

Analysis of trend of water consumption in Iranian industries: Divisia index decomposition approach

Ameneh Zare^{*}, Mehdi Hajamini^{}**

Mohammad Ali Feizpour^{*}**

Abstract

With population growth and industry development, water demand has dramatically increased in different regions of the world. Rising water demand, climate change, and limited water resources have exacerbated the global water crisis. This issue is very important in a developing country like Iran, which is in the dryland belt of the world. In this regard, the present study investigates the water consumption of Iran's industrial sector during the period 1996-2017. Using the Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) method, changes in water demand (in two-digit ISIC level) are divided three factors of economic growth, technical coefficient (inverse productivity) and structure of the industry. Findings based on the fixed base year of 1996 showed that the share of industrial production has increased one and a half times during the period of 5 to 21 years (from 43% to 70%). In contrast, the effect of the technical coefficient on reducing water demand has been halved, reflecting a reduction in the share of productivity improvement in water saving. Also restructuring the industry (in favor of reducing the share of water-intensive industries) somewhat reduced water demand. Then the increase in industrial production has been the main driving force of the water consumption, while

* M.A. in Economics, Yazd University, ameneh1zare@gmail.com

** Assistant Professor in Economics, Department of Economics, Yazd University (Corresponding author), hajamini.mehdi@yazd.ac.irs

*** Associate Professor in Economics, Yazd University, feizpour@yazd.ac.ir

Received: 2022/3/11, Accepted: 2022/6/27



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.

improving productivity and increasing share of lower water-intensive industries have not been able to neutralize it. Hence, if the current trend continues, the choice between the survival of the industry or the reduction of water stress will not be far from expected.

Keywords: water crisis, water consumption, industry, logarithmic mean Divisia index method.

JEL Classification: C69, L60, Q25.



تحلیل روند آب مصرفی صنایع ایران:

رویکرد تجزیه شاخص دیویژیا

آمنه زارع*

مهدی حاج‌امینی**، محمدعلی فیض‌پور***

چکیده

همراه با رشد جمعیت و توسعه صنعت، تقاضای آب در مناطق مختلف جهان به شدت افزایش یافته است. افزایش تقاضای آب و تغییرات آب و هوایی و محدودیت منابع آب موجب شدند که بحران آب شدیدتر شود. این مسئله در کشور در حال توسعه‌ای چون ایران که در کمربند خشک جهان قرار دارد، بسیار جدی است. در همین راستا، پژوهش حاضر به واکاوی آب مصرفی بخش صنعت ایران طی دوره ۱۳۷۵-۱۳۹۶ می‌پردازد. تغییرات تقاضای آب صنایع ایران (در سطح کدهای دورقمی ISIC) با استفاده از روش میانگین لگاریتمی دیویژیا (LMDI) بر اساس سه عامل رشد اقتصادی، بهره‌وری و ساختار صنعت تفکیک شده است. یافته‌های تجزیه دیویژیا بر اساس سال پایه ثابت ۱۳۷۵ نشان داد افزایش تولید صنعتی بیشترین سهم را در افزایش تقاضای آب صنعتی داشته و سهم آن در طی دوره ۵ تا ۲۱ ساله از ۴۳ درصد به نزدیک ۷۰ درصد (حدود یک‌ونیم برابر) افزایش یافته است. در مقابل، اثر ضریب فنی در کاهش تقاضای آب به نصف کاهش پیدا کرده که منعکس‌کننده کاهش سهم بهبود بهره‌وری در صرفه‌جویی آب است. همچنین تغییر ساختار

* کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد

ameneh1zare@gmail.com

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

hajamini.mehdi@yazd.ac.ir

*** دانشیار دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، feizpour@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶



صنعت (به نفع کاهش سهم صنایع آب‌بر) بسیار جزئی تقاضای آب را کاهش داده است. پس اثر ضریب فنی و اثر ساختاری موجب کاهش تقاضای آب شده‌اند؛ اما نتوانسته‌اند اثر افزایش تولید صنعتی را خنثی کنند. بنابراین در صورت ادامه روند فعلی، انتخاب میان بقا صنعت یا رفع تنش‌های آبی دور از انتظار نخواهد بود.

کلیدواژه‌ها: بحران آب، مصرف آب، صنعت، تجزیه میانگین لگاریتمی دیوژیا.

