Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
Volume 17, No. 2, Summer 2021 (IR-WRR)
۱۰۰-۱۱۳

کاربست رویکرد شاخص‌محور در ارزیابی امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه

ثمین جباری قره‌باغ[۱]، حسین رضایی[۲*] و علی باقری[۳]

چکیده

با رشد تقاضا برای غذا و انرژی، افزایش استانداردهای زندگی و پیچیدگی‌های حکمرانی آب، فشار بر منابع آب در حال افزایش است. عوامل متعددی در ایجاد امنیت آبی دخیل هستند. در این پژوهش، ابتدا امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از طبقه‌بندی آبی- اقتصادی حوضه برای ۱) دوره‌های پنج ساله از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ و ۲) استان‌های واقع در حوضه برای سال پایه ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده، وجود چالش‌های هیدرولوژیکی زیاد و ظرفیت اقتصادی کم برای دستیابی به امنیت آبی را نشان داد. روش‌های عمومی نظیر طبقه‌بندی آبی- اقتصادی، اطلاعات دقیقی از وضعیت سیستم منابع آب در مقیاس‌های محلی ارائه نمی‌کنند. لذا در بخش دوم، باتوجه به ویژگی‌های حوضه، تعریف مشخصی از امنیت آبی ارائه شد. باتوجه به این تعریف، یک چارچوب شاخص‌محور در سه بعد دسترسی به آب، درآمد ساکنین و اشتغال ساکنین برای ارزیابی امنیت آبی حوضه طراحی شد و بررسی‌ها برای دوره تاریخی انجام گرفت. باتوجه به معیارهای درنظر گرفته شده، به طور کلی امنیت آبی حوضه در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۵ «کم» و در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ «متوسط» ارزیابی شد. بررسی امنیت آبی حوضه با شاخص‌های بهره‌وری فعالیت‌های اقتصادی نشان داد که به منظور دستیابی به امنیت آبی در آینده، بخش کشاورزی از پتانسیل لازم برای توسعه اجتماعی- اقتصادی برخوردار نبوده، سیاست‌ها باید در راستای کاهش مصرف آب و اشتغال کشاورزی ارائه شود. این امر بدون سرمایه‌گذاری و ایجاد ظرفیت اشتغال در بخش‌های دیگر که قابلیت بالایی برای افزایش درآمد سرانه حوضه را دارند، ممکن نیست.

کلمات کلیدی: طبقه‌بندی آبی- اقتصادی، چالش‌های هیدرولوژیکی، ظرفیت اقتصادی، بهره‌وری، اشتغال.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۱۰/۲۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۵/۴

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه ارومیه.
۲- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه.
۳- دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب دانشگاه تربیت مدرس.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

Application of Indicator-Based Approach in Water Security Assessment of Lake Urmia Basin

S. Jabbari Gharabagh [1], H. Rezaie[2], and A. Bagheri[3]*

Abstract

By growing food and energy demands and rising living standards and according to the complexity of regional water governance, the pressure on water resources is increasing. Many factors are involved in water security. In this research, firstly, the water security of Lake Urmia Basin was investigated using hydro-economic classification for 1) five-year periods from 1991 to 2016, and 2) the provinces located in the basin for 2016. The results showed the existence of high hydrological challenges and low economic capacity to achieve water security. Since general methods such as hydro-economic classification do not provide accurate information at local scales, in the second part, a clear definition of water security was presented according to the characteristics of Lake Urmia Basin. Considering this definition, we designed an indicator-based framework in three dimensions of access to water, income, and employment to assess the water security of the basin. The study was conducted for the historical period. By the considered criteria, the water security of the basin was assessed as "low" in 1996 and 2016 and "moderate" in 2001, 2006 and 2011. The study of the basin water security with productivity indicators of economic activities showed that in order to achieve water security in the future, the agricultural sector does not possess the necessary potential for socio-economic development and policies in this sector should be oriented towards reduction of water consumption and employment. This is not possible without investing and creating employment capacity in other sectors, which have high potential for increasing employment opportunities and per capita income.

***Keywords*:** Hydro-economic Classification, Hydrological Challenges, Economic Capacity, Productivity, Employment.

Received: January 16, 2021
Accepted: July 26, 2021

1- Ph.D. Candidate of Water Resources Engineering, Urmia University.
2- Professor, Department of Water Engineering, Urmia University. Email: h.rezaie@urmia.ac.ir
3- Associate Professor, Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modarres University. Email: ali.bagheri@modares.ac.ir
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1400.17.2.7.0

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

منابع آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، به یک عامل حیاتی برای توسعه‌ی اقتصادی- اجتماعی تبدیل شده است. در بسیاری از کشورها، همراه با رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی، منابع آب تحت تنش شدید از سوی مداخله انسانی قرار گرفته‌اند و این مناطق با کمیابی آب (یا به تعبیر بهتر فزونی تقاضا بر منابع) مواجه شده‌اند. کمیابی آب، می‌تواند مانع توسعه و باعث کمبود مواد غذایی و همچنین ایجاد درگیری‌هایی شود که اثرات نامطلوب بر سلامت انسان و اکوسیستم دارند. بنابراین تعادل بین تقاضا و تأمین آب یک مسأله کلیدی در مدیریت منابع آب حوضه آبریز است (Notter et al., 2012) از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی به دلیل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای موجب تغییرات حجم و مدت زمان جریان آب رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی می‌شود. لذا این فرایند دسترسی افراد به منابع آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Arnell, 2004). در این راستا، مفهوم امنیت آبی ناظر بر وضعیت مناطق از نظر دسترسی به منابع آب است. تعاریف متفاوتی از مفهوم امنیت آبی ارائه شده است. GWP (2000) امنیت آبی را به عنوان یک هدف کلی تعریف می‌کند؛ به طوری که هر شخص با بهای قابل قبولی، دسترسی کافی به آب سالم داشته باشد تا از یک زندگی پاک، سالم و سازنده برخوردار گردد و اطمینان حاصل شود که محیط زیست محافظت می‌شود و وضعیت آن بهبود می‌یابد. Grey and Sadoff (2007) با توجه به این هدف، امنیت آبی را در دسترس بودن میزان قابل قبولی از کمیت و کیفیت آب برای حفظ سلامتی، معیشت، اکوسیستم‌ها و تولید؛ همراه با سطح قابل قبولی از ریسک‌های مرتبط با آب برای مردم، محیط زیست و اقتصاد، تعریف نمودند. در تعریفی جامع‌تر، امنیت آبی ظرفیت یک جمعیت برای حراست از دسترسی پایدار به آب کافی و با کیفیت قابل قبول، برای حفظ معیشت، تأمین رفاه بشر و توسعه اجتماعی- اقتصادی بیان شده است به طوری که حفاظت از منابع آبی از آلودگی‌ها و جوامع در برابر بلایای مرتبط با آب تضمین و حفظ اکوسیستم‌ها در شرایط امن و فضای با ثبات سیاسی انجام شود (Intergovernmental Council of the IHP, 2012). بدین ترتیب، تأکید اصلی در تعاریف امنیت آبی بر هدف دسترسی امن به آب با کیفیت مناسب برای انسان‌ها و محیط‌های طبیعی و در نهایت معیشت پایدار است. تنوع در تعاریف امنیت آبی، به تفاوت در مسئولیت‌ها و نقش‌ها در سطوح مختلف اجرایی و مطالعاتی مربوط می‌شود. به جای تلاش برای تطبیق همه جنبه‌های امنیت آبی در همه سطوح، نیاز به ارائه تعاریف امنیت آبی متناسب با هدف است (Taylor, 2021).

مطالعات امنیت آبی در مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای (Fischer et al., 2015; Satoh et al., 2017; Wada et al., 2016)، ملی (Al-Otaibi and Abdel-Jawad, 2007; Jiang, 2015) و نیز محلی نظیر شهرها، حوضه‌ها و دشت‌ها (Ansari Mahabadi et al., 2019; Bagheri and Babaeian, 2020; Dickson et al., 2016; Eekhout et al., 2018; Xiao-jun et al., 2014) انجام گرفته است. طبق بررسی‌های انجام گرفته در سطح جهان توسط Fischer et al. (2015)، تنها حدود ۱۴ درصد از جمعیت جهان که در کشورهای صنعتی از جمله ایالات متحده، کانادا، ژاپن، استرالیا و چند کشور اروپایی واقع شده‌اند، با چالش‌های توسعه آبی- اقتصادی پایین روبرو بوده و از امنیت آبی برخوردار هستند. بررسی‌های Wada et al. (2016) نیز نشان می‌دهد که امنیت آبی در کشورهای آفریقایی، آسیای جنوبی و غرب آسیا پایین بوده و بخش‌هایی از ایالات متحده، استرالیا و اروپای جنوبی علیرغم مواجهه با کمبود آب بالا، از وضعیت بهتر امنیت آبی برخوردار هستند؛ زیرا در این مناطق، ظرفیت اقتصادی بالا و عملکرد خوب مدیریت، بهداشت و کیفیت دسترسی به خدمات وجود دارد. بنابراین در دستیابی به امنیت آبی، نه تنها دسترسی فیزیکی به منابع آب شیرین بلکه عوامل اجتماعی- اقتصادی نیز نقش دارند.

