مقاله پژوهشی

پایداری، توسعه و محیط زیست، دوره سوم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، صص ۲۹-۴۹

مروری بر مطالعات همبست آب، انرژی و غذا در ایران: ضرورت، چالش‌ها و راهکارهای پیشنهادی

ریحانه لونی[۱]

مهدی شریف‌زاده[۱،*]

m.sharifzadeh@sharif.edu

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۴ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱**

چکیده

با افزایش جمعیت، تأمین آب، انرژی و غذا یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی ایران و جهان محسوب می‌شود. پیش‌بینی‌ها بیانگر بحران آب، انرژی و غذا در آینده ایران و جهان می‌باشد. هدف مقاله حاضر، مرور مطالعات انجام شده ایران و جهان، در حوزه همبست آب، انرژی و غذا و بیان چالش‌ها و ضرورت بررسی همبست آب، انرژی و غذا در ایران می‌باشد. همبست آب، انرژی و غذا یک چشم‌انداز کلی از پایداری است که تلاش می‌کند تا تعادل میان اهداف مختلف، منافع و نیازهای مردم و محیط‌زیست را برقرار سازد. همبست آب، انرژی و غذا می‌تواند رهنمودی برای سیاستگذاری توسعه پایدار در کشور به منظور گذر از بحران‌های محیط‌زیستی و آبی در آینده باشد. در تحقیق پیش‌رو ضمن مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص همبست آب، انرژی و غذا در ایران و جهان، به بررسی چالش‌ها و ضرورت بررسی این همبست در ایران و جهان پرداخته است. از جمله نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان به چالش‌های اصلی در زمینه اجرایی شدن همبست آب، انرژی و غذا در ایران اشاره نمود که عبارتند از: سیاست‌های بخشی و عدم وجود مدیریت یکپارچه، فقدان منابع مالی انجام پروژه‌های همبست آب، انرژی و غذا، فقدان منابع اطلاعاتی مرتبط و عدم تدوین قوانین بالادستی در زمینه توسعه همبست آب، انرژی و غذا. در انتها از جمله نتیجه‌گیری حاصل از این مطالعه می‌توان به ارائه پیشنهاداتی در راستای توسعه همبست آب، انرژی و غذا اشاره نمود که عبارتند از: توسعه همکاری و هماهنگی کلیه ارگان‌های مرتبط از جمله وزارتخانه‌ها، مجلس شورای اسلامی، دانشگاه‌ها، انجمن‌ها، شرکت‌ها، تعیین نهادی برای سیاستگذاری و دستیابی به اجماع مشترک، ایجاد و توسعه زیرساخت‌های بازار تهاتر همبست‌ها، توسعه اقتصاد دیجیتال جهت توسعه فناوری‌های نوین مرتبط با اجرایی شدن طرح‌های همبست آب، انرژی و غذا، آمایش سرزمین و ارزیابی نظام‌مند عوامل طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی. بررسی‌ها و نتایج حاصل از این مقاله مروری می‌تواند گره‌گشای مشکلات پیش‌بینی شده در آینده ایران و جهان از طریق مدیریت و سیاستگذاری صحیح، باشد

کلمات کلیدی: مرور مطالعات همبست آب، انرژی و غذا؛ توسعه پایدار؛ ضرورت بررسی همبست در ایران؛ امنیت تامین آب، انرژی و غذا؛ راهکارهای پیشنهادی

---

[۱] پژوهشکده علوم و فناوری‌های انرژی، آب و محیط زیست شریف، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

J. Sus. Dev. & Env., Vol 3, No.3, Autumn 2022, pp. 29-49

A review of Water, Energy, and Food Nexus in Iran: Necessity, Challenges and Suggested Solutions

Reyhane Loni [1]
Mehdi Sharifzadeh [1*]
m.sharifzadeh@sharif.edu

Received: May 25, 2022 Accepted: November 2, 2022

Abstract

Background and Propose: Due to the world's population grows, water, energy and food supply will be one of the most important challenges in the future. The predictions show the water, energy, and food crisis in the future of Iran and the world. The aim of this study is to review the global challenges as well as challenges in Iran in providing the required water, energy and food resources in the coming years for human societies. The water, energy and food nexus is an overall vision of sustainability that seeks to strike a balance between different goals, interests and needs of people and the environment. The water, energy, and food nexus can be a guide for sustainable development policy in the country to overcome the environmental and water crises in the future.

Research Method: In this study, while reviewing the researches conducted regarding the water, energy and food nexus in Iran and the world, it has investigated the challenges and the necessity of investigating this nexus in Iran and the world.

Finding: Among the results of this research, the main challenges in the implementation of water, energy and food nexus in Iran can be mentioned, which include: sectorial policies and lack of integrated management, lack of financial resources to carry out projects related to water, energy and food nexus, lack of related information sources and lack of drafting upstream laws in the field of development of water, energy and food nexus.

Discussion and Conclusion: In the end, among the conclusions of this study, it is possible to point out suggestions for the development of water, energy, and food nexus, which include: development of cooperation and coordination of all related bodies, including ministries, Islamic Council, universities, associations, companies, determining an institution for policy making and reaching a common consensus, creating and developing the infrastructure of the clearing market of affiliates, developing the digital economy for the development of new technologies related to implementation correlation plans for water, energy and food nexus, land preparation and systematic assessment of natural, social, economic and cultural factors. The reviews and results of this review article can unravel the problems predicted in the future of Iran and the world through correct management and policy.

Keywords: Review of water, Energy, and food nexus; Sustainable Development; Necessity of nexus investigation in Iran; Security of water, energy, and food supply; Suggested solutions

[1] Sharif Institute of Energy, Water and Environment Sciences and Technologies, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

۱. مقدمه

کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در گلوگاه اثرپذیری از تغییرات اقلیمی، با چالش‌های انرژی، آب و محیط زیست مواجه شده است. عمده این معضلات متأثر از نگاه بخشی به آب، انرژی و حتی در داخل خود سیستم آب و سیستم انرژی می‌باشد. پیش‌بینی‌ها بیانگر تشدید بحران آب در ایران می‌باشد، بگونه‌ای که مطابق گزارشات ناسا دمای هوا ۳ تا ۵ درجه تا سال ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت (۲). همچنین پیش‌بینی‌ها حاکی از کاهش میزان بارش برف و باران در ایران تا سال ۲۰۵۰ می‌باشد که منجر به کاهش میزان سرانه‌ی مصرف آب به کمتر از ۱۰۰۰ متر مکعب در سال ۲۰۵۰ و حتی کمتر از ۷۰۰ مترمکعب در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. همچنین گزارشات و پیش‌بینی‌ها بیانگر کاهش منابع سفره‌های آب‌های زیرزمینی در آینده ایران هستند که سبب بحران‌های شدید خواهند شد (۲). از طرف دیگر پیش‌بینی‌های جهانی بیانگر افزایش دو برابری نیاز به غذا تا سال ۲۰۵۰ می‌باشد که منجر به دوبرابر شدن نیاز آب شیرین برای بهره‌برداری و فرآوری محصولات لازم برای تهیه‌ی غذا می‌گردد و بحران آبی را تشدید خواهد نمود (۲). لازم به ذکر است که شدت انرژی در دنیا و در اکثر کشورها طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ روندی نزولی داشته است در حالیکه در ایران با توجه به رشد سالانه ۳ درصدی عرضه انرژی اولیه و رشد اقتصادی کمتر از ۲ درصد، تغییرات شدت انرژی صعودی بوده است، بگونه‌ای که شدت مصرف انرژی در ایران در مقایسه با کشورهای دیگر به شدت بالا می‌باشد و ایران دارای رتبه ۱۳۹ در شدت انرژی اولیه در میان ۱۴۱ کشور است و این موضوع ضرورت اعمال مدیریت برنامه‌ریزی شده را نشان می‌دهد (۳). سهم زیادی از معضلات کشور، مربوط به بخشی‌نگری بوده است. همبست آب، انرژی و غذا می‌تواند این شکاف برنامه‌ریزی را تا حدود زیادی حل کرده و با نگاه یکپارچه به سیستم‌های انرژی، آب و اقلیم، راه حل‌های فراگیر برای چالش‌ها ارائه نموده و پیامدهای توسعه را به حداقل ممکن برساند. همبست آب، انرژی و غذا یک چشم‌انداز کلی از پایداری است (۴-۶). نمایی شماتیک از همبست آب، انرژی و غذا در **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است (۷). این مهم تلاش می‌کند تا تعادل میان اهداف مختلف، منافع و نیازهای مردم و محیط‌زیست را بر اساس کمی‌سازی روابط آب، انرژی و غذا از طریق تحقیقات مدلسازی یکپارچه و مدیریت برای ارائه استراتژی‌های مهم توسعه پایدار در جهان پویا و پیچیده امروز را برقرار سازد (۸, ۹). رویکرد همبست آب، غذا و انرژی حتی در خصوص کشت محصولات استراتژی نیز می‌تواند ورود کند و بهترین الگوی کشت کشور، در حالت بهینه مصرف آب و انرژی، جهت دستیابی به اهداف مهم کشور را ارائه نماید. همبست آب، انرژی و غذا می‌تواند رهنمودی برای سیاستگذاری توسعه پایدار در کشور به منظور عبور از بحران‌های محیط‌زیستی و آبی و همچنین برقراری امنیت غذایی و انرژی کشور در آینده باشد. با افزایش جمعیت جهان، تأمین آب، انرژی و غذا یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو خواهد بود. تضمین تامین آب، انرژی و غذا و امنیت هر سه بخش بدون کاهش منابع طبیعی، به‌عنوان یک چالش بزرگ در منطقه آسیا شناخته می‌شود.

شکل ۱: همبست آب، انرژی و غذا (۷).

Figure 1: Water, energy, and food nexus (7).

بررسی رویکرد همبست آب، انرژی و غذا ضرورت داشته و توجه بدان می‌تواند منابع کشور را با حداقل اثرات زیست محیطی و حداکثر منافع اجتماعی-اقتصادی مواجه نماید. همبستگی ذاتی آب، انرژی و غذا، نیازمند همکاری و اعتقاد ذینفعان در بخش‌های دولتی و خصوصی به مدیریت مسائل پایداری به شیوه‌ای نظام‌مند و جامع است. توسعه نهادی، برای سیاستگذاری و گفتمان بخش‌های مختلف درگیر در این همبست برای دستیابی به اجماع و اساس مشترک است. وزارتخانه‌های نیرو، کشاورزی و صنعت، معدن و تجارت نقش اصلی را در این میان ایفا می‌کنند. همچنین برنامه‌ریزی و سیاستگذاری میان بخش‌ها و سازمان‌های درگیر برای دستیابی به نقطه مشترک نیازمند ایجاد گفتمان میان ذینفعان و سازماندهی اهداف متضاد در جهت ایجاد همکاری و کاهش مداخلات است. شاخص بهره‌وری اقتصادی آب، انرژی و غذا برای ایران نشان می‌دهد که بهره‌وری مذکور با فراز و نشیب‌هایی همراه بوده است به نحوی که در سال ۱۳۸۹ این شاخص به کمترین میزان خود رسیده است. پس از این سال و با اجرایی شدن سیاست های اصلاح الگوی مصرف و اجرایی شدن هدفمندی یارانه‌ها، بهره‌وری آب و انرژی در بخش کشاورزی با روند مثبتی همراه بوده است.

در این راستا، مسئله همبست‌های آب، انرژی و غذا و لزوم پرداختن به آنها با دیدگاه آمایش سرزمینی و اقتصاد چرخشی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پس از ارایه مفاهیم و تبیین اهمیت حیاتی موضوع، دو رویکرد جهانی و ملی مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. در رویکرد جهانی، مثالهای موفق برنامه‌ریزی در سرمایه‌گذاری، و همچنین مدیریت بهینه دارایی‌های فیزیکی در کشورهایی که با کمبود منابع مواجه هستند ولی با مدیریت صحیح بر چالش‌های مربوطه فائق آمده اند، مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. در بخش داخلی با رویکرد آمایش سرزمینی و بررسی چالش‌های تامین منابع در اقلیم‌های مختلف کشورمان همبست‌های آب، انرژی و غذا مورد بحث و آسیب شناسی قرار خواهد گرفت. نهایتا در جمع‌بندی این بررسی‌ها، چالش‌های مدیریت همبست‌های آب، انرژی و غذا و ارایه راهکارها و پیشنهادات مربوطه انجام خواهد شد.

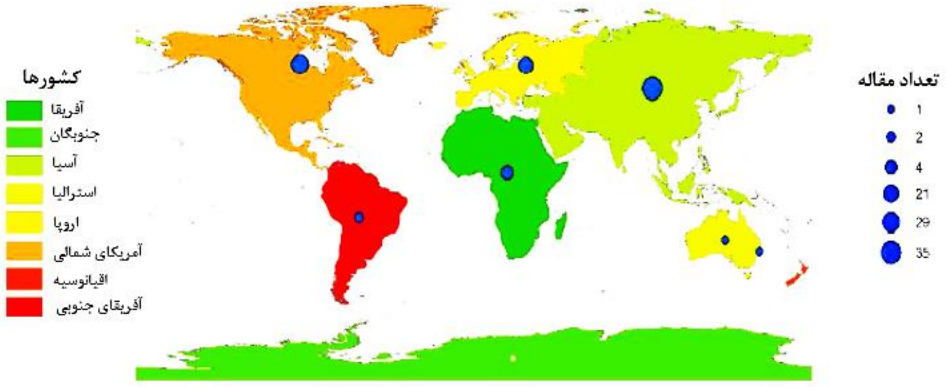
۲. مروری بر تحقیق

همبست آب، انرژی و غذا به مصرف منابع اکوسیستم، یعنی آب، انرژی، غذا، زمین و خاک و عوامل اجتماعی- اقتصادی می‌پردازد (۱۰-۱۲). به عبارت دیگر تعامل بهره برداری از منابع بین سه عنصر ضروری (آب، انرژی و غذا) برای جامعه انسانی را توصیف می کند (۱۳-۱۵). برای مثال، تولید انرژی ممکن است به آب نیاز داشته باشد، در حالی که آب برای تولید غذا نیز ضروری است. برای اطمینان از امنیت در کشاورزی، ممکن است بر تولید انرژی و بالعکس فشار وارد شود (۱۶). در کشورهای صنعتی، بیش از نیمی از منابع آب شیرین برای تولید انرژی مورد نیاز استفاده می‌شود (۱۷). نزدیک به ۳۰ درصد انرژی جهانی در تولید مواد غذایی مصرف می شود، با این حال، مواد غذایی یا ضایعات مواد غذایی را می توان به عنوان منبع انرژی استفاده کرد (۱۸). به طور متوسط تقریباً ۱۰۰ متر مکعب آب برای تولید یک تن ماکارونی گندم دوروم مورد نیاز است (۱۹). بنابراین، همبست آب، انرژی و غذا به عنوان یک مفهوم، پیچیدگی تعاملات و روابط متقابل بین سه گره سیستم - آب، انرژی و غذا، در نظر گرفته می‌شود (۲۰). همبست آب، انرژی و غذا باید به صورت کلی‌نگر و دایره‌ای نزدیک شود تا کمبودهای رو به رشد تحت فشارهای اقتصادی، تغییرات آب و هوایی و شهرنشینی برطرف شود (۲۱). مطالعات متعددی در مورد همبست انرژی، آب و غذا (۲۲-۲۴)، همبست آب و غذا (۲۵)، همبست انرژی و آب (۲۶, ۲۷)، همبست انرژی وغذا (۲۸)، و همبست غذا-انرژی-آب (۲۹-۳۱) گزارش شده است. ارزیابی رابطه آب-انرژی-غذا در یک مطالعه موردی محلی سیستم نمک‌زدایی در جزایر قناری، اسپانیا، مورد بررسی قرار گرفت. (۲۴). این مطالعه پتانسیل تجزیه و تحلیل یکپارچه چند مقیاسی متابولیسم اجتماعی و اکوسیستم را در ارائه یک ارزیابی یکپارچه از همبست آب، انرژی و غذا در رابطه با پایداری نشان داد. رویکرد جدید امکان تولید یک تخمین کمی قوی از رابطه انرژی، آب و غذا را با استفاده از بینش‌های نظریه پیچیدگی نشان داد. این امر از طریق ایجاد اتصالات روی پردازنده هایی که اطلاعات مربوط به ابعاد و مقیاس های تجزیه و تحلیل متمایز را منتقل می کند، انجام شد.

فانگ و همکاران (۳۲)، در پژوهشی با رویکرد تعادل عمومی و بررسی در حوزه های مرتبط، ردپای محیطی، انرژی، کربن و آب را به عنوان شاخص‌های انتخاب شده برای تعریف ردپای خانواده عنوان نمود. این امر امکان بررسی چهار اثر ذکر شده در بالا که در ارزیابی اثرات زیست محیطی مرتبط با استفاده از منابع طبیعی و پسماند کاملاً حذف شده‌اند، را فراهم می‌کند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که خانواده ردپای، که طیف وسیعی از مسائل پایداری را در بر می‌گیرد، می‌تواند تصویر کامل‌تری از پیچیدگی محیطی را برای سیاست‌گذاران و به ویژه در مطالعات سطح ملی ارائه دهد. این تحقیق بینش‌های جدیدی را در مورد تمایز بین ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و ارزیابی پایداری ارائه می‌دهد و به درستی به عنوان مرجعی برای تلاش‌های چند رشته‌ای برای پایداری جهانی عمل می‌کند. هانگ و همکاران (۳۳)، در مقاله‌ای یک رویکرد تعادل جزئی برای مطالعه توسعه فرآیند ابزار سیستم‌های مهندسی در ترکیب با مفهوم مطالعه منابع انرژی پیشنهاد کردند. آن‌ها سیستم‌های تولید انرژی محلی را طراحی کرده‌اند. روش پیشنهادی، که منعکس کننده اصول کلی برای طراحی یک سیستم تولید محلی است، نشان دهنده یک مطالعه موردی در رابطه یکپارچه انرژی آب و انرژی برای یک اکوسیستم بریتانیا است. روش پیشنهادی، که اصول کلی برای طراحی سیستم‌های تولید محلی را منعکس می‌کند، از طریق یک مطالعه موردی در مورد طراحی یکپارچه پیوند انرژی غذایی-آب برای یک شهرک در بریتانیا نشان داده شده است. این نشان دهنده مزایای طراحی یکپارچه یک سیستم با استفاده از منابع محلی برای برآوردن نیازهای خود نسبت به یک سیستم متکی بر منابع متمرکز و طراحی بدون در نظر گرفتن فرصت‌های یکپارچه‌سازی بین زیرسیستم‌ها است.

آرتیولی و همکاران (۳۴)، در مطالعه‌ای با رویکرد تعادل جزئی، همبست آب، انرژی و غذا را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله طرح شهری یکپارچه، ظرفیت هماهنگی و ارتباط آن با آب، غذا و انرژی در نظر گرفته شد. سه فرضیه در مورد تأثیر متقابل بین چارچوب‌های سیاست یکپارچه و حکمرانی شهری برای تطبیق چارچوب‌های سیاست یکپارچه در مقیاس شهری بررسی شده‌اند: تخصیص ظرفیت پیوندی توسط دولت‌های شهری، استقرار مجدد قدرت سیاسی از طریق مدیریت یکپارچه و اجرای پیوند از طریق رویکردهای شهر هوشمند. این فرضیه‌ها بعد سیاسی بحث پیوند را پیش می‌برد و نقش حکمرانی شهری را در پرداختن به چالش‌های جهانی منعکس می‌کند. هاگمن و کریسچک (۳۵)، در مطالعه‌ای با رویکرد تعادل جزئی، ترکیب دو سیستم مختلف در قالب یک چارچوب سیستماتیک (جعبه ابزار) را دنبال نمودند که در آن مدیریت یکپارچه منابع آب برای دستیابی به یک رویکرد به هم پیوسته طراحی شده است. جعبه ابزار با متدولوژی جامع با ادغام مدل های WEAP و LEAP برای حوضه آبریز هامون هیرمند تهیه شده است. این مطالعه نشان می دهد که در صورت استفاده از جعبه ابزار ارائه شده، با توجه به پتانسیل انرژی های تجدیدپذیر در حوضه آبریز، با استفاده از این انرژی‌ها برای بازیافت آب برگشتی بخش کشاورزی، می‌توان کمبود آب را تا افق ۲۰۴۰ کاهش داد. در ارتباط با توسعه دانش همبست آب، انرژی و غذا نمایی از این روند در جهان در شکل ۲ نشان داده شده است (۳۶). همانطور که مشاهده می‌شود، یک روند توسعه دانش در مناطق آسیایی، آمریکای شمالی و اروپایی وجود دارد. همچنین، همبست آب، انرژی و غذا در آسیا با توجه به افزایش جمعیت، نیاز به غذا و احتمال رشد تقاضا برای انرژی، بسیار مورد توجه است. جدول ۱ نمونه‌هایی از تجارب موفق در حوزه همبست آب، انرژی و غذا را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تجارب جهانی حاکی از امکان صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای با کاربرد بررسی‌های همبست آب، انرژی و غذا را می‌دهد.

از سوی دیگر تحقیقات متعددی در خصوص همبست آب، انرژی و غذا در ایران انجام شده است که در ادامه به این موارد اشاره می‌شود (۵۲, ۵۳). اسفندیاری و همکاران (۵۴)، در فصلی رویکرد تعادل جزئی به بررسی همبست آب، انرژی و غذا در شیراز، ایران پرداخته است. در نتیجه تغییر کاربری اراضی دشت شیراز تحت تأثیر شهرنشینی منجر به کاهش جدی محصولات باغی و کشاورزی شده است. در نتیجه کاهش ظاهری آب کشاورزی و محصولات کشاورزی در منطقه، مشکل اصلی شهرنشینی سریع رخ داده است. تجزیه و تحلیل اولیه در این



شکل ۲: نمایی از روند توسعه دانش همبست آب، انرژی و غذا در جهان (۳۶).

Figure 2: A view of the development process of knowledge related to water, energy, and food nexus in the world (36).

جدول ۱: نمونه‌های از تجارب موفق در حوزه همبست آب، انرژی و غذا

Table 1: Examples of successful experiences in the field of water, energy, and food nexus

ردیف	عنوان پروژه	کشور	اثرات کمی	منبع
۱	Community Garden of Via Gandusio	ایتالیا (بولونیا)	• ۲۵-۳۰٪ صرفه‌جویی آب • ۹۳۲ گرم غذا بر مترمربع	(۳۸ ,۳۷)
۲	Polderdak Zuidas	هلند (آمستردام)	• ۱۰-۳۰٪ صرفه‌جویی انرژی • ۸۳ مترمکعب ذخیره آب	(۴۰ ,۳۹)
۳	Chicago City Hall	آمریکا (شیکاگو)	• بیش از ۵۰۰۰ دلار در هر هکتار صرفه‌جویی انرژی • ۷۵٪ افزایش نگهداشت آب	(۴۲ ,۴۱)
۴	Rooftop Park B.Bylon	هلند (آمستردام)	• ۱۰۰٪ افزایش نگهداشت روان‌آب رگباری برای کشاورزی	(۴۳)
۵	ASLA Headquarters	آمریکا (واشنگتن)	• ۱۰٪ صرفه‌جویی انرژی • ۷۷٪ افزایش نگهداشت آب باران	(۴۵ ,۴۴)
۶	Southmead Hospital Brunel Building	انگلستان (بریستول)	• ۲۵٪ صرفه‌جویی آب	(۴۲)
۷	California Academy of Sciences's Living Roof	آمریکا (سن فرانسیسکو)	• ۱۰٪ صرفه‌جویی انرژی • ۹۳٪ کاهش روان‌آب	(۴۷ ,۴۶)
۸	Concave Green Roof	کره جنوبی (سئول)	• ۵۶٪ کاهش روان‌آب • ۷/۶ مترمکعب ذخیره آب به‌ازای ۱۴۰ مترمکعب	(۴۸)
۹	Fornebu Storm waterManagement System	نروژ (اسلو)	• ۲۳۰ مترمکعب بر هکتار ذخیره آب	(۵۱-۴۹)
۱۰	Water Decelerating Green Strip	هلند (آمستردام)	• کاهش روان‌آب و افزایش ذخیره آب	(۴۰)

مطالعه از طریق مطالعه موردی شیراز نشان می‌دهد که به یک مطالعه عمیق نیاز می‌باشد تا نشان داده شود که شهرنشینی چگونه بر دسترسی به منابع آب، امنیت تولید مواد غذایی در اطراف شهرها و نیازهای انرژی در سطح ملی تأثیر گذاشته است و چه تغییراتی در سیاست و برنامه‌ریزی برای دستیابی به شهرهای پایدار و زیست‌پذیر در آینده لازم است. قاسمی‌پور و عباسی (۵۵)، در مقاله ای با رویکرد تعادلی جزئی به مطالعه برداشت از آب‌های زیرزمینی، صادرات آب‌مجازی پرداخته است.

این مطالعه به مدیران آب و تصمیم‌گیران منطقه تصویری از نحوه و مکان استفاده از منابع آب محلی از طریق شبکه تجارت مواد غذایی ارائه می‌دهد. نتایج این تحقیق می‌تواند توسط سیاست‌گذاران منطقه‌ای برای ایجاد رویکردهای موثر و قابل اجرا برای کاهش کمبود آب، تضمین استفاده پایدار از منابع آب و تامین امنیت غذایی مورد استفاده قرار بگیرد.

نادری و همکاران (۵۶)، در پژوهشی با رویکرد تعادل جزئی و استفاده از داده های فصلی آبیاری به بررسی همبست آب و انرژی پرداختند. با آن‌ها بررسی سیستم‌ها و عملکرد این سیستم‌ها در دشت قزوین دریافتند که در صورت بهره‌برداری ترکیبی از آب زیرزمینی و کانال آبیاری، بازده انرژی در سیستم های آبیاری به مراتب بیشتر از بهره‌وری انرژی است. در نحوه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی،کاهش سالانه سطح آب زیرزمینی نزدیک به ۱ متر پیش بینی شده است که نشان دهنده استفاده بیش از حد از ظرفیت تغذیه طبیعی دشت است که ممکن است منجر به تخلیه آب زیرزمینی قابل بازیافت در دشت در سه دهه آینده شود. کاهش سطح آب‌های زیرزمینی باعث می‌شود تا مصرف انرژی تامین آب حدود ۳۲ درصد (یعنی ۳۸۰ گیگاوات ساعت) برای حفظ کشاورزی آبی افزایش یابد. اجرای ترکیبی از سیاست‌های مدیریت تقاضا و عرضه آب (به عنوان مثال صرفه جویی خالص آب کشاورزی و بازیافت فاضلاب تصفیه شده) برای به تاخیر انداختن مشکل محدودیت های آب برای رشد در منطقه بسیار مهم است. صادقی و مقدم (۵۷)، در پژوهشی با رویکردی تحلیلی- توصیفی، با رویکرد توازن جزئی، چهار راه حل سیاستی برای پیشبرد اهداف سیاستی پیشنهاد دارند. پیشنهاد قیمت‌گذاری آب و انرژی، توسعه مدل کشت و مکان‌یابی مناسب صنایع، اصلاح سیاست‌های واردات و صادرات با رویکرد توجه به آب مجازی و ردپای آب و افزایش محصولات گلخانه‌ای. از نتایج و شواهد موجود می توان نتیجه گرفت که همبست آب، انرژی و غذا یک رویکرد عملی، قابل تنظیم و تطبیقی برای برآوردن نیازهای روزافزون انسان است در حالی که نگاهی به منابع محدود وجود دارد. بر اساس ادبیات موجود و مطالعه موردی انجام شده توسط آن‌ها، در نهایت می توان نتیجه گرفت که اتخاذ همبست آب، انرژی و غذا دستاوردهای بهتری را در مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز تسهیل می کند.

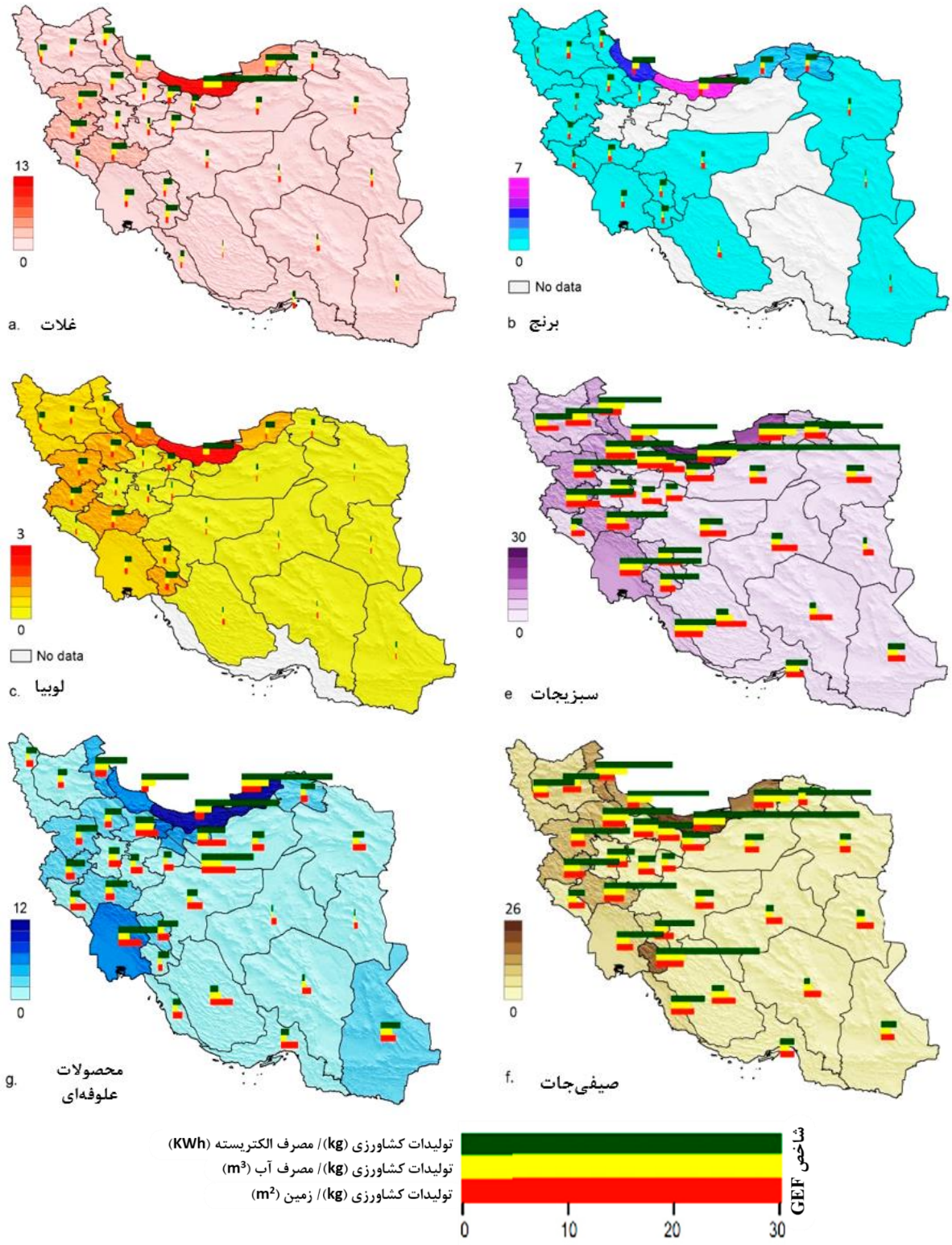
بخشیان لموکی و همکاران در سال ۲۰۱۹ (58) چالش‌های محیط زیست، اجتماعی، و اقتصادی در حوضه دریاچه ارومیه، ایران حاصل از کمبود آب ناشی از افزایش تقاضا در بخش‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اگر ۲۰٪ اراضی گندم آبی برای مهار تقاضای آب کشت نشوند و از سوی دیگر اگر همراه عملکرد مزارع آبی ۲۰٪ و مزارع دیم ۸۰٪ افزایش یابد، کاهش تولید گندم در حوضه دریاچه ارومیه وجود نخواهد داشت و امکان احیای دریاچه نیز وجود خواهد داشت. راور و همکاران در سال ۲۰۲۰ (59)، یک مدل شبیه‌سازی تفکیک‌شده مکانی-زمانی بر اساس آب – غذا – انرژی توسعه دادند. آن‌ها رویکرد همبست آب، انرژی و غذا را برای ارزیابی امنیت تامین آب و غذا در حوضه گاوخونی در مرکز ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اجرای ترکیبی از سیاست‌های «تغییر الگوی کشت و افزایش بهره‌وری محصول» و «کنترل برداشت از آب‌های زیرزمینی»، موجب افزایش امنیت آب‌های سطحی (۴٪) و امنیت آب‌های زیرزمینی (۵٪)، و همچنین موجب کاهش مقدار آب برای تولید غذا (۱۸٪) و انرژی مورد نیاز برای آب (۲۶٪)، می‌شوند. در مطالعه‌ای دیگر توسط شریف‌نژاد و همکاران در سال ۲۰۲۰ (60) یک ماژول تحلیل اقتصادی به مدل ارائه شده توسط راور و همکاران در سال ۲۰۲۰ (59)، در حوضه گاوخونی در مرکز ایران اضافه شد. نتایج نشان داد که با اعمال سیاست پیشنهادی بخش انرژی، هزینه کل انرژی برای آب حدود ۳۰٪ و هزینه کل آب برای انرژی حدود ۶۱٪ کاهش خواهد یافت که به کاهش یارانه انرژی و منابع آب کمک خواهد کرد.

صادقی و همکاران در سال ۲۰۲۰ (61)، بهینه‌سازی خطی همبست آب، انرژی و غذا برای حوضه آبخیز شازند، استان مرکزی، ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بر مبنای بهینه‌سازی خطی همبست آب، انرژی و غذا پتانسیل ۴۴-۱۶٪ صرفه‌جویی آب، ۵۳-۱۰٪ صرفه‌جویی انرژی و ۵۷-۴۰٪ تغییرات در زمین مورد استفاده وجود دارد. زارعی در سال ۲۰۲۰ (62)، به بررسی دینامکی نگرانی‌های مرتبط با امنیت

آب، انرژی و غذا در کشورهای ایران، عراق و ترکیه پرداخته است. نتایج نشان داد که بررسی اثر همبست آب، انرژی و غذا در ایران، عراق و ترکیه با توجه به کمبود آب (همچنین وجود آب‌های مرزی)، افزایش جمعیت و نیاز غذایی دارای اهمیت است. نوروزی در سال ۲۰۲۲ (52)، به بررسی مدل مفهومی ارتباط متقابل غذا، آب و انرژی با استفاده از یک سیستم پویا و تحلیل عوامل مؤثر بر این رابطه، در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص بهره‌وری اقتصادی آب، انرژی و غذا برای ایران در سال ۱۳۸۹ به کمترین میزان خود رسیده و پس از آن با اتخاذ سیاست‌های جدید افزایش یافته است. نادری و همکاران در سال ۲۰۲۱ (56)، به بررسی کیفی و شبیه‌سازی دینامیک سیستم کمی سیستم منابع آب در دشت قزوین، ایران را با در نظر گرفتن شدت انرژی بخش‌های تامین آب و مصرف آب به هم پیوسته (مانند شهری، صنعتی و کشاورزی) پرداختند. نتایج نشان داد که ادامه روند موجود، موجب کاهش سطح آب های زیرزمینی می شود که در نتیجه مصرف انرژی تامین آب حدود ۳۲ درصد (یعنی ۳۸۰ گیگاوات ساعت) برای حفظ کشاورزی آبی افزایش خواهد یافت. مهدویان و همکاران در سال ۲۰۲۲ (۶۳) رابطه نامتقارن بین مصرف انرژی، مصرف کود شیمیایی، انتشار CO_2، تغییرات دما و تولید را از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۹ با استفاده از رویکرد NARDL و آزمون علیت گرنجر در حوزه فرکانس (برایتونگ و کندلون) مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که شوک منفی ناشی از افزایش مصرف انرژی تأثیر بیشتری بر تولید کشاورزی نسبت به شوک مثبت دارد. همچنین نتایج نشان داد که شوک مثبت مصرف کود در بلندمدت تاثیر مثبتی بر تولید دارد و باعث بهبود آن می شود. اما اثر یک شوک منفی ناچیز است. علاوه بر این، شوک منفی انتشار CO_2 تأثیر مثبتی بر تولید دارد. در نهایت شوک‌های مثبت و منفی در تغییرات دما تأثیر فزاینده و کاهشی بر تولید دارند.

حسن‌زاده و همکاران در سال ۲۰۲۲ (64)، به بررسی همبست آب، انرژی و غذا و انتشارات co2، برای مزرعه ای در شمال غرب ایران برای ارائه پشتیبانی داده برای تصمیم گیرندگانی که استراتژی های ملی را در پاسخ به تغییرات آب و هوایی تدوین می کنند، تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که در وضعیت بهینه شاخص WEF، مصرف آب و انرژی، تولید غذا و انتشار CO2 به ترتیب ۳۳,۵٪، ۱۶، ۵۸,۹٪ و ۱۴,۴٪ کاهش خواهد یافت. کیهان‌پور و همکاران در سال ۲۰۲۱ (65)، به بررسی شبیه‌سازی مدیریت پایدار منابع آب برای ارزیابی تأثیر توسعه اجتماعی-اقتصادی بر امنیت منابع آب، غذا و انرژی در استان خوزستان در ایران پرداختند. در این مطالعه، افزایش ۱۶٪ راندمان آبیاری، ۱۰٪ بهبود الگوی کشت، کاهش ۶٪ تلفات محصولات کشاورزی، ۵٪ کاهش تقاضای غذایی ناشی از تلفات غذایی و افزایش سالانه ۵٪ عملکرد کشاورزی به عنوان مدیریت پایدار منابع آب بیان شده است. کرمیان و همکاران در سال ۲۰۲۱ (66)، به کارگیری شاخص پیوند آب-انرژی-غذا (WEFNI) به عنوان یک دیدگاه مدیریتی جدید در سطح مزرعه را بررسی کردند. در این مطالعه بیان شده است که از طریق درک صحیح فرآیندهای آشکار و پنهان آب، انرژی و غذا، می‌توان راه‌حل‌های اجرایی برای بهینه‌سازی تولید، کاهش آلودگی‌های محیطی و در نتیجه تولید مواد غذایی پاک‌تر ارائه شود. میرزایی و همکاران در سال ۲۰۱۹ (۶۷)، به بررسی توزیع استانی شاخص آب-انرژی-غذا (GEF[1]) در ایران پرداختند. شکل ۳ نتایج توزیع استانی شاخص آب-انرژی-غذا (GEF[2]) بر اساس نتایج مقاله (۶۷) نشان داده شده است. طبق شاخص GEF، هرچه بهره‌وری (محصول نسبت به مصرف انرژی، آب و زمین)، بیشتر باشد، شاخص GEF عدد بالاتری را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، محصولات کشاورزی مختلف، در استان‌های مختلف دارای پتانسیل کشت مختلف است، بگونه ای که برخی از استان‌ها برای کشت تنها برخی از محصولات کشاورزی پتانسیل و عملکرد بهتری را طبق شاخص GEF نشان داده‌اند. شکل ۳ بیانگر اهمیت بررسی همبست آب، انرژی و غذا به منظور تعادل میان منابع آب، انرژی و غذا است. نتایج ارائه شده در مقالات بررسی هبست آب، انرژی و غذا در ایران حاکی از ضرورت بررسی این مهم در ایران جهت مدیریت و برنامه‌ریزی جهت کشت محصولات استراتژی در حالت بهینه مصرف آب و انرژی را نشان می‌دهد.

[1] Groundwater-Energy-Food
[2] Groundwater-Energy-Food



شکل ۳: نتایج توزیع استانی شاخص‌های GEF (۶۷).

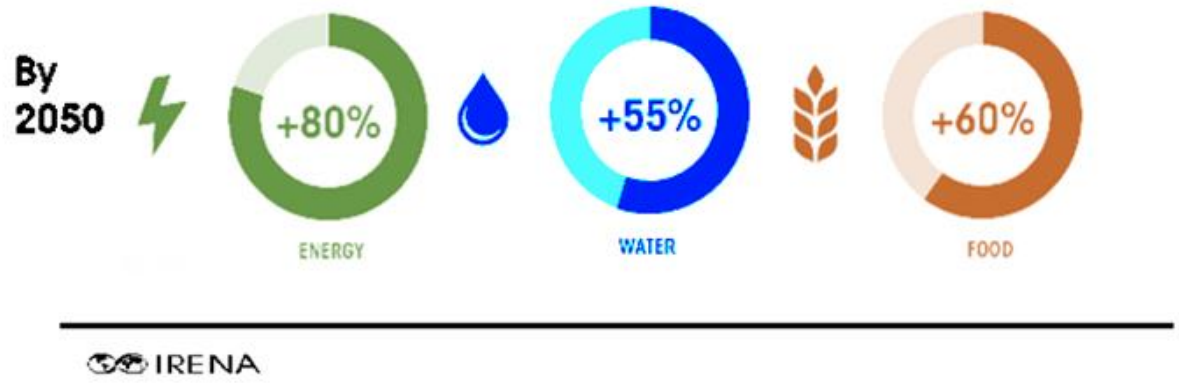
Figure 3: Results of provincial distribution of GEF indicators (67).

۳. چالش‌های جهانی در افق ۲۰۵۰

پیش‌بینی‌های جهانی نشان می‌دهد که با توجه به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، پیشرفت فناوری، افزایش شهرنشینی، تغییرات اقلیم، تخریب منابع و کمبود آب، تقاضا برای آب، انرژی و غذا در دهه‌های آینده افزایش خواهد یافت. پیش بینی شده است که تا سال ۲۰۵۰ به دلیل تفاضای بیشتر مواد مغذی و با کیفیت بهتر، بایستی ۶۰ درصد غذای بیشتر تولید گردد؛ انرژی مصرفی جهان نیز سیر صعودی داشته به نحوی که تا

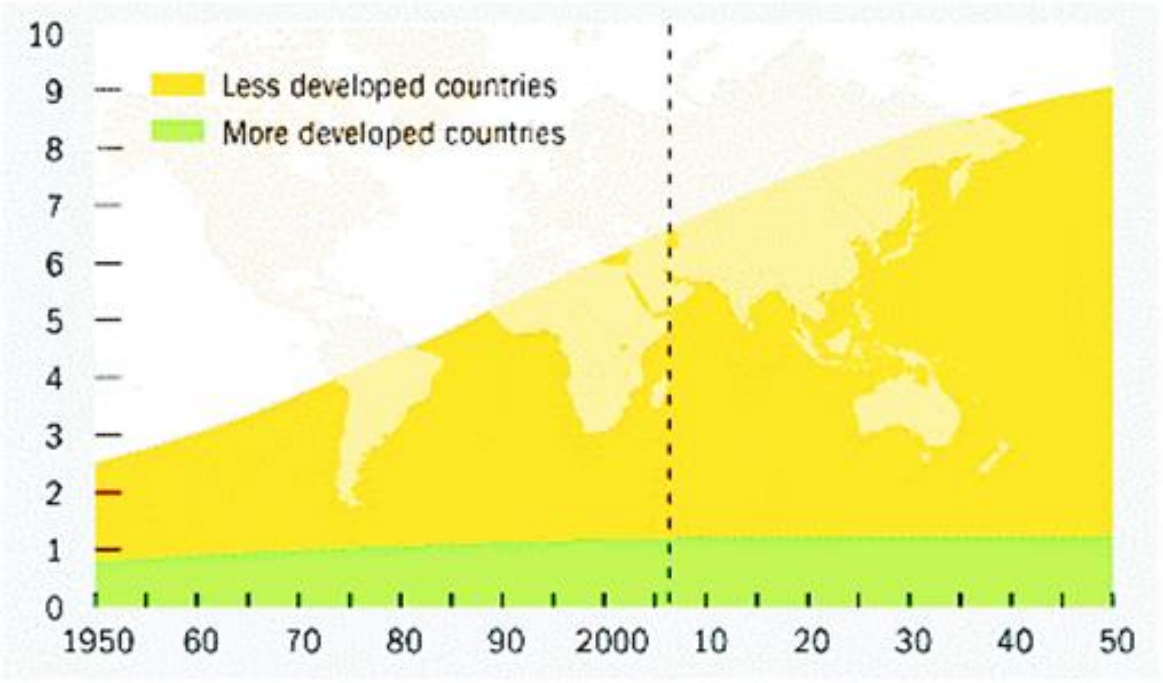
سال ۲۰۵۰ به میزان ۸۰ درصد افزایش خواهد یافت؛ و تقاضای آب نیز تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۵۵ درصد افزایش خواهد داشت. شکل ۴ پیش بینی‌های مصرف آب، انرژی و غذا در سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد (۱).

بر اساس مطالعه انجام شده توسط FAO (۶۸)، با ادامه وضع موجود، جمعیت جهان تا ۲۰۵۰، به حدود ۹/۱ بیلیون نفر افزایش خواهد یافت (شکل ۲). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که جمعیت در کشورهای توسعه یافته تقریبا ثابت باقی خواهد ماند و رشد عمده جهان در کشورهای در حال توسعه اتفاق خواهد افتاد. همچنین مطالعات افزایش تقاضای بشر به غذا را نشان می‌دهند. شکل ۶ نمودار پیش‌بینی تقاضای غذای مورد نیاز بخش‌های مختلف دنیا را تا سال ۲۰۵۰ نشان می‌دهد (۶۹). همانطور که مشاهده می‌شود، تقاضای غذای مورد نیاز جهان رو به رشد است و طبق آمارهای جهانی این رقم تا ۶۰٪ تا سال ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت.



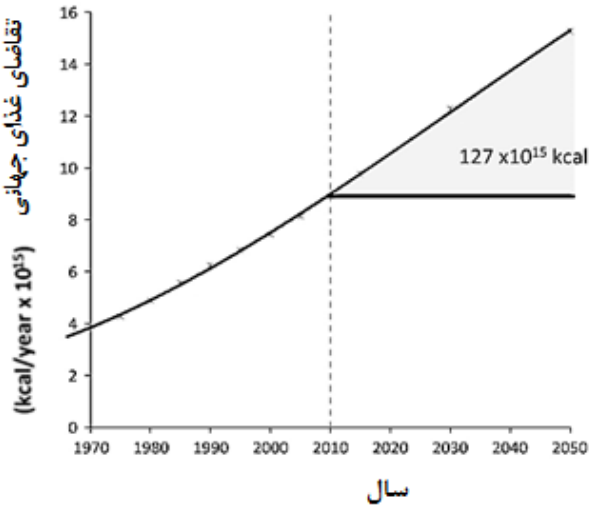
شکل ۴: پیش‌بینی درصد افزایش مصرف آب، انرژی و غذا در افق ۲۰۵۰ (۱) .

Figure 4: Forecasting the percentage increase in water, energy, and food consumption in the horizon of 2050 (1).



شکل ۵: روند رشد جمعیت بین سال های ۱۹۵۰ تا ۲۰۵۰ (۶۸).

Figure 5: Population growth trends between 1950 and 2050 (68).



شکل ۶: تقاضای غذای مورد نیاز بخش‌های مختلف دنیا (۶۹).
Figure 6: Food demand in different parts of the world (69).

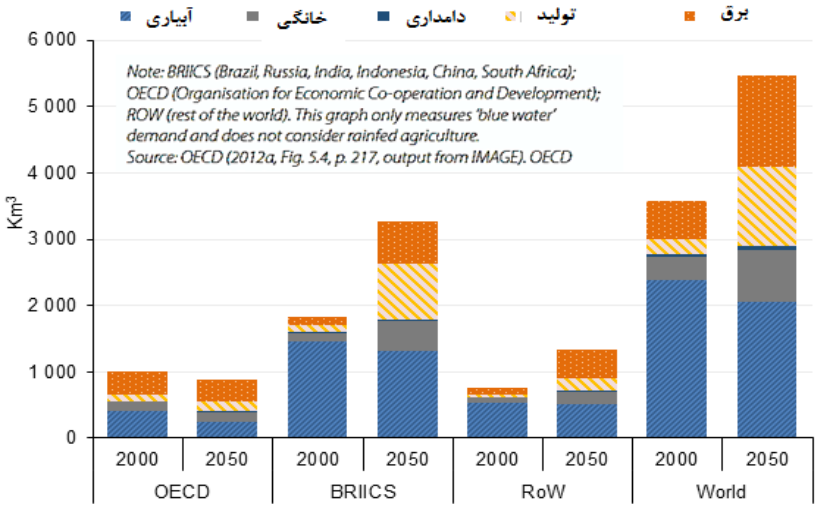
کشاورزی با مصرف حدود ۷۰ درصد از مجموع کل منابع آب شیرین جهان به عنوان بزرگترین مصرف‌کننده آب به حساب می‌آید. علاوه بر مصرف آب برای تولید محصولات کشاورزی، آب در کل زنجیره تأمین مواد غذایی، حمل و نقل و استفاده از اکثر فرم‌های انرژی استفاده می‌شود. پیش بینی مصرف آب بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰ در شکل ۷ نشان داده شده است (۷۰). شکل ۷ بیانگر این نکته است که در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که مصرف آب در سال ۲۰۵۰ کاهش خواهد یافت و بیشترین کاهش مربوط به آب مصرفی در حوزه کشاورزی است. همچنین این شکل بیان می‌کند که بیشترین افزایش مصرف آب تا سال ۲۰۵۰ در کشورهای برزیل، هند، چین، اندونزی، روسیه و آفریقای جنوبی اتفاق می‌افتد. شکل ۸ نسبت برداشت به عرضه در کشورهای مختلف جهان را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران نسبت برداشت به عرضه در حد زیاد و خیلی زیاد است و این مسئله بحران‌زا می‌باشد و در این خصوص بایستی سیاست‌های مناسبی اتخاذ شود.

از سوی دیگر، در شکل ۹ پیش‌بینی مصرف انرژی تا سال ۲۰۵۰ نشان داده است. بر اساس مطالعه انجام شده توسط EIA، با ادامه وضع موجود، مصرف انرژی بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۵۰، حدود ۸۰٪ افزایش خواهد یافت (۷۲). بخش زیادی از این رشد مربوط به کشورهای غیر OECD مخصوصاً کشورهای آسیایی است که بایستی در این ارتباط سیاست‌های لازم اتخاذ شود تا آلودگی‌های زیست محیطی نیز کاهش یابد.

۴. ضرورت بررسی همبست آب، انرژی و غذا در ایران

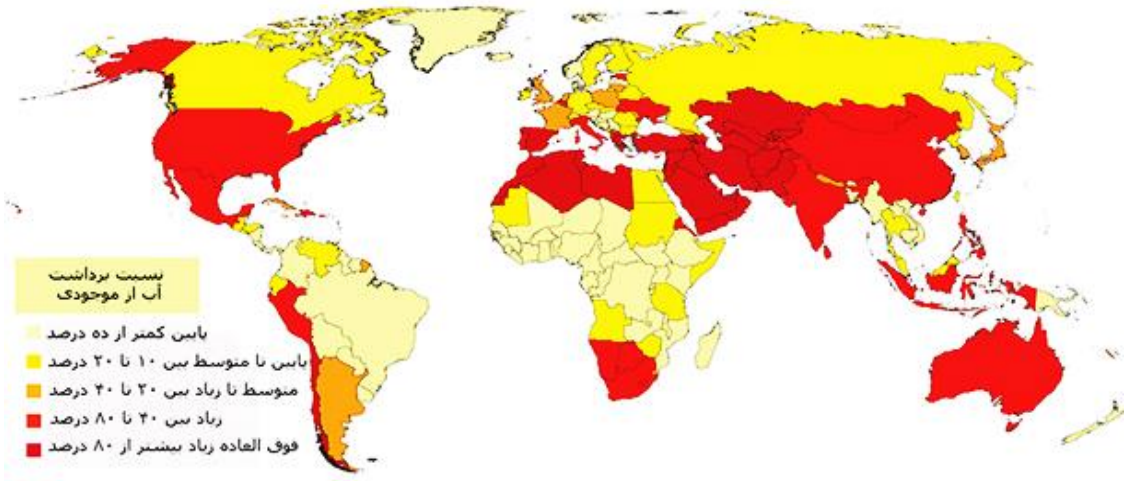
در این بخش، چالش‌ها و ضرورت بررسی همبست آب، انرژی و غذا در ایران بررسی می‌شود. در شکل ۱۰، چشم انداز دما و بارش در ایران طی ۳۰ سال در ایران نشان داده شده است (۷۳). همانگونه که مشاهده می‌شود، کشور ایران در اکثر مناطق از لحاظ میزان بارش و افزایش دما در حالت بحرانی قرار دارد. از این رو، اتخاذ سیاست‌های مناسب از جمله بررسی‌های همبست آب، انرژی و غذا یک ضرورت محسوب می‌شود. همچنین در شکل ۱۱ روند برداشت و کل ظرفیت سدهای در حال بهره برداری ایران، نشان داده شده است (۷۴). روند برداشت آب با سیری صعودی در حال افزایش است که خود بیانگر اهمیت بررسی‌های آب، انرژی و غذا می‌باشد.

شکل ۱۲ نمونه‌هایی از اثرات کمبود آب در ایران را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، کمبود آب و فرونشست زمین یکی از موارد بسیار بحرانی در کشور است که بایستی مورد بررسی جدی قرار بگیرد.



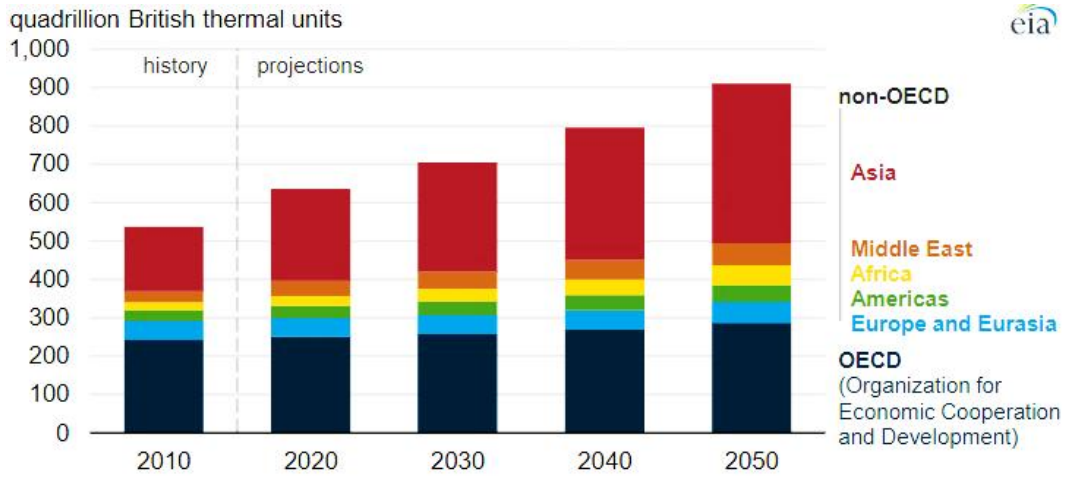
شکل ۷: پیش بینی مصرف آب بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰ (۷۰).

Figure 7: Prediction of water consumption between 2000 and 2050 (70).



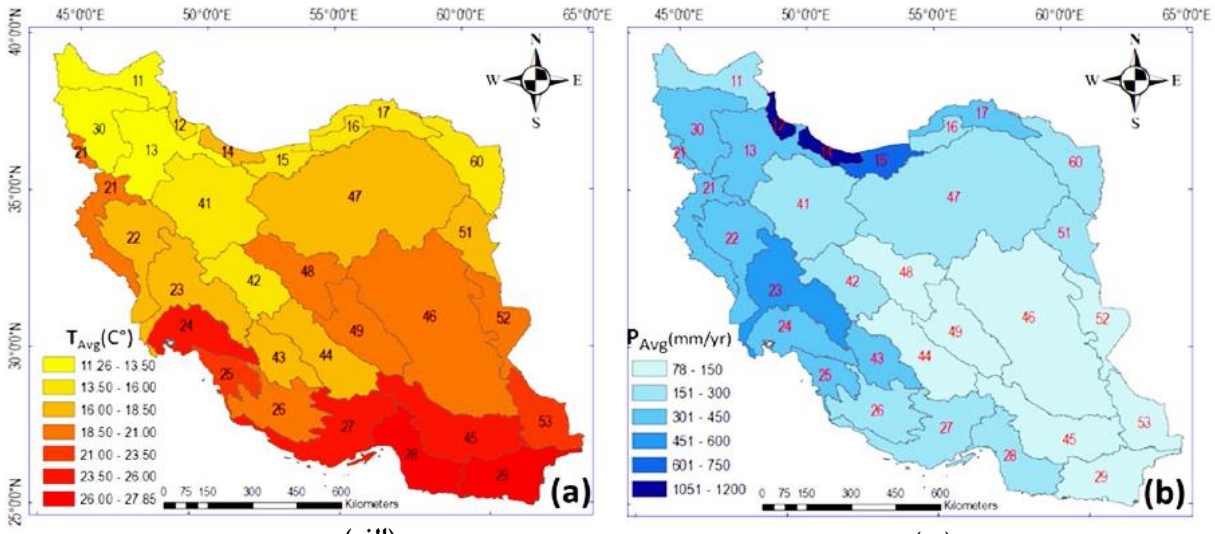
شکل ۸: نسبت برداشت به عرضه در کشورهای مختلف جهان (۷۱).

Figure 8: Harvest to supply ratio in different countries of the world (71).



شکل ۹: چشم‌انداز مصرف انرژی جهانی در افق ۲۰۵۰ (۷۲).

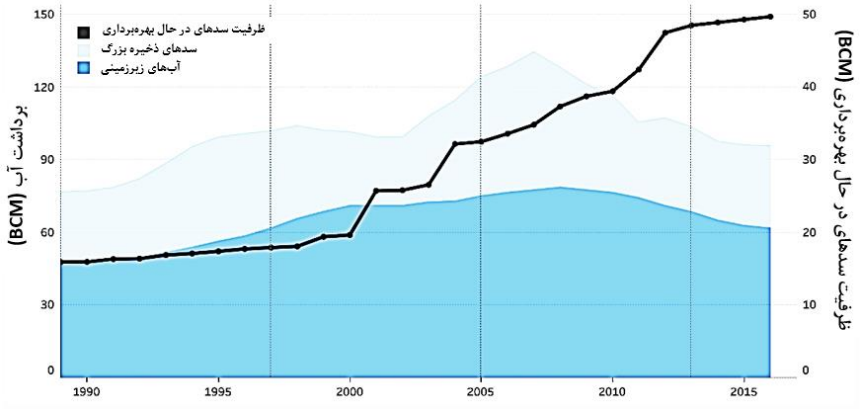
Figure 9: Global energy consumption outlook in 2050 (72).



(الف) (ب)

شکل ۱۰: چشم انداز الف) بارش و ب) دما در ایران طی ۳۰ سال در ایران (۷۳).

Figure 10: Prospects of a) precipitation and b) temperature in Iran during 30 years in Iran (73).



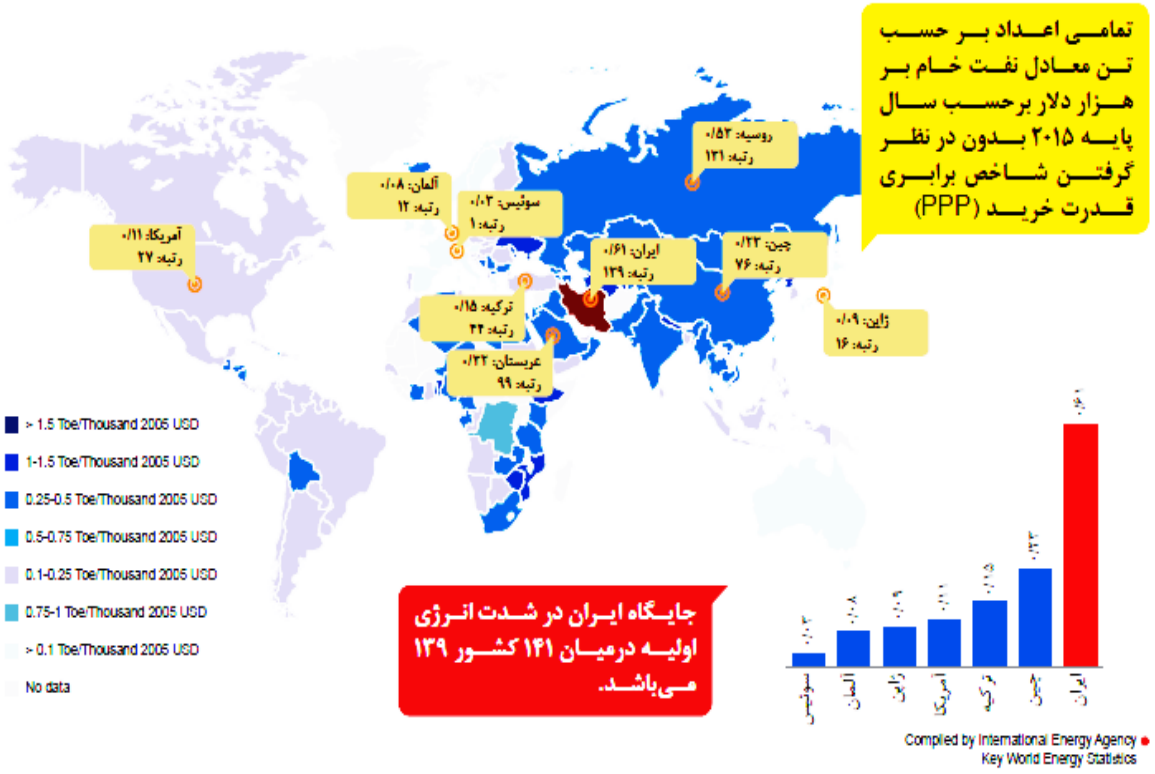
شکل ۱۱: روند برداشت و کل ظرفیت سدهای در حال بهره برداری (۷۴).

Figure 11: Harvesting process and total capacity of dams in use (74).

شکل ۱۳ شدت مصرف انرژی در ایران را در مقایسه با کشورهای دیگر مورد بررسی، نشان می‌دهد و بیانگر جایگاه ایران در شدت انرژی اولیه است که در میان ۱۴۱ کشور، دارای رتبه ۱۳۹ است که رقم بسیار بالایی است. از طرفی، ایران دومین کشور دارنده ذخایر گاز طبیعی و چهارمین مصرف‌کننده آن است که امکان صادرات این ماده ارزشمند را تقریبا به صفر کاهش داده است. از سوی دیگر، ایران هفتمین تولیدکننده نفت در دنیا و در عین حال یازدهمین مصرف‌کننده نفت محسوب می‌شود. لازم به ذکر است که ۹۹ درصد از انرژی کشور ایران از طریق نفت و گاز طبیعی تأمین می‌شود. ایران با تولید ناخالص داخلی کمتر از عربستان و ترکیه، عرضه انرژی بالاتری دارد. شدت انرژی در دنیا و در اکثر کشورها طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ روندی نزولی داشته است در حالیکه در ایران با توجه به رشد سالانه ۳٪ عرضه انرژی اولیه و رشد اقتصادی کمتر از ۲٪، تغییرات شدت انرژی صعودی بوده است. این شدت بالای مصرف انرژی در ایران، بیانگر ضرورت بررسی و سیاستگذاری مناسب جهت کاهش شدت انرژی است. شکل ۱۴ روند تغییرات غذای مصرفی در کشورهای مختلف دنیا از جمله کشورهای آسیایی را نشان می‌دهد که بیانگر رشد صعودی غذای مصرفی در جهان از جمله کشورهای آسیایی است (۷۵).

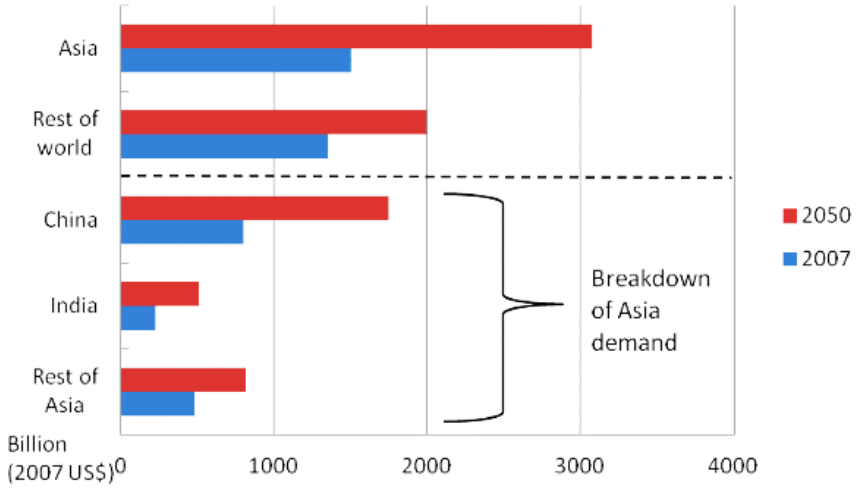
شکل ۱۲: نمونه‌هایی از اثرات کمبود آب در ایران.

Figure 12: Examples of the effects of water shortage in Iran.



شکل ۱۳: شدت مصرف انرژی در ایران (۳).

Figure 13: The intensity of energy consumption in Iran (3).



شکل ۱۴: روند تغییرات غذای مصرفی در کشورهای دنیا از جمله کشورهای آسیایی (۷۵).

Figure 14: Changes in food consumption in the countries of the world, including Asian countries (75).

۵. چالش‌های اصلی اجرایی شدن همبست آب، انرژی و غذا در ایران

چالش‌های اصلی در زمینه اجرایی شدن همبست آب، انرژی و غذا در ایران عبارتند از:

- **سیاست‌های بخشی و عدم وجود مدیریت یکپارچه و همبستی**

همبستگی و ارتباط قوی بین منابع آب، انرژی و غذا، و ارتباط تنگاتنگ آنها با مسایل زیست محیطی، تغییر اقلیم، اقتصادی، اجتماعی، سیاستگذاری و ... نیازمند همکاری بخش‌های ذینفع است، به طوری که مدیریت نظام‌مند در میان بخش‌های مذکور در جهت دستیابی به اهداف همبست آب، انرژی و غذا و توسعه پایدار ضروری است. برنامه‌ریزی و سیاستگذاری میان بخش‌ها و سازمان‌های درگیر برای دستیابی به نقطه مشترک نیازمند ایجاد گفتمان میان ذینفعان و سازماندهی اهداف متضاد در جهت ایجاد همکاری و کاهش مداخلات است.

- **فقدان منابع مالی دولتی جهت تامین مالی اولیه طرح های همبست آب، انرژی و غذا**

یکی از مهمترین محدودیتهای بالفعل کردن طرح های همبست آب، انرژی و غذا در کشور، عدم سرمایه‌گذاری است که موانع آن عبارتند از:

- ✓ عدم همکاری و هماهنگی ارگان‌های مرتبط
- ✓ موارد مربوط به قانونگذاری و سیاست‌های بخشی
- ✓ کمبود آگاهی و اطلاعات از قبیل داده‌های قابل اطمینان مصرف انرژی، آب و غذای مورد نیاز برای جامعه و روشن نکردن بحران موجود در این زمینه
- ✓ نبود مشوق‌های عملی برای سرمایه‌گذاری در این حوزه

دولت به عنوان ذینفع اصلی اجرایی شدن طرح‌های همبست آب، انرژی و غذا، مهم‌ترین رکن تأمین مالی اجرای پروژه‌های همبست آب، انرژی و غذا است.

- **فقدان منابع اطلاعاتی و ظرفیت خودپایش در زمینه‌های آب، انرژی و غذا**

یکی از مهمترین محدودیتهای طرح های همبست آب، انرژی و غذا در کشور، فقدان منابع اطلاعاتی و ظرفیت خودپایش در زمینه‌های آب، انرژی و غذا است که در این راستا تهیه و تدوین این منابع اطلاعاتی به عنوان اساس بررسی های همبست آب، انرژی و غذا ضرورت محسوب می‌شود.

- **عدم وجود فناوری‌های نوین جهت پیاده سازی راهکارهای همبست آب، انرژی و غذا**

پیاده‌سازی برخی از راهکارهای پیشنهادی همبست آب، انرژی و غذا به منظور دستیابی به حالت تعادل نیاز به فناوری‌های جدیدی است که توصیه می‌شود شرکت‌هایی در راستای توسعه این فناوری‌ها گسترش یابند.

- **عدم وجود نهادی برای سیاستگذاری و دستیابی به اجماع مشترک**

همانطور که اشاره شد، یکی از مهمترین چالش‌های عدم پیاده‌سازی طرح‌های همبست آب، انرژی و غذا، عدم همکاری و هماهنگی بین ارگان‌های مرتبط است. بر این اساس یکی از راهبردهای پیشنهادی، توسعه نهادی برای سیاستگذاری و گفتمان بخش‌های مختلف درگیر در این همبست برای دستیابی به اجماع و اساس مشترک است. در این بین وزارتخانه‌های نیرو، کشاورزی و صنعت، معدن و تجارت نقشی اصلی را ایفا می‌کنند.

- **عدم تدوین قوانین بالادستی در زمینه توسعه همبست آب، انرژی و غذا**

عدم تدوین قوانین بالادستی در زمینه توسعه همبست آب، انرژی و غذا یکی از چالش‌های پیش‌رو در این مبحث است. در این ارتباط مجلس شورای اسلامی به عنوان مرجع قانون‌گذاری کشور موظف است که با توجه به اهمیت و ضرورت همبست آب، انرژی و غذا، بخصوص در سال‌های آینده، قوانینی وضع نماید تا اجرای طرح‌های مرتبط با سرعت بیشتری پیگیری و اجرا شوند.

- **تغییرات اقلیم**

تغییرات اقلیم یکی از عوامل طبیعی محسوب می‌شود که مانع از بررسی‌های همبست آب، انرژی و غذا است. در این راستا توصیه می‌شود که این تغییرات با دانش دقیق و به روز پیش‌بینی‌های تغییرات اقلیم، در بررسی‌های همبست آب، انرژی و غذا مورد ارزیابی قرار گیرد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

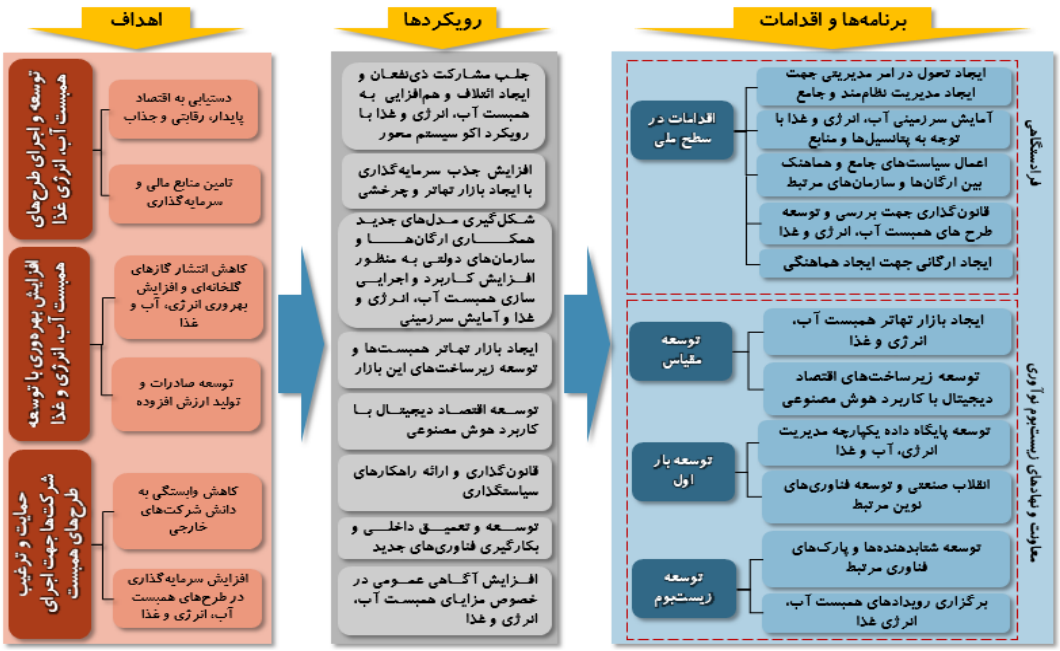
با افزایش جمعیت جهان تأمین آب، انرژی و غذا یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو محسوب می‌گردد. کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین بخش تولیدکننده مواد غذایی نه‌تنها مصرف‌کننده آب و انرژی هستند، بلکه مهم‌ترین عرضه‌کننده انرژی نیز محسوب می‌شود؛ در نتیجه باید تعادل و توازنی بین جریان برداشت و بهره‌برداری از منابع آب و انرژی و میزان تولید محصولات کشاورزی ایجاد شود. بر اساس اهداف هزاره سوم سازمان ملل، دستیابی به توسعه پایدار درازمدت جوامع انسانی و تضمین تامین غذا، آب و انرژی به منظور پایداری برای نسل‌های آینده در دستور کار این سازمان قرار دارد. پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰ بیانگر بحران آب و غذا در ایران می‌باشد. همچنین با توجه به شدت مصرف انرژی بالا در ایران در مقایسه با کشورهای دیگر، انرژی نیز به عنوان بحرانی جدی در ایران محسوب می‌شود، بگونه‌ای که ایران دارای رتبه ۱۳۹ در شدت انرژی اولیه در میان ۱۴۱ کشور است، که رقم بالایی می‌باشد. در راستای دستیابی به‌نوعی توازن و تعادل پویا و بهینه در تولید و مصرف منابع، همبست آب، انرژی و غذا را می‌توان مورد بررسی قرار داد. رویکرد همبست آب، انرژی و غذا یک چشم‌انداز کلی از پایداری است که تلاش می‌کند تا تعادل میان اهداف مختلف، منافع و نیازهای مردم و محیط‌زیست را بر اساس کمی‌سازی روابط آب، انرژی و غذا از طریق مدل‌سازی‌های کیفی و کمی برقرار سازد و همچنین درخصوص کشت محصولات استراتژی در بخش‌های مختلف کشور نیز تصمیم‌گیری‌های لازم را می‌توان اتخاذ نمود. نظر به وجود بحران‌های محیط‌زیستی و آبی که امنیت غذایی و انرژی کشور را به مخاطره انداخته است؛ مدیریت همبست آب، انرژی و غذا با توجه به نیازها و مشارکت تمام ذینفعان می‌تواند این تغییرات را کنترل و تعادلی در بخش‌های مختلف ایجاد کند. از جمله چالش‌های اصلی در زمینه اجرایی شدن همبست آب، انرژی و غذا در ایران عبارتند از: سیاست‌های بخشی و عدم وجود مدیریت یکپارچه و همبستی، فقدان منابع مالی دولتی جهت تامین مالی اولیه طرح های همبست آب، انرژی و غذا، فقدان منابع اطلاعاتی و ظرفیت خودپایش در زمینه‌های آب، انرژی و غذا، عدم وجود فناوری‌های نوین جهت پیاده سازی راهکارهای همبست آب، انرژی و غذا، عدم وجود نهادی برای سیاستگذاری و دستیابی به اجماع مشترک، عدم تدوین قوانین بالادستی در زمینه توسعه همبست آب، انرژی و غذا، و تغییرات اقلیم. از جمله مهمترین برنامه‌ها و اقدامات جهت توسعه همبست آب، انرژی و غذا می‌توان به ایجاد و توسعه زیر ساخت‌های بازار تهاتر، توسعه اقتصاد دیجیتال با کاربرد هوش مصنوعی، توسعه فناوری‌های جدید جهت اجرایی کردن همبست آب، انرژی و غذا، اجرای راهکارهای سیاستگذاری از جمله قانون‌گذاری و آمایش سرزمینی

اشاره کرد که می‌تواند به اجرایی شدن این مهم کمک کند. در خصوص راهکارها و پیشنهادات توسعه همبست آب، انرژی و غذا در ایران، می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ✓ ایجاد و توسعه زیرساخت‌های بازار تهاتر همبست‌ها و همچنین توسعه اقتصاد چرخشی، راهکاری مناسب جهت توسعه طرح‌های همبست آب، انرژی و غذا محسوب می‌شود.
- ✓ توسعه اقتصاد دیجیتال با کاربرد هوش مصنوعی و همچنین توسعه فناوری‌های نوین مرتبط با اجرایی شدن طرح‌های همبست آب، انرژی و غذا، راهکارهایی جهت توسعه طرح های همبست آب، انرژی و غذا محسوب می‌شوند.
- ✓ آمایش سرزمین، ارزیابی نظام‌مند عوامل طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و... به منظور یافتن راهی برای تشویق و کمک به جامعه بهره‌برداران در انتخاب گزینه‌هایی مناسب برای افزایش و پایداری توان سرزمینی در جهت برآورد نیازهای جامعه با توسعه همبست آب، انرژی و غذا یک مهم محسوب می‌شود.
- ✓ مجلس شورای اسلامی با تدوین قوانین بالادستی در زمینه توسعه صنایع، استفاده از منابع انرژی و آبی و همچنین هماهنگی بین ارگان‌های مسئول و تعیین نقش هر نهاد در رسیدن به توسعه پایدار نقش بسیار مهمی دارد.
- ✓ هماهنگی بین سه بخش معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، معاونت امور آب و معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو و درگیر شدن دفتر برنامه‌ریزی راهبردی و تلفیقی به منظور تدوین طرح‌های توسعه‌ای و سامان‌دهی به امور مربوط و همچنین هماهنگی با معاون امور آب و خاک به منظور بهبود بهره‌وری آب و ساماندهی مصرف آب در بخش کشاورزی لازم به نظر می‌رسد.
- ✓ همکاری و هماهنگی کلیه ارگان‌های مرتبط، از جمله: وزارت کشاورزی، وزارت صنعت، معدن و تجارت، وزارت اقتصاد، وزارت نیرو، وزارت بهداشت، سازمان محیط زیست، مجلس شورای اسلامی، دانشگاه‌های مرتبط با کشاورزی و محیط زیست، انجمن‌های علمی فعال، شرکت‌های دانش بنیان و ....

در شکل ۱۵، خلاصه‌ای از اهداف، رویکردها، برنامه‌ها و اقدامات جهت توسعه همبست آب، انرژی و غذا نشان داده شده است.

جدول ۲: خلاصه‌ای از اهداف، رویکردها، برنامه‌ها و اقدامات جهت توسعه همبست آب، انرژی و غذا.



شکل ۱۵: خلاصه‌ای از اهداف، رویکردها، برنامه‌ها و اقدامات جهت توسعه همبست آب، انرژی و غذا.

Figure 15: A summary of goals, approaches, plans, and actions for the development of water, energy, and food nexus.

۷. تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از بنیاد ملی نخبگان بابت حمایت‌های مادی و معنوی خود از این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

1 Ferroukhi R, Nagpal D, Lopez-Peña A, Hodges T, Mohtar RH, Daher B, et al. Renewable energy in the water, energy & food nexus. IRENA, Abu Dhabi. 2015:1-125.

2 Rezayan A, Rezayan, A. H. Future studies of water crisis in Iran based on processing scenario. Iranian journal of Ecohydrology. 2016; 3: 1-17 (In Persian).

3 Fuel consumption optimization company. The country's energy optimization market capacity, analysis of strategic challenges and mechanisms (in the mirror of statistics and data displays). 2021 (In Persian).

4 David LO, Nwulu NI, Aigbavboa CO, Adepoju OO. Integrating fourth industrial revolution (4IR) technologies into the water, energy & food nexus for sustainable security: A bibliometric analysis. Journal of Cleaner Production. 2022;363:132522.

5 Campana PE, Lastanao P, Zainali S, Zhang J, Landelius T, Melton F. Towards an operational irrigation management system for Sweden with a water–food–energy nexus perspective. Agricultural Water Management. 2022;271:107734.

6 Núñez-López JM, Rubio-Castro E, Ponce-Ortega JM. Optimizing resilience at water-energy-food nexus. Computers & Chemical Engineering. 2022;160:107710.

7 Mahakhari S, Shahmohammadi A, Visi H, Khoshbakht K. A challenge to achieve sustainable development of water, food and energy nexus. Political research findings. 2016: 1-6 (In Persian).

8 Feng M, Chen Y, Duan W, Fang G, Jiao L, Sun F, et al. Comprehensive evaluation of the water-energy-food nexus in the agricultural management of the Tarim River Basin, Northwest China. Agricultural Water Management. 2022;271:107811.

9 Bruns A, Meisch S, Ahmed A, Meissner R, Romero-Lankao P. Nexus disrupted: Lived realities and the water-energy-food nexus from an infrastructure perspective. Geoforum. 2022;133:79-88.

10 Cui S, Wu M, Huang X, Wang X, Cao X. Sustainability and assessment of factors driving the water-energy-food nexus in pumped irrigation systems. Agricultural Water Management. 2022;272:107846.

11 Hua E, Engel BA, Guan J, Yin J, Wu N, Han X, et al. Synergy and competition of water in Food-Energy-Water Nexus: Insights for sustainability. Energy Conversion and Management. 2022;266:115848.

12 Zhang P, Cai Y, Zhou Y, Tan Q, Li B, Li B, et al. Quantifying the water-energy-food nexus in Guangdong, Hong Kong, and Macao regions. Sustainable Production and Consumption. 2022;29:188-200.

13 Cansino-Loeza B, del Carmen Munguía-López A, Ponce-Ortega JM. A water-energy-food security nexus framework based on optimal resource allocation. Environmental Science & Policy. 2022;133:1-16.

14 Mulier MH, Van de Ven F, Kirshen P. Circularity in the Urban Water-Energy-Nutrients-Food Nexus. Energy Nexus. 2022:100081.

15 Tye MR, Wilhelmi OV, Pierce AL, Sharma S, Nichersu I, Wróblewski M, et al. The food water energy nexus in an urban context: Connecting theory and practice for nexus governance. Earth System Governance. 2022;12:100143.

16 Bennett G, Cassin J, Carroll N. Natural infrastructure investment and implications for the nexus: A global overview. Ecosystem Services. 2016;17:293-7.

17 Bauer D, Philbrick M, Vallario B, Battey H, Clement Z, Fields F. The water-energy nexus: Challenges and opportunities. US Department of Energy. 2014.

18 Chamas Z, Abou Najm M, Al-Hindi M, Yassine A, Khattar R. Sustainable resource optimization under water-energy-food-carbon nexus. Journal of Cleaner Production. 2021;278:123894.

19 Lowe BH, Oglethorpe DR, Choudhary S. Shifting from volume to economic value in virtual water allocation problems: a proposed new framework and methodology. Journal of environmental management. 2020; 275: 110239.
20 Endo A, Yamada M, Miyashita Y, Sugimoto R, Ishii A, Nishijima J, et al. Dynamics of water–energy–food nexus methodology, methods, and tools. Current Opinion in Environmental Science & Health. 2020; 13: 46-60.
21 Zhang P, Zhang L, Chang Y, Xu M, Hao Y, Liang S, et al. Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review. Resources, Conservation and Recycling. 2019; 142: 215-24.
22 Daher B, Lee S-H, Kaushik V, Blake J, Askariyeh MH, Shafiezadeh H, et al. Towards bridging the water gap in Texas: A water-energy-food nexus approach. Science of the total environment. 2019;647:449-63.
23 Li G, Huang D, Sun C, Li Y. Developing interpretive structural modeling based on factor analysis for the water-energy-food nexus conundrum. Science of The Total Environment. 2019;651:309-22.
24 Serrano-Tovar T, Suárez BP, Musicki A, Juan A, Cabello V, Giampietro M. Structuring an integrated water-energy-food nexus assessment of a local wind energy desalination system for irrigation. Science of the total environment. 2019;689:945-57.
25 Moioli E, Salvati F, Chiesa M, Siecha RT, Manenti F, Laio F, et al. Analysis of the current world biofuel production under a water–food–energy nexus perspective. Advances in water resources. 2018;121:22-31.
26 Murray R, Holbert KE. Nuclear energy: an introduction to the concepts, systems, and applications of nuclear processes: Elsevier; 2014.
27 Liu D, Guo S ,Liu P, Xiong L, Zou H, Tian J, et al. Optimisation of water-energy nexus based on its diagram in cascade reservoir system. Journal of Hydrology. 2019; 569: 347-58.
28 Amjath-Babu T, Sharma B, Brouwer R, Rasul G, Wahid SM, Neupane N, et al. Integrated modelling of the impacts of hydropower projects on the water-food-energy nexus in a transboundary Himalayan river basin. Applied energy. 2019; 239: 494-503.
29 Nie Y, Avraamidou S, Xiao X, Pistikopoulos EN, Li J, Zeng Y, et al. A Food-Energy-Water Nexus approach for land use optimization. Science of The Total Environment. 2019; 659: 7-19.
30 Siaw MNK, Oduro-Koranteng EA, Dartey YOO. Food-energy-water nexus: Food waste recycling system for energy. Energy Nexus. 2022; 5: 100053.
31 Zhang J, Wang S, Pradhan P, Zhao W, Fu B. Mapping the complexity of the food-energy-water nexus from the lens of Sustainable Development Goals in China. Resources, Conservation and Recycling. 2022; 183: 106357.
32 Fang K, Heijungs R, de Snoo GR. Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family. Ecological Indicators. 2014;36:508-18.
33 Hang MYLP, Martinez-Hernandez E, Leach M, Yang A. Designing integrated local production systems: a study on the food-energy-water nexus. Journal of Cleaner Production. 2016; 135: 1065-84.
34 Artioli F, Acuto M, McArthur J. The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance. Political Geography. 2017; 61: 215-23.
35 Hagemann N, Kirschke S .Key issues of interdisciplinary NEXUS governance analyses: Lessons learned from research on integrated water resources management. Resources. 2017; 6(1):9.
36 Sharifi Moghadam E, Sadeghi S, Zarghami M, Delavar M. Water-energy-food nexus as a new approach for watershed resources management: a review. Environmental Resources Research. 2019; 7(2): 129-35.
37 Orsini F, Gasperi D, Marchetti L, Piovene C, Draghetti S, Ramazzotti S, et al. Exploring the production capacity of rooftop gardens

(RTGs) in urban agriculture: the potential impact on food and nutrition security, biodiversity and other ecosystem services in the city of Bologna. Food Security. 2014;6(6):781-92.
38 Community Garden of via Gandusio [WWW Document]. URL, 10.28.20. [Internet]. 2017.
39 Amsterdam Rainproof Het Polderdak [WWW Document]. URL, 31.05.20. [Internet]. 2015.
40 Water Decelerating Green Strip [WWW Document]. URL, 10.28.20. [Internet]. 2017.
41 How the Chicago City Hall Green Roof Is Greening the Concrete Jungle [WWW Document]. URL ,5.31.20 .[Internet]. 2015.
42 Southmead Hospital Brunel Building [WWW Document]. URL, 5.31.20. [Internet]. 2020.
43 Development of Public Orchard and Nectar Garden [WWW Document]. URL, 10.28.20. [Internet]. 2017.
44 Rethinking the Urban Space with the ASLA Headquarters [WWW Document]. URL, 5.31.20. [Internet]. 2015.
45 ASLA Headquarters Green Roofs [WWW Document]. URL, 29.11.20. [Internet].
46 Three Years Later: California Academy of Sciences' Living Roof Also Educates the Design Community [WWW Document]. URL, 31.05.20. [Internet]. 2011.
47 Renzo Piano Building Workshop, la California Academy of Sciences vista da vicino [Internet]. 2017.
48 Baek S, Han M, editors. Water-Energy-Food Nexus of Concave Green-Roof in SNU. Proceedings of the 8th Conference of theInternational Forum on Urbanism, Incheon, Korea; 2015.
49 Åstebøl SO, Hvitved-Jacobsen T, Simonsen Ø. Sustainable stormwater management at Fornebu—from an airport to an industrial and residential area of the city of Oslo, Norway. Science of the total environment. 2004;334:239-49.
50 Fornebu Stormwater Management System [WWW Document]. URL, 10.28.20. [Internet]. 2017.
51 Sustainable Stormwater Management and Green Infrastructure in Fornebu. Norway [WWW Document]. URL, 10.28.20. [Internet]. 2015.
52 Norouzi N. Presenting a conceptual model of water-energy-food nexus in Iran. Current Research in Environmental Sustainability. 2022;4:100119.
53 Afkhami P, Zarrinpoor N. The energy-water-food-waste-land nexus in a GIS-based biofuel supply chain design: A case study in Fars province, Iran. Journal of Cleaner Production. 2022;340:130690.
54 Esfandiari-Baiat M, Barzegar Z, Yousefi L, Maheshwari B. Urbanisation and its effects on water, food security and energy needs in Iran: a case study of city of shiraz. The Security of Water, Food, Energy and Liveability of Cities: Springer; 2014. p. 101-12.
55 Qasemipour E, Abbasi A. Virtual water flow and water footprint assessment of an arid region: A case study of South Khorasan province, Iran. Water. 2019;11(9):1755.
56 Naderi MM, Mirchi A, Bavani ARM, Goharian E, Madani K. System dynamics simulation of regional water supply and demand using a food-energy-water nexus approach: application to Qazvin Plain, Iran. Journal of Environmental Management. 2021; 280: 111843.
57 Sadeghi SH, Sharifi Moghadam E. Integrated Watershed Management Vis-a-Vis Water–Energy–Food Nexus. The Water–Energy–Food Nexus: Springer; 2021. p. 69-96.
58 Bakhshianlamouki E, Masia S, Karimi P, van der Zaag P, Sušnik J. A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran. Science of the Total Environment. 2020;708:134874.
59 Ravar Z, Zahraie B, Sharifinejad A, Gozini H, Jafari S. System dynamics modeling for assessment of water–food–energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. Ecological Indicators. 2020;108:105682.
60 Sharifinejad A, Zahraie B, Majed V, Ravar Z, Hassani Y. Economic analysis of Water-

Food-Energy Nexus in Gavkhuni basin in Iran. Journal of Hydro-environment Research. 2020;31:14-25.

61 Sadeghi SH, Moghadam ES, Delavar M, Zarghami M. Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. Agricultural Water Management. 2020;233:106071.

62 Zarei M. The water-energy-food nexus: A holistic approach for resource security in Iran, Iraq, and Turkey. Water-Energy Nexus. 2020;3:81-94.

63 Mahdavian SM, Ahmadpour Borazjani M, Mohammadi H, Asgharipour MR, Najafi Alamdarlo H. Assessment of food-energy-environmental pollution nexus in Iran: the nonlinear approach. Environmental Science and Pollution Research. 2022:1-16.

64 Saray MH, Baubekova A, Gohari A, Eslamian SS, Klove B, Haghighi AT. Optimization of Water-Energy-Food Nexus considering CO2 emissions from cropland: A case study in northwest Iran. Applied Energy. 2022; 307:118236.

65 Keyhanpour MJ, Jahromi SHM, Ebrahimi H. System dynamics model of sustainable water resources management using the Nexus Water-Food-Energy approach. Ain Shams Engineering Journal. 2021; 12(2): 1267-81.

66 Karamian F, Mirakzadeh AA, Azari A. The water-energy-food nexus in farming: Managerial insights for a more efficient consumption of agricultural inputs. Sustainable Production and Consumption. 2021;27:1357-71.

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

68 https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2006/09/picture.htm [Internet].

69 Keating BA, Herrero M, Carberry PS, Gardner J, Cole MB. Food wedges: framing the global food demand and supply challenge towards 2050. Global Food Security. 2014;3(3-4):125-32.

70 https://www.oecd.org [Internet].

71 https://www.wri.org/data/water-stress-country [Internet].

72 https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=41433 [Internet].

73 Moshir Panahi D, Kalantari Z, Ghajarnia N, Seifollahi-Aghmiuni S, Destouni G. Variability and change in the hydro-climate and water resources of Iran over a recent 30-year period. Scientific reports. 2020;10(1):1-9.

74 Mesgaran MB, Azadi P. A national adaptation plan for water scarcity in Iran. Working paper 6, Stanford Iran 2040 Project, Stanford University, August 2018.

75 Linehan V, Thorpe S, Andrews N, Kim Y, Beaini F, editors. Food demand to 2050: Opportunities for Australian agriculture. ABARES Paper presented at the 42nd ABARES Outlook conference; 2012.