تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 4, Winter 2019 (IR-WRR)
۸۶-۹۵

برنامه‌ریزی منابع آب بر اساس دکترین‌های حاکم بر تسهیم آب‌های مرزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز هریرود)

علیرضا مشفق[۱]، علی مریدی[۲*] و جلال عطاری[۳]

چکیده

وجود بیش از ۵۰٪ جمعیت در حوضه‌های آبریز مرزیِ خاورمیانه رقابت و منازعاتی را برای استفاده از منابع آبی مشترک سبب شده است. نیمه شرقی ایران با کمبود شدید آب روبه‌رو و مشهد که بخش اعظم آب آن از سد دوستی تأمین می‌شود، وابسته به جریانات ورودی از رودخانه هریرود از سوی افغانستان می‌باشد. در این تحقیق تأثیر ساخت سد سلما بر روی جریان ورودی به سد دوستی در قالب سناریوهای مختلف بر اساس دکترین‌های تسهیم آب‌های مرزی بین کشورهای بالادست و پایین‌دست پرداخته شده است. با توجه به عدم وجود تفاهم‌نامه در برداشت آب از رودخانه مشترک هریرود، حقآبه ایران و افغانستان با استفاده از شاخص‌های اطمینان‌پذیری حجمی و شاخص آسیب‌پذیری ارزیابی شده است. نتایج شبیه‌سازی در صورت احداث سد سلما، عدم وجود تفاهم‌نامه میان کشورهای حوضه و برقراری دکترین حاکمیت سرزمینی مطلق حاکی از کمبود نیاز کشاورزی به مقدار ۳۵ درصد و کمبود آب شرب مشهد به میزان ۴۰ درصد نسبت به دکترین تمامیت ارضی محدود شده می‌باشد. مبنا قراردادن دکترین تمامیت ارضی محدود شده به تأمین نیاز هر یک از کشورهای حوضه با توجه به منابع آب محدود حوضه آبریز کمک می‌کند.

کلمات کلیدی: حوضه‌های آبریز مرزی، سد دوستی، سد سلما، دکترین‌های تسهیم، قوانین بین‌المللی، هریرود.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۳/۱۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، آب و محیطزیست، دانشگاه شهید بهشتی.
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیطزیست، دانشگاه شهید بهشتی.
۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Water Resource Planning Based on the Sovereignty Doctrines in Sharing Transboundary Water Resources

A. Moshfegh [1], A. Moridi[2] and J. Attari[3]*

Abstract

In the Middle East, 50 percent of the population are living in the boundary Basins and this has caused competition and debates over the use of conjoint water resources. The eastern part of Iran faced with a severe shortage of water and the city of Mashhad, with most of its water supplied from the Dusti dam, is dependent on the flow of the Harirood River from Afghanistan. In this research, the inflow into the Dusti Dam is studied under the condition that Salma Dam is constructed and in different scenarios based on the doctrines of conjoint transboundary waters between the upstream and downstream countries. Due to the lack of a memorandum of understanding (agreement) on water usage (access) from the Harirood shared river, Iran and Afghanistan right of water are assessed using volume reliability indicators and vulnerability indicators. Simulation results in the case that Salma Dam is operational, no memorandum of understanding is running between the countries of the basin, and the absolute territorial sovereignty doctrine is established, indicated the a shortage of 35 percent in the agricultural needs and 40 percent in Mashhad drinking water compared to the results from the limited territorial integrity doctrine. The basis of the limited territorial integrity doctrine helps to meet the water needs of each country in the basin with respect to the limited water resources of the basin.

Keywords: Transboundary Watersheds, Dusti Dam, Salma Dam, International Laws, Harirud.

Received: March 13, 2018
Accepted: June 4, 2018

1- M.Sc. Student, Department of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_moridi@sbu.ac.ir
3- Associated Professor, Department of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

۴۵٪ از خشکی‌های جهان در حوضه‌های آبریز مشترک بین‌المللی قرار دارند (Wolf et al., 1999). بیش از ۲۸۶ حوضه دریاچه‌ای و رودخانه‌ای مرزی در جهان وجود دارد که بیشتر آن‌ها با چالش‌های بزرگی به سبب رشد مداوم جمعیت، شهرنشینی، صنعتی شدن و تغییرات هیدرولوژیکی روبه‌رو هستند (TWSST, 2016). زندگی بیش از ۴۰٪ مردم دنیا به رودخانه‌های بین‌المللی وابسته است (Swain, 2004). در بین نقاط مختلف دنیا، بحران آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک خاورمیانه، به‌مراتب خطرناک‌تر و وخیم‌تر از سایر نقاط دنیاست. بیش از ۵۰٪ از جمعیت این منطقه در حوضه‌های آبریز مشترک زندگی می‌کنند که این منطقه رقابت و منازعاتی را برای استفاده هر چه بیشتر از این منابع محدود به دنبال دارد (Mokhtari & Ghaderi, 2008).

آلودگی آب‌های بین‌المللی، تأمین آب جهت شرب و کشاورزی، تولید انرژی برقابی، شیلات و مدیریت حیات وحش بین‌المللی از جمله چالش‌های مهم حوضه‌های آبریز مرزی می‌باشند. قرار گرفتن در مناطق خشک، وجود رودخانه‌های فصلی با جریان‌های به‌شدت متغیر و نامنظم، شرایط اقتصادی کشورهای منطقه، وجود تنش‌های سیاسی در منطقه از جمله عواملی هستند که بحران آب در خاورمیانه را نسبت به سایر نقاط دنیا پیچیده‌تر و آب را به‌عنوان عاملی کلیدی در منازعات منطقه تبدیل کرده است (Korkutan, 2001).