طبقه‌بندی JEL: Q25, L60, C69.

۱. مقدمه

در تمام طول تاریخ زندگی انسان دسترسی به منابع آب شرط لازم برای توسعه اجتماعی-اقتصادی بوده است. عواملی چون افزایش جمعیت کره زمین، سیاست‌گذاری‌های نادرست و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی موجب شده آسیب‌های جدی به محیط‌زیست و اقتصاد کشورها وارد شود. مدیریت نادرست آب موجب شده حجم زیادی از آب مورد استفاده قرار گیرد و با بهره‌وری کم توان تولید کاهش یابد. زمانی که تقاضای آب بیشتر از عرضه آب باشد کمبود آب ایجاد می‌شود و این کمبود در کشورهای منطقه خشک جهان به بحران آب تبدیل شده است. البته تغییرات اقلیمی و کاهش میزان بارش نیز بر شدت این بحران افزوده است.

ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، در زمره کشورهای با محدودیت منابع آب قلمداد می‌شود و به همین دلیل توجه به کمیابی آب بایستی در برنامه‌های توسعه کشور مد نظر قرار گیرد. عدم توزیع زمانی و مکانی بارش و منابع آب یکی دیگر از ویژگی‌های آب و هوایی کشور است. سهم ایران از جمعیت جهان ۱/۳ درصد و از منابع آب شیرین ۰/۲ درصد است؛ در نتیجه کاهش سرانه منابع آب تجدیدشونده، گسترش منابع آلوده‌کننده آب، اضافه برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی عمده چالش‌های موجود در بخش منابع آب کشور است. بروز خشکسالی‌های پی‌درپی در سال‌های اخیر و افزایش فاضلاب‌های صنعتی، شهری و زه‌آب‌های کشاورزی و آلوده شدن منابع آب، دسترسی به آب را با بحران شدیدتری مواجه کرده، به طوری که تامین آب قابل دسترس و مطمئن برای مصارف مختلف یکی از چالش‌های مهم برای دولت و بالاخص وزارت نیرو محسوب می‌شود (سالنامه آماری آب کشور، ۱۳۹۴).

بحران آب تنها یک مشکل زیست‌محیطی نیست، بلکه یک مشکل اقتصادی هم محسوب می‌شود. چنانچه در گزارش مخاطرات جهانی ۲۰۱۹-۲۰۲۰ آمده، کمبود آب شیرین پنجمین ریسک تأثیرگذار جهانی است (مجمع جهانی اقتصاد، ۲۰۲۰). آب به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی به عنوان کلید موفقیت و ثروت شناخته شده و به گفته مارشال (۱۸۷۹) نقش مهمی در موقعیت، عملکرد و رشد جوامع داشته است (Arbués et al., 2003).

توزیع جغرافیایی آب شیرین بدین صورت است: قاره آمریکا ۴۵ درصد، آسیا ۲۸ درصد، اروپا ۱۵/۵ درصد و آفریقا ۹ درصد. همچنین در جهان، به طور میانگین بخش کشاورزی ۶۹ درصد، بخش صنعت ۱۹ درصد و مصارف خانگی ۱۲ درصد مصرف آب شیرین را به خود اختصاص دادند. البته سهم مصرف آب بخش‌ها در مناطق مختلف جهان متفاوت است و ارتباط معنی‌داری با سطح توسعه‌یافتگی کشورها دارد. برای نمونه سهم بخش‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی در جنوب آسیا به ترتیب ۸۷/۶، ۵/۵ و ۶/۹ درصد و در اروپای غربی ۳۲/۴، ۵۲/۴ و ۱۵/۲ درصد است (Vallee et al., 2003).

تقاضای آب دارای دو مولفه مهم برداشت و مصرف است. بنابراین لازم است تعادل بین تقاضای فزاینده و عرضه منابع محدود آب برقرار شود. اگر این تعادل حاصل نشود، طبق گزارش یونسکو جهان با کمبود شدید آب روبرو خواهد شد که احتمالاً بیش از دو-سوم جمعیت جهان را تا سال ۲۰۲۵ تحت تأثیر قرار می‌دهد (Flores-Bijl et al., 2016). (Cayuela, 2021).