به طور کلی محیط هیدرولوژیکی، محیط اجتماعی- اقتصادی و تغییرات این دو محیط در آینده از مهم‌ترین عوامل در تعیین مقیاس‌های زیربنایی لازم برای دستیابی به امنیت آبی به شمار می‌آیند (Grey and Sadoff, 2007). این موضوع در طرح WFaS[1] به عنوان یک پروژه بین‌المللی در زمینه آینده جهانی آب، مورد توجه قرار گرفته است. در این پروژه، تأثیر تغییرات اقلیمی و اجتماعی- اقتصادی بر امنیت آبی از طریق توسعه یک سیستم طبقه‌بندی آبی- اقتصادی[2] تعیین گردید (IIASA, 2021). در این سیستم، با استفاده از یک سری شاخص‌های آبی و اقتصادی، کشورها و حوضه‌های آبریز با چالش‌ها و ظرفیت‌های مشابه امنیت آبی در یک طبقه قرار گرفته، طبق سناریوهای آینده امنیت آبی، برای آن‌ها نرخ‌های مشابه تغییر در توسعه فرض گردید. شبیه‌سازی سناریوهای آینده جهانی آب نشان داد که تمامی کشورهای جهان در افق ۲۰۵۰ با سطح قابل توجهی از رشد اقتصادی نسبت به سال مبنای ۲۰۱۰ روبرو خواهند شد که می‌تواند منجر به افزایش ظرفیت سازگاری و مدیریت ریسک چالش‌های آبی گردد. اما در آینده بر تعداد کشورهایی که با چالش‌های آبی بالا در سال ۲۰۱۰ رو به رو بوده‌اند، افزوده خواهد شد (Burek et al., 2016). همچنین نتایج بخش دیگری از این پروژه در آسیا، نشان داد که رشد اقتصادی همراه با افزایش ۳۰ تا ۴۰ درصدی تقاضای آب آبیاری،

www.SID.ir

Archive of SID

صنعت و مصارف خانگی در سال ۲۰۵۰ نسبت بـــه سال ۲۰۱۰ خـواهـد بـــود کـــه موجب تشدید چالش‌های آبی در آینده می‌گردد (Satoh et al., 2017). هرچند رویکرد مورد استفاده در این پروژه، آینده‌های ممکن در خصوص امنیت آبی مناطق را نشان می‌دهد، اما چگونگی دستیابی به اهداف امنیت آبی در آینده را مشخص نمی‌کند. این موضوع با بررسی پروژه‌ای که توسط بانک توسعه آسیایی[۳] برای ارزیابی امنیت آبی کشورهای عضو این نهاد برای سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ میلادی انجام شده است، مشهود است. رویکرد روش‌شناختی مورد استفاده در این پروژه منطبق بر رویکرد اجرایی لازم برای پیاده‌سازی استراتژی ۲۰۳۰ اعضای بانک توسعه آسیایی برای مقابله با چالش‌های اصلی توسعه نظیر امنیت آبی این کشورها است. بنابراین نتایج آن ارائه توصیه‌های سیاستی در زمینه دستیابی به امنیت آبی را ممکن می‌سازد (Strazzabosco, 2020).

استفاده از طبقه‌بندی آبی- اقتصادی در مقیاس‌های محلی نظیر حوضه‌های آبریز داخل یک کشور، بستر مناسبی برای مقایسه وضعیت امنیت آبی این مناطق با دیگر نقاط جهان را فراهم کرده و استفاده از مفروضات سناریوهای جهانی آب و بررسی تأثیر تغییرات جهانی اقلیمی و اجتماعی- اقتصادی را در این مقیاس ممکن می‌سازد. در این راستا، Yao et al. (2017) برای تعیین طبقه آبی- اقتصادی منطقه دلتای رودخانه مروارید چین[۴] برای آینده و در مقایسه با وضعیت حال حاضر کشور چین و چند کشور منتخب، به ریزمقیاس‌نمایی سناریوهای اجتماعی- اقتصادی جهانی پرداختند. این کار با استفاده از ۱) مفروضات کشور چین در سناریوهای جهانی آب و ۲) بر اساس وضعیت تاریخی و سیاست‌های توسعه‌ای آن منطقه انجام شد. باتوجه به نرخ بالاتر تغییرات تکنولوژیکی طبق مفروضات منطقه‌ای نسبت به مفروضات کشور چین، نتایج متفاوتی طبق دو روش به دست آمد که بر لزوم توجه به تغییرات محلی در ارزیابی امنیت آبی تأکید می‌نماید. در مجموع، هرچند در مطالعات امنیت آبی با استفاده از سیستم طبقه‌بندی آبی- اقتصادی، تأثیر وضعیت اقلیمی و اجتماعی- اقتصادی در مقیاس جهانی بر امنیت آبی کشورها مورد توجه قرار گرفته است، اما ساده‌سازی‌های صورت گرفته با استفاده از این روش، تأثیر اقدامات کنشگران محلی و پیشران‌ها در سطح ملی و محلی بر آینده امنیت آبی را درنظر نگرفته‌اند. همچنین، تصویر مناسبی از مسائل و چالش‌های خاص مناطق در خصوص امنیت آبی ارائه نمی‌کنند. این امر ارائه توصیه‌های سیاستی به منظور دستیابی به امنیت آبی با استفاده از این سیستم را غیر ممکن می‌کند. این نقایص باید در ارزیابی امنیت آبی در مقیاس‌های کوچک مورد توجه قرار گیرند. از دیگر نقاط ضعف مطالعات پیشین در استفاده از سیستم طبقه‌بندی آبی- اقتصادی، محاسبه شاخص‌های ترکیبی برای یک سال مبنا و عدم بررسی تأثیر روند تغییرات و سهم هر یک از مؤلفه‌های اثرگذار در طبقه‌بندی مناطق است که باید مورد توجه قرار گیرد.

بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در مقیاس‌های کوچکتر نشان می‌دهد که نقطه توجه مطالعات امنیت آبی در مناطق مختلف جهان متفاوت و متأثر از وضعیت هیدرولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و نهادی آن‌ها و در پاسخ به نیازهای خاص محلی است. به طور مثال در مناطق کم آب نظیر کشورهای حوزه خلیج فارس، عواملی نظیر ظرفیت آب شیرین‌کن‌ها و استفاده از پساب‌های تصفیه شده مورد توجه قرار گرفته است (Al-Otaibi and Abdel-Jawad, 2007; Saif et al., 2014). در مطالعات امنیت آبی کشورهای توسعه‌یافته و صنعتی، چالش‌هایی نظیر آلودگی آب‌ها توسط فاضلاب‌های صنعتی و لزوم توجه به توسعه پایدار مد نظر قرار گرفته‌اند (Chen and Wei, 2014; Nie et al., 2018). در مناطقی نظیر ایران که با برداشت بی‌رویه از منابع آب برای انجام فعالیت‌های اقتصادی و عموماً کشاورزی روبرو هستند، از مؤلفه‌های بهره‌وری آب در ارزیابی امنیت آبی استفاده شده است (Ansari Mahabadi et al., 2019; Bagheri and Babaeian, 2020). اما در این پژوهش‌ها، تعریف مشخصی از امنیت آبی و در پاسخ به چالش‌های محلی ارائه نشده است. بنابراین باید چالش‌های خاص محلی در تعریف و بررسی امنیت آبی در مقیاس‌های کوچکتر مورد توجه قرار گیرند. هرچند پژوهش‌ها در مقیاس‌های محلی، تصویر دقیق‌تری از سیستم منابع آب مناطق ارائه کرده‌اند، اما استفاده از شاخص‌ها و معیارهای متفاوت در این مطالعات، امکان مقایسه وضعیت امنیت آبی مناطق نسبت به دیگر نقاط جهان را فراهم نکرده است. بنابراین ضرورت ارزیابی هم‌زمان امنیت آبی، با معیارهای جهانی و معیارهای منطقه‌ای احساس می‌گردد.

در نهایت می‌توان گفت که مفهوم‌سازی و رویکردهای ارزیابی امنیت آبی بسته به مقیاس ارزیابی، موقعیت جغرافیایی، زمینه تخصصی محققین و اهداف تحقیق می‌تواند متفاوت باشد. یکی از متداول‌ترین روش‌های پرداختن به موضوع امنیت آبی (شامل مفهوم‌سازی و ارزیابی)، استفاده از چارچوب‌های ارزیابی شاخص‌محور است. بدین نحو که مفهوم‌سازی امنیت آبی با تـــوجه بـــه تعریف امنیت آبی انجام گرفته، ابعاد و اهـداف امنیت آبی تعیین و شاخص‌هایی بـــه منظور ارزیابی ایـن مفهوم انتخاب می‌گردد. ایـن رویه توسط سایر محققین نیز استفاده شده است (Babel et al., 2020; Jia et al., 2015; Wang et al., 2020).

www.SID.ir

Archive of SID

در پژوهش حاضر، حوضه آبریز دریاچه ارومیه به عنوان یکی از حوضه‌های اصلی ایران با توجه به اهمیت اکولوژیکی، سیاسی و اجتماعی آن انتخاب گردید. خشک شدن دریاچه ارومیه در دهه‌های اخیر و تأمین نیاز زیست‌محیطی آن، یکی از چالش‌های مهم این حوضه به شمار می‌آید که وضعیت اجتماعی- اقتصادی ساکنین حوضه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عمده پژوهش‌های آبی این حوضه در خصوص شناسایی و تعیین سهم عوامل طبیعی و انسانی خشک شدن دریاچه ارومیه یا ارائه راهکارهای احیای این دریاچه انجام گرفته است. بنابراین پرداختن به تأثیر متقابل منابع آب در دسترس و وضعیت اجتماعی- اقتصادی ساکنین حوضه، با وجود وضعیت دریاچه ارومیه ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین در این پژوهش، سیستم منابع آب حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مفهوم امنیت آبی در دو بخش بررسی می‌گردد. در بخش نخست با استفاده از معیارهای عمومی هیدرولوژیکی و اقتصادی، طبقه آبی- اقتصادی حوضه برای دوره تاریخی و به تفکیک استان به منظور تعیین روند تغییرات وضعیت امنیت آبی حوضه در مقایسه با دیگر نقاط جهان تعیین می‌شود. با استفاده از این روش امکان بررسی تأثیر سناریوهای جهانی آب بر آینده امنیت آبی حوضه در مطالعات آتی فراهم می‌گردد. در بخش دوم، برای ارزیابی دقیق‌تر وضعیت سیستم منابع آب حوضه، امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه باتوجه به تعاریف موجود از امنیت آبی در ادبیات موضوع و چالش آبی خاص حوضه تعریف و یک چارچوب ارزیابی شاخص‌محور بدین منظور طراحی می‌گردد. ارزیابی‌های این بخش نیز برای دوره تاریخی و با هدف تعیین حدود مطلوبیت امنیت آبی دوره تاریخی و بررسی تأثیر مؤلفه‌های مختلف بر آن انجام می‌گیرد. منظور از امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه در بخش دوم این پژوهش عبارت است از دسترسی پایدار به آب برای انجام فعالیت‌های اقتصادی و مصارف شرب به نحوی‌که وضعیت معیشتی و رفاه ساکنین ارتقا یابد و اکوسیستم دریاچه ارومیه حفظ و احیا گردد.

