فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی
سال سوم، شماره ۶، پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۱۰۴-۷۹

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۴
ISSN:2538-4791 eISSN:2538-483X

ارائه یک مدل مفهومی از پویایی هم‌پیوندی آب - انرژی - غذا در ایران: رویکرد سیستمی

محمد صیادی * استادیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

امید سلطانی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

سید فرهاد موحدی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

با توجه به تقاضای روزافزون آب، انرژی و غذا در دهه‌های آینده، فشار بر این سه بخش افزایش یافته است و اهمیت نگرش سیستمی به مسائل هم‌پیوندی بین آب ـ انرژی ـ غذا بیش از پیش نمایان شده است. در همین راستا هدف اصلی این تحقیق ارائه یک مدل مفهومی از هم‌پیوندی میان آب ـ غذا ـ انرژی با استفاده از سیستم پویا برای ایران و تحلیل عوامل تأثیرگذار بر این رابطه است. به همین منظور ابتدا هریک از زیر بخش‌های آب، غذا و انرژی مدل‌سازی شده و در نهایت به مدل‌سازی مفهومی یکپارچه در خصوص رابطه هریک از زیر بخش‌های ذکر شده با یکدیگر پرداخته شده است. به عنوان کاربستی از هم‌پیوندی مذکور، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب ـ انرژی ـ غذا برای دوره زمانی ۱۳۹۶ ـ ۱۳۸۳ محاسبه شده است. روند این شاخص در نتایج تحقیق، فراز و نشیب داشته و از سال ۱۳۹۲ به بعد روند صعودی و ملایمی را طی کرده است؛ هرچند هیچ گاه به سطح شاخص در سال ۱۳۸۵ نرسیده است. با یک نگاه آسیب‌شناسانه و نظام‌مند در جهت کاهش ریسک امنیت انرژی ـ آب ـ غذا، می‌بایست این سه بخش در کارکردی منظم و هماهنگ با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته شوند. یافته‌های تحقیق لزوم توجه به این هم‌پیوندی در سیاست‌گذاری و تنظیم مقررات در این حوزه در کشور را نمایان می‌کند.

واژگان کلیدی: پیوند آب ـ غذا ـ انرژی، سیستم، امنیت انرژی.

طبقه‌بندی JEL: O۱۳، P۲۸، P٤۸، Q٤۲.

* نویسنده مسئول: m.sayadi@khu.ac.ir

۱. مقدمه

با توسعه صنعتی شدن جوامع، استفاده روزافزون از انرژی بر پایه تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی سبب تغییرات اقلیمی، گرمایش جهانی، عدم امنیت در عرضه انرژی، انحراف از اکوسیستم محلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی شده است. استفاده از انرژی برای تولید، حمل و نقل و توزیع غذا و نیز استحصال، پمپاژ، جمع‌آوری و تصفیه آب مورد نیاز روز به روز در حال افزایش است.[1] در جهان امروز، پیوند آب، انرژی و غذا[2] به عنوان یک هم‌پیوندی اقتصادی ـ اجتماعی با ابعاد مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طوری‌که نیاز روزافزون به این کالای اقتصادی ـ اجتماعی در همه ابعاد زندگی بشر باعث شده است تا این مجموعه به عنوان کالایی نادر و کمیاب در دسترس جوامع قرار بگیرد. این مهم در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که منابع آب تجدیدپذیر و محدودتری دارند بیش‌تر نمود پیدا کرده و ضرورت تأمین امنیت آب را به عنوان زنجیره آغازین این مجموعه بیش از پیش آشکار کرده است.

پیش‌بینی‌های جهانی نشان می‌دهد، با توجه به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، پیشرفت فناوری، توسعه شهرنشینی تقاضای روبه رشد برای غذا و رژیم‌های متنوع غذایی، تغییرات اقلیم، تخریب منابع و کمبود آب، تقاضا برای آب شیرین، انرژی و غذا در دهه‌های آینده افزایش خواهد یافت که موجب افزایش فشار بر این سه بخش و افزایش اهمیت پیوند آب ـ انرژی ـ غذا خواهد شد.[3] نکته مهم در رابطه امنیت آب، امنیت غذا و امنیت انرژی آن است که این چرخه از آب شروع شده و با به‌کارگیری انرژی جهت تولید، در نهایت به غذا ختم خواهد گردید. اما افزایش مساحت مناطق شهری و مسکونی از یک سو و همچنین افزایش بخش‌های حمل‌ونقل، تجاری، صنعتی و کشاورزی از سوی دیگر علاوه بر نیاز به مصرف انرژی، نیاز این بخش‌ها به آب و تأمین امنیت آب را نیز به طور چشمگیری افزایش داده است. در نتیجه بایستی لزوم به‌کارگیری هرچه کاراتر آب و انرژی مورد توجه قرار گیرد.[4] از سوی دیگر بحث آبرسانی غیرقابل پیش‌بینی بوده و به عنوان یک چالش جدی در رابطه امنیت آب، امنیت غذا و امنیت انرژی مطرح است. به‌طوری‌که

---

1. Hang, *et al* (2016)
2. Water-Energy-Food Nexus
3. Garcia and You (2016)
4. Artioli, *et al* (2017)

هم‌اکنون میلیون‌ها کشاورز در جوامع وابسته به کشاورزی تغذیه شونده با آب، در وضعیت مخاطره غیرقابل پیش‌بینی ناشی از کاهش و بی نظمی در دسترسی به آب به سر می‌برند. این وضعیت هشدار دهنده در خصوص بازخوردهای تغییرات آب و هوایی نامنظم و غیرقابل پیش‌بینی و آمار قابل توجه جمعیت کشاورزان و تولیدکنندگان که از روش زراعت دیمی بهره می‌گیرند، حائز اهمیتی مضاعف است. در نتیجه امنیت تأمین غذا می‌تواند با مخاطره‌ای جدی روبه‌رو شود.

در کنار مبحث آب و هوای غیرقابل پیش‌بینی، موضوع در اختیار گرفتن بارش‌ها نیز چالش دیگری است. زیرا کشاورزانی که از روش زراعت دیمی بهره می‌گیرند برای احتراز از مخاطرات و زیان‌های احتمالی هر بار در طول فصل کاشت مبادرت به کشت و بذرافشانی ناچیزی می‌کنند. بدان دلیل که بارش‌های فراوان و بدون زمان‌بندی منظّم ممکن است سبب از بین رفتن محصولات زراعی آن‌ها گردد. از سوی دیگر تأخیر در بارندگی نیز می‌تواند موجب خشک شدن محصول گردد. در واقع تغییرات اقلیمی سبب بوجود آمدن نوسانات غیرقابل پیش‌بینی خواهد گردید که ممکن است برآوردی جز مخاطره در امنیت غذایی نداشته باشد. لذا با توجه به مرتبط بودن این دو بخش لازم است در کنار یکدیگر دیده شوند و امنیت هر دو بخش را در تصمیم‌گیری در نظر گرفت.[1]

رویکرد پیوند 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 و همچنین پیشبرد تحقیقات برای مدل‌سازی یکپارچه و مدیریت برای ارائه استراتژی‌های مهم توسعه پایدار در جهان پویا و پیچیده امروز را برقرار سازد.

رابطه آب، غذا و انرژی، در صورتی که منجر به تولید محصول نهایی گردد، ممکن است مسئله ضایعات حاصل از مصرف محصولات کشاورزی تولید شده را در خود داشته باشد. به گونه‌ای که بخش اعظمی از محصولات کشاورزی تولید شده به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه پس از مصرف به پسماند و دورریز تبدیل خواهند گردید که نه تنها امکان مصرف مجدد نخواهند داشت بلکه امکان بهره‌برداری مجدد از آن‌ها در فرآیند تولیدی نیز وجود نخواهد داشت. بنابراین در هم‌پیوندی میان آب، غذا و انرژی، محصول

1. Kaddoura and El Khatib (2017)

نهایی که با صرف مقادیر زیادی آب و انرژی تولید شده است به پسماندی بی‌ارزش تبدیل خواهد گردید که این مسئله لزوم توجه در تولید محصول متناسب با نیاز جوامع را مشخص می‌سازد.[۱]

با عنایت به ملاحظات ذکر شده، این تحقیق به دنبال بررسی و ارائه یک مدل مفهومی از هم‌پیوندی میان آب ـ غذا ـ انرژی برای ایران و تحلیل عوامل تأثیرگذار بر این رابطه است. در نتیجه هریک از زیر بخش‌های آب، غذا و انرژی، به تفصیل و با استفاده از مدل‌سازی مفهومی مربوطه مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت به مدل‌سازی مفهومی یکپارچه در خصوص رابطه هریک از زیر بخش‌های ذکر شده با یکدیگر پرداخته شده است تا لزوم به‌کارگیری هرچه کاراتر منابع در جهت نیل به محصول نهایی مشخص گردد.