بر اساس آنچه بیان شد، پژوهش حاضر به واکاوی تقاضای آب و پویایی‌های آن می‌پردازد. یافته‌های کمک خواهد کرد که با مدیریت تقاضا از طریق سازوکارهای اقتصادی همچون سیاست‌های قیمتی و غیرقیمتی تا حدودی از زیان‌ها پیشگیری کرد. بخش‌بندی مقاله بدین شرح است. در بخش دوم و سوم به ترتیب ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش بیان شده است. بخش چهارم به روش و داده‌ها و بخش پنجم به یافته‌ها اختصاص یافته است. نهایتاً در بخش آخر نتیجه‌گیری آمده است.

۲. مسئله آب و اقتصاد

در دهه‌های اخیر، با گرم شدن کره زمین، تغییرات عمده‌ای در رژیم‌های بارش جهانی و منطقه‌ای ایجاد شده است. افزایش تبخیر سطحی با افزایش دما تعادل منابع آب را تغییر داده و از سوی دیگر، افزایش سریع تقاضای آب (به دلیل افزایش سریع جمعیت و فعالیت اقتصادی) اتفاق افتاده است. این موارد موجب شده که کمبود آب به یکی از چالش‌های برجسته قرن بیست و یکم تبدیل شود. این کمبود ممکن است مانع توسعه صنعتی و رشد اقتصادی باشد و شرایط زندگی فقرا را بدتر کند (Griffin, 2006؛ Bijsl et al., 2016؛ FAO, 2017؛ Li et al., 2020).

شهرنشینی سریع و برنامه‌ریزی نشده موجب افزایش تقاضای آب و تخلیه فاضلاب می‌شود که در نهایت ضمن ایجاد مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی به استفاده بیش از حد از سیستم‌های آبی می‌انجامد. همچنین آلودگی آب تأثیر فزاینده‌ای در کاهش منابع آب دارد، زیرا روزانه حدود دو میلیون تن پسماند انسانی در مسیر آب‌های طبیعی در سراسر جهان دفع می‌شود که کمبود آب شیرین در دسترس را به همراه دارد (برنامه سازمان ملل متحد آب در مورد حمایت و ارتباطات، ۲۰۱۱ نقل شده در Weerasooriya et al., 2021).

طبق پیش‌بینی‌ها، استفاده سالانه از آب‌های زیرزمینی تا دهه ۲۰۵۰ میلادی تقریباً ۴۰ درصد نسبت به سطح فعلی افزایش می‌یابد. البته بر اساس گزارش توسعه جهانی آب سازمان ملل متحد، این واقعیت است که مقدار آب کافی برای مواجهه با نیازهای رو به رشد جهان وجود دارد؛ اما به شرطی که تغییر چشمگیر در نحوه استفاده، مدیریت و توزیع آب اتفاق افتد. حدود ۳۰ درصد از آب شیرین در سفره‌های زیرزمینی است که عموماً به طور پایدار مدیریت نمی‌شوند و خطر فرونشست زمین و سیل را افزایش می‌دهند (Weerasooriya et al., 2021).

استفاده از آب شیرین برای کشاورزی، صنعت و مناطق شهری در نتیجه رشد جمعیت، تمایل به تولید بیشتر و الگوهای مصرف از سال ۱۹۰۰ تاکنون حدود شش برابر شده است. اکنون مصرف جهانی آب هر ۲۰ سال دو برابر می‌شود، یعنی با نرخی بیش از دو برابر جمعیت افزایش می‌یابد. مطالعات نشان می‌دهد که در صورت حفظ رشد اقتصادی و عدم بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی، تقاضای جهانی آب از ۴/۵ میلیارد متر مکعب فعلی در روز به ۶/۹ میلیارد متر مکعب در سال ۲۰۳۰ افزایش می‌یابد؛ این بدان معنی است که میزان

