Original Article

# Journal of Aquifer and Qanat

Spring And Summer 2024, Vol. 5, No. 1, pp 1-18

10.22077/jaaq.2024.8271.1079

# The Approach of Water-Energy-Land-use change-Environmental Nexus in Zayandeh-Rud Basin

**Nesar Nasiri** [1]✉ | **Ali.A Besalatpour** [2]

1. Ph.D. Graduated in Water Resource Management, Civil Engineering Department, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Senior Researcher, Institute of Resource Management inter3, Berlin, Germany.

✉Corresponding Author: nesar_nasiry10@yahoo.com

Received:
16 October 2024

Accepted:
11 December 2024

Published:
20 December 2024

**Keywords**:

*Integrated management of surface and groundwater resources,*
*Nexus concept,*
*Water use,*
*Gavkhuni Wetland*

**Extended abstract**

**Introduction**

Water resource management in arid regions faces significant challenges due to competing demands from agriculture, industry, domestic needs, and environmental preservation. The Zayandeh-Rud River Basin, a vital water source in central Iran, exemplifies these challenges. This study applies the Nexus Approach, which integrates water, energy, land-use change, and environmental considerations, to understand the interactions and trade-offs among these components. The Nexus concept enables a holistic view of resource management, addressing synergies and conflicts among stakeholders to support sustainable planning and decision-making.

**Study Area**

The about 28,193 km² Zayandeh-Rud River Basin (ZRRB) is located between latitudes 31° and 34° north and longitudes 49° and 53° east (see Figure 1). The river begins in the Zagros Mountains, west of Isfahan, and travels 350 km east before flowing into the Gavkhuni Wetland. The Zagros Mountains' yearly snowfall has a significant impact on the river's flow. This region is critically dependent on seasonal snowmelt and rainfall, which are increasingly impacted by climate variability and human interventions. The basin's water resources are heavily utilized for agriculture, industry, urban consumption, and maintaining the wetland's ecological balance.

**Cite this article:** Nasiri, N., B & A. A. (2024). The approach of water-energy-land-use change-environmental nexus in Zayandeh-round basin. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 5 (1), 1-18. DOI: http//doi.org/10.22077/jaaq.2024.8271.1079.

Copyright: © 2024 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**Methodology**

The study introduces indicators to evaluate the Nexus components:

1. Water Index: Includes sub-indices for agricultural, industrial, and domestic water consumption, as well as dam management.
2. Energy Index: Focuses on energy production and consumption by hydropower plants and other facilities dependent on the basin's water.
3. Land-Use Change Index: Monitors the expansion of agricultural land uses and its implications for water use and recycling.
4. Environmental Index: Represents the ecological water needs of the Gavkhuni Wetland.

The Pearson correlation method was used to analyze the interactions and trade-offs among these indicators, offering insights into the relationships between different resource demands.

Results

The annual indices of the Nexus components highlight critical insights:

- The Water Index revealed that agriculture consumes the majority of water (76%), followed by domestic (30%) and industrial (15%) uses. The Zayandeh-Rud Dam plays a crucial role in mitigating drought impacts and balancing downstream needs.
- The Energy Index was notable for its high reliance on water resources for energy production, achieving 85% of its potential.
- The Land-Use Change Index indicated significant agricultural expansion, with irrigation systems under pressure due to limited water availability.
- The Environmental Index for the Gavkhuni Wetland was 55%, underscoring its vulnerability and the need for targeted ecological preservation strategies.
- Table 1 summarizes the annual indices for these components, showcasing their relative importance and contribution to the basin's resource dynamics.

**Table 1. The results of calculating the annual index**

| Index | Index Component | Values% |
|---|---|---|
| (Water Index) | Agricultural Index | 61 |
| | Industrial Index | 102 |
| | Domestic Index | 80 |
| | Dam | 42 |
| (Energy Index) | Energy | 85 |
| (Land-use Change Index) | Land-use Change | 39 |
| (Environmental Index) | Gavkhuni Wetland | 55 |

As shown in Figure 1, the water and energy indices are identified as the major beneficiaries of water resources in the Zayandeh-Rud River Basin, aligning closely with the basin's real-world dynamics. These findings gain critical importance when considering the basin's conditions under climate change scenarios.

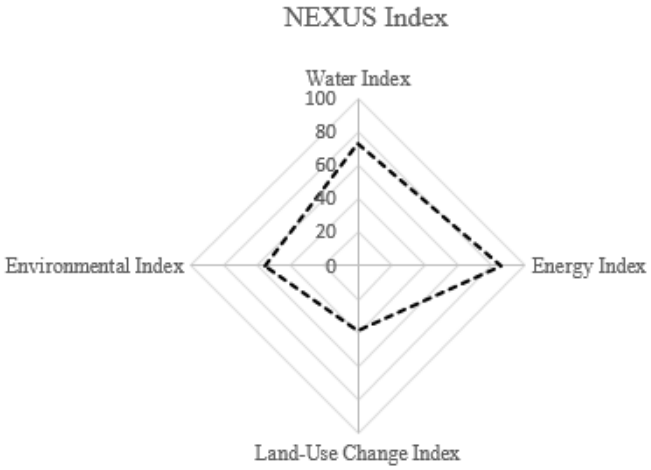



**Fig 1. Annual Indices of Nexus Approach at Zayandeh-Rud River Basin**

**Discussion**

Pearson's correlation analysis revealed:

- A strong positive correlation (r = 0.78) between agricultural water use and land-use changes, signifying their interdependence.
- A negative correlation (r = -0.46) between industrial water use and agricultural expansion, reflecting competition for scarce water resources.
- A positive relationship between industrial and domestic water use, driven by urban and industrial growth.

The findings highlight the trade-offs among competing uses. For example, increasing agricultural land area intensifies water demand, adversely impacting industrial water availability. Conversely, synergies exist, such as between industrial growth and domestic water use, where improvements in infrastructure benefit both sectors. This study lays a foundation for future research to analyze the basin's future conditions and propose effective strategies for adapting to climate change and mitigating water scarcity, informed by a comprehensive understanding of the current water resource dynamics.

**Conclusion**

This study demonstrates the applicability of the Nexus Approach to the Zayandeh-Rud Basin, providing a framework to address resource management challenges in arid regions. The integration of water, energy, land-use change, and environmental indices offers a comprehensive understanding of stakeholder demands and their interactions. The findings emphasize the need for balanced policies that consider the trade-offs and synergies among these components.

**Key Words**: Integrated management of surface and groundwater resources, Nexus concept, Water use, Gavkhuni Wetland.

مقاله پژوهشی

مجله
آبخوان و قنات

دوره پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۸-۱

10.22077/jaaq.2024.8271.1079

# رویکرد هم‌بست آب-انرژی-تغییر کاربری اراضی-زیست محیطی در حوضه آبریز زاینده‌رود

نسار نصیری [۱]✉| علی اصغر بسالت‌پور [۲]

۱. دانش‌آموخته دکتری رشته مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲. پژوهشگر ارشد مؤسسه مدیریت منابع inter3، برلین، آلمان.
✉نویسنده مسئول: nesar_nasiry10@yahoo.com

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۳/۰۷/۲۵
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۹/۲۱
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۹/۳۰

**کلیدواژه‌ها:**
*مدیریت جامع منابع آب سطحی و زیرزمینی، مفهوم هم‌بست، مصارف، تالاب گاوخونی.*

## چکیده

**مدیریت جامع موفق منابع آب سطحی و زیرزمینی، شناخت اجزای تأثیرگذار و مشخص کردن هم افزایی و مصالحه میان آن‌ها بسیار حائز اهمیت است و با استفاده از مفهوم هم‌بست امکان‌پذیر می‌شود. می‌توان عوامل تغییردهنده شرایط هیدرولوژیکی را به عنوان اجزای اصلی در مفهوم هم‌بست در نظر گرفت. در حوضه آبریز زاینده‌رود، دسترسی به منابع آب، کاهش اثرات منفی خشکسالی، تأمین نیازهای کشاورزی، صنعت و شرب و نیاز زیست‌محیطی همواره چالش برانگیز بوده است. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، بررسی جامع تأثیرپذیری متقابل عوامل مختلف در حوضه زاینده‌رود با معرفی شاخص‌هایی در بخش آب، انرژی، تغییر کاربری اراضی کشاورزی و نیاز زیست‌محیطی انتخاب شد که هر کدام از بخش‌ها، یکی از اجزای مفهوم هم‌بست هستند. با روش پیرسون رابطه متقابل اجزای هم‌بست مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، شاخص انرژی و آب به ترتیب از ذینفعان بزرگ منابع آب شناخته شدند و بالاترین هم‌بستگی میان شاخصِ تغییر کاربری اراضی و شاخصِ آب کشاورزی در حدود ۰/۷۸ به‌دست آمد. با توجه به مقدار پیرسون ۰/۴۶- در رابطه شاخص آب صنعتی و تغییر کاربری اراضی کشاورزی، مشخص شد که با افزایش یکی، دیگری به سبب کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی موجود، کاهش یافته است. مفهوم هم‌بست امکانِ شناخت جامع از منابع آب یک حوضه و تأثیر متقابل عوامل مختلف بر هم را فراهم می‌سازد، تا مدیران و سیاست-گذاران منابع آب بتوانند برنامه‌های جامع مدیریتی خود را ارائه دهند.**