بر همین اساس، سازماندهی ادامه تحقیق بدین صورت است که دربخش دوم مبنای نظری و پیشینه موضوعی تحقیق تبیین شده و سپس در بخش سوم روش‌شناسی تحقیق ارائه شده است. بخش چهارم تحقیق به تجزیه و تحلیل یافته‌های تحقیق اختصاص داده شده و در بخش پنجم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری تحقیق ارائه شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه موضوعی تحقیق

این بخش از تحقیق شامل دو بخش است. ابتدا در بخش نخست مبنای نظری تحقیق ارائه شده، سپس در بخش دوم به بررسی مهم‌ترین مطالعات موجود در ادبیات موضوعی پرداخته شده است.

۲-۱. مبانی نظری تحقیق

آب، غذا و انرژی و امنیت هر سه بخش بدون کاهش منابع طبیعی به‌عنوان یک چالش بزرگ در منطقه آسیا شناخته می‌شود. بدین جهت از سال ۲۰۱۵ به بعد سازمان ملل متحد مجموعه‌ای از اهداف را موسوم به اهداف توسعه پایدار (SDGs)[۲] با هدف دستیابی به توسعه پایدار درازمدت در جوامع انسانی و تضمین فراهم شدن غذا، آب و انرژی به منظور پایداری برای نسل‌های آینده، در دستور کار خود قرار داد. در راستای عملیاتی کردن این

---

۱. عربی یزدی و همکاران (۱۳۹۳)

2. Sustainable Development Goals

اهداف، محققان چارچوب‌ها و رهیافت‌های میان‌رشته‌ای و تخصصی متعددی را برای دستیابی به‌نوعی توازن و تعادل پویا و بهینه در تولید و مصرف منابع ارائه کرده‌اند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها پیوند آب، انرژی و غذا است.

بر اساس این رهیافت آب، انرژی و امنیت غذایی عناصر کلیدی کانونی برای کاهش فقر با تضمین منابع کافی برای حفظ و بهبود معیشت از راه عادلانه است، که به‌طور هم‌زمان برای حفظ محیط های طبیعی سالم، بهره‌برداری از اکوسیستم را از طریق تأمین ارائه خدمات به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای امرار معاش لازم و ضروری می‌داند.[1] نظر به وجود بحران‌های محیط‌زیستی و آبی، امنیت غذایی و انرژی کشور در مخاطره قرار گرفته است. می‌توان استنباط کرد که این رهیافت می‌تواند رهنمودی برای سیاست گذاری توسعه پایدار در کشور باشد. بر این اساس، در ادامه ضمن تبیین وضعیت موجود مؤلفه‌های این رهیافت، به بیان ضرورت توجه به آن به‌عنوان یک استراتژی مناسب سیاستگذاری برای توسعه پایدار شده است.

بر اساس تعریف[2]، امنیت آب عبارت است از «یک کمیت و کیفیت قابل قبول از آب برای سلامت، معیشت، تولید قابل‌قبول و اکوسیستم همراه با سطح مور قبولی از خطرات آب برای مردم، محیط‌زیست و اقتصاد» در حالت ایده‌آل، تخصیص آب بایستی از نظر اقتصادی، کارآمد و از نظر فنی، عملی و همچنین از نظر اجتماعی، عادلانه باشد. مجمع جهانی اقتصاد مشکل امنیت آب، غذا و انرژی را بدین‌صورت بیان می‌کند که سرعت بالای افزایش جمعیت و رشد اقتصادی باعث فشارهای غیرقابل تحمل بر منابع است. انتظار می‌رود تقاضا برای آب، انرژی و مواد غذایی ۳۰ تا ۵۰ درصد در دو دهه آینده افزایش یابد، درحالی‌که نابرابری‌های اقتصادی و تشویق به پاسخ کوتاه‌مدت در تولید و مصرف باعث تضعیف در پایداری درازمدت می شود. کمبود منابع می‌تواند بی‌ثباتی اجتماعی و سیاسی، درگیری ژئوپلیتیک و آسیب‌های زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری به وجود آورد. تمرکز بر روی یکی از بخش های ارتباط آب، انرژی و مواد غذایی بدون در نظر گرفتن روابط بین آن‌ها خطرات جدی و عواقب ناخواسته را متحمل می شود.[3] مفهوم آب ـ انرژی ـ غذا (WEF) در جامعه بین‌المللی در پاسخ به تغییرات آب‌وهوا و تغییرات اجتماعی از

1. MEA (2005)
2. Grey and Sadoff (2007)
3. World Economic Forum (2011) and Hoff (2011)

جمله رشد جمعیت، جهانی‌شدن، رشد اقتصادی، شهرنشینی رشد نابرابری و نارضایتی اجتماعی پدید آمده است.[1] رویکرد پیوند آب، انرژی و غذا یک چشم‌انداز کلی از پایداری است که تلاش می‌کند تا تعادل میان اهداف مختلف، منافع و نیازهای مردم و محیط‌زیست برقرار سازد.

پیوند آب ـ انرژی ـ غذا را می‌توان رویکردی جهت ارزیابی، توسعه و اجرای سیاست‌هایی دانست که به طور همزمان بر امنیت آب، انرژی و غذا متمرکز است. این رویکرد تقویت توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی جوامع و در ضمن محافظت از سرمایه‌های طبیعی و اجتماعی برای برطرف کردن مسائل پایداری در درازمدت خواهد بود.[2] این مسئله نیازمند وجود رویکردی جامع است که نه تنها امنیت سه مقوله آب، انرژی و غذا را در نظر گرفته، بلکه اثرات متقابل و پویایی‌های بین آن‌ها را نیز در نظر داشته باشد. پیوند بین امنیت آب ـ انرژی ـ غذا را می‌توان به صورت جدول زیر بیان نمود:

جدول ۱. پیوند امنیت آب ـ انرژی ـ غذا

امنیت آب	امنیت انرژی	امنیت غذا
موجود بودن آب	عرضه انرژی برای تأمین تقاضا	موجود بودن غذا
سلامت آب	در دسترس بودن فیزیکی عرضه	قابلیت در دسترس بودن غذا
مقرون به صرفه بودن آب	تأمین تقاضا با نرخ پایدار	بهره‌برداری از غذا

مأخذ: بیزیکووا و همکاران (۲۰۱٤)[3]

به عنوان چند نمونه از کاربرد تحلیل هم‌پیوندی پویای بین آب ـ انرژی ـ غذا می‌توان جدول (۲) را ملاحظه نمود. بر این اساس فعالیت‌هایی مانند آبیاری با سیستم برق، فرآیند شیرین‌سازی آب به منظور کشاورزی و نیز تولید برق‌آبی از جمله فرآیندهایی است که نیازمند تحلیل همزمان سه مقوله آب، انرژی و غذا جهت تبیین پویایی بین مقوله‌های مذکور است. همچنین شاخص‌های ارزیابی هر یک از پیوندها را نیز می‌توان مشاهده نمود که با در دسترس بودن آمار مورد نیاز می‌توان هر یک از فعالیت‌های اقتصادی مذکور را

---

1. Hoff (2011)

۲. شریفی مقدم و صادقی (۱۳۹۷)

3. Bizikova, *et al* (2014)

تحلیل کمی نمود.