لازم به ذکر است که در این مقاله، امنیت آبی از نظر کیفیت آب در دسترس مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. از دیگر محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به عدم واکاوی عوامل تأثیرگذار بر وضعیت امنیت آبی حوضه نظیر علل اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و نهادی اشاره کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش حوضه آبریز دریاچه ارومیه، یکی از حوضه‌های اصلی ایران است که در شمال غربی کشور ایران با مساحت حدودی ۵۱۸۰۱ کیلومتر مربع در بخشی از استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان واقع شده است. متوسط بلندمدت بارندگی حوضه برابر با ۳۴۰ میلی‌متر و متوسط بلندمدت حجم جریان‌های سطحی حوضه حدود ۵۲۲۱ میلیون مترمکعب می‌باشد (Iran Ministry of Energy, 2018). در این پژوهش، آمار و اطلاعات مربوط به تراز آب دریاچه ارومیه و پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر سالانه حوضه برای دوره آماری ۷۱-۷۰ لغایت ۹۶-۹۵ از بانک اطلاعاتی ستاد احیای دریاچه ارومیه اخذ گردید. مقادیر برداشت آب ارائه شده در طرح جامع آب (سال پایه ۱۳۷۳)، طرح سازگاری با اقلیم (سال پایه ۱۳۸۰)، مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور (سال پایه ۱۳۸۵)، بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه دریاچه ارومیه (سال پایه ۱۳۹۰)، مبنای بررسی برداشت‌های دوره تاریخی قرار گرفت. اطلاعات مزبور از شرکت مدیریت منابع آب ایران دریافت گردید. همچنین آخرین آمار برداشت آب از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی برای استفاده در تحلیل‌های مربوط به سال ۱۳۹۵، اخذ شد. اطلاعات جمعیتی و نیروی کار حوضه با توجه به نتایج سرشماری‌های عمومی نفوس و مسکن و اطلاعات اقتصادی، از حساب‌های ملی و منطقه‌ای ارائه شده در پایگاه داده مرکز آمار ایران گردآوری شد (Statistical Center of Iran, 2020).

۲-۲- تحلیل وضعیت امنیت آبی حوضه با استفاده از طبقه‌بندی آبی- اقتصادی (HE)

ابتدا به منظور برآورد کلی از وضعیت امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از معیارهای عمومی، از سیستم طبقه‌بندی HE که یک روش برای ارزیابی امنیت آبی کشورها یا حوضه‌ها است، استفاده می‌شود (Burek et al., 2016; Fischer et al., 2015; Satoh et al., 2017). این طبقه‌بندی (شکل ۱) مبتنی بر دو بعد ۱) چالش‌های هیدرولوژیکی[5] (چالش‌هایی که برای مدیریت منابع آب از نظر در دسترس بودن و تغییرپذیری آب موجود است) و ۲) ظرفیت اقتصادی[6] (ظرفیت اقتصادی مقابله با مشکلات منابع آبی) است (Satoh et al., 2017).

طبق طبقه‌بندی آبی- اقتصادی (شکل ۱)، مناطق به چهار گروه تقسیم می‌گردند. طبقه HE-1، شامل مناطقی است که هرچند از ظرفیت اقتصادی پایین برخوردارند، اما با تنش آبی روبرو نبوده، چالش‌های هیدرولوژیکی در آن‌ها کم است. مطلوب‌ترین وضعیت مربوط به طبقه HE-2 است که در آن، مناطق چالش‌های هیدرولوژیکی پایین و ظرفیت اقتصادی بالا برای حفظ وضعیت امنیت آبی دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

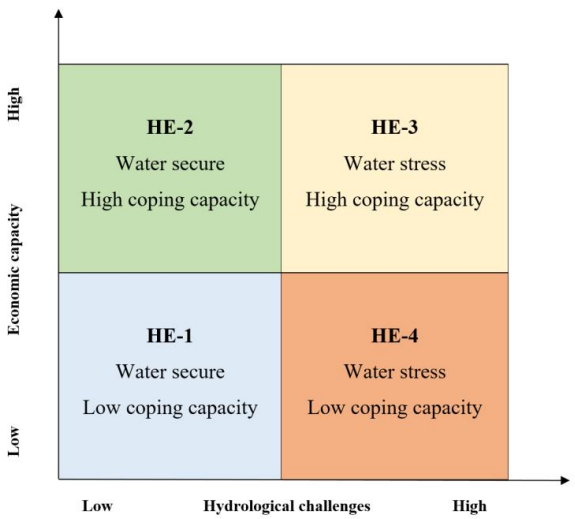

Fig. 1- Hydro-economic classification system (Fischer et al., 2015)

شکل ۱- سیستم طبقه‌بندی آبی- اقتصادی (Fischer et al., 2015)

مناطق واقع در طبقه HE-3، هرچند از چالش‌های آبی بالایی برخوردارند و با کمبود آب روبرو هستند، اما قدرت اقتصادی بالایی برای مقابله با این چالش‌ها و دستیابی به امنیت آبی در آینده دارند. بدترین وضعیت آبی- اقتصادی مربوط به طبقه HE-4 است که در آن هم چالش‌های هیدرولوژیکی بالا است و مناطق با کمبود آب مواجه هستند و هم ظرفیت اقتصادی منطقه برای مقابله با این مشکلات پایین است.

شاخص چالش‌های هیدرولوژیکی با استفاده از متوسط مقادیر نرمال‌شده سه زیرشاخص تعیین می‌گردد: ۱) کل سرانه منابع آب تجدیدپذیر[۷]، که بیانگر میزان آب در دسترس سالانه برای هر فرد است؛ ۲) شدت برداشت آب[۸]، که نشان‌دهنده نسبت برداشت آب سالانه به کل منابع آب تجدیدپذیر است؛ ۳) تغییرپذیری رواناب ماهانه[۹]، که برابر با ضریب تغییرات رواناب ماهانه برای یک دوره پایه بوده و نشان‌دهنده تغییرات درون‌سالی و برون‌سالی رواناب است. شاخص ظرفیت اقتصادی با استفاده از مقدار نرمال‌شده سرانه تولید ناخالص داخلی، به عنوان اندازه‌گیری قدرت اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در مدیریت ریسک کمبود آب، بدست می‌آید. در جدول ۱، طبقه‌بندی این زیرشاخص‌ها و مقادیر نرمال‌شده متناظر آن‌ها ارائه شده است. به منظور نرمال‌سازی زیرشاخص‌ها، باتوجه به حدود آستانه‌های ارائه شده در جدول ۱، از رابطه ۱ استفاده شده است که در آن V_i، مقدار واقعی زیرشاخص، V_j و V_{j+1} به ترتیب حدود پایین و بالای طبقه شاخص، $X_i(v_i)$ مقدار شاخص نرمال‌شده، $X_i(V_j)$ و $X_i(V_{j+1})$ بـه ترتیب مقدار نرمال‌شـده حـد پایین طبقه و حـد بالای طبقه است (Fischer et al., 2015).

(۱)

$$X_i(v_i)=X_i(V_j)+\max\left(0,\min\left(1.\ \frac{V_i-V_j}{V_{j+1}-V_j}\right)\right)(X_i(V_{j+1})-X_i(V_j))$$

برای ترکیب زیرشاخص‌های شاخص چالش‌های هیدرولوژیکی، زیرشاخص کل سرانه آب تجدیدپذیر که مطلوبیت آن در جهت عکس با زیرشاخص‌های دیگر است، با یک زیرشاخص $X'=1-X$ به جای X جایگزین می‌گردد.

۲-۳- چارچوب ارزیابی امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه[۱۰]

باتوجه به ماهیت هدف‌محور مفهوم امنیت آبی، اهداف امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه در سه بعد دسترسی به آب (برای انسان‌ها و محیط طبیعی)، درآمد ساکنین و اشتغال ساکنین با استفاده از تعریف امنیت آبی حوضه که در ابتدای مقاله بیان شد، استخراج گردید.