نیمه شرقی ایران با کمبود شدید آب روبه‌رو و میزان بارندگی این ناحیه نسبت به سایر نقاط ایران کمتر است. بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در کل شرق کشور شهر مشهد و دشت کشف رود می‌باشند. بخش اعظم آب شهر مشهد از سد دوستی تأمین می‌شود و وابسته به جریانات ورودی از رودخانه هریرود از سوی افغانستان می‌باشد. سد دوستی در مرز مشترک ایران و ترکمنستان و با اهداف مهمی از قبیل ذخیره‌سازی و تنظیم آب رودخانه، تأمین آب شرب مشهد، تأمین آب کشاورزی دشت سرخس و ترکمنستان بر روی هریرود احداث شده است. افغانستان نیز با هدف توسعه و آبیاری دشت هرات و تأمین انرژی برقابی اقدام به ساخت سد سلما بر روی هریرود کرده است. خشک‌سالی‌های اخیر و احداث سد سلما، آورد هریرود به سد دوستی را کاهش داده است. حقآبه رودخانه هریرود مشترک بین سه کشور افغانستان، ایران و ترکمنستان از جمله چالش‌های مهم مرزی شرق ایران می‌باشد. دکترین‌های متفاوتی در مورد حقوق کشورها در بهره‌برداری از آب‌های مرزی مطرح گردیده است. در این تحقیق اثر توسعه بالادست حوضه هریرود با ساخت سد سلما در افغانستان بر، آورد سد دوستی با ایجاد سناریوهای شبیه‌سازی بر مبنای دکترین‌های تسهیم آب‌های مرزی مورد بررسی قرارگرفته است. هدف از این شبیه‌سازی تبدیل ساختار حقوقی دکترین‌ها به زبان مدیریت منابع آب و بررسی اثرات هر یک از آن‌ها بر حوضه آبریز هریرود می‌باشد. برای شبیه‌سازی حوضه از مدل WEAP استفاده شده و شاخص اطمینان‌پذیری تأمین نیاز و آسیب‌پذیری در سناریوها بررسی شده است.

ایجاد هماهنگی بین کشورهایی که دارای منابع آبی مشترک هستند و تخصیص عادلانه این منابع، به‌طوری‌که به اکوسیستم طبیعی آسیبی نرساند، یکی از مهم‌ترین چالش‌های نهادها و قوانین بین‌المللی در قرن حاضر خواهد بود (McCaffery, 2007).

Korkutan (2001) عوامل مهمی که آب را مسأله‌ای مشکل‌ساز در بین کشورها مطرح کرده مورد بررسی قرارداده است. ایشان حوضه آبریز رودخانه‌های دجله و فرات و روابط میان کشورهای ترکیه، سوریه و عراق را از منظر قوانین بین‌المللی و اصولی که در این قوانین استفاده شده‌اند از جمله قانون هلسینکی مورد بررسی و تطبیق قرار داده‌اند.

تخصیص آب بر پایه‌ی بهینه‌سازی سنتی و مدل شبیه‌سازی نمی‌تواند مناقشه بین چند ذینفع با مقاصد مختلف را حل نموده و لازم است مدل حل مناقشه با رویکردهای جدید برای منابع آب مرزی مورد استفاده قرار گیرد (Ganoulis et al., 2011). وی با توجه به چندوجهی بودن مسائل، تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA[1]) به‌عنوان یک روش پشتیبان تصمیم‌گیری برای کشورهای مختلف پیشنهاد نمودند و آن را برای رودخانه Nestas-Mesta بین کشورهای یونان و بلغارستان به کار بردند.

Zarezadeh et al. (2016) برای تعاملات ایران و افغانستان در حوضه هیرمند با بهره‌گیری از تئوری بازی‌ها و بازی‌های ترتیبی-ترکیبی ظرفیت تعدادی از اقدامات در کاهش سطح زیر کشت خشخاش و افزایش ورودی هیرمند به ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند. از جمله اقدامات بررسی شده تغییر الگوی کشت (مانند کمک به کاشت زعفران) و ارتقاء عملکرد محصولات می‌باشد. نتایج تحقیق مذکور نشان از وابستگی زیاد موفقیت این تعامل با قیمت خشخاش دارد به‌طوری‌که با افزایش قیمت، انگیزه افغانستان برای همکاری کم خواهد شد و نیاز است تا گزینه‌های دیگری در ترکیب با آب مورد توجه قرار گیرند.

Sade et al. (2016) به بررسی پایداری اکوسیستم‌های آب شیرین و فعالیت‌های انسانی در حوضه آبریز مرزی دریاچه Kinnert که میان سه کشور سوریه، لبنان و رژیم اشغالگر قدس مشترک می‌باشد، پرداخته‌اند. در این مطالعه کوه‌های Hermon، بلندی‌های جولان، دره Hula و رشته‌کوه‌های Galilee از لحاظ تأثیرپذیری که از دریاچه Kinnert و تغییرات اقلیمی دارند با استفاده از ابزارهای متنوع مدل‌سازی شامل یک مدل شبیه‌سازی WEAP، محاسبات تعادل آب دریاچه و سری‌های باران مصنوعی بر پایه ابزار تولید بارش تصادفی بررسی و مقایسه شده‌اند. سناریوهای مختلف در مطالعه فوق اجرا و کاهش حجم ذخیره دریاچه Kinnert در آن‌ها مورد مقایسه قرارگرفته است. از نتایج مطالعه مذکور می‌توان به آسیب‌پذیر بودن بلندی‌های جولان به تغییر اقلیم در بخش کشاورزی نسبت به دره Hula اشاره کرد.

هر کشور سعی دارد که با توجه به منافع و اولویت‌های خود به این مسأله نگاه کند. در خصوص نحوه حاکمیت و بهره‌برداری از منابع طبیعی مشترک به‌خصوص رودخانه‌های مرزی، دکترین‌ها و روش‌های تئوریک کلی به شرح زیر وجود دارد (Mianabadi, 2016):

- دکترین حاکمیت سرزمینی مطلق[۲] یا دکترین هارمون[۳]
- دکترین تمامیت ارضی مطلق[۴]
- دکترین استفاده مشترک کشورهای ساحلی از منابع آبی رودخانه‌ی بین‌المللی[۵]
- دکترین تمامیت ارضی یا حاکمیت سرزمینی محدودشده[۶]

از این بین، تنها دکترین تمامیت ارضی یا حاکمیت سرزمینی محدودشده، اساس و پایه‌ی قوانین مدرن بین‌المللی آب را تشکیل می‌دهد.

Avarideh et al. (2017) جنبه‌های حقوقی کنوانسیون ۱۹۹۷ سازمان ملل را که در سال ۲۰۱۴ به اجرا درآمده است را با رویکرد تکنیکی یکپارچه‌شده‌ای برای تخصیص منابع آب مرزی بررسی کرده‌اند. آن‌ها مدلی مفهومی را برای تعریف مقررات کنوانسیون به لحاظ تسهیم آب عادلانه و معقول در حوضه آبریز سیروان دیاله مشترک میان کشورهای ایران و عراق توسعه داده‌اند. ۷ فاکتور ازجمله شامل مورد ویژگی‌های طبیعی حوضه، نیازهای اجتماعی و اقتصاد کشورها، جمعیت وابسته به آب در هر کشور، پتانسیل استفاده از آب و غیره برای رویکرد مذکور بررسی شده‌اند. گزینه‌های مدیریتی نیازها شامل افزایش راندمان آبیاری و حذف کشت ثانویه به‌عنوان موارد مناسب برای کاهش صدمات مطرح شده‌اند.

