Surface water withdrawal capacity}} \qquad (۱)$$

شاخص WCI میزان درصد برداشت از آب تجدیدپذیر را به عنوان شاخص اندازه‌گیری بحران آب معرفی کرده است. براساس این شاخص چنان‌چه در هر دوره، برداشت آب بیشتر از ۴۰ درصد کل منابع آب تجدیدپذیر باشد، منابع دارای پایداری نبوده است و با بحران شدید آب روبرو می‌باشد (Guppy and Anderson, 2017). براساس این شاخص، هرگاه در حوضه‌ای میزان برداشت از منابع تجدیدپذیر بیش‌تر از ۴۰ درصد باشد، آن حوضه با بحران شدید منابع آب مواجه بوده و چنان‌چه این مقدار در حد فاصل ۲۰ تا ۴۰ درصد باشد، بحران در حوضه در وضعیت متوسط و به همین ترتیب، اگر این شاخص بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، بحران معتدل و برای مقادیر کمتر از ۱۰ درصد، حوضه بدون بحران آب شناخته می‌شود. در این مطالعه شاخص سازمان ملل براساس معادله ۱ محاسبه شده است. این شاخص می‌تواند بین صفر تا ۱۰۰ تغییر نموده و هر چه از عدد ۴۰ بزرگتر شود به این معنا است که منابع سطحی مورد استفاده ناپایدارتر می‌باشند.

### ۲-۵- صحت‌سنجی مدل

صحت‌سنجی مدل نقش مهمی در روند برنامه‌ریزی دارد؛ زیرا این اطمینان به وجود می‌آید که مدل بر اساس واقعیت‌های موجود بوده است. هنگامی که مدل صحت‌سنجی شده باشد، می‌توان از آن برای ارزیابی استراتژی‌های مختلف مدیریت منابع آب استفاده کـــرد (Gohari et al., 2013). مدل توسعه یافته در این پژوهش برای بررسی استراتژی‌ها در افق زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۴ استفاده شده است. یکی از مهم‌ترین آزمون‌ها برای صحت‌سنجی مدل، آزمون سازگاری ابعادی است. به طور معمول این آزمون توسط نرم‌افزارها انجام می‌شود و در صورتی که مدل به لحاظ ابعادی در معادلات سازگار باشد، مدل دارای قابلیت اطمینان می‌باشد (Sterman, 2002). پس از تکمیل مدل‌سازی و بررسی سازگاری ابعادی، دو آزمون زیر برای اطمینان از عملکرد صحیح مدل نیز صورت گرفت.

#### ۲-۵-۱- آزمون شرایط حدی

توانایی مدل، تحت شرایط حدی به درجه اطمینان‌پذیری مدل در تصمیم‌گیری و اتخاذ گزینه مناسب می‌افزاید (Mehrazar, 2016). هدف از انجام این آزمون، کنترل نتایج مدل تحت شرایط حدی است؛ به نحوی که با لحاظ کردن مقادیر خیلی کوچک و یا خیلی بزرگ برای متغیرهای حالت و جریان روند تغییرات مدل با روند معمول و مورد انتظار مقایسه می‌شود.

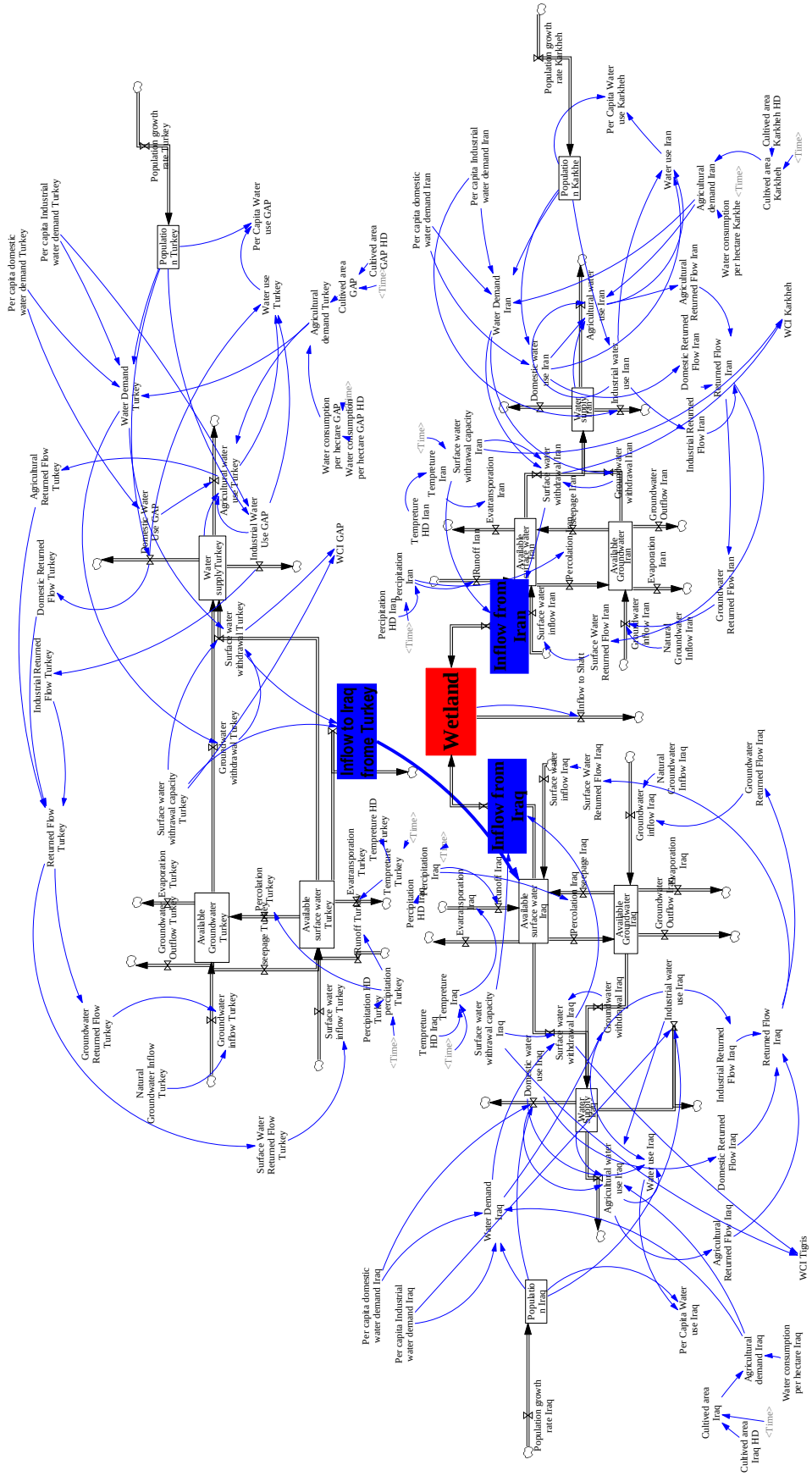


**Fig. 3- Stock and Flow Diagram (SFD) for the water resource system in Hoor-Al-Azim/ Hawizeh Wetland basin**

**شکل ۳- نمودار ذخیره- جریان (SFD) برای سیستم منابع آب در حوضه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه**

در این مطالعه، روند تغییرات مدل با دو شرط زیر تحت شرایط حدی: ۱) کاهش ۵۰ درصدی تقاضای آب در بخش کشاورزی برای هر سه کشور، ۲) افزایش ۵۰ درصدی تقاضای آب در بخش کشاورزی برای هر سه کشور آزمون شده است.

### ۲-۵-۲- آزمون رفتار مدل در شرایط غیرمنطقی

این آزمون به رفتار منطقی مدل تحت شرایط غیرمنطقی و غافلگیرانه می‌پردازد. در واقع، با تغییر رفتار متغیرهای مرجع، مدل همچنان رفتاری منطقی نشان می‌دهد (Sterman, 2002). این آزمون تحت شرایط حذف تقاضای کشاورزی در هر سه کشور و برآورد جریان ورودی به عراق از ترکیه و همچنین شرایط تالاب در شرایط خاص مورد نظر می‌پردازد.