جدول ۲. برخی از فعالیت‌های دارای هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا

فعالیت	آب	انرژی	غذا
آبیاری برقی[1]	– آب پمپ شده برای کشاورزی تقسیم بر مقدار انرژی فسیلی مصرف شده – آب پمپ شده برای آبیاری به مساحت زمین‌های آبیاری شده	– انرژی فسیلی مصرف شده تقسیم بر مساحت زمین‌های آبیاری شده – انرژی فسیلی مصرف شده به غذای تولید شده	– تغییر در مقدار تولید کشاورزی به ظرفیت پمپاژ – زمین تحت سیستم‌های پمپاژ به ظرفیت پمپاژ
شیرین‌سازی آب برای کشاورزی[2]	– آب تصفیه استفاده شده به مقدار محصولات تولید شده – هزینه تصفیه آب برای کشاورزی	– انرژی مصرف شده به ازای میزان آب تصفیه شده – انرژی فسیلی استفاده شده به ازای مقدار محصول کشاورزی	– زمین مورد استفاده برای شیرین‌سازی آب به مقدار آب نمک‌زدایی شده – مقدار محصول کشاورزی تولید شده به هزینه شیرین‌سازی آب
تولید برق‌آبی[3]	– تغییر در آب خارج شده از رودخانه به میزان الکتریسیته تولید شده از برق آبی – آب مصرف شده برای تولید پروتئین به دلیل کاهش ماهی در دسترس به ازای ظرفیت تولید برق‌آبی	– کل انرژی برق‌آبی تولید شده به ازای کل مساحت مخزن – کل انرژی برق‌آبی تولید شده به ازای کل مساحت آبیاری شده به وسیله سد	– تغییر در میزان ماهیگیری در سد به ازای ظرفیت تولید برق‌آبی – زمین کشاورزی محروم از آبیاری به ظرفیت تولید برق‌آبی

مأخذ: FAO (2018)

۲-۲. پیشینه تحقیق

در این بخش برخی از مهم‌ترین مطالعات مرتبط با موضوع تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. فانگ و همکاران[4] (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای تحت عنوان «استخراج نظری ترکیب

1. Power Irrigation
2. Water Desalination for Agricultural Use
3. Hydropower Generation
4. Fang, *et al*

اثرات زیست‌محیطی، انرژی، کربن و رد پای آب: مروری بر ردپای خانوادگی» با رویکرد تعادل عمومی و با بررسی در حوزه‌های مرتبط، ردپای محیط زیست، انرژی، کربن و آب به عنوان شاخص انتخاب شده جهت تعریف ردپای خانوادگی استفاده می‌شود. در واقع این مسئله امکان بررسی چهار ردپای ذکر شده را می‌دهد که به طور مکمل در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مرتبط با استفاده از منابع طبیعی و ضایعات خارج شده است. این مقاله به دلیل ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چهار ردپای ذکر شده به ویژه آب می‌تواند از نظر مفهومی با پژوهش حاضر مرتبط باشد.

هنگ و همکاران[1] (۲۰۱۶) در مقاله‌ای تحت عنوان «طراحی سیستم تولید محلی یکپارچه: مطالعه ارتباط بین آب ـ غذا ـ انرژی» با رویکرد تعادل جزئی به بررسی توسعه فرآیند ابزارهای سیستم‌های مهندسی در ترکیب با مفهوم بررسی منابع استفاده کننده از انرژی جهت طراحی سیستم‌های تولید محلی پرداخته‌اند. روش پیشنهادی که اصول کلی برای طراحی یک سیستم تولید محلی را منعکس می‌سازد، نشان دهنده یک مطالعه موردی در طراحی یکپارچه در ارتباط بین آب ـ غذا ـ انرژی برای اکوسیستم یک شهر در بریتانیا است. این مقاله به دلیل مطالعه ارتباط بین آب ـ غذا ـ انرژی جهت طراحی یک سیستم تولید محلی می‌تواند از نظر مبانی نظری به پژوهش حاضر نزدیک باشد.

کادورا و الخطیب (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با رویکرد تعادل عمومی به بررسی ابزارهای مدل‌سازی «ارتباط» میان آب، انرژی و غذا برای بهبود رویکرد مدل‌سازی جهت ایجاد سیاست‌های یکپارچه پرداخته‌اند. تمام ابزارها در نهایت با هدف ایجاد جمعیت پایدار و رشد اقتصادی با استفاده از تصمیم‌گیری یکپارچه کار می‌کنند. آن‌ها نتیجه گرفتند که توافق بیشتر در میان توسعه دهندگان ابزارها، باید در جهت پیشرفت مدل‌سازی رویکرد این «ارتباط» برقرار شود.

آرتیولی و همکاران[2] (۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان «ارتباط میان آب، غذا و انرژی: یک برنامه یکپارچه و مفاهیم برای حکمرانی شهری» با رویکرد تعادل جزئی دریافتند که فراتر از بخش‌های آب، انرژی و غذا می‌توان از آزمون‌های سیاسی و نتایج و چالش‌های آن، به توزیع تخصص و ظرفیت هماهنگی پرداخت. در واقع این مقاله به دلیل در نظر گرفتن یک برنامه یکپارچه شهری، ظرفیت هماهنگی و ارتباط آن با آب، غذا و انرژی می‌تواند از

1. Hang, *et al*
2. Artioli, *et al*

لحاظ مفهومی با پژوهش حاضر مرتبط باشد.

در خصوص مطالعات داخلی مرتبط با موضوع مورد تحقیق مطالعات زیر را می‌توان برشمرد:

برزگر (۱۳۹۱) در مقاله‌ای تحت عنوان « شهرنشینی و تأثیرات آن بر امنیت غذا ـ آب ــ انرژی در ایران نمونه موردی: شهر شیراز» با رویکرد تعادل جزئی به بررسی این موضوع پرداخته‌اند که شهر شیراز در دوره زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ با شهرنشینی سریع روبرو شده است. در نتیجه تغییرات کاربری زمین دشت شیراز تحت تأثیر شهرنشینی بسیار زیاد موجب کاهش جدی محصولات باغی و کشاورزی شده است. در نتیجه کاهش مشهود آب کشاورزی و کاهش محصولات کشاورزی منطقه تحت تأثیر مشکل اصلی شهرنشینی سریع حادث گردیده است.

عربی یزدی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی امنیت آبی در اقلیم‌های خشک از دیدگاه شاخص رد پای آب مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی» با رویکرد تعادل جزئی به بررسی اضافه برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی، صادرات آب مجازی و نیاز خالص آبی جهت تأمین امنیت غذایی در این استان پرداخته‌اند.

غلامی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای تحت عنوان «بررسی بهره‌وری انرژی ـ آب و بهره‌وری اقتصادی انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی در شرایط بهره‌برداری از آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قزوین)» با رویکرد تعادل جزئی و با استفاده از داده‌های فصلی سیستم‌های آبیاری و عملکرد محصولات کشت این سیستم‌ها در سال ۱۳۹۰ در دشت قزوین دریافتند که در حالت بهره‌برداری تلفیقی از آب زیرزمینی و کانال آبیاری، بهره‌وری انرژی در سیستم‌های آبیاری به مراتب بیشتر از بهره‌وری انرژی در حالت بهره‌برداری از آب زیرزمینی است.

یکه یزدان دوست (۱۳۹۴) در تحقیقی با عنوان «مدل پیوندی آب، غذا و انرژی در مدیریت بهم پیوسته منابع آب» با رویکرد تعادل جزئی به دنبال تلفیق دو سیستم متفاوت در قالب یک چارچوب سیستماتیک (جعبه ابزار) بوده است، که در آن مدیریت بهم پیوسته منابع آب به منظور دستیابی به رویکرد پیوندی طراحی شده است. جعبه ابزار مذکور با یک متدولوژی فراگیر، به واسطه یکپارچه‌سازی مدل‌های WEAP و LEAP برای حوضه آبریز هامون هیرمند تهیه شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که در صورت

استفاده از جعبه ابزار ارائه شده با توجه به پتانسیل انرژی‌های تجدید پذیر موجود حوضه آبریز می‌توان با به‌کارگیری این انرژی‌ها برای بازیافت آب برگشتی بخش کشاورزی، موجب کاهش کمبود آب تا افق ۱۴۲۰ شد.

میرزایی و همکاران، (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای تحت عنوان «راه‌حل‌های سیاستی در مواجه با بحران آب با رویکرد پیوند آب ـ انرژی ـ غذا» با رویکردی تحلیلی ـ توصیفی، با رویکرد تعادل جزئی چهار راه‌حل سیاستی برای پیشبرد اهداف سیاستگذاری شامل قیمت‌گذاری آب و انرژی، تدوین الگوی کشت و جانمایی مناسب صنایع، اصلاح سیاست‌های واردات و صادرات با رویکرد توجه به آب مجازی و ردپای آب و افزایش محصولات گلخانه‌ای را پیشنهاد داده‌اند.

بررسی مطالعات ادبیات موضوعی نشان می‌دهد، به دلیل نوپا بودن مفهوم مورد پیوند آب ـ انرژی ـ غذا در ایران، تلاش‌های چندان مؤثری جهت تبیین پیوند آب ـ انرژی ـ غذا از زوایای مختلف در کشور انجام نشده است. علاوه بر این، تاکنون پژوهشی در کشور در خصوص ارائه مدل مفهومی هم‌پیوندی میان آب ـ انرژی ـ غذا ارائه نشده است که با توجه به توانمندی رویکرد سیستم دینامیک در تبیین پویایی‌های مدل، مطالعه حاضر نسبت به سایر مطالعات دیگر از نوآوری برخوردار است.

۳. روش‌شناسی تحقیق

با وجود برخی مزیت‌های رویکردهای متعدد غیرسیستمی از جمله پرهیز از پیچیدگی در مدل‌سازی، این روش‌ها دید جامع و کل‌نگری نسبت به متغیرهای درون‌زا فراهم نمی‌کند. سیستم‌های پویا امکان تحلیل درونزای متغیرهای تحقیق را فراهم می‌کند. روش‌های سیستمی از الگوهای مبتنی بر تفکر سیستمی استفاده می‌کنند. این روش در سال ۱۹۵۰ در دانشگاه MIT آمریکا و توسط فارستر ایجاد شد. با توجه به اینکه هدف اصلی تحقیق حاضر ارائه یک مدل مفهومی از پویایی‌های هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا در ایران است، می‌توان به‌طور ساده ارتباط میان آب، غذا و انرژی را به‌صورت زیر می‌توان نمایش داد:

شکل ۱. ارتباط آب، غذا و انرژی در بستر سیاست، اقلیم و محیط زیست

مأخذ: شریفی مقدم و صادقی، ۱۳۹۷

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، آب، انرژی و غذا دارای هم‌پیوندی در بستر اقلیم، سیاست و محیط زیست هستند. در حقیقت هر بخش به طور مجزا دارای ساختار گسترده‌ای است که در کنار یکدیگر یک سیستم جامع از ارتباط هر سه بخش با یکدیگر را نشان می‌دهد.

٤. تحلیل ساختار مدل مفهومی یکپارچه آب، غذا و انرژی ایران

٤-١. طراحی ساختار بخش تولید آب ایران

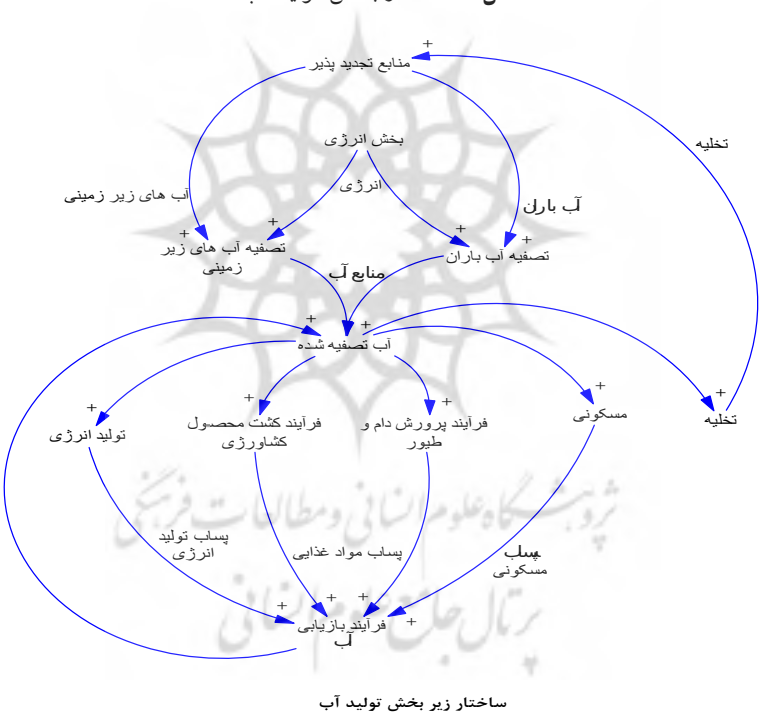
ایران با میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در پهنه‌بندی خشک و نیمه‌خشک جهانی قرار دارد.[1] با اینکه این میانگین در حدود یک سوم متوسط بارندگی جهانی است، افزایش تقاضای آبی را می‌توان به‌صورت افزایش میزان اراضی در چرخه تولیدات کشاورزی آبی، تقلیل آیش‌گذاری آبی، تغییرات الگوی کشت به سمت محصولاتی با نیاز بالا به آب و افزایش چشمگیر محصولات کشت دوم به خوبی مشاهده کرد. افزون بر این، پیش‌بینی می‌شود که جمعیت ایران از ۷۴ میلیون در سال ۱۳۹۰ به حدود ۹۰ میلیون نفر در سال ۱۴۰۰ هجری شمسی افزایش یابد، درحالی‌که سرانه منابع تجدیدشونده در ایران یک

---

۱. مرکز آمار ایران (۱۳۹۵)

چهارم سرانه جهانی است.[1] لذا می‌توان در نظر داشت که در پی افزایش جمعیت و با افزایش مصارف آب در بخش‌های شهری و روستایی، کشاورزی، صنعت و محیط زیست کشور ممکن است با عدم تعادل مابین منابع و مصارف آب مواجه شود، لذا امنیت این بخش بسیار حائز اهمیت بوده و لازم است زیر بخش‌های مختلف آن شناسایی شده و مورد تحلیل بررسی قرار گیرند. لذا با طراحی یک مدل مفهومی از ساختار زیربخش‌های مربوط به منابع و مصارف آب کشور با توجه به وضعیت بومی، نقاط قوت و ضعف این بخش پر رنگ‌تر نمایان می‌شود. در این راستا بخش تولید آب را برای ایران به صورت زیر می‌توان نمایش داد:

شکل ۲. ساختار بخش تولید آب



منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که مشاهده می‌شود با تصفیه آب‌های در دسترس از منابع مختلف از جمله آب

---

۱. نیکویی و زیبایی (۱۳۹۱)

باران و آب‌های زیرزمینی، آب قابل مصرف (آب شیرین) تولید می‌شود، جهت تولید آب تصفیه شده انرژی مورد نیاز از بخش انرژی دریافت می‌شود و عمل تصفیه انجام می‌پذیرد. سپس آب تولیدی در تولیدات غذایی (کشاورزی و پرورش دام و طیور)، تولید انرژی و بخش مسکونی (شهری و روستایی) مصرف می‌شود، در ادامه پساب حاصل از هرکدام از این بخش‌ها مجدداً به چرخه تولید آب باز می‌گردد.

۲-٤. طراحی ساختار بخش غذای ایران

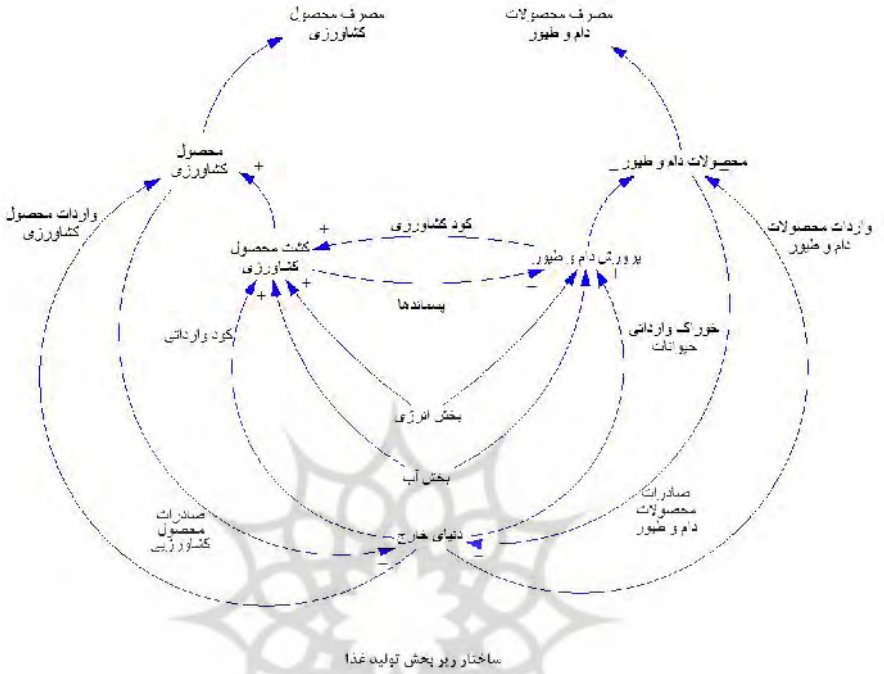
حفظ امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود می‌باشد که کشورهای مختلف با آن روبه‌رو هستند. امنیت غذایی خانواده به معنی دسترسی خانواده به غذای کافی، سالم و مغذی برای اطمینان از دریافت حداقل مقدار نیاز ضروری اعضای خانواده می‌باشد.[۱] ناامنی غذایی زمانی وجود دارد که افراد در نتیجه عدم دسترسی فیزیکی به غذا، عدم دسترسی اجتماعی و اقتصادی به غذای کافی و یا استفاده نامناسب از غذا، دچار سوء تغذیه شده باشند.[۲] براساس تخمین سازمان بهداشت جهانی تقریباً ۶۰ درصد از کودکان در کشورهای درحال توسعه، نتیجه گرسنگی مزمن و سوءتغذیه است.[۳] با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه ناامنی غذایی در ایران، حدود یک چهارم ایرانیان دچار کمبود انرژی و نیمی دیگر دچار کمبود ریزمغذی‌ها هستند.[۴] لذا با توجه به افزایش جمعیت، این مسئله بسیار حائز اهمیت خواهد بود تا چرخه تولیدی مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفته و جهت ایجاد امنیت غذایی در کشور، زیربخش‌های مختلف تولید غذا شناسایی گردند. لذا ساختار بخش تولید غذا برای ایران را به‌صورت زیر می‌توان نمایش داد:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