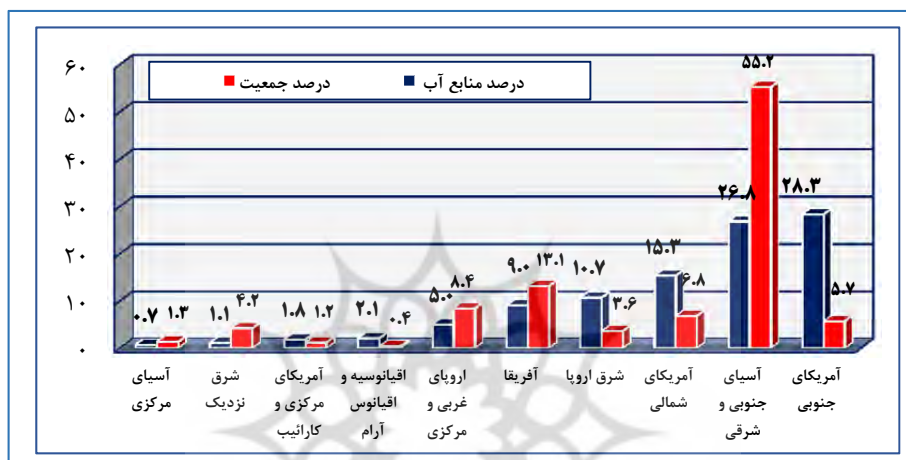
مصرف آب در جهان حدود ۴۰ درصد بیشتر از آب در دسترس است. البته در بعضی از مناطق، وضعیت به مراتب بدتر است، برای نمونه، ۳۳ درصد از جمعیت جهان در حوضه‌های آبخیز با کمبود آب بیش از ۵۰ درصد زندگی می‌کنند (Bazza & Reza Najib, 2003; FAO, 2017; Water Research Group, 2009 نقل شده در Machado et al., 2020).

۷۰ درصد برداشت آب شیرین جهان برای تولید محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. تقاضا برای آب شیرین در بخش کشاورزی ناشی از تقاضای غذا است. جمعیت جهان در سال ۱۹۵۰، ۲/۵ میلیارد نفر بوده که امروزه به بیش از ۷/۷ میلیارد نفر رسیده است. رشد نمایی مردم جهان، به ویژه از دهه ۱۹۵۰ موجب توسعه سیستم‌های جدید کشاورزی برای افزایش تولید مواد غذایی شده است. کشاورزی به عنوان مصرف‌کننده اصلی منابع آب با چالش افزایش ۶۰ درصدی تقاضا برای غذا تا سال ۲۰۵۰ مواجه است (Carvalho & Filho, 2021).

در سطح جهانی، مصرف آب صنعتی طی ۵۰ سال گذشته تقریباً از ۱۰۰ به ۳۰۰ کیلومتر مکعب رسیده یعنی ۳ برابر شده است و پیش‌بینی شده که به طور مداوم افزایش یابد و در سال ۲۰۵۰ به ۵۵۰ کیلومتر مکعب برسد. سازمان همکاری اقتصادی و توسعه پیش‌بینی کرده که تقاضای جهانی آب از ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰، ۵۵ درصد افزایش یابد که بیشتر به دلیل افزایش تقاضا در صنایع کارخانه‌ای (۴۰۰ درصد)، برق (۱۴۰ درصد) و استفاده خانگی (۱۳۰ درصد) است (OECD, 2012 نقل شده در Wada et al., 2014; Weerasooriya et al., 2021). (Wang et al., 2018 نقل شده در 2014).

آب در صنعت به دلیل استفاده مستقیم در فرآیند تولید و همچنین استفاده غیرمستقیم برای سرمایش، گرمایش، تمیز کردن، حمل و نقل و غیره بسیار مهم است. کاربردهای صنعتی مانند رقیق‌سازی، شستشو، خنک‌سازی تجهیزات تولیدی، خنک‌سازی آب در نیروگاه‌های هسته‌ای و نیروگاه‌های سوخت فسیلی و تولید بخار از جمله فرآیندهای عمده‌ای است که در آن به شدت از آب استفاده می‌شود. آمریکا به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب صنعتی، سالانه بیش از ۳۰۰ میلیارد متر مکعب آب را برداشت می‌کند؛ که بسیار بیشتر از ۱۴۰ میلیارد متر مکعب چین (دومین مصرف‌کننده بزرگ آب صنعتی) است (Weerasooriya et al., 2021).

