

## **Evaluating the energy - water nexus in the economic sectors of Isfahan and Yazd based on two regional input - output analysis**

**Farnaz Dehghan Benadkuki<sup>\*</sup>, Elham Operajouneghani<sup>\*\*</sup>**

**Zahra Nasrollahi<sup>\*\*\*</sup>, Mehran Zareei<sup>\*\*\*\*</sup>**

### **Abstract**

In this research, the data-output model of two regions in order to measure and analyze water and energy relations between the economic sectors of Isfahan and Yazd and the link model to investigate the hybrid flow of two sources and the extent of link effects in each region in 2011 Used. The analysis shows that the two sectors of "water, electricity and gas" in Isfahan province and "manufacturing of non-metallic mineral products" in Yazd province are known as the most consumed sector in the field of energy consumption. Also, based on the estimated results in the present study, the "agriculture" sector in both provinces is known as the most consumed sector in the field of water. The results of combined energy and water flow show that the two sections "Making non-metallic mineral products" and "Agriculture" in Yazd have the largest hybrid energy and hybrid water flow, respectively. It has hybrid water. Regarding the analysis of the total energy and

\* MSc Graduated of Environmental Economics, Department of Economics, Management and Accounting, Yazd university, Yazd, Iran, Dehghan.f73@gmail.com

\*\* MSc Graduated of Environmental Economics, Department of Economics, Management and Accounting, Yazd university, Yazd, Iran, elhamoperaj@gmail.com.

\*\*\* Professor Economics, Department of Economics, Management and Accounting Yazd university, Yazd, Iran, (Corresponding Author) nasr@Yazd.ac.ir

\*\*\*\* Phd Student in Economics, Sistan and Bluchestan University, Zmehran114@gmail.com

Date received: 09/11/2021, Date of acceptance: 25/12/2021



Copyright © 2018, This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

water flow between sectors in two regions, it can be mentioned that in Isfahan province, the two sectors of "basic metals" and "coke production, products from refining oil and nuclear fuels and manufacturing of chemical materials and products" as Important sectors in the field of export and import between the energy sector and the sectors of "agriculture" and "other services" in the field of export and import between the water sector are known. In the field of water resources, the "Agriculture" and "Other Services" sectors are the largest exporters and importers, respectively, and are known as the key sectors of Yazd province for the management of energy and water resources.

**Keywords:** Water – Energy, linkage relationship, integrated resource management, Input - Output model of two regions

JEL Classification: Q25, P28,P48, C45, D57

## سنجش روابط بین بخشی آب و انرژی در دو منطقه اصفهان و یزد براساس رویکرد داده - ستانده دو منطقه‌ای

فرناز دهقان بنادکوکلی\*

الهام اپرا جونقانی\*\*، زهرا نصراللهی\*\*\*، مهران زارعی\*\*\*\*

### چکیده

جمعیت رو به رشد جهان به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه از یک‌سو و عدم مدیریت صحیح منابع مورد نیاز جمعیت از سوی دیگر برداشت بی‌رویه از منابعی مانند آب و انرژی را به دنبال داشته است. در این پژوهش از مدل داده - ستانده دو منطقه‌ای به‌منظور سنجش و تحلیل روابط آب و انرژی بین بخش‌های اقتصادی استان اصفهان و یزد و مدل پیوند برای بررسی جریان ترکیبی دو منبع و میزان تأثیرات پیوندی در هر منطقه در سال ۱۳۹۰ استفاده شده است. نتایج جریان آب و انرژی ترکیبی حاکی از آن است که بخش «سایر خدمات» در اصفهان و در استان یزد بخش‌های «کشاورزی» و «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» پرمصرف‌ترین و به عبارتی تأثیرگذارترین بخش‌ها از جهت مصرف در دو منطقه هستند بطوریکه مهم‌ترین گره مدیریتی در رابطه بین دو منبع آب و انرژی در مناطق مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شوند. همچنین محاسبات جریان کل آب و

\* کارشناسی ارشد اقتصاد محیط‌زیست، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران،  
Dehghan.f73@gmail.com

\*\* کارشناسی ارشد اقتصاد محیط‌زیست، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران،  
elhamoperaj@gmail.com

\*\*\* دانشیار اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)،

nasr@Yazd.ac.ir

\*\*\*\* دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، Zmehran114@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴



Copyright © 2018, This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose.

انرژی در استان اصفهان بیانگر آن است که، بخش‌های «کشاورزی» و «سایر خدمات» جایگاه نخست در جریان صادرات و واردات آب و بخش «فلزات اساسی» و «ساخت کک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای و ساخت مواد و محصولات شیمیایی» به ترتیب بیشترین صادرات و واردات انرژی را به خود اختصاص داده است. همچنین در مورد استان یزد دو بخش «کشاورزی» و «سایر خدمات» به ترتیب بیش‌ترین صادرات و واردات آب و در مورد منابع انرژی نیز بخش «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» بزرگترین صادرکننده و واردکننده است.

**کلیدواژه‌ها:** آب - انرژی، رابطه پیوندی، مدیریت یکپارچه منابع، مدل داده - ستانده دو منطقه‌ای

طبقه‌بندی JEL: Q25, P28, P48, C45, D57

## ۱. مقدمه

امروزه افزایش جمعیت به یک چالش جهانی تبدیل شده است به گونه‌ای که طبق گزارش سازمان ملل، جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰ به هشت و نیم میلیارد نفر افزایش یافته و جمعیت مناطق شهری در کشورهای در حال توسعه از ۵۵ درصد به ۶۰ درصد افزایش می‌یابد (United Nations, 2020:111). این در حالی است که به دنبال رشد جمعیت و با افزایش تقاضا برای خدمات اساسی و افزایش تمایل به بهبود زندگی، نیاز به مراقبت از منابع طبیعی موردنیاز برای تحقق این خواسته‌ها ضروری است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۵۷).

بر اساس پیش‌بینی‌های جهانی به دنبال رشد جمعیت تقاضا برای منابع انرژی و آب در دهه‌های آینده در حال افزایش است. به گونه‌ای که برای تأمین نیازهای جوامع، متناسب با این مقدار رشد جمعیت (که عمدتاً در شهرها مستقر هستند)، تقاضا برای آب و انرژی تا سال ۲۰۳۰ به ترتیب ۴۰ و ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (IEA, 2019). بنابراین شهرها یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن بوده (Phdungsilp, 2010: 4808) و افزایش توسعه در جوامع و عدم مدیریت منابع در زمان رشد جمعیت به خصوص در کشورهای در حال توسعه، می‌تواند به برداشت بی‌رویه از منابع منجر شود (صفایی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۷۰۸).

حال سؤالی که مطرح می‌شود این است که، آیا زمین و منابع موجود در آن پاسخگوی این افزایش رشد جمعیت هست؟ یا اینکه چگونه می‌توان با چالش‌های محیط‌زیستی (مانند کمبود منابع، انواع آلودگی‌ها و غیره) مقابله کرد. در ادامه می‌توان گفت اگرچه سیاست‌هایی مانند ارائه آب رایگان و یارانه انرژی برای تأمین افزایش تقاضا در کوتاه‌مدت باعث افزایش تولید می‌شود اما در بلندمدت با کاهش بهره‌وری و تشدید استفاده از منابع موجب تخریب منابع طبیعی شده و امنیت آب و انرژی را به خطر می‌اندازد که در پی آن کمبود منابع می‌تواند بی‌ثباتی اجتماعی و سیاسی، درگیری‌های ژئوپلیتیکی و آسیب‌های محیط‌زیستی جبران‌ناپذیری را به همراه داشته باشد. بنابراین این مشکلات با تحمیل هزینه‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی مانعی در راستای دستیابی به توسعه پایدار است. از این رو تضمین امنیت آب و انرژی بدون تخریب منابع طبیعی یک چالش اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار تلقی می‌شود (Rasul, 2015: 15). در این راستا تمرکز بر روی هر کدام از بخش‌های آب و انرژی بدون در نظر گرفتن اثرات متقابل بین آن‌ها منجر به نتایج اریب‌دار و غیر جامعی می‌شود. لذا مدیریت این منابع با استفاده از یک ابزار یکپارچه ضروری است. پیوند آب و انرژی یک چشم‌انداز کلی از پایداری است که در راستای ایجاد تعادل میان اهداف مختلف، منافع و نیازهای مردم و محیط‌زیست گام برداشته و به‌طور هم‌زمان امنیت آب و انرژی را در نظر می‌گیرد.

در ایران نیز با توجه به تغییرات اقلیمی، امنیت آب و انرژی نگرانی‌های زیادی را به خود اختصاص داده است. به‌گونه‌ای که با توجه به بحران کم‌آبی و مشکلات استفاده از سوخت‌های فسیلی، استفاده از سیاست‌های یکپارچه مدیریتی در جهت بهینه‌سازی و افزایش کارایی این دو منبع ضروری است. در صورتی که اکثر مطالعات انجام‌گرفته در ایران، به ارزیابی جامع از مصارف آب و انرژی پرداخته است و میزان مصرف آب برای تولید انرژی و میزان مصرف انرژی برای تولید آب و روابط بین بخشی آب و انرژی نادیده گرفته شده است، از این رو هدف از پژوهش حاضر برآورد روابط بین بخشی آب و انرژی در دو استان اصفهان و یزد به‌عنوان دو استان مهم اقتصادی و با آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک کشور است. ساختار مقاله حاضر به این صورت است که پس از بیان مقدمه، در قسمت دوم به ادبیات موضوع پژوهش پرداخته شده است. در قسمت سوم مطالعات خارجی و داخلی انجام‌شده در این زمینه معرفی شده و در بخش چهارم پس از معرفی

منطقه مورد مطالعه روش پژوهش تشریح شده است. در بخش پنجم به تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته شده و در نهایت در گام نهایی یک جمع بندی کلی از نتایج ارائه می شود.

## ۲. مبانی نظری

همان گونه که اشاره شد با رشد جمعیت همراه با بهبود وضعیت توسعه در جوامع جهانی، نیاز به منابع حیاتی همچون آب و انرژی رو به افزایش است. از اینرو نیاز به رویکردهایی به منظور بهبود مدیریت و حفظ منابع حائز اهمیت است. با توجه به اهداف سازمان ملل متحد در رویکرد توسعه پایدار، پژوهشگران برای ایجاد تعادل در تولید و مصرف منابع، راه حل های میان رشته ای را ارائه داده اند. بر اساس مطالعات انجام گرفته در زمینه امنیت آب و انرژی از آنجایی که سیستم های آب و انرژی دارای همبستگی نزدیکی هستند برای مقابله با فشارهای انسانی و تغییرات آب و هوایی، راه های بلندمدت برای کمبود آب و تقاضای انرژی باید به صورت مشترک توسعه یابند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳). بنابراین تنها با یک رویکرد جامع، نه تنها امنیت این منابع بلکه اثرات متقابل میان آنها نیز در نظر گرفته می شود. یکی از رویکردهایی که در این راستا مورد توجه جامعه جهانی واقع شده رویکرد پیوند آب و انرژی است (Rasul, 2014: 35). در حقیقت این رویکرد اشاره به ذات به هم پیوسته و اثرات متقابل این منابع برهم دارد.

پیوند آب و انرژی به عنوان یک پیوند امنیتی، تعاملات میان بخش های آب و انرژی را توصیف می کند زیرا همان طور که برای دستیابی به صلح و رفاه اهدافی مانند امنیت آب مهم است به همان اندازه امنیت غذایی و انرژی نیز حائز اهمیت است.