Table 1- Classification of hydrological challenges and economic capacity sub-indicators (Shiklomanov, 2000)

جدول ۱- طبقه‌بندی زیرشاخص‌های چالش‌های هیدرولوژیکی و ظرفیت اقتصادی (Shiklomanov, 2000)

Class	Range of Sub-Indicators				Range of Normalized Indicator
	TWRC	TWW/RWR	CVTWR	GDPC	
Very low	100≤TWRC<1,000	0.01≤TWW/RWR<0.05	0≤CVTWR<30	250≤GDPC<3,000	0≤ X, X' <0.2
Low	1,000≤TWRC<2,000	0.05≤TWW/RWR<0.15	30≤CVTWR <60	3,000≤GDPC<10,000	0.2≤ X, X' <0.4
Medium	2,000≤TWRC<5,000	0.15≤TWW/RWR<0.30	60≤CVTWR <100	10,000≤GDPC<20,000	0.4≤ X, X' <0.6
High	5,000≤TWRC<10,000	0.30≤TWW/RWR<0.60	100≤CVTWR <150	20,000≤GDPC<35,000	0.6≤ X, X' <0.8
Very high	10,000≤TWRC<20,000	0.60≤TWW/RWR<1.00	150≤CVTWR <225	35,000≤GDPC<90,000	0.8≤ X, X' <1.0

TWRC: Total Renewable Water Resources per Capita (m^3/cap/yr); **TWW**: Total Water Withdrawal; **RWR**:Renewable Water Resources; **CVTWR**: the coefficient of variance of monthly total water resources (%); **GDPC**: GDP per capita (PPP|US$2005/cap/yr)

www.SID.ir

Archive of SID

هدف بعد دسترسی به آب برابر با حفظ و احیای دریاچه ارومیه و استفاده پایدار از منابع آب و اهداف درآمد و اشتغال ساکنین به ترتیب رفاه اقتصادی و اشتغال پایدار در حوضه درنظر گرفته شدند. ارزیابی وضعیت امنیت آبی حوضه در ابعاد سه‌گانه، با استفاده از سه دسته شاخص شامل شاخص‌های هدف[11] (برای تعیین وضعیت اهداف امنیت آبی)، شاخص‌های نشانگاه[12] (به منظور بررسی تأثیر عوامل مختلف بر شاخص‌های هدف) و شاخص‌های واسطه[13] (برای بررسی ارتباط و همبستگی بین ابعاد) انجام می‌گیرد. ایـــن چارچوب بـا بررسی چارچـوب‌های ارزیـــابی شاخص‌محور امنیت آبی نظیر Jia et al. (2015)، Wang et al. (2020) و Babel et al. (2020) و متناسب با اهداف تحقیق طراحی گردید.

انتخاب متغیرها و شاخص‌ها در این چارچوب به نحوی بوده است که ۱) داده‌های مورد نیاز، هم برای دوره تاریخی در دسترس باشد و هم بتوان آن‌ها را برای دوره‌های آتی محاسبه کرد، ۲) محاسبه آن‌ها باتوجه به سناریوهای جهانی آب برای مطالعات آتی ممکن باشد، ۳) ارتباط شاخص‌ها با اهداف امنیت آبی برای خواننده قابل فهم و تفسیر آن آسان باشد، ۴) امکان تعیین حدود مطلوبیت برای شاخص‌های هدف وجود داشته باشد، و ۵) برقراری ارتباط بین متغیرهای به کار رفته در شاخص‌های هدف هر یک از ابعاد با متغیرهای ابعاد دیگر، به عنوان شاخص‌های بهره‌وری ممکن باشد. ابعاد، اهداف و نحوه محاسبه شاخص‌های چارچوب ارزیابی امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه در جدول ۲ ارائه شده است.

طبقه‌بندی شاخص‌های هدف امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه در جدول ۳ ارائه شده است. نرمال‌سازی این شاخص‌ها نیز با استفاده از رابطه ۱، انجام گردید. در معیار طبقه‌بندی شاخص‌های درآمد و اشتغال، وضعیت مناطق مختلف کشور درنظر گرفته شد.

Table 2- Lake Urmia Basin water security framework

جدول ۲- چارچوب امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه

Dimension	Water security Goal	Water security indicators			
		Goal indicators	Target indicators	Interaction indicators	
				Access to water	Employments of Residents
Access to Water	1) Protection and restoration of Lake Urmia ecosystem 2) sustainable utilization of water resources	**1) Lake Urmia Water Level** (m) **2) Water Withdrawal Density**: Ratio of total water withdrawal to renewable water resources (%)	**1) Economic sectors (Agricultural, MIMEC, Services) water withdrawal** (MCM/Year) **2) Proportion of Each Economic sectors withdrawal over Total withdrawal** (%) **3) Dependency to groundwater ratio**: Proportion of groundwater withdrawal over total withdrawal (%)		
Income of Residents	1) Economic welfare	**1) Per Capita Income**: Real GDP per Capita (IRR/cap/year)	**1) Proportion of Each Economic sectors Value added over Region GDP** (%)	**1) Economic Water Proudctivity**: GDP per Total water withdrawal (IRR/m^3) **2) Sectors Economic Water Proudctivity:** Each Sectors Value added to its water withdrawal (IRR/m^3) **3) Coefficient of Determination between sectors water withdrawals and value-added**	**1) Employment Economic Productivity** (10^6 IRR/person): GDP per Total employment **2) Economic sectors Economic Productivity** (10^6 IRR/person): Each Sector's Value added per its employment **3) Coefficient of Determination between sectors Employment and value-added**
Employment of Residents	1) Sustainable employment	**1) Employment rate**: Ratio of total Employed person to total active person (%) **2) Non-agricultural employment Proportion:** Non-agricultural employment to total employment (%)	**1) Proportion of Each Economic sectors Employment over Total employment** (%)	**1) Employment water productivity**: Total Employment to Total water withdrawal (Person/MCM) **2) Economic sectors Employment water productivity**: Each sectors Employment to its water withdrawal (Person/MCM) **3) Coefficient of Determination between Sectors Employment and value-added**	

www.SID.ir

Archive of SID

بدین منظور حدود آستانه‌های شاخص‌های درآمد و اشتغال در پنج طبقه باتوجه به وضعیت استان‌های کشور در سال۱۳۹۰، بر اساس توزیع نرمال داده‌ها و به روش شکست‌های طبیعی (جنکز)[۱۴] (ESRI, 1996) تعیین گردید. طبق این روش طبقه‌بندی، داده‌های هر طبقه از بیش‌ترین شباهت آماری نسبت به هم برخوردار هستند. همچنین در بعد دسترسی به آب، حدود آستانه شدت برداشت آب مطابق جدول ۱ و طبقه‌بندی مطلوبیت شاخص تراز دریاچه ارومیه، با بررسی وضعیت تاریخی تراز دریاچه ارومیه مشخص شد. ستاد احیای دریاچه ارومیه تراز ۱۲۷۴ متر را به عنوان تراز اکولوژیک عنوان کرده است که مبنای حداقل وضعیت مطلوبیت «زیاد» قرار گرفت. کمترین تراز مشاهده شده در دوره تاریخی، برابر با ۱۲۷۰متر به عنوان حداقل مطلوبیت «بسیار کم» درنظر گرفته شد. همچنین باتوجه به اینکه در سال‌های ابتدایی دهه ۷۰ هجری شمسی، بالا رفتن غیرعادی تراز آب دریاچه موجب زه‌دار شدن زمین‌های کشاورزی شده و هجوم آب شور به اراضی ساحلی وضعیت نامطلوبی را در حوضه ایجاد کرده بود، حد پایین (۱۲۷۶ متر) و بالا (۱۲۷۸ متر) تراز این سال‌ها نیز جزو مطلوبیت «بسیار کم» درنظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- طبقه‌بندی آبی- اقتصادی حوضه

به منظور بررسی روند تغییرات وضعیت طبقه آبی- اقتصادی حوضه دریاچه ارومیه، سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به عنوان سال‌های مبنا انتخاب گردیدند و از متوسط پنج ساله منابع آب تجدیدپذیر حوضه منتهی به سال‌های مبنا برای محاسبه منابع آب تجدیدپذیر هر دوره استفاده گردید. تعیین سهم هر یک از استان‌های حوضه در وضعیت آبی- اقتصادی حوضه نیز برای سال ۱۳۹۵ و باتوجه به سری بلندمدت منابع آب تجدیدپذیر منتهی به سال ۱۳۹۵ تعیین گردید. تغییرپذیری (نسبت انحراف معیار به میانگین) باتوجه به دبی ماهانه ایستگاه‌های آب‌سنجی برای دوره‌های مورد نظر محاسبه گردید. متغیرهای برداشت آب و جمعیت نیز طبق آمار برداری‌ها و گزارش‌های منطبق بر سال‌های مبنا تهیه شد. سرانه تولید ناخالص داخلی حوضه مطابق Fischer et al. (2015) به عنوان ظرفیت اقتصادی از تقسیم تولید ناخالص داخلی حوضه به قیمت ثابت دلار در سال ۲۰۰۵ به جمعیت در سال‌های پایه بدست آمد. به منظور حذف اثر تغییر قیمت‌ها در سال‌های مختلف، تبدیل قیمت‌های جاری به قیمت ثابت با استفاده از روش ارائه شده در Water UN (2019) انجام گردید. مقادیر بدست آمده برای زیرشاخص‌های هیدرولوژیکی و ظرفیت اقتصادی در جدول ۴ ارائه شده است.

با استفاده از مقادیر نرمال‌شده شاخص چالش هیدرولوژیکی و ظرفیت اقتصادی بین مقادیر ۰ و ۱، نمودار دو بعدی طبقه‌بندی آبی- اقتصادی بدست آمد که در شکل ۲ ارائه شده است.

طبقه آبی- اقتصادی حوضه برای هر دو بخش سیر تاریخی و در مقایسه استان‌های واقع در حوضه آبریز در سال ۱۳۹۵ بر اساس شکل ۲، طبقه HE-4 بوده که با چالش‌های هیدرولوژیکی زیاد و ظرفیت اقتصادی کم برای مقابله با این چالش‌ها بدست آمد که از نظر امنیت آبی نامطلوب می‌باشد. تغییرات طبقه آبی- اقتصادی حوضه در دوره‌های ۵ ساله، از یک روند پیوسته زمانی پیروی نمی‌کند. اما تغییرات شاخص چالش‌های هیدرولوژیکی و زیرشاخص‌های آن از یک روند افزایشی- کاهشی پیروی می‌کند که طبق آن، حوضه در سال ۱۳۷۵ کمترین و در سال ۱۳۸۰ با بیشترین چالش نسبت به سایر سال‌ها روبرو بود.

Table 3- Classification of goal indicators of Lake Urmia Basin water security
جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص‌های هدف امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه

-	Range of Lake Urmia Basin water security Indicators					Range of Normalized Indicator
	Income indicators	Employment indicators		Water indicators		
Class	GDPC	NAEP	ER	LUL	TWW/RWR	
Very low	30≤GDPC<46	61≤NAEP<67	70≤ER<79	1270≤LUL<1271 ; 1276≤LUL<1278	0.01≤TWW/TWR<0.05	0≤X <0.2
Low	46≤GDPC<57	67≤NAEP<71	79≤ER<85	1271≤LUL<1272	0.05≤TWW/TWR<0.15	0.2≤X <0.4
Medium	57≤GDPC<74	71≤NAEP<74	85≤ER<87	1272≤LUL<1274	0.15≤TWW/TWR<0.30	0.4≤X <0.6
High	74≤GDPC<117	74≤NAEP<82	87≤ER<89	1274≤LUL<1275	0.30≤TWW/TWR<0.60	0.6≤X <0.8
Very high	117≤GDPC<164	82≤NAEP<98	89≤ER<94	1275≤LUL<1276	0.60≤TWW/TWR<1.00	0.8≤X <1.0

GDPC: GDP per Capita (Million Rial 1390/cap/year); **NAEP**: Non-agricultural Employment Proportion (%); **LUL**: Lake Urmia basin Water Level (m); **ER**: Employment rate (%);**WWI**: Water withdrawal Intensity (**TWW**:Total Water withdrawal to **RWR**:Total Renewable water resources ratio)

www.SID.ir

Archive of SID

Table 4- Hydrological challenges and economic capacity sub-indicators of Lake Urmia Basin
جدول ۴- زیرشاخص‌های چالش‌های هیدرولوژیکی و ظرفیت اقتصادی حوضه دریاچه ارومیه

	Indicator	Hydrological Challenges			Economic capacity
	Sub-Indicator	1 TWRC (m^3/cap/yr)	2 TWW/RWR	3 CVTWR (%)	1 GDPC (US$2005/cap/yr)
Lake Urmia Basin (BASIN)	Base Year 1375 | 1996	2128	0.49	98	3713
	1380 | 2001	1123	0.82	139	4340
	1385 | 2006	1944	0.55	111	5352
	1390 | 2011	1163	0.78	119	6183
	1395 | 2016	1383	0.66	92	6659
West Azarbaijan (W-AZR)	1395 | 2016	1648	0.78	122	5427
East Azarbaijan (E-AZR)		623	1.00	124	7747
Kordestan (KRD)		5579	0.23	146	5152
Lake Urmia Basin		1256	0.74	123	6659

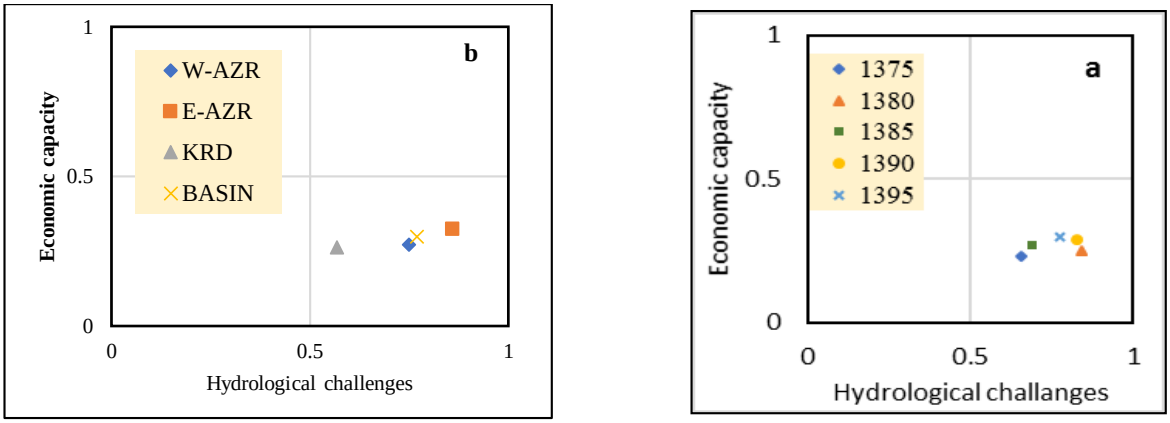

Fig. 2- Hydro-economic classification of Lake Urmia Basin for a) historical period, b) by provinces for 2016
شکل ۲- طبقه‌بندی آبی- اقتصادی حوضه دریاچه ارومیه الف) برای دوره تاریخی، ب) به تفکیک استان برای سال ۱۳۹۵

همچنین ظرفیت اقتصادی حوضه به طور پیوسته بهبود یافت و در سال ۱۳۹۵ از وضعیت بهتری برخوردار شد. در بررسی به تفکیک استان، استان کردستان کمترین چالش هیدرولوژیکی و ظرفیت اقتصادی را داشت. بیشترین چالش هیدرولوژیکی و ظرفیت اقتصادی نیز در استان آذربایجان شرقی مشاهده گردید. طبق طبقه‌بندی ارائه شده در جدول ۱ و مقادیر به دست آمده برای شاخص‌ها (جدول ۴)، سرانه منابع آب تجدیدپذیر حوضه در سال ۱۳۷۵ «متوسط» و در سال‌های بعدی «کم» ارزیابی شد. بررسی تغییرات مولفه‌های تشکیل‌دهنده این شاخص در شکل ۳ نشان می‌دهد که روند تغییرات کل سرانه منابع آب تجدیدپذیر[۷] (TWRC) متأثر از روند تغییرات منابع آب تجدیدپذیر[۱۵] (RWR) حوضه بوده، از یک چرخه نوسانی افزایشی- کاهشی پیروی می‌کند (شکل ۳-ب). حال آن که تغییرات جمعیتی[۱۶] (POP) حوضه همواره مثبت و افزایشی بوده است (شکل ۳-الف). مقایسه سرانه منابع تجدیدپذیر حوضه به تفکیک استان، نشان از مطلوبیت «زیاد» بخش کردستان، وضعیت «متوسط» آذربایجان‌غربی و «بسیار کم» در آذربایجان شرقی است.

شدت برداشت آب (TWW/RWR) حوضه دریاچه ارومیه در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ «زیاد» و در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ «بسیار زیاد» ارزیابی می‌گردد. روند تغییرات شاخص شدت برداشت آب حوضه در جهت عکس با روند مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده شاخص، یعنی مقدار برداشت آب[۱۷] (TWW) و منابع آب تجدیدپذیر[۱۵] (RWR) (شکل ۴- الف و ب) است. بطوریکه در دوره‌هایی که متوسط منابع آب تجدیدپذیر حوضه افزایش داشت، برداشت آب متأثر از افزایش میزان آب در دسترس، نسبت به دوره قبل افزایش یافت و شدت برداشت آب روند کاهشی پیدا کرد و بالعکس. بنابراین سهم افزایش منابع آب تجدیدپذیر دوره در کاهش شدت برداشت آب، بیش از سهم میزان افزایش برداشت آب در آن دوره است.

www.SID.ir

Archive of SID

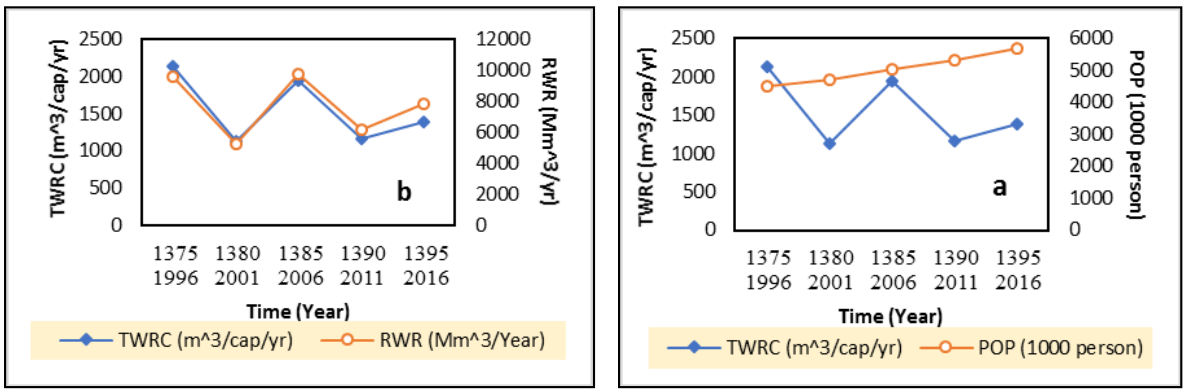

Fig. 3- Changes in total renewable water resources per capita according to a) population and b) renewable water resources of Basin

شکل ۳- تغییرات کل سرانه منابع آب تجدیدپذیر نسبت به الف) جمعیت و ب) منابع آب تجدیدپذیر حوضه

شدت برداشت آب در استان کردستان «متوسط» و در آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی «بسیار زیاد» ارزیابی می‌گردد. تغییرپذیری رواناب ماهانه[۱۸] (CVTWR) در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۵ «متوسط» و در سال‌های دیگر «زیاد» ارزیابی می‌گردد. در بازه زمانی مورد بررسی، روند تاریخی تغییرپذیری رواناب ماهانه در جهت عکس منابع آب تجدیدپذیر حوضه تغییر کرد (شکل ۴-الف). به نظر می‌رسد، افزایش منابع آب تجدیدپذیر در یک دوره، متأثر از افزایش تداوم بارش در تعداد ماه‌های بیشتر بود که سبب کاهش تغییرات رواناب ماهانه در آن دوره شد. وضعیت تغییرات رواناب ماهانه به تفکیک استان نیز «زیاد» می‌باشد. مقدار بالای این شاخص نیاز به مدیریت ماه به مـــاه ارزیابی منابع آب در حوضه را ضروری می‌نماید.

تغییرات سرانه تولید ناخالص داخلی حوضه به عنوان ظرفیت اقتصادی حوضه برای دستیابی به امنیت آبی از یک روند صعودی پیروی می‌کند. اما در تمامی سال‌های دوره مورد بررسی و به تفکیک استان، مقدار این شاخص با توجه به معیارهای جهانی «کم» ارزیابی می‌گردد. بررسی مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده این شاخص نشان می‌دهد که هرچند جمعیت حوضه روند افزایشی داشت، اما رشد تولید ناخالص داخلی[۱۹] (GDP) بیش از نرخ رشد جمعیت[۱۶] (POP) حوضه بود (شکل ۵-الف و ب).

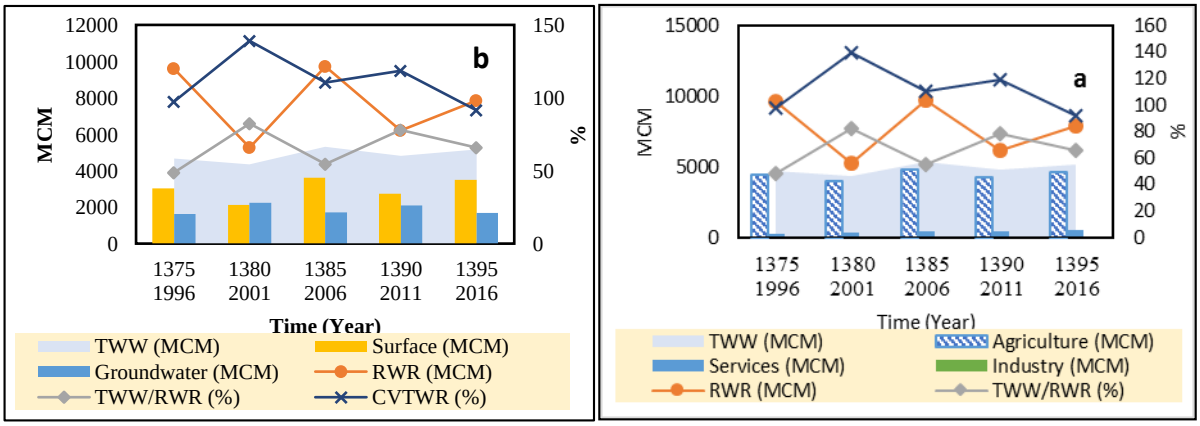

Fig. 4- Runoff variability, water withdrawal intensity and water withdrawal by a) Agriculture, Industry and Services b) Surface and Groundwater

شکل ۴- تغییرپذیری رواناب ماهانه، شدت برداشت آب و برداشت آب به تفکیک الف) کشاورزی، صنعت و خدمات، ب) سطحی و زیرزمینی

www.SID.ir

Archive of SID

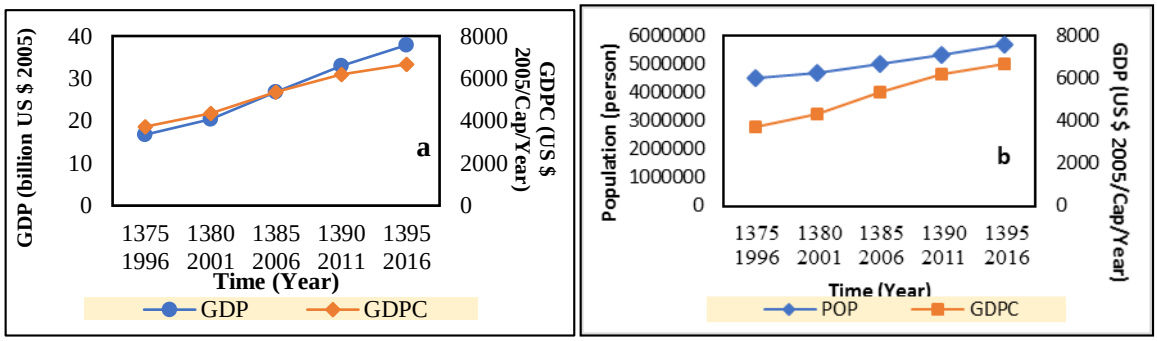

Fig. 5- Changes of GDPC according to a) GDP and b) population of Lake Urmia Basin

شکل ۵- تغییرات سرانه تولید ناخالص داخلی نسبت به الف) تولید ناخالص داخلی و ب)جمعیت حوضه

۳-۲- نتایج حاصل از چارچوب ارزیابی امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه

ارزیابی امنیت آبی، در سه بعد دسترسی به آب، درآمد و اشتغال با استفاده از شاخص‌های هدف، برای کل حوضه در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ انجام گردید. شاخص هدف بعد دسترسی به آب (Water)، از متوسط نرمال‌شده دو زیرشاخص تراز آب دریاچه ارومیه[۲۰] (LUL) و شدت برداشت آب (TWW/RWR) به دست آمد. برای بعد درآمد (Income)، شاخص سرانه تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ (GDPC[21]) استفاده شد تا با حذف اثر تغییر قیمت‌ها، امکان مقایسه میزان واقعی تولید در سال‌های مختلف مشخص شود. ارزیابی بعد اشتغال[۲۲]، با استفاده از متوسط دو شاخص نرخ اشتغال[۲۳] (ER) و نسبت اشتغال غیرکشاورزی[۲۴] (NAEP) انجام گردید. شاخص کل امنیت آبی[۲۵] از متوسط شاخص‌های ابعاد سه‌گانه به دست آمد. تغییرات شاخص‌ها (شکل ۶-الف) و زیرشاخص‌ها (شکل ۶-ب) محاسبه و ارائه شده است.

باتوجه به حدود آستانه‌های نرمال‌شده (جدول ۳)، امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه در سال ۱۳۷۵ «کم» و در سال‌های بعدی از مطلوبیت «متوسط» برخوردار است. در تعیین مطلوبیت تراز آب دریاچه ارومیه، هرچند تغییرات تراز دریاچه روندی کاهشی داشته است، اما باتوجه به اینکه تراز آب دریاچه در سال ۱۳۷۵، حدود ۱۲۷۸ متر و بسیار بالا بود که باعث هجوم آب به زمین‌های کشاورزی ساحلی شده بود، مطلوبیت تراز آب «بسیار کم» درنظر گرفته شد و فقط در سال ۱۳۸۰ تراز دریاچه برابر با ۱۲۷۴ متر از سطح دریای آزاد و دارای مطلوبیت «زیاد» بود. در بعد درآمد، سرانه تولید ناخالص داخلی روند افزایشی داشت اما مطلوبیت آن باتوجه به معیارهای کشوری در سال‌های ۱۳۷۵و ۱۳۸۰ «بسیار کم» و در سال‌های بعدی «کم» ارزیابی می‌گردد. در بعد اشتغال، وضعیت حوضه از مطلوبیت بالایی برخوردار است.

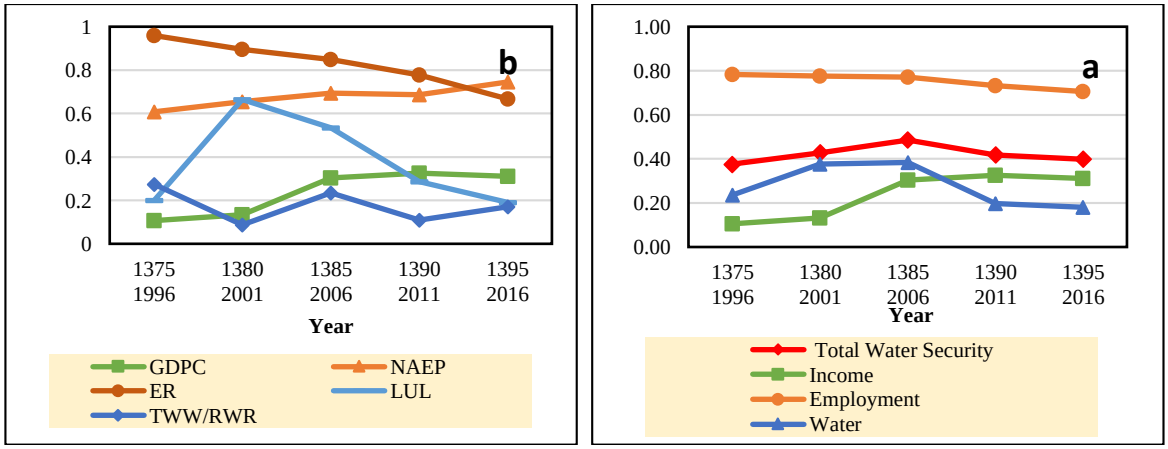

Fig. 6- Changes of a) Total Water Security and Goal Indicators, b) Subindicators of Lake Urmia Basin Water Security

شکل ۶- تغییرات الف) امنیت آبی کل و شاخص‌های هدف، ب) زیرشاخص‌های هدف امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه

www.SID.ir

Archive of SID

نرخ اشتغال در سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ مطلوبیت «بسیار زیاد» داشت و با ادامه روند کاهشی، مطلوبیت آن در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ «زیاد» ارزیابی می‌گردد. همچنین، نسبت اشتغال غیر کشاورزی در طول دوره مورد بررسی روند افزایشی داشت و در تمامی سال‌ها «زیاد» ارزیابی می‌گردد.

برای بررسی تأثیر وضعیت بخش‌های مختلف اقتصادی یعنی کشاورزی، صنعت و خدمات در وضعیت هر یک از ابعاد، از شاخص‌های نشانگاه استفاده شد. در بعد دسترسی به آب، بررسی تغییرات برداشت آب به تفکیک بخش‌های اقتصادی نشان داد که بیش‌ترین حجم آب برداشت شده مربوط به بخش کشاورزی (با اختصاص سهمی حدود ٪۸۹ در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ تا ٪۹۴ در سال ۱۳۷۵) بود و کمترین حجم آب برداشتی مربوط به بخش صنعت (با اختصاص حدود ٪۰/۶ در سال ۱۳۷۵ تا ٪۱/۳ در سال ۱۳۹۰) از کل برداشت آب بود. همان‌طور که در شکل ۴ –الف مشخص است، روند تغییرات کل حجم آب برداشتی، متأثر از تغییرات برداشت آب کشاورزی و میزان آب در دسترس (آب تجدیدپذیر) است. همچنین بررسی تغییرات برداشت آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی (شکل ۴–ب) نشان می‌دهد در سال‌هایی که میزان آب تجدیدپذیر (متأثر از افزایش بارش‌ها) افزایش یافت، برداشت از آب‌های سطحی نیز با افزایش روبرو شد و وابستگی به آب‌های زیرزمینی کاهش نشان داد، به طوری که سهم برداشت از آب‌های زیرزمینی از برداشت کل در سال ۱۳۸۵ (که بیش‌ترین مقدار از آب تجدیدپذیر و به تبع آن بیشترین برداشت آب کشاورزی را داشت) حدود ٪۳۲ است. در دوره کم‌آب منتهی به سال ۱۳۸۰، سهم برداشت از آب زیرزمینی تا حدود ٪۶۴ رسید. در بعد درآمد، بررسی سهم بخش‌های مختلف اقتصادی از تولید ناخالص داخلی نشان می‌دهد که بخش خدمات در تمامی سال‌های مورد بررسی بیشترین سهم از تولید ناخالص داخلی (بیشترین سهم در سال ۱۳۸۰ و برابر با ٪۶۰) را دارا بود و بخش صنعت در جایگاه دوم (بیشترین سهم در سال ۱۳۹۰ و برابر با ٪۳۸) قرار داشت. در بعد اشتغال، بیشترین سهم از اشتغال حوضه، مربوط به بخش خدمات (متغیر بین ٪۴۰ تا ٪۴۴) و کمترین سهم از اشتغال مربوط به بخش کشاورزی (متغیر بین ٪۲۰ تا ٪۲۶) است. به طور کلی دلیل کاهش اشتغال کشاورزی به دلیل افزایش سهم بخش صنعت در اشتغال حوضه است.

به منظور بررسی وضعیت ابعاد مختلف امنیت آبی نسبت به هم، از شاخص‌های واسطه استفاده گردید. بدین منظور دو دسته شاخص ۱) ضریب تشخیص (R^2) بین دو متغیر معرف دو بعد و ۲) شاخص‌های نشان‌دهنده بهره‌وری درنظر گرفته شد که در جدول ۵ ارائه شده است.

Table 5- Interaction indicators of Lake Urmia Basin water security

جدول ۵- شاخص‌های واسطه امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه

Dimensions	Indicators & Coefficients		Economic Sector			
		Year	Agriculture	Industry	Services	Total
Water-Income	Economic Water Productivity (IRR/m^3)	1380 | 2001	4978	1260938	367563	43720
		1385 | 2006	5452	1552389	314155	48618
		1390 | 2011	4752	1704291	326022	58323
		1395 | 2016	5025	1811195	314238	57188
		Average	**5052**	**1582203**	**330494**	**51962**
	Coefficient of Determination (R^2) between water withdrawal and value-added		**0.89**	**0.96**	**0.99**	**0.57**
Water-Employment	Employment Water Productivity (Person/MCM)	1380 | 2001	79	10208	1802	306
		1385 | 2006	70	9698	1364	281
		1390 | 2011	75	7593	1326	295
		1395 | 2016	71	10657	1255	312
		Average	**74**	**9539**	**1437**	**299**
	Coefficient of Determination (R^2) between water withdrawal and Employment		**0.95**	**0.20**	**0.95**	**0.70**
Income-Employment	Employment Economic Productivity (10^6 IRR/Person)	1380 | 2001	63	124	204	143
		1385 | 2006	78	160	230	173
		1390 | 2011	64	224	246	198
		1395 | 2016	71	170	250	183
		Average	**69**	**169**	**233**	**174**
	Coefficient of Determination (R2) between value-added and Employment		**0.98**	**0.34**	**0.90**	**0.66**

www.SID.ir

Archive of SID

در تمامی سال‌های مورد بررسی، بهره‌وری اقتصادی آب در بخش صنعت بیشترین و در بخش کشاورزی کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. هرچند ضریب تشخیص حدود ۰/۹۵ بین دو متغیر برداشت آب و ارزش افزوده در بخش صنعت نشان از قابل اعتماد بودن همبستگی بالای این دو متغیر در آینده دارد، اما باتوجه به بالاتر بودن رشد سالانه ارزش افزوده به نسبت برداشت آب (هرچند در سال ۱۳۹۵ رشد ارزش افزوده و برداشت آب بخش صنعت منفی است)، بهره‌وری اقتصادی آب در دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵، به طور مستمر بهبود یافت. ادامه یافتن این وضعیت در آینده، نشان از کاهش وابستگی ارزش افزوده به آب برداشتی در بخش صنعت است. تغییرات آب برداشتی و ارزش افزوده بخش خدمات هم‌جهت بوده، ضریب تشخیص در بخش خدمات حدود ۰/۹۹ و بالا ارزیابی می‌گردد. باتوجه به اینکه نیروی کار یک نهاده مهم در بخش خدمات است و آب مصرفی در بخش خدمات عموماً صرف نیازهای شرب و بهداشت نیروی کار می‌گردد، این امر منطقی به نظر می‌رسد. بهره‌وری اقتصادی آب در بخش خدمات در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به نسبت سال ۱۳۸۰، به ترتیب ٪۱۴/۵، ٪۱۱/۳ و ٪۱۴/۵ کاهش داشت. هرچند این امر مطلوب ارزیابی نمی‌گردد، اما باید توجه داشت که در محاسبات مربوط به بهره‌وری اقتصادی آب خدمات، مقدار کل برداشت آب شرب خانگی و غیرخانگی مدنظر قرار گرفته است. تغییرات بهره‌وری اقتصادی آب کشاورزی هم‌جهت با تغییرات مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده این شاخص بوده، نشانگر این است که نوسانات میزان آب در دسترس و به تبع آن برداشت آب، بر میزان درآمد حاصل از بخش کشاورزی اثرگذار است. اما ضریب تشخیص برداشت آب و ارزش افزوده بخش کشاورزی حدود ۰/۸۹ و کمتر از مقدار این ضریب برای بخش صنعت و خدمات است. این امر نشان از اثرگذاری بیشتر نهاده‌های دیگر در سودآوری بخش کشاورزی است.

در بررسی وابستگی بین دو بعد دسترسی به آب و اشتغال، ضرایب تشخیص بین برداشت آب و تعداد افراد شاغل به تفکیک کشاورزی، صنعت و خدمات به ترتیب برابر با ۰/۹۵، ۰/۲۰ و ۰/۹۵ به دست آمد. بدین ترتیب، ارتباط بالایی بین این دو متغیر در بخش صنعت مشاهده نمی‌گردد. همبستگی پایین بین آب برداشتی و اشتغال در بخش صنعت، باتوجه به ساختار صنایع حوضه (صنایع مواد غذایی و آشامیدنی به عنوان صنعت غالب حوضه با آب‌بری بالا)، منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا سهم فرایند تولید در میزان آب برداشتی بسیار بیش‌تر از سهم نیاز بهداشت و شرب کارکنان این بخش است. به طور مثال، بیش از ۸۷ درصد از کل آب برداشتی صنایع در سال ۱۳۸۰ صرف فرآیند تولید شد (JAMAB Consulting Engineers, 2005). در بخش کشاورزی، همبستگی بالا بین اشتغال و برداشت آب، نشان می‌دهد در سال‌های پرآب که برداشت آب در بخش کشاورزی افزایش یافت، جذب نیروی کار در این بخش نیز بالا بود. بهره‌وری آبی اشتغال در بخش کشاورزی هم‌جهت با تغییرات برداشت آب و اشتغال کشاورزی تغییر کرد. روند تغییرات آب برداشتی و اشتغال بخش خدمات هم‌جهت بود و ضریب تشخیص بالای بین این دو متغیر، باتوجه به اینکه آب مصرفی در بخش خدمات مربوط به شرب و بهداشت نیروی کار است، منطقی است. بیشترین بهره‌وری آبی اشتغال در همه سال‌ها مربوط به صنعت و کمترین آن برای بخش کشاورزی است.

بررسی ارتباط بعد درآمد و اشتغال با استفاده از ضریب تشخیص بین ارزش افزوده و نیروی شاغل بخش‌های مختلف اقتصادی، نشان از وابستگی بسیار ضعیف بین این دو متغیر در بخش صنعت (R^2 برابر با ۰/۳۴) و وابستگی قوی در کشاورزی (R^2 برابر با ۰/۹۸) و در بخش خدمات (R^2 برابر با ۰/۹۰) دارد. باتوجه به جدول ۵، در تمامی سال‌های مورد بررسی، بیشترین بهره‌وری اقتصادی اشتغال در بخش خدمات و کمترین میزان در بخش کشاورزی است. تغییرات بهره‌وری اقتصادی اشتغال در بخش کشاورزی هم‌جهت با تغییرات ارزش‌افزوده و اشتغال است. در سال‌هایی که تولید کشاورزی متأثر از میزان آب در دسترس، افزایش یافته است، اشتغال در این بخش نیز افزایش داشت.