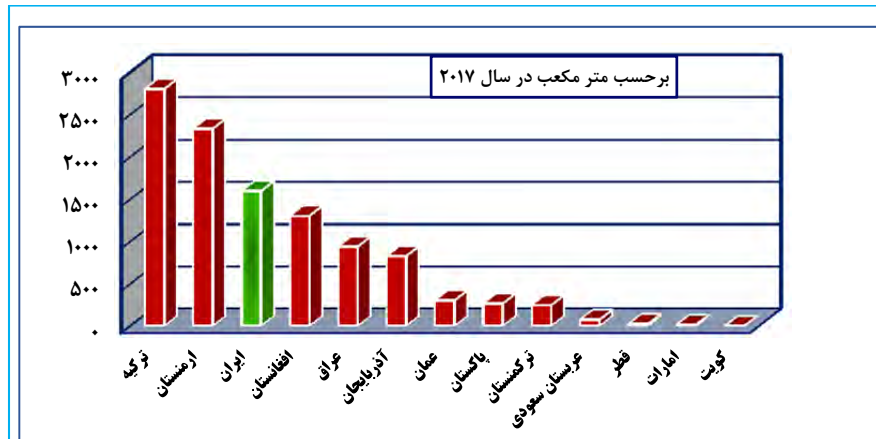
به علاوه، این مسائل در منطقه خاورمیانه و از جمله در ایران بغرنج‌تر به نظر می‌رسد. طبق آمار و اطلاعات مربوط به گزارش آب منتشر شده از سوی سازمان فائو در سال ۲۰۰۳، و تقسیم‌بندی جهان به ۱۰ منطقه، منطقه خاور و آسیای جنوبی و شرقی و بعد از این دو، دو منطقه آفریقا و آسیای مرکزی در شرایط کمبود آب قرار دارند و با بحران کمبود آب روبه‌رو هستند (نمودار ۱).



نمودار ۱: درصد جمعیت و منابع آب در مناطق جهان

منبع: فائو (۲۰۰۳)

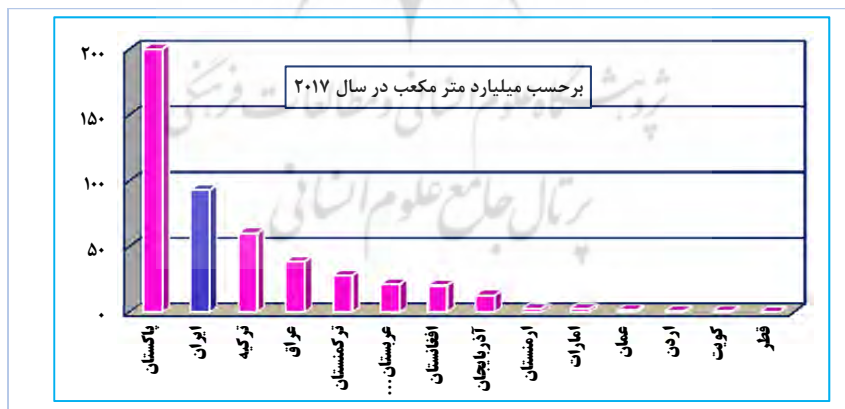
طبق آمار بانک جهانی منابع آب شیرین داخلی تجدیدپذیر ایران ۱۲۸/۵ میلیارد متر مکعب بوده و در مقایسه با کشورهای هم‌مرز خشکی و آبی خود (آذربایجان، افغانستان، امارات، ترکیه، عراق، ترکمنستان، پاکستان، عمان، کویت و قطر) بعد از ترکیه در رتبه دوم قرار دارد. همچنین با توجه به رشد جمعیت ایران سرانه منابع آب شیرین از ۵۵۶۹/۶ متر مکعب در سال ۱۹۶۲ به ۱۵۹۲/۸ متر مکعب در سال ۲۰۱۷ کاهش یافته است. مطابق با آمار داده‌های بانک جهانی در سال ۲۰۱۷، ایران از نظر سرانه منابع آب تجدیدپذیر در مقایسه با کشورهای هم‌مرزی خود بعد از ترکیه (۲۷۹۹ متر مکعب) و ارمنستان (۲۳۲۹ متر مکعب) در رتبه سوم قرار دارد (نمودار ۲).



نمودار ۲: سرانه منابع آب شیرین تجدیدپذیر

منبع: پایگاه داده بانک جهانی

بر اساس داده‌های بانک جهانی برداشت سالانه آب شیرین در ایران از ۴۷/۷ میلیارد متر مکعب در سال ۱۹۷۷ به ۹۲/۹ میلیارد متر مکعب در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته که در مقایسه با کشورهای همسایه خود گویای بیشترین برداشت سالانه آب بعد از پاکستان است. همچنین درصد برداشت آب شیرین از منابع داخلی طی دوره ۱۹۷۷-۲۰۱۷ از ۳۷/۱ درصد به ۷۲/۳ درصد افزایش یافته که در سال ۲۰۱۷ در مقایسه با کشورهای هم‌مرزی خود در رتبه دوم قرار دارد (نمودارهای ۳).



