

مقاله پژوهشی

ارزیابی وضعیت امنیت آبی از منظر منابع و مصارف آبی (مطالعه موردی: زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه)

زهرا عالمی حیدرانلو^۱، حسین رضایی^{۲*}، کیوان خلیلی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۱

- ۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه ارومیه
 - ۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه ارومیه
 - ۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه ارومیه
- * مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.rezaie@urmia.ac.ir

چکیده

امنیت آبی مفهومی پیچیده از مدیریت یکپارچه منابع آب است که وضعیت کشورها و حوضه‌های آبریز را از نظر دسترسی به منابع آب مورد بررسی قرار می‌دهد. عوامل متعدد هیدرولوژیکی، ساختاری، نهادی، سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی در ایجاد امنیت آبی دخیل هستند. پژوهش حاضر بر آن است تا عوامل هیدرولوژیکی موثر بر امنیت آبی زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه را بررسی نماید. بدین منظور میانگین وزنی نرمال شده‌ی چهار شاخص دسترسی به آب، شدت برداشت آب، تغییرپذیری رواناب ماهانه و درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت در بازه‌های زمانی پنج ساله شامل سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ محاسبه گردید. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که وضعیت امنیت منابع و مصارف آب در محدوده‌های غربی حوضه دریاچه ارومیه دارای شرایط نسبتاً مشابه و در طبقه متوسط و ضعیف قرار گرفته است. امتیاز امنیت منابع و مصارف آب کل زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه برای سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ به ترتیب برابر با ۰/۴ (متوسط) و ۰/۳۲ (ضعیف) است. کاهش امنیت منابع و مصارف آب در طول بازه‌های زمانی ناشی از کاهش سرانه منابع آب تجدیدپذیر و افزایش شدت برداشت آب در زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه بوده است که نیازمند بازنگری در مدیریت میزان مصارف آب در بخش‌های مختلف می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: امنیت منابع و مصارف آب، حوضه دریاچه ارومیه، دسترسی به آب، شدت برداشت آب.

Assessing the State of Water Security in Terms of Water Resources and Consumption (Case study: Western Sub-Basin of Lake Urmia)

Z Alami Heidaranlou¹, H Rezaie^{2*}, K Khalili³

Received: March 15, 2021

Accepted: October 3, 2021

1-M.Sc. Graduated student, Water Engineering Dept., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Urmia, Iran

2-Prof., Water Engineering Dept., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Urmia, Iran

3-Assist. Prof., Water Engineering Dept., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Urmia, Iran

*Corresponding Author, Email: h.rezaie@urmia.ac.ir

Abstract

Background and Objectives

Rapid population growth and the expansion of urbanization in large parts of the world have increased the need for various facilities and resources, of which water is undoubtedly the most important or one of the most important. This need, which is associated with the heterogeneous distribution of water resources and rainfall in the world, has caused numerous tensions in the field of water supply. It has also made the issue of "water security" an emerging challenge in the field of national and international security. Water security is one of the concepts that examines the situation of countries and watersheds in terms of access to water resources, and has emerged in response to the challenging nature of the global water crisis. Various hydrological, structural, institutional, political, social, economic and environmental factors are involved in water security. The present study wants to investigate the hydrological factors affecting water security in the western sub-basin of Lake Urmia and to provide an overview of the state of water resources and consumption security in the study areas.

Methodology

One of the most common methods used to assess water security is the use of indicators so that they can express large amounts of complex information in a simple and understandable way. The method of assessing the status of water security using indicators is a new method that is proposed to countries to assess the current state of their water security in this way. In the present study, the state of water resources and consumption security in the western sub-basin of Lake Urmia (by study areas of Salmas, Urmia, Naqadeh, Oshnavieh, Mahabad and Bukan) in 5-year periods including 2006 and 2011 have been investigated. For this purpose, water availability, water use intensity, monthly runoff variability and portion of irrigated land to cultivated land are considered as selected indicators in evaluating water security in terms of water resources and consumption. Due to the unit differences of the indicators, in order to facilitate the interpretation of the water security situation, the indicators are normalized in the range of 0 to 1 and based on the threshold / reference values. Then, using the weighted average method, the score of water resources and consumption security is calculated for each of the studied areas. At the end, based on the water resources and consumption security score, all areas are classified as "very poor", "poor", "average", "good" and "very good".

Findings

The results of the study showed that the water resource and consumption security situation in the western parts of the Urmia Lake basin has relatively similar conditions and is in the middle and poor class. None of the study areas in the western sub-basin of Lake Urmia have very high or even high water security. The score of water resource and consumption security for the whole western sub-basin of Lake Urmia for the years 2006 and 2011 is equal to 0.4 (medium) and 0.32 (weak), respectively. The best water security situation is in Bukan area and the worst situation is in Naqadeh area. The decreased water resource and consumption security over time periods has been due to the

reduction access to water and increasing the Water use intensity in the western sub-basin of Lake Urmia, which requires a review in managing water consumption management in different sectors.

Conclusion

According to the results of the study, it can be stated, the trend of water security changes in the western sub-basin of Lake Urmia is decreasing and the root of water insecurity is different in each of the studied areas. This indicates the high need of the basin to make economic and infrastructure investments and increase the institutional capacity of the basin to manage and plan water resources, which shows the need for attention of planners and officials in the water sector.

Keywords: Urmia Lake Basin, Water availability, Water resource and consumption security, Water use intensity.

مقدمه

ماهیت چالش برانگیز بحران آب جهانی به وجود آمده است. تعاریف متعددی از این مفهوم توسط سازمان‌ها و مؤلفان مختلف در سرتاسر دنیا ارائه گردیده است. نخستین بار بنیاد مشارکت جهانی آب^۱ در مارس ۲۰۰۰ با برگزاری دومین اجلاس جهانی در شهر هیگ^۲ در کشور هلند، به بیان چالش‌های امنیت آبی پرداخت و اظهار داشت امنیت آبی زمانی برقرار است که «هر فرد در جامعه به آب سالم با مقدار کافی و هزینه‌ای مقرون به‌صرفه به‌منظور داشتن یک زندگی پاک، سالم و مولد دسترسی داشته باشد، در حالی که اطمینان حاصل شود محیط‌زیست حفاظت شده و بهبود می‌یابد» (بی‌نام ۲۰۰۰). پس از آن تعداد زیادی از دانشمندان و سیاست‌گذاران این اصطلاح را به‌کار گرفتند و تعاریف متعددی را ارائه دادند. در تمامی تعاریف ارائه شده، به دسترس بودن آب از لحاظ کمی و کیفی برای سلامتی، معیشت و اکوسیستم و مقابله با مخاطرات آبی در راستای کاهش آسیب‌پذیری مردم، محیط‌زیست و توسعه اقتصاد اشاره شده است. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که ارزیابی وضعیت منابع آبی و سنجش امنیت آبی در مناطق مختلف مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. نمازی شیشوان و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش توصیفی-اکتشافی به بررسی پیامدهای ژئوپلیتیکی و امنیتی کمبود منابع