Ghandhary et al. (2016) هیدروپولیتیک سه کشور ایران، ترکمنستان و افغانستان در حوضه آبریز هریرود را بر اساس تئوری بازی همکارانه با استفاده از روش ارزش شاپلی مدل‌سازی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهند همکاری سه کشور می‌تواند بیشترین سود را برای آن‌ها فراهم کند. بر اساس نتایج نظریه بازی، همکاری ایران با افغانستان و ترکمنستان در زمینه تبادل آب با گاز و مشتقات نفتی ضروری به نظر می‌رسد. ایجاد یک رابطه نزدیک بین سه کشور و ایجاد تفاهم پایدار و بلندمدت منافع همه کشورها را بهینه خواهد کرد.

Mianabadi (2016) نبود آشنایی مناسب با قوانین بین‌المللی آب و اصول مختلف بهره‌برداری از منابع آب مشترک مرزی را به‌طور چشمگیری در سوی مدیریت و بهره‌برداری غیر بهینه از رودخانه‌های مرزی مؤثر دانسته و ارتباط آب و مسائل امنیت ملی را تشریح کرده است. تدوین جامع حقوق بین‌المللی آب، ابهام‌زدایی از قوانین موجود، در نظر گرفتن هم‌زمان منافع تمامی کشورهای ذی مدخل در حوضه آبریز بین‌المللی و افزایش مشارکت‌های مردمی و نهادهای اجتماعی در مدیریت منابع آب مشترک از جمله راهکارهای ارائه شده می‌باشند.

در زمینه‌ی مدل‌سازی هیدرولوژی و برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه‌های آبریز مرزی تحقیقات ارزنده‌ای به‌ویژه در شرق کشور انجام شده است (Ghaffari Moghadam, 2012; Ahani and Mousavi Nadoushani, 2015; Hajihoseini et al., 2015a; Hajihoseini et al., 2015b; Shahbazbegian and Bagheri, 2016). در تحقیقات ذکر شده کمتر به مباحث حقوقی و ارتباط بین مدیریت منابع آب و جنبه‌های حقوقی تقسیم آب‌های مرزی پرداخته‌شده است.

در تحقیق پیش رو دکترین‌های حاکم بر تسهیم آب‌های مرزی با توجه به منابع و نیازها به شکل سناریوهای شبیه‌سازی تعریف شده‌اند. سناریوها با در نظر گرفتن جنبه‌های حقوقی دکترین‌های تسهیم آب‌های مرزی ایجاد شده و اثری که هر یک از دکترین‌ها بر تقسیم منابع آب در حوضه آبریز هریرود را دارد نشان می‌دهند و از شاخص اطمینان‌پذیری حجمی و آسیب‌پذیری برای مقایسه میان آن‌ها استفاده شده است.

۲- روش تحقیق و مطالعه موردی

هدف از انجام این تحقیق بررسی تغییرات آورد رودخانه هریرود به ایران بعد از ساخته شدن سد سلما و توان تأمین نیازهای داخلی ایران با توسعه بالادست حوضه آبریز هریرود و برداشت آب توسط آن‌ها

است. با بهره‌گیری از مدل WEAP و سناریوهای توسعه و عدم توسعه اطمینان‌پذیری نیازِ هر یک از کشورهای مشترک در حوضه مورد بررسی قرارگرفته است. در ادامه با هدف کاهش کمبود نیازها در بخش کشاورزی نیاز مربوطه را کم کرده تا به اعتمادپذیری ۸۵ درصد برسیم.

۲-۱- محدوده مطالعاتی

هریرود از رودهای مهم و بزرگ حوضه آمو است که از کوه‌های مرکزی افغانستان، هندوکش و ارتفاع تقریباً ۴۰۰۰ متریِ ارتفاعات لعل و سرجنگل سرچشمه می‌گیرد. رودخانه هریرود به طول ۱۰۵۰ کیلومتر از افغانستان سرچشمه می‌گیرد و مرز ایران و افغانستان و ترکمنستان را می‌سازد و سپس از سرخس وارد خاک ترکمنستان می‌شود. این رود پر آب‌ترین رود مشترک بین ایران و ترکمنستان است. بر اساس اطلاعات منتشر شده توسط سازمان جهانی فائو، میانگین جریان ورودی به مرز ایران توسط این رودخانه برابر با ۱/۷۰ کیلومترمکعب در سال است (Favre & Monowar Kamal, 2004). حوضه آبریز هریرود ۸۴۳۸۷ کیلومترمربع می‌باشد. طبق مطالعات فائو سهم مساحت ایران از حوضه آبریز هریرود ۳۵ درصد، سهم افغانستان ۴۵ درصد و سهم ترکمنستان ۲۰ درصد می‌باشد. سد دوستی در مرز ایران و ترکمنستان در۱۸۰ کیلومتری شهر مشهد، ۷۵ کیلومتری شهرستان سرخس، ۴ کیلومتری بالادست پل خاتون در شمال شرق خراسان رضـــوی و مختصـــات جغرافیـــایی"۵۵ '۵۶ °۳۵ عرض شمالی و "۴۸ '۹ °۶۱ طول شرقی احداث شده است. در بالادست سد دوستی سد سلما توسط افغانستان در مختصات جغرافیایی "۵۱ '۱۹ °۳۴ عرض شمالی و "۳۱ '۴۹ °۶۳ طول شرقی قرار دارد. با توجه به اینکه ۶۰ درصد پتانسیل آب حوضه در بالادست سد سلما وجود دارد، ساخت آن باعث کاهش شدید آورد رودخانه ورودی به سد دوستی خواهد شد (Favre & Monowar Kamal, 2004).

۲-۲- سیستم برنامه‌ریزی و ارزیابی WEAP

مدل WEAP توسط انستیتو محیط زیست استکهلم برای ارزیابی نیاز آبی، اثرات تغییر اقلیم و سناریوهای مدیریت منابع آب توسعه داده شده است. WEAP می‌تواند به‌عنوان پایگاه داده‌ی اطلاعات تأمین و نیاز آبی و به‌عنوان ابزار پیش‌بینی برای برآورد منابع آب (به‌عنوان مثال آب سطحی، زیرزمینی، انتقال آب)، نیاز (تعریف شده توسط کاربر، صنعتی، آشامیدنی و کشاورزی) و ذخیره عمل کند. مدل WEAP مصرف آب در حوضه را با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی خطی بهینه‌سازی می‌کند تا آب به محل نیازهای مختلف تخصیص یابد، اولویت‌ها از ۱ تا ۹۹ و شروع اولویت بیشتر از ۱ تعریف شده‌اند (SEI, 2001).