---

۱. زراعت‌کیش و کمالی (۱۳۹۶)
۲. اسفندیاری و میرعباسی (۱۳۹۱)
۳. حکیم و همکاران (۱۳۹۱)
۴. همان

شکل ۳. ساختار بخش تولید غذا



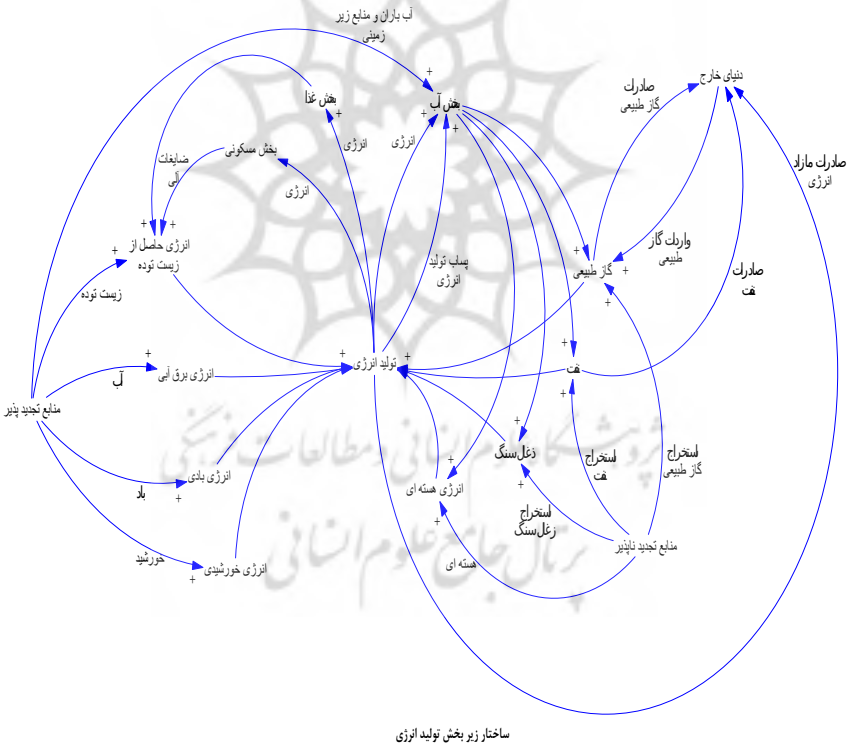
منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که قابل ملاحظه است بخش تولید غذا در ایران را می‌توان به دو زیر بخش کشاورزی و دام‌پروری تقسیم کرد. هر یک از این زیر بخش‌ها با بخش آب و بخش انرژی ارتباط دارد. به عنوان مثال، برای کشت محصولات کشاورزی و نیز پرورش دام و طیور به ماشین‌آلات و تأسیسات و نیز مواد اولیه‌ای نیاز است که نیروی محرکه آن‌ها، انرژی در اشکال مختلف آن است. همچنین دو بخش کشت محصولات کشاورزی و نیز پرورش دام و طیور به صورت اجتناب ناپذیری به منابع آبی جهت تولید محصولات خود نیاز دارند. خاطر نشان می‌شود، مطابق شکل (۳)، ارتباط با دنیای خارج نیز از طریق تأمین مواد اولیه مورد نیاز دو بخش تولیدی مزبور و نیز صادرات و یا واردات محصولات می‌تواند به ارتقای امنیت غذایی منجر شود.

۳-٤. طراحی ساختار زیر بخش انرژی ایران

انرژی کالایی استراتژیک است که تأمین امنیت آن نقشی کانونی در امنیت بین‌الملل و اقتصاد جهانی دارد، این وضعیت در صحنه ژئوپلیتیک جهانی و در کشورهای توسعه‌یافته که نیاز روزافزون به نفت و گاز بیشتر می‌شود، جهان را وادار ساخته است تا مقوله‌ای به نام امنیت انرژی را در ادبیات امنیت جهانی وارد کرده و پیرامون چگونگی تأمین آن راهکار اتخاذ نماید.[۱] بررسی و شناسایی نقاط ضعف و قوت این بخش و زیربخش‌های آن و همچنین ارتباط آن با سایر بخش‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین جهت ساختار بخش تولید انرژی در ایران را به‌صورت زیر می‌توان نشان داد:

شکل ٤. ساختار بخش تولید انرژی



منبع: یافته‌های پژوهش

---

۱. مختاری‌هشی و نصرتی (۱۳۸۹)

همان‌طور که در شکل (۴) قابل ملاحظه است، تولید انرژی از دو منبع اصلی یعنی منابع تجدیدپذیر و منابع تجدیدناپذیر تولید می‌شود. منابع انرژی تجدیدپذیر در ایران شامل خورشیدی، برق آبی، بادی و زیست توده و منابع انرژی تجدیدناپذیر شامل نفت، گاز و هسته‌ای است.

درواقع این بخش با دریافت منابع اولیه و تولید انرژی، انرژی مورد نیاز بخش‌های دیگر را تأمین می‌کند، از طرفی منابع اولیه و همچنین انرژی تولیدی را از دنیای خارج وارد و یا حتی به آن صادر می‌کند. همچنین جهت استخراج و پالایش منابع انرژی جهت تولید انرژی، این بخش نیازمند آب به‌منظور خنک‌کننده و مصارف دیگر است که از این طریق با بخش آب ارتباط پیدا می‌کند. بخش تولیدات غذایی نیز با دریافت انرژی از این بخش و همچنین تولید زیست‌توده و ضایعات آلی جهت استفاده به‌عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر با بخش انرژی ارتباط پیدا می‌کند.

پس از تبیین مدل مفهومی هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا می‌توان رویکردهای مختلف از جمله شاخص‌سازی به کمی کردن روابط موجود پرداخت. به طور نمونه، مطابق با الگافی (۲۰۱۷)[1]، بهره‌وری اقتصادی آب در زمان t در بخش کشاورزی (تولید غذا) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$W_{EProd,t} = (N_{c,t} - C_{c,t}) / W_{c,t} \qquad (۱)$$

که در آن $W_{EProd,t}$ بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی (تولید غذا) بر حسب دلار به ازای هر مترمکعب، $N_{c,t}$ ارزش محصول تولید شده c، $C_{c,t}$ هزینه نهاده‌های تولیدی و $W_{c,t}$ میزان آب مورد استفاده در بخش کشاورزی (تولید غذا) در زمان t است.

همچنین بهره‌وری اقتصادی انرژی در زمان t در بخش کشاورزی (تولید غذا) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E_{EProd,t} = (N_{c,t} - C_{c,t}) / E_{c,t} \qquad (۲)$$

که در آن $E_{EProd,t}$ بهره‌وری اقتصادی انرژی در بخش کشاورزی (تولید غذا) بر حسب

1. I. El-Gafy (2017)

واحد دلار به ازای هر ژول، $N_{c,t}$ ارزش محصول تولید شده c، $C_{c,t}$ هزینه نهاده‌های تولیدی و $E_{c,t}$ میزان انرژی مورد استفاده برای تولید واحد c کالای کشاورزی (غذا) در زمان t است.

بر این اساس می‌توان شاخص هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا را بر مبنای بهره‌وری اقتصادی این هم‌پیوندی به صورت زیر ارائه داد:

$$WEFNI_t = \sum_{i=1}^{n} w_i X_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} w_i \qquad (۳)$$

که در آن $WEFNI_t$ نشانگر شاخص هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا از منظر بهره‌وری اقتصادی و w_i نشانگر وزن هر شاخص در شاخص کل است. خاطر نشان می‌شود، به منظور اجتناب از مشکل متفاوت بودن واحدهای شاخص‌ها، از رابطه (۴) برای نرمال‌سازی شاخص‌ها استفاده می‌شود:

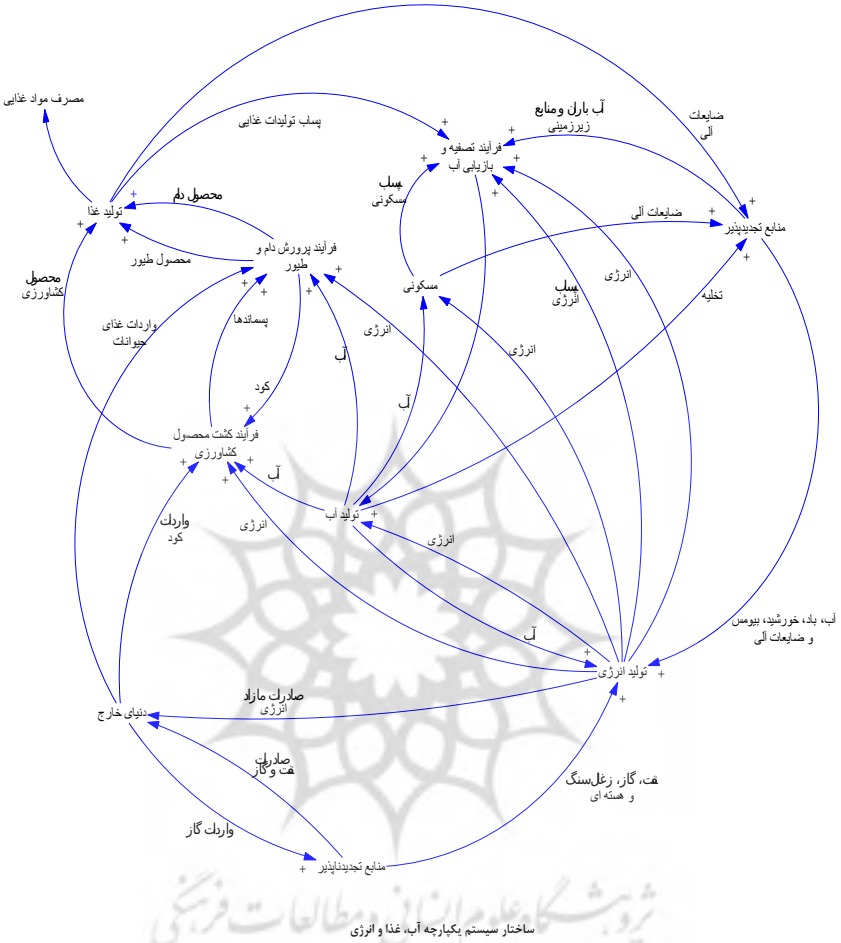
$$X_i = \frac{x_i - \mathrm{Min}(x_i)}{\mathrm{Max}(x_i) - \mathrm{Min}(x_i)} \qquad (۴)$$

که در آن X_i بیانگر شاخص نرمال شده، x_i مقدار واقعی داده‌ها، و $\mathrm{Max}\ (x_i)$ و $\mathrm{Min}\ (x_i)$ به ترتیب مقدار حداکثر و حداقل شاخص را نشان می‌دهد.

٤ـ٤. تحلیل پویایی یکپارچه هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا در ایران

همان‌طور که پیش‌تر ملاحظه شد، یک ارتباط اجتناب‌ناپذیری میان سه بخش تولید آب، انرژی و غذا وجود دارد که عدم توجه به هر یک از آن‌ها می‌توان امنیت سایر بخش‌ها را با خطر مواجه کند. لذا بررسی هر سه بخش در کنار یکدیگر دارای اهمیت ویژه‌ای بوده و لازم است در سیاست‌گذاری‌های کلان به آن توجه اساسی شود. انرژی برای تولید، حمل و نقل و توزیع غذا و همچنین استخراج، پمپاژ، انتقال، جمع‌آوری و تصفیه آب مورد نیاز است. از جهت برای درک بهت این ارتباط می‌توان این سه بخش را به‌صورت زیر در کنار یکدیگر دید:

شکل ۵. ساختار سیستم یکپارچه آب، غذا و انرژی



منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که مشاهده می‌شود هر سه بخش تولید آب، غذا و انرژی با یکدیگر مرتبط بوده و دارای یک چرخه تولیدی می‌باشند. لذا بروز اختلال در هر بخش یا زیربخش از تولیدات این سه حوزه می‌تواند امنیت بخش خود و به طبع آن امنیت بخش‌های دیگر را نیز دچار اختلال سازد.

به دلیل وجود ارتباطات پسین و پیشین بین سه بخش آب ـ غذا ـ انرژی، لزوم توجه به این پیوند در سیاست‌گذاری و تنظیم مقررات در این حوزه در کشور ضروری می‌نماید. با

یک نگاه آسیب‌شناسانه و نظام‌مند در جهت اهتمام به ریسک امنیت انرژی ـ آب ـ غذا، می‌بایست این سه بخش در کارکردی منظم و هماهنگ با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته شوند. در واقع تحلیل یک بخش به صورت مجزا و تعمیم برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مختص هر بخش به سایر بخش‌ها مثمر ثمر نخواهد بود. در نتیجه به دلیل اهمیت و وابستگی بسیار زیاد بخش‌های مذکور، نیاز به یک نهاد سیاست‌گذاری واحد در این حوزه ضروری است.

در ادامه بر اساس آمارهای اعلام شده از سوی فائو (۲۰۱۸)، برخی از شاخص‌های مورد استفاده در پیوند آب ـ انرژی ـ غذا برای ایران را می‌توان مشاهده کرد. مطابق روش‌شناسی که فانو در تهیه گزارش‌های هم پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا ارائه می‌دهد، بر اساس توپولوژی و نیز نماگرهای زیستی ـ اقتصادی[1] کشورها، معیارهایی[2] تعیین می‌شوند. بر این اساس، کشورها به چند دسته تقسیم می‌شوند و برای هر دسته یک معیار در نظر گرفته شده و انحراف از آن برای هر کشور محاسبه می‌شود. در این روش‌شناسی کشورها به دسته‌های:

۱) کشور خشک، اقتصاد مبتنی بر کشاورزی[3]
۲) کشور پرآب، اقتصاد مبتنی بر کشاورزی[4]
۳) کشورهای برخوردار، با محدودیت در منابع طبیعی[5]
۴) کشورهای نوظهور با نرخ رشد فزاینده جمعیت[6]

برای نماگرهای هر یک از گروه کشورهای فوق، معیارهای مربوطه بر اساس شرایط خاص هر گروه توسط فائو تعیین شده و اختلاف مقادیر نماگرهای هر یک از کشورها در هر گروه با مقدار تعیین شده به عنوان معیارسنجیده می‌شود.

بر همین اساس وضعیت ایران در شاخص سرانه کل منابع آب داخلی نسبت به معیارهای در نظر گرفته شده توسط فائو، (۷۶/۸ ـ) درصد انحراف دارد. همچنین عملکرد ایران در شاخص غذای تولید شده به ازای آب مصرف شده از مقدار در نظر گرفته شده، (۸۱/۶ ـ) درصد انحراف دارد. نظر به وضعیت ایران سایر شاخص‌های ارائه شده، می‌توان دریافت که

1. Bio-economic
2. Benchmarks
3. Dry Country, Agricultural ـ Based Economy
4. Water Rich Country, Agricultural-Based Economy
5. Affluent Country, Natural Resource Constraint
6. Emerging Country, Experiencing Strong Population Growth

امنیت مترتب بر هر یک از پیوندهای آب ـ انرژی ـ غذا در ایران وضعیت مناسبی را نشان نمی‌دهد.

جدول ۲. شاخص‌های تبیین‌گر پیوند آب ـ انرژی ـ غذا در ایران و انحراف از بنچمارک

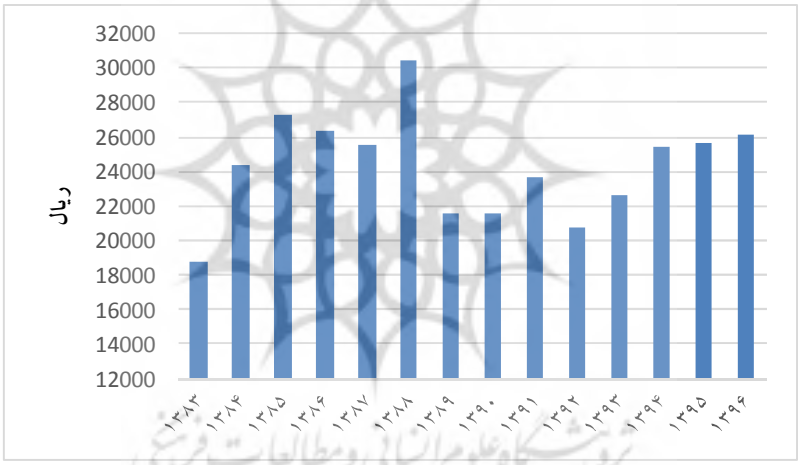
شاخص	آب (W)	انرژی (E)	غذا (F)
سرانه کل منابع آبی داخلی (m^3/person)	مقدار شاخص برای ایران: ۱۶۵۹ انحراف ازمعیارهای فائو: ـ ٪۷۶/۸		
غذای تولید شده به ازای آب مصرف شده (USD/m^3)	مقدار شاخص برای ایران: ۰/۳ انحراف ازمعیارهای فائو: ـ ٪۸۱/۶		
استفاده از انرژی فسیلی به ازای هر واحد GDP (بر حسب دلار ثابت ۲۰۱۱)		مقدار شاخص برای ایران: ۵/۶ انحراف ازمعیارهای فائو: ۶/۲۴	
سهم سوخت‌های سنتی در مصرف خانوارها (٪)		مقدار شاخص برای ایران: ٪۱ انحراف ازمعیارهای فائو: ـ ٪۱۰۱	
خالص واردات سرانه محصولات کشاورزی، غذا و موجودات جاندار (USD/person)			مقدار شاخص برای ایران: ـ ۵/۸ انحراف ازمعیارهای فائو: ـ ٪۱۰۰
تغییر در مناطق جنگلی در ۱۰ سال گذشته (٪)			مقدار شاخص برای ایران: ـ ٪۱ انحراف ازمعیارهای فائو: ـ ٪۵۵