## ۳- نتایج و بحث

در این مطالعه، مدل ذخیره- جریان شامل ترکیب نمودارهای ذخیره- جریان برای عراق و ترکیه در نقطه ورود جریان دجله به عراق از ترکیه و همچنین ترکیب نمودارهای ذخیره- جریان برای عراق و ایران در نقطه مرزی تالاب هورالعظیم/هورالهویزه است. مدل توسعه یافته‌شده در این مطالعه در دو گام: ۱) شبیه‌سازی وضعیت منابع آب در منطقه، به خصوص شرایط حاکم بر تالاب هورالعظیم/هورالهویزه و ۲) شبیه‌سازی شرایطی که سه کشور به توافقی رسند، که بر اساس آن با کاهش ۱۰ درصدی سطح زیرکشت در هر سه کشور به بهبود شرایط زیست‌محیطی کمک نمایند، به کار برده شده است.

### ۳-۱- صحت‌سنجی مدل

### ۳-۱-۱- آزمون شرایط حدی

همانگونه که بیان شد برای صحت‌سنجی توانایی مدل در شبیه‌سازی شرایط حاکم، از آزمون شرایط حدی استفاده شده است. شکل ۴ ورودی به عراق از کشور ترکیه با توجه به افزایش و کاهش ۵۰٪ سطح زیر کشت در کشور ترکیه و همچنین حجم آب در تالاب در شرایط کاهش ۵۰٪ سطح زیر کشت در سه کشور را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که چنان‌چه منطقه به سوی افزایش سطح زیرکشت حرکت نماید، وضعیت منابع آب در منطقه بحرانی‌تر خواهد شد. با توجه به این‌که ظرفیت تالاب ۵/۵ میلیارد مترمکعب می‌باشد، در شرایط کاهش ۵۰ درصدی سطح زیر کشت، تالاب کاملاً احیاء شده و حجم موردنظر را دریافت می‌کند و همچنین دارای خروجی به شطالعرب نیز می‌باشد. در صورتی که سطح زیرکشت ۵۰٪ افزایش یا کاهش یابد، به طور متوسط سالانه جریان آب به عراق از ترکیه به ترتیب ۷۰۰ میلیون مترمکعب کاهش یا افزایش دارد. همچنین در صورتی که سطح زیرکشت ۵۰٪ افزایش یابد، ورودی به تالاب به طور متوسط سالانه کمتر از ۳۹۰ میلیون مترمکعب خواهد بود. همچنین برای شرایط کاهش ۵۰ درصدی سطح زیر کشت در هر سه کشور، ورودی به تالاب برابر ۱۲/۴ میلیارد مترمکعب خواهد بود. بنابراین با توجه به آزمون شرایط حدی انجام شده، مدل توسعه یافته برای منطقه می‌تواند به خوبی شرایط را شبیه‌سازی کرده و برای ارائه نتایج استراتژی‌های احتمالی و همچنین سناریوها استفاده شود.

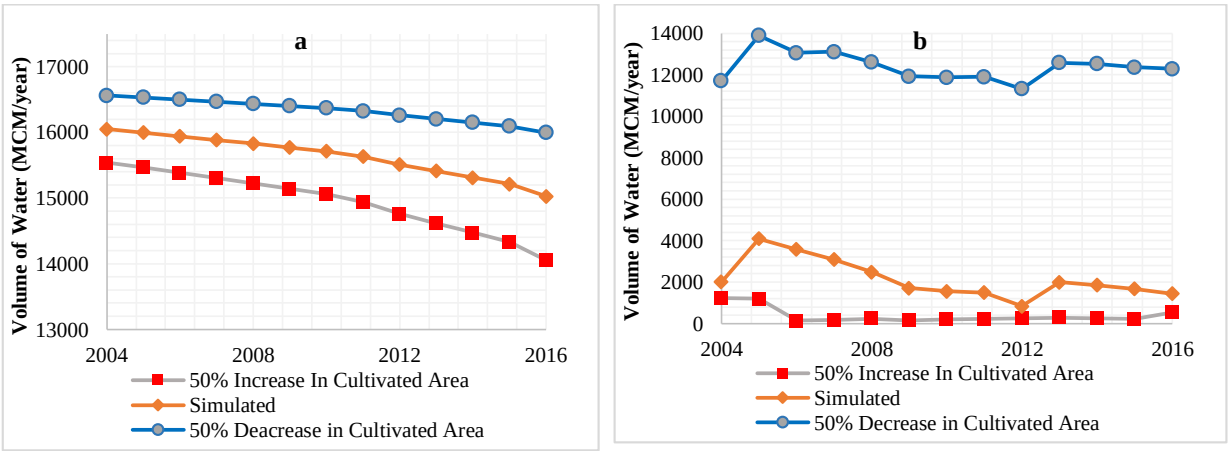


**Fig. 4- Volume of water inflow into a) Iraq from Turkey due to increase and decrease of 50% of cultivated area in Turkey, b) Wetland under conditions of a 50% reduction in area under cultivation**

**شکل ۴- حجم آب ورودی: الف) به عراق از کشور ترکیه در شرایط حدی ۵۰٪ افزایش و کاهش در سطح زیر کشت، ب) حجم آب ورودی به تالاب در شرایط ۵۰٪ کاهش سطح زیر کشت**

### ۳-۱-۲- آزمون رفتار مدل در شرایط غیرمنطقی

برای آزمون رفتار مدل در شرایط غیرمنطقی، تقاضای کشاورزی در سه کشور صفر در نظر گرفته شده است. در شکل ۵، نتایج نشان می‌دهد که مدل توانسته است حجم آب ورودی به عراق از ترکیه و حجم آب ورودی به تالاب را بدون تقاضای کشاورزی به درستی شبیه‌سازی نماید. به گونه‌ای که آب مصرفی در ترکیه، با مجموع تقاضای آب شرب و صنعت برابر می‌باشد. همچنین با توجه به این‌که، بزرگترین مصرف‌کننده در حوضه بخش کشاورزی می‌باشد، با حذف تقاضای کشاورزی از مدل، آب رهاسازی شده به سمت تالاب به عنوان یک متغیر ذخیره در مدل حدود چهار برابر افزایش خواهد یافت. در واقع، با حذف پارامتر تقاضای کشاورزی، که بزرگترین مصرف‌کننده در این حوضه می‌باشد مصرف آب تنها شامل بخش‌های صنعت و شرب در سه کشور می‌شود، از این رو مصرف به شدت کاسته شده و در نتیجه میزان آب رهاسازی شده به سمت تالاب و شط‌العرب به شدت افزایش می‌یابد.

### ۳-۲- نتایج مدل‌سازی

#### ۳-۲-۱- حجم تقاضای آب

شکل ۶، حجم تقاضای آب در حوضه دجله و کرخه سفلی بر حسب میلیون مترمکعب را برای بخش‌های شرب و صنعت نشان می‌دهد. براساس نتایج مشاهده می‌شود که شیب افزایش تقاضای آب شرب که ناشی از رشد و بهبود وضعیت اقتصادی و رشد جمعیت در منطقه می‌باشد و این شیب برای حوضه دجله در ترکیه به مراتب بیشتر از حوضه کرخه سفلی در ایران و حوضه دجله در ترکیه عراق است. در اوایل دهه ۲۰۰۰، ترکیه برای بازسازی اقتصاد خود مطابق با الگوی توسعه نئولیبرالی[8] و تبدیل شدن بـه یک عضو از اتحادیه اروپا، رونـد تـوسعه پـروژه GAP را افزایش داد (Bilgen, 2019). در ایــن دوره تـرکیه بـا اجـرای پـروژه GAP تـوانسته بـا ایجاد شغل در منطقه بـرای ساکنین، مهاجــرت بــه سایر مناطق را بسیار کاهش دهد (Hipel et al., 2014). در واقع، هدف اصلی توسعه در برنامه جامع GAP تبدیل آناتولی جنوب شرقی به "مرکز صادرات مبتنی بر کشاورزی" است (Bilgen, 2018). از سوی دیگر در حوضه دجله در عراق، تقاضای آب صنعتی برای صنایع نفتی از تقاضای آب شرب بیشتر می‌باشد و این در حالی است که در ایران و ترکیه، تقاضای آب شرب از آب صنعتی بیشتر می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است، در این دوره، مهاجرت از حوضه کرخه سفلی در ایران به سایر مناطق افزایش چشمگیری داشته است و همچنین در برخی از مناطق نرخ رشد جمعیت منفی بوده است (ABFA, 2013). بنابراین در حوضه کرخه سفلی شیب رشد تقاضای آب شرب و صنعت به مراتب کم‌تر از حوضه دجله در ترکیه و عراق می‌باشد.

شکل ۷، میزان تقاضای آب کشاورزی در هر یک از سه کشور و همچنین در حوضه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه را نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصله میزان حجم تقاضای آب کشاورزی در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۴ به ترتیب در ترکیه، ایران و عراق ۵۴/۵، ۲۵/۲ و ۱۳ درصد رشد داشته است. این نتایج نشان می‌دهد که با گسترش پروژه GAP در ترکیه از سال ۲۰۰۳ با رشد سطح زیر کشت کشاورزی، میزان تقاضای آب بخش کشاورزی نیز افزایش چشمگیری داشته است و تقاضای آب برای بخش کشاورزی بیش از ۵۰ درصد رشد داشته است. با این حال با توجه به شرایط عراق که در این دوره با جنگ روبرو بوده

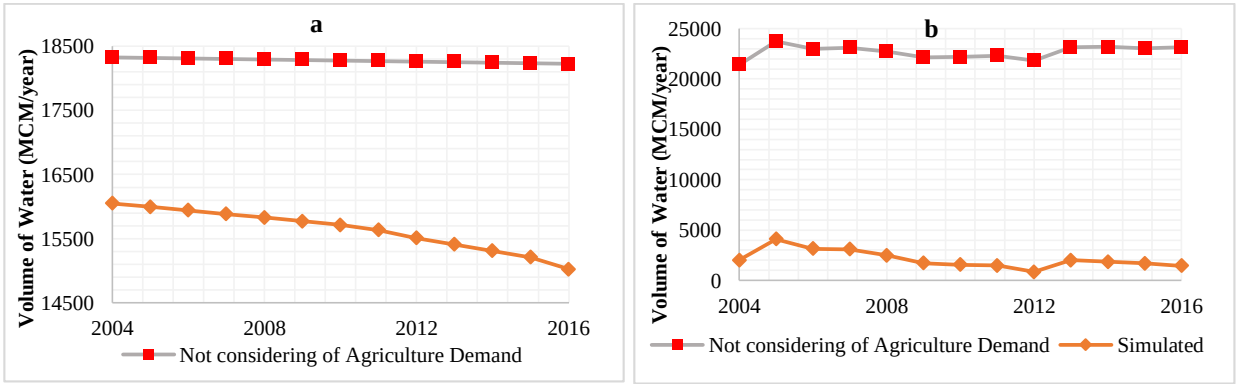


**Fig. 5- Volume of water inflow into: a) Iraq from Turkey without considering Agricultural Demand, B) Wetland without considering Agricultural Demand**

**شکل ۵- حجم آب ورودی: الف) به عراق از کشور ترکیه در شرایط بدون در نظر گرفتن تقاضای کشاورزی، ب) حجم آب ورودی به تالاب در نظر گرفتن تقاضای کشاورزی**

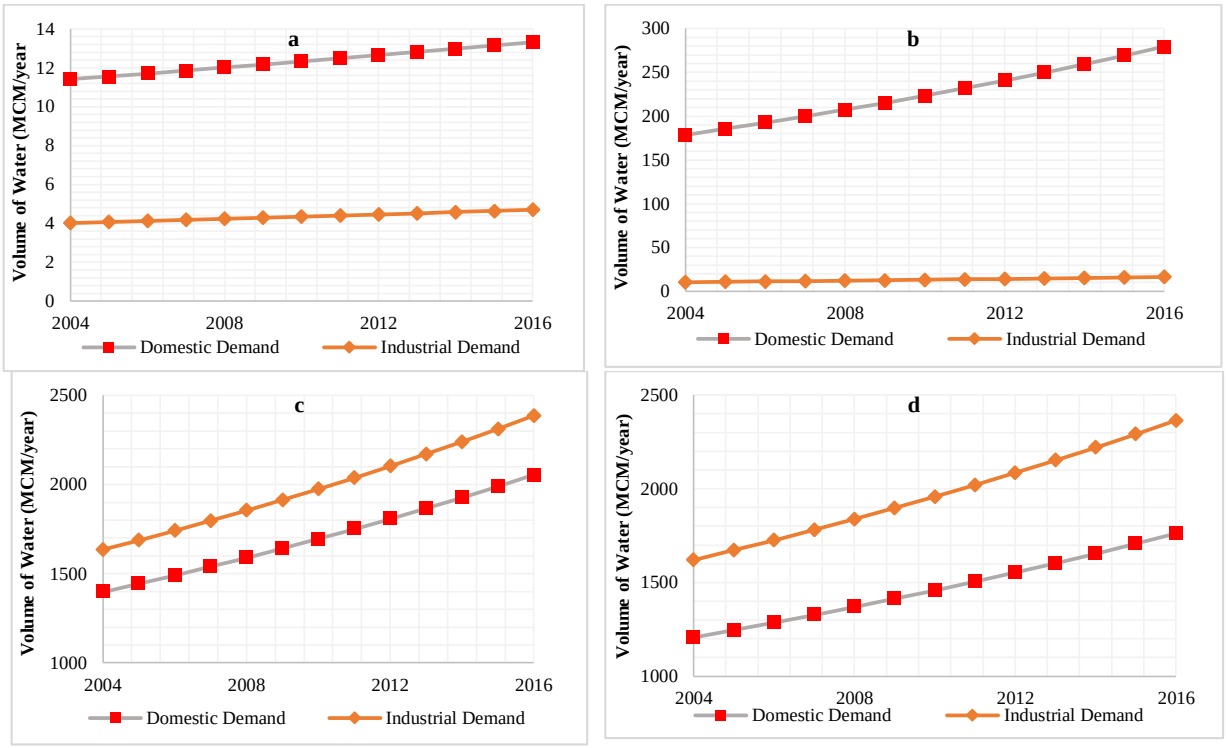


**Fig. 6- Volume of domestic and industrial demand in a) Karkheh basin, b) Tigris basin in Turkey, c) Tigris basin in Iraq, d) Hoor-Al-Azim/ Hawizeh Wetland basin**

**شکل ۶- حجم تقاضای آب شرب و صنعت: الف) حوضه کرخه سفلی، ب) حوضه دجله در ترکیه، پ) حوضه دجله در عراق، ت) حوضه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه**

است و در پی آن زمین‌های کشاورزی رها شده و حجم تقاضای آب رشد زیادی نداشته است. همچنین براساس نتایج حاصله با توجه به این‌که حدود ۵۶/۱ درصد از حوضه دجله در کشور عراق قرار گرفته است، مشاهده می‌شود که تقاضای کل حوضه در بخش شرب، صنعت و کشاورزی از روند تقاضای آب در حوضه دجله در عراق تبعیت می‌کند. همچنین بارش در ایران، در سال ۲۰۱۵ کاهش یافته است که رهاسازی آب کمتر از سد کرخه سفلی به عنوان یک راهکار مدیریتی لحاظ شده است. به این ترتیب سطح زیر کشت و متعاقباً آب مورد تقاضای بخش کشاورزی ایران در این سال کاهش یافت.