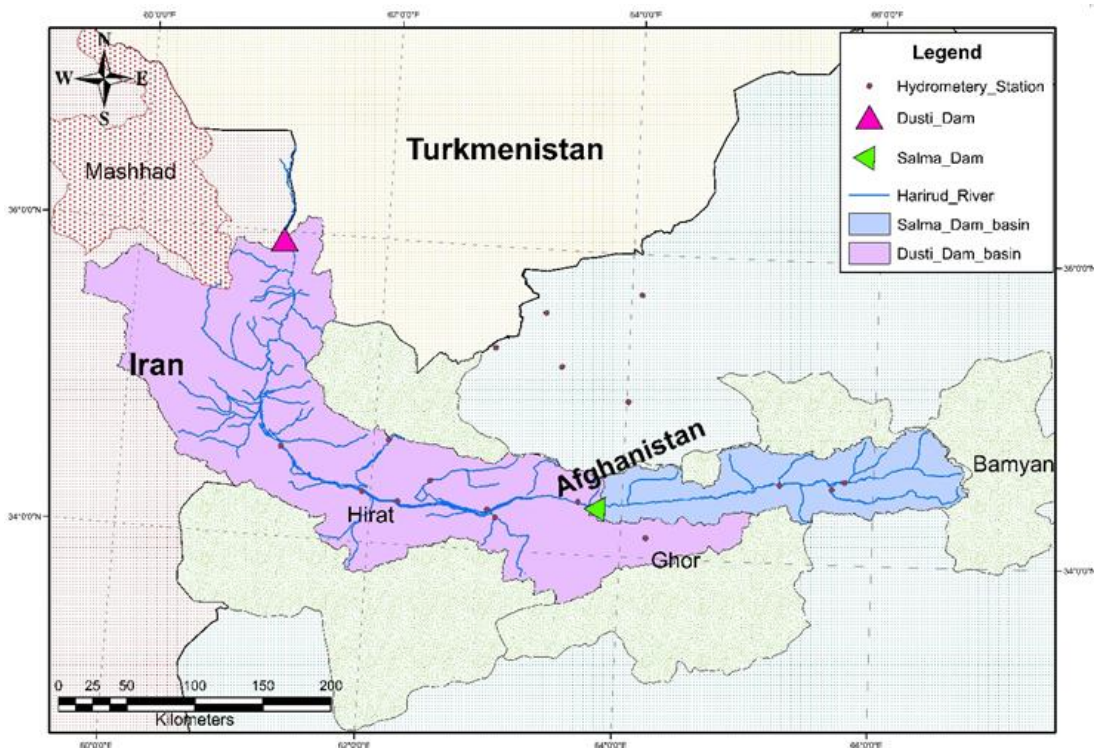

Fig. 1- Study area of Harirud River

شکل ۱- محدوده مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه هریرود

WEAP معادله تعادل جرم آبی را برای هر گره اتصال در گام‌های زمانی محاسبه می‌کند. دوره زمانی که مدل‌سازی بر اساس آن انجام شده ماهانه بوده و جز برای مخزن، هر ماه مستقل از ماه قبلی است.

برای هر ماه معادلاتی حل می‌شوند که شامل موارد زیر می‌شوند:

- تقاضای سالانه و تأمین نیاز ماهانه برای هر تقاضا
- جریان‌های ورودی و خروجی آب برای هر گره در سیستم با محاسبه برداشت آب از منابع ذخیره برای تأمین نیاز و آب ارسالی مخازن به دست می‌آید. این مرحله توسط برنامه‌ریزی خطی[۷] حل می‌شود که نیازهای تأمین‌شده و نیازهای جریان را بر اساس اولویت نیازها، ارجحیت منابع، تعادل جرم و سایر محدودیت‌ها بهینه‌سازی کند.

تقاضای ماهانه طبق معادله زیر برابر سهم ماهانه از تقاضای سالانه تنظیم شده است (SEI, 2001):

$$MD_{DS,m}=MVF_{DS,m}\times AAD_{DS} \quad (۱)$$

که در آن $AAD_{DS},MVF_{DS,m},MD_{DS,m}$ به ترتیب تقاضای ماهانه، سهم هر ماه از تقاضای سالانه و تقاضای سالانه می‌باشند.

مزیت اصلی WEAP در رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها می‌باشد. WEAP در معادلات خود مسائل مربوط به نیاز شامل الگوهای مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده مجدد، هزینه‌ها و تخصیص را همگام با مسائل مربوط به منابع شامل جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، مخازن و انتقال آب لحاظ کرده است (SEI, 2001).

۲-۳- شاخص اطمینان‌پذیری حجمی

اطمینان‌پذیری در یک سیستم بهره‌برداری منابع آب قدیمی‌ترین و کاربردی‌ترین معیار ارزیابی برای تحلیل سیستم‌های منابع آب می‌باشد. اطمینان‌پذیری نشان‌دهنده احتمال وقوع حالت موفق سیستم بوده و به نوعی تعریف مقابل ریسک است که بیان‌کننده تناوب شکست سیستم می‌باشد. اطمینان‌پذیری در مدیریت منابع آب به دو صورت حجمی و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kundzewicz & Kindler, 1995).

این شاخص مقایسه‌ای است بین مصرف و نیاز واقعی در مقیاس سالانه که هم می‌تواند نشان‌دهنده مصرف بیش از اندازه در سیستم باشد و هم می‌تواند تنش‌های آبی مواجه با آن را نشان دهد. رابطه زیر نحوه محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد. این رابطه بیان‌کننده نسبت حجم آب تأمین‌شده به حجم کل نیاز آبی می‌باشد.

$$Re_V=\frac{\int_0^T \min(Q_S(t),Q_D(t))dt}{\int_0^T Q_D(t)dt} \quad (۲)$$

که در آن $Q_D(t),Q_S(t),RI_V$ به ترتیب شاخص اطمینان‌پذیری حجمی، حجم آب مصرفی که درواقع آب تأمین‌شده در زمان t است و حجم تقاضا در زمان t می‌باشند (Kundzewicz & Kindler, 1995).