در جهان امروز آب به‌عنوان کالایی اقتصادی-اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و نیاز روزافزون به آب در همه ابعاد زندگی بشر، باعث شده تا آب به‌عنوان کالایی نادر و کمیاب در دسترس جوامع قرار داشته باشد. این مهم در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه خشک که منابع آب تجدیدپذیر محدودتری دارند، بیش‌تر نمود پیدا کرده و ضرورت مدیریت منابع آب با نگرشی جامع و دقیق را ایجاب می‌کند (عربی یزدی و همکاران ۲۰۱۵). به‌طوری‌که، تا اواسط قرن بعد، بیش از ۴۰٪ جمعیت جهان تحت تنش آبی شدید زندگی خواهند کرد (بی‌نام ۲۰۱۳). از عوامل کلیدی ایجاد این تنش، افزایش جمعیت، رشد اقتصادی و حرکت به سمت توسعه‌ی بیش‌تر و همچنین تغییر اقلیم می‌باشد (بی‌نام ۲۰۱۱a). بر اساس گزارش سال ۲۰۰۷ سازمان خواربار و کشاورزی اگر تمام آب آشامیدنی جهان به نسبت مساوی بین افراد جهان تقسیم شود هر نفر ۵ تا ۶ هزار مترمکعب آب برای سرانه مصرف سالانه خواهد داشت که در مقایسه با ۱۰۰۰ متر مکعب آبی که به‌عنوان کم‌ترین میزان لازم برای هر شخص در سال مطرح است بسیار بیش‌تر است و این معنا را می‌رساند که عدالت آبی در جهان وجود ندارد (بی‌نام ۲۰۱۲). امنیت آبی از مفاهیمی است که وضعیت کشورها و حوضه‌های آبریز را از نظر دسترسی به منابع آب مورد بررسی قرار می‌دهد و در پاسخ به

¹ Global Water Partnership (GWP)

² Hague

آبی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. در این راستا روابط علت و معلولی و حلقه‌های بازخوردی پیامدهای مختلف بحران کاهش منابع آب و بویژه خشک شدن دریاچه ارومیه را ارائه کردند و در نهایت بر اساس یافته‌های پژوهش به ارائه توصیه‌های سیاستی پرداختند. گین و همکاران در سال ۲۰۱۶، یک چارچوب تحلیل چند معیاره مکانی^۱ جهت ارزیابی امنیت آبی در مقیاس جهانی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار ارائه نمودند. در این راستا، از چهار معیار در دسترس بودن، دسترسی به خدمات، ایمنی و کیفیت و مدیریت استفاده کردند و شاخص امنیت آب جهانی^۲ را بر اساس مجموع ابعاد امنیت آبی و روش میانگین وزنی مرتب^۳ در پیکسل به پیکسل کشورها با استفاده از نقشه‌های موجود محاسبه نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که کشورهای واقع در قاره آفریقا، جنوب آسیا و خاورمیانه از امنیت آبی بسیار پایینی برخوردار هستند و برخی از مناطق ایالات متحده، استرالیا و اروپای جنوبی، به دلیل عملکرد خوب مدیریت، کیفیت، ایمنی و دسترسی، امنیت آبی بالایی را نشان می‌دهند. لوپز آلوارز و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص فقر آبی^۴ به ارزیابی منابع آب مناطق نیمه گرمسیری در هوآستکا پوتوسینا^۵ مکزیک پرداختند. بدین منظور مجموع وزنی استاندارد شده‌ی شش مؤلفه‌ی منابع، دسترسی، مصرف، ظرفیت، کیفیت و محیط زیست محاسبه گردید. نتایج پژوهش ایشان نشان می‌دهد که ارزش نهایی شاخص فقر آبی برای حوضه‌ی آبریز ریو والس^۶ (در سال ۲۰۱۰) برابر ۵۹ (از ۱۰۰) می‌باشد. پان و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای در راستای سنجش امنیت آبی و ارزیابی مشکلات اصلی پیش‌روی مدیریت

و بهره‌برداری آب در حوضه‌های رودخانه‌های هایه^۷، شیول^۸ و شیانگ^۹ در استان گانسو^{۱۰} چین از شاخص فقر آبی که متشکل از پنج مؤلفه‌ی منابع، دسترسی، مصرف، ظرفیت و محیط زیست می‌باشد، استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که حوضه رودخانه شیول مناسب‌ترین وضعیت را از لحاظ فقر آبی دارا است. همچنین وضعیت مؤلفه‌ی محیط‌زیست در حوضه رودخانه هایه و وضعیت مؤلفه‌های ظرفیت و منابع در حوضه رودخانه شیانگ مساعد نیست. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ با به کارگیری شاخص فقر آبی به ارزیابی میزان تنش آبی حوضه‌ی رودخانه‌ی شیانگ^{۱۱} در چین پرداختند. در این راستا، از پنج مؤلفه‌ی منابع، دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست استفاده کردند. نتایج ارزیابی منطقه‌ای نشان می‌دهد که منطقه‌ی مین کین^{۱۲} با میزان شاخص فقر آبی ۲۶/۳ از وضعیت مناسبی برخوردار نیست. اما منطقه‌ی جینگ چانگ^{۱۳} با ارزش نهایی ۶۶/۹ برای شاخص فقر آبی دارای وضعیت نسبی بهتری می‌باشد. ما و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از ۲۵ زیرشاخص در زمینه منابع آب، محیط‌زیست، اکولوژی، جامعه، سیاست و اقتصاد به ارزیابی امنیت آبی در حوضه آبریز هایه^{۱۴} در چین، پرداختند. آن‌ها از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی^{۱۵} (PCA) بر پایه کندانال-تو^{۱۶} و مقایسه آن با ضریب همبستگی پیرسون^{۱۷} استفاده کردند. در نهایت اظهار داشتند که با نتایج حاصل از پژوهش، می‌توان مشکلات اصلی امنیت آبی کشور را شناسایی کرده و اقداماتی در این زمینه اتخاذ نمود. چاوز و آلییز (۲۰۰۷)