**مقدمه**

در قرن بیستم، رابطه بین آب، انرژی و غذا چندان روشن نبود و بیشتر سیاست‌مداران نیز توجه چندانی به این ارتباط متقابل نداشتند. همه بر این باور بودند که می‌توان به آب، انرژی و غذای فراوان و ارزان دسترسی داشت و این دسترسی، هیچ محدودیتی نخواهد داشت. در بخش تولید نیز، باور بر آن بود که آب و انرژی محدودیتی برای تولید ایجاد نمی‌کنند. اما اکنون دیگر رابطه تنگاتنگ میان آب، انرژی و غذا بر کسی پوشیده نبوده و تلاش مدیران در عصر حاضر، بر کنترل روابط این سه بخش متمرکز شده است. بخش کشاورزی، مصرف‌کننده اصلی آب و همچنین کاربر اصلی انرژی است و قیمت انرژی تأثیر به سزایی بر قیمت تولیدات کشاورزی خواهد گذاشت (Sharifi Moghadam and Sadeghi, 2019). بنابراین، نگرانی از تأمین آب جامعه‌ای که نیاز به آب و غذایش هر روز بیشتر شده و در همین راستا انرژی بیشتری صرف شده و از طرفی رشد جمعیت و تغییر اقلیم، پژوهش‌گران را بر آن داشته تا با بهره‌گیری از رویکردهای میان‌رشته‌ای مناسب، تعادل و تناسب را بین مصرف و بهره‌برداری از منابع ایجاد کنند (Safaee et al., 2019). امروزه مفهوم هم‌بست به عنوان یک رویکرد میان‌رشته‌ای، با ارتقا مدیریت یکپارچه منابع آب توجه بیشتری را در علم و سیاست بین‌الملل جلب کرده است.

با در نظر گرفتن نقطه‌نظر هم‌بست، سیاست‌های کشاورزی بر مصرف آب و انرژی تأثیرگذارند؛ از طرفی استراتژی‌های تولید انرژی نیز میزان مصرف آب را تعیین می‌کنند؛ مدیریت منابع آب، میزان انرژی مورد نیاز برای استخراج، انتقال و تصفیه آب را مشخص می‌کند و در نهایت سیاست‌های مربوط به نیازهای زیست‌محیطی، محدودیت‌های لازم بر مصرف منابع طبیعی را اعمال می‌کنند. رشد بالای جمعیت، افزایش مصرف، سیاست‌های خودکفایی غذایی و سیاست‌های حاکمیتی نامناسب منجر به بهره برداری بی رویه از منابع آبی شده است (Swain and Jägerskog, 2016).

برای یک توسعه پایدار و مدیریت یکپارچه منابع آب، در نظر گرفتن تأثیر متقابل اجزای مختلف در یک سیستم هیدرولوژیکی بسیار حائز اهمیت است. در همین راستا در سال‌های اخیر مفهوم رویکرد هم‌بست (نکسوس) آب-انرژی-غذا در جوامع مختلف بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با افزایش جمعیت، تغییراقلیم و توسعه اقتصادی، امنیت دسترسی به منابع کافی آب، غذا و انرژی روزبه‌روز کاهش می‌یابد (Borgomeo et al., 2018). برای تأمین انرژی به آب و برای استخراج، تصفیه و انتقال آب به صرف انرژی نیاز است. از طرفی دیگر تغییر کاربری اراضی با گسترش کاربری شهری، صنعتی و یا کشاورزی منجر به مصرف آب بیشتری می‌شود که در ادامه این چرخه با گسترش کشاورزی، صنعت و شهرها به‌معنای مصرف بیشتر انرژی و در نتیجه نیاز به منابع آب بیشتر است.

از دیگر مسائلی که در شرایط حاضر باید در نظر گرفت، تغییراقلیم است. تغییراقلیم با افزایش دما، کاهش بارندگی‌ها و گسترش وقایع حدی همانند خشکسالی، منجر به کاهش منابع آب قابل دسترس شده و متعاقباً بر چرخه یادشده تأثیرگذار خواهد بود و نیازهای زیست‌محیطی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از روش‌های کاهش و سازگاری با تغییراقلیم در نظر گرفتن راهکارها و رویکردهای چندجانبه است. مفهوم هم‌بست یکی از رویکردهای چندجانبه و یکپارچه در جهت ایجاد بازگشت‌پذیری در سیستم‌ها، کاهش مناقشات و افزایش پایداری سیستم‌ها است (Mpandeli et al., 2018).

روز به‌روز با افزایش جمعیت، فشار مضاعف بر منابع محدود آب و نیاز به منابع مطمئنِ تأمین انرژی افزایش می‌یابد. ویژگی‌های گوناگونی بر هم‌بست تأثیر گذارند که از آن جمله می‌توان به تغییراقلیم، سیاست‌های ابلاغی دولت‌ها، منابع طبیعی موجود، گسترش شهرسازی و افزایش روزافزون نیازهای صنعتی و خانگی اشاره نمود. مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۸، پیشرفت سیاست‌های ابلاغی دولت استرالیا در بخش آب و انرژی در طی بیست سال گذشته را بررسی و چگونگی مدیریت بحران‌های آبی و خشکسالی این کشور با اعمال سیاست‌های دوجانبه و هماهنگ میان بخش‌های مدیریت منابع آب و تولید انرژی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است (Radcliffe, 2018).

در پژوهشی دیگر در ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۹، روشی برای گسترش خشکسالی کشاورزی از نظارت و شناسایی به مدیریت خشکسالی کشاورزی با تلفیق مدل شبیه‌سازی رشد محصول و یک مدل بهینه‌سازی تکنولوژی تولید انرژی، پیشنهاد گردید. در واقع تلفیق مدل شبیه‌سازی رشدِ محصول و مدل بهینه‌سازی تولید انرژی، گامی در راستای مطالعه هم‌بست آب-انرژی-غذا است که در زمینه شناسایی و مدیریت خشکسالی بسیار کارآمد بوده تا امنیت تأمین آب و غذا فراهم شود. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده کاهش قابل توجه در بازدهی محصول ذرت در سال‌های خشک نسبت به سال‌تر بود که برای نگه‌داشتن بالای بازدهی محصول، صرف آب و انرژی بالا غیرقابل اجتناب بود. همچنین نتایج نشان داد که بهره‌برداری از سیستم‌های کشاورزی از لحاظ اقتصادی مناسب بوده اما در مقابل پمپاژ با احجام بالا، انرژی زیادی نیز مصرف می‌شود. در مجموع نتایج این مطالعه نشان‌دهنده اهمیت در نظر گرفتن هم‌بست میان آب، انرژی و غذا بود که با در نظر گرفتن رابطه میان آب، انرژی و غذا سعی شد تا توازنی مناسب میان اجزای هم‌بست برقرار گردد (Zhang et al., 2018).

در مطالعه‌ای در منطقه‌ای از هیمالیا با شرایط آب و هوایی خاص و پیچیده از لحاظ مدیریت منابع آب، تأثیر تغییراقلیم و سناریوهای اجتماعی-اقتصادی بر اجزای هم‌بست را مورد بررسی قرار گرفتند (Momblanch et al., 2019). نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که تغییرات اجتماعی-اقتصادی نسبت به تغییراقلیم بر اجزای هم‌بست که شامل آب، انرژی و نیاز زیست‌محیطی بوده، اثرگذاری بیشتری داشت. از طرفی دیگر، در این مطالعه امکان بررسی تضاد و هم‌افزایی‌ها در قالب مفهوم هم‌بست میان اجزای مختلف آن فراهم و با توجه به آن، تصمیمات مدیریتی جهت کاهش و سازگاری با تغییراقلیم و تغییرات اجتماعی-اقتصادی اتخاذ گردید.

تأمین آب در فضا و زمان برای اغلب رقبای مصرف‌کننده آب، نیاز به رویکردهای جامع دارد که کلیه نیازهای انسان و حفاظت از محیط‌زیست را به عنوان یکی از متغیرهای وابسته و جدایی‌ناپذیر به حساب آورد (Cao and Warford, 2006; Bakker, 2014; Giuponni and Gian, 2017). رویکردهای زیادی برای پشتیبانی از مدیریت منابع آب استفاده شده که ارتباطات بین همه بخش‌ها را در نظر می‌گیرند (Gupta et al., 2013; Giuponni and Gian, 2017). مدیریت یکپارچه منابع آب (Agarwal et al., 2000)، مدیریت چند منظوره‌ای را دنبال می‌کند به‌گونه‌ای که با مدیریت مشترک زمین و آب، بتواند رفاه اقتصادی و اجتماعی را بیشینه نموده بنابراین نقطه ضعف آن در عدم توانایی نشان دادن تعامل بین سیاستِ بخش‌های مختلف می‌باشد (Hoff, 2011; Benson et al., 2015).

سیاست‌های کشاورزی بر استفاده از آب و انرژی تأثیر بسزایی دارد. استراتژی‌های تولید انرژی بر میزان آب مورد استفاده (مواد غذایی - به عنوان مثال سوخت‌های زیستی) برای تولید انرژی تأثیر دارد. در مقابل مدیریت آب در مقدار انرژی لازم برای برداشت، انتقال و تصفیه آب تعیین‌کننده است و از سمتی دیگر نیز سیاست‌های زیست‌محیطی محدودیت‌هایی برای استفاده از منابع طبیعی و دفع زباله برای هرگونه فعالیت اقتصادی ایجاد می‌کند. پیوند آب-مواد غذایی و انرژی (محیط‌زیست) جدایی‌ناپذیر بوده و مفهوم هم‌بست این روابط متعدد را پوشش می‌دهد و آب را به عنوان یک بخش متقابل و نه یک بخش مجزا در نظر می‌گیرد (Gupta et al., 2013; Hoff, 2011).

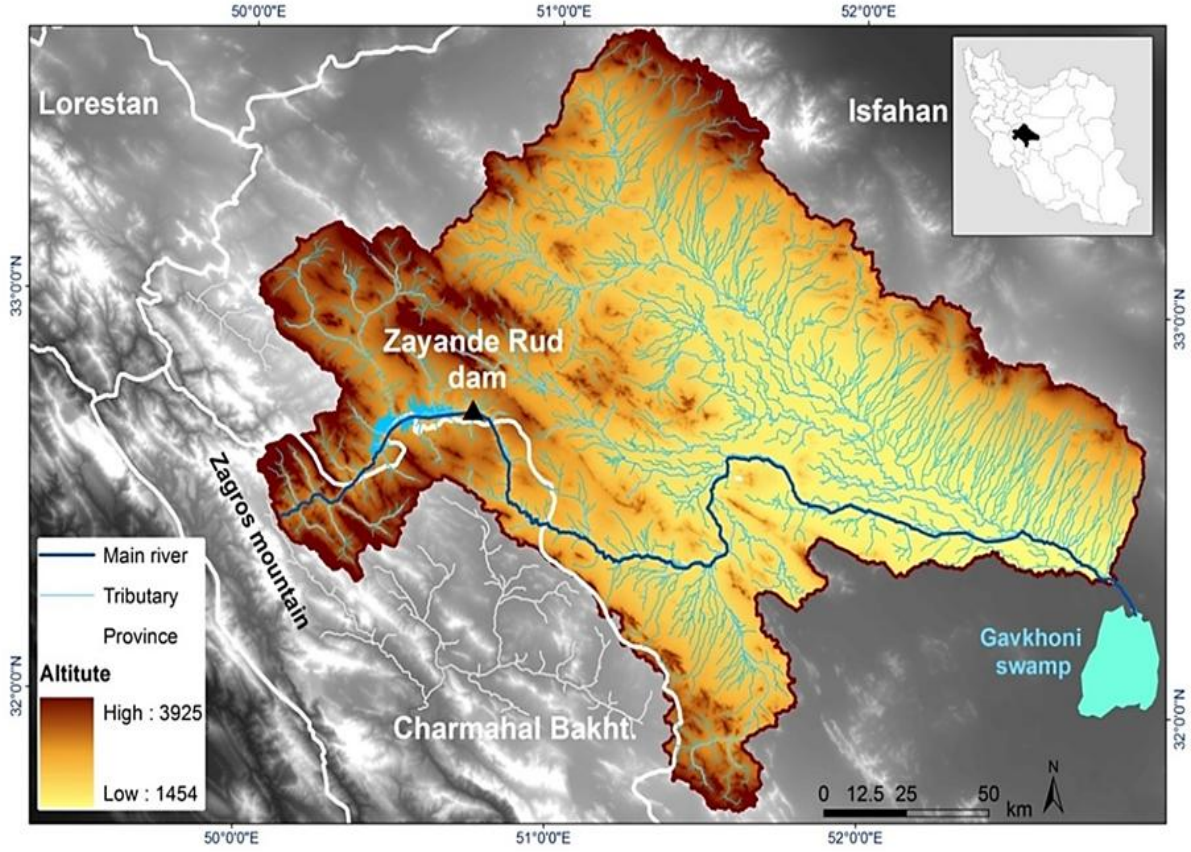
تحلیل رویکرد هم‌بست نیازمند شناخت تمامی اجزای تأثیرگذار با توجه به مسئله مورد بررسی و منطقه خاص مورد مطالعه می‌باشد. پرداختن به ارتباطات پیچیده میان اجزای هم‌بست نیازمند توسعه شاخص‌هایی می‌باشد که علاوه بر ارتباط با حوضه مورد مطالعه، برای ذینفعان نیز معنادار باشد و امکان تحلیل هم‌افزایی‌ها و تضادها را فراهم آورد. شناخت دقیق اثرات متقابل هم‌افزایی و تضاد اجزای تأثیرگذار در یک حوضه آبریز در راستای مدیریت یکپارچه منابع آب و سیاست‌گذاری‌های سازگاری و کاهشی در مقابله با اثرات تغییراقلیم از یک سوء و از سوی دیگر درک پیامدهای ترکیبی عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی فعلی و آینده بر حوضه‌های آبریز برای ارزیابی پایداری تامین آب (Nasiri et al. 2022) بسیار چالش‌برانگیز و حائز اهمیت می‌باشد. افزون بر این، توسعه شاخص‌ها و تفسیر نتایج با ذینفعان مربوطه برای اطمینان از شناخت دقیق سیستم پیچیده یک حوضه آبریز رودخانه‌ای، شیوه‌ها و سیاست‌های

مدیریتی مرتبط با آن، ضروری است. حوضه آبریز زاینده‌رود در طول قرن‌ها نقش محوری در اقتصاد منطقه داشته و این حوضه با رشد کشاورزی و صنعت، سهم قابل‌توجهی در اقتصاد ملی ایفا کرده است. اما در سال‌های اخیر، افزایش جمعیت، شهرنشینی، و نبود مدیریت مؤثر منابع، باعث فشار زیاد بر منابع آب و ایجاد بحران کم‌آبی شده است. در راستای مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه آبریز زاینده‌رود در طی سال‌های اخیر مطالعاتی با بهره‌گیری از رویکرد هم‌بست در این حوضه انجام شده است. در پژوهشی به بررسی هم‌زمان کمیت و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش‌های شرب و کشاورزی، پرداخته شده که با بهره‌گیری از شاخص‌های یکپارچه رد پای آب زیرزمینی و همچنین توسعه شاخص یکپارچه آب‌های سطحی به بررسی وضعیت منابع آب پرداختند (Najafi et al. 2021). در مطالعه دیگری با بهره‌گیری از مدل مدیریتی WEAP، حوضه آبریز زاینده‌رود در بخش آب و غذا تحت سناریوهای مختلف شبیه‌سازی شده و شاخص‌های پایداری سیستم با رویکرد هم‌بست آب-غذا-انرژی مورد بررسی قرار گرفت (Aghili et al. 2021). به طور کلی در مطالعات قبلی در حوضه آبریز زاینده‌رود، تأثیرات دورن‌بخشی اجزای هم‌بست شامل هم‌افزایی و تضاد میان آن‌ها کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین هدف پژوهش حاضر در راستای اهمیت فراهم کردن آب برای ذینفعان مختلف در یک حوضه آبریز و بهره‌گیری از یک چارچوب و مفهوم جامع که افزون بر تأمین نیازهای آبی مصرف‌کنندگانِ بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و خانگی، نیازهای زیست محیطی و همچنین تأثیر عواملی چون تغییر کاربری اراضی را درنظر بگیرد، قرار گرفت. بدین‌ترتیب، با توجه به مشکلات دسترسی به منابع آب سطحی و زیرزمینی برای ذینفعان مختلف در حوضه آبریز زاینده‌رود، رویکرد هم‌بست برای بررسی و شناخت اثرات متقابل بخش‌های مختلف بر یکدیگر استفاده شد. در راستای به‌کارگیری رویکرد هم‌بست، مجموعه‌ای از شاخص‌ها جهت تبیین هم‌افزایی‌ها و تضادها بین اجزای هم‌بست و بهبود تصمیم‌گیری توسعه یافته است. رویکرد هم‌بست پیشنهاد شده در این پژوهش، هم‌بست آب-انرژی-تغییر کاربری اراضی کشاورزی- زیست‌محیطی است. شاخص آب شامل شاخص‌های دربرگیرنده فعالیت‌های مهم انسانی در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود مصرف آب کشاورزی، مصرف آب صنعت، مصرف آب شرب و سد و همچنین شاخص تغییرکاربری اراضی کشاورزی می‌باشد. شاخص انرژی و شاخص نیاز زیست‌محیطی نیز با توجه به اهمیت تأمین نیاز تالاب گاوخونی مورد بررسی قرار گرفتند. شاخص‌های در نظر گرفته شده به عنوان اجزای هم‌بست، با توجه به شرایط خاص حوضه، شناخت دقیق حوضه آبریز زاینده‌رود و عوامل تأثیرگذار در وضعیت منابع آب قابل دسترس حوضه صورت گرفته است. از سوی دیگر، پیشنهاد شاخص برای هم‌بست آب که شامل مصرف آب در بخش‌های کشاورزی صنعت و شرب و تأمین آب پایین‌دست با مدیریت سد است، امکان بررسی وضعیت منابع آب موجود در حوضه را در ارائه طرح‌های مدیریتی و سیاست‌گذاری آینده فراهم می‌نماید.

## منطقه مورد مطالعه

### حوضه زاینده‌رود

حوضه آبریز زاینده‌رود با مساحتی حدود ۲۸۲۰۰ کیلومتر مربع، در بین عرض جغرافیایی ۳۱ تا ۳۴ شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ تا ۵۳ درجه شرقی قرار دارد (شکل ۱). رودخانه زاینده‌رود به عنوان بزرگ‌ترین رودخانه در فلات مرکزی ایران در این حوضه واقع شده که از ارتفاعات زردکوه بختیاری سرچشمه گرفته و پس از طی مسافت حدود ۳۵۰ کیلومتر به تالاب گاوخونی منتهی می‌شود. این رودخانه نقش مهم و حیاتی در تأمین آب بخش‌های شرب و صنعت و توسعه کلیه فعالیت‌های اقتصادی به‌ویژه کشاورزی منطقه مرکزی ایران دارد. رودخانه زاینده‌رود شدیداً تحت تأثیر بارش برف در ارتفاعات زاگرس بوده و لذا تأثیرپذیری بالایی از تغییرات آب و هوایی دارد. ارتفاع آن از سطح دریا از ۱۴۵۴ تا ۳۹۲۵ متر بوده که این امر دامنه تأثیر قابل توجه تنوع آب و هوایی را نشان می‌دهد.




**شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز زاینده‌رود.**

**Fig 1. Geographical location of the Zayandeh-Rud Basin.**

میزان تولید سالیانه طبیعی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود در حدود ۸۰۰ میلیون مترمکعب بوده که این مقدار باید جواب گوی نیاز مصرف‌کننده‌های کشاورزی، صنعت، شرب و نیاز محیط‌زیست باشد. کشاورزی به عنوان پرمصرف‌ترین بخش آب محسوب می‌شود. به علت ریزش‌های کم و غیر قابل اعتماد در بخش‌های مرکزی و شرقی حوضه، کشاورزی (گندم، جو، گیاهان علوفه‌ای، سیب‌زمینی، پنبه، کشت شالی و غیره) نقش مهمی در حیات این مناطق دارد. در حوضه زاینده‌رود نزدیک به ۲۶۰۰ کیلومتر مربع اراضی تحت‌آبیاری وجود دارد که از ۹ شبکه اصلی از زاینده‌رود و همچنین چاه‌های برداشت منابع آب زیرزمینی، قنوات و چشمه‌های واقع در دامنه دره‌ها آبیاری می‌شوند.. همچنین سد چندمنظوره زاینده‌رود با متوسط خروجی سالانه ۴۷/۵ میلیون متر مکعب در ثانیه در سال ۱۹۷۲ جهت تنظیم آب رودخانه و تأمین آب در مواقع کم‌آبی و خشک‌سالی احداث گردید. با حجم مخزنی برابر ۱/۵ میلیارد مترمکعب، این سد قادر به مهار رواناب‌های بهاره بوده و در طول تابستان به تدریج خروجی خود را تنظیم می‌نماید. این نحوه عملکرد باعث توسعه کشت‌های تابستانه (برنج و ذرت)، تولید برق به میزان ۵۵/۲ مگاوات، توزیع آب جهت صنایع و مصارف شهری و کنترل سیلاب‌های بهاره گردیده است.

در راستای تحقق اهداف این پژوهش، اطلاعات مصارف (کشاورزی، صنعت و شرب) در پایین‌دست سد زاینده‌رود، اطلاعات جریان خروجی سد زاینده‌رود، اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت کشاورزی در پایین‌دست سد زاینده‌رود و مقادیر نیازهای زیست‌محیطی ایستگاه ورزنه در نزدیکی تالاب گاوخونی و ایستگاه قلعه‌شاهرخ در بالادست حوضه در مقیاس سالانه از سازمان آب منطقه‌ای اصفهان دریافت شد.

## مواد و روش‌ها

هدف اصلی این پژوهش، معرفی شاخص‌هایی در بخش آب، انرژی، تغییر کاربری اراضی کشاورزی و نیاز

زیست‌محیطی در حوضه آبریز زاینده‌رود است که هر کدام از بخش‌ها می‌توانند یکی از اجزای مفهوم هم‌بست در حوضه باشند. مفهوم رویکرد هم‌بست امکانِ شناسایی و داشتنِ یک دید کلی و جامع از منابع آب یک حوضه و تأثیر متقابل عوامل مختلف بر هم را فراهم می‌سازد، بنابراین با تحلیل شاخص‌های هم‌بست و بررسی ارتباط تنگاتنگ شاخص‌های آن در حوضه امکان پیش‌بینی، مدیریت و برنامه‌ریزی برای مدیران و سیاست‌گذاران منابع آب فراهم خواهد شد تا با در دست داشتن شرایط کلی حوضه برنامه‌های جامع مدیریتی خود را ارائه دهند.

**شاخص آب**

شاخص آب در مفهومِ هم‌بست شامل چهار عاملِ سد، مصرف آب کشاورزی، مصرف آب صنعتی و مصرف آب شرب است که هر کدام از این عوامل خود یکی از فعالیت‌های انسانی هستند که بر کمبود منابع آب (Nasiri et al. 2022) تأثیرگذار می‌باشند. برای هر کدام از این عوامل، شاخص‌هایی تعریف شدند.

**شاخص مصرف آب کشاورزی**

این شاخص بر اساس مقادیر تحویل آب به شبکه‌های آبیاری مدرن و سنتی در پایین‌دست حوضه در ۱۳ نقطه‌ی برداشت در طول مسیر رودخانه زاینده‌رود که داده‌های آن قابل دسترس بود، تعریف شد.

$$\text{Agriculture Index} = \frac{\sum_{n}\sum_{t}\frac{\text{Demanded Volume}}{\text{Max Demanded Volume}}}{n*t}*100 \quad (۱)$$

در این رابطه n تعداد شبکه‌های آبیاری مدرن و سنتی، t تعداد ماه‌ها (اگر ماهانه بررسی شود) و یا تعداد سال‌ها (چنانچه سالانه) مورد بررسی قرار گیرد. منظور ازDemanded Volume مقدار آبی است که ماهانه یا سالانه به هر شبکه آبیاری در نقاط برداشت آن‌ها در طول مسیر رودخانه زاینده‌رود تحویل داده شده و منظور از Max Demanded Volume بیشترین مقدار آبی است که در دوره مورد بررسی مشاهده شده است (برحسب میلیون مترمکعب).

**شاخص مصرف آب صنعت**

این شاخص بر اساس ۱۶ فعالیت صنعتی موجود و کارخانه‌های صنعتی در پایین‌دست حوضه که طبق قراردادهای مصوب، آب به آن‌ها اختصاص داده می‌شود، محاسبه شد.

$$\text{Industrial Index} = \frac{\sum_{n}\sum_{t}\frac{\text{Demanded Volume}}{\text{Max Demanded Volume}}}{n*t}*100 \quad (۲)$$

در این رابطه، nتعداد فعالیت‌های صنعتی موجود و t تعداد ماه‌ها و یا سال‌های مورد بررسی است. در اینجا نیز منظور از Demanded Volume مقدار آبی است که در واقعیت طبق آمار، به فعالیت‌های صنعتی اختصاص داده شده، Max Demanded Volume مقدار آبی است که طبق قراردادهای مصوب باید به فعالیت‌های صنعتی اختصاص داده می‌شد که گاهاً در برخی موارد که در بخش نتایج به آن پرداخته می‌شود، حتی آب بیشتری به برخی از صنایع اختصاص یافته است (برحسب میلیون مترمکعب).

**شاخص مصرف آب شرب**

این شاخص نشان‌دهنده آبی است که برای تأمین نیاز شرب، از آب سطحی در مسیر رودخانه زاینده‌رود برداشت شده است.

$$\text{Domestic Index} = \frac{\sum_{n}\sum_{t}\frac{\text{Demanded Volume}}{\text{Max Demanded Volume}}}{n*t}*100 \quad (۳)$$

در این رابطه n تعداد نقاط برداشت جهت تأمین آب شرب در طولِ مسیر رودخانه زاینده‌رود، tتعداد ماه‌ها و یا سال‌های مورد بررسی است. در رابطه (۳)، Demanded Volume مقدار آب برداشتی در نقاط برداشتِ آب به منظورِ تأمین نیاز شرب بوده و Max Demanded Volume؛ بیشینه‌ی برداشت از آب سطحی در نقاط برداشتِ آبِ شرب در دوره زمانی مورد بررسی بوده است (برحسب میلیون مترمکعب).

**شاخص سد**

هدف از ساخت سد زاینده‌رود، افزایش اطمینان در تأمین نیازهای پایین‌دست بوده، که با ذخیره آب در ماه‌های پرآب، امکان تأمین و رهاسازی آب را در ماه‌های کم‌آب فراهم می‌کند. بنابراین شاخص سد، با توجه به عملکرد سد در تأمین نیازهای پایین‌دست شامل مصرف آبِ کشاورزی، شرب و صنعت تعریف شده است.

$$\text{Dam Index} = \frac{\sum_{t}\frac{\text{Released Volume}}{\text{Demanded Volume}}}{t}*100 \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، tتعداد ماه‌ها و یا سال‌های مورد بررسی، Released Volumeمقدار آب رها شده در طول دوره مدنظر بوده وDemanded Volume ؛ به صورت مجموع نیازهای کل پایین‌دست (کشاورزی، صنعت و خانگی) در نظر گرفته شده است (برحسب میلیون مترمکعب).

این شاخص بر اساس آمار انرژی تولیدی و مصرفی نیروگاه‌های موجود در پایین‌دست حوضه که از آب سطحی در مسیر رودخانه زاینده‌رود برداشت داشته و امکان دسترسی به آمار مقدار انرژی تولید شده آن‌ها وجود داشته، تعریف گردیده است.

**شاخص انرژی**

$$\text{Energy Index} = \frac{\sum_{n}\sum_{t}\frac{\text{Produced Energy}}{\text{Production Capacity}}}{n*t}*100 \quad (۵)$$

در رابطه بالا n تعداد نیروگاه‌های آبی، tتعداد ماه‌ها (سال‌ها)، Produced Energy؛ نشان‌دهنده میزان انرژی تولید شده در نیروگاه‌ها طبق آمار و Production Capacity؛ ظرفیت اسمی نیروگاه‌ها است که بر حسب مگاوات بر ساعت می‌باشد.

**شاخص تغییر کاربری اراضی کشاورزی**

تغییرات شدید کاربری به‌ویژه کاربری اراضی کشاورزی از یکی از مشکلات مهم و تأثیرگذار در حوضه زاینده‌رود است. همراه با احداث سد زاینده‌رود، کشاورزی در اطراف رودخانه زاینده‌رود نسبت به گذشته توسعه قابل توجهی یافت. افزایش سطح زیر کشت نه‌تنها باعث افزایش مصرف آب شده بلکه بر قابلیت بازچرخانی آب بر رودخانه نیز تأثیرگذار بوده و به نظر می‌رسد که سهم اراضی در باز چرخش آب به رودخانه کاهش یافته است. بنابراین در مفهوم هم‌بست شاخصی هم برای تأثیر تغییر کاربری اراضی از نوع کشاورزی در نظر گرفته شد.

$$\text{Land Use Index} = \frac{\sum_{n}\sum_{t}\frac{\text{Cultivated area under irrigation networks}}{\text{Max Cultivated area under irrigation networks}}}{n*t}*100 \quad (۶)$$

در رابطه (۶)، n تعداد شبکه‌های آبیاری، t تعداد ماه‌ها و یا سال‌ها، و منظور از Cultivated Area under irrigation networks، سطح زیر کشت اراضی کشاورزی تحت پوشش شبکه‌های آبیاری مدرن و سنتی، می‌باشد و Max Cultivated area under irrigation Networks نیز بیشترین سطح زیر کشت مشاهده شده در طول دوره آماری مورد بررسی بوده است.

**شاخص زیست‌محیطی**

با توجه به اهمیت بسیار زیادِ تالاب گاوخونی که در خروجی حوضه زاینده‌رود قرار دارد، شاخصی نیز در مفهوم هم‌بست به نیاز زیست محیطی این تالاب اختصاص داده شد.

$$\text{Environmental Index} = \frac{\text{Environmental Downstream Need}}{\text{Environmental Upstream Need}}*100 \quad (۷)$$

در رابطه (۷)، نیاز زیست‌محیطی تالاب، بر اساس نسبتِ نیاز زیست‌محیطی ایستگاه ورزنه در ورودی تالاب (Environmental Downstream Need) به نیاز زیست‌محیطی ایستگاه قلعه‌شاهرخ در بالادستِ سد زاینده‌رود (Environmental Upstream Need) محاسبه شد. مقدار نیاز زیست‌محیطی ایستگاه ورزنه و قلعه‌شاهرخ به ترتیب معادلِ ۵/۵ و ۱۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شد.

**شاخص جامع مفهوم هم‌بست آب-انرژی-تغییر کاربری اراضی-زیست‌محیطی**

با توجه به اجزای مختلف هم‌بست که بر اساس خصوصیاتِ حوضه زاینده‌رود محاسبه شدند، برای تخمین شاخص جامع مفهوم هم-بست، برای هر کدام از بخش‌های آب، انرژی، تغییرکاربری و زیست‌محیطی ضریب وزنی یکسانی انتخاب شد تا اثرگذاری بخش‌های آب، انرژی، تغییر کاربری اراضی و زیست‌محیطی در مفهوم هم‌بست، کاملاً به مقادیر شاخص‌های محاسبه شده مرتبط باشد. از سوی دیگر، در شاخص آب که خود شامل اجزای مصرف آب کشاورزی / شرب / صنعت و سد بود با توجه به تأثیرگذاری آن‌ها بر شرایط هیدرولوژیکی حوضه به‌ویژه کمبود آب قابل دسترس، ضرایب وزنی بر اساس نظر کارشناسان در نظر گرفته شد.

شاخص جامع هم‌بست از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Nexus\ Index = \sum_{n} W_n * I_n$$
$$n = 4 : I_w,\ I_e,\ I_{lu},\ I_{en} \quad (۸)$$

در رابطه (۸)، منظور از $I_w$ شاخص آب، $I_e$ شاخص انرژی، $I_{lu}$ شاخص تغییر کاربری اراضی و $I_{en}$ شاخص زیست‌محیطی و $W_n$ها ضریب وزنی یکسان معادل ۰/۲۵ اختصاص داده شده به اجزای هم‌بست می‌باشند که مجموع $W_n$ها یک در نظر گرفته شد. ناگفته نماند که همه شاخص‌ها بر اساس درصد هستند تا مقایسه میان آن‌ها آسان‌تر باشد.

در رابطه (۸)، منظور از $I_w$ شاخص آب بوده که شامل شاخص‌های مصرف آب کشاورزی، مصرف آب صنعتی، مصرف آب. شرب و سد است. بر اساس نظر کارشناسان حوضه و با توجه به درجه اهمیت و میزان مصرف هر کدام از بخش‌ها (Nasiri and Besalatpour, 2021)، برای محاسبه $I_w$ ضریب وزنی در نظر گرفته شد. شاخص آب $I_w$، با اجزای معرفی شده بدین ترتیب محاسبه می‌شود:

$$Iw = \sum_{n} W_n * I_n = W_1 * I_a + W_2 * I_i + W_3 * I_d + W_4 * I_{dam} \quad (۹)$$

در رابطه (۹)، $I_a$ شاخص مصرف آب کشاورزی، $I_i$ شاخص مصرف آب صنعتی، $I_d$ شاخص مصرف آب شرب و $I_{dam}$ شاخص سد است و Wnها وزن‌های اختصاص داده شده به شاخص‌ها طبق نظر کارشناسان است.

پس از محاسبه‌ی شاخص‌ها در مفهوم هم‌بست آب-انرژی-تغییر کاربری اراضی-زیست‌محیطی، با استفاده از روش پیرسون رابطه متقابل میان اجزای هم‌بست مورد بررسی قرار گرفت تا تضاد میان ذینفعان و هم‌افزایی میان آن‌ها مشخص شود. این کار با بهره‌گیری از ماتریس هم‌بستگی که سطح ثبات میان اجزای هم‌بست را نشان می‌دهد امکان‌پذیر می‌باشد. هم‌بستگی مثبت نشان‌دهنده تغییرات مشابه دو شاخص در طول زمان و هم‌بستگی منفی نشان‌دهنده تغییرات خلاف همِ دو شاخص در طول زمان است، بدین معنا که افزایش یکی با کاهش دیگری همراه است. به طور کلی روش رابطه پیرسون جزو روش‌های موفق در پیداکردن مصالحه میان ذینفعان و هم‌افزایی بوده است (Raudsepp et al., 2010; Erb et al., 2011; Luukkanen et al., 2012).

## نتایج

نتایج حاصل از محاسبه سالانه شاخص‌های هم‌بست در جدول ۱ ارائه شده است.

نکته‌ای که در اینجا قبل از هر مسئله‌ای باید به آن اشاره شود، نحوه محاسبه شاخص‌های مصرف می‌باشد. همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها بدان پرداخته شد، با توجه به رابطه محاسبه این شاخص‌ها، اعدادی که بر حسب درصد به‌دست آمده‌اند، درصد تأمین مصرف آب کشاورزی، صنعتی و بخش شرب نسبت به بیشترین مقدار ممکن آن‌ها در طی سال‌های مورد بررسی بوده است. به عنوان مثال مقدار شاخص ۱۰۲٪ برای صنعت به این معنا بوده که؛ نسبت به بیشترین مقدار آب مصرف شده در دوره مدنظر، آب مورد نیاز صنعت نه‌تنها کامل تأمین‌شده، چه بسا بعضی از واحدهای صنعتی آب بیشتری را نسبت به مجوز قرارداد، دریافت نموده‌اند. به عنوان مثال، نیروگاه اسلام‌آباد، که با مصرف سالیانه ۱۲ میلیون مترمکعب، دو برابر مقدار مجوز، آب برداشت نموده است (Industrial Report, 2013).

شاخص آب؛ شامل شاخص‌های مهم مصرف آب کشاورزی، مصرف آب صنعتی، مصرف آب شرب و سد (فعالیتی که نقش کاهش اثرات منفی خشکسالی و تأمین نیاز پایین‌دست را دارد) می‌باشد. برای محاسبه شاخصِ آب، متناسب با نقش هر کدام از فعالیت‌های انسانی و نتایج مطالعه (Nasiri and Besalatpour, 2021) ضریب وزنی برای هر کدام از اجزای شاخص آب در رابطه (۱۰)، در نظر گرفته شد.

$$I_w = \sum_n W_n * I_n = W_1 * I_a + W_2 * I_i + W_3 * I_d + W_4 * I_{dam} \quad (۱۰)$$

در حوضه زاینده‌رود حدود ۷۶ درصد از منابع آب، صرف بخش کشاورزی شده (Hosseini and Yasi, 2021)، بنابراین W1 ضریب مصرف آب کشاورزی به عنوان تأثیرگذارترین فعالیت، ۰/۴۵، مدنظر قرار گرفت. W2، ضریب مصرف آبِ صنعتی ۰/۱۵، W3 ضریب مصرف آب شرب ۰/۳۰ و در نهایت W4 ضریب سد، ۰/۱ در نظر گرفته شد. ضریب مصرف آب شرب ۰/۳۰ انتخاب گردید، زیرا بعد از مصرف کشاورزی تأثیرگذارترین فعالیت انسانی، بر تغییر منابع آب قابل دسترس بود. از سوی دیگر، با وجود مقدار ۱۰۲ درصدی شاخص صنعت، ضریب وزنی معادل ۰/۱۵ انتخاب گردید. ضریب وزنی برای شاخصِ سد، به عنوان مهم‌ترین فعالیت انسانی در حوضه زاینده‌رود، معادل ۰/۱۰ در نظر گرفته شد. با محاسبه شاخص‌ها در مفهوم هم‌بست این اطمینان حاصل خواهد شد؛ که کلیه بخش‌های ذینفع مرتبط با منابع آب در حوضه زاینده‌رود در نظر گرفته شده‌اند. برای مقایسه بهتر و آسان‌تر میان شاخص‌های مفهوم هم‌بست، کلیه‌ی محاسبات بر حسب درصد صورت گرفته و نتایج برآورد شاخص‌ها در مفهوم هم‌بست، عددی بین ۰ تا ۱۰۰ گزارش شده است. با توجه به شکل ۱، در میان شاخص‌ها، شاخص آب و انرژی از

بخش‌های بزرگِ ذینفع منابع آب شناخته شده، که کاملاً با واقعیتِ حوضه نیز هم‌خوانی دارد. این نتایج زمانی که در بحث تغییراقلیم، شرایط حوضه مورد بررسی قرار گیرد، بسیار اهمیت پیدا خواهند کرد و در این پژوهش، صرفاً دید کلی نسبت به ذینفعان آب در پایین‌دست حوضه به‌دست می‌دهد، تا در ادامه پژوهش با تحلیل شرایط آینده حوضه و با اطلاع از شرایط جامع منابع آب فعلی حوضه، راهکارهای سازگاری و کاهش اثرات تغییراقلیم و کمبود آب به بهترین نحو ارائه گردند. از سوی دیگر، در مقایسه میان شاخص زیست‌محیطی و شاخص تغییر کاربری اراضی با مقادیر به ترتیب ۵۵ درصد و ۳۹ درصد، نیاز زیست‌محیطی تالاب گاوخونی نسبت به تأثیرات تغییرکاربری اراضی در اولویت بعد از شاخص آب و انرژی قرار می‌گیرد.

**جدول ۱. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های سالانه**

**Table 1. The results of calculating the annual index**

| مقادیر ٪<br>Values | جزء شاخص<br>Index Component | شاخص<br>Index |
|---|---|---|
| 61 | شاخص مصرف کشاورزی<br>Agricultural Index | شاخص آب (Water Index) |
| 102 | شاخص مصرف صنعتی<br>Industrial Index | |
| 80 | شاخص مصرف خانگی<br>Domestic Index | |
| 42 | سد<br>Dam | |
| 85 | انرژی<br>Energy | شاخص انرژِی (Energy Index) |
| 39 | تغییر کاربری اراضی کشاورزی<br>Land-use Change | شاخص تغییر کاربری اراضی (Land-use Change Index) |
| 55 | تالاب گاوخونی<br>Gavkhuni Wetland | شاخص زیست‌محیطی (Environmental Index) |

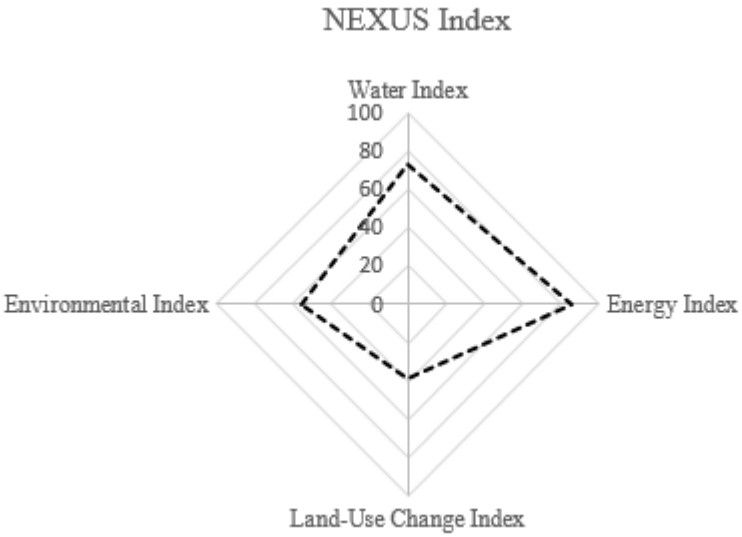
در حوضه زاینده‌رود حدود ۷۶ درصد از منابع آب، صرف بخش کشاورزی شده (Hosseini and Yasi, 2021)، بنابراین W1 ضریب مصرف آب کشاورزی به عنوان تأثیرگذارترین فعالیت، ۰/۴۵، مدنظر قرار گرفت. W2، ضریب مصرف آبِ صنعتی ۰/۱۵، W3 ضریب مصرف آب شرب ۰/۳۰ و در نهایت W4 ضریب سد، ۰/۱ در نظر گرفته شد. ضریب مصرف آب شرب ۰/۳۰ انتخاب گردید، زیرا بعد از مصرف کشاورزی تأثیرگذارترین فعالیت انسانی، بر تغییر منابع آب قابل دسترس بود. از سوی دیگر، با وجود مقدار ۱۰۲ درصدی شاخص صنعت، ضریب وزنی معادل ۱۵/. انتخاب گردید. ضریب وزنی برای شاخصِ سد، به عنوان مهم‌ترین فعالیت انسانی در حوضه زاینده‌رود، معادل ۰/۱۰ در نظر گرفته شد.

با محاسبه شاخص‌ها در مفهوم هم‌بست این اطمینان حاصل خواهد شد؛ که کلیه بخش‌های ذینفع مرتبط با منابع آب در حوضه زاینده‌رود در نظر گرفته شده‌اند. برای مقایسه بهتر و آسان‌تر میان شاخص‌های مفهوم هم‌بست، کلیه‌ی محاسبات بر حسب درصد صورت گرفته و نتایج برآورد شاخص‌ها در مفهوم هم‌بست، عددی بین ۰ تا ۱۰۰ گزارش شده است.

با توجه به شکل ۲، در میان شاخص‌ها، شاخص آب و انرژی از بخش‌های بزرگِ ذینفع منابع آب شناخته شده، که کاملاً با واقعیتِ حوضه نیز هم‌خوانی دارد. این نتایج زمانی که در بحث تغییراقلیم، شرایط حوضه مورد بررسی قرار گیرد، بسیار اهمیت پیدا خواهند کرد و در این پژوهش، صرفاً دید کلی نسبت به ذینفعان آب در پایین‌دست حوضه به‌دست می‌دهد، تا در ادامه پژوهش با تحلیل شرایط آینده حوضه و با اطلاع از شرایط جامع منابع آب فعلی حوضه، راهکارهای سازگاری و کاهش اثرات تغییراقلیم و کمبود آب به بهترین نحو ارائه گردند. از سوی دیگر، در مقایسه میان شاخص زیست‌محیطی و شاخص تغییر کاربری اراضی با مقادیر به ترتیب ۵۵ درصد

و ۳۹ درصد، نیاز زیست‌محیطی تالاب گاوخونی نسبت به تأثیرات تغییرکاربری اراضی در اولویت بعد از شاخص آب و انرژی قرار می‌گیرد.

با توجه به مقادیر مجزای شاخص‌ها در مفهوم هم‌بست، شاخص جامع بر اساس رابطه (۸) محاسبه شده و مقدار ۶۳ درصد برای شاخص جامع در مفهوم هم‌بست به‌دست آمد.




**شکل ۲. شاخص‌های سالانه حوضه زاینده‌رود در رویکرد هم‌بست.**

**Fig 2. Annual Indices of Nexus Approach at Zayandeh-Rud Basin.**

با بهره‌گیری از شاخص جامع تعریف شده در این مطالعه امکان بررسی شرایط حوضه آبریز زاینده‌رود تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، تغییراقلیم و یا ترکیبی از هر دو وجود دارد که در ادامه این پژوهش در آینده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در واقع با مقایسه ارقام به‌دست آمده برای شاخص جامع در مفهوم هم‌بست تحت سناریوهای مختلف، می‌توان اثرات سیاست‌گذاری‌های مختلف مدیریتی را با توجه به اثرگذاری بخش‌های آب، انرژی، کاربری اراضی و زیست-محیطی بر مقدار شاخص جامع در مفهوم هم‌بست مورد بررسی قرار داد و با توجه به هدف سیاست‌گذاری بهترین سناریو را در حالی‌که بخش‌های اساسی و مهم در سطح حوضه در نظر گرفته شده است، را انتخاب کرد.

در ادامه مطالعات، با رابطه پیرسون که بارها در مشخص نمودن مصالحه میان ذینفعان و هم‌افزایی میان عوامل مختلف به صورت موفقیت‌آمیز مورد استفاده قرار گرفته است (Radsepp et al., 2010; Erb et al., 2011; Luukkanen et al., 2012; Hicks et al., 2013). رابطه میان شاخص‌های کاربری اراضی، مصرف آبِ کشاورزی، مصرف آبِ صنعت، مصرف آب شرب و شاخص سد، مورد بررسی قرار گرفت.

ضریب r پیرسون بین ۱ و ۱- تغییر می‌کند که هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد؛ یعنی افزایش یک شاخص همراه با افزایش شاخص دیگری است و برعکس آن نیز حاکم می‌باشد؛ یعنی هرچه به ۱- نزدیک‌تر باشد، افزایش یکی همراه با کاهش یکی دیگر اتفاق می‌افتد.

طبق اصل گفته شده، برای شاخصِ تغییر کاربری اراضی و شاخصِ مصرف آب کشاورزی بیش‌ترین r، ۰/۷۸ به‌دست آمد که در راستای فرضی که در این مطالعه برای محاسبه تغییرکاربری اراضی کشاورزی بر اساس آب کشاورزی در نظر گرفته شده بود، قرار گرفت. مقدار r قابل توجه دیگر، مربوط به رابطه میان مصرف آب صنعتی و تغییر کاربری اراضی کشاورزی است؛ که با افزایش یکی از این دو فعالیت انسانی، دیگری کاهش یافته که علت آن نیز به‌خاطر کمبود دسترسی به منابع آب است. بدین معنا که؛ افزایش سطح کاربری اراضی کشاورزی به‌معنای افزایش مصرف

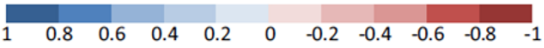
آب کشاورزی بوده که در تقابل با مصرف آب صنعتی می‌باشد، که این نتیجه در r به‌دست آمده میانِ مصرف آب کشاورزی و مصرفِ آب صنعتی نیز قابل مشاهده است.

از سوی دیگر، با توجه به مقدار r، شاخص مصرف آب صنعتی در راستای افزایش شاخص مصرف آب شرب می‌باشد، که این امر بدین معناست که؛ با گسترش صنعت و افزایش کیفیت و سطح زندگی، افزایش جمعیت و به‌تبع آن افزایش مصرف آب شرب قابل انتظار خواهد بود. شاخص‌های مصرف آب صنعتی، آب شرب و آب کشاورزی برخلاف شاخصِ سد، که باید نقش کاهش اثرات کمبود آب در پایین‌دست را داشته باشد عمل می‌کنند، که افزایش مصرف در این بخش‌ها، باعث افزایش عدم تأمین نیاز در پایین-دست خواهد شد.

**جدول ۲. نتایج حاصل از ماتریس رابطه با روش پیرسون.**

**Table 2. Results of Pearson correlation matrix.**

| مقدار r پیرسون<br>Pearson correlation | تغییر کاربری اراضی<br>Land-use Change | مصرف صنعت<br>Industrial use | مصرف کشاورزی<br>Agricultural use | مصرف شرب<br>Domestic use | سد<br>Dam |
|---|---|---|---|---|---|
| تغییر کاربری اراضی<br>Land-use Change | - | -0.46 | 0.799 | -0.042 | -0.128 |
| مصرف صنعت<br>Industrial use | -0.460 | - | -0.312 | 0.344 | -0.382 |
| مصرف کشاورزی<br>Agricultural use | 0.799 | -0.312 | - | 0.109 | -0.185 |
| مصرف شرب<br>Domestic use | -0.042 | 0.344 | 0.109 | - | -0.285 |
| سد<br>Dam | -0.128 | -0.382 | -0.185 | 0.285 | - |




## نتیجه‌گیری

پژوهش‌گران و دانشمندان حوزه آب، همواره در تلاش بوده‌اند تا راهکاری جامع برای مدیریت منابع آب و رفع بحران و تنش آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک پیدا کنند (Masaeli et al., 2022). رویکرد هم‌بست، رویکرد جامع و یکپارچه‌ای بوده که در سال‌های اخیر توجه دانشمندان بسیاری را به خود جلب کرده است (Barjesteh et al., 2020). در مفهوم هم‌بست، تأثیر همزمان و متقابل مؤلفه‌های مورد نظر، بر یکدیگر مشخص شده و هدف تأمین هم‌زمان همه مؤلفه‌ها با در نظرگیری اثرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر است.

در این پژوهش شاخص جامع آب-تغییرکاربری اراضی کشاورزی-زیست‌محیطی در حوضه آبریز زاینده‌رود محاسبه شد. اجزای شاخص کلی هم‌بست، شامل بخش‌های بسیار مهم و حیاتی در سطح حوضه زاینده‌رود می‌باشد. شاخص آب دربرگیرنده مصرف آب کشاورزی، صنعت و شرب و همچنین تأثیر سد زاینده‌رود در تأمین آب مورد نیاز پایین‌دست، بود. یکی دیگر از مسائل مهم در سطح حوضه، بحث تغییرات کاربری اراضی در بخش کشاورزی بوده که در سال‌های اخیر تأثیر به سزایی در مصرف منابع آب چه سطحی و چه منابع آب زیرزمینی حوضه داشته است. از سوی دیگر، نیاز زیست‌محیطی تالاب گاوخونی نیز در تعریف شاخص کلی، با توجه به اهمیت این تالاب در نظر گرفته شد. طبق نتایج حاصل شده از محاسبه شاخص جامعِ آب-تغییرکاربری اراضی کشاورزی-زیست-محیطی، مؤلفه انرژی، آب، زیست‌محیطی و تغییر کاربری اراضی به ترتیب با مقادیر ۸۵ درصد، ۷۳ درصد، ۵۵ درصد و ۳۹ درصد از مهم‌ترین ذینفعان آب در حوضه زاینده‌رود شناخته شدند. از سوی دیگر، با توجه به نتایج بررسی رابطه پیرسون، جزءهای مصرف آب کشاورزی و مصرف آب صنعت، بخش‌هایی با اهداف متقابل همدیگر و جزءهای مصرف آب شرب و مصرف آب صنعت اهداف هم‌راستای یکدیگر مشخص شدند.

نتایج حاصل شده از مطالعه انجام شده، در درک صحیح، جامع و به‌هم‌پیوسته شرایط ذینفعان در حوضه پیچیده زاینده‌رود از نقطه‌نظر مدیریت منابع آب سطحی و منابع باارزش آب زیرزمینی و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی بسیار

حائز اهمیت است. در ادامه مطالعات می‌توان بحث تغییراقلیم و تعریف سناریوهای مدیریتی مختلف را در شاخص جامع مفهوم هم‌بست نیز در نظر گرفت و بدین‌ترتیب امکان ارائه راهکارهای سازگاری و کاهش اثرات تغییراقلیم با دید جامع و یکپارچه از شرایط حوضه، فراهم شود.

## منابع


Agarwal, A., de Los Angeles, M. S., Bhatia, R., Chéret, I., Davila-Poblete, S., Falkenmark, M.,... & Wright, A. (2000). *Integrated water resources management*. Stockholm: Global water partnership.

Aghili, A. H., Golmohammadi, M. H & Nikooei, A. (2021). Evaluation of Resources Sustainability in Water-Food-Energy Nexus Approach Using Development and Analysis of Management Scenarios with Respect to Virtual Water Content; Case Study: Lenjanat Sub-basin. *Journal of Iran-Water Resources Research*. 16 (4), 77-97.

Bakker, K. (2012). Water management. Water security: research challenges and opportunities. *Science* (New York, N.Y.), 337(6097), 914–915. https://doi.org/10.1126/science.1226337.

Barjesteh, H., Qureshi, S.Z., & Mianabadi, H. (2020). Explain the function of the correlation approach in transboundary water hydro-politics. *Iranian Journal of EcoHydrology*, 7, 757-773. (In Persian).

Benson, D., Gain, A. K., & Rouillard, J. J. (2015). Water governance in a comparative perspective: from IWRM to a 'nexus' approach? *Water Alternatives*, 8(1), 756-773.

Borgomeo, E., Jagerskog, A., Talbi, A., Wijnen, M., Hejazi, M., & Miralles-Wilhelm, F. (2018). *The water-energy-food Nexus in the Middle East and North Africa*.

Cao, Y. S., & Warford, J. (2006). Evolution of integrated approaches to water resource management in Europe and the United States: some lessons from experience.

Erb, M., Balmer, D., De Lange, E. S., Von Merey, G., Planchamp, C., Robert, C. A.,... & Turlings, T. C. (2011). Synergies and trade-offs between insect and pathogen resistance in maize leaves and roots. *Plant, Cell & Environment*, 34(7), 1088-1103.

Giupponi, C., & Gain, A. K. (2017). Integrated water resources management (IWRM) for climate change adaptation. *Regional Environmental Change*, 17(7), 1865-1867.

Giupponi, C., & Gain, A. K. (2017). Integrated spatial assessment of the water, energy, and food dimensions of the sustainable development goals. *Regional Environmental Change*, 17(7), 1881-1893.

Gupta, J., Pahl-Wostl, C., & Zondervan, R. (2013). 'Glocal 'water governance: a multi-level challenge in the Anthropocene. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 573-580.

Hicks, C. C., Graham, N. A., & Cinner, J. E. (2013). Synergies and tradeoffs in how managers, scientists, and fishers value coral reef ecosystem services. *Global environmental change*, 23(6), 1444-1453.

Hoff, H. (2011). *Understanding the nexus*. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus, Stockholm Environment Institute (SEI), Stockholm, Sweden.

Industrial Report, Zayandeh_Roud Basin IWRM, 2013.

Luukkanen, J., Vehmas, J., Panula-Ontto, J., Allievi, F., Kaivo-oja, J., Pasanen, T., & Auffermann, B. (2012). Synergies or Trade-offs? A New Method to Quantify Synergy between Different Dimensions of Sustainability. *Environmental policy and governance*, 22(5), 337-349.

Masaeli, H., Gohari, A., & Shayannejad, M. (2022). Evaluation of different irrigation methods using water, energy, food, and carbon nexus approach. *Water and Irrigation Management*, 12(3), 511-525.

Momblanch, A., Papadimitriou, L., Jain, S. K., Kulkarni, A., Ojha, C. S., Adeloye, A. J., & Holman, I. P. (2019). Untangling the water-food-energy-environment nexus for global change adaptation in a complex Himalayan water resource system. *Science of the Total Environment*, 655, 35-47.

Mpandeli, S., Naidoo, D., Mabhaudhi, T., Nhemachena, C., Nhamo, L., Liphadzi, S., & Modi, A. T. (2018). Climate change adaptation through the water-energy-food nexus in southern Africa. *International journal of environmental research and public health*, 15(10), 2306.

Najafi, S., Roozbahani, A., Javadi, S & Hashemy Shahdany, S. M. (2021). Evaluation of Water Resources in Zayandeh Rood Basin Using Integrated Surface and Groundwater Footprint Indices. Journal of Water and Irrigation Management, 11 (1), 15-30.

Nasiri, N., & Besalatpour, A. A. (2021). *Assessment of dam management and applied loading impacts on hydrological drought characteristics in Zayandeh_Rud catchment*. 5th National Congress of Irrigation and Drainage, Birjand, Iran.

Nasiri, N., Asghari, K., & Besalatpour, A. A. (2022). Quantitative analysis of the human intervention impacts on hydrological drought in the Zayande-Rud River Basin, Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 13 (9), 3473–3495. https://doi.org/10.2166/wcc.2022.188.

Sharifi Moghadam, E., & Sadeghi, S. H. (2019). *Application of Water-Food-Energy Nexus in water resources management*. National Conference on Management Strategies of Water Resources & Environmental Challenges, Sari, Iran.

Swain, A., & Jägerskog, A. (2016). *Emerging security threats in the Middle East: The impact of climate change and globalization*. Rowman & Littlefield.

Zhang, J., Campana, P. E., Yao, T., Zhang, Y., Lundblad, A., Melton, F., & Yan, J. (2018). The water-food-energy nexus optimization approach to combat agricultural drought: a case study in the United States. *Applied Energy*, 227, 449-464.

Radcliffe, J. C. (2018). The water-energy nexus in Australia–the outcome of two crises. *Water-Energy Nexus*, 1(1), 66-85.

Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., & Bennett, E. M. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(11), 5242–5247. https://doi.org/10.1073/pnas.0907284107.

Safaee, V., Davari, K., & Puormohammad, Y. (2019). Necessity of Water, Energy, and Food Nexus Based on the Strategic Plan for Sustainable Development. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(2), 9-14.