### ۳-۲-۲- شاخص بحران آب سازمان ملل (UN/WCI)

همان‌گونه که بیان شد شاخص WCI، نشان می‌دهد چنان‌چه در هر دوره برداشت از منابع آب سطحی تجدیدپذیر تا ۴۰ درصد از منابع باشد، منابع آب سطحی دارای پایداری بوده است. افزایش این عدد و فاصله گرفتن از عدد ۴۰ نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی تنها برای تأمین تقاضا در کوتاه‌مدت صورت گرفته است. منابع آب تجدیدپذیر در حوضه مورد مطالعه شامل: رود دجله در ترکیه، رودخانه‌های دجله، زاب بزرگ، زاب کوچک، دیاله و الدهیم در عراق و همچنین رودخانه کرخه سفلی در ایران می‌باشد. شکل ۸، شاخص WCI محاسبه شده برای هر یک از سه کشور و همچنین این شاخص برای کل حوضه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه که به صورت میانگین وزنی براساس حجم آب تولیدی منابع تجدیدپذیر هر یک از سه کشور در حوضه آبریز، محاسبه شده است، را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، ترکیه با بحران معتدل، ایران با بحران متوسط و عراق با بحران شدید مواجه هستند. همچنین با محاسبه این شاخص به صورت میانگین وزنی برای کل حوضه، کل حوضه با بحران شدید روبرو بوده و در صورت ادامه برداشت‌ها بدون توجه به مسائل زیست‌محیطی شرایط در کل حوضه بحرانی‌تر خواهد شد. از سوی دیگر، ترکیه به لحاظ استفاده از منابع آب سطحی خود، وضعیت مناسب‌تری نسبت به ایران و عراق در حوضه دارد. با این‌حال در ترکیه با شروع پروژه GAP از سال ۲۰۰۳ به بعد، شدت برداشت‌ها افزایش یافته و متعاقباً شاخص WCI نیز تا ۵۰ درصد افزایش یافته است. به طور کلی، برداشت از آب سطحی در حوضه برای هر سه کشور در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۴ روند افزایشی داشته است.

علاوه بر این، براساس این شاخص با توجه به پروژه‌های در حال اجرا در حوضه و شرایط اقلیمی و خشکسالی‌های پی در پی، شرایط آب سطحی در حوضه به سوی ناپایداری پیش می‌رود.

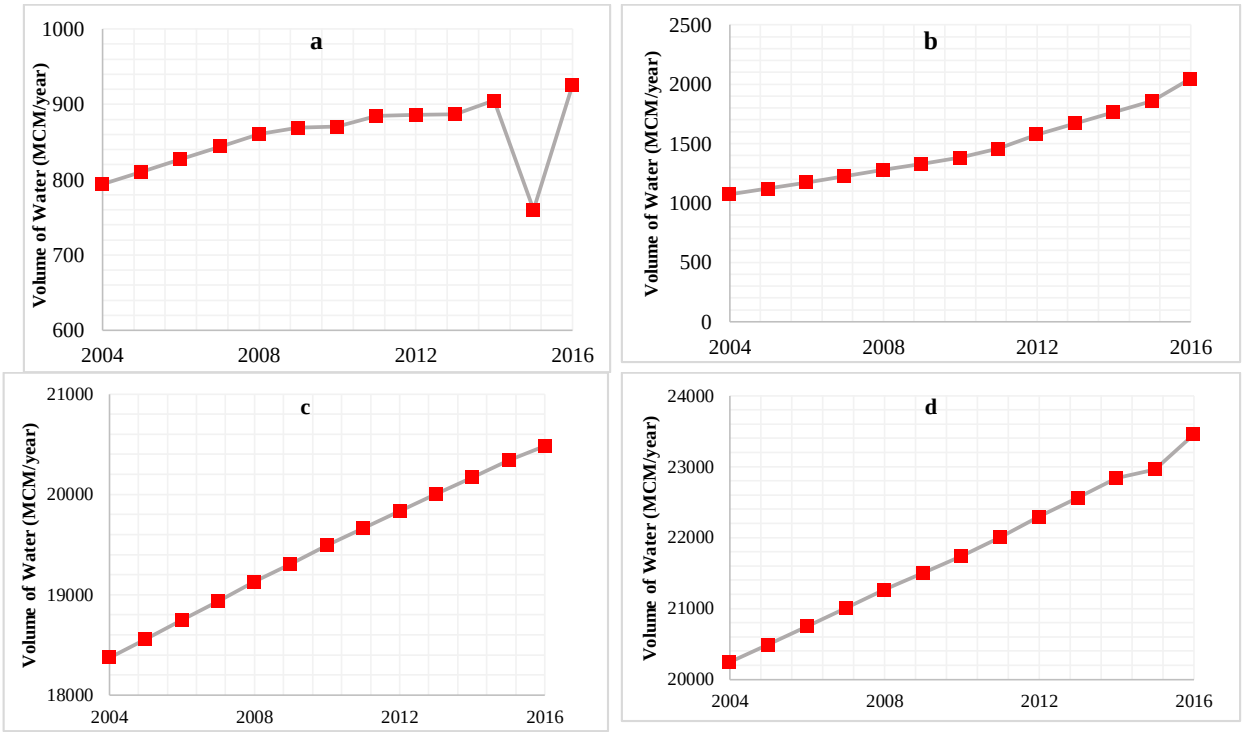


**Fig. 7- The volume of agricultural demand in a) Karkheh basin, b) Tigris basin in Turkey, c) Tigris basin in Iraq, d) Hoor-Al-Azim/ Hawizeh Wetland basin**

**شکل ۷- حجم تقاضای آب کشاورزی: الف) حوضه کرخه سفلی، ب) در حوضه دجله در ترکیه، پ) حوضه دجله در عراق، ت) حوضه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه**

### ۳-۲-۳- حجم آب ورودی دجله به عراق از ترکیه و حجم آب ورودی به تالاب از ایران و عراق

یکی از مهم‌ترین پارامترها در مدل‌سازی تأمین ظرفیت تالاب هورالعظیم/هورالهویزه، حجم آب ورودی دجله از ترکیه به عراق است. لازم به ذکر است که رود دجله در فاصله کوتاهی از مرز سوریه می‌گذرد. در سال ۲۰۰۲، توافق دو جانبه بین سوریه و عراق در مورد نصب ایستگاه پمپاژ توسط سوریه بر روی رودخانه دجله برای اهداف آبیاری صورت گرفته است. از این رو برداشت رودخانه دجله در کشور سوریه در حدود ۱/۲۵ میلیارد مترمکعب می‌باشد (Najafi Marghmaleki, 2017; Bachmann et al., 2019) که در مدل‌سازی، این حجم به عنوان یک متغیر جریان از آب ورودی به عراق کسر شده است. علاوه بر این، با توجه به این‌که تالاب در قسمت عراقی، توسط حکومت سابق در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۳ تعمداً برای مسائل نظامی و همچنین اکتشافات نفتی خشک شده است.