⁷ Heihe

⁸ Shule

⁹ Shiyang

¹⁰ Gansu

¹¹ Shiyang

¹² Minqin

¹³ Jingchang

¹⁴ Haihe

¹⁵ Principal Component Analysis

¹⁶ Kendall τ

¹⁷ Pearson's Correlation Coefficient

¹ Spatial Multi Criteria Analysis

² Global Water Security Index

³ Ordered Weighted Average Method

⁴ Water Poverty Index

⁵ Huasteca Potosina

⁶ Río Valles

ارومیه را تشکیل می‌دهد. از لحاظ شرایط اقلیمی این حوضه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل است. متوسط میزان بارش در منطقه حدوداً ۳۸۰ میلی‌متر تخمین زده می‌شود که بخش عمده بارش از فصل پاییز تا اواسط بهار رخ می‌دهد. متوسط دمای سالانه بین ۵/۴ تا ۱۷/۸ درجه سانتیگراد متغییر است. ماه‌های تیر و مرداد گرم‌ترین و ماه‌های دی و بهمن سردترین ماه‌های سال هستند. تعداد روزهای یخبندان به طور متوسط ۱۲۰ روز در سال می‌باشد. متوسط سالانه تبخیر از تشت حدود ۱۵۰۰ میلی‌متر تخمین زده شده است (بی‌نام ۲۰۱۱c). در شکل ۱، زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه به تفکیک محدوده‌های مطالعاتی سلماس، ارومیه، نقده، اشنویه، مهاباد و بوکان ارائه شده است.

روش پژوهش

ارزیابی امنیت منابع و مصارف آب از نظر ماهیت از نوع پژوهش‌های کمی محسوب می‌شود و جز اهداف کاربردی می‌باشد. روش این تحقیق توصیفی تحلیلی و مقایسه‌ای است که به انعکاس واقعیت‌های موجود در زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه در راستای شناخت تهدیدات و آسیب‌پذیری محدوده‌ها می‌پردازد. جهت محاسبه امنیت منابع و مصارف آب، میانگین وزنی نرمال شده‌ی چهار شاخص کل سرانه منابع آب تجدیدپذیر^۳، شدت برداشت آب^۴، تغییرپذیری رواناب ماهانه^۵ و درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت^۶ در نظر گرفته شده است.

کل سرانه‌ی منابع آب تجدیدپذیر: این شاخص

که توسط فالکن‌مارک تهیه شده است، به‌عنوان میزان دسترسی به آب مطرح است و بیان‌گر میزان منابع آب سطحی و زیرزمینی قابل برداشت به‌ازای هر نفر از

با تلفیق ابعاد هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی، مسائل معیشتی و سیاسی یک شاخص ترکیبی تحت عنوان شاخص پایداری آب^۱ در مقیاس حوضه آبریز ارائه نمودند. آن‌ها برای هر کدام از این ابعاد سه زیرشاخص انتخاب کردند و امتیازهای ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ را به زیرشاخص‌ها اختصاص دادند و در انتها با استفاده از مدل فشار-حالت-پاسخ^۲ (PSR) به ارزیابی شاخص پایداری آب پرداختند. علاوه بر مطالعات شرح داده شده در این زمینه، می‌توان به پژوهش‌های بابل و شایند (۲۰۱۸)، زیاو جون و همکاران (۲۰۱۴)، جانسون و ویلک (۲۰۱۴)، نورمن و همکاران (۲۰۱۳)، جمالی و ماتیوسی (۲۰۱۳)، شاو و همکاران (۲۰۱۲)، نیز که در مقیاس‌های جغرافیایی مختلفی انجام شده است، اشاره کرد. با توجه به مرور پژوهش‌های متعدد انجام شده مشخص شد در حالی که مطالعات متعددی با هدف سنجش امنیت آبی و کمیابی آبی مناطق مختلف انجام شده است اما در منطقه مورد مطالعه، پژوهشی با هدف بررسی وضعیت منابع و مصارف آبی در مقیاس حوضه‌ای انجام نگردیده است. بنابراین مطالعه حاضر در تلاش است تا با بکارگیری شاخص‌های نوین در ارزیابی امنیت آبی در مقیاس حوضه، این خلأ اطلاعاتی را پر نماید و تصویری از وضعیت امنیت آبی زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه فراهم سازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه می‌باشد که در شمال غربی ایران با مساحت حدودی ۱۵۳۲۶ کیلومتر مربع در حدفاصل مختصات جغرافیایی ۴۴°۱۳' تا ۴۶°۳۲' طول شرقی و ۳۶°۱۲' تا ۳۸°۲۲' عرض شمالی واقع شده است و حدود ۲۹/۶ درصد از مساحت کل حوضه آبریز

³ Total Renewable Water Resources per Capita

⁴ Water Use Intensity

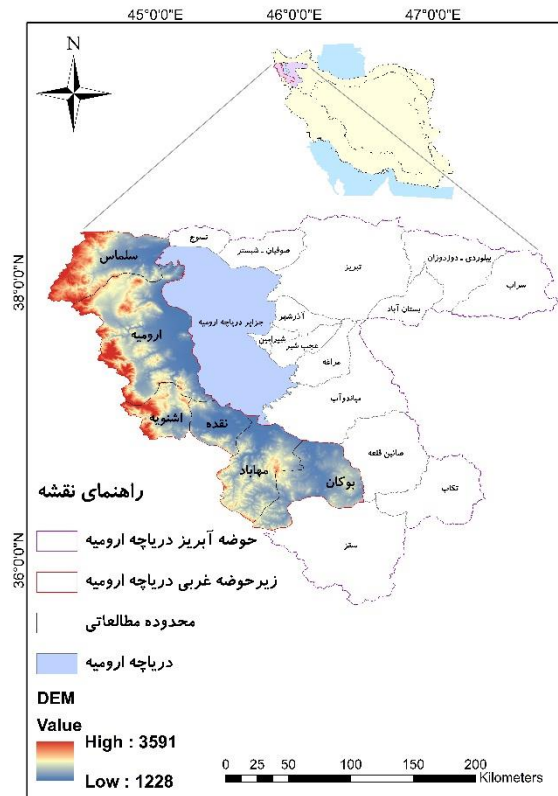
⁵ Variability of Monthly Runoff

⁶ Portion of Irrigated Land to Cultivated Land

¹ Water Sustainability Index

² Pressure-State-Response (PSR)

جمعیت بوده و از نسبت حجم آب تجدیدپذیر (مترمکعب) به جمعیت (نفر) محاسبه می‌گردد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه و محدوده‌های مطالعاتی آن.