انجمن جهانی اقتصاد (World Economic Forum: WEF) از جمله سازمان هایی است که پیوند آب و انرژی را به عنوان کلید چالش توسعه معرفی کرده و خواستار درک بهتر ارتباط بین آب و انرژی در نشست سالانه ۲۰۰۸ داووس شد (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴). این سازمان امنیت آب در رابطه با سیستم های انرژی، اقلیم، رشد اقتصادی و چالش های امنیتی انسانی را بررسی کرده است. به طور عملی پیوند آب و انرژی را می توان به عنوان رویکردی برای ارزیابی، توسعه و اجرای سیاست هایی که به طور هم زمان بر امنیت آب و انرژی تأکید می کند، تعریف کرد (Bizikova et al, 2014: 4). امنیت آب در اهداف توسعه هزاره، دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بهداشتی تعریف شده که هر کدام از آنها به عنوان

حقوق انسانی شناخته شده‌اند. همچنین امنیت انرژی دسترسی به خدمات تمیز، قابل اعتماد و مقرون به صرفه برای پخت‌وپز و گرمایش، نورپردازی ارتباطات و کاربردهای تولیدی است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۵۷).

پیوند آب و انرژی شامل دو مؤلفه اصلی (آب و انرژی) است. در مفهوم پیوند، تمامی مؤلفه‌ها با یکدیگر ارتباط دارند و بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند به عبارتی تغییر در عرضه و تقاضای هر عنصر بر عناصر دیگر تأثیر گذاشته (Chang et al, 2016: 1) و ارتباط درونی پیچیده‌ای را شکل می‌دهد. به‌عنوان مثال علاوه بر اینکه آب برای تولید انرژی لازم است از انرژی نیز برای تصفیه و توزیع آب استفاده می‌شود. بدین ترتیب صرفه‌جویی در انرژی می‌تواند فشار بر منابع آبی را کاهش دهد، زیرا آب موردنیاز برای تولید انرژی می‌تواند ذخیره یا مجدداً تخصیص داده شود. همچنین افزایش بهره‌وری آب می‌تواند مقدار انرژی مصرف‌شده برای انتقال، استحصال و تصفیه آب را کاهش دهد (IEA, 2019).

با توجه به ارتباط و همبستگی میان انرژی و آب، درک این ارتباطات برای شناسایی اهداف مشترک و مدیریت یکپارچه سیستم شهری لازم است (Chen et al, 2016: 2). زیرا برنامه‌ریزی برای توسعه بدون توجه به ارتباط میان این منابع علاوه بر اینکه نمی‌تواند منجر به توسعه پایدار شود بلکه باعث تشدید بحران در منابع نیز می‌شود (Bizikova et al, 2013: 5). از این‌رو رویکرد پیوند آب و انرژی زمانی بهترین نتیجه را دارد که مدیریت یکپارچه منابع آب و انرژی هر یک به درستی انجام گیرد. به‌عبارتی مدیریت یکپارچه آب و انرژی پیش‌زمینه‌ای برای حصول نتیجه مطلوب از رویکرد پیوند آب و انرژی است (Karlberg et al, 2015: 714). از این‌رو ردیابی جریان دو منبع آب و انرژی و تعیین مقدار وابستگی متقابل آن‌ها برای ایجاد تعادل در چارچوب متابولیسم منطقه‌ای امری اساسی است (Wang & Chen, 2016: 774).

شباهت‌هایی بین ارزیابی مقدار آب لازم برای تأمین انرژی و میزان مصرف انرژی برای استفاده از آب وجود دارد، که یکی از جنبه‌های آشکار آن انعکاس تقاضا و تأثیر انسان در شرایط طبیعی محیط‌زیستی توسط دو منبع آب و انرژی است. مفهوم پیوند می‌تواند به‌عنوان یک استعاره مفید برای بررسی وابستگی متقابل آب و انرژی از نظر مکانیزم‌های به‌هم‌پیوسته و فرآیندهای تعبیه‌شده در زنجیره‌های چند رشته‌ای درهم‌تنیده در مقیاس‌های مختلف معرفی شود (Chen et al, 2016: 906).

در یک جمع‌بندی می‌توان گفت رویکرد پیوندی از مهم‌ترین رهیافت‌های حال حاضر برای دستیابی به تعادل پایدار در تولید و مصرف منابع است. از مزایای این رویکرد می‌توان به بهبود بهره‌وری استفاده از منابع و دوری از اثرات نامطلوب سیاست‌های توسعه‌ای تک‌بخشی اشاره کرد (منعم و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۷۶). پیوند آب و انرژی برای ایجاد امنیت آب و انرژی نیازمند ابزارهای یکپارچه برای تحلیل‌های قابل پیش‌بینی که قادر به شناسایی مبادلات بین بخش‌های مختلف، ایجاد برنامه‌ریزی و مدیریت استراتژی‌ها و سیاست‌های مقرون‌به‌صرفه است، می‌باشد (Zhang & Vesselinov, 2017: 3). یکی از این ابزارها روش داده - ستانده است. جدول داده - ستانده به‌عنوان یکی از ابزارهای قوی به‌منظور انجام تحلیل‌های مختلف اقتصادی این موقعیت را برای سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران ایجاد می‌کند تا ابتدا آثار برنامه‌ها و سیاست‌ها را قبل و بعد از اجرای آن‌ها ارزیابی و ابعاد مختلف آن را بررسی نمایند. در حقیقت این جدول با نمایان کردن روابط میان بخش‌ها، امکان تحلیل روابط بین‌بخشی و اتخاذ راهبردهای توسعه‌ای مناسب را فراهم می‌سازد (بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۵).

### ۳. پیشینه تحقیق

اهمیت توجه به امنیت آب و انرژی در سطح جهان مطالعات گسترده‌ای باهدف ایجاد دید کلی در رابطه با پیوند آب و انرژی در سطح جهان شکل داده که در ادامه به چند مورد از مطالعات انجام‌شده در این زمینه اشاره شده است.

یانگ و چن (Wang & chen, 2016) در پژوهش خود به بررسی رابطه انرژی و آب در سیستم‌های تولید برق بادی پرداخته و انرژی مورد استفاده برای استخراج آب و تصفیه فاضلاب و آب مصرفی برای تولید برق را مورد محاسبه قرار دادند. نتایج حاکی از آن است که مصرف آب در واحد تولید نیروی باد بسیار کمتر از سایر سیستم‌های تولید برق است به طوری که مصرف انرژی سیستم آب در تولید برق بادی معادل ۱۰۷۳۳۹۵ مگابایت است که از این میزان، فرآیند استخراج آب ۹۰/۲۲ درصد را شامل می‌شود. همچنین در این پژوهش به بررسی جریان آب و انرژی و روابط متقابل بین این دو منبع برای تولید نیروی باد پرداخته شده است. در مطالعه دیگری که توسط یانگ و همکاران (Wang et al, 2017) انجام شده است به بررسی چگونگی ایجاد تعادل بین انرژی شهری و مصرف آب در



پایتخت کشور چین (پکن) پرداختند. در این پژوهش، جریان آب ترکیبی به عنوان مجموع جریان مستقیم آب و جریان آب مرتبط با انرژی و جریان انرژی مرتبط با آب که با عنوان شبکه‌های ترکیبی شناخته می‌شوند، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که بخش‌های حمل و نقل، کشاورزی و ساخت و ساز مهم‌ترین بخش‌ها در زمینه تأثیرات پیوند آب و انرژی در شهر پکن بشمار می‌روند.

چن و همکاران (Chen et al, 2018) در مطالعه خود با استفاده از مدل داده - ستانده به بررسی رابطه آب - انرژی و انرژی - آب در منطقه هنگ کنگ کشور چین پرداختند. شاخص‌های بدست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد که آب مورد نیاز برای تأمین انرژی و انرژی مورد استفاده برای تأمین آب تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۹-۷/۸ درصد افزایش می‌یابد. همچنین ژیانو و همکاران (Xiao et al, 2019) در مقاله خود با استفاده از مدل داده - ستانده به بررسی پیوند آب - غذا، غذا - انرژی و انرژی - آب در کشور چین پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که کشاورزی و دامداری بیشترین استفاده از منابع را در زنجیره تأمین دارد. به طوری که بخش‌های کشاورزی، سایر بخش‌های غذایی و دامداری بیش‌ترین انرژی اولیه را مصرف می‌کنند. در همین حال نتایج حاصل از مدل برآوردی، حاکی از آن است که واردات و صادرات از گزینه‌های تأثیرگذار بر جریان منابع است. لئو و چن (Liu & Chen, 2020) با استفاده از مدل داده - ستانده چند منطقه‌ای به بررسی ریسک پیوند آب و انرژی در سیستم تجارت ملی می‌پردازند. آن‌ها بیان می‌کنند خطرات ناشی از کمبود منابع آب و انرژی را می‌توان از طریق فعالیت تجاری مدیریت کرد. در پژوهشی دیگر که توسط لی و همکاران (Lee et al, 2021) انجام شده است به بررسی ارتباط آب، انرژی و غذا در صنعت گردشگری چین طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۲ پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که در مجموع ۱۵۵۵۶ میلیون مترمکعب آب و ۴۹۶۴ میلیون تن انرژی برای حمایت از صنعت گردشگری چین مصرف شده است.

از جمله مطالعات صورت گرفته در داخل کشور می‌توان به مطالعه گودرزی و همکاران (۱۳۹۷) اشاره کرد که به بررسی بهره‌وری منابع آب موجود با استفاده از رویکرد آب، غذا و انرژی با توجه به تغییرات آبی در شهر بروجرد می‌پردازند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد بعد از بازچرخانی دوباره آب می‌توان حدود ۶۰ درصد از تقاضای فعلی شهر بروجرد را تأمین کرد که می‌توان از این منبع برای کشاورزی شهری، آبیاری درختان و

فضای سبز و از فاضلاب برای تولید انرژی الکتریکی استفاده کرد. در پژوهش دیگر صفایی و همکاران (۱۳۹۹) در دو سناریو با در نظر گرفتن رویکرد هم‌بست و بدون در نظر گرفتن رویکرد هم‌بست به بررسی وضعیت منابع آب و انرژی و مصارف آن‌ها می‌پردازند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده آن است که با در نظر گرفتن رویکرد هم‌بست وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی در سال ۱۴۱۴ به پایان می‌رسد در صورتی که بدون در نظر گرفتن این هم‌بست این شرایط در سال ۱۴۱۷ رخ خواهد داد. در مطالعات دیگری که توسط قربانی و همکاران (۱۳۹۹)، منعم و همکاران (۱۳۹۹) و اسلامی و همکاران (۱۳۹۹) انجام گرفته است به ارزیابی پیوند آب، انرژی و غذا در جهت مدیریت منابع آب شبکه‌های آبیاری پرداخته شده است.

همان‌طور که در مطالب قبلی به آن اشاره شد با توجه به محدودیت‌های موجود در استفاده از منابع آب و انرژی در ایران، اهمیت بررسی رویکرد آب و انرژی ضروری است. شواهد و منابع موجود حاکی از آن است که مطالعات بسیار محدودی در رابطه با پیوند آب و انرژی در ایران صورت گرفته است. این مطالعات عمدتاً به معرفی پیوند و پتانسیل پیاده‌سازی این مفهوم اشاره دارد. اما آنچه حائز اهمیت است پیاده‌سازی این مفهوم به صورت کاربردی می‌باشد.

در ایران پژوهش‌هایی در این راستا انجام شده است که به مدیریت منابع آب با استفاده از این پیوند پرداخته شده است، اما میزان انرژی مورد استفاده برای آب و یا بالعکس، روابط بین بخشی این منابع و کل جریان مصرفی مستقیم و غیرمستقیم نادیده گرفته شده است که به عنوان یک ضعف قلمداد می‌شود. از این رو نوآوری پژوهش حاضر این است که به بررسی رابطه (پیوند) کمی میان دو منبع آب و انرژی در بخش‌های اقتصادی دو منطقه اصفهان و یزد به عنوان دو استان بسیار مهم در کشور از نظر جایگاه اقتصادی و با استفاده از روش داده‌ستانده دو منطقه‌ای پردازد. که این امر با شناسایی وضعیت مصرف (مستقیم و غیرمستقیم) آب و انرژی و روابط بین بخشی میان آن‌ها و محاسبه کل جریان مصرفی آب و انرژی، منجر به شناسایی پتانسیل‌ها و جایگاه هر بخش می‌شود که می‌تواند گامی در راستای ارائه راهکارها و سیاست‌گذاری‌های مناسب باشد.

## ۴. مواد و روش‌ها

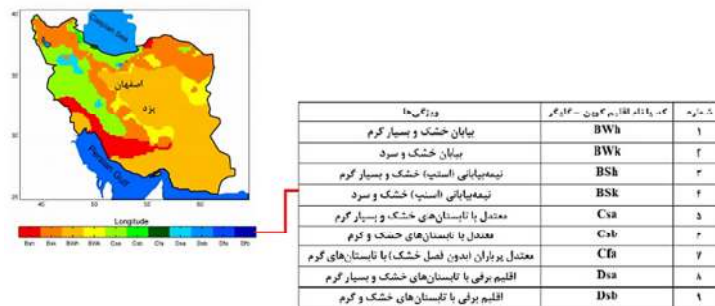
### ۱.۴ منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در دو منطقه اصفهان و یزد، انجام گرفته است. استان اصفهان با مساحتی حدود ۱۰۶۷۸۶ کیلومترمربع، ۶/۴ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است و از نظر وسعت سومین استان کشور محسوب می‌شود. جمعیت این استان در سال ۱۳۹۸ بالغ بر ۵۱۲۰۸۵۰ میلیون نفر برآورد شده که سهمی نزدیک به ۶/۵ درصد از جمعیت کل کشور را شامل می‌شود و سومین استان پرجمعیت ایران شناخته شده است.

با توجه به اینکه یکی از مؤلفه‌های اقتصادی جهت مقایسه اقتصاد مناطق و استان‌های یک کشور، تولید ناخالص داخلی است، آمار موجود در سال‌های ۱۳۹۸ مبین این است که استان اصفهان پس از استان تهران و خوزستان رتبه سوم کشوری و در صورت در نظر گرفتن نفت، رتبه دوم کشوری را به خود اختصاص داده است. ارزش تولید ناخالص داخلی در این استان ۵/۴۲ درصد مقدار کل کشور است و این مقدار بدون نفت به ۸/۳ درصد افزایش می‌یابد (سالنامه آماری کشور، ۱۳۹۸). با توجه به گزارش‌های اداره کل هواشناسی، این استان با قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک مرکزی کشور و با توجه به اینکه ۳۰ درصد از مساحت استان را بیابان تشکیل داده (رتبه پنجم کشوری) از جمله استان‌های کم آب ایران و همواره تحت تأثیر پدیده خشک‌سالی بوده است به گونه‌ای که وجود رشته‌کوه‌های زاگرس در غرب استان مانع نفوذ رطوبت به نواحی مرکزی و شرق می‌شود (شکل ۱). همچنین مجموع مصرف شش حامل انرژی شامل (گازوئیل، گاز طبیعی، بنزین، نفت سفید، گاز مایع، نفت کوره و نفت سیاه) استان اصفهان در سال ۱۳۹۶، معادل ۷۹۳۱ میلیون لیتر بوده است. این میزان مصرف ۱۰/۲ درصد مصرف کل کشور را شامل می‌شود و استان را در رتبه دوم قرار داده است (آمارنامه انرژی وزارت نفت، ۱۳۹۶).

منطقه مورد مطالعه دیگر در پژوهش حاضر استان یزد است. این استان با مساحتی حدود ۷۳۴۷۷ کیلومترمربع به‌عنوان هشتمین استان وسیع کشور شناخته شده است. جمعیت این استان حدود ۱۱۳۸۵۳۳ نفر برآورد شده که ۱/۴ درصد از کل جمعیت کشور را شامل می‌شود و از این لحاظ در بین سایر استان‌های کشور در رده ۲۴ قرار دارد. تولید ناخالص داخلی این استان نیز حدود ۱/۶ درصد کل محصول ناخالص داخلی و حدود ۲ درصد تولید ناخالص داخلی بدون نفت کشور را تشکیل می‌دهد (سالنامه آماری

کشور، ۱۳۹۸). این استان از سمت غرب و شمال غرب در همسایگی استان اصفهان است و در دشت کویر واقع در مرکزی‌ترین و خشک‌ترین منطقه کشور قرار دارد (شکل ۱). به طوری که به عنوان یکی از کم‌بارش‌ترین و کم‌آب‌ترین استان‌های کشور، بیش از یک دهه خشک‌سالی مخرب را تجربه کرده است اما هرچند طی دو سال اخیر با بهبود وضعیت بارش‌ها مواجه شده است ولی همچنان با بحران کم‌آبی دست‌وپنجه نرم می‌کند. هم‌چنین مجموع مصرف شش فراورده انرژی استان یزد در سال ۱۳۹۶، معادل ۲۲۱۷ میلیون لیتر بوده که این میزان مصرف ۲/۹ درصد مصرف کل کشور را شامل می‌شود و استان را در رتبه ۱۵ قرار داده است (آمارنامه انرژی وزارت نفت، ۱۳۹۶).



شکل ۱. اقلیم دو منطقه یزد و اصفهان به روش کوپن-گایگر (Köppen-Geiger)  
منبع: طیب رضینی، ۱۳۹۵

## ۲.۴ پایه‌های آماری

همان‌طور که در بخش‌های پیشین اشاره شد در این مقاله از چارچوب الگوی داده - ستانده دو منطقه‌ای به منظور تجزیه و تحلیل روابط (پیوند) منابع محیط‌زیستی در بخش‌های اقتصادی استفاده شده است. بر این اساس جدول داده - ستانده مورد استفاده جدول ارزشی مربوط به سال ۱۳۹۰ است و میزان مصرف آب و انرژی بخش‌های مختلف در این جدول به صورت برداری برون‌زاست که مقادیر آن برای هر بخش بر حسب میلیون بی تی یو و میلیون مترمکعب بیان شده است. در ابتدا جدول ارزشی داده - ستانده منطقه‌ای سال ۱۳۹۰ استان اصفهان و یزد با به‌کارگیری روش سهم مکانی خاص فلگ (Industry-Specific

سنجش روابط بین بخشی آب و انرژی ... (فرناز دهقان بنادکوکي و ديگران) ۱۰۵

FLQ: SFLQ) از جدول داده - ستانده به روز شده سال ۱۳۹۰ و حساب های منطقه ای همان سال استخراج و متناسب با ساختار توليدات و داده های مصرف آب و انرژی استان اصفهان و یزد در ۲۰ بخش تجميع شده است (جدول ۱)

جدول ۱. عناوين بخش های اقتصادی دو منطقه اصفهان و یزد

شماره بخش	نام بخش	شماره بخش	نام بخش
۱	کشاورزی	۱۱	ساخت فلزات اساسی
۲	نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن	۱۲	ساخت محصولات فلزی فابریکی به جز ماشین آلات و تجهیزات
۳	ساخت محصولات غذایی و آشامیدنی و تنباکو	۱۳	ساخت ماشین آلات و تجهیزات طبقه بندی نشده در جای دیگر
۴	ساخت منسوجات	۱۴	ساخت، تعمیر و نصب محصولات یارانه ای، الکترونیکی و نوری، ساخت، تعمیر و نصب تجهیزات برقی
۵	ساخت پوشاک، عمل آوری و رنگ کردن خز، دباغی و پرداخت چرم و سایر محصولات چرمی	۱۵	ساخت وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل
۶	ساخت چوب و محصولات چوبی	۱۶	ساخت مبلمان و مصنوعات طبقه بندی نشده در جای دیگر
۷	ساخت کاغذ، محصولات کاغذی و چاپ	۱۷	آب و برق و گاز
۸	ساخت کک، فرآورده های حاصل از تصفیه نفت و سوخت های هسته ای و ساخت مواد و محصولات شیمیایی	۱۸	ساختمان
۹	ساخت محصولات از لاستیک و پلاستیک	۱۹	حمل و نقل
۱۰	ساخت محصولات کانی غیرفلزی	۲۰	سایر خدمات

روش SFLQ برتری قاطعی در تخمین ضرایب منطقه ای نسبت به سایر روش های سهم مکانی دارد، مزیت این روش این است که ضرایب ملی در بخش های مختلف اقتصادی به نسبت های متفاوتی تعدیل می شوند. همچنین در این روش تا حد زیادی مشکل تخمین بیش از حد ضرایب منطقه ای برطرف شده و بر اساس همه معیارهای ارزیابی در روش، ستانده استانی با خطای کمتری برآورد می شود (Kowalewski, 2015: 245). رابطه (۱) نقطه شروع روش سهم مکانی در شرایط فقدان آمار و اطلاعات مورد نیاز است:

$$r_{ij} = (LQ)^* a_{ij} \quad (1)$$

$r_{ij}$  عنصری از ماتریس ضرایب واسطه‌ای درون منطقه،  $a_{ij}$  عنصری از ماتریس ضرایب ملی و  $LQ$  ضریب الگوی سهم مکانی را نشان می‌دهد. در این مقاله با توجه به استفاده از روش SFLQ می‌توان نوشت:

$$SFLQ_{ij} = \begin{cases} CILQ_{ij} \times \lambda_j & \text{for } i \neq j \\ SLQ_{ij} \times \lambda_j & \text{for } i = j \end{cases} \quad (2)$$

$$\lambda = \left[ \log_2 \left( 1 + \frac{X^r}{X^n} \right) \right]^\delta \quad 0 \leq \delta < 1 \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (3)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} (SFLQ_{ij} a_{ij}) & \text{if } SFLQ_{ij} \leq 1 \\ a_{ij} & \text{if } SFLQ_{ij} > 1 \end{cases} \quad (4)$$

که در آن  $CILQ_{ij}$  و  $SLQ_{ij}$  به ترتیب سهم مکانی متقاطع صنعتی و سهم مکانی ساده بخش عرضه‌کننده و تقاضاکننده هستند.  $\lambda$  ضریب تعدیل منطقه و  $\delta$  ضریب تعدیل ساختار اقتصادی منطقه است. مقادیر  $\delta$  برای بخش‌های مختلف در روش SFLQ متفاوت است و میزان آن برحسب حداقل کردن ستانده واقعی هر منطقه با ستانده تخمینی حاصل می‌شود. در این روش، مقدار کوچکتر  $\delta$  به معنی  $\lambda$  بزرگ‌تر و تعدیل کمتر ضرایب ملی است. سپس بر مبنای جدول داده - ستانده استان اصفهان و یزد می‌توان به محاسبه شدت (تأثیر) روابط منابع آب و انرژی در هر بخش اقتصادی دو منطقه پرداخت.

آمارهای مربوط به مصرف شش حامل انرژی، «گازوئیل»، «گاز طبیعی»، «بنزین»، «نفت سفید»، «گاز مایع» و «نفت کوره و نفت سیاه» بخش‌های مختلف اقتصادی سطح ملی به صورت مقداری از ترازنامه هیدروکربنی سال ۱۳۹۰ استخراج شده است و بر اساس سرفصل‌های ترازنامه در ۸ سرفصل آورده شده است که شامل: تجاری، خدماتی و عمومی، صنعت، حمل و نقل، کشاورزی، نیروگاه، پتروشیمی، پالایشگاه و سایر معادن است. هم‌چنین آمارهای مربوط به دو منبع آب‌های سطحی و زیرزمینی از پایگاه‌های شرکت مدیریت منابع آب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب ایران، سازمان جهاد کشاورزی و نتایج آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری مرکز آمار ایران استخراج شده است. حال برای محاسبه میزان

انرژی و آب مصرفی بخش‌های اقتصادی استان اصفهان و یزد ابتدا از ضرایب انرژی و آب بخش ملی که مطابق رابطه (۵) محاسبه می‌شود، استفاده شده است:

$$\tau_{ij}^{e-w} = \frac{\omega_{ij}^{e-w}}{X_i^{e-w}} \quad (5)$$

$\tau_{ij}^{e-w}$  ضریب انرژی و آب بخش‌های اقتصادی در سطح ملی،  $\omega_{ij}^{e-w}$  مقدار انرژی و آب مصرفی توسط هر بخش ملی و  $X_i^{e-w}$  ستانده هر بخش در سطح ملی است. سپس با استفاده از ستانده بخش‌های مختلف استان اصفهان و یزد که از حساب‌های فرا منطقه‌ای مرکز آمار استخراج شده و با پیش‌ضرب ستانده استانی هر بخش در ضرایب مصرف ملی، میزان مصرف آب و انرژی هر بخش در سطح هر دو استان محاسبه می‌شود. نکته‌ای که در این مرحله باید مورد توجه قرار گیرد، مسئله یکسان‌سازی واحدها است. پس از جمع‌آوری داده‌ها و به علت متفاوت بودن واحد هر حامل انرژی، به یکسان‌سازی هر واحد به بی‌تی‌یو پرداخته می‌شود. در این مرحله با ضرب انرژی مصرفی هر بخش در مقادیر جدول (۲) می‌توان میزان انرژی مصرفی هر بخش را برحسب بی‌تی‌یو به دست آورد.

جدول ۲. ضرایب تبدیل انواع حامل‌های انرژی به واحد بی‌تی‌یو  
منبع: معاونت امور برق و انرژی - دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی

گازوئیل	گاز طبیعی	بنزین	نفت سفید	گاز مایع	نفت کوره و نفت سیاه
۳۵/۸۲	۴۰/۹۳	۳۱/۸۹	۳۴/۱۱	۴۲/۶۹	۴۰/۹۳

### ۳.۴ روش‌شناسی روابط (پیوند) آب و انرژی با استفاده از مدل داده - ستانده دو منطقه‌ای

مطالعات منطقه‌ای حاکی از آن است که هر منطقه نقش اکولوژیکی متفاوتی در مصرف آب و انرژی منطقه‌ای ایفا می‌کند اما در حال حاضر محدودیت‌هایی مانند، آلودگی محیط‌زیست و توسعه نامتوازن به‌طور جدی مانع ادغام و همکاری در برخی از مناطق شده است (Li et al, 2014: 430). در این راستا در پژوهش حاضر تلاش بر این است تا چگونگی جریان دو منبع آب و انرژی در بین بخش‌های اقتصادی دو منطقه اصفهان و یزد تبیین شود.

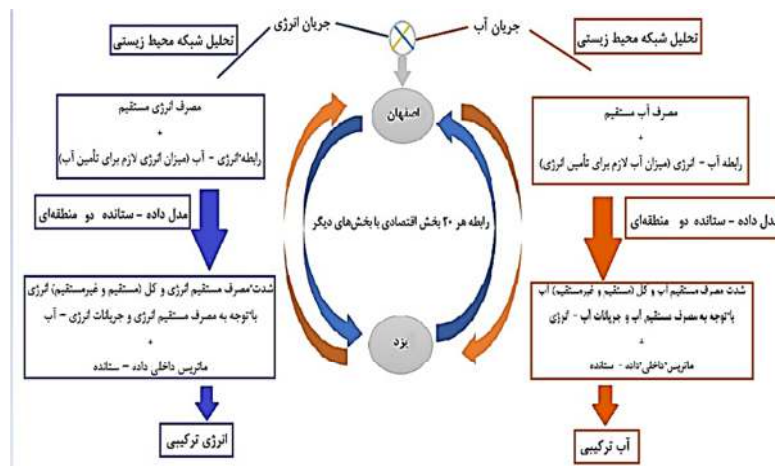
برای انعکاس سیستم‌های جریان آب و انرژی هر منطقه یک چارچوب حسابداری مناسب که شامل فرآیندهای عرضه و تقاضا می‌باشد، لازم است. ردیابی آب و انرژی اختصاص داده شده توسط یک سیستم منطقه‌ای از دیدگاه تولید و مصرف اغلب بر اساس تجزیه و تحلیل جریان مواد (MFA: material flow analysis) و تجزیه و تحلیل داده - ستانده (Input - output analysis) عرضه می‌شود (Kennedy et al, 2011: 2400)

الگوی داده - ستانده یک روش حسابداری کارا است که برای تخمین روابط فیزیکی مبتنی بر جریان‌های پولی اتخاذ شده است (Liu et al, 2017: 3110). این الگو توسط لئونتیف (Leontief) ارائه و برای تحلیل فعالیت‌ها و ارتباطات محیط‌زیستی از جمله تحلیل جریان مستقیم و غیرمستقیم آب و انرژی میان بخش‌های مختلف اقتصاد، جریان‌ات‌انتشارات محیطی و فعل و انفعالات ناشی از آن‌ها در میان بخش‌های اقتصاد ایجاد شده است (Li et al, 2016: 1604; Zhang et al, 2015: 250). رویکرد بالا به پایین<sup>۱</sup> (ملی به منطقه‌ای) از جمله رویکردهای منطقه‌ای جدول داده - ستانده است که به بررسی جریان‌های فیزیکی آب و انرژی پرداخته و سیاست‌گذاران را قادر می‌سازد تا علاوه بر شناسایی بخش‌های کلیدی مناطق از نظر تولید و اشتغال، تحلیل پیوندهای بخشی مناطق و جریان مبادلات تجاری هر منطقه، الگوی تجارت بین مناطق را نیز شناسایی و طراحی نمایند. همچنین علاوه بر این می‌تواند ضعف‌های آماری موجود در سطح منطقه را به‌طور شفاف نشان داده و همچنین ممکن است جزئیات بیشتری را در سطح منطقه شرح دهد (Jiang et al, 2016: 136).

آنچه در روابط (پیوند) منابع محیط‌زیستی به آن پرداخته می‌شود پی بردن به مصارف مستقیم آب و انرژی، روابط انرژی و آب بین هر بخش اقتصادی (در این پژوهش ۲۰ بخش اقتصادی مورد بررسی است) از طریق تحلیل شبکه‌های محیط‌زیستی و سرانجام ردیابی شدت انرژی و آب مصرف شده و جریان‌های بین‌بخشی ناشی از برهم‌کنش‌ها و اختلافات بخشی در سیستم پیوند آب و انرژی با استفاده از مدل داده - ستانده دو منطقه‌ای است که بیانگر جریان‌ات انرژی ترکیبی (Hybrid Energy) و آب ترکیبی (Hybrid Water) می‌باشد (شکل ۲). همچنین شکل (۲) بیانگر آن است که، هر بخش اقتصادی در هر منطقه علاوه بر اینکه با یکدیگر ارتباط مستقیم و غیرمستقیم از جهت تبادل دو منبع انرژی و آب دارند، دو منطقه اصفهان و یزد هم با یکدیگر ارتباط تجاری دارند. در



ادامه فرایند محاسبه روابط دو منبع انرژی و آب در قالب یک اقتصاد دو منطقه‌ای ۲۰ بخشی تشریح خواهد شد.



شکل ۲. مدل MRNN (Multiregional nexus network) برای منطقه‌های اصفهان و یزد  
منبع: (Wang and Chen, 2016)

### ۱.۳.۴ محاسبه جریان‌های انرژی و آب

اساس مدل‌سازی پیوندها، محاسبه شدت (تأثیر) مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی و آب در هر منطقه و برهم‌کنش‌های ناشی از هر منبع است. انرژی مستقیم شامل مجموع انرژی‌های مصرفی (گازوئیل، گاز طبیعی، بنزین، نفت سفید، گاز مایع، نفت کوره و نفت سیاه) و آب مستقیم شامل مجموع آب‌های مصرفی (آب سطحی و آب زیرزمینی) توسط هر بخش در دو منطقه اصفهان و یزد است. بنابراین در ابتدا و بر اساس روابط (۶) و (۷) به محاسبه میزان مصرف مستقیم انرژی و آب ( $f_i^{wat}$  و  $f_i^{ene}$ ) در هر منطقه پرداخته می‌شود (Kenway et al, 2015: 275):

$$f_i^{ene} = \sum_{m=1} e_i^m \quad (6)$$

$$f_i^{wat} = \sum_{m=1} w_i^m \quad (7)$$

که در آن میزان مصرف شش حامل انرژی و  $w_i^m$  میزان مصرف آب سطحی و زیرزمینی توسط هر بخش اقتصادی در دو منطقه مورد بررسی است. با اقتباس از مطالعات قبلی، میزان مصرف آب مربوط به انرژی ( $f_i^{wat-ene}$ ) و مصرف انرژی مورد نیاز آب ( $f_i^{ene-wat}$ ) برای تمام بخش‌های اقتصادی دو منطقه را می‌توان محاسبه نمود (Jiang et al, 2016: 136)

رابطه آب - انرژی معادل مقدار مصرف مستقیم آب برای هر نوع حامل انرژی در شدت انرژی است. شدت انرژی شاخصی برای تعیین کارایی انرژی در سطح اقتصاد ملی هر کشور هست که از تقسیم مصرف نهایی انرژی (و یا عرضه انرژی اولیه) بر تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌شود و نشان می‌دهد که برای تولید مقدار معینی از کالاها و خدمات (برحسب واحد پولی) چه مقدار انرژی به کاررفته است (رابطه ۸):

$$f_i^{wat-ene} = \sum_{m=1} w_i^m \times \bar{e}^m \quad (8)$$

$\bar{e}^m$  معادل شدت شش حامل انرژی در هر بخش اقتصادی است. به‌طور مشابه، رابطه انرژی - آب بر اساس مقدار مصرف مستقیم انرژی برای دو منبع آب سطحی و زیرزمینی در شدت آب است.

$$f_i^{ene-wat} = \sum_{m=1} e_i^m \times \bar{w}^m \quad (9)$$

رابطه (۹)،  $\bar{w}^m$  معادل شدت دو منبع آب (سطحی و زیرزمینی) در هر بخش اقتصادی است.

محاسبات ارائه شده در رابطه با مصرف آب مورد نیاز انرژی (آب - انرژی) و انرژی مورد نیاز آب (انرژی - آب)، امکان ارزیابی واحدی از رابطه انرژی و آب را فراهم می‌کند از این رو و با توجه به روابط (۱۰) و (۱۱)، اصطلاح "انرژی ترکیبی (هیبریدی)"، با ترکیب مصرف مستقیم انرژی و آب مورد نیاز برای زیرساخت‌های انرژی ارائه شده است. به‌طورجدی اصطلاح "آب ترکیبی"، از حاصل جمع مصرف مستقیم آب و انرژی مورد نیاز برای تأمین آب محاسبه می‌شود (Liu et al, 2017: 3111).

$$f_i^{h-ene} = f_i^{ene} + f_i^{wat-ene} \quad (10)$$

سنجش روابط بین بخشی آب و انرژی ... (فرناز دهقان بنادکوکي و ديگران) ۱۱۱

$$f_i^{h-wat} = f_i^{wat} + f_i^{ene-wat} \quad (11)$$

#### ۲.۳.۴ تجزیه و تحلیل جریان‌های مستقیم و غیرمستقیم انرژی و آب براساس الگوی داده - ستانده دو منطقه‌ای

رابطه بین انرژی و آب از طریق جریان‌های مستقیم و غیرمستقیم در شبکه‌های اقتصادی در هم تنیده شده است. مسیر مستقیم بیانگر میزان تقاضای مستقیم به کاررفته برای تولید ستانده ناخالص است و مسیر غیرمستقیم نشان‌دهنده میزان تقاضای نهاده استفاده‌شده در تولید کالاها و خدمات واسطه‌ای است (Park, 1982: 106). حال تجزیه و تحلیل انرژی و آب مصرفی از طریق الگوی داده - ستانده دو منطقه‌ای تمام این مسیرها را که توسط بخش‌های اقتصادی به هم مرتبط شده است در نظر می‌گیرد به طوری که بیانگر تأثیر پیوند در اکوسیستم‌های منطقه‌ای از دیدگاه مصرف و ارزیابی رابطه انرژی و آب با استانداردسازی واحد است (Liu et al, 2017: 3111). برای نشان دادن تأثیر پیوند بین انرژی و آب لازم است شدت روابط آب و انرژی به صورت مستقیم و غیرمستقیم طبق روابط (۱۲) و (۱۳) محاسبه شود.

$$\theta_e = \frac{f_{e,i}}{x_{e,i}} \quad (12)$$

$$\theta_w = \frac{f_{w,i}}{x_{w,i}} \quad (13)$$

در رابطه (۷)،  $\theta_e$  نشان‌دهنده تأثیر (شدت) پیوند انرژی به صورت مستقیم است و دو پارامتر  $f_{e,i}$  و  $x_{e,i}$  به ترتیب بیانگر انرژی ترکیبی (هیبریدی) مصرف‌شده و شدت انرژی در هر بخش اقتصادی است. تفاسیر ذکر شده با پارامترهای موجود در رابطه (۸) که مرتبط با منابع آب است، انطباق دارد.

سپس، بر اساس ماتریس معکوس لئونتیف و ماتریس صادرات و واردات انرژی و آب در دو منطقه، مصرف مستقیم و غیرمستقیم دو منبع انرژی و آب که از طریق تقاضای نهایی در هر بخش اقتصادی در منطقه ایجاد شده است، طبق روابط (۱۴) و (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$\theta_e' = \theta_e^{diag} (I - A)^{-1} f^{Ee/le} \quad (14)$$

$$\theta_w' = \theta_w^{diag} (I - A)^{-1} f^{Ew/Iw} \quad (15)$$

$\theta_e'$  و  $\theta_w'$  به ترتیب بیانگر کل شدت پیوند انرژی و آب (مستقیم و غیرمستقیم) هستند. همچنین پارامترهای  $\theta_e^{diag}$  و  $\theta_w^{diag}$  نشان‌دهنده ماتریس‌های قطری از شدت پیوندهای مستقیم انرژی و آب هستند. عبارت  $(I - A)^{-1}$  در هر دو رابطه بیانگر ماتریس معکوس لئونتیف است که تغییرات در تقاضای نهایی که منجر به تغییر تولید می‌شود را نشان می‌دهد. همچنین ماتریس A در این عبارت بیانگر ماتریس مستقیم داخلی هر منطقه است که توسط الگوی داده - ستانده دو منطقه‌ای محاسبه شده است. و دو پارامتر  $f^{Ee/Ie}$  شامل ماتریس صادرات و واردات انرژی و  $f^{Ew/Iw}$  شامل ماتریس صادرات و واردات آب است.

## ۵. تجزیه و تحلیل نتایج

همان‌طور که در مطالب قبلی به آن اشاره شد ردیابی جریان دو منبع آب و انرژی و تعیین مقدار وابستگی متقابل آن‌ها برای ایجاد تعادل در چارچوب متابولیسم منطقه‌ای امری اساسی است. برای رسیدن به این هدف در پژوهش حاضر از رویکرد پیوند آب و انرژی استفاده شده است. آنچه در پیوند به آن پرداخته می‌شود پی بردن به مصارف مستقیم آب و انرژی و روابط آب و انرژی و در نهایت بررسی جریان‌ات انرژی هیبریدی و آب هیبریدی در هر منطقه است. در ادامه به ارائه و بررسی نتایج حاصل از این پژوهش پرداخته شده است.

### ۱.۵ تحلیل روابط بین‌بخشی آب و انرژی مصرفی

در گام اول مقدار انرژی و آب مصرف‌شده در دو منطقه مورد مطالعه، در قالب نمودار (۱) و (۲) به تصویر کشیده شده است. از دیدگاه مبتنی بر مصرف، کل مصرف مستقیم انرژی در ایران در سال ۱۳۹۰ برابر با  $8981867146/53$  بی‌تی‌یو است. در حالی که استان اصفهان با  $731634168$  میلیون بی‌تی‌یو سهم  $8/1$  درصد از میزان کل انرژی مصرفی ملی را به خود اختصاص داده است و از میان بخش‌های اقتصادی استان اصفهان، بخش‌های «آب و برق و گاز» و «سایر خدمات» به ترتیب با سهم نزدیک به ۲۰ درصد بزرگ‌ترین مصرف‌کننده

انرژی و بخش «ساخت پوشاک، عمل آوری و رنگ کردن خز، دباغی و پرداخت چرم و سایر محصولات چرمی» با سهم ناچیز کوچکترین مصرف‌کننده انرژی هستند.

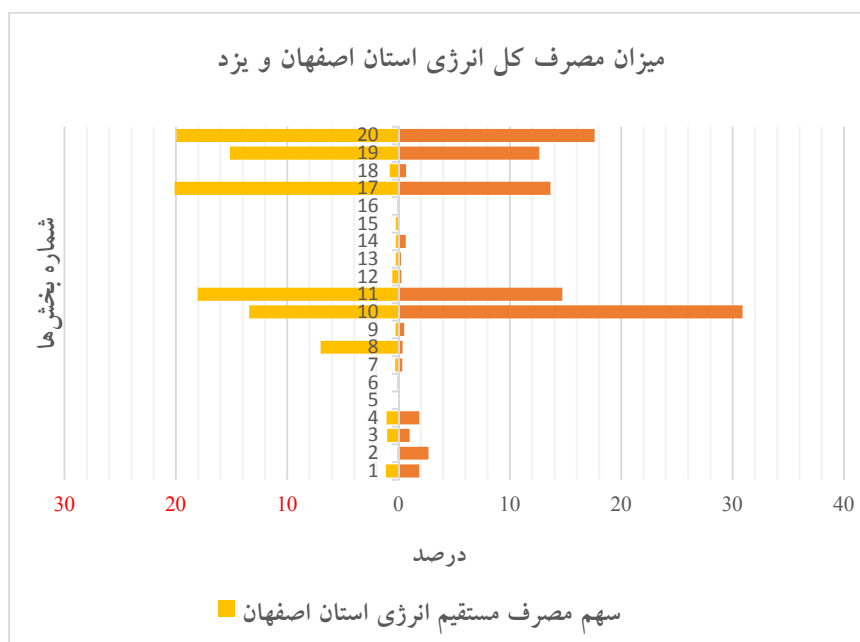
کل آب مصرفی در بخش‌های اقتصادی ایران در سال ۱۳۹۰ معادل، ۸۷۶۶۷ میلیون مترمکعب است، که سهم کل آب مصرفی در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان ۷/۹ درصد از کل مصرف ملی را شامل می‌شود. و بخش «کشاورزی» با سهم ۹۱/۷ درصد، جایگاه نخست مصرف آب و بخش «ساخت چوب و محصولات چوبی» با سهم بسیار کوچک آخرین جایگاه در مصرف آب در استان اصفهان به خود اختصاص داده‌اند.

از آنجایی که پژوهش حاضر یک مطالعه دو منطقه‌ای شامل دو استان اصفهان و یزد است. در ادامه به بررسی نتایج مربوط به استان یزد پرداخته شده است. بدین ترتیب براساس نتایج، کل انرژی مصرفی استان یزد برابر با ۱۹۶۴۲۷۵۸۰/۰۵ میلیون بی‌تی‌یو است که ۲/۱ درصد از مصرف کل کشور را به خود اختصاص داده است. بخش «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» با سهم ۳۰/۸ درصد بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در بخش‌های اقتصادی این استان بشمار می‌رود و کوچک‌ترین مصرف‌کننده مربوط به بخش «ساخت وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل» با سهم ۰/۱۳ درصدی است.

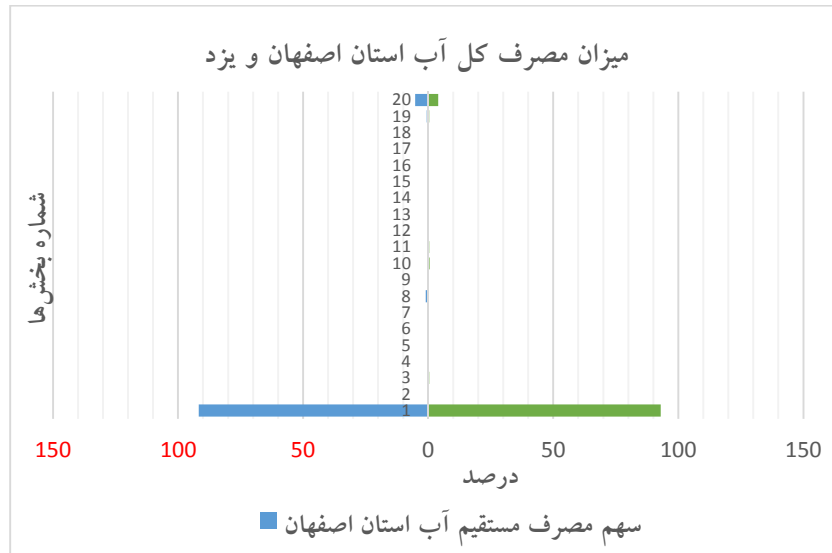
کل آب مصرف‌شده برای تولیدات استان یزد برابر با ۱۸۷۱۹۳ میلیون مترمکعب با سهم ۲/۱ درصدی از کل کشور است. در استان یزد نیز بخش «کشاورزی» با ۹۲/۸ درصد بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب و بخش «ساخت وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل» با سهم ۰/۰۲۱ کوچک‌ترین مصرف‌کننده آب استان بشمار می‌روند. همان‌گونه که از نتایج نمودار (۲) قابل مشاهده است در دو استان مورد بررسی بخش «کشاورزی» با اختلاف بسیار زیادی نسبت به سایر بخش‌ها بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است. که با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک این دو استان و اهمیت منابع آبی ناشی از کمبود و بحران آب این مسئله بسیار حائز اهمیت است. زیرا مدیریت نادرست منابع آبی علاوه بر مشکل کم‌آبی در منطقه، منجر به ایجاد ناامنی غذایی نیز خواهد شد. از این‌رو افزایش بهره‌وری و ارتقای فناوری تولید در این بخش امری ضروری و مهم تلقی می‌شود. زیرا این امر علاوه بر اینکه به صورت مستقیم منجر به کاهش هدر رفت آب در بخش

«کشاورزی» می‌شود، به صورت غیرمستقیم نیز در کاهش مصرف آب در تولیدات صنایع وابسته به کشاورزی نمود پیدا می‌کند.

در مورد مصرف انرژی، همان‌طور که می‌دانیم این دو استان، جزء استان‌های پیشرو در زمینه صنعت هستند. از اینرو می‌توان گفت از آنجایی که برای تولید صنایع نیاز به آب، برق و گاز بیشتری است برای تأمین این سه منبع، انرژی بیشتری مورد نیاز است. و در بخش سایر خدمات نیز می‌توان گفت در این سال‌ها در کشور به علت توسعه و گسترش گازرسانی در کشور، سهم بخش‌های خدمات، تجاری، عمومی و خانگی در مصرف انرژی افزایش یافته است. اما مقایسه ارزش افزوده و ضریب مکانی فعالیت در بخش «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» استان یزد که بیانگر اهمیت نسبی یک فعالیت در منطقه نسبت به اهمیت نسبی همان فعالیت در اقتصاد ملی است، نشان‌دهنده رشد این ضریب‌ها در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۸۹ است. افزایش مزیت نسبی در این فعالیت گسترده واحدهای تولید کاشی و سرامیک و کوره‌های آجرپزی و غیره در استان می‌باشد.



نمودار ۱. حجم کل انرژی مستقیم مصرف شده در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان و یزد  
منبع: یافته‌های محقق



نمودار ۲. حجم کل آب مستقیم مصرف‌شده در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان و یزد  
منبع: یافته‌های محقق

در ادامه نتایج به تجزیه و تحلیل رابطه انرژی - آب و آب - انرژی اصفهان و یزد پرداخته شده است. نتایج حاصل از محاسبات استان اصفهان که در نمودار (۳) به تصویر کشیده شده، نشان‌دهنده این است که آب مصرف‌شده برای تولید انرژی در کالاهای مصرفی استان اصفهان برابر با ۵۰۱۰/۴ میلیون مترمکعب است. علاوه بر این انرژی مصرف‌شده برای تولید آب در کالاهای مصرفی این استان معادل ۵۳۲۷۱۴۱۱۲ میلیون بی‌تی‌یو است. بخش «سایر خدمات» به ترتیب با سهم ۵۵/۳ درصدی و ۶۵/۲ درصدی جایگاه نخست را به خود اختصاص داده است. و بخش «ساخت چوب و محصولات چوبی» کوچکترین مصرف‌کننده آب برای تولید انرژی و بخش «ساخت محصولات فلزی فابریکی به جز ماشین‌آلات و تجهیزات» کوچکترین مصرف‌کننده انرژی برای تولید آب است اما در مورد استان یزد، آب مصرفی برای تولید انرژی برابر با ۷۹۷۶۳۰.۹۵ میلیون مترمکعب است و انرژی مصرفی برای تولید آب معادل، ۶۸۸۷۰۵۸۰/۷ بی‌تی‌یو است که بخش «کشاورزی» به ترتیب با سهم ۸۱ درصدی و ۶۴ درصدی در جایگاه نخست این مصرف قرار دارد و بخش «ساخت کک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های

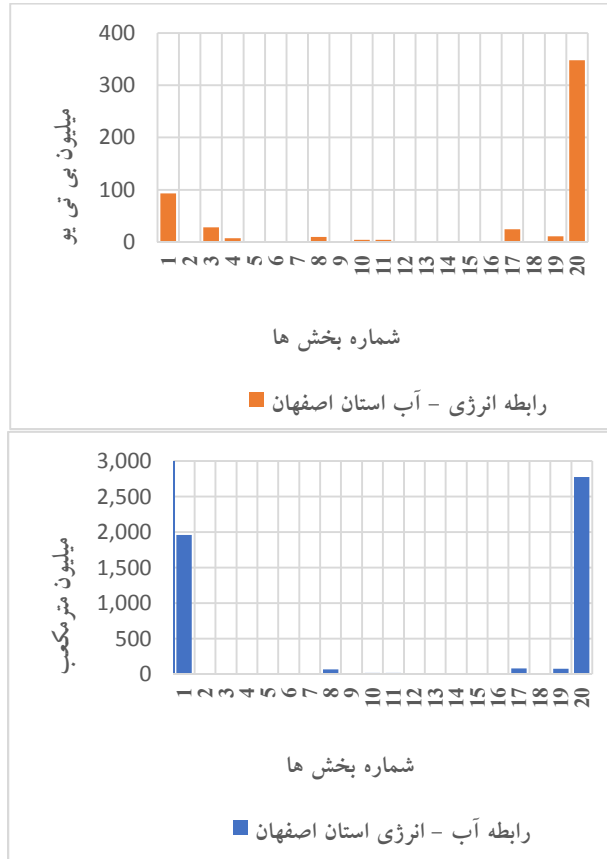
هسته‌ای و ساخت مواد و محصولات شیمیایی» کوچکترین مصرف‌کننده آب برای تولید انرژی و مصرف‌کننده انرژی برای تولید آب است.

نتایج مربوط به استان یزد در نمودار (۴) به تصویر کشیده شده است. با مرور نتایج این بخش این نکته مورد توجه قرار می‌گیرد که بخش «کشاورزی» در استان یزد بیشترین مصرف آب برای تولید انرژی و بالعکس بیشترین مصرف انرژی برای تولید آب را به خود اختصاص داده است. در این زمینه می‌توان گفت پایین بودن بهره‌وری آب در این مناطق و به طبع آن نیاز برای استفاده بیشتر از منابع آبی برای تولیدات کشاورزی منجر به استفاده بیش‌تر از انرژی برای استخراج، پمپاژ آب، تصفیه آب و غیره شده است که نیازمند استفاده از انرژی است. لازم به ذکر است که مصرف بالای انرژی در بخش «کشاورزی» با زیان‌های اقتصادی و خسارت‌های محیط‌زیستی نظیر انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه هست که نیازمند برنامه‌های هدفمند صرفه‌جویی از جمله صرفه‌جویی در انرژی‌های فسیلی و استفاده از انرژی‌های نو است.

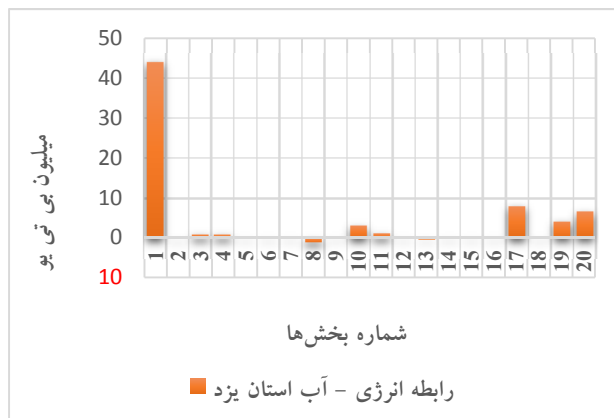
صرفه‌جویی در منابع انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر می‌تواند منجر به کاهش مصرف آب برای تولید، استخراج سوخت‌های فسیلی و یا تولید نیروی برق شده و در مجموع علاوه بر کاهش مصارف آب و انرژی میزان وابستگی این منابع به هم در این بخش کاهش می‌یابد. اما در مورد استان اصفهان می‌توان گفت: بر اساس مطالعات انجام گرفته در زمینه ارتباط توسعه شهرنشینی با افزایش مصرف انرژی، توسعه شهرنشینی منجر به افزایش مصرف حامل‌های انرژی می‌شود. به گونه‌ای که از این حامل‌ها در مصارفی هم‌چون دفع زباله، فاضلاب شهری، بخش سلامت و خانگی استفاده می‌شود، و از آنجایی که استان اصفهان، جزء استان‌های پیشرو در حوزه شهرنشینی است، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد.

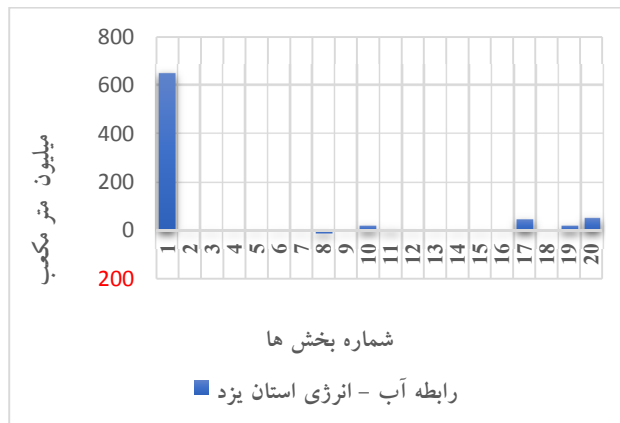


سنجش روابط بین بخشی آب و انرژی ... (فرناز دهقان بنادکوکوی و دیگران) ۱۱۷



نمودار ۳. رابطه آب - انرژی و انرژی - آب در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان  
منبع: یافته‌های محقق





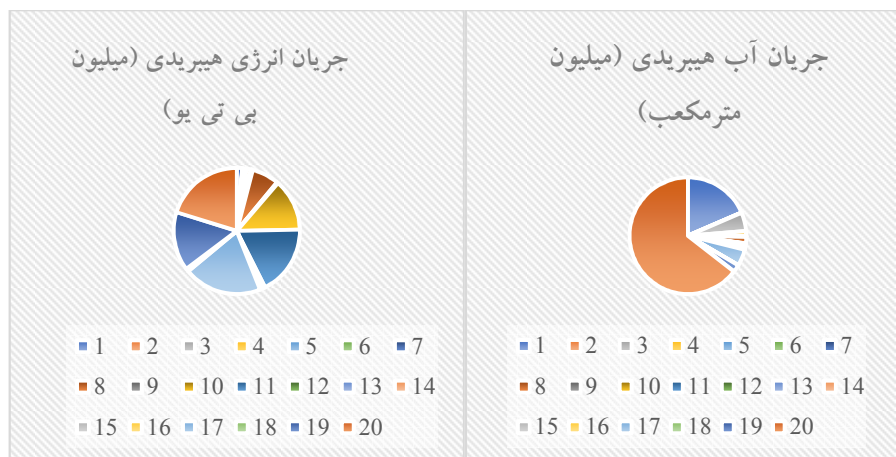
نمودار ۴. رابطه آب - انرژی و انرژی - آب در بخش های اقتصادی استان یزد  
منبع: یافته های محقق

## ۲.۵ جریان آب و انرژی هیبریدی در بخش های اقتصادی دو منطقه اصفهان و

### یزد

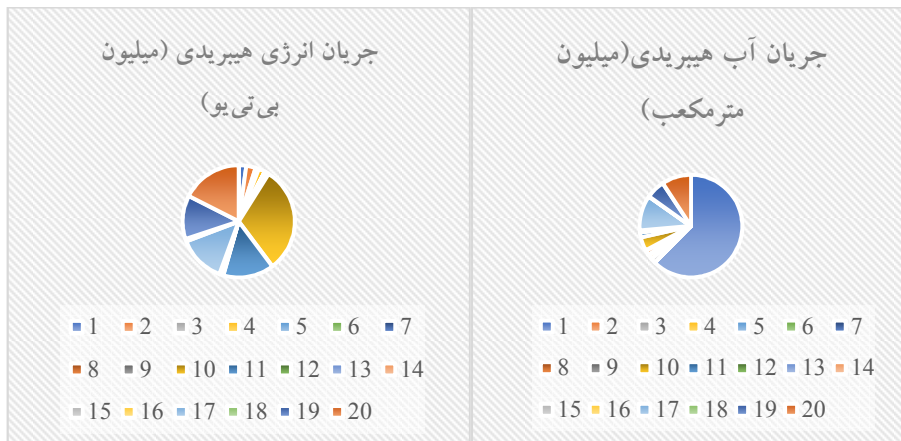
با استفاده از این شاخص و بر اساس شدت (تأثیر) روابط بین هر بخش می توان جریان بین بخش ها را تشخیص داد. جریان بین بخشی نقش هر بخش در سیستم منطقه ای (شهری) را مشخص می کند. نتایج محاسبات این بخش حاکی از آن است که، دو بخش «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» و «کشاورزی» در یزد به ترتیب بزرگ ترین جریان انرژی هیبریدی و آب هیبریدی را دارا هستند و به همین ترتیب نیز بخش های «ساخت وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل و نقل» و «ساخت کک، فرآورده های حاصل از تصفیه نفت و سوخت های هسته ای و ساخت مواد و محصولات شیمیایی» کوچک ترین بخش در جریان انرژی هیبریدی و آب هیبریدی هستند و در مورد استان اصفهان بخش «سایر خدمات» بالاترین رتبه در جریان انرژی هیبریدی و آب هیبریدی را به خود اختصاص داده است. و بخش های «ساخت محصولات فلزی فابریکی به جز ماشین آلات و تجهیزات» «ساخت پوشاک، عمل آوری و رنگ کردن خز، دباغی و پرداخت چرم و سایر محصولات چرمی» به ترتیب کوچک ترین بخش ها در جریان آب و انرژی هیبریدی هستند. بالا بودن سهم بخش های نام برده در جریانات هیبریدی دو منطقه به دلیل

بالا بودن سهم مصرفی منابع انرژی و آب از سهم مصرفی کل در بین بخش‌ها است. همان‌طور که اشاره شد بالا بودن مصارف آب در دو منطقه مورد بررسی به دلیل اقلیم خشک منطقه و بهره‌وری پایین آب در تولیدات کشاورزی است که نیازمند استفاده بیش‌تر از منابع آبی است، همچنین بخش «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» یک بخش صنعتی با مصرف انرژی و آب بالا محسوب می‌شود. «سایر خدمات» به دلیل اهمیت این بخش در سهم تولیدات استان و توجه به فراهم کردن آوردن امکانات بهداشتی، تفریحی، تحصیلی مصارف در این بخش‌ها بالا است. نتایج حاصل از جریان آب و انرژی هیبریدی دو منطقه در نمودار (۵) و (۶) به تصویر کشیده شده است.



نمودار ۵. جریان آب و انرژی هیبریدی بخش‌های اقتصادی استان اصفهان

منبع: یافته‌های محقق



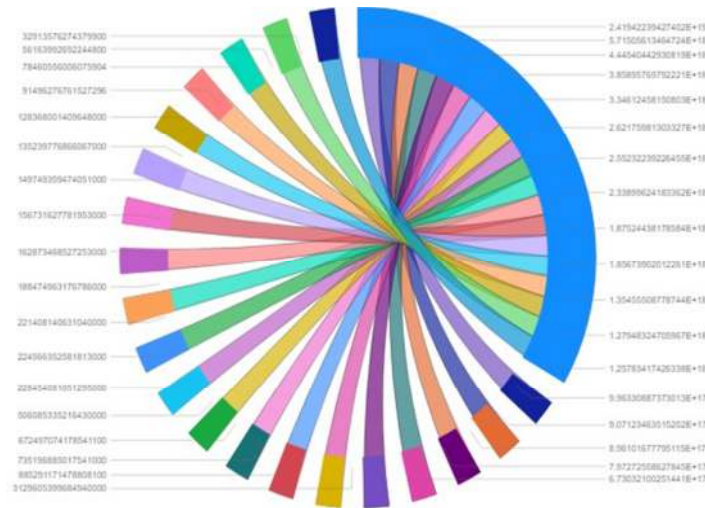
نمودار ۶. جریان آب و انرژی هیبریدی بخش‌های اقتصادی استان یزد  
منبع: یافته‌های محقق

### ۳.۵ جریان‌ات کل (مستقیم و غیرمستقیم) انرژی و آب در دو منطقه مورد مطالعه

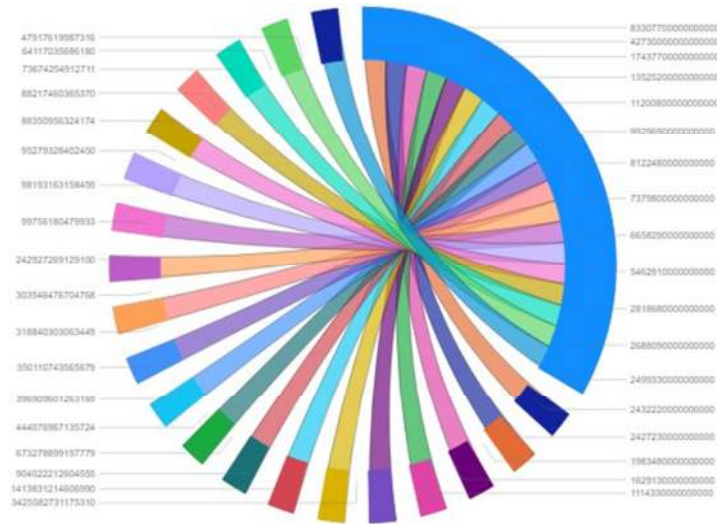
در این قسمت از تحلیل نتایج، به بررسی جریان مستقیم و غیرمستقیم با استفاده از صادرات و واردات بین بخشی مناطق مورد مطالعه پرداخته شده و جریان‌ات هر بخش توسط یک‌رنگ نمایش داده شده است. بررسی این نتایج منجر به شناسایی بخش‌های کلیدی هر منطقه در استفاده از منابع آب و انرژی است. نتایج حاصل از جریان‌ات کل انرژی و آب در دو منطقه مورد نظر در نمودار (۷) و (۸) رسم شده است. از این رو در استان اصفهان بر اساس جریان‌ات کل انرژی، بخش «ساخت فلزات اساسی» و «ساخت کک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای و ساخت مواد و محصولات شیمیایی» به ترتیب جایگاه نخست در جریان صادرات و واردات انرژی و بخش‌های «کشاورزی» و «سایر خدمات» جایگاه نخست در صادرات و واردات آب را به خود اختصاص داده و به عنوان بخش کلیدی استان اصفهان برای مدیریت منابع انرژی و آب بشمار می‌روند. اما در مورد استان یزد دو بخش «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» بیشترین جریان کل صادرات و واردات در انرژی را به خود اختصاص داده است و در مورد منابع آب نیز بخش‌های

سنجش روابط بین بخشی آب و انرژی ... (فرناز دهقان بنادکوکوی و دیگران) ۱۲۱

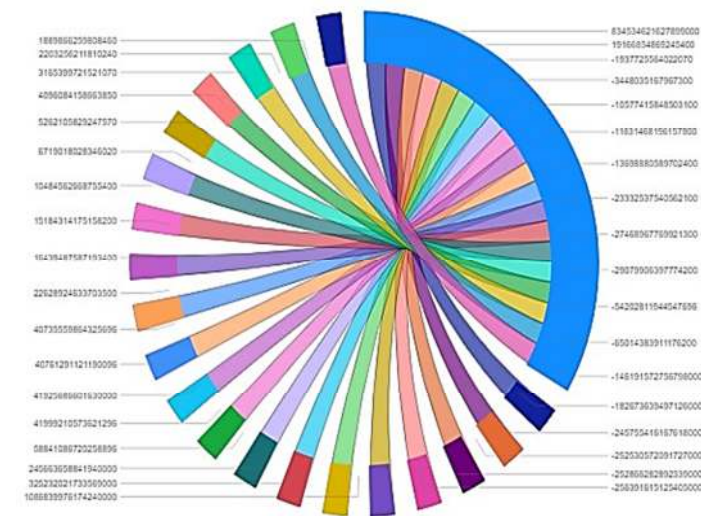
«کشاورزی» و «سایر خدمات» به ترتیب بزرگ‌ترین صادرکننده و واردکننده هستند و به‌عنوان بخش‌های کلیدی استان یزد برای مدیریت منابع انرژی و آب شناخته می‌شوند. از این رو با توجه به آب‌وهوای خشک منطقه و صنعتی بودن دو استان و با توجه به بالا بودن صادرات و واردات آب و انرژی در بخش‌های ذکر شده می‌توان به این نکته اشاره کرد که ایجاد صنایع و فعالیت‌های اقتصادی در هر منطقه باید متناسب با شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی منطقه باشد و در این مناطق اقدام به ایجاد صنایع آب‌بر مانند صنایع فولاد و کشت محصولات با آب‌بری بالا که نیازمند استفاده بیشتر از منابع آب و انرژی هستند نشود.



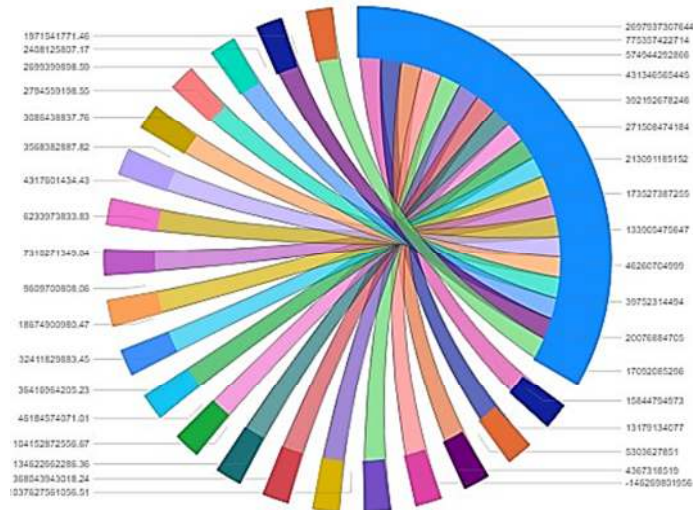
نمودار ۷. نمودار جریان ترکیبی انرژی در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان  
منبع: یافته‌های محقق



نمودار ۸. نمودار جریان ترکیبی آب در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان  
منبع: یافته‌های محقق



نمودار ۹. نمودار جریان ترکیبی انرژی در بخش‌های اقتصادی استان یزد  
منبع: یافته‌های محقق



نمودار ۱۰. نمودار جریان ترکیبی آب در بخش های اقتصادی استان یزد  
منبع: یافته های محقق

## ۶. نتیجه گیری و پیشنهادها

در این مقاله تلاش شد تا با مرور اجمالی بر مدل پیوند منابع طبیعی، میزان مصرف مستقیم دو منبع آب و انرژی های فسیلی، روابط آب - انرژی و انرژی - آب و جریان کل (مستقیم و غیرمستقیم) بین بخشی در دو منطقه در سطح بخش های اقتصادی استان اصفهان و یزد در سال ۱۳۹۰ مورد سنجش قرار گیرد. بدین منظور از مدل داده - ستانده دو منطقه ای برای تجزیه و تحلیل انرژی مورد نیاز برای تأمین آب (رابطه انرژی - آب) و آب مورد نیاز برای تأمین انرژی (رابطه آب - انرژی) بر اساس دیدگاه مبتنی بر مصرف و تولید با توجه به تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بین بخشی استفاده شده است. همچنین از مصرف مستقیم برای نشان دادن رابطه پیچیده بین دو منبع آب و انرژی در هر بخش اقتصادی به صورت کمی استفاده شده، در حالی که رابطه انرژی و آب هیبریدی (ترکیبی) می تواند این ارتباط را در امتداد زنجیره های تأمین دو منبع ترسیم کند و در مرحله آخر از جریان کل (مستقیم و غیرمستقیم) هر بخش برای نشان دادن سهم هر بخش در کل جریان استفاده شد.

علی‌رغم اهمیت ویژه روابط کمی دو منبع آب و انرژی در بین بخش‌های اقتصادی، تعداد پژوهش‌های داخلی انجام‌شده در این حوزه ناچیز است به‌طوری‌که اغلب مطالعات در حوزه روابط بین بخشی مانند میرزایی و همکاران (۱۳۹۷) و قربانی و همکاران (۱۳۹۹) به‌صورت کیفی و اغلب در زمینه آبیاری انجام‌گرفته است. این در حالی است که روابط به‌صورت کیفی در مقایسه با سنجش آن به‌صورت کمی از دقت کمتری برخوردار است و حتی استفاده از نتایج آن در سیاست‌گذاری باید با احتیاط صورت گیرد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، استان اصفهان و یزد به ترتیب با سهم ۸/۱ و ۲/۱ درصدی از میزان کل مصرف انرژی کشور، جایگاه دوم و پانزدهم را به خود اختصاص داده است. با وجود آنکه دو منطقه مورد مطالعه از جهت برخی از حامل‌های انرژی غنی هستند، اما به دلیل سرمایه‌گذاری‌های صنعتی صورت گرفته در این استان‌ها، عنوان مناطق پرمصرف انرژی شناخته‌شده‌اند، به‌طوری‌که از بین ۲۰ بخش اقتصادی مورد مطالعه در این پژوهش، بخش «آب، برق و گاز» و «سایر خدمات» در استان اصفهان و «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» در استان یزد به‌عنوان پرمصرف‌ترین بخش در زمینه مصرف انرژی شناخته شد. همچنین بر اساس مطالعات محققان، دو استان اصفهان و یزد به دلیل موقعیت مکانی (خشک و نیمه‌خشک مرکزی) و از جهت مصرف، با پدیده بحران شدید آبی مواجه هستند به‌طوری‌که استان اصفهان با مصرف ۷/۹ درصدی از کل مصرف ملی آب، رتبه پنجم را به خود اختصاص داده است. همچنین بخش «کشاورزی» در هردو استان به‌عنوان پرمصرف‌ترین بخش در زمینه آب شناخته‌شده است که از علل آن می‌توان به مواردی چون، وابستگی بیش‌ازاندازه هر منطقه به اقتصاد مبتنی بر کشاورزی و کشت به روش‌های سنتی و نبود مدیریت کارآمد مصرف آب و عدم تجهیز بخش کشاورزی به تجهیزات روزآمد اشاره کرد. همچنین از کل میزان انرژی و آب مصرفی در هردو منطقه اصفهان و یزد، به ترتیب سهم ۳۲، ۴۳ و ۴۸، ۴۰ درصد به انرژی موردنیاز برای تأمین آب (رابطه انرژی - آب) و آب موردنیاز برای تأمین انرژی (رابطه آب - انرژی) اختصاص دارد.

تجزیه و تحلیل جریان انرژی و آب ترکیبی نشان می‌دهد که دو بخش «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» و «کشاورزی» پرمصرف‌ترین و به عبارتی تأثیرگذارترین بخش‌ها از جهت مصرف در دو منطقه هستند به‌طوری‌که مهم‌ترین گره



مدیریتی در رابطه بین دو منبع انرژی و آب در مناطق مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شوند. همچنین در رابطه با تحلیل جریان کل انرژی و آب بین بخشی در دو منطقه می‌توان ذکر کرد که در استان اصفهان دو بخش «فلزات اساسی» و «ساخت کک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای و ساخت مواد و محصولات شیمیایی» به‌عنوان بخش‌های مهم در زمینه صادرات و واردات بین بخشی انرژی و بخش‌های «کشاورزی» و «سایر خدمات» در زمینه صادرات و واردات بین بخشی آب شناخته شده‌اند و در مورد استان یزد دو بخش «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» بیشترین جریان کل صادرات و واردات در انرژی را به خود اختصاص داده است و در مورد منابع آب نیز بخش‌های «کشاورزی» و «سایر خدمات» به ترتیب بزرگ‌ترین صادرکننده و واردکننده هستند و به‌عنوان بخش‌های کلیدی استان یزد برای مدیریت منابع انرژی و آب شناخته می‌شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مصرف انرژی در بخش‌های اقتصادی کشور و مناطقی از جمله اصفهان و یزد رو به افزایش است. از آنجایی که ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده و آب یکی از منابع کمیاب در کشور محسوب می‌شود سیاست‌گذاران در حوزه منابع محیط‌زیستی (انرژی و آب) باید گام‌هایی در جهت کاهش انرژی و آب‌بری در بخش‌های مختلف اقتصاد بردارند. بنابراین پیشنهاد می‌شود:

- با توجه به نتایج مطالعه، بخش «کشاورزی» از آب‌بری بالایی برخوردار است به‌طوری‌که که تقاضای نهایی داخلی بخش مذکور سهم زیادی از کل تقاضای نهایی دو منطقه را در برمی‌گیرد. بدین ترتیب لازم است از شیوه‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای، کانال‌کشی لوله‌ای یا بتونی و آبیاری از روش زیرزمینی که می‌تواند از جذب و بخار شدن آب و همچنین مصرف بی‌رویه آن جلوگیری کند، استفاده شود.
- توجه به سیستم کشت گلخانه‌ای از دیگر راهکارهای مهم برای کاهش مصرف آب و افزایش بازدهی در بخش کشاورزی است.
- با توجه به اینکه در صنایع وابسته به کشاورزی از محصولات کشاورزی به‌عنوان نهاده واسطه استفاده می‌شود، مکانیزه کردن کشاورزی و کمک به راندمان آبیاری در این بخش می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم از آب‌بری بخش‌های تولیدی بکاهد.
- استراتژی واردات «انرژی مجازی» و «آب مجازی» می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب برای رفع کمبود انرژی و آب در دو منطقه اصفهان و یزد مورد توجه

سیاست‌گذاران کشور قرار گیرد. در این راستا پیشنهاد می‌شود که بر اساس یک برنامه‌ریزی بلندمدت و با در نظر گرفتن سایر عوامل، الگوی تجارت در این دو منطقه بر مبنای واردات حداکثری و صادرات حداقلی آب و انرژی مجازی قرار گیرد.

- با توجه به اینکه بخش «آب، برق و گاز» بیشترین انرژی‌بری را در دو منطقه دارد، پیشنهاد می‌شود، بخشی از بودجه و نقدینگی حاصل از عوارض هر منبع (آب، برق و گاز) برای موضوع بهینه‌سازی انرژی در این بخش تخصیص داده‌شود.

- از آنجایی که دو منطقه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده و از نظر منابع انرژی خورشیدی غنی هستند پیشنهاد می‌شود سرمایه‌گذاری و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، زمین‌گرمایی با روند فزاینده در دستورکار سیاست‌گذاران قرار گرفته تا به افزایش کارایی انرژی و کاهش انرژی‌بری در مناطق موردنظر پردازند.

- مسئله آب و انرژی تنها مختص کشور ما نیست، بهره‌برداری از تجارب موفق سایر کشورها در مدیریت منابع آب و انرژی، در این زمینه راه‌گشا است.

## پی‌نوشت‌ها

۱. در این رویکرد جدول داده - ستانده ملی در کنار حداقل آمار و اطلاعات موجود منطقه و یا استان مانند ستانده، اشتغال، مصرف و یا ارزش افزوده در سطح بخش‌های منطقه مبنای محاسبه ضرایب داده - ستانده و یا جدول داده - ستانده منطقه‌ای قرار می‌گیرد

## کتاب‌نامه

اداره حساب‌های اقتصادی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۵). جدول داده - ستانده اقتصاد ایران سال ۱۳۸۹، آذرماه ۱۳۹۵. [www.ead.cbi@ir](http://www.ead.cbi@ir).  
اسلامی، زینب، جنت رستمی، سمیه، اشرف زاده، افشین و پور محمد، یاور (۱۳۹۹). تأثیر رویکرد پیوندی آب، انرژی و غذا در مدیریت یکپارچه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود، نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۴(۱): ۱۱-۲۵.

## سنجش روابط بین بخشی آب و انرژی ... (فرناز دهقان بنادکوکوی و دیگران) ۱۲۷

- پایگاه اینترنتی وزارت نیرو (۱۳۹۶). آمارنامه انرژی وزارت نفت.
- پایگاه اینترنتی وزارت نیرو. ترازنامه هیدروکربنی انرژی کشور، (۱۳۹۰).
- رضینی، طیب (۱۳۹۵). منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن - گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۳ (۲): ۴۱۹-۴۳۹.
- سالنامه آماری کشور (۱۳۹۸). مرکز آمار ایران.
- سالنامه انرژی (۱۳۹۸). معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی.
- صفایی، وحیده، پورمحمد، یاور و داوری، کامران (۱۳۹۹). رویکرد به‌هم پیوسته آب، انرژی و غذا در مدیریت منابع آب (مطالعه موردی: محدوده مشهد)، *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴ (۵): ۱۷۰۸-۱۷۲۱.
- قربانی، الهام، منعم، محمدجواد و واعظ‌تهرانی، مهسا (۱۳۹۹). توسعه مدل پیوند آب، انرژی و غذا در سطح شبکه‌های آبیاری بر اساس شاخص‌های کفایت و پایداری آب (مطالعه موردی شبکه آبیاری قزوین)، *تحقیقات مهندسی آبیاری و زهکشی*، ۲۱ (۸۰): ۶۱-۸۰.
- گودرزی، محمدرضا، پیریایی، رضا و موسوی، میرمحمد (۱۳۹۷). درک پیوند آب - غذا - انرژی و مدیریت برای بهره‌وری از منابع آب موجود، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۴ (۲): ۲۶۸-۲۵۵.
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۰). حساب‌های ملی آمار حساب‌های منطقه‌ای، مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵-۱۳۹۰.
- منعم، محمدجواد، دلاور، مجید و حسینی، سید معین (۱۳۹۹). کاربرد و ارزیابی پیوند آب، غذا و انرژی (نکسوس) در مدیریت شبکه‌های آبیاری: مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده‌رود، *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱ (۱۴): ۲۷۵-۲۸۵.
- میرزایی، شکیبا، قهرمان، بیژن، مساعدی، ابوالفضل و ضرغامی، مهدی (۱۳۹۷). بررسی اهمیت پیوند آب - انرژی - امنیت غذایی در حوضه زربینه رود، ایران، پنجمین کنفرانس انجمن انرژی ایران، کنفرانس بین‌المللی فناوری و مدیریت انرژی با رویکرد پیوند انرژی، آب و محیط‌زیست.

Bizikova, L., Roy, D., Swanson, D., Venema, H. D., & McCandless, M. (2013). The water-energy-food security nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development, pp: 16-20.

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).

- Chang, Y., Li, G., Yao, Y., & Zhang, L. (2016). Quantifying the water-energy-food nexus: current status and trends. *Energies*, 9(2): 1-17.
- Chen, S., & Chen, B. (2016). Urban energy–water nexus: A network perspective. *Applied Energy*, 184: 905-914.
- Chen, B. (2016). Energy, ecology and environment: a nexus perspective. *Energy, Ecology and Environment*, 1(1): 1-2.
- Chen, P. C., Alvarado, V., & Hsu, S. C. (2018). Water energy nexus in city and hinterlands: Multi-regional physical input-output analysis for Hong Kong and South China. *Applied Energy*, 225: 986-997.
- IEA. (2019). World energy outlook.
- Jiang, W. Q., Li, J. S., Chen, G. Q., Yang, Q., Alsaedi, A., Ahmad, B., & Hayat, T. (2016). Mercury emissions embodied in Beijing economy. *Journal of Cleaner Production*, 129: 134-142.
- Karlberg, L., Hoff, H., Amsalu, T., Andersson, K., Binnington, T., Flores-López, F., ... & Young, C. (2015). Tackling complexity: understanding the food-energy-environment nexus in Ethiopia's Lake tana sub-basin. *Water Alternatives*, 8(1): 710-734
- Kenway, S. J., Binks, A., Lane, J., Lant, P. A., Lam, K. L., & Simms, A. (2015). A systemic framework and analysis of urban water energy. *Environmental Modelling & Software*, 73: 272-285.
- Kowalewski, J. (2015). Regionalization of National Input – Output Tables: Empirical Evidence on the Use of the FLQ Formula. *Regional Studies*, 2(49): 240-250
- Kennedy, C., Pincetl, S., & Bunje, P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental pollution*, 159(8-9): 1965-1973.
- Lee, L. C., Wang, Y., & Zuo, J. (2021). The nexus of water-energy-food in China's tourism industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 164: 105157.
- Liu, Y., Wang, S., & Chen, B. (2017). Regional water–energy–food nexus in China based on multiregional input–output analysis. *Energy Procedia*, 142: 3108-3114.
- Li, Z., Pan, L., Fu, F., Liu, P., Ma, L., & Amorelli, A. (2014). China's regional disparities in energy consumption: An input–output analysis. *Energy*, 78: 426-438.
- Li, J. S., Xia, X. H., Chen, G. Q., Alsaedi, A., & Hayat, T. (2016). Optimal embodied energy abatement strategy for Beijing economy: based on a three-scale input-output analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53: 1602-1610.
- Liu, Y., & Chen, B. (2020). Water-energy scarcity nexus risk in the national trade system based on multiregional input-output and network environ analyses. *Applied Energy*, 268, 114974.
- Phdungsilp, A. (2010). Integrated energy and carbon modeling with a decision support system: policy scenarios for low-carbon city development in Bangkok. *Energy Policy*, 38(9): 4808-4817.

- Park, S. H. (1982). An input-output framework for analysing energy consumption. *Energy Economics*, 4(2): 105-110.
- Rasul, G. (2014). Food, water, and energy security in South Asia: a nexus perspective from the Hindu Kush Himalayan region. *Environmental Science and Policy*, 39: 35- 48.
- Rasul, G. (2015). Managing the Food, Water, and Energy Nexus for Achieving the Sustainable Development Goals in South Asia. *Environmental development*, 18: 14- 25.
- United Nations. (2020). Department of Economic and Social Affairs Population Facts, December 2020 No, 2020/2.
- Wang, S., & Chen, B. (2016). Energy–water nexus of urban agglomeration based on multiregional input–output tables and ecological network analysis: a case study of the Beijing–Tianjin–Hebei region. *Applied Energy*, 178: 773-783.
- Wang, S., Cao, T., & Chen, B. (2017). Urban energy–water nexus based on modified input–output analysis. *Applied energy*, 196: 208-217.
- Xiao, Z., Yao, M., Tang, X., & Sun, L. (2019). Identifying critical supply chains: An input-output analysis for Food-Energy-Water Nexus in China, *Ecological Modeling*, 392: 31-37.
- Zhang, Y., Zheng, H., Yang, Z., Li, Y., Liu, G., Su, M., & Yin, X. (2016). Urban energy flow processes in the Beijing–Tianjin–Hebei (Jing-Jin-Ji) urban agglomeration: combining multi-regional input–output tables with ecological network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 114: 243-256.
- Zhang, X., & Vesselinov, V. V. (2017). Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus. *Advances in Water Resources*, 101: 1-10.