مأخذ: FAO (2018) و محاسبات تحقیق

به منظور ارائه یک کاربست از رویکرد سیستمی مورد استفاده، می‌توان مطابق روش‌شناسی ارائه شده، شاخص بهره‌وری اقتصادی هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا را

محاسبه نمود. در نمودار (۱)، بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی قابل مشاهده است. خاطر نشان می‌شود که از نظر میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف در ایران، بخش قابل توجهی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی مورد استفاده می‌گیرد. برای محاسبه بهره‌وری در بخش کشاورزی از دو شاخص بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی استفاده می‌شود. همانطور که قبلا مطرح شد بهره‌وری اقتصادی نشان دهنده این است که به ازای هر مترمکعب آب، چند ریال ارزش افزوده ایجاد شده است. روند نمودار بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی (تولید غذا) با فراز و نشیب‌هایی همراه بوده است. هرچند این روند از سال ۱۳۹۲ به بعد با شیب صعودی ملایم همراه شده است.

نمودار ۱. بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی (تولید غذا) (ریال به ازای هر مترمکعب)

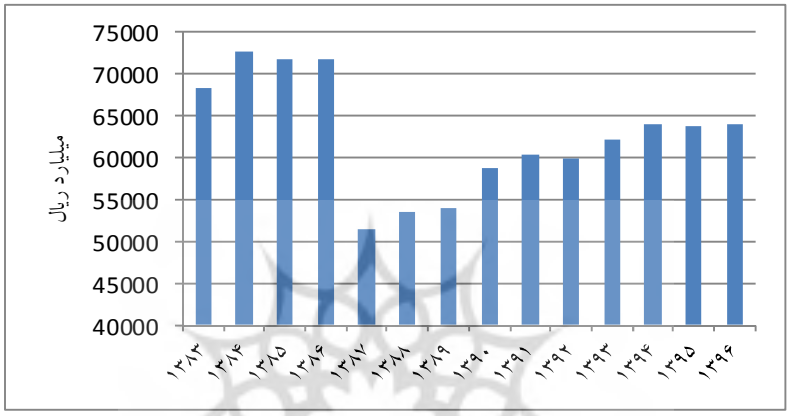


مأخذ: حساب‌های ملی مرکز آمار ایران و سالنامه آماری آب کشور

با توجه به ماهیت فعالیت مختلف و نوع مصرف انواع حامل‌های انرژی دربخش کشاورزی، سوخت موتور ماشین‌آلات کشاورزی و نیرو محرکه الکتروپمپ‌ها جهت پمپاژ آب از چاه‌های برقی از مهم‌ترین مصارف انرژی در بخش کشاورزی محسوب می‌شوند. علاوه بر این، بخشی از انرژی مصرفی به منظور گرم کردن فضای گلخانه‌ها، دامداری‌ها و مرغداری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین دو حامل انرژی نفت گاز و برق مهم‌ترین منابع انرژی مورد استفاده در این بخش بوده و سهم این دو حامل از کل انرژی مصرف

بخش کشاورزی (تولید غذا) حدود ۹۸ درصد است. بررسی روند نمودار (۲) در خصوص بهره‌وری اقتصادی انرژی در بخش کشاورزی (تولید غذا) نشان می‌دهد که این شاخص پس از افت محسوس در سال ۱۳۸۷، با روند مثبتی همراه بوده است.

نمودار۲. بهره‌وری اقتصادی انرژی در بخش کشاورزی(تولید غذا) (میلیارد ریال به ازای میلیون تن معادل نفت)



مأخذ: حساب‌های ملی مرکز آمار ایران و سالنامه آماری آب کشور

در نمودار (۳) می‌توان شاخص بهره‌وری اقتصادی هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذای محاسبه شده برای ایران را مشاهده نمود. لازم به ذکر است، مبتنی بر روش‌شناسی که اشاره شد، شاخص‌های بهره‌وری انرژی و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی (تولید غذا) بر اساس روش ماکس ـ مین[1]، نرمالایز شده و پس از وزن‌دهی[2]، شاخص تجمیعی بهره‌وری اقتصادی برای هم‌پیوندی محاسبه شده است. بررسی روند شاخص مذکور نشان می‌دهد، شاخص بهره‌وری اقتصادی هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا در سال ۱۳۸۹ به کمترین میزان خود رسیده است. پس از این سال و با اجرایی شدن سیاست‌های اصلاح الگوی مصرف[3]، به نظر می‌رسد بهره‌وری آب و انرژی در بخش کشاورزی با روند مثبتی همراه بوده است.

---

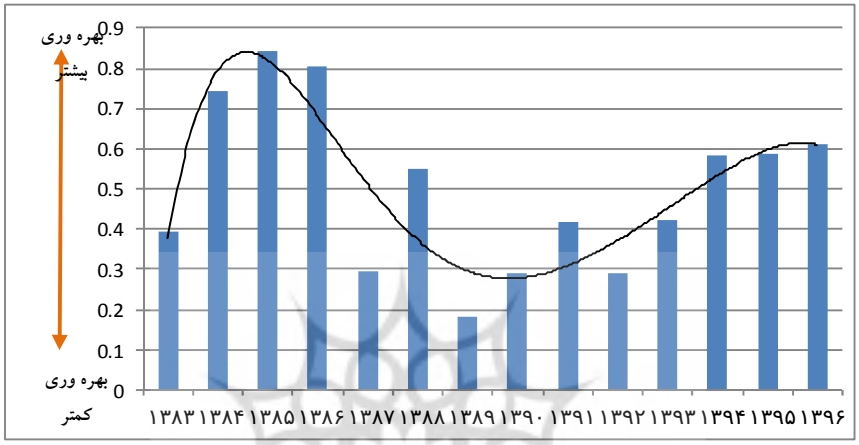
1. Max-Min

۲. در این تحقیق از وزن‌های یکسان استفاده شده است.

۳. لازم به ذکر است، سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف به طور خاص اصلاح عملکرد در سه بخش آب، انرژی و نان را شامل می‌شود.

همچنین اجرایی شدن فاز نخست اصلاح قیمت حامل‌های انرژی از سال مذکور به بعد نیز می‌تواند تا حدی در این روند تأثیرگذار بوده باشد.

نمودار۳: شاخص بهره‌وری اقتصادی هم پیوندی آب ـ انرژی ـ غذای ایران



مأخذ: یافته‌های تحقیق

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با افزایش روزافزون تقاضا برای آب، انرژی و غذا در دهه‌های آینده، فشار بر این سه بخش افزایش یافته و اهمیت هم‌پیوندی بین آب ـ انرژی ـ غذا بیش از پیش نمایان می‌شود. با توجه به اهمیت این موضوع، تحقیق حاضر با هدف ارائه یک مدل مفهومی از هم‌پیوندی آب ـ انرژی ـ غذا، تلاشی در جهت توسعه ادبیات رو به رشد هم‌پیوندی مذکور درکشور ایران می‌باشد. همچنین به عنوان کاربستی از هم‌پیوندی مورد اشاره، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب ـ انرژی ـ غذا برای ایران محاسبه گردید که بررسی روند آن نشان می‌دهد، 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 سیاست‌های اصلاح الگوی مصرف و اجرایی شدن هدفمندی یارانه‌ها، بهره‌وری آب و انرژی در بخش کشاورزی با روند مثبتی همراه بوده است.