برقراری بیلان آبی (برای یک دوره مشخص) از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$RW = P - ET + (R_i + G_i) \quad [1]$$

در این رابطه، RW آب تجدیدپذیر، P میزان بارش، ET میزان تبخیر ناشی از باران (مجموع آب تبخیر شده از سطوح آزاد آب و آب سبز که در خاک ذخیره شده و تبخیر و تعرق می‌شود)، R_i و G_i به ترتیب میزان رواناب و جریان زیرزمینی ورودی می‌باشند (بی‌نام ۲۰۰۳). طبقه‌بندی شاخص سرانه منابع آب تجدیدپذیر در جدول ۱ ارائه شده است.

آب تجدیدپذیر در واقع همان آب آبی (آب زیرزمینی و سطحی، چه داخل حوضه باشند و یا از خارج به حوضه بیایند) است که به کمک سیکل هیدرولوژی به دست می‌آید و شامل مجموع منابع آب تجدیدپذیر داخلی (که در برآورد آن هیچ قیدی برای حفاظت از منابع آب به نفع مصارف پایین دست وجود ندارد) و منابع آب تجدیدپذیر خارجی (که ذخایر آبی مازاد یک حوضه بالادست را نیز شامل می‌شود) است. حجم آب تجدیدپذیر حاصل از بارش، در هر حوضه پس از

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص سرانه منابع آب تجدیدپذیر (ساطوح و همکاران ۲۰۱۷).

طبقه	محدوده شاخص $(m^3 \text{ cap}^{-1} \text{ y}^{-1})$	محدوده شاخص نرمال شده (Unitless)
بسیار پایین	$100 \leq TWRC < 1000$	$0 \leq X < 0.2$
پایین	$1000 \leq TWRC < 2000$	$0.2 \leq X < 0.4$
متوسط	$2000 \leq TWRC < 5000$	$0.4 \leq X < 0.6$
بالا	$5000 \leq TWRC < 10000$	$0.6 \leq X < 0.8$
بسیار بالا	$10000 \leq TWRC < 20000$	$0.8 \leq X < 1$

شدت برداشت آب: این شاخص نشان‌دهنده‌ی کل برداشت آب سالانه از منابع آب شیرین (آب سطحی و زیرزمینی) برای مصرف بشر (کشاورزی، صنعت و خانگی) نسبت به کل منابع آب تجدیدپذیر می‌باشد

جدول ۲- طبقه‌بندی شدت برداشت آب (ساطوح و همکاران ۲۰۱۷).

جدول ۲- طبقه‌بندی شدت برداشت آب (ساطوح و همکاران ۲۰۱۷)

طبقه	محدوده شاخص (Unitless)	محدوده شاخص نرمال شده (Unitless)
بسیار پایین	$0.1 \leq TWD/TWR < 0.05$	$0 \leq X < 0.2$
پایین	$0.05 \leq TWD/TWR < 0.15$	$0.2 \leq X < 0.4$
متوسط	$0.15 \leq TWD/TWR < 0.30$	$0.4 \leq X < 0.6$
بالا	$0.30 \leq TWD/TWR < 0.60$	$0.6 \leq X < 0.8$
بسیار بالا	$0.60 \leq TWD/TWR < 1.00$	$0.8 \leq X < 1$

تغییرپذیری رواناب ماهانه: این شاخص جهت بررسی ماه به ماه تغییرات دبی رودخانه‌ها بکار می‌رود. برای این منظور، ضریب تغییرات (نسبت انحراف استاندارد به میانگین) رواناب ماهانه در طی یک دوره زمانی (مثلا ۵

جدول ۳- طبقه‌بندی تغییرپذیری رواناب ماهانه (ساطوح و همکاران ۲۰۱۷).

طبقه	محدوده شاخص (%)	محدوده شاخص نرمال شده (Unitless)
بسیار پایین	$CVTWR < 30$	$0 \leq X < 0.2$
پایین	$30 \leq CVTWR < 60$	$0.2 \leq X < 0.4$
متوسط	$60 \leq CVTWR < 100$	$0.4 \leq X < 0.6$
بالا	$100 \leq CVTWR < 150$	$0.6 \leq X < 0.8$
بسیار بالا	$150 \leq CVTWR < 225$	$0.8 \leq X < 1$

درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت: اساسا مناطق مختلف جهت در امان ماندن از خشکسالی و افزایش عملکرد به کشت آبی روی می‌آورند. از این رو افزایش سهم اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت می‌تواند بیان‌گر تنش آبی موجود در منطقه باشد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲). لذا مقدار بالای این شاخص دارای تاثیر منفی بر اندازه شاخص امنیت آبی می‌باشد. این شاخص که به صورت درصد بیان می‌شود، از نسبت اراضی کشت آبی به کل زمین‌های زیر کشت محاسبه می‌گردد (وان‌تی و همکاران ۲۰۱۰). طبقه‌بندی شاخص درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت در جدول ۴ ارائه شده است.

باتوجه به این‌که در منابع و مراجع بین‌المللی برای شاخص درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت آستانه مشخصی ارائه نگردیده است، لذا مقادیر این شاخص در داخل کشور، به‌عنوان معیار طبقه‌بندی در نظر گرفته می‌شود. به این صورت که پس از محاسبه شاخص درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت برای تمام استان‌های کشور، در محیط GIS با استفاده از روش شکست‌های طبیعی^۱ در قسمت کلاس‌بندی، پنج طبقه برای شاخص تعریف می‌گردد. در این روش پس از تعیین تعداد طبقات، نرم افزار با یک الگوریتم محاسباتی، سعی در به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌ها در هر طبقه و به حداکثر رساندن اختلاف بین طبقات میکند.

۱ Natural Breaks (jenks)

جدول ۴- طبقه‌بندی درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت.