۲-۴- شاخص شدت آسیب‌پذیری[۸]

آسیب‌پذیری نشان‌دهنده شدت و یا بزرگی شکست سیستم است. Hashimoto et al. (1982) معیاری برای آسیب‌پذیری کلی سیستم به‌عنوان بزرگ‌ترین شکست قابل انتظار برای یک رویداد موقت در یک مجموعه در شرایط نامطلوب ارائه کرده است. در این روش تأکید بر روی بزرگ‌ترین شدت (چگونگی بد بودن حالت) برای هر شرایط نامطلوب و احتمال این‌که شکست با بزرگ‌ترین شدت اتفاق بیافتد، شده است. معیاری برای آسیب‌پذیری به‌صورت بزرگ‌ترین مقدار کمبود در تأمین آب در دوره بهره‌برداری تعریف کرده است. Kundzewicz et al. (1995) معکوس آسیب‌پذیری را با استفاده از میانگین بیشترین کمبودها مورد استفاده قرار داده‌اند. به بیانی دیگر این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Vul_X=\frac{\left|\sum_1^t\left(X^T-X_t\right)\right|}{n'} \quad (۳)$$

که در آن X_t ارزش مطلوب در سری زمانی، X^T برابر حد آستانه و n' برابر تعداد دفعاتی که مقدار نامطلوبی رخ می‌دهد می‌باشد.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- سناریوهای شبیه‌سازی

تئوری‌ها و نگرش‌های متفاوتی در خصوص نحوه بهره‌برداری از منابع آبی مشترک وجود دارد. هر کشور سعی دارد که با توجه به منافع و اولویت‌های خود به این مسأله نگاه کند. در خصوص نحوه حاکمیت و بهره‌برداری از منابع طبیعی مشترک به‌خصوص رودخانه‌های مرزی، روش‌های تئوریک کلی وجود دارد (Mianabadi, 2016). در این تحقیق با توجه به دکترین‌های حاکم بر تسهیم آب‌های مرزی سناریوهای مختلف زیر در نظر گرفته شده است:

- دکترین حاکمیت سرزمینی مطلق: به موجب این دکترین، آن قسمت از رودخانه‌های بین‌المللی که در سرزمین هر کشور جریان دارد، جزء آب‌های داخلی آن کشور در نظر گرفته شده است و هر کشور می‌تواند از این منبع آبی به هر صورتی که ضروری می‌داند، بدون در نظر گرفتن پیامدهای آن بر دیگر کشورها استفاده کند. کشورهای بالادست در تنش‌های آبی به این اصل استناد می‌کنند. در سناریو B که بر اساس این دکترین تعریف شده است بالاترین اولویت تأمین نیازها به ترتیب نیاز کشاورزی افغانستان، پر شدن مخزن سلما و نیاز زیست‌محیطی پایاب سلما می‌باشد. سپس تأمین نیازهای پایین‌دست به ترتیب با اولویت‌های شرب ایران و ترکمنستان، کشاورزی ایران و ترکمنستان، پر شدن مخزن دوستی و نیاز زیست‌محیطی پایاب دوستی مدنظر قرارداده شده است.
- دکترین تمامیت ارضی مطلق: بر اساس آن کشورهای ساحلی رودخانه‌ها نمی‌توانند تغییرات جدی را در وضع طبیعی کشور خود ایجاد کنند، به‌طوری‌که سبب تغییرات و آثار منفی مهمی در دیگر کشورها شود زیرا این تغییرات بر تمامیت ارضی کشورهای پایین‌دست اثر خواهد گذاشت. کشورهای پایین‌دست خواهان به رسمیت شناختن آن در قوانین بین‌المللی بودند. در سناریو C که بر اساس این دکترین تعریف شده است، اولویت تأمین نیازها به ترتیب به نیاز شرب ایران و ترکمنستان، کشاورزی ایران و ترکمنستان، پر شدن مخزن دوستی، زیست‌محیطی پایاب دوستی، کشاورزی افغانستان، پر شدن مخزن سلما و زیست‌محیطی پایاب سلما اختصاص داده شده است.
- دکترین استفاده مشترک کشورهای ساحلی از منابع آبی رودخانه‌ی بین‌المللی: این دکترین بر این اصل استوار است که تمامی کشورهای ساحلی رودخانه‌ی بین‌المللی به‌عنوان واحد اقتصادی محسوب می‌شود که منابع آن متعلق به تمام کشورهای ساحلی است.
- دکترین تمامیت ارضی محدود شده: بر اساس این اصل، هر کشور ساحلی حق استفاده و بهره‌برداری از رودخانه‌های بین‌المللی جاری در کشور خودش را دارد، به شرطی که این استفاده سبب وارد آمدن خسارت بر قلمرو سرزمینی دولت‌ها و کشورهای دیگر نشود. در این دکترین، اصل استفاده منصفانه، عاقلانه منابع آبی مشترک و ممنوعیت وارد آمدن خسارت بر قلمرو سرزمینی کشورهای دیگر اهمیت بسزایی دارد. سناریو D با توجه به این دکترین و با اولویت‌های شرب ایران و ترکمنستان، زیست‌محیطی پایاب سلما و دوستی، کشاورزی افغانستان، کشاورزی ایران و ترکمنستان و پر شدن مخزن‌های دوستی و سلما تعریف شده است.

در این تحقیق دو سناریو A و E نیز تعریف شده است. سناریو A مربوط به قبل از توسعه بالادست می‌باشد که در آن اولویت تأمین نیازها به ترتیب به کشاورزی افغانستان، شرب ایران و ترکمنستان، کشاورزی ایران و ترکمنستان، پر شدن مخزن دوستی و زیست‌محیطی پایاب دوستی اختصاص یافته است. سناریو E با نظر گرفتن کاهش نیازهای کشاورزی در سناریو B تا رسیدن به اطمینان‌پذیری ۸۵ درصد تعریف شده است. جدول ۱ مقادیر اولویت نیازها را به‌صورت دقیق و با جزییات کامل‌تر نشان می‌دهد.

برای سناریوهای مذکور شاخص اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری به‌طور جداگانه برای نیازهای شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی در ایران، افغانستان و ترکمنستان محاسبه شده است.

Table 1- Priority of demands in scenarios

جدول ۱- اولویت نیازها در هر یک از سناریوها

Scenarios	Potable water of IRN & TRK	Agriculture of IRN & TRK	Environmental Flow of Dusti	Filling of Dusti Dam	Agriculture of AFG	Environmental Flow of AFG	Filling of Salma Dam
	Priority of Demands						
A	2	3	5	4	1	--	--
B & E	4	5	7	6	1	3	2
C	1	2	4	3	5	7	6
D	1	4	2	5	3	2	5

IRN = Iran, TRK=Turkmenistan, AFG=Afganistan

نیاز شرب مشهد و ترکمنستان با توجه به اولویت بالایی که برای ایران و ترکمنستان دارند بیشتر آب سد دوستی را به خود اختصاص می‌دهند. از دیگر اهداف ساخت سد دوستی تأمین آب مورد نیاز کشاورزی برای دشت سرخس در ایران و کشاورزی ترکمنستان بوده است. نتایج حاصل از اجرای سناریوها به‌صورت جداولی از منابع و مصارف در شکل ۲ آورده شده است. شکل ۲ به‌صورت شماتیک کل حوضه آبریز هریرود را از بالادست در کشور افغانستان تا پایین‌دست حوضه در کشورهای ایران و ترکمنستان را نمایش می‌دهد. راهنمای اعداد و سناریوها در سمت راست و در قسمت بالایی شکل نشان داده شده است.

کشورها با در نظر گرفتن منافعشان اقدام به بهره‌برداری از منابع آب می‌کنند. در مورد تسهیم منابع آب مرزی ۴ نظریه کلی وجود دارد که ۳ نظریه در قالب سناریوهای منابع آب مورد بررسی قرارگرفته‌اند. نتایج به‌دست آمده از اجرای سناریوها در شکل ۲، اختلاف زیادی میان تأمین نیازها با توجه به اولویت تأمین آن‌ها در هر یک از سناریوها وجود دارد. در سناریو A سد سلما ساخته نشده و نیاز کشاورزی افغانستان از رودخانه تأمین می‌شود. در ایـن حالت با اینکه برداشت آب برای تأمین آب زمین‌های کشاورزی در افغانستان انجام می‌شـود، مقادیر اطمینان‌پذیری در بخش شرب و کشاورزی ایران و ترکمنستان –به ترتیب ۸۴ و ۸۲ درصد– است. در بخش افغانستان تأمین نیاز کشاورزی با ۴۴ درصد اطمینان‌پذیری انجام می‌شود و تنها ۹۷/۹۵ میلیون مترمکعب از نیاز تأمین می‌شود. در سناریو B (احداث سلما و تسهیم آب بر اساس دکترین حاکمیت سرزمینی مطلق) نیاز کشاورزی با اطمینان‌پذیری ۸۹ درصد تأمین می‌شود. در این سناریو مقادیر اطمینان‌پذیری نیازهای شرب و کشاورزی ایران و ترکمنستان به ترتیب به ۶۳ و ۶۱ درصد کاهش یافته است که می‌تواند مسائل بسیاری را به‌خصوص در تأمین آب شرب مشهد با توجه به رشد روزافزون آن شهر پدید آورد. در سناریو C که دکترین تمامیت ارضی مطلق را در برمی‌گیرد، مقدار اعتمادپذیری نیاز کشاورزی افغانستان به ۳۱ درصد کاهش پیدا کرده است و مقادیر اعتمادپذیری نیاز شرب ایران و ترکمنستان به ۹۱ درصد افزایش‌یافته است. در بخش کشاورزی ایران اعتمادپذیری تأمین این نیاز ۸۹ درصد به‌دست آمده که نشان از مناسب بودن دکترین تمامیت ارضی محدود شده به سود کشورهای پایین‌دست حوضه است. در سناریو D که بر اساس اصل تمامیت ارضی محدود شده استوار است، هم نیازهای افغانستان به‌عنوان بالادست و هم نیازهای ایران و ترکمنستان به‌عنوان کشورهای پایین‌دست مدنظر قرارگرفته شده است. افزایش تأمین نیاز افغانستان به میزان ۱۶۴ درصد نسبت به سناریو C و البته کاهش ۳۳ درصدی تأمین نیاز نسبت به سناریو B مشاهده شده است. در این سناریو نیاز شرب ایران و ترکمنستان نسبت به سناریو B به میزان ۳۰ درصد افزایش یافته درحالی‌که کاهش ۱۰ درصدی نسبت به سناریو C را شامل شده است.

شاخص آسیب‌پذیری که احتمال بزرگی یک شکست در سیستم را بررسی می‌کند در سناریوهای مختلف مورد مقایسه قرارگرفته است. هر چه این شاخص به مقدار صفر نزدیک‌تر باشد آسیب‌پذیری سیستم منابع آب حوضه در مقابل تقاضا کمتر است. با توجه به نتایج سناریوهای اجرا شده در اکثر موارد هر چه نیاز اولویت بیشتری برای تأمین داشته باشد آسیب‌پذیری کمتری دارد. در بخش کشاورزی افغانستان و مقایسه دو سناریو A و C نتایج نشان می‌دهد هنگامی‌که مخزن سلما ساخته شده است در مقایسه با زمانی که این مخزن ساخته شده اما اولویت تأمین این نیاز پایین‌تر از نیازهای کشاورزی ایران و ترکمنستان است، آسیب‌پذیری بیشتری دارد. در دو سناریو C و D آسیب‌پذیری تأمین نیازهای شرب ایران و ترکمنستان به ترتیب ۷۵ و ۵۲ درصد کاهش خواهد یافت. این کاهش در بخش کشاورزی دو کشور به ترتیب ۶۸ و ۳۱ درصد است.

برای رسیدن به اعتمادپذیری حجمی تأمین نیاز به میزان حداقل ٪۸۵ برای هر یک از نیازهای کشاورزی در سناریوهای مختلف، مقادیر نیاز به‌مرور کاهش یافته تا مقدار مطلوب تأمین نیاز حاصل گردد. در جدول ۲ مقادیر این کاهش‌ها و اعتمادپذیری که درنتیجه این کاهش به‌دست آمده، ارائه شده است:

با توجه به جدول ۲ برای تأمین اطمینان‌پذیری ۸۵ درصد، در صورت اجرا شدن سناریو B و برقرار بودن دکترین حاکمیت سرزمینی مطلق ایران و ترکمنستان باید مقدار نیازهایشان را به مقدار ۹۹/۹ درصد کاهش دهند. برای افغانستان درصورتی‌که سناریو C اجرا و دکترین تمامیت ارضی جاری شود نیز کاهش نزدیک به ۱۰۰درصدی داریم.

در سناریو A سهم ایران از کل آب هریرود ۳۳ درصد می‌باشد. این مقدار در سناریو B به ۲۱ درصد کاهش می‌یابد و در سناریو C به ۳۴ درصد می‌رسد. در سناریو D سهم ایران ۲۹ درصد است.

با مقایسه مقادیر به‌دست آمده در سناریوها، مشاهده می‌شود با ساخت سد سلما آورد هریرود در محل سد دوستی کاهش ۴۰ درصدی خواهد داشت و تأمین نیازهای ایران و ترکمنستان را با مشکل روبه‌رو می‌کند. با توجه به نبود معاهده و یا قوانین بازدارنده، افغانستان دکترین حاکمیت سرزمینی مطلق را مبنا قرارداده و تا جای ممکن از آب هریرود بهره می‌برد. این در حـــالی است که ایران و ترکمنستان بایستی به دنبال

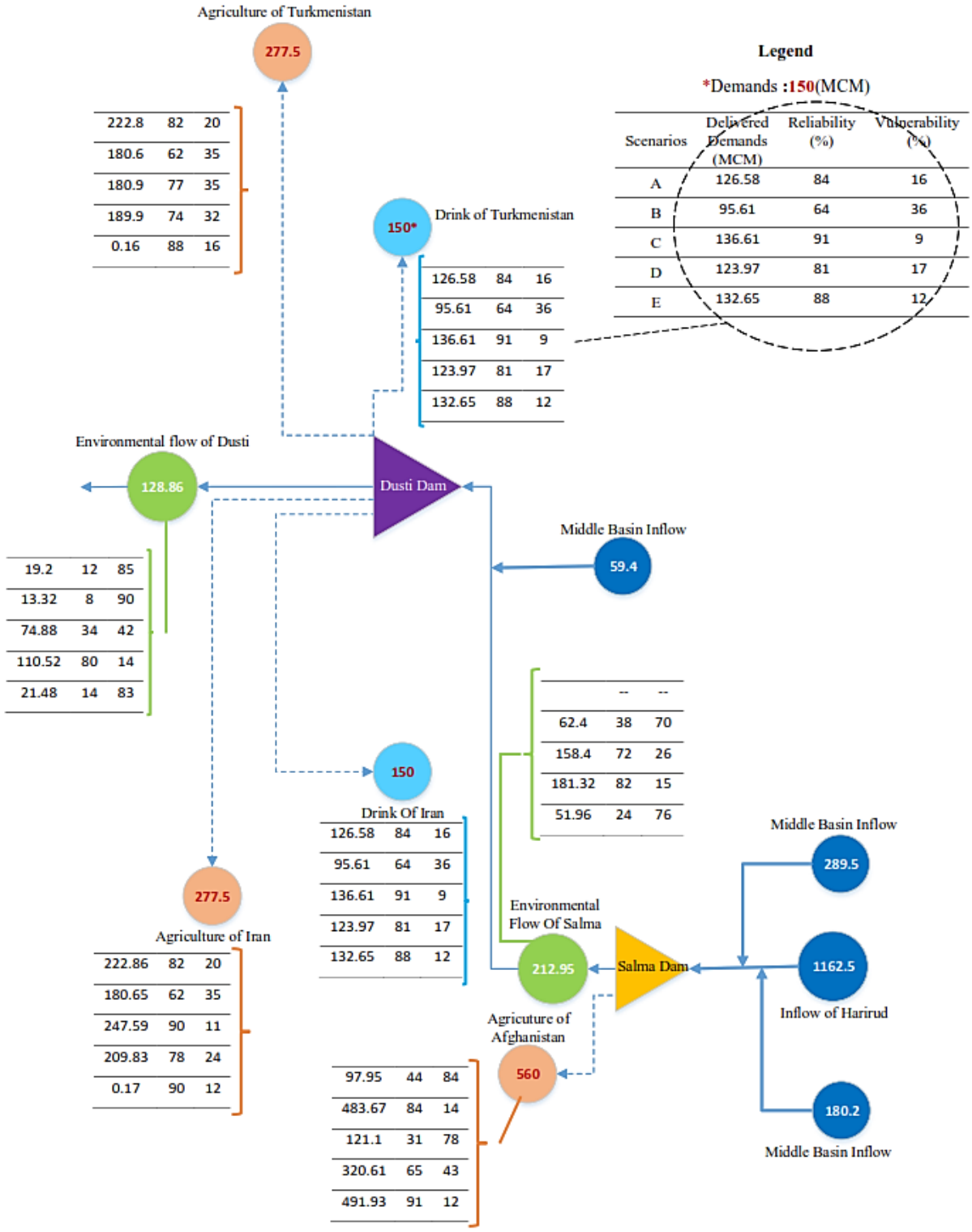

Fig. 2- Configuration of the watershed

شکل ۲- پیکره‌بندی حوضه

Table 2- Reliability and reduced values of demands

جدول ۲- مقادیر کاهش و اطمینان‌پذیری نیازها

Scenarios	B			C			D		
	Current amount (MCM)	Reduced amount (MCM)	Reliability (%)	Current amount (MCM)	Reduced Amount (MCM)	Reliability (%)	Current amount (MCM)	Reduced amount (MCM)	**Reliability (%)**
Agriculture of Afghanistan	--	--	--	560	0.000445	85	560	138.51	**85**
Agriculture of Iran	277.5	0.17	90	277.5	--	--	277.5	162.34	**86**
Agriculture of Turkmenistan	277.5	0.16	88	277.5	--	--	277.5	161.86	**86**

پیاده‌سازی اصول حاکم بر دکترین تمامیت ارضی محدود شده که در آن نیاز کلیه کشورها به‌صورت منطقی تأمین می‌شود، باشند.

۴- جمع‌بندی

میزان حقآبه ایران از رودخانه هریرود که بین سه کشور افغانستان، ایران و ترکمنستان مشترک است، ازجمله چالش‌های مهم مرزی در شرق ایران می‌باشد. سد دوستی در مرز ایران و ترکمنستان با هدف تخصیص آب شرب برای شهر مشهد دومین شهر بزرگ ایران، توسعه کشاورزی دشت سرخس و تأمین نیاز شرب و کشاورزی ترکمنستان ساخته شده است. در بالادست سد دوستی کشور افغانستان اقدام به احداث سد سلما نموده است. با بهره‌برداری از این سد، ورودی سد دوستی کاهش ۴۰ درصدی داشته است. با توجه به توسعه کشاورزی دشت هرات و زمین‌های کشاورزی در استان غور در کشور افغانستان مقدار آبدهی هریرود کاهش بیشتری داشته و رشد روزافزون مشهد اهمیت سد دوستی را پررنگ‌تر از گذشته خواهد کرد.

در این تحقیق به بررسی سه دکترین مختلف تسهیم آب‌های مرزی در قالب ایجاد سناریوهای مرتبط با آن‌ها پرداخته شده است. تسهیم آب بر اساس دکترین حاکمیت سرزمینی مطلق–سناریو B– که حق استفاده از منابع آبی را به کشور بالادست می‌دهد، حاکی از کاهش ۲۵ درصدی تأمین نیازهای سد دوستی نسبت به سناریو عدم توسعه – سناریو A– می‌باشد. سناریو C که بر اساس دکترین تمامیت ارضی مطلق ایجاد شده، استفاده از منابع آب را حق کشورهای پایین‌دست دانسته و افزایش ۴۰ درصدی تأمین نیاز شرب و افزایش ۳۵ درصدی تأمین نیاز کشاورزی نسبت به سناریو B را نشان می‌دهد. تسهیم آب بر اساس دکترین تمامیت ارضی محدود شده –سناریو D– درصورتی‌که استفاده از منابع آب سبب وارد آمدن خسارت به دیگر کشورها نشود، حق استفاده از منابع در هر کشور را به آن کشور می‌دهد، سناریو D افزایش ۲۲۷ درصدی تأمین نیاز کشاورزی افغانستان، کاهش ۲ و ۶ درصدی نیاز شرب و کشاورزی ایران را نسبت به سناریو A در پی دارد. در حال حاضر با توجه به نبود تفاهم‌نامه بین کشورهای مشترک در حوضه، اجرای سناریو B محتمل‌تر می‌باشد. کاهش ۲۵ درصدی تأمین نیازها با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر و نیز رشد روزافزون شهر مشهد به‌عنوان شهر مذهبی و توریستی ایران می‌تواند اثرات زیانباری را داشته باشد. در ضمن عدم تأمین آب مورد نیاز دشت سرخس باعث خشک شدن زمین‌های کشاورزی و افزایش مهاجرت از منطقه مربوطه خواهد شد. با توجه به سناریوهای تسهیم آب‌های مرزی و مقایسه نتایج آن‌ها استفاده از دکترین تمامیت ارضی محدود شده –سناریوD– نسبت به دیگر سناریوهای تسهیم آب‌های مرزی بیان شده، نتایج بهتری را برای هر سه کشور ایران، افغانستان و ترکمنستان در پی دارد. با بررسی زمینه‌های همکاری بین سه کشور برای تسهیم مناسب‌تر آب رودخانه هریرود می‌توان نتایج مناسب‌تری را به دست آورد. پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش‌های مختلف حل مناقشه اثر این راهکارها را مورد بررسی دقیق قرار داد.

پی‌نوشت‌ها

1- Multi Criteria Decision Analysis
2- Absolute Territorial Sovereignty
3- Harmon Doctrine
4- Absolute Territorial Integrity
5- The Community of Co-Riparian States in the Waters of an International River
6- Limited Territorial Integrity or Limited Territorial Sovereignty
7- Linear Programming

8- Vulnerability Index

۵- مراجع

Ahani A, Mousavi Nadoushani S (2015) Regionalization of Aras watershed by SOFM. Iran-Water Resource Research 10:88-98 (In Persian)

Avarideh F, Attari J, Moridi A (2015) Modelling equitable and reasonable water sharing in transboundary rivers: the case of Sirwan-Diyala river. Water Resource Management 31:1191-1207

Favre R, Monowar Kamal G (2004) Working documents for planners. Watershed Atlas of Afghanistan

Ganoulis J, Aureli A, Freid J (2011) Transboundary water management, a multidisciplinary approach. Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, Germany

Ghaffari Moghadam Z, Keikhah A, Sabouhi M (2012) Optimum water resources allocation using game theory. Iran-Water Resource Research 8:12-23 (In Persian)

Ghandhary A, Alavi Moghadam S M R, Omranian Khorasani H (2016) Predicting the necessity of cooperation between the harirud basin countries based on game theory: The shapely value approach. Journal of Water and Sustainable Development 3(1):115-121 (In Persian)

Hajihoseini M, Hajihoseini H, Morid S, Delavar M (2015) Assessment of the effect of land-use changes on streamflow in helmand transboundary basin during 1990 to 2012 using remote sensed data & SWAT model. Iran-Water Resource Research 11:73-86 (In Persian)

Hajihoseini M, Hajihoseini H, Najafi A, Morid S, Delavar M (2015) Assessment of changes in hydro-meteological variables upstream of Helmand Basin during the last century using CRU data and SWAT model. Iran-Water Resource Research 10:38-52 (In Persian)

Hashimoto T, Stedinger J R, Loucks D P (1982) Reliability resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resource Research 18:14-20

Korkutan S (2001) The sopurce of conflict in the Euphrates-Tigris basin and its strategic consequence in the Middle East. Naval Postgraduate School Monterey USA

Kundzewicz z, Kindler J (1995) Multiple criteria for evaluation of reliability aspects of water resource systems. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Science 217-224

McCaffrey S (2007) The law of international watercourses. Oxford University Press Oxford UK

Mianabadi H (2016) Hydropolitics and conflict management in transboundary river basin. PhD Thesis Delft University of Technology

Mokhtari H, Ghaderi M (2008) Prospects of Middle East in 2025-Case studies: Euphrates and Tigris. Jordan and Nile river basins,Geopolitics 4(1):36-74

Sade R, Rimmer A, Samuels R, Salnigar Y, Denisyuk M, Alpert P (2016) Water management in a complex hydrological basin-Application of water evaluation an planning tool (WEAP) to the lake Kinnert watershed. Integrated Water Resources Management: Concept Research and Implementation Springer

Shahbazbegian M, Bagheri A (2016) Systemic analysis of vulnerability of the Sistan plain to water scarcity – experiencing policy options based on the resilience approach. Iran-Water Resource Research 12:40-55 (In Persian)

Stockholm Environment Institute (2011) Water evaluation and planning system tutorial. Stockholm:Stockholm Environment Institute

Swain A (2004) Managing water conflict: Asia, Africa, and the Middle East. Routledge 234

Transboundary waters systems-status and trends (2016) Crosscutting analysis. UNEP 6

Wolf A T, Natharius J A, Danielson J J, Ward B S, Pender J K (1999) International river basins of the world. International Journal of Water

Zarehzade M, Morid S, Fatemi F, Madani K (2016) The strategic cooperation between iran and afghanistan in Helmand Basin to allocate more water to environment and control opium cultivation using game theory approach. Iran- Water Resources Research 12(3):12-21 (In Persian)