خاطر نشان می‌شود، توجه به اهداف ذینفعان در این سه بخش کلیدی، در

تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌ها توسط تصمیم‌گیران و متولیان در بخش‌های مذکور ضروری می‌باشد. در این راستا، از جمله راهبردهای پیشنهادی، توسعه نهادی برای سیاست‌گذاری و گفتمان بخش‌های مختلف درگیر در این پیوند، برای دستیابی به اجماع و اساس مشترک است. وزارتخانه‌های نیرو، کشاورزی و صنعت، معدن و تجارت نقش اصلی را در این میان ایفا می‌کنند.

هماهنگی بین سه بخش معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، معاونت امور آب و معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو و درگیر شدن دفتر برنامه ریزی راهبردی و تلفیقی به منظور تدوین طرح‌های توسعه‌ای و ساماندهی به امور مربوطه و همچنین هماهنگی با معاون امور آب‌وخاک به منظور بهبود بهره‌وری آب و ساماندهی مصرف آب در بخش کشاورزی لازم به نظر می‌رسد. پایش تولید مواد غذایی و نظارت بر صنایع کشور نیز به منظور استفاده بهینه از انرژی و منابع آب کشور باید مد نظر قرار بگیرد. توسعه صنایع کشور بر اساس اقتصاد محیط‌زیستی و کالای پاک نیز مؤثر است. 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

اسفندیاری، چنگیز و میرعباسی، سیدباقر (۱۳۹۱)، «نقش سازمان ملل در تحقق امنیت غذایی در جامعه جهانی»، *علوم غذایی و تغذیه*، سال ۹، شماره ۲، صفحات ۱۰۳ـ۹۱.

برزگر، زهرا (۱۳۹۱)، «شهرنشینی و تأثیرات آن بر امنیت غذا ـ آب ـ انرژی در ایران نمونه موردی: شهر شیراز»، *فصلنامه علمی ـ تخصصی برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، سال ۲، شماره ۵، صفحات ۶۴- ۵۳

حکیم، سیده سارا و درستی، احمدرضا و اشراقیان، محمدرضا (۱۳۹۱)، «شیوع ناامنی غذایی و عوامل مرتبط با آن»، *فصلنامه پایش*، سال ۱۱، شماره ۶، صفحات ۷۹۷ـ۷۹۱.

زراعت‌کیش، سید یعقوب و کمالی، ژیلا (۱۳۹۶)، «بررسی عوامل مؤثر بر امنیت غذایی در خانوارهای کشاورز روستایی استان کهکیلویه و بویراحمد»، *مجله علوم غذایی و تغذیه*، شماره ۲، صفحات ۸۶ـ۷۷.

شرافت، محمدناصر و صمصامی، حسین و کریمی راهجردی، اباذر (۱۳۹۰)، «برآورد تولید بهینه نفت خام ایران و سرمایه گذاری مورد نیاز سالیانه برای افق بیست ساله»، *فصلنامه اقتصاد و الگوسازی*، سال ۲، شماره ۵ و۶، صفحات۳۷-۱.

شریفی‌مقدم، احسان و صادقی، سید حمیدرضا (۱۳۹۷)، «کاربرد هم‌بست آب ـ انرژی ـ غذا در مدیریت منابع آب»، *اولین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست محیطی*.

عربی یزدی، اعظم و نیک‌نیا، ناصر ومجیدی، نجمه و امامی، حسین (۱۳۹۳)، «بررسی امنیت آبی در اقلیم‌های خشک از دیدگاه شاخص رد پای آب مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی»، *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، شماره ۴، جلد ۸، صفحات ۷۴۶ ـ ۷۳۵.

غلامی، زینب و ابراهیمیان، حامد و نوری، حمیده (۱۳۹۳)، «بررسی بهره‌وری انرژی ـ آب و بهره‌وری اقتصادی انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی در شرایط بهره‌برداری از آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قزوین)»، *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، شماره ۳، جلد ۱۶، صفحات ۴۴ـ۳۱.

مختاری‌هشی، حسین و نصرتی، حمیدرضا (۱۳۸۹)، «امنیت انرژی و موقعیت ژئوانرژی ایران»، *فصلنامه ژئوپلتیک*، سال ۶، شماره ۲، صفحات ۱۲۴-۹۵.

میرزایی، شکیبا و قهرمان، بیژن و مساعدی، ابوالفضل و ضرغامی، مهدی (۱۳۹۶)، «راه‌حل‌های سیاستی در مواجه با بحران آب با رویکرد پیوند آب ـ انرژی ـ غذا»، *اولین اجلاس هم‌اندیشی با متخصصان علوم آب و محیط‌زیست*، وزارت نیرو.

نیکویی، علیرضا و زیبایی، منصور (۱۳۹۱)، «مدیریت منابع آب و امنیت غذایی حوزه زاینده‌رود: کاربرد روش تحلیل یکپارچه حوزه آبریز رودخانه»، *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۶، شماره ۳، صفحات ۶۴ ـ ۵۳.

یکه یزدان‌دوست، فرهاد (۱۳۹۴)، «پیوند آب، غذا و انرژی، مدیریت بهم پیوسته منابع آب»، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی عمران.

References

Artioli, F. and Acuto, M. and Mcarthur, J. (2017),” The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance”, *Political Geography*, No.61, pp. 215-223.

Bizikova, L., Roy, D., Swanson, D., Venema, H. D., & McCandless, M. (2014). Water-Energy-Food Nexus and Agricultural Investment: A Sustainable Development Guidebook, Winnipeg, Canada: International Institute for Sustainable Development (IISD).

El-Gafy, I. (2017), "Water-food-energy nexus index: analysis of water-energy-food nexus of crop's production system applying the indicators approach" *Applied Water Science*, No.7(6), pp.2857-2868.

Fang, Kai and Heijungs, Reinout and Geert R. de Snoo (2014), "Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family" *Ecological Indicators*, No.36 (2014), pp.508-518.

Garcia, D. J. and You, F. (2016), "The water-energy-food nexus and process systems engineering: a new focus, Comput", *Chem. Eng*., No. 91, pp. 49-67.

Hang, M. Y. L. P. and Martinez-Hernandez, E. and Leach, M. and Yang, A. (2016), "Designing integrated local production systems: a study on the food-energy-water nexus", *Journal of Cleaner Production*, No. *135*, pp. 1065-1084.

Hoff, H. (2011), "Understanding the nexus" (Background paper for the Bonn2011 Nexus Conference).

Kaddoura, S. and El Khatib, S. (2017), "Review of water-energy-food Nexus tools to improve the Nexus modelling approach for integrated policy making", *Environmental Science & Policy*, No.77, pp.114-121.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment), (2005), Ecosystems and Human Well-Being. World Resources Institute, Washington, DC.

Sadoff, C. W. and Hall, J. W. and Grey, D. and Aerts, J. C. J. H. and Ait-Kadi, M and Brown, C. and Cox, A. and Dadson, S. and Garrick, D. and Kelman, J. and McCornick, P. and Ringler, C. and Rosegrant, M. and Whittington, D. and Wiberg, D. (2015), "Securing Water, Sustaining Growth: Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth", UK, University of Oxford.

World Economic Forum (WEF). (2011), Global risks 2011. 6th Edition. World Economic Forum, Cologne/Geneva._www.fao.org

Journal of Environmental and Natural Resource Economics
Volume 3, Number 6, Autumn 2019, pp. 79-104

Original Reserch
Received: 16/12/2018 Accepted: 14/05/2019
ISSN: 2538-4791 eISSN: 2538-483X

A Conceptual Model of the Dynamics of Water-Energy-Food Nexus in Iran: A Systemic Approach

Mohammad Sayadi[G] Assistant Professor, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran

Omid Soltani Graduate Student in Energy Economics, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran

Seyed Farhad Movahedi Graduate Student in Energy Economics, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran

Abstract

Due to the increasing demand for water, energy and food in the following decades, the pressure on these sectors will increase, hence a systemic approach to Water-Energy-Food (WEF) nexus would be of prime importance. The main objective of this study is to present a conceptual model of the nexus between water-energy-food, using a dynamic system for Iran and an analysis of the factors influencing this relationship. Towards achieving this objective, we have firstly, modeled each of the sub-sectors of water, food and energy and secondly, presented an integrated conceptual model for WEF nexus. In order to reduce the risk of energy-water-food security, these three sectors should be considered in a regulated and coordinated mechanism. The economic productivity (EP) index for the nexus in Iran is calculated for the period of 2004-2017 and its trend is analyzed. The findings of this study highlight the necessity of taking into account the linkage between water, energy and food in policy making and regulation in Iran.

Keywords: Water-Food-Energy Nexus, System, Energy Security.

JEL Classification: Q42, P48, P28, O13.

* Corresponding Author: m.sayadi@khu.ac.ir