طبقه	محدوده شاخص (%)	محدوده شاخص نرمال شده (Unitless)
بسیار پایین	$13/09 \leq IL/CL < 28/71$	$0 \leq X < 0/2$
پایین	$28/71 \leq IL/CL < 42/78$	$0/2 \leq X < 0/4$
متوسط	$42/78 \leq IL/CL < 55/03$	$0/4 \leq X < 0/6$
بالا	$55/03 \leq IL/CL < 71/01$	$0/6 \leq X < 0/8$
بسیار بالا	$71/01 \leq IL/CL < 99/22$	$0/8 \leq X < 1$

محدوده ۰ تا ۱ نرمال‌سازی می‌شوند (رابطه ۲) (ساطوح و همکاران ۲۰۱۷).

$$X_i(V_i) = X_i(V_j) + \max(0, \min(1, \frac{V_i - V_j}{V_{j+1} - V_j}))(X_i(V_{j+1}) - X_i(V_j)) \quad [2]$$

سیاست‌گذاران را منعکس نسازد. از طرف دیگر عقاید مبتنی بر قضاوت‌های شخصی، بیش‌تر ذهنی بوده و در برخی موارد با خطاهایی همراه است (کورک و فورده ۲۰۱۳). از این رو برای اجتناب از این موارد با توجه به مطالعات ژانگ و همکاران (۲۰۱۲)، پاندی و همکاران (۲۰۱۱) و سالیوان و می (۲۰۰۳) وزن شاخص‌ها به طور یکسان در محاسبات لحاظ گردیده است.

آمار و اطلاعات مورد استفاده

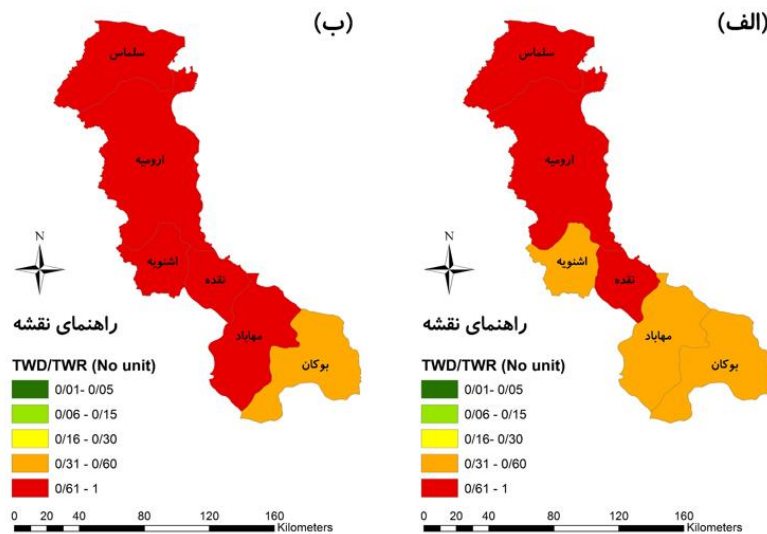
آمار و اطلاعات مورد نیاز در پژوهش حاضر از منابع آماری مختلفی جمع‌آوری شده است. پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر و تخلیه و مصارف آب در بخش‌های مختلف از مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع و مصارف آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه منتهی به سال آبی ۸۵-۸۶ و ۹۰-۸۹ (بی نام ۲۰۰۶b، بی نام ۲۰۱۱c)؛ دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری چهریق علیا (سلماس)، برده سور (ارومیه)، گدارچای (نقده)، پی قلعه (اشنویه)، بیطاس (مهاباد)، قزل گنبد (بوکان) از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی و اطلاعات جمعیتی و اراضی کشاورزی از سالنامه‌های آماری استان آذربایجان غربی ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ (بی نام ۲۰۰۶a، بی نام ۲۰۱۱b) گردآوری شده است.

مأخذ: یافته‌های تحقیق پس از محاسبه مقادیر شاخص‌های فوق‌الذکر، جهت سهولت در تفسیر وضعیت امنیت آبی، شاخص‌ها براساس مقادیر آستانه/مرجع در

در رابطه بالا، V_i : مقدار شاخص محاسبه شده است که در بازه $[V_j \text{ و } V_{j+1}]$ قرار دارد و X_i نرمال شده‌ی شاخص مذکور می‌باشد.

شاخص‌های شدت برداشت آب، تغییرپذیری رواناب ماهانه و درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت که ارتباط منفی با امنیت آبی دارند، پس از نرمال‌سازی، از واحد کسر و سپس در معادله امنیت آبی لحاظ می‌گردند.

درنهایت با استفاده از میانگین‌گیری وزنی از مقادیر نرمال شده شاخص‌ها، امتیاز امنیت منابع و مصارف آب حاصل می‌گردد. مناطق با امتیاز نزدیک به یک از امنیت آبی بالایی برخوردار بوده و هرچه مقدار این شاخص به صفر نزدیک گردد دستیابی به امنیت آبی در منطقه چالش‌برانگیزتر خواهد بود. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر وزن شاخص‌های یاد شده بر اساس پیشنهاد سالیوان و می (۲۰۰۳) یکسان در نظر گرفته شده است. آن‌ها معتقدند که با وجود این‌که می‌توان از روش‌های مختلف آماری و نظرات مبتنی بر قضاوت‌های شخصی استفاده نمود؛ اما این روش‌ها با محدودیت‌هایی نیز همراه هستند. روش‌ها آماری هدفمند و دقیق بوده اما ممکن است منافع تصمیم‌گیرندگان و



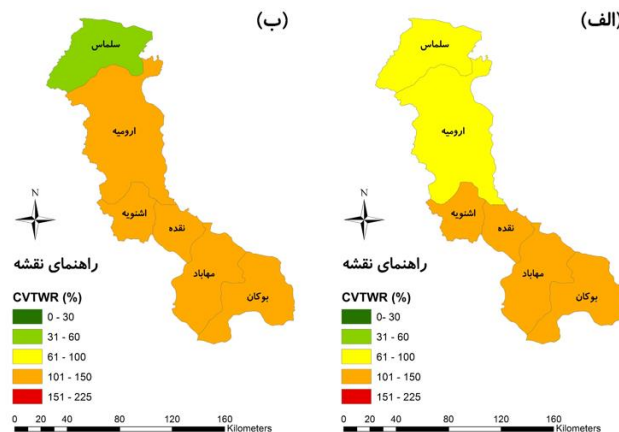
شکل ۳- نقشه شدت برداشت از منابع آب شیرین (سطحی و زیرزمینی) محدوده‌های غرب حوضه دریاچه ارومیه، الف- سال ۱۳۸۵، ب- سال ۱۳۹۵.

محدوده‌های نقده (۲/۰۵) و ارومیه (۱/۳۶) منابع آب تجدیدناپذیر مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. بر اساس نتایج، شدت برداشت آب در محدوده‌های نقده (۲/۰۵)، ارومیه (۱/۳۶)، سلماس (۰/۹۱)، اشنویه (۰/۷۳) و مهاباد (۰/۸۲) بسیار بالا و بحرانی و در محدوده بوکان (۰/۴۲) بالا ارزیابی گردید. بنابراین کل زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه با تنش آبی و کمبود آب تقاضامحور مواجه بوده است (شکل ۳-ب).

شاخص تغییرپذیری رواناب ماهانه

شاخص تغییرپذیری رواناب ماهانه با استفاده از آمار دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در هریک از محدوده‌های مطالعاتی محاسبه گردید. پهنه-بندی زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه با توجه به تغییرپذیری رواناب ماهانه در شکل ۴ آورده شده است.

در سال ۱۳۸۵ مقدار شاخص شدت برداشت آب در محدوده نقده (۱/۴) رقمی بیش از یک بوده که این امر نشان‌دهنده بهره‌برداری از منابع آب تجدیدناپذیر در این محدوده است. در مجموع مقدار شاخص شدت برداشت آب در محدوده‌های نقده (۱/۴)، سلماس (۰/۹۵) و ارومیه (۰/۷۱) که ۷۳ درصد از جمعیت غرب حوضه را در خود جای داده است بسیار بالا و بحرانی و در محدوده‌های بوکان (۰/۵۴)، مهاباد (۰/۴۴) و اشنویه (۰/۳۳) بالا ارزیابی گردید. بر اساس دسته‌بندی (وروسمارتی و همکاران ۲۰۰۵)، شدت برداشت آب بالای ۴۰ درصد نشان‌دهنده تنش آبی و کمبود آب تقاضامحور است. بنابراین حدود ۹۶ درصد از جمعیت غرب حوضه با کمبود آب تقاضامحور مواجه بوده است (شکل ۳-الف). در سال ۱۳۹۰ مقدار تخلیه و برداشت آب نسبت به پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر در محدوده‌های مورد مطالعه افزایش یافته است به طوری که در



شکل ۴- نقشه تغییرپذیری رواناب ماهانه محدوده‌های غرب حوضه دریاچه ارومیه، الف- سال ۱۳۸۵، ب- سال ۱۳۹۵.

شاخص، از سالنامه‌های آماری استان استخراج گردید. با توجه به این‌که سرشماری عمومی کشاورزی با فاصله ۱۱ سال (۱۳۸۲-۱۳۹۳) صورت گرفته است، لذا در سالنامه‌های آماری سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ اطلاعات مربوط به سرشماری سال ۱۳۸۲ منظور شده است. بنابراین مقدار این شاخص در بازه‌های زمانی مورد مطالعه یکسان است. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت به ترتیب مربوط به محدوده‌های اشنویه و بوکان است. مقدار این شاخص بر اساس معیار کشوری در محدوده‌های سلماس (۴۶/۱٪)، ارومیه (۴۷/۹۴٪)، نقده (۴۳/۵۴٪) و اشنویه (۵۳/۳۴٪) متوسط؛ در مهاباد (۳۴/۲۶٪) پایین و در بوکان (۲۳/۱۱٪) بسیار پایین ارزیابی شده است. به عقیده (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲) افزایش سهم اراضی زیر کشت آبی از کل اراضی قابل کشت می‌تواند بیانگر تنش آبی موجود در منطقه باشد، بنابراین حدود ۶۷ درصد از مساحت غرب حوضه با تنش آبی مواجه بوده است (شکل ۵).

در سال ۱۳۸۵، مقدار شاخص تغییرپذیری رواناب ماهانه برای محدوده‌های نقده (۱۳۰/۸۷٪)، مهاباد (۱۱۶/۸۹٪)، بوکان (۱۱۵/۴۱٪) و اشنویه (۱۱۴/۵۵٪) که ۵۰ درصد از مساحت غرب حوضه را تشکیل می‌دهند بالا و برای محدوده‌های سلماس (۷۰/۹۱٪) و ارومیه (۹۹/۶۱٪) متوسط بدست آمده است. (شکل ۴-الف). در سال ۱۳۹۰ مقدار این شاخص در محدوده سلماس (۵۷/۰۵٪) پایین و در محدوده‌های ارومیه (۱۰۴/۵۱٪)، اشنویه (۱۰۸/۴۶٪)، بوکان (۱۲۶/۷۶٪)، مهاباد (۱۲۸/۰۴٪) و نقده (۱۳۱/۹۴٪) که ۸۴ درصد از مساحت غرب حوضه را شامل می‌شوند بالا ارزیابی شده است که این امر نشان‌گر بالا بودن سطح مورد نیاز سرمایه‌گذاری‌های زیربنایی جهت مدیریت ماه به ماه تغییرات منابع آب در این زیرحوضه است (شکل ۴-ب).

شاخص درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت

اطلاعات مربوط به مساحت اراضی زیر کشت آبی و کل زمین‌های زیر کشت جهت محاسبه این



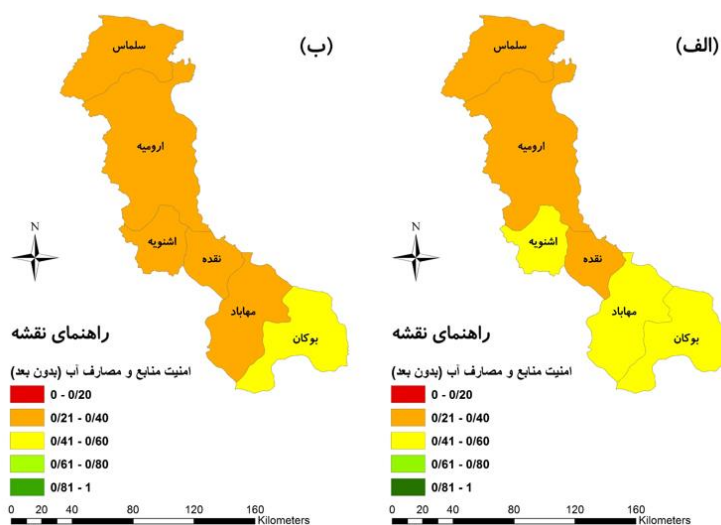
شکل ۵- نقشه درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت محدوده‌های غرب حوضه دریاچه ارومیه.

۵). پهنه‌بندی امنیت منابع و مصارف آب زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه در شکل ۶، قابل مشاهده است. هرچه امتیاز امنیت آب به عدد یک نزدیک‌تر باشد، آن محدوده در وضعیت بهتری قرار دارد و بالعکس.

در نهایت با توجه به رویکرد شرح داده شده، پس از محاسبه شاخص‌های یاد شده و میانگین‌گیری وزنی از مقادیر نرمال شده (بین ۰ تا ۱) این شاخص‌ها، امتیاز امنیت منابع و مصارف آب محاسبه گردید (جدول

جدول ۵- امتیاز امنیت منابع و مصارف آب در محدوده‌های غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه (اعداد جدول بدون واحد هستند).

محدوده	کل سرانه منابع آب تجدید پذیر		شدت برداشت آب		تغییرپذیری رواناب ماهانه		درصد اراضی کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت		امنیت منابع و مصارف آب	
	۱۳۹۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۸۵
سلماس	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۳۸	۰/۳۸
ارومیه	۰/۱۵	۰/۳۷	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۳۸	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۳۶	۰/۲۶
نقده	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۲۷	۰/۲۶
اشنویه	۰/۵۲	۰/۶۹	۰/۱۳	۰/۴۰	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۳۶
مهاباد	۰/۲۷	۰/۳۸	۰/۰۹	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۴۳	۰/۳۴
بوکان	۰/۳۳	۰/۴۰	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۴۶	۰/۴۵
غرب حوضه	۰/۲۳	۰/۴۰	۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۴۰	۰/۳۲



شکل ۶- نقشه امنیت منابع و مصارف آب محدوده‌های غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه الف- سال ۱۳۸۵، ب- سال ۱۳۹۵.

به کل زمین‌های زیر کشت و همچنین مصرف آب پایین نسبت به منابع آب تجدیدپذیر در این محدوده نسبت داد. در سال ۱۳۹۰ شدت برداشت آب در محدوده مهاباد ۷۰٪ افزایش پیدا کرده است که به سبب این امر امتیاز امنیت آبی در این محدوده ۲۰٪ کاهش پیدا کرده و در رتبه چهارم قرار دارد. بر اساس نتایج بدست آمده، محدوده سلماس به دلیل شدت برداشت بالای آب در سال ۱۳۸۵، از امنیت آبی ضعیفی برخوردار بوده و در جایگاه پنجم قرار دارد. اما در سال ۱۳۹۰ امتیاز امنیت آبی در این محدوده از رتبه پنجم (در سال ۱۳۸۵) به رتبه دوم رسیده که با افزایش چشم‌گیری همراه بوده است. در اکتساب این نتیجه نقش شاخص‌های شدت برداشت آب (۳۳٪ کاهش) و ضریب تغییرات رواناب ماهانه (۱۲٪ کاهش) بسیار برجسته بوده است. محدوده‌های ارومیه و نقده کم‌ترین امتیاز امنیت منابع و مصارف آب را در بازه‌های زمانی مورد مطالعه کسب کرده‌اند و به ترتیب در جایگاه‌های پنجم و ششم قرار دارند. علت این امر، وضعیت بحرانی شاخص شدت برداشت آب در این محدوده‌ها بوده است. نتایج جدول ۵ نشان داد که زیر حوضه غربی دریاچه ارومیه با کسب امتیاز ۰/۴ و ۰/۳۲ برای سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰، در کلاس کیفی متوسط و ضعیف از منظر امنیت آبی

با توجه به جدول ۵، هیچ یک از محدوده‌های مطالعاتی زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه از امنیت آبی بسیار بالا و یا حتی بالا برخوردار نیستند. محدوده امتیاز امنیت منابع و مصارف آب در زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه و محدوده‌های مطالعاتی، بین ۰/۲ تا ۰/۶ (ضعیف و متوسط) بدست آمده است. بیش‌ترین و کم‌ترین امتیاز امنیت آبی به ترتیب مربوط به بوکان و نقده ارزیابی گردید. محدوده بوکان به سبب داشتن کم‌ترین سطح کشت آبی از کل اراضی زیر کشت (۲۳٪) و همچنین شدت مصرف آب پایین (رتبه سوم در سال ۱۳۸۵ و رتبه اول در سال ۱۳۹۰) نسبت به محدوده‌های دیگر، بیش‌ترین امتیاز امنیت آبی را کسب کرده و در رتبه نخست قرار دارد. محدوده اشنویه با توجه به وضعیت مناسب از لحاظ دسترسی به آب و مصرف و تخلیه آب کم‌تر نسبت به منابع آب تجدیدپذیر (در سال ۱۳۸۵)، حائز رتبه دوم می‌باشد. بر عکس در سال ۱۳۹۰ به دلیل افزایش شدت برداشت آب (۳۳٪) در این محدوده، امتیاز امنیت آبی ۲۲٪ کاهش یافته و در جایگاه سوم قرار گرفته است. نتایج محاسبه امنیت منابع و مصارف آب نشان می‌دهد که محدوده مهاباد با کسب امتیاز ۰/۴۶ در سال ۱۳۸۵ حائز رتبه سوم است. این نتیجه را می‌توان به سطح اراضی کشت آبی پایین نسبت

قرار دارد. ارتباط مثبت میان شاخص‌های سرانه منابع آب تجدیدپذیر و شدت برداشت آب در پژوهش حاضر با مطالعه‌های وان‌تی و همکاران (۲۰۱۰) در ویتنام و ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) در چین مطابقت دارد. از این رو به نظر می‌رسد که محدوده‌های غربی دریاچه ارومیه اصول صرفه‌جویی در مصرف آب را مد نظر قرار نمی‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر وضعیت امنیت آبی زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه از بعد منابع و مصارف آب مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نتایج، محدوده‌های غربی حوضه دریاچه ارومیه از لحاظ وضعیت امنیت منابع و مصارف آب دارای شرایط نسبتاً مشابه و در طبقه کیفی متوسط و ضعیف قرار دارند. این امر نشان از نیاز بالای حوضه به انجام سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی و زیربنایی و افزایش ظرفیت‌های نهادی حوضه جهت مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب است که نیاز به توجه برنامه‌ریزان و مسولین بخش آب را نمایان می‌سازد. با توجه به وضعیت

منابع مورد استفاده

- Anonymous, 2000. Towards Water Security: A Framework for Action. Global Water Partnership (GWP). Stockholm, Sweden. 12p.
- Anonymous, 2003. Review of World Water Resources by Country. FAO Water Reports No. 23, 127p. FAO, Rome.
- Anonymous, 2006a. Statistical Yearbook of West Azerbaijan Province. Statistical Center of Iran (In Persian).
- Anonymous, 2006b. The National Water Master Plan Study in the Aras, Sefidrood, between Sefidrood and Haraz, Atrac and Urmia Basins. Ministry of Energy. Iran (In Persian). 82p.
- Anonymous, 2011a. Better Policies for Development: Recommendations for Policy Coherence. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 80p.
- Anonymous, 2011b. Statistical Yearbook of West Azerbaijan Province. Statistical Center of Iran (In Persian).
- Anonymous, 2011c. The Water Master Plan Study in the Urmia Lake Basin. Ministry of Energy. Iran (In Persian). 125p.
- Anonymous, 2012. Coping with Water Scarcity An Action Framework for Agriculture and Food Security. FAO Water Reports No. 38, 100p. FAO, Rome.
- Anonymous, 2013. Water Security for Better Lives. Organisation for Economic co-operation and Development (OECD). 16p.
- Arabi Yazdi A, Nik Nia N, Majidi N and Emami H, 2015. Water security assessment in arid climates based on water footprint concept (case study: South Khorasan province). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 8(4): 735-746 (In Persian with English abstract).

بحرانی زیرحوضه غربی دریاچه ارومیه در بعد منابع و مصارف، توصیه می‌گردد تا دولت با استفاده از تجهیزات و امکانات کنترلی بر میزان مصرف منابع محدود آبی نظارت نماید. انجام این مورد در بخش کشاورزی که مصرف‌کننده‌ی بیش از ۹۰ درصد منابع آب حوضه می‌باشد، بسیار حائز اهمیت است. به کارگیری سیاست‌های حمایتی از پروژه‌های تأمین و انتقال منابع آب، استفاده از فناوری‌های نوین و روش‌های پیشرفته‌ی آبیاری، تدوین الگوی کشت آب‌اندوز و ترویج صرفه‌جویی در مصرف آب در راستای برقراری مدیریت یکپارچه منابع آب بسیار ضروری است. استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی، یک برآورد کلی از وجود چالش‌های آبی در حوضه را ارائه می‌نماید. به منظور بررسی‌های دقیق‌تر و شناسایی چالش‌ها، نیاز به انجام مطالعات عمیق‌تر است. همچنین باتوجه به اهمیت محیط اقتصادی و همچنین محیط آینده در ارزیابی وضعیت امنیت آبی، پیشنهاد می‌گردد، بررسی‌های اقتصادی و هیدرولوژیکی برای آینده حوضه نیز انجام پذیرد.

- Babel M and Shinde V, 2018. A framework for water security assessment at basin scale. *APN Science Bulletin* 8(1): 27–32.
- Chaves HML and Alipaz S, 2007. An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index. *Water Resources Management* 21(5): 883-895.
- Falkenmark M, Lundqvist J and Widstrand C, 1989. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. *Natural Resources Forum* 13(4): 258–267.
- Gain AK, Giupponi C and Wada Y, 2016. Measuring global water security towards sustainable development goals. *Environmental Research Letters* 11(12): 124015.
- Jemmali H and Matoussi MS, 2013. A multidimensional analysis of water poverty at local scale: application of improved water poverty index for Tunisia. *Water Policy* 15(1): 98-115.
- Jonsson AC and Wilk J, 2014. Opening up the water poverty index—Co-producing knowledge on the capacity for community water management using the water prosperity index. *Society and Natural Resources* 27(3): 265-280.
- Korc ME and Ford PB, 2013. Application of the water poverty index in border colonias of west Texas. *Water Policy* 15(1): 79-97.
- López Álvarez B, Santacruz De León G, Ramos Leal JA and Morán Ramírez J, 2015. Water poverty index in subtropical zones: the case of Huasteca Potosina, Mexico. *Revista Internacionales De Contaminación Ambiental* 31(2): 173-184.
- Ma H, Liu L and Chen T, 2010. Water security assessment in Haihe River Basin using principal component analysis based on Kendall τ . *Environmental Monitoring and Assessment* 163(1-4): 539-544.
- Namazi Shishavan A, Saei A, Malekmohammadi HR and Zibakalam Mofrad S, 2018. Water, security (case study: Lake Urmia). *Political Studies* 11(41): 69-98.
- Norman ES, Dunn G, Bakker K, Allen DM and De Albuquerque RC, 2013. Water security assessment: integrating governance and freshwater indicators. *Water Resources Management* 27(2): 535-551.
- Pan YH, Gu CJ, Ma JZ, Zhang TS and Zhang H, 2014. Water poverty index in the Inland River Basins of Hexi Corridor, Gansu province. *Advanced Materials Research* 864: 2371-2375.
- Pandey VP, Babel MS, Shrestha S and Kazama F (2011) A framework to assess adaptive capacity of the water resources system in Nepalese river basins. *Ecological Indicators* 11(2): 480-488.
- Satoh Y, Kahil T, Byers E, Burek P, Fischer G, Tramberend S, Greve P, Florke M, Eisner S, Hanasaki N, Magnuszewski P, Nava LF, Cosgrove W, Langan S and Wada Y, 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.
- Shao D, Yang F, Xiao C and Tan X, 2012. Evaluation of water security: an integrated approach applied in Wuhan urban agglomeration, China. *Water Science and Technology* 66(1): 79-87.
- Sullivan C and Meigh J, 2003. Considering the water poverty index in the context of poverty alleviation. *Water Policy* 5(5): 513-528.
- Van Ty T, Sunada K, Ichikawa Y and Oishi S, 2010. Evaluation of the state of water resources using modified water poverty index: a case study in the Srepok river basin, Vietnam–Cambodia. *International Journal of River Basin Management* 8(3-4): 305-317.
- Vörösmarty CJ, Leveque C and Revenga C, 2005. Fresh Water. Pp. 165-207. In: *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1. Island Press.
- 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.
- Zhang R, Duan Z, Tan M and Chen X, 2012. The assessment of water stress with the Water Poverty Index in the Shiyang River Basin in China. *Environmental Earth Sciences* 67(7): 2155-2160.