۴- نتیجه‌گیری

اهمیت طبقه‌بندی آبی- اقتصادی در این است که به منظور تأمین امنیت آبی در آینده، مناطق با طبقه‌های مختلف آبی- اقتصادی، مسیرهای متفاوتی نظیر نرخ تغییرات تکنولوژیکی و ساختاری در بخش‌های اصلی مصرف‌کننده آب را تجربه خواهند کرد. این نوع طبقه‌بندی، امکان ارزیابی تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم و اجتماعی- اقتصادی در مقیاس جهانی را بر مناطق در مقیاس محلی فراهم می‌نماید. تعیین طبقه آبی- اقتصادی حوضه دریاچه ارومیه در دوره تاریخی و استان‌های حوضه نشان داد که این حوضه علیرغم تغییرات آب در دسترس، جمعیت و وضعیت اقتصادی، همواره در طبقه HE-4 قرار داشته و با چالش‌های بسیاری در خصوص کمبود آب روبرو است. همچنین، سرانه تولید ناخالص داخلی کم حوضه با توجه به معیارهای جهانی، نشان از ظرفیت اقتصادی کم برای مقابله با چالش‌های دستیابی به امنیت آبی در آینده است. برای دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر درخصوص سیستم منابع آب حوضه، وضعیت امنیت آبی حوضه در سه بعد دسترسی به آب، درآمد ساکنین و اشتغال ساکنین با استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

از یک چارچوب ارزیابی شاخص‌محور بررسی گردید. طبق ارزیابی‌های انجام گرفته، تغییرات برداشت آب در حوضه، متأثر از تغییرات برداشت آب در بخش کشاورزی بوده که خود متأثر از میزان آب تجدیدپذیر و بارش‌های حوضه و نیز اثرگذار بر درآمد و اشتغال بخش کشاورزی است. لذا باتوجه به عدم امکان اثرگذاری بر مؤلفه‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی از یک سو و پایین بودن تمامی شاخص‌های بهره‌وری بخش کشاورزی از سوی دیگر، اشتغال در این بخش مستمر نبوده و ناپایدار ارزیابی می‌گردد. بنابراین برای ارتقاء امنیت آبی در آینده باید مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کاهش مصرف آب و میزان اشتغال در این بخش مورد بررسی قرار گیرد. باتوجه به نقش کلیدی بخش کشاورزی در امنیت غذایی، پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی تأثیر این اقدامات از بعد امنیت غذایی کشور نیز بررسی گردد. شاخص‌های نرخ اشتغال و نسبت اشتغال غیرکشاورزی حوضه، نشانگر مطلوبیت بالای حوضه در زمینه اشتغال نسبت به میزان کشوری است. اما درآمد سرانه حوضه به عنوان شاخص وضعیت اقتصادی، مطلوبیت کمی به نسبت دیگر مناطق کشور دارد. بدین ترتیب هرچند از نظر اشتغال غیر کشاورزی، حوضه وضعیت مطلوبی به نسبت سایر مناطق کشور دارد، اما بخش صنعت و خدمات جوابگوی نیاز به درآمد جمعیت حوضه نیست. لذا در راستای دستیابی به اهداف امنیت آبی، باید ظرفیت‌های توسعه بخش صنعت و خدمات، هم به منظور کاهش مصرف آب و ایجاد ظرفیت اشتغال جایگزین بخش کشاورزی و هم برای بهبود وضعیت درآمدی ساکنین حوضه مورد بررسی قرار گیرد. بی شک ارائه راهکارهای دقیق در این خصوص مستلزم مطالعات جامع زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و غیره است.

پی‌نوشت‌ها

1- Water Futures and Solutions Initiative
2- Hydro-Economic (HE) Classification
3- Asian Development Bank
4- Pearl River Delta
5- Hydrological Challenges
6- Economic Capacity
7- Total Renewable Water Resources per Capita (TWRC)
8- Water Withdrawal Intensity
9- Runoff Variability
10- Lake Urmia Basin Water Security Framework
11- Goal Indicators
12- Target Indicators
13- Interaction Indocators
14- Natural Breaks (Jenks)
15- Renewable Water Resources (RWR)
16- Population (POP)
17- Total Water Withdrawal (TWW)
18- Coefficient of Variance of monthly Total Water Resources (CVTWR)
19- Gross Domestic Product (GDP)
20- Lake Urmia basin Water Level (LUL)
21- Gross Domestic Product per Capita (GDPC)
22- Employment
23- Employment Rate (ER)
24- Non-agricultural Employment Proportion (NAEP)
25- Total Water Scurity

۵- مراجع

Al-Otaibi A and Abdel-Jawad M (2007) Water security for Kuwait. Desalination, 214(1–3):299–305

Ansari Mahabadi S, Massah Bavan A, and Bagheri A (2019) Evaluation of adaptation strategies to climate change based on social, economic and environmental resilience indicators. Iran-Water Recources Research 14(5):237-253 (In Persian)

Arnell NW (2004) Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environmental Change 14(1):31–52

Babel MS, Shinde VR, Sharma D, and Dang NM (2020) Measuring water security: A vital step for climate change adaptation. Environmental Research 185:109400

Bagheri A and Babaeian F (2020) Assessing water security of Rafsanjan Plain, Iran: Adopting the SEEA framework of water accounting. Ecological Indicators 111:105959

Burek P, Satoh Y, Fischer G, Kahil MT, Scherzer A, Tramberend S, Nava LF, Wada Y, Eisner S, Flörke M, and others (2016) Water futures and solution-fast track initiative. Final Report, Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). 115p. IIASA, WP 16-006

Chen Z and Wei S (2014) Application of system dynamics to water security research. Water Resources Management 28(2):287–300

Dickson SE, Schuster-Wallace CJ, and Newton JJ (2016) Water security assessment indicators: The rural context. Water Resources Management 30(5):1567–1604

Eekhout JPC, Hunink JE, Terink W, and de Vente J (2018) Why increased extreme precipitation under climate change negatively affects water security. Hydrology and Earth System Sciences. Copernicus GmbH 22(11):5935–5946

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Environmental Studies and Sciences 4(4):329–346

Satoh Y, Kahil T, Byers E, Burek P, Fischer G, Tramberend S, Greve P, Flörke M, Eisner S, and Hanasaki N (2017) Multi-model and multi-scenario assessments of Asian water futures: The Water Futures and Solutions (WFaS) Initiative, Earth's Future 5(7):823–852

Shiklomanov IA (2000) Appraisal and assessment of world water resources. Water International 25(1):11–32

Statistical Center of Iran (2020) Statistical Center of Iran Database.

Strazzabosco A (2020) Asian water development outlook 2020: Advancing water security across Asia and the Pacific. Asian Development Bank, Philippines, 156p.

Taylor KS (2021) Australian water security framings across administrative levels. Water Security, Elsevier 12:100083

Tramberend S, Wiberg D, Wada Y, Flörke M, Fischer G, Satoh Y, Yillia P, van Vliet M, Hizsnyik E, Nava LF and others (2015) Building global water use scenarios. Interim Report, Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). 55p. IIASA, IR-15-014

Wada Y, Gain AK, and Giupponi C (2016) Measuring global water security towards sustainable development goals. Environmental Research Letters 11(12):2–13

Wang X, Chen Y, Li Z, Fang G, and Wang Y (2020) Development and utilization of water resources and assessment of water security in Central Asia. Agricultural Water Management, Elsevier 240:106297

Water UN (2019) Step-by-step methodology for monitoring water use efficiency (6.4.1).

Xiao-jun W, Jian-yun Z, Shahid S, Xing-hui X, Rui-min H, and Man-ting S (2014) Catastrophe theory to assess water security and adaptation strategy in the context of environmental change. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 19(4):463–477

Yao M, Tramberend S, Kabat P, Hutjes RWA, and Werners SE (2017) Building regional water-use scenarios consistent with global shared socioeconomic pathways. Environmental Processes 4(1):15–31

ESRI (1996) ArcView GIS: The geographic information system for everyone. Environmental Systems Research Institute

Fischer G, Hizsnyik E, Tramberend S, and Wiberg D (2015) Towards indicators for water security- A global hydro-economic classification of water challenges. Interim Report, Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). 24p. IIASA, IR-15-1013

Grey D and Sadoff CW (2007) Sink or swim? Water security for growth and development. Water Policy 9(6):545–571

GWP (2000) Towards water security: Framework for Action. Global Water Partnership 10

Intergovernmental Council of the IHP (2012) (Draft) Strategic plan of the eighth phase of IHP (IHP-VIII, 2014-2021). Paris, France

Iran Ministry of Energy (2018) Iran water statistical yearbook (2014-2015).

JAMAB Consulting Engineers (2005) Climate adaptation program studies, existing and future state of water resources in Urmia Lake basin. Current and future status of water resources in Lake Urmia basin, first volume, 43p.

Jia X, Li C, Cai Y, Wang X, and Sun L (2015) An improved method for integrated water security assessment in the Yellow River basin, China. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 29(8):2213–2227

Jiang Y (2015) China's water security: Current status, emerging challenges and future prospects. Environmental Science & Policy 54:106–125

Lautze J and Manthrithilake H (2012) Water security: Old concepts, new package, what value? Natural Resources Forum, Wiley Online Library 36(2):76–87

Nie R, Tian Z, Wang J, Zhang H, and Wang T (2018) Water security sustainability evaluation: Applying a multistage decision support framework in industrial region. Journal of Cleaner Production 196:1681–1704

Notter B, Hurni H, Wiesmann UM, and Abbaspour KC (2012) Modelling water provision as an ecosystem service in a large East African river basin. Hydrology and Earth System Sciences 16(1):69–86

Saif O, Mezher T, and Arafat HA (2014) Water security in the GCC countries: Challenges and opportunities.

www.SID.ir