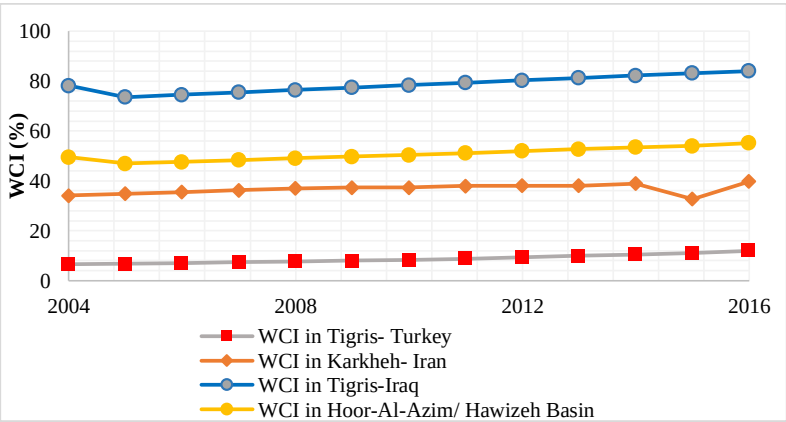


**Fig. 8- United Nations Water Crisis Index (WCI) in the Hoor-Al-Azim/ Hawizeh Basin**

**شکل ۸- شاخص بحران آب سازمان ملل در حوضه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه**

لازم به ذکر است در بخش ایرانی تالاب، در راستای اکتشاف نفت، در فاصله زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵، بخش‌های جنوبی تالاب خشک گردید ولیکن پس از اتمام پروژه اکتشاف، با تمهیدات پیش‌بینی شده، بخش‌های مذکور آبگیری شد و هم‌اکنون عملیات استخراج نفت در محیط تر انجام می‌شود. به همین دلیل، از سال ۲۰۱۶ آب ورودی به تالاب از سمت ایران تا حدود ۴۰۰ میلیون مترمکعب افزایش یافته است. ظرفیت تالاب برابر با ۵۴۹۵ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است. شکل ۹ میزان آب ورودی دجله به عراق از کشور ترکیه و همچنین شرایط تالاب هورالعظیم/هورالهویزه را در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۴ نشان می‌دهد. Altinbilek (1997)، در مطالعه خود برآورد نموده است که پس از اجرای پروژه GAP در کشور ترکیه میزان آب ورودی به سوریه و سپس به عراق در سال ۲۰۱۰ به ۱۶/۳۷ میلیارد مترمکعب می‌رسد. در صورتی که عدد ۱/۲۵ میلیاردی برداشت آب در سوریه را لحاظ نماییم، بنابراین باید عددی برابر با ۱۵/۱۲ میلیارد متر مکعب وارد عراق شود. از سوی دیگر نتایج این پژوهش نشان می‌دهد میزان آب ورودی به عراق در سال ۲۰۱۰ برابر با ۱۵/۷۳ میلیارد مترمکعب می‌باشد. شکل ۹ نشان می‌دهد که مدل توسعه یافته توانسته است روند کاهش آب ورودی به عراق را پس از تشدید اجرای پروژه GAP از سال ۲۰۰۳ به خوبی نشان دهد. با توجه به نتایج حاصله میزان آب ورودی به عراق از ترکیه در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۴ روند کاهشی برابر با ۷ درصد داشته است. براساس نقشه‌های سنجش از دور، وضعیت تالاب از سمت عراق در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ اندکی بهبود داشته است؛ همچنین در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ سطح تالاب به خصوص از سمت عراق به شدت کاهش یافته است (Becker, 2014). در حالی که با افزایش سطح زیر کشت کشاورزی در عراق در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶، میزان آب ورودی به تالاب از سوی عراق کاهش یافته است (Al-Ansari et al., 2016). به طور کلی، در دوره شبیه‌سازی ورودی به تالاب هورالعظیم/هورالهویزه به طور متوسط سالانه ۶۱ درصد کم‌تر از ظرفیت این تالاب بوده است.

### ۳-۳- اجرای سناریوها

پس از توسعه و صحت‌سنجی مدل، می‌توان از مدل برای اجرای سناریوهای ممکن در آینده استفاده نمود. برای این منظور با فرض تکرار روند شرایط گذشته در متغیرهای اقلیمی دما و بارش، مدل برای دو سناریوی زیر مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه دو سناریوی زیر برای مشاهده اثرات تصمیم‌گیری در کشورها بر روی سیستم حوضه آبریز تالاب هورالعظیم/هورالهویزه وارد شده است. پروژه GAP در حوضه دجله با هدف آبیاری مساحت ۶۰۰۰۰۰ هکتار با مصرف احتمالی آب ۵/۶ BCM برنامه‌ریزی شده است. این در حالی است که بیشتر این ظرفیت در مراحل برنامه‌ریزی باقی مانده است (Turkey, 2011). از سویی دیگر، با توجه به این‌که پروژه GAP برای زیر کشت بردن ۳۲۰۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۲۰ برنامه‌ریزی شده است (Altinbilek, 1997)، دو سناریوی زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

۱) توسعه پروژه GAP، برای زیر کشت بردن ۳۲۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۲۰.

۲) فرض می‌شود که سه کشور برای رهاسازی آب به سوی تالاب هورالعظیم/هورالهویزه برای جلوگیری از کاهش سطح تالاب با کاهش ۱۰ درصدی از سطوح زیر کشت در هر سه کشور به توافق برسند، این سناریو در دوره ۲۰۲۵-۲۰۲۰ اجرا شده است.