نمودار ۳: برداشت سالانه آب شیرین

منبع: پایگاه داده بانک جهانی

استراتژی اصلی برای غلبه بر این کمبود آب، شناسایی علل ریشه‌ای این مشکل و اتخاذ رویکردهای مناسب برای مدیریت، جداسازی و تخصیص آب است. البته کشورهای درحال توسعه مانند ایران با مشکلات دیگری نیز روبه‌رو هستند، از جمله فقدان آگاهی محیط شهروندان، صنایع آب‌بر و عدم وجود مقررات مطلوب برای بهره‌برداری و مدیریت منابع آب (Olivarez-Areyan et al., 2021). این مسئله گویای آن است که الگوسازی و پیش‌بینی تقاضای آب در صنعت، کشاورزی، زندگی خانگی و محیط‌زیست ضروری است. با این حال عواملی مانند افزایش جمعیت، رشد اقتصادی، تغییر الگوی مصرف، نشت آب، برداشت بیش از حد آب و تغییر شرایط آب و هوایی همچنان با فرآیندهای هیدرولوژیکی شهری گره خورده که در نتیجه برآورد تقاضای آب را پیچیده می‌کند (Wei et al., 2010)؛ (House-Peters & Chang, 2011 نقل شده در Oyeboode et al., 2019). در همین راستا، پژوهش حاضر با رویکردی نو به بررسی تقاضای آب صنعتی می‌پردازد تا سهم تعیین‌کننده‌های آن روش‌تر شود.

۳. پیشینه پژوهش

تقاضای آب طی دهه‌های اخیر بطور گسترده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این بخش پژوهش‌های اخیر مرور می‌شوند.

شانگ و همکاران (Shang et al., 2016) سهم عوامل تولیدی، فن‌آوری و ساختاری در استفاده صنعتی از آب در شهر تیانجین چین را طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۲ بررسی کردند. آن‌ها با بکارگیری شاخص‌های اصلاح‌شده لاسپیرز و میانگین لگاریتمی دیویژیا (LMDI) نتیجه گرفتند که تولید موجب افزایش مصرف آب شده، در حالی که فن‌آوری استفاده از آب را کاهش داده است. به علاوه، پس از سال ۲۰۰۸ تغییرات ساختاری موجب افزایش مصرف آب صنعتی شده است.

ژاو و همکاران (Zhao et al., 2017) ردپای آب خاکستری محصولات شهر شوژو چین را با استفاده از روش LMDI طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۰ بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد ردپای آب زراعی در این دوره دارای روند کاهشی داشته که کاهش سطح زیر کشت عامل اصلی آن بوده است. در مقابل، ترکیب و عملکرد محصولات، افزایش ردپای آب زراعی را به همراه داشته‌اند.

زو و همکاران (Zou et al., 2018) تقاضای آب کشاورزی حوضه رودخانه هیبه چین را طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ با استفاده از مدل LMDI بررسی کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد مقیاس و الگوی کاشت موجب افزایش تقاضای آب و در مقابل استفاده از فن‌آوری‌های صرفه‌جویی موجب کاهش مصرف آب شده است. به علاوه، تغییرات آب و هوایی ابتداً تقاضا برای آب را افزایش و سپس کاهش داده است.

ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2018) نیز مجدداً از روش LMDI برای تغییرات تقاضای آب کشاورزی همین منطقه طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۵ استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد: (۱) استفاده از آب کشاورزی یک روند افزایشی در حال نوسان داشته؛ (۲) مقیاس و الگوهای کشت استفاده از آب را افزایش داده‌اند، در حالی که سهمیه آبیاری و بهبود بهره‌وری موجب کاهش استفاده از آب کشاورزی شده‌اند؛ (۳) اثر محصولات در دوره‌های مختلف متفاوت است.

لانگ و همکاران (Long et al., 2019) تقاضای آب را با استفاده از روش LMDI طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۵ بررسی کردند. طبق نتایج به‌دست آمده اثر شدت (یعنی پیشرفت فن‌آوری صنعتی) مهمترین عامل کاهش مصرف آب و درآمