**Research Paper**

# Evaluation of Iran's Water-Energy-Food Nexus Index Comparing Other Countries

**Mohammad Reza Goodarzi [1*], Atiyeh Fatehifar [2]**

[1] Associate Professor, Department of Water, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran. (goodarzimr@yazd.ac.ir)
[2] Ph.D. student of Engineering and Water Resource Management, Department of Water, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran. (atiyeh_fatehi@yahoo.com)

10.22125/IWE.2023.173288

Received:
**October 17, 2021**
Accepted:
**March 14, 2022**
Available online:
**June 25, 2023**

**Keywords:**
**Water-Energy-Food, Nexus, Holistic thinking, Co-management**

## Abstract

Water-centric thinking in water resources management and recognizing water as a purely economic commodity can create many challenges in a country's policies. But a holistic view, such as the Water-Energy-Food Nexus, sheds light on the multicentric nature of water resources management, and that consider each as a security commodity, not a purely economic one. The nexus approach pays equal attention to the security of all three parts and their interaction. Therefore, in this study, using the global database and global projects conducted to estimate the Nexus index, the results of Iran's output and position among 170 registered countries were analyzed. Also, the criteria are ranked by a Water-centric perspective using Analytical Hierarchy process (AHP) and compared with project weights. Iran ranks 84th in the global nexus index, with the energy sector ranking 49th and the highest among other water and food sectors. According to studies, Iran is in the middle position, but some neighboring countries such as Turkey and the UAE are in the 54th and 52nd positions. Weight prioritization also showed that the water-centric perspective can underestimate the effect of important indicators.

## 1. Introduction

Iran is one of the countries facing a serious water problem. Rapid population growth, urban migration and urban development, inadequate water distribution infrastructure, declining water quality, inefficient agriculture, increasing water demand, over-development of dams, over-digging of illegal wells, drought, floods, climate change, sanctions and economic instability are Iran's water problem (Madani et al., 2016). Water-centric thinking in water resources management and recognizing water as a purely economic commodity can create many challenges in a country's policies. In general, 71% of the available fresh water resources and 30% of the energy produced globally are used in agriculture (Mohtar, 2012). One third of all globally produced food is wasted (IRENA, 2015). 15% of the world's fresh water is used in energy production (Yuan et al., 2016). Thus, a holistic view, such as the Water-

[*] **Corresponding Author:** Mohammad Reza Goodarzi
**Address:** Department of Civil Engineering, Yazd University, Iran.
**Email:** goodarzimr@yazd.ac.ir
**Tel:** 31233953

Energy-Food Nexus, sheds light on the multicentric nature of water resources management, and that consider each as a security commodity, not a purely economic one.

## 2. Materials and Methods

In this study, using data from the World Bank, the Food and Agriculture Organization (FAO) and the Water Research Commission (WRC) project (project number: K5 / 2959), with the participation of the National Research Foundation of South Africa the and Ministry of Foreign Affairs of the Netherlands through the WEF-Tools project analyzes Iran's position in this ranking. However, the purpose of this article is to extract and study this index in order to get an overview of the situation of the country from the perspective of the correlation index compared to other countries in global research and information. This hybrid index in the WRC project consists of linking three resource sectors, namely water, energy and food, as pillar/ sub-pillar. The indicators used in this project consist of three pillar, six sub-pillar and 21 indicators: seven indicators related to water, six indicators related to energy and eight indicators related to food. The weight of the pillars, the "sub-pillar" of water, energy and food, is equal, because it is the basic philosophy of the WEF nexus and its multicenter perspective. By providing equal weight across the three columns, it is implicitly stated that SDGs 2, 6, and 7 are equally important. The weight of main pillars is 0.333 and the sub-pillars of each are 0.167, which are divided among 21 indicators. The interpretation of the index results is typically calculated as follows:

$$\text{Index} = A1X1 + A2X2 + A3X3 + \ldots + ApXp \quad (1)$$

Where the Ai is the weight to be determined from the data and Xi is the appropriate subset of the "p" variables (WRC Report, 2020).

Then, using Analytic Hierarchy Process (AHP) with Expert Choice 11 software, the indicators were prioritized with a water-centric approach. For this purpose, the questionnaire of pairwise comparisons of indicators was completed by several experts.

## 3. Results

The value of the WEF Nexus index for Iran in this project is 54.9 and puts the country in 84th place for the evaluated countries. The value of Iran is 54.5 for the water pillar, 60.5 for the energy pillar and 49.6 for the food pillar. Energy in Iran is generally in a better position. Therefore, Iran's potential in the energy sector and on the other hand, development and investment in clean energy can affect two other indicators. So that when electricity is available, water can be pumped, treating water or desalinated and used for irrigation.

According to the information extracted from the FAO, the share of Iran's water consumption in the agricultural sector is about 92%, the industrial sector is 2% and the domestic sector is about 6%. The value of water index is 54.5th and it ranks 94th among 170 countries.

Iran uses about 93% of its fossil fuels to generate electricity (World Bank). High dependence on fossil fuels and power generation leads to more virtual water footprints. Although water consumption in the industrial sector accounts for only 2% and is effective at 31.68% of GDP, it has more virtual water footprints. According to Iranian news reports in 1396, the industry had a share of electricity consumption of about 33%, which is almost equal to the percentage of household electricity consumption (32.7%). In the case of water, although agriculture has the largest share, in the energy sector it has only a 16% share in electricity consumption (Niroo News, 1397). The important point is virtual water in electricity generation. In fact, the water, energy and food nexus examine these issues simultaneously and can be well considered in the root causes of water problems. To evaluate the effectiveness of water consumption in the agricultural sector, the GDP index and the share of agriculture in this index were used. According to the recorded agricultural data, only 12.18% in 2019 had a share in GDP, which indicates the low efficiency of water consumption compared to agricultural production.

## 4. Discussion and Conclusion

Also, comparing the weight of the criteria with the multicenter approach and AHP analysis showed that water-centric thinking ignores some essential parameters and it weakens the analysis. Therefore, according to the results, in nexus analysis, although the multicenter approach is better because each of these three parts are inseparable, in the sub-index analysis, it is better to use hierarchical methods to prioritize the indicators for a more realistic analysis.

## 5. Six important references

1) IRENA. 2015. Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus. International Renewable Energy Agency.
2) Madani, K., AghaKouchak, A. and A. Mirchi. 2016. Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation. Iranian Studies, 49(6): 997–1016.
3) Mohtar, R.H. and B. Daher. 2012. Water, Energy, and Food: The Ultimate Nexus. Second Edition edition. Taylor & Francis.
4) World Bank. 2018. Indicators. Data. url: http://data.worldbank.org/indicator/, Date accessed: 1 March
5) WRC Report, 2020, Development of Water-Energy-Food Nexus Index and Its Application to South Africa and the Southern African Development Community, No. 2959/1/19, ISBN No 978-0-6392-0113-9
6) Yuan, C., L. Guijun, Y. Yuan, Z. Lixiao and Y. Chang. 2016. Quantifying the Water-Energy-Food Nexus: Current Status and Trends. Energies (19961073) 9(2):1-17. doi: 10.3390/en9020065

**Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

# تحلیل نتایج جهانی جایگاه شاخص همبست آب، انرژی، غذا ایران در میان سایر کشورها

محمد رضا گودرزی[۱*]، آتیه فاتحی‌فر[۲]

تاریخ ارسال:۱۴۰۰/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۲/۲۳

مقاله پژوهشی

## چکیده

تفکر آب محوری در مدیریت منابع آبی و شناخت آب به عنوان یک کالای صرفا اقتصادی، می‌تواند چالش‌های زیادی را در سیاست گذاری‌های یک کشور ایجاد کند. اما دیدگاه کل‌گرایانه مانند همبست آب، انرژی و غذا (WEF Nexus) ماهیت چندمرکزی مدیریت منابع آب را روشن می‌کند و هر یک را به عنوان یک کالای امنیتی نه صرفا اقتصادی در نظر می‌گیرد. رویکرد همبست به طور توامان به امنیت هر سه بخش و اثر متقابل آن‌ها توجه دارد. از اینرو در این پژوهش با استفاده از اطلاعات بانک جهانی و پروژه‌های جهانی انجام شده برای برآورد شاخص همبست، به بررسی و تحلیل نتایج خروجی‌ها و جایگاه ایران در میان ۱۷۰ کشور ثبت شده پرداخته شد. همچنین با دیدگاه آب محوری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) معیارها اولویت بندی شده و با وزن‌های پروژه مقایسه شده است. طبق خروجی‌ها ایران در شاخص همبست جهانی جایگاه ۸۴ امین کشور را دارد اما در بخش انرژی با رتبه ۴۹ بیشترین رتبه در میان سایر بخش‌های آب و غذا را دارد. جایگاه نهایی برخی از کشورهای همسایه مانند ترکیه و امارات بالاتر، ۵۴ و ۵۲ می‌باشد. همچنین اولویت‌بندی وزن‌ها نشان داد دیدگاه آب محوری می‌تواند اثر شاخص‌های مهم را کمتر برآورد کند.

**واژه‌های کلیدی: آب-انرژی-غذا، همبست، تفکر کل گرایانه، مدیریت توامان**

۱ دانشیار، گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، ایران، goodarzimr@yazd.ac.ir (نویسنده مسئول)
۲ دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، ایران، atiyeh_fatehi@yahoo.com

## مقدمه

قبل از انقلاب صنعتی، جمعیت جهان از نظر تعداد عمدتا روستایی و پایدار بود که در سال ۱۶۵۰ حدود ۴۷۰ میلیون نفر تخمین زده شد. پس از انقلاب صنعتی، جمعیت جهان در سال ۱۸۵۰ به بیش از یک میلیارد نفر، در سال ۱۹۰۰ تقریباً ۱.۵ میلیارد نفر افزایش یافت و در سال ۱۹۵۰ از ۲.۴ میلیارد نفر فراتر رفت (سازمان ملل، ۱۹۵۱). در سال ۲۰۰۵ جمعیت جهانی به ۶.۵ میلیارد نفر رسید (Bongaarts, 2009)، و در سال ۲۰۲۰ به ۷.۹ میلیارد نفر رسیده است.

اگرچه تقاضای رو به رشد جوامع پیشرو است اما با رویکرد همبست آب انرژی و غذا (WEF[1]) که از سال ۲۰۱۱ به عنوان لنزی برای ارزیابی مدیریت یکپارچه منابع و توسعه پایدار مورد توجه قرار گرفت، می‌توان پاسخی برای مدیریت درست تقاضای فزاینده داشت. رویکرد همبست WEF پس از کنفرانس Bonn 2011 و انتشار مجله امنیت جهانی در مجمع جهانی اقتصاد[2] برجسته شد (Hoff, 2011).

به طور کلی ۷۱ درصد از منابع آب شیرین موجود و ۳۰ درصد از انرژی تولید شده در سطح جهانی در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mohtar, 2012). یک سوم تمام غذاهایی که در سطح جهانی تولید می‌شوند هدر می‌روند (IRENA, 2015). ۱۵ درصد از آب شیرین جهان در تولید انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Yuan et al., 2016). در حالی که ۱۴ درصد از آب برای اهداف داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ۱ ٪ از تمام مواد غذایی تولید شده در بخش انرژی زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ۸ ٪ از کل انرژی تولید شده برای پمپاژ و تصفیه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱)، در حالی که کل برداشت‌های صنعتی برای ۱۶ ٪ از تقاضای جهانی آب در نظر گرفته می‌شود (World Economic Forum, 2011).

این درصدها وابستگی متقابل عمیق بخش‌های تشکیل‌دهنده در پیکربندی این پیوند را نشان می‌دهد. نه تنها وابستگی‌های ریشه‌ای عمیقی بین سه بخش منابع در رابطه WEF وجود دارد، بلکه پیش بینی می‌شود تقاضا برای هر یک از این‌ها در دهه‌های قریب الوقوع همچنان افزایش یابد. شورای اطلاعات ملی (۲۰۱۲) پیش بینی کرد که تقاضای جهانی برای آب، انرژی و مواد غذایی در سال ۲۰۳۰ به ترتیب تقریباً ۴۰، ۵۰ و ۳۵ درصد رشد کند. کمبود آب در نتیجه تغییر اقلیم، که برای مناطقی مانند آفریقای جنوبی پیش‌بینی می‌شود، تولید مواد غذایی (و قیمت‌ها) و تولید انرژی (به ویژه در کشورهایی که به شدت به تولید برق آبی وابسته هستند) را تهدید می‌کند (National Intelligence Council, 2012; Scholes et al., 2015).

بدلیل شرایط جغرافیایی و آسیب‌های ناشی از توسعه صنعتی و اقتصادی، ایران در مرکز بروز چالش‌های سه گانه آب، انرژی و اقلیم قرار گرفته است. میزان بارش‌های جوی از میانگین جهانی کمتر بوده و عمدتاً بین ۲۰۰ تا ۲۶۰ میلی‌متر در سال بارش وجود دارد که البته انحراف میانگین در برخی سال‌ها قابل توجه است. علیرغم بارش کم، شدت مصرف آب هم در بخش‌های رفاهی (خانگی) و هم بخش‌های مولد (کشاورزی، خدمات و صنعت) بالاتر از دیگر کشورها می‌باشد. نمودار شکل ۲ میزان این مصرف آب در ایران و برخی کشورهای بزرگ و همسایگان را نشان می‌دهد که گویای این مسئله است. ایران از جمله کشورهایی است که با مشکل جدی آب مواجه است. رشد سریع جمعیت، مهاجرت به شهرها و توسعه شهرنشینی، زیرساخت‌های ناکافی توزیع آب، افت کیفیت آب، کشاورزی ناکارآمد، رویای خودکفایی در تامین مواد غذایی، افزایش تقاضای آب، توسعه بیش از اندازه سد سازی، حفر بیش از اندازه چاه‌های غیر مجاز، خشکسالی، سیل، تغییر اقلیم، تحریم‌ها و بی‌ثباتی اقتصادی، ساختار نامناسب حکمرانی آب از جمله مشکلات ایران در زمینه آب محسوب می‌شود (Madani et al., 2016). مدیریت افزایش تقاضا برای آب، انرژی و غذا در ایران نیز نیازمند ایجاد تعادل بین اجزا مختلف اصلی تشکیل دهنده زیست بوم‌ها در قالب رویکرد همبست آب-

[1] water-energy-food nexus

[2] World Economic Forum, 2011

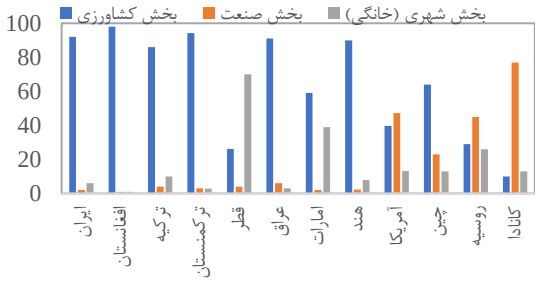
انرژی-غذا می‌باشد. پژوهش های زیادی در رابطه با همبست آب-انرژی-غذا صورت گرفته است (Biggs et al., 2015; Jalilov et al., 2016; White et al., 2018; Daher et al., 2019). اما محاسبه یک شاخص برای کمیت سنجی را میتوان در تعداد محدودی از تحقیقات یافت. El-Gafy, 2017 شاخص همبست آب – غذا – انرژی (WFENI) و تجزیه و تحلیل سیستم تولید ۴۲ محصول را در سطح ملی کشور مصر، از طریق شاخص‌هایی با در نظر گرفتن مصرف آب و انرژی، بهره‌وری محصول و بهره‌وری اقتصادی را ارزیابی کردند. در این مطالعه شاخص بدست آمده بر اساس عملکرد محصولی خاص می‌باشد. مثلا محصولات تابستانی مصر دارای امتیازهایی است که از ۰.۲۱ تا ۰.۷۹ متغیر است. در مقایسه با پیاز (بالاترین امتیاز WFENI، یعنی بهترین امتیاز)، برنج دارای کمترین WFENI در بین محصولات غذایی تابستانی است. WFENI را می‌توان برای استراتژی‌های توسعه یافته برای الگوی کشت بهینه که مصرف آب و انرژی را به حداقل می رساند و بهره‌وری آنها را به حداکثر می‌رساند، اعمال کرد. می‌توان از آن به عنوان ابزاری جامع برای ارزیابی پیشرفت در راهبردهای ملی آب و کشاورزی استفاده کرد. به طور مشابه Norouzi, 2022 در ایران کاری مشابه با همین رویکرد انجام داده است با این تفاوت که شاخص بهره‌وری اقتصادی همبست آب-انرژی غذا را برای ایران محاسبه کرده است. این شاخص‌های بهره‌وری انرژی و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی (تولید مواد غذایی) بر اساس روش Max-Maine نرمال شده است. در نهایت شاخص بهره وری اقتصادی تجمعی همبست در سال‌های مختلف بررسی می‌شود.

همان طور که مشهود است پژوهش‌های صورت گرفته شاخصی را برای تولید غذا و بهره‌وری ارائه می‌دهند و تنها برای مقیاس کشوری هستند نه جهانی. اما تنها یک پروژه مشابه با بررسی حاضر پروژه‌ی کمیسیون تحقیقات آب[1] (WRC)، در مقیاس جهانی در سال ۲۰۱۶ با عنوان توسعه شاخص امنیت غذا-انرژی-آب Pardee RAND با تنها ۱۰ عامل انجام شده است (Willis et al.,2016). این پروژه نیز هر دوستون دسترسی و قابلیت دسترسی برای هر سه پارامتر را دارد، اما زیر معیارها محدودتر است در مقایسه با پروژه‌ی کمیسیون تحقیقات آب، که ۲۱ زیر معیار دارد. از اینرو به دلیل جامع بودن این روش و فاکتورهای مورد بررسی این پروژه مبنای کار قرار گرفته است.

در این پژوهش نه تنها با استفاده از پروژه‌ی کمیسیون تحقیقات آب (WRC) (شماره پروژه: K5 / 2959)، با مشارکت بنیاد تحقیقات ملی[2] آفریقای جنوبی و وزارت امور خارجه هلند از طریق پروژه ابزارهای WEF[3]، بلکه اطلاعات و داده‌های بانک جهانی، سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO[4]) به تجزیه و تحلیل جایگاه ایران در این رتبه بندی و مقایسه آن با برخی کشورها پرداخته شده است. در این گزارش، پس‌زمینه رابطه WEF ارائه شده‌است. چارچوب پیوند انسانی WEF، که شامل اهداف توسعه پایدار (SDG[5]) ۲، ۶ و ۷ است، برای هدایت ساخت شاخص ترکیبی طراحی شده‌است. اما هدف این مقاله استخراج و بررسی این شاخص است تا دید کلی از وضعیت کشور از منظر شاخص همبست نسبت به سایر کشورها در تحقیقات و اطلاعات‌های جهانی بدست بیاید. همچنین در این پژوهش وزن‌های اختصاص داده شده به پروژه WRC، با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با رویکرد آب محوری مقایسه شده است تا درک بهتری از اهمیت ارزش شاخص‌ها را در این جایگاه نشان دهد.

**شکل (۱): وابستگی‌های متقابل منابع**

[1] Water Research Commission
[2] National Research Foundation
[3] https://www.wefnexusindex.org/
[4] Food and Agriculture Organization of the United Nations
[5] Sustainable Development Goals




**شکل(۲): توزیع درصد مصرف آب به تفکیک بخش های مصرفی در برخی کشورهای جهان (فائو ۲۰۲۲-۲۰۱۸)**

## مواد و روش ها

### معرفی همبست آب-انرژی-غذا

کلمه nexus به معنای "اتصال، پیوند، همبست" است (De Laurentiis et al., 2016). مطالعه یک پیوند - مانند همبست WEF - اجزای منفرد سیستم، تعاملات و پیوندهای آن‌ها و همچنین هم افزایی و داد و ستدهای موجود بین آن‌ها را ارزیابی می‌کند. این فعل و انفعالات شامل آب برای غذا (به عنوان مثال آبیاری) و آب برای انرژی (به عنوان مثال خنک سازی در نیروگاه)، انرژی برای آب (به عنوان مثال پمپاژ و تصفیه آب) و انرژی برای غذا (به عنوان مثال شخم زدن زمین یا حمل محصولات کشاورزی) و غذا برای انرژی (به عنوان مثال انرژی زیستی). برنامه ارزیابی آب سازمان ملل متحد (۲۰۱۴) توضیح می‌دهد که "برای اطمینان از در نظر گرفتن سود و منافع مشترک و تأمین ضمانت‌های مناسب، یک رویکرد پیوندی برای مدیریت بخشی از طریق گفتگو، همکاری و هماهنگی پیشرفته مورد نیاز است (UN World Water Assessment Programme, 2014). دلایل استفاده از رویکرد پیوند WEF این است که چند مرکزی است و با هر بخش با اهمیت و ارزش برابر رفتار می‌شود. دلیل دیگر دنبال کردن همبست WEF این است که به عنوان مکانیزمی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار (SDGs) مربوط به بخش‌های SDGs 2 (گرسنگی صفر)، ۶ (آب تمیز و بهداشتی) و ۷ (انرژی مقرون به صرفه و پاک) در نظر گرفته می‌شود (WRC Report, 2020).

### معرفی ستون ها و زیر ستون‌های شاخص همبست آب-انرژی-غذا در پروژه WRC

این شاخص ترکیبی در پروژه WRC ، از پیوند WEF سه بخش منابع یعنی آب، انرژی و غذا به عنوان ستون / زیرشاخص‌های برابر تشکیل شده است. شاخص‌های استفاده شده در این پروژه از سه ستون، شش ستون فرعی و ۲۱ شاخص تشکیل شده است: هفت شاخص مربوط به آب، شش شاخص مربوط به انرژی و هشت شاخص مربوط به غذا (همانطور که در شکل ۳ ارائه شده است). هر بخش منابع، به نوبه خود، از زیر ستون های "دسترسی[1]" و "در دسترس بودن[2]" تشکیل شده است که همچنین به طور مساوی وزن داده می‌شوند. داده‌های کافی برای شاخص ترکیبی برای ۱۷۰ کشور با داده‌های سال ۲۰۱۹ در این پروژه تعیین شده است. شاخص همبست WEF نباید به خودی خود یک هدف تلقی شود، بلکه باید به عنوان یک نقطه ورود به ستون‌های اصلی، زیر ستون‌ها و شاخص‌ها مورد توجه قرار گیرد. نکته قابل توجه وزن دهی‌ها می‌باشد. وزن ستون‌ها، یعنی "زیر شاخص" آب، انرژی و غذا، برابر هستند، زیرا فلسفه اساسی پیوند WEF و دیدگاه چندمرکزی آن است. با ارائه وزن مساوی در سراسر سه ستون به طور ضمنی بیان می‌شود که SDG های ۲، ۶ و ۷ به طور مساوی مهم هستند. ستون‌های اصلی ۰/۳۳۳ و زیرستون‌های هر کدام ۰/۱۶۷ می‌باشد که در بین ۲۱ شاخص تقسیم شده است. تفسیر نتایج شاخص به طور معمول به شکل زیر محاسبه شده‌است:

$$Index = A1X1 + A2X2 + A3X3 + \dots + ApXp$$

رابطه (۱)

[1] access

[2] availability

که در آن Ai وزنی است که باید از داده‌ها تعیین شود و Xi زیرمجموعه‌ای مناسب از متغیرهای "p" است ( WRC Report, 2020).

**شکل (۳): ستون‌ها، زیر ستون‌ها و شاخص‌هایی تشکیل دهنده شاخص WEF Nexus در پروژه WRC**

### شاخص آب

زیرستون اول از نظر دسترسی به منابع آب شیرین، شاخص‌های یک و دو، هر دو مربوط به SDG 6 هستند و دارای داده‌های کافی هستند: جمعیت با استفاده از حداقل خدمات اولیه آب آشامیدن، و جمعیت با استفاده از خدمات بهداشتی مدیریت شده ایمن.

شاخص سوم، درجه مدیریت یکپارچه مدیریت منابع آب (IWRM) به شرح زیر تعریف شده است: درجه شاخص اجرای مدیریت منابع آب یکپارچه (IWRM) به صورت "درجه اجرای IWRM، با ارزیابی چهار مولفه سیاست‌ها، موسسات، ابزارهای مدیریتی و تامین مالی" تعریف می‌شود. به کاربران مختلف و استفاده های آبی، با هدف ترویج اثرات مثبت اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در همه سطوح، از جمله سطح فرامرزی، در جایی که مناسب باشد، توجه می‌شود (UN Water, 2016)

از نظر شاخص چهارم، کل برداشت سالانه آب شیرین (به عنوان درصدی از منابع داخلی)، تقریباً ۱۰٪ از کشورهایی که در محاسبه شاخص قرار دارند (۱۵ از ۱۷۰)، بیش از ۱۰۰٪ از منابع آب شیرین داخلی موجود را برداشت می‌کنند. بسیاری از این کشورها در خاورمیانه هستند و در نتیجه به نمک‌زدایی برای تامین آب خود متکی هستند. شاخص پنجم، منابع تجدید پذیر آب شیرین داخلی، به صورت زیر تعریف می‌شود: منابع تجدید پذیر داخلی (جریان‌های داخلی رودخانه و آب‌های زیرزمینی ناشی از بارندگی) در کشور می باشد. سرانه منابع آب شیرین تجدید پذیر داخلی با استفاده از برآوردهای جمعیت بانک جهانی محاسبه می‌شوند " (World Bank. 2018). شاخص ششم، محیطزیست خدمات اکوسیستمی مانند تصفیه و رقیق سازی آب را فراهم می‌کند. شاخص، نیازهای جریان زیست‌محیطی[1]، به عنوان "کمیت و زمانبندی جریان‌های آب شیرین و سطوح لازم برای حفظ اکوسیستم‌های آبی که به نوبه خود، از فرهنگ‌های انسانی، اقتصادها، معیشت پایدار، و رفاه حمایت می‌کنند" تعریف می‌شود.

### شاخص انرژی

اهداف توسعه پایدار ۷ و ۱۳، خواستار حرکتی آگاهانه به سمت انرژی مقرون‌به‌صرفه و پاک و کربن زدایی افراطی از سیستم انرژی جهانی هستند. نیروگاه‌های برق در سراسر جهان برای استفاده در فن‌آوری‌های خنک کنندگی خود به

[1] Environmental flow requirements

آب نیاز دارند. این سیستم‌ها از مقادیر مختلف آب استفاده می‌کنند، به طور کلی یک سیستم خنک کننده حلقه بسته (مرطوب) بیشترین آب را مصرف می‌کند. بیشتر انرژی و امنیت انرژی در جهان هنوز از طریق منبع سوخت فسیلی تأمین می شود. در ارزیابی دسترسی به انرژی، SDG 7 خواستار دستیابی به انرژی مقرون به صرفه، قابل اعتماد، پایدار و مدرن است. بنابراین استفاده از شاخص دسترسی به برق (درصد جمعیت) به تنهایی برای نشان دادن SDG 7 کافی نیست (شاخص ۸). از این رو، زیر شاخص انرژی نیز باید به میزان تجدید پذیر بودن یا نبودن منبع انرژی بپردازد. برای این منظور، داده‌های خوبی برای شاخص‌های زیر در دسترس است: شاخص۹، مصرف انرژی تجدیدپذیر (درصد کل مصرف انرژی نهایی)، شاخص ۱۰، تولید (خروجی) برق تجدید پذیر (درصد کل خروجی برق)، و شاخص ۱۱، انتشار دی‌اکسید کربن (متریک تن به ازای هر نفر). بسیاری از کشورهایی که دسترسی نسبتا کمی به برق به عنوان بخشی از جمعیت خود دارند، سطوح مصرف انرژی تجدید پذیر نسبتا بالایی دارند. علت آن این است که این کشورها تقریبا به طور کامل به منابع انرژی تجدید پذیر مانند برق آبی متکی هستند، با این حال ظرفیت تولید و توزیع آن‌ها نسبتا پایین است. از نظر در دسترس بودن (availability) انرژی، بانک جهانی داده‌های کافی برای مصرف برق (سرانه کیلووات ساعت) شاخص ۱۲، ارائه می‌دهد. شاخص ۱۳، واردات انرژی، خالص (٪ استفاده (مصرف) از انرژی) در نظر گرفته شد زیرا نشانه‌ای از استقلال یک کشور (و بنابراین امنیت) از نظر تامین انرژی فراهم می‌کند. از آنجا که چندین کشور انرژی مازاد تولید می‌کنند و این ظرفیت اضافی را صادر می‌کنند، مقادیر منفی برای این شاخص دارند (WRC Report, 2020).

**شاخص غذا**

کشاورزی به عنوان یک اثر قابل‌مقایسه و در برخی موارد تاثیر بیشتر بر محیط‌زیست برای تولید انرژی در نظر گرفته می‌شود. در حالی که تقاضا در حال افزایش است، تخمین زده می‌شود که ۸۰۵ میلیون نفر مبتلا به سو تغذیه مزمن در جهان وجود دارد (فائو) (شاخص ۱۴). اثرات تغییر آب و هوا امنیت غذایی را هم به طور مستقیم و هم غیر مستقیم تهدید می‌کند، یعنی به ترتیب در محصول و قیمت مواد غذایی. بیشترین شاخص برای اندازه گیری و نظارت بر وضعیت جهانی غذا، مصرف غذا [1]در کیلو کالری در هر فرد است. کودکان و نوزادان جوان بیش‌ترین آسیب‌پذیری را در برابر سو تغذیه دارند. دلیل وجود شیوع سو تغذیه به جای عمق کسری مواد غذایی این است که یکی از دو شاخص رسمی برای نظارت بر وضعیت ناامنی غذایی در جهان است. مورد دیگر، نسبت کودکان کم وزن زیر پنج سال است. این شاخص ها هر دو با SDG 2 مطابقت دارند که هدف همیشگی آن "گرسنگی صفر" است.

همبستگی خوبی بین شیوع سو تغذیه و سطوح لاغری و کوتاهی قدی در کودکان زیر پنج سال (۱۵ و ۱۶) وجود دارد. اما، یک همبستگی منفی بین این سه شاخص با شیوع چاقی در جمعیت بزرگ‌سال (۱۷) وجود دارد. این ارتباط منفی دور از انتظار نیست چون به طور کلی، سو تغذیه یک چالش در کشورهای در حال توسعه است در حالی که چاقی در کشورهای توسعه‌یافته‌تر رخ می‌دهد. دلیل در نظر گرفتن این شاخص‌ها در این پروژه آنست که آن‌ها چالش‌های مختلف تغذیه‌ای را برای بخش‌های مختلف جمعیت جهانی نشان می‌دهند. از نظر در دسترس بودن غذا[2] به صورت ملی، شاخص‌های تأمین متوسط پروتئین[3] (۱۸)، بازدهی محصول غلات[4] (۱۹)، متوسط کفایت تأمین انرژی رژیم غذایی[5] (۲۰) و ارزش متوسط تولید غذا[6] (۲۱) برای درج در زیر ستون غذایی همبست WEF انتخاب شده‌اند ( WRC Report, 2020).

[1] Food consumption
[2] availability of food
[3] Average protein supply
[4] Cereal yield
[5] Average Dietary Energy Supply Adequacy
[6] Average value of food production

## نتایج

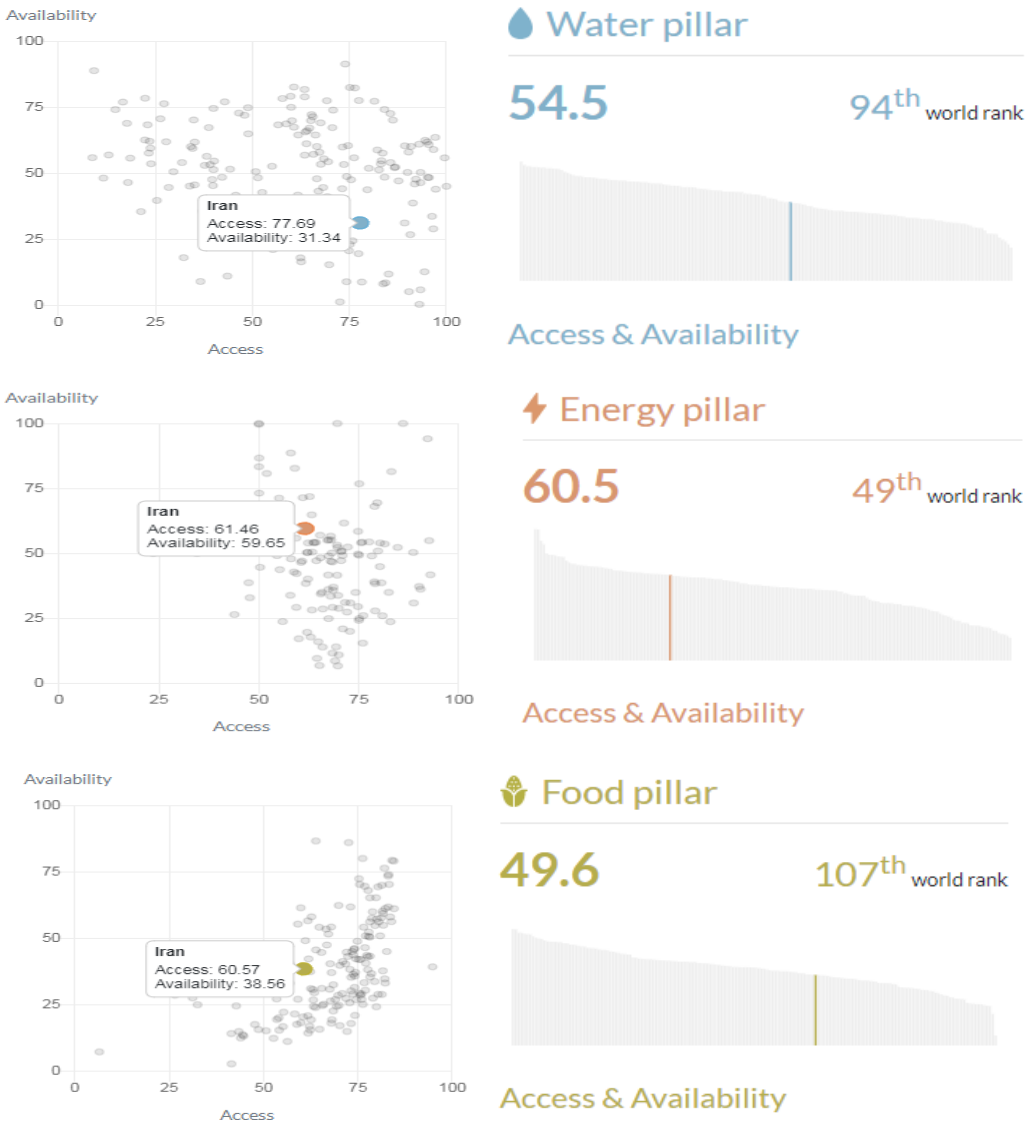
### شاخص همبست WEF برای ایران

شاخص همبست آب-انرژی-غذا (WEF) یک شاخص ترکیبی است که ۲۱ شاخص موجود در سطح جهان را جمع می‌کند. نتایج جهانی مستخرج شده از وبسایت https://www.wefnexusindex.org/، مقدار شاخص WEF Nexus برای ایران را ۵۴.۹ نشان می‌دهد و کشور را در رتبه ۸۴ برای کشورهای ارزیابی شده قرار می‌دهد. پنج کشور آمریکای جنوبی در میان ۲۰ کشور برتر جهان یعنی برزیل، کلمبیا، پاراگوئه، آرژانتین و اروگوئه قرار دارند. مالزی تنها کشور آسیایی در میان بیست کشور برتر است. نروژ، رتبه اول از میان ۱۷۰ کشور را دارد. شکل ۴ و ۵ جایگاه ایران و رتبه هر سه زیر ستون را نشان می‌دهد. ارزش ایران برای ستون آب ۵۴.۵، برای ستون انرژی ۶۰.۵ و برای ستون غذا ۴۹.۶ است. انرژی در ایران به طور کلی در جایگاه بهتری قرار دارد. نتایج بررسی زیر ستون‌های دسترسی و در دسترس بودن در جداول ۱، ۲ و ۳ به طور جداگانه آورده شده است. بالاترین رتبه مربوط به زیرستون دسترسی به آب می‌باشد، که علت آن امتیاز بالا درصد استفاده افرادی که از حداقل خدمات اولیه آب آشامیدنی (۹۴.۹)، درصد افرادی که از حداقل خدمات بهداشتی اولیه استفاده می‌کنند (۸۸.۳) و درجه پیاده سازی IWRM (۵۹٪) می‌باشد.

**شکل (۴): جایگاه جهانی ایران در رتبه بندی شاخص همبست WEF در مقایسه با ۱۷۰ کشور**

### بررسی شاخص آب ایران

متوسط بارش سالیانه جهانی ۸۶۰ میلیمتر است که این مقدار در ایران بین ۲۳۰ تا ۲۶۰ میلیمتر متغیر است یعنی یک سوم متوسط جهانی. سهم ایران از منابع آب شیرین جهان نسبت به مناطق دیگر در سطح پایین‌تری قرار دارد. طبق اطلاعات استخراج شده از فائو ایران سهم مصرف آب در بخش کشاورزی حدود ۹۲ درصد، بخش صنعت ۲ درصد و بخش خانگی حدود ۶ درصد می‌باشد. این شاخص امتیاز ۵۴.۵ و ۹۴ امین جایگاه را دارد. می‌توان گفت جایگاه ایران در بخش آب جایگاه مطلوبی نیست که البته همین جایگاه را چهار شاخص‌دسترسی به آب افزایش داده است. در ایران ۹۴.۹ درصد افراد به آب آشامیدنی دسترسی دارند. مطابق با شکل ۴ تقریبا همسایگان ایران در شرایط مشابه قرار دارند به جز افغانستان که ۶۷ درصد از مردم به این شاخص دسترسی دارند. البته ترکیه در این شاخص شرایط بهتری را دارد. همچنین ۸۸.۳ درصد افراد در ایران از حداقل خدمات بهداشتی اولیه برخوردار هستند. طبق نقشه بانک جهانی افغانستان و پاکستان با حدود ۵۰ درصد دسترسی شرایط مساعدی ندارند. شاخص اجرای IWRM در ایران ۵۹ درصد مطابق اطلاعات جهانی برآورد شده است.




**شکل (۵): جایگاه ایران در هر سه ستون آب، انرژی و غذا در میان ۱۷۰ کشور**

زیرستون آب قابل دسترس یا قابلیت آبی که می‌توان از آن استفاده کرد با ۴ شاخص تعریف شده در کمترین درصد (۳۱.۴۴ درصد) در بین سایر زیرستون‌های غذا و انرژی است. نقشه بانک جهانی برداشت سالانه آب شیرین که شامل برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد، نشان می‌دهد ایران ۷۲.۵ درصد از آب شیرین خود را برداشت می‌کند که نشان دهنده درصد زیادی در مقایسه با سایر کشورهای پر آب است (ترکیه حدود ۲۶ درصد). این مقدار تا سال ۲۰۱۷، ۹۳.۳ میلیارد متر مکعب برآورد شده است(فائو). با این درصد از برداشت آب تنها ۵۶.۲ درصد از سرانه منابع تجدیدپذیر آب شیرین داخلی قابل برگشت است. این اعداد نشان دهنده عدم تعادل در برقراری و برنامه ریزی و مدیریت عرضه و تقاضای آب می‌باشد. ایران تا سال ۲۰۱۷، ۵۳.۱ میلیارد مترمکعب ازآب‌های زیرزمینی خود را برداشت کرده است (فائو، ۲۰۱۷). شکل ۷ شرایط تنش آبی پایه و تنش آب زیر زمینی را نشان می‌دهد. در مناطقی از

ایران که دیتا وجود دارد ایران در شرایط به شدت بالا در این تنش‌ها قرار دارد. بنابراین این بخش بخوبی نشان می‌دهد مدیریت بخش آب در افزایش بازدهی بسیار اثرگذار است. جدول ۱ جزئیات و درصدهای بخش آب را در این همبست نشان می‌دهد. همچنین شکل ۶ نقشه شاخص‌های ۱، ۲، ۴و ۵ را نشان می‌دهد.

**جدول (۱): شاخص‌های زیرستون آب و درصد هر یک**

| آب | | | |
|---|---|---|---|
| **دسترسی** | **۷۷.۶۹** | **قابل دسترس** | **۳۱.۴۴** |
| ۱. درصد افرادی که از حداقل خدمات اولیه آب آشامیدنی استفاده می‌کنند | ۹۴.۹ | ۴. برداشت سالانه آب شیرین ، کل (٪ از منابع داخلی) | ۷۲.۵ |
| ۲. درصد افرادی که ازحداقل خدمات بهداشتی اولیه استفاده می‌کنند | ۸۸.۳ | ۵. سرانه منابع آب شیرین داخلی تجدید پذیر (m3) (۱۶۳۸.۸) | ۵۶.۲ |
| ۳. درجه پیاده سازی مدیریت یکپارچه منابع آب (۱۰۰-۱) | ۵۹ | ۶. نیازهای جریان محیطی (10^6m3/year) | ۲۲.۷ |
| | | ۷. میانگین بارندگی در عمق (میلی متر در سال) ۲۲۸ | ۵.۶ |

شاخص ۱[1]

شاخص ۲[2]

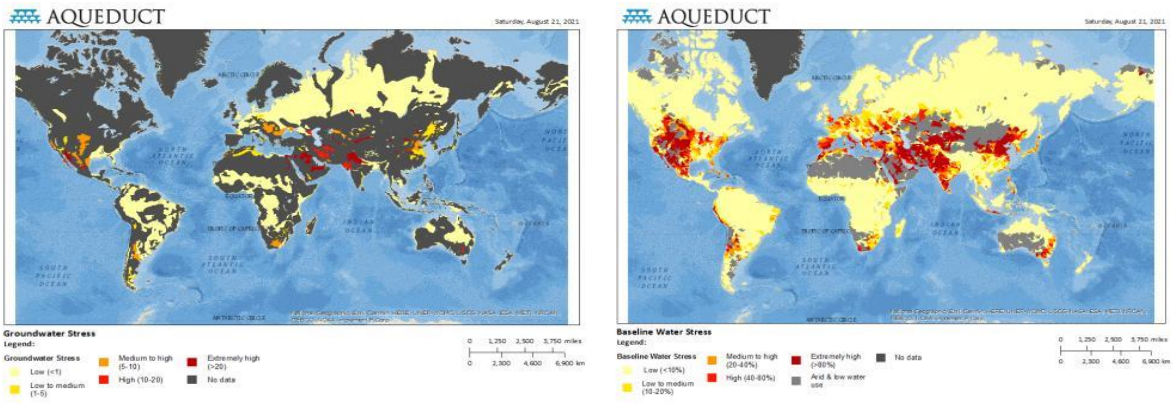
شاخص ۴[3]

شاخص ۵[4]

**شکل (۶): نقشه جهانی چهار شاخص زیرستون آب**

همچنین این شاخص همبست در راستای اهداف توسعه پایدار قدم برمی دارد. همان طور که در هدف ششم آن یعنی "آب تمیز و بهداشتی" و اطمینان از در دسترس بودن و مدیریت پایدار آب و بهداشت برای همه می‌باشد. اکنون بیش از ۹۰ درصد مردم جهان به منابع آب بهبود یافته دسترسی دارند.[5]

[1] https://data.worldbank.org/indicator/SH.H2O.BASW.ZS?view=map
[2] https://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.BASS.ZS?view=map
[3] https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWTL.ZS?view=map
[4] https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC?view=map
[5] https://datatopics.worldbank.org/sdgatlas/archive/2017/SDG-06-clean-water-and-sanitation.html




**شکل (۷): تنش آبی پایه و تنش آب زیرزمینی در سطح جهان**

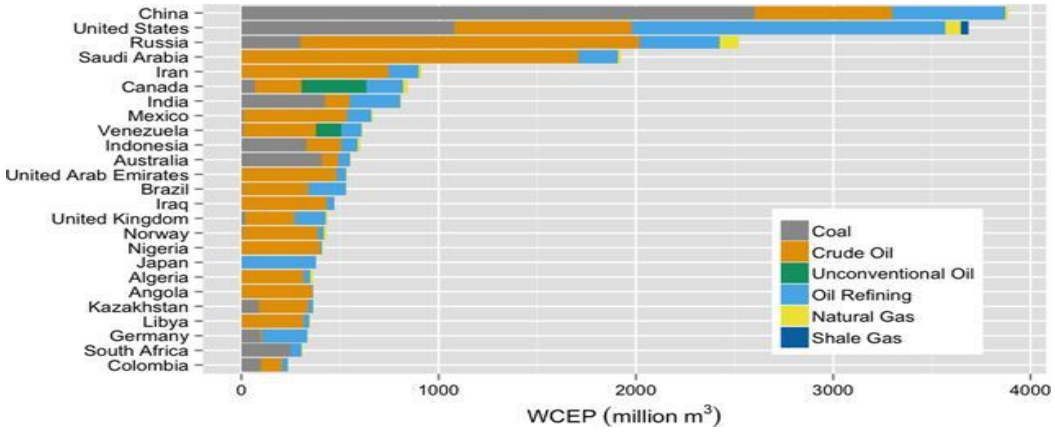
## بررسی شاخص انرژی در ایران

کشور ایران از جمله کشورهایی است که از منابع فراوان انرژی برخوردار است. ایران برای تولید انرژی بیشتر از نیروگاه‌های حرارتی استفاده می‌کند. در جهان حدود ۶۵ درصد از سوخت‌های فسیلی برای تولید برق استفاده می‌شود که این رقوم در ایران ۹۳ درصد می‌باشد (بانک جهانی). وابستگی زیاد به سوخت‌های فسیلی و تولید برق ردپای آب مجازی بیشتر را به همراه دارد. همان طور که موسوی رینه و یوسفی ۱۳۹۹ نشان دادند رد پای آب در نیروگاه‌های حرارتی با خنک سازی به روش تر به ازای هر یک کیلو وات ساعت ۲.۲ لیتر آب مصرف می‌کند و این مقدار حدود ۱۶ میلیون متر مکعب در سال آب مصرف می‌کند (موسوی رینه و یوسفی ۱۳۹۹). اگرچه مصرف آب در بخش صنعت تنها ۲ درصد را به خود اختصاص می‌دهد و به میزان ۳۱.۶۸ درصد در تولید ناخالص داخلی[1] موثر است، ردپای آب مجازی بیشتری را دارد. مطابق با گزارش‌های خبری ایران در سال ۱۳۹۶ صنعت حدود ۳۳ درصد، سهم مصرف برق را داشته است. تقریبا برابر با درصد مصرف برق خانگی (۳۲.۷ ٪). در مورد آب اگرچه کشاورزی بیشترین سهم را دارد در بخش انرژی تنها ۱۶ درصد در مصرف یرق سهم دارد (نیرو نیوز، ۱۳۹۷[2]). نکته حائز اهمیت آب مجازی در تولید برق می‌باشد. در واقع همبست آب، انرژی و غذا این موارد را به طور توامان بررسی می‌کند و می‌تواند در ریشه یابی‌های مشکلات آبی به خوبی مورد توجه قرار گیرد. برای بررسی این موضوع می‌توان به شکل ۸ و میزان مصرف آب در بخش انرژی را مشاهده کرد. ایران رتبه ششم را در این دسته بندی مصرف آب برای تولید برق دارد ( Spang et al., 2014).

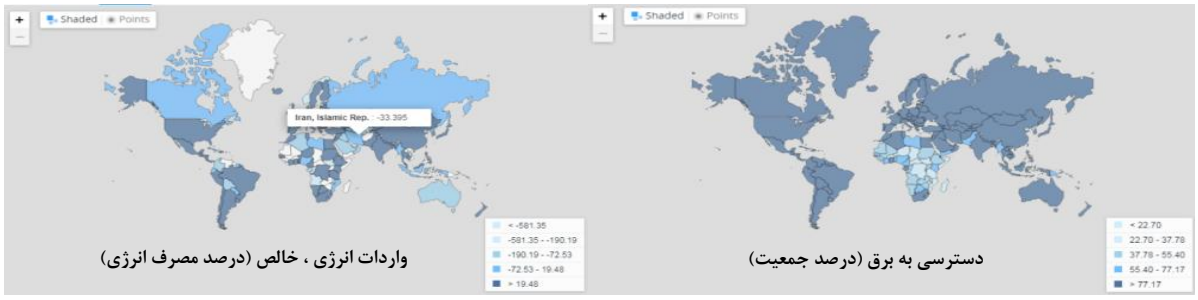
در شاخص جهانی WEF زیرستون دسترسی به انرژی و انرژی قابل دسترس در سطح تقریبا یکسانی قرار دارند. شکل ۹ شاخص ۸ و ۱۳ را نشان می‌دهد. بقیه شاخص‌ها تنها اعداد آن‌ها گزارش شده است. مطابق با شکل ۹ اطلاعات بانک جهانی ایران در شرایطی است که همه جمعیت به برق دسترسی دارند. همان طور که گفته شد ایران درصد کمی انرژی را از طریق منابع تجدید پذیر (۵.۱ ٪) تولید می‌کند. مصرف انرژی تجدید پذیر کمتر از ۱ درصد است که علت آن سهم کم تولید انرژی از طریق انرژی‌های پاک است. نیروگاه‌های بادی و فتوولتائیک جز بخش اداری آبی مصرف نمی‌کنند از این رو با توجه به پتانسیل ایران می‌توان بر روی انرژی‌های خورشیدی تمرکز کرد. شکل ۱۰ تشعشع افقی جهانی (GHI[3]) مقدار کل تابش خورشیدی است که از بالا بر روی سطح افقی دریافت می‌شود. نقشه ارائه‌شده GHI برای جهان و ایران به طور مجزا رسم شده است. بنابراین، جنوب و جنوب شرقی پتانسیل قابل‌توجهی برای تولید انرژی دارد، که می‌تواند روزانه تا ۶.۲ کیلووات بر متر مربع انرژی تولید کند[4]. در ایران اگرچه نیروگاه‌های

[1] https://www.sdg6data.org/charts/Lines
[2] http://nironews.ir/news/724430/
[3] Global Horizontal Irradiance
[4] https://globalsolaratlas.info/download/world

خورشیدی در یزد، اصفهان، فارس، تهران، همدان و مشهد ساخته شده‌است، اما با توجه به پتانسیل انرژی خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان هیچ گونه نیروگاهی ساخته نشده است. نیروگاه‌های برقابی، بادی و زیست توده سهم کمتری در تولید انرژی برق دارند. با رویکرد همبست به جانمایی‌های درست و پتانسیل‌های موجود توجه کرده و با نگاهی کل گرایانه در برابر دیدگاه جزگرایانه از مشکلات جانمایی‌های اشتباه همانند توسعه صنایع در بخش‌های خشک جلوگیری می‌کند.




**شکل (۸): مصرف آب برای تولید انرژی (WCEP[1]) در بخش های انرژی برای ۲۵ کشور (Spang et al., 2014)**




**شاخص ۱۳ [۳]** **شاخص ۸ [۲]**

**شکل (۹): نقشه‌های جهانی شاخص بخش انرژی در دو زیرستون دسترسی و قابلیت دسترسی**

برای زیرستون انرژی قابل دسترس مصرف برق و واردات انرژی مورد توجه قرار گرفته است. ایران سرانه مصرف برقی نزدیک به سرانه جهانی دارد. اما به دلیل صادرات انرژی امتیاز بالایی در این زیر ستون بدست می‌آورد که باعث جایگاه ۴۹ در میان ۱۷۰ کشور جهان شده است. جدول ۲ خروجی نتایج را نشان می‌دهد. از اینرو اگرچه ایران در بخش انرژی جایگاه خوبی دارد اما می‌توان با رویکرد همبست و توجه به آب مصرفی و غذای تولیدی بازدهی را افزایش داد.

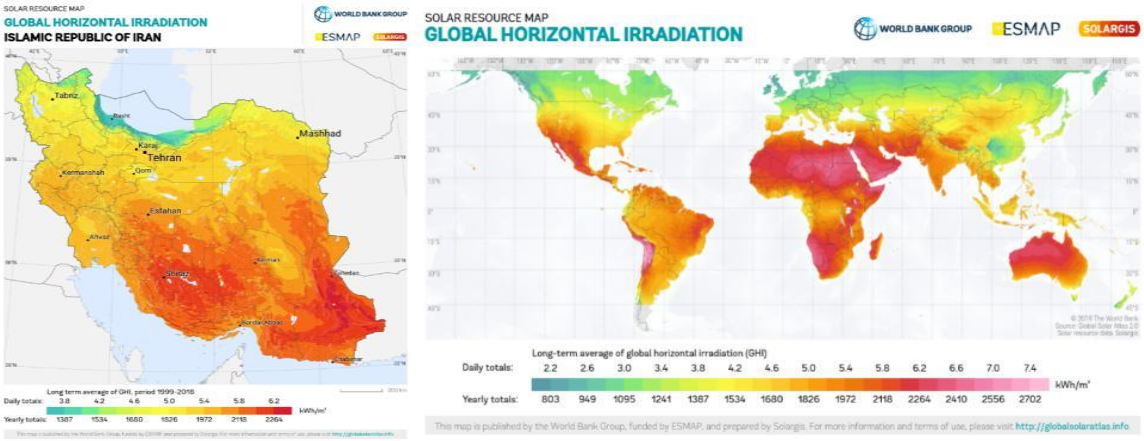
[1] Water consumption for energy production

[2] https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?view=map

[3] https://data.worldbank.org/indicator/EG.IMP.CONS.ZS?view=map

جدول (۲): شاخص‌های زیرستون انرژی و درصد هر زیرستون

| | انرژی | | |
|---|---|---|---|
| دسترسی | ۶۱.۴۶ | قابل دسترس | ۵۹.۶۵ |
| ۸. دسترسی به برق (درصد از جمعیت) | ۱۰۰ | ۱۲. مصرف برق (سرانه کیلووات ساعت) ۲۹۸۵.۷ | ۱۹.۳ |
| ۹. مصرف انرژی تجدید پذیر (درصد کل انرژی نهایی مصرفی) | ۰.۹ | | |
| ۱۰ تولید برق تجدیدپذیر (٪ کل برق تولیدی) | ۵.۱ | ۱۳. واردات انرژی خالص (درصد مصرف انرژی) | -۳۳.۴ |
| ۱۱. انتشار CO2 (سرانه متریک تن) | ۸.۳ | | |




شکل (۱۰): پهنه بندی تشعشع افقی جهانی (GHI)

## بررسی شاخص غذا در ایران

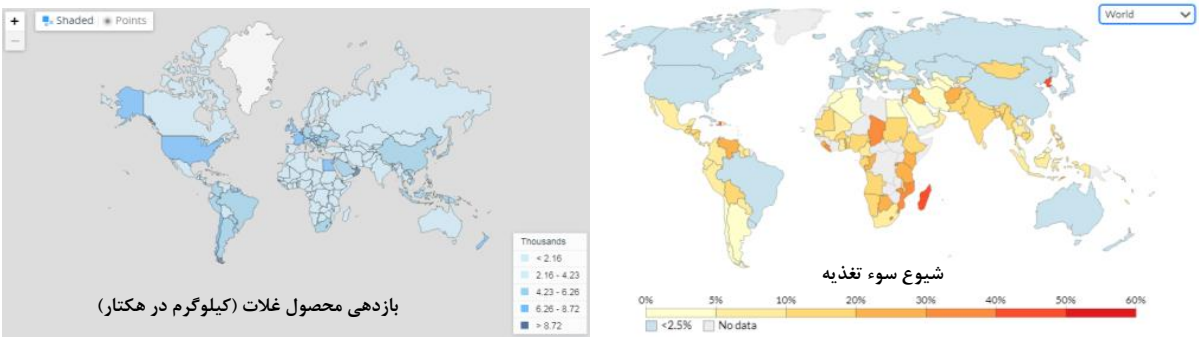
بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده منابع آب در سطح جهان است. کشاورزی نقش اساسی در تأمین امنیت غذایی و ثبات اقتصادی اجتماعی دارد. وابستگی متقابل منابع غذایی و آب به خوبی اثبات شده است. آبیاری کشاورزی همچنان بزرگترین مصرف کننده آب در ایالات متحده و بیشتر نقاط جهان است. همان طور که گفته شد ایران ۹۲ درصد منابع آبی را در بخش کشاورزی مصرف می‌کند. برای بررسی اثر بخشی مصرف آب در بخش کشاورزی از شاخص تولید ناخالص داخلی و سهم کشاورزی در این شاخص استفاده شد. مطابق به اطلاعات ثبت شده کشاورزی تنها ۱۲.۱۸ درصد در سال ۲۰۱۹ در تولید ناخالص داخلی[1] سهم داشته است، که این نشان دهنده بازدهی پایین مصرف آب در مقابل تولیدات کشاورزی است.اگرچه بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آبی است اما تنها ۱۶ درصد در مصرف برق سهم دارد.

به طور متوسط، حدود ۷.۲ درصد از کل مساحت ایران در طول دوره ۲۰۱۳-۱۹۸۱ تحت کشت قرار گرفته است که ۴.۹ درصد آبیاری شده و ۲.۳ درصد زیر کشاورزی دیم بوده است. علیرغم کاهش دسترسی به آب، تولید محصولات کشاورزی ایران در دهه‌های اخیر افزایش یافته است (Mirzaei et al, 2019). زمین‌های کشاورزی تجهیزشده برای آبیاری درایران از طریق آب‌های سطحی و زیرزمینی به ترتیب ۳۵ و ۵۸ درصد می‌باشد (فائو). این اعداد نشان دهنده برداشت بیشتر از سفره آب‌های زیرزمینی و درنتیجه نشست زمین می باشد. بخش کشاورزی به منظور تولید، عرضه و توزیع محصولات تولیدی خود با انرژی پیوند نزدیکی دارد. در ایران گازوئیل و برق به عنوان دو حامل

[1] Gross Domestic Product

انرژی مهم در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبق آمار سال ۹۰ تعداد ۵۰۰۰۰ حلقه چاه کشاورزی برق دار در سطح کشور موجود است. مجموع مصرف انرژی الکتریکی سالانه چرخ‌های برق‌دار حدود ۸ میلیارد کیلووات ساعت است. همچنین حدود ۲۳۰۰۰۰ حلقه چاه بدون برق در سطح کشور قرار دارد که توسط موتور و دیزل بهره برداری می‌شود و سالانه معادل ۴ میلیارد لیتر گازوئیل مصرف می کنند (منظور و حقیقی، ۱۳۹۰).

زیرستون دسترسی به غذا فاکتورهای اهداف دوم توسعه پایدار را پوشش می‌هد. ایران از لحاظ شیوع سوء تغذیه در سطح پایینی قرار دارد و درصد کمی از جمعیت دچار سوء تغذیه و تلفات (کودکانی که قد و وزن همسانی ندارند) هستند. در ایران بازدهی محصول غلات نسبت به ترکیه در سطح پایین‌تر و هم سطح با افغانستان قرار دارد. در این زیر شاخص امارات و عمان بیشترین بازدهی را به خود اختصاص داده اند که می‌تواند واردات محصولات کشاورزی در آن دخیل باشد (شکل ۱۱).




زیر شاخص ۱۴[1] زیر شاخص ۱۹[2]

**شکل (۱۱): پهنه بندی جهانی شاخص بخش غذا در دو زیرستون دسترسی و قابلیت دسترسی**

**جدول (۳): شاخص‌های زیرستون غذا و درصد هر زیرستون**

| غذا | | | |
|---|---|---|---|
| **دسترسی** | **۶۰.۵۷** | **قابل دسترس** | **۳۸.۵۶** |
| ۱۴. شیوع سوءتغذیه (٪) | ۴.۹ | ۱۸. عرضه متوسط پروتئین (گرم / هر واحد در روز) | ۷۴ |
| ۱۵. درصد کودکان زیر ۵ سال تحت تأثیر تلفات (٪) | ۴ | ۱۹. بازدهی محصول غلات (کیلوگرم در هکتار) | ۲۱۶۶.۴ |
| ۱۶. درصد کودکان زیر ۵ سال که رشد کمی دارند (٪) | - | ۲۰. کفایت متوسط تأمین انرژی رژیم غذایی (ADESA) ٪ | ۱۳۱ |
| ۱۷. شیوع چاقی در جمعیت بزرگسال (۱۸ سال به بالا) | ۲۵.۵ | ۲۱. مقدار متوسط غذای تولیدی (دلار به ازای هرنفر) | ۳۱۸ |

در ادامه برای مقایسه این شاخص محاسبه شده و تحلیل جایگاه ایران در جدول ۴ ارزش و جایگاه های برخی کشورها در این بخش ها آورده شده است. همان طور که در جدول مشهود است از منظر آب ایران جایگاه نسبتا خوبی دارد نسبت به همسایگان اما ترکیه رتبه ۳۷ را از میان ۱۷۰ کشور دارد اما از منظر انرژی ترکیه بسیار ضعیف تر از ایران است، در مقابل قطر و امارات به دلایل انرژی های فسیلی غنی جایگاه بهتری را کسب کرده اند. از نظر غذا ترکیه جایگاه بسیار بالاتری را نسبت به ایران دارد. به طور کلی اگرچه ایران در جایگاه بهتری نسبت به اکثر همسایگان هست ولی جایگاه ترکیه بسیار بهتر از ایران می باشد اما در بخش انرژی ضعیف تر است که این مسئله نشان می‌دهد ایران برای تقویت جایگاه خود میتواند بر نقاط قوت خود سرمایه گذاری کرده و با پتانسیل‌های داخلی مانند انرژی خورشیدی این بخش را تقویت کند. به طور کلی در این رویکرد و معیارها مباحث مدیریتی نیز نقش اساسی

[1] https://ourworldindata.org/hunger-and-undernourishment

[2] https://data.worldbank.org/indicator/AG.YLD.CREL.KG?type=shaded&view=map&year=2018

داشته‌اند، به عنوان مثال افغانستان از نظر بارش (۳۲۷ میلیمتر در سال) شرایط بهتری نسبت به ایران دارد اما درجه پیاده سازی مدیریتی آن بسیار کمتر می‌باشد و اثر بارش بیشتر را از بین برده است.

**مقایسه وزن معیارها**

در رویکرد همبست وزن‌های مساوی به سه بخش آب-انرژی-غذا اختصاص داده می‌شود و طبق آن به زیر معیارها وزن‌هایی داده شده است. اما اگر رویکرد IWRM را به این شاص‌ها داشته باشیم قطعا تصور آب محوری غالب می‌شود و وزن‌های زیرمعیارها دچار تغییرات زیادی می‌شود. از اینرو برای مقایسه اولویت معیارها طبق رویکرد همبست با اولویت بندی معیارها با رویکرد IWRM از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. برای تحلیل شاخص همبست از نظرات چند متخصص با توجه به شرایط حاضر کشور و اینکه کدامیک از معیارها می تواند در تحلیل این شاخص اولویت بیشتری داشته باشد، استفاده شده است ضریب ناسازگاری بدست آمده برابر با ۰.۰۵ شده است که کمتر از ۰.۱ می‌باشد و قابل قبول است. در جدول ۵ نتایج خروجی اولویت بندی معیارها بر اساس تحلیل AHP با وزن‌های اختصاص یافته در پروژه WRC مقایسه شده است.

**جدول (۴): مقایسه مقدار و جایگاه هر بخش و شاخص همبست WEF در میان ۱۷۰ کشور**

| | آب | جایگاه آب | انرژی | جایگاه انرژی | غذا | جایگاه غذا | شاخص همبست WEF | جایگاه همبست WEF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ایران | ۵۴.۵ | ۹۴ | ۶۰.۵ | ۴۹ | ۴۹.۶ | ۱۰۷ | ۵۴.۹ | ۸۴ |
| افغانستان | ۳۲.۶ | ۱۶۳ | ۳۷.۷ | ۱۳۷ | ۳۸.۱ | ۱۴۸ | ۳۶.۱ | ۱۵۵ |
| ترکیه | ۶۹.۴ | ۳۷ | ۴۶ | ۱۱۵ | ۶۷.۵ | ۳۱ | ۶۱ | ۵۲ |
| ترکمنستان | ۳۹.۶ | ۱۵۳ | ۵۸ | ۶۴ | ۵۶.۶ | ۷۳ | ۵۱.۴ | ۱۰۳ |
| قطر | ۴۹.۷ | ۱۰۶ | ۷۵ | ۶ | ۲۷.۹ | ۱۶۷ | ۵۰.۹ | ۱۰۵ |
| عراق | ۴۱.۱ | ۱۴۷ | ۵۹ | ۵۷ | ۴۰.۴ | ۱۴۰ | ۴۶.۸ | ۱۲۱ |
| امارات | ۴۷.۹ | ۱۱۵ | ۶۸.۴ | ۱۵ | ۶۵.۲ | ۳۸ | ۶۰.۵ | ۵۴ |
| هند | ۴۷.۴ | ۱۱۸ | ۵۰.۴ | ۱۰۰ | ۴۵ | ۱۲۸ | ۴۷.۶ | ۱۱۵ |
| آمریکا | ۶۵.۴ | ۵۶ | ۷۳.۳ | ۱۱ | ۷۹.۳ | ۳ | ۷۲.۷ | ۱۱ |
| چین | ۴۱.۷ | ۱۴۶ | ۶۱.۱ | ۴۵ | ۵۷.۳ | ۷۰ | ۵۳.۴ | ۹۷ |
| روسیه | ۷۸.۲ | ۱۰ | ۶۶.۲ | ۲۴ | ۴۸ | ۱۱۴ | ۶۴.۲ | ۳۶ |
| کانادا | ۶۸.۵ | ۴۲ | ۸۴.۸ | ۳ | ۷۳.۲ | ۱۳ | ۷۵.۵ | ۵ |

**جدول (۵): مقایسه وزن اختصاص داده شده به معیارها وزیر معیارها در پروژه WRC و تحلیل با روش AHP**

| معیارهای اصلی | پروژه WRC | AHP | زیرمعیار دوم | پروژه WRC | AHP | زیرمعیار سوم | پروژه WRC | AHP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | شاخص ۱ | ۰.۰۵۶ | ۰.۱۰۹ |
| | | | زیرستون دسترسی | ۰.۱۶۷ | ۰.۲۵۲ | شاخص ۲ | ۰.۰۵۶ | ۰.۰۸۶ |
| | | | | | | شاخص ۳ | ۰.۰۵۶ | ۰.۰۹۳ |
| آب | ۰.۳۳۳ | ۰.۵۰۴ | | | | شاخص ۴ | ۰.۰۴۲ | ۰.۱۰۹ |
| | | | | | | شاخص ۵ | ۰.۰۴۲ | ۰.۰۴۵ |
| | | | زیرستون قابل دسترس | ۰.۱۶۷ | ۰.۲۵۲ | شاخص ۶ | ۰.۰۴۲ | ۰.۰۲۶ |
| | | | | | | شاخص ۷ | ۰.۰۴۲ | ۰.۰۴۷ |
| | | | | | | شاخص ۸ | ۰.۰۸۳ | ۰.۰۳۶ |
| | | | | | | شاخص ۹ | ۰.۰۲۸ | ۰.۰۱۴ |
| | | | زیرستون دسترسی | ۰.۱۶۷ | ۰.۰۸۲۵ | شاخص ۱۰ | ۰.۰۲۸ | ۰.۰۱۳ |
| انرژی | ۰.۳۳۳ | ۰.۱۶۵ | | | | شاخص ۱۱ | ۰.۰۲۸ | ۰.۰۰۶ |
| | | | | | | شاخص ۱۲ | ۰.۰۸۳ | ۰.۰۳۶ |
| | | | زیرستون قابل دسترس | ۰.۱۶۷ | ۰.۰۸۲۵ | شاخص ۱۳ | ۰.۰۸۳ | ۰.۰۱۷ |
| | | | | | | شاخص ۱۴ | ۰.۰۵۶ | ۰.۰۷۲ |
| | | | | | | شاخص ۱۵ | ۰.۰۲۸ | ۰.۰۴۸ |
| | | | زیرستون دسترسی | ۰.۱۶۷ | ۰.۱۶۵۵ | شاخص ۱۶ | ۰.۰۲۸ | ۰.۰۳۴ |
| | | | | | | شاخص ۱۷ | ۰.۰۵۶ | ۰.۰۳۷ |
| غذا | ۰.۳۳۳ | ۰.۳۳۱ | | | | شاخص ۱۸ | ۰.۰۴۲ | ۰.۰۳۲ |
| | | | | | | شاخص ۱۹ | ۰.۰۴۲ | ۰.۰۷۲ |
| | | | زیرستون قابل دسترس | ۰.۱۶۷ | ۰.۱۶۵۵ | شاخص ۲۰ | ۰.۰۴۲ | ۰.۰۲۴ |
| | | | | | | شاخص ۲۱ | ۰.۰۴۲ | ۰.۰۴۶ |

نتایج جدول ۵ نشان میدهد دیدگاه آب محوری تاثیر زیادی بر وزن معیارها داشته است. تمام زیرمعیارهای آبی بجز شاخص ۶ یعنی نیاز جریان محیطی، از وزن‌های در نظر گرفته شده در پروژه WRC بیشتر است. جدول ۵ نشان می‌دهد که درصد افرادی که به آب دسترسی دارند با برداشت سالانه آب از اهمیت برابر برخوردارند. در نهایت کمترین وزن مربوط به شاخص انتشار $CO_2$ می‌باشد که اختلاف زیادی با وزن با رویکرد همبست دارد، که البته در تحلیل AHP بنظر منطقی‌تر است زیرا این شاخص مثلا نمی‌تواند اثری برابر با نیاز جریان محیطی یا مصرف انرژی یا تولید برق تجدید پذیر داشته باشد. به طور منطقی اهمیت شاخص ۴ تا ۷ با یکدیگر برابر نیست و نیاز است دیدگاه اولویت بندی برای آن شکل بگرید تا به نتیجه صحیح نزدیک‌تر باشد.

از اینرو طبق نتایج بدست آمده می‌توان دریافت در تحلیل همبست اگرچه نگرش چند مرکزی بهتر است زیرا هر یک از این سه بخش از یکدیگر جداناپذیرند، اما در تحلیل زیر شاخص‌ها بهتر است از روش‌های سلسله مراتبی برای اولویت بندی شاخص‌ها بهره جست تا تحلیل واقع بینانه‌تری حاصل گردد. اما تحلیل با نگرش IWRM و آب محوری شاخص مصرف انرژی را در ارزش پایین‌تر از شیوع چاقی در جمعیت بزرگسال برآورده کرده است و مصرف انرژی برای تولید غذا را درنظر نگرفته است. این نشان دهنده نقص در بخشی نگری و عدم توجه به ارزش‌های برابر سه بخش آب-انرژی-غذا است.

## نتیجه گیری

کمبود آب می‌تواند بی ثباتی اجتماعی و سیاسی، مشکلات امنیتی و آسیب‌های محیط زیستی جبران ناپذیری ایجاد کند. بنابراین دیدگاه آب محوری در مدیریت منابع آبی بدون در نظر گرفتن اثر متقابل بخش‌های انرژی و غذا خطرات جدی و چالش‌های بزرگی را ایجاد می‌کند. بر همین اساس منابع انرژی، آب و غذا بسیار در هم تنیده شده‌اند و بهبود درک ما از تعاملات پیچیده آنها برای بهبود کارایی و تولید برنامه‌های توسعه پایدار اساسی است. اگرچه با استفاده از دیتا بانک‌های جهانی می‌توان برآورد کیفی از شرایط کشورها بدست دهد، اما گزارشی که توسط کمیسیون تحقیقات آب با مشارکت بنیاد ملی تحقیقات آفریقای جنوبی و وزارت امور خارجه هلند از طریق پروژه WEF-Tools در سال ۲۰۲۰ انجام گرفت، سبب ایجاد لنزی برای مقایسه کشورها از نظر شاخص همبست آب-انرژی-غذا شد. از اینرو در پژوهش حاضر با اتکا بر اطلاعات جهانی و این پروژه سعی بر بررسی شاخص‌های درنظر گرفته شده در این پروژه و جایگاه ایران در این رتبه بندی شد تا تصوری جامع نسبت به موقعیت کنونی ایران در همبست WEF بدست آید. همچنین مقایسه اولویت بندی وزن‌های این شاخص‌ها با رویکرد آب محوری مقایسه شده است تا اهمیت وزن‌دهی در این دسته پژوهش‌ها نمایان شود. در ابتدا نتایج خروجی از پروژه، ایران در شاخص همبست WEF رتبه ۸۴ امین در میان ۱۷۰ کشور، و در بخش انرژی رتبه ۴۹ امین را دارد. با استفاده از دیدگاه آب محوری وزن معیارهای مهم بخش انرژی بسیار کمتر شده بود به طوری که مصرف انرژی در اولویت کمتری از شیوع چاقی قرار گرفته بود. که خروجی شاخص همبست از دیدگاه آب محوری بخش انرژی رو بسیار کمتر برآورد می‌کرد. به طور کلی نتیجه مقایسات وزن معیارها در دیدگاه همبست پروژه و دیدگاه آب محوری تحلیل AHP حاکی از آن است که برای تحلیل چنین پروژه‌هایی همان دیدگاه چند مرکزی سازنده‌تر است با این تفاوت که به زیرمعیارها نباید با دیدگاه وزن‌های برابر نگاه شود و زیر معیارها نیاز به اولویت بندی شدن دارند تا نتیجه کارآمدتر حاصل گردد. در تحلیل AHP شاخص آب بیشترین و انرژی کمترین وزن را به خود اختصاص داده است. اما اگر به جزئیات توجه شود، در ایران حدود ۹۳ درصد از سوخت‌های فسیلی برای تولید برق استفاده می‌شود (بانک جهانی). وابستگی زیاد به سوخت‌های فسیلی و تولید برق ردپای آب مجازی بیشتر را به همراه دارد. اگرچه مصرف آب در بخش صنعت تنها ۲ درصد را به خود اختصاص می‌دهد و به میزان ۳۱.۶۸ درصد در تولید ناخالص داخلی موثر است، ردپای آب مجازی بیشتری را دارد. مطابق با گزارش‌های خبری ایران در سال ۱۳۹۶ صنعت حدود ۳۳ درصد، سهم مصرف برق را داشته است. تقریبا برابر با درصد مصرف برق خانگی (۳۲.۷ ٪). این خود نشان دهنده توجه به چند مرکزی بودن آب-انرژی-غذا است. همچنین در مورد آب اگرچه کشاورزی ببشترین سهم را دارد در بخش انرژی تنها ۱۶ درصد در مصرف یرق سهم دارد (نیرو نیوز، ۱۳۹۷). نکته حائز اهمیت آب مجازی در تولید برق می‌باشد. در واقع همبست آب، انرژی و غذا این موارد را به طور توامان بررسی می‌کند و می‌تواند در ریشه یابی‌های مشکلات آبی به خوبی مورد توجه قرار گیرد.

از اینرو طبق نتایج بدست آمده می‌توان دریافت در تحلیل همبست اگرچه نگرش چند مرکزی بهتر است زیرا هر یک از این سه بخش از یکدیگر جداناپذیرند، اما در تحلیل زیر شاخص‌ها بهتر است از روش‌های سلسله مراتبی برای اولویت بندی شاخص‌ها بهره جست تا تحلیل واقع بینانه‌تری حاصل گردد. اما تحلیل با نگرش IWRM و آب محوری شاخص مصرف انرژی را در ارزش پایین‌تر از شیوع چاقی در جمعیت بزرگسال برآورده کرده است و مصرف انرژی برای تولید غذا را درنظر نگرفته است. این نشان دهنده نقص در بخشی نگری و عدم توجه به ارزش‌های برابر سه بخش آب-انرژی-غذا است. نهایتا مدیریت منابع آب با این رویکرد همبست، چشم اندازی کلی از پایداری است که تلاش می‌کند تعادل میان هر سه بخش را به طور توامان برقرار کند و به مدیریت و سایت گذاری‌های پایدارتر کمک کند.

## منابع

منظور، د. و ا. حقیقی. ۱۳۹۰. آثار اصلاح قیمت های انرژی بر انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در ایران؛ مدل سازی تعادل عمومی محاسبه پذیر. محیط شناسی، دوره ۳۷، شماره ۶۰، ص ۱-۱۲.

موسوی رینه، س م. و ح. یوسفی. ۱۳۹۹. بررسی رد پای آب در تولید برق با تأکید بر انرژی های تجدیدپذیر. اکوهیدرولوژی، ۷ دوره ۷، شماره ۴، ص ۱۰۰۷-۱۰۱۹.

Biggs, E.M., Bruce, E., Boruff, B., Duncan, J.M., Horsley, J., Pauli, N., Imanari, Y. 2015. Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. Environ. Sci. Pol. 54: 389–397.

Bongaarts, J. 2009. Human population growth and the demographic transition. Philosophical Transactions of the Royal Society 364:2985-2990. doi: 10.1098/rstb.2009.0137

Daher, B., Lee, S.H, Kaushik, V., Blake, J., Askariyeh, M. H., Shafiezadeh, H., Zamaripa, S,. and Mohtar, R. H. 2019. Towards bridging the water gap in Texas: A water-energy-food nexus approach. Science of The Total Environment, 647: 449–463

De Laurentiis, V., D.V.L. Hunt and C.D.F. Rogers. 2016. Overcoming Food Security Challenges within an Energy/Water/Food Nexus (EWFN) Approach. Sustainability 8(1): 95. doi: doi: 10.3390/su8010095

El-Gafy, I. 2017. Water–food–energy nexus index: analysis of water–energy–food nexus of crop's production system applying the indicators approach. Appl Water Sci 7: 2857–2868. https://doi.org/10.1007/s13201-017-0551-3

Hoff, H. 2011. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm.

IRENA. 2015. Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus. International Renewable Energy Agency.

Jalilov, S.M., Keskinen, M., Varis, O., Amer, S., Ward, F.A. 2016. Managing the water–energy–food nexus: gains and losses from new water development in Amu Darya River basin. J. Hydrol, 539: 648–661.

Madani, K., AghaKouchak, A. and A. Mirchi. 2016. Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation. Iranian Studies, 49(6): 997–1016.

Mirzaei, A., Saghafian, B., Mirchi, A., and K. Madani. 2019. The groundwater–energy–food nexus in Iran's agricultural sector: implications for water security. Water, 11(9): 1835.

Mohtar, R.H. and B. Daher. 2012. Water, Energy, and Food: The Ultimate Nexus. Second Edition edition. Taylor & Francis.

National Intelligence Council. 2012. Global Trends 2030: Alternative Worlds.166

Norouzi, N. 2022. Presenting a conceptual model of water-energy-food nexus in Iran. Current Research in Environmental Sustainability, 4, 100119.

Scholes, B., M. Scholes and M. Lucas. 2015. Climate Change – Briefings from Southern Africa. Wits University Press, Johannesburg.

Spang, E.S., W.R. Moomaw, K.S. Gallagher, P.H. Kirshen and D.H. Marks. 2014. The water consumption of energy production: an international comparison. Environmental Research Letters, 9(10): 1-14.

UN Water. 2016. Integrated Monitoring Guide for SDG 6: Targets and global indicators. United Nations: Water.

UN World Water Assessment Programme. 2014. The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy Volume 1, America. UNESCO, Paris.

UN. 1951. The past and future growth of the world population – A long-range view. Population Bulletin 1:1-12.

White, D.J., Hubacek, K., Feng, K., Sun, L., Meng, B. 2018. The water-energy-food Nexus in East Asia: A tele-connected value chain analysis using inter-regional input-output analysis. Appl. Energy, 210: 550–567.

Willis, Henry H., David G. Groves, Jeanne S. Ringel, Zhimin Mao, Shira Efron, and Michele Abbott. 2016. Developing the Pardee RAND Food-Energy-Water Security Index: Toward a Global Standardized, Quantitative, and Transparent Resource Assessment. Santa Monica,CA: RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/tools/TL165.html.

World Bank. 2018. Indicators. Data. url: http://data.worldbank.org/indicator/, Date accessed: 1 March

World Economic Forum. Water Security: The Water-Energy-Food-Climate Nexus. World Economic Forum.2011.

WRC Report, 2020, Development of Water-Energy-Food Nexus Index and Its Application to South Africa and the Southern African Development Community, No. 2959/1/19, ISBN No 978-0-6392-0113-9

Yuan, C., L. Guijun, Y. Yuan, Z. Lixiao and Y. Chang. 2016. Quantifying the Water-Energy-Food Nexus: Current Status and Trends. Energies (19961073) 9(2):1-17. doi: 10.3390/en9020065

# Evaluation of Iran’s Water-Energy-Food Nexus Index Comparing Other Countries

**Mohammad Reza Goodarzi [1]*. Atiyeh Fatehifar[2]**

## Abstract

Water-centric thinking in water resources management and recognizing water as a purely economic commodity can create many challenges in a country's policies. But a holistic view, such as the Water-Energy-Food Nexus, sheds light on the multicentric nature of water resources management, and that consider each as a security commodity, not a purely economic one. The nexus approach pays equal attention to the security of all three parts and their interaction. Therefore, in this study, using the global database and global projects conducted to estimate the Nexus index, the results of Iran's output and position among 170 registered countries were analyzed. Also, the criteria are ranked by a Water-centric perspective using Analytical Hierarchy process (AHP) and compared with project weights. Iran ranks 84th in the global nexus index, with the energy sector ranking 49th and the highest among other water and food sectors. According to studies, Iran is in the middle position, but some neighboring countries such as Turkey and the UAE are in the 54th and 52nd positions. Weight prioritization also showed that the water-centric perspective can underestimate the effect of important indicators.

**Keywords: Water-Energy-Food, Nexus, Holistic thinking, Co-management**

[1] Associate Professor, Department of Water, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran. goodarzimr@yazd.ac.ir
[2] Ph.D. student of Engineering and Water Resource Management, Department of Water, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran. atiyeh_fatehi@yahoo.com