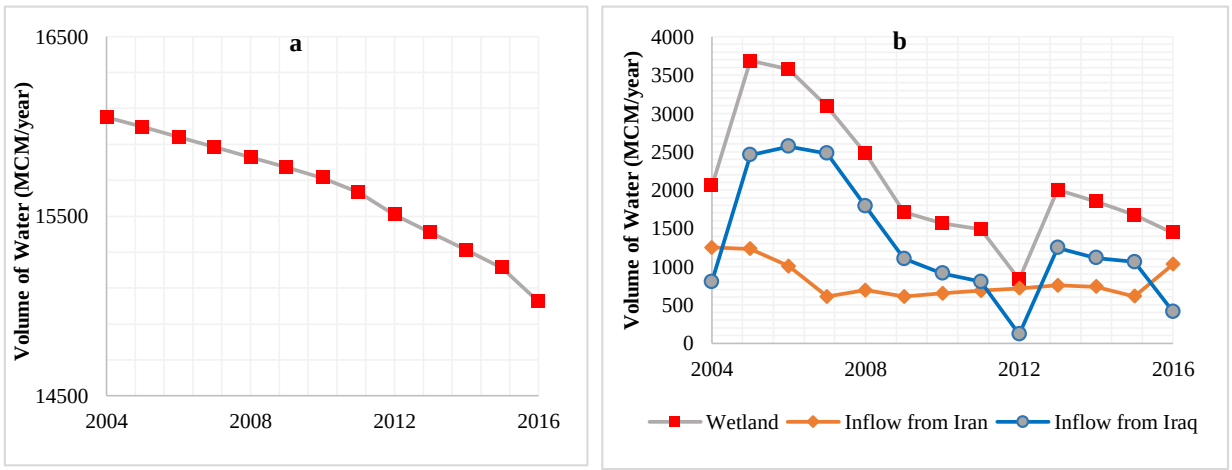


**Fig. 9- The volume of water entering into a) Iraq from Turkey, b) Hoor-Al-Azim/ Hawizeh Wetland**

**شکل ۹- الف) حجم آب ورودی به عراق از کشور ترکیه، ب) حجم آب ورودی به تالاب هورالعظیم/هورالهویزه**

### ۳-۳-۱- سناریوی تکمیل پروژه GAP تا ۳۲۰۰۰۰ هکتار

براساس منابع برنامه‌ریزی برای سطح زیر کشت در عراق تا سال ۲۰۱۰، برابر ۲۷۰۰ هزار هکتار بوده است و این در حالی است که با شروع جنگ‌ها و مشکلات مدیریتی در این کشور، تعدادی از زمین‌های کشاورزی رها شده و سطح زیر کشت به افق برنامه‌ریزی نرسیده است (Iraq Atlas of Agriculture, 2011). از سویی دیگر، در ایران نیز با توجه به شوری اراضی و خشکسالی، سطح زیر کشت در حوضه کرخه سفلی افزایش چندانی نداشته است. بنابراین فرض شده است سطح زیر کشت در ایران و عراق تا سال ۲۰۲۰ تغییر نکند و تنها پروژه GAP در ترکیه با توجه به کامل شدن سد ایلیسو[۹] و سد سیلوان[۱۰] تا سال ۲۰۲۰ به افق برنامه‌ریزی برسد. سد ایلیسو در ترکیه، برای زیر کشت بردن سطح ۷۵ هزار هکتاری اجرا شده است و آماده بهره‌برداری می‌باشد، همچنین تاکنون بخش‌هایی از سد سیلوان نیز تکمیل شده است. بنابراین برای اجرای سناریو تکمیل پروژه GAP تا ۳۲۰۰۰۰ هکتار، فرض شده است سطح زیر کشت از ۲۳۰ هزار هکتار در سال ۲۰۱۶ به ۳۲۰ هزار هکتار تا سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است. نتایج اجرای سناریوی ۱ در شکل ۱۰ ارائه شده است. Al-Ansari (2016)، در مطالعه خود بیان می‌کند که پس از اجرای پروژه GAP در سال ۲۰۲۰، ورودی به عراق تا ۱۱/۸ میلیارد مترمکعب کاهش خواهد یافت و این درصورتی است که این مطالعه، میزان حجم آب ورودی دجله از ترکیه را ۱۲/۶۲ میلیارد مترمکعب برآورد نموده است. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که این پژوهش با مقادیر ارائه شده در سایر مطالعات تفاوت اندکی دارد که نشان‌دهنده این است که مدل توسعه داده شده، توانسته شرایط را به خوبی شبیه‌سازی نماید. براساس این نتایج در این دوره پس از تکمیل پروژه GAP در ترکیه، از حجم آب ورودی دجله به عراق در سال ۲۰۲۰، نسبت به ۲۰۱۶ حجمی معادل ۲۴۰۶ میلیون مترمکعب کاسته خواهد شد. همچنین شرایط تالاب نیز پس از اجرای پروژه GAP در شکل ۱۰ نشان داده شده است. این نتایج بیان می‌کند که چنان‌چه شرایط در ایران و عراق تغییر نکند، با کامل شدن پروژه GAP در ترکیه و کاهش آب ورودی از عراق به تالاب، حجمی معادل ۴۰۰ میلیون مترمکعب از حجم ورودی به تالاب نسبت به سال ۲۰۱۶، آب ورودی در تالاب کاهش خواهد یافت. باید ذکر شود که فرض شده است که روند رشد جمعیت و متعاقب آن افزایش تقاضا و شرب مانند دوره شبیه‌سازی می‌باشد. براساس نتایج ارائه شده در این شکل، با توجه به یکپارچگی حوضه دجله با کامل شدن پروژه GAP در ترکیه، اثر این پروژه در روند کاهش آب ورودی به تالاب هورالعظیم/هورالهویزه که در انتهای حوضه دیده می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش و پژوهش‌های پیشین، برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی باید حوضه به صورت یکپارچه دیده شده و برنامه‌ریزی توسعه و الگوهای تجاری در این منطقه با در نظر گرفتن این یکپارچگی صورت گیرد (Dowlatabadi et al., 2019).

### ۳-۳-۲- سناریوی کاهش ۱۰ درصدی از سطوح زیر کشت در هر سه کشور

در حوضه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه، به ترتیب ۴، ۱۵ و ۸۱ درصد از سطوح زیر کشت در ایران، ترکیه و عراق قرار دارد. برای اجرای سناریوی ۲، فرض می‌شود که سه کشور برای بهبود شرایط زیست‌محیطی و جلوگیری از خشک‌شدن تالاب توافق نمایند که سطح زیر کشت در هر سه کشور ۱۰ درصد کاهش یابد. لازم به ذکر است در راستای این توافق، در صورتی که کشور عراق متعهد شود که میزان حجم آب رها شده توسط ترکیه در ازای کاهش سطح زیر کشت در این کشور، برای تالاب رهاسازی شود.

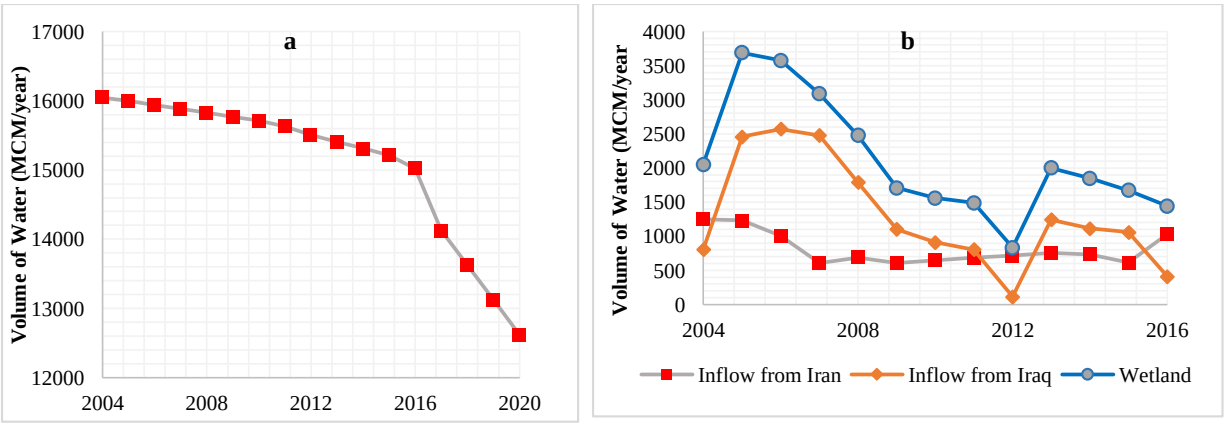


**Fig. 10- Scenario of completed Gap project for 320000 ha in cultivated area: a) the volume of water entering to Iraq from Turkey, b) The volume of water entering in the Hoor-Al-Azim/ Hawizeh Wetland**

**شکل ۱۰- سناریوی تکمیل پروژه GAP با سطح زیر کشت ۳۲۰ هزار هکتار: الف) حجم آب ورودی به عراق از ترکیه. ب) حجم آب ورودی به تالاب هورالعظیم/هورالهویزه**

این سناریو در ادامه روند سناریو ۱ اجرا شده است. در واقع فرض شده است، پس از تکمیل پروژه GAP در سال ۲۰۲۰، سه کشور برای کاهش ۱۰ درصدی از سطح زیر کشت به توافق برسند. این کاهش به صورت روند کاهش ۱۰ درصدی در سطح زیر کشت برای هر سه کشور از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، فرض شده است که چنان‌چه سه کشور برای بهبود شرایط زیست‌محیطی در منطقه به توافق برای کاهش ۱۰ درصدی در سطح زیر کشت برسند، این کاهش در طول ۵ سال اتفاق می‌افتد. با کاهش سطح زیر کشت به میزان ۱۰ درصد در هر سه کشور، حجم آب آزاد شده در این‌صورت در ایران، عراق و ترکیه به ترتیب برابر ۷۴، ۲۰۵۵/۳ و ۶۰۲/۳ میلیون متر مکعب خواهد بود. در این‌صورت با توجه به برهم‌کنش‌های تعریف شده در سیستم پویا، شکل ۱۱ به ترتیب میزان آب ورودی به عراق از ترکیه و همچنین حجم آب ورودی به تالاب هورالعظیم/هورالهویزه، با لحاظ شدن سناریوی ۲ را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، کاهش ۱۰ درصد در سطوح زیر کشت می‌تواند نتیجه مطلوبی در تالاب را نشان دهد. براساس این نتایج می‌دهد که پس از اجرای کاهش ۱۰ درصدی سطح زیر کشت در ترکیه، میزان حجم آب ورودی دجله به عراق از ترکیه در سال ۲۰۲۵ نسبت به سال ۲۰۲۰، ۶۲۰ میلیون مترمکعب افزایش خواهد یافت. در این راستا، چنان‌چه در هر سه کشور از سطح زیر کشت ۱۰ درصد کاسته شود، حجم آب ورودی به تالاب هورالعظیم/هورالهویزه در سال ۲۰۲۵ نسبت به سال ۲۰۲۰، ۱۹۰۰ میلیون مترمکعب افزایش خواهد یافت. در این صورت با توافق برای کاهش سطح زیر کشت و اجرای آن در هر سه کشور میزان آب ورودی به تالاب برای تأمین ظرفیت، در حدود ۶۳ درصد بهبود خواهد یافت. در واقع با توجه به این‌که ۸۱ درصد از سطوح زیر کشت در عراق قرار دارد، با کاهش ۱۰ درصد از سطح زیر کشت در این کشور شرایط تالاب بهبود قابل توجهی خواهد داشت. درنتیجه، چنان‌چه برای بهبود شرایط زیست‌محیطی توافقی بین سه کشور صورت گیرد، و هر سه کشور به تعهد خود عمل نمایند، بهبود شرایط زیست‌محیطی در منطقه رخ خواهد داد. در مورد مسأله تالاب نیز ترکیه با توجه به این‌که آب دجله از آن کشور سرچشمه می‌گیرد، برای بهبود شرایط زیست‌محیطی در ایران و عراق اقدامی نخواهد داشت، مگر این‌که با انگیزه‌های اقتصادی و یا سیاسی از طرف ایران و عراق ترغیب شود. بنابراین، با استفاده از مدل ارائه شده می‌توان شرایط مختلف را به صورت سناریوهای ممکن اعمال نمود و به تصمیم‌گیران برای برنامه‌ریزی در آینده پیش‌نمایشی از آن‌چه رخ خواهد داد، ارائه نمود.

## ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به پیچیدگی، نبود پایگاه داده‌ها و عدم اشتراک چارچوب مدیریتی واحد در حوضه‌های مشترک، استفاده از رویکرد پویایی سیستم می‌تواند به حل مناقشات پیرامون منابع آب مشترک کمک کند و چارچوبی برای بررسی اثر سناریوهای مختلف را برای تصمیم‌گیران فراهم آورد و تصمیم‌گیران را قادر به تصمیم‌گیری براساس نتایج حاصله از این مدل کند. در این راستا این پژوهش، مدلی برای مدیریت منابع آب تالاب هورالعظیم/هورالهویزه، به عنوان یکی از منابع مشترک غرب آسیا و واقع در مرز ایران و عراق، ارائه کرده است. در دهه‌های اخیر، با توجه به کاهش چشمگیر آب رودخانه‌های دجله و کرخه سفلی، از میزان آب ورودی به این تالاب به شدت کاسته شده است.

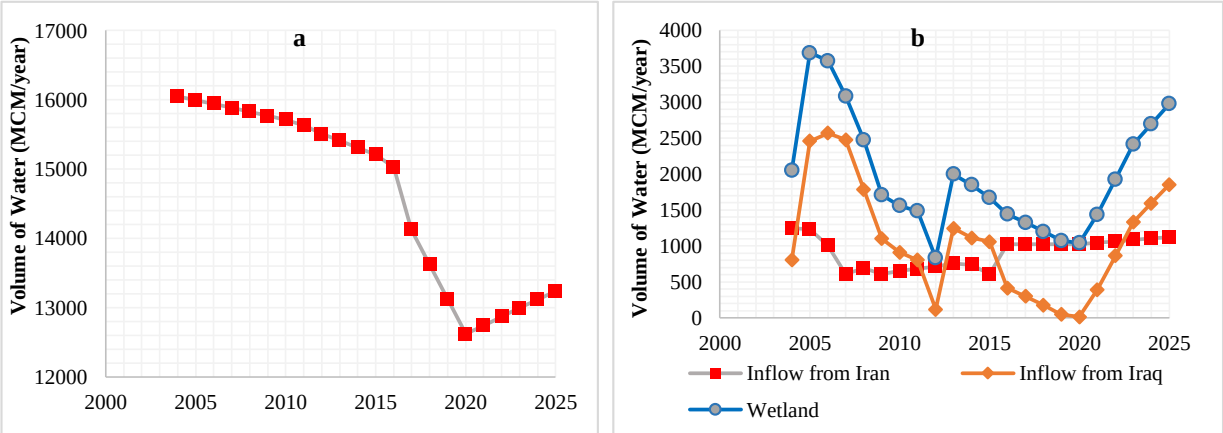


**Fig. 11- Scenario %10 decrease in cultivated area: a) the volume of water entering to Iraq from Turkey, b) The volume of water entering in the Hoor-Al-Azim/ Hawizeh Wetland**

**شکل ۱۱- سناریوی کاهش ۱۰ درصدی در سطوح زیر کشت: الف) حجم آب ورودی به عراق از ترکیه، ب) حجم آب ورودی به تالاب هورالعظیم/هورالهویزه**

در این تحقیق سیستم منابع آب حوضه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه که شامل حوضه رودخانه دجله و کرخه سفلی می‌باشد و بر مبنای رویکرد سیستم پویا مدل شده است. سیستم منابع آب حوضه مشترک تالاب مذکور با وجود ۳ تصمیم‌گیر با علایق مختلف، شامل زیرسیستم منابع آب در سه کشور ایران، عراق و ترکیه می‌باشد. در این پژوهش، ابتدا مدل برای دوره ۲۰۱۶- ۲۰۰۴ شبیه‌سازی شده است و پس از صحت‌سنجی و اطمینان از عملکرد سیستم، سناریوها در دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۶ و ۲۰۲۵-۲۰۲۰ اجرا شده است. در نتیجه، از این مدل توسعه یافته می‌توان به عنوان ابزاری برای ارزیابی آثار تصمیم‌های مختلف در سه کشور بر سیستم مدیریت منابع آب در این حوضه مشترک استفاده نمود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، چنان‌چه روند کنونی توسعه پروژه‌های منابع آب در منطقه ادامه یابد، شرایط زیست‌محیطی این منطقه به مراتب وخیم‌تر خواهد شد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد چنان‌چه سه کشور برای بهبود شرایط با یکدیگر همکاری نمایند، شرایط زیست‌محیطی بهبود خواهد یافت. همچنین اگر براساس برنامه‌ریزی کشور ترکیه، تا سال ۲۰۲۰ سطح زیر کشت در ترکیه تحت عنوان پروژه GAP به ۳۲۰۰۰۰ هکتار برسد، آب ورودی به عراق از ۱۸/۵ میلیارد مترمکعب پیش از شروع این پروژه (Altinbilek, 1997; Al-Ansari, 2016)، به عدد ۱۲/۳۲ میلیارد مترمکعب کاهش خواهد یافت. در نتیجه، رویکرد مدل‌سازی سیستم منابع آب در حوضه تالاب هورالعظیم/هورالهویزه، چارچوبی کمی برای بررسی گزینه‌های مختلف سیاست‌گذاری در مسأله آب ارائه می‌دهد. بنابراین، می‌توان از رویکرد این پژوهش در مدیریت سیستم‌های منابع آب بین‌المللی از جمله تالاب‌های مشترک استفاده نمود و همچنین این رویکرد می‌تواند برای بررسی تصمیمات ذی‌مدخلان و ارائه سیاست‌های مؤثر و کارآمد برای مدیریت بهتر منابع آب مشترک مفید باشد. از سویی دیگر پیشنهاد می‌شود با توجه به این‌که منابع آب مشترک دارای چندین ذی‌مدخل با علایق متفاوت می‌باشند، رویکردی ارائه شود که بتواند دیدگاه پویایی سیستم و تئوری بازی‌ها را ادغام نموده و راه‌حل‌هایی برای این نوع مناقشات ارائه نماید.

## پی‌نوشت‌ها

1. Strategic Sustainable Planning Framework
2. Grand Ethiopian Renaissance Dam (GERD)
3. The Blue Nile River Basin
4. The lower Mekong River Basin (LMB)
5. Casual Loop Diagram
6. Stock and Flow Diagram
7. United Nation/ Water Crisis Index
8. Neoliberal
9. Ilisu Dam
10. Silvan Dam

## ۵- مراجع


ABFA, Ministry of Energy (2013) Integrated water master plan in west border basin, Karkheh, Karun, Jarahi and Zohreh, 239p (In Persian)

Al-Ansari N (2016) Hydro-politics of the Tigris and Euphrates basins. Engineering 8(3):140-172

Al-Ansari N, Ali A, Knutsson S (2014) Present conditions and future challenges of water resources problems in Iraq. Journal of Water Resource and Protection 6(12):1066-1098

Al-Ansari N, Knutsson S, Ali A (2012) Restoring the garden of Eden, Iraq. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering 2(1):53-88

Altinbilek H D (1997) Water and land resources development in Southeastern Turkey. International Journal of Water Resources Development 13(3):311-332

Azarnivand A, Banihabib M E (2017) A multi-level strategic group decision making for understanding and analysis of sustainable watershed planning in response to environmental perplexities. Group Decision and Negotiation 26(3):629-648

Azmi M, Salavitabar A, Araghinejad S, Sarmadi F (2012) Main basin-scale IWRM and MCDM using system dynamics approach, Case study: Urmia Lake Basin. In: The First International Conference on Dam and Hydraulic, Tehran, 1-9 (In Persian)

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 Iran-Water Resources Research 12(1):1-17 (In Persian)

Bachmann A, Tice V, Al-Obeidi L A, Kilıç D T (2019) Tigris-euphrates river ecosystem: A Status Report. 24p

Banihabib M, Dowlatabadi N (2016) Capacity building for policy maker water diplomacy for the prevention of dust storm disaster. In: Conference of WENM, Tehran, 40-48

Banihabib M, Dowlatabadi N, Jabbari M (2018) Designing a cogneitive map of factor influencing drying up of Hoor-Al-Azim and its consequences. In: The Congress of DokuzEylul University and Izmir KatipCelebi University (TUJJBBK), 30 March- 2 April, Izmir, Turkey, 11-15

Banihabib M E, Azarnivand A, Peralta R C (2015) A new framework for strategic planning to stabilize a shrinking lake. Lake and Reservoir Management 31(1):31-43

Hipel K W, Kilgour D M, Kinsara R A (2014) Strategic investigations of water conflicts in the Middle East. Group Decision and Negotiation 23(3):355-376

Iraq Ministry of Central Statistical Organization Planning (2011) Agricultural Statistical Atlas 211p

Jin X, Xu X, Xiang X, Bai Q, Zhou Y (2016) System-dynamic analysis on socio-economic impacts of land consolidation in China. Habitat International 56:166-175

Kumpel H, Khalaf R (2013) Tigris river basin. In: G Lababidi (Ed), Inventory of shared water resource in western Asia. New York: United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (UN-ESCWA. & BGR.) 99-127

Mazandarani zadeh H, Hashemi M, Daneshkare Arasteh P, Zarghami M (2019) Evaluation of management policies to simultaneously maintain groundwater resources and farmers' livelihoods using the system dynamics and game theory. Accepted in Journal of Iran-Water Resources Research ?:?-? (In Persian)

Mehrazar A, Mahmoud M, Massah Bavani A (2016) Uncertainty analisis of climate change impacts on agriculture of hashtgerd using system dynamic model. M.Sc. Thesis, Department of Irrigation and Drainage, College of Aburaihan, University of Tehran, 144p (In Persian)

Mereu S, Sušnik J, Trabucco A, Daccache A, Vamvakeridou Lyroudia L, Renoldi S, Assimacopoulos D (2016) Operational resilience of reservoirs to climate change, agricultural demand, and tourism: A case study from Sardinia. Science of The Total Environment 543:1028-1038

Mirchi A, Madani K, Watkins D, Ahmad S (2012) Synthesis of system dynamics tools for holistic conceptualization of water resources problems. Water Resources Management 26(9):2421-2442

Najafi Marghmaleki S (2017) Conflict resolution model for water resources management in Hour-al-Howizeh wetland. M.Sc. Thesis, Department of Irrigation and Drainage, College of Aburaihan , University of Tehran, 148p (In Persian)

Nandalal K, Simonovic S (2003) Resolving conflicts in water sharing: A systemic approach. Water Resources Research 12- 39

Pittock J, Dumaresq D, Bassi A (2016) Modeling the hydropower–food nexus in large river basins: A mekong case study. Water, 8(10), 425

Qi C, Chang N B (2011) System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. Journal of Environmental Management 92(6):1628-1641

Banihabib M E, Dowlatabadi N (2017) Political capacity building for water diplomacy for the prevention of dust storm disaster. Allameh Tabataba'i University 77:245-285 (In Persian)

Banihabib ME, Hashemi F, Shabestari M H (2017) A framework for sustainable strategic planning of water demand and supply in arid regions. Sustainable Development 25(3):254-266

Bazrkar M H, Tavakoli Nabavi E, Zamani N, Eslamian S (2013) System dynamic approach to hydro-politics in Hirmand transboundary river basin from sustainability perspective. International Journal of Hydrology Science and Technology 3(4):378-398

Becker R (2014) The stalled recovery of the Iraqi marshes. Remote Sensing 6(2):1260-1274

Bilgen A (2019) The Southeastern Anatolia Project (GAP) in Turkey: An alternative perspective on the major rationales of GAP. Journal of Balkan and Near Eastern Studies 21(5):532-552

Bilgen A (2018) Turkey's Southeastern Anatolia Project (GAP): A qualitative review of the literature. British Journal of Middle Eastern Studies 1-20

Dowlatabadi N, Banihabib M E, Roozbahani A, Çetin O (2019) Assessment of water saving efficiency index in Iran/Iraq through virtual water trade with Turkey. Accepted in Iranian Journal of Ecohydrology (In Persian)

Ebrahimi Sarindizaj E, Zarghami M (2018) Comparing effects of restoration policies under climate change by using system dynamics; Case study Urmia Lake Ecosystem. Journal of Iran-Water Resources Research 13(4):184-89 (In Persian)

Ettehad E (2010) Hydropolitics in Hirmand/Helmand international river basin. M.Sc. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, 80p

Fouladavand S, Sayyad G A (2015) The impact of Karkheh Dam construction on reducing the extent of wetlands of Hoor-Alazim. Jurnal of Water Resources and Ocean Science 4(2):33-38

Gohari A, Eslamian S, Mirchi A, Abedi-Koupaei J, Massah Bavani A R, Madani K (2013) Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can backfire. Journal of Hydrology 491:23- 39

Guppy L, Anderson K (2017) Global water crisis: The facts. Hamilton, UNU-INWEH, 35p

Han T, Zhang C, Sun Y, Hu X (2017) Study on environment-economy-society relationship model of Liaohe River Basin based on multi-agent simulation. Ecological Modelling 359:135-145

Sterman J D (2002) System dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. 1008p

Tan C, Erfani T, Erfani R (2017) Water for energy and food: a system modelling approach for Blue Nile river basin. Environments 4(1):15

Turkey Ministry of Environment and Urbanization (2011) Republic of Turkey national climate change action plan 2011-2023. July 2011, Ankara, 196p

UN-ESCWA and BGR (2013) United nations economic and social commission for Western Asia; Bundesanstalt fürGeowissenschaften und Rohstoffe. Inventory of Shared Water Resources in Western Asia. Beirut, 27p

UNEP (2013) Global environment outlook. 120p

Wa'el A H, Memon F A, Savic D A (2017) An integrated model to evaluate water-energy-food nexus at a household scale. Environmental Modelling & Software 93:366-380

Wolf A T (2007) Shared waters: Conflict and cooperation. Annual Review of Environment and Resources 32:241-269

Rekacewicz P (2005) From wetlands to dry lands. The destruction of the Mesopotamian marshlands, UNEP/GRID-Arenda

Salvitabar A, Zarghami M, Abrishamchi A (2006) System dynamic model in Tehran Urban water management. Journal of Water and Wastewater 59:12-28

Shahbazbegian M R, Turton A, Mousavi Shafaee S M (2016) Hydropolitical self-organization theory; system dynamics to analyse hydropolitics of Helmand transboundary river. Water Policy 18(5):1088-1119

Simonovic S P (2012) Managing water resources: Methods and tools for a systems approach. Routledge, 680p

Stave K A (2003) A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. Journal of Environmental Management 67(4):303-313

Sterman J D (2001) System dynamics modeling: Tools for learning in a complex world. California Management Review 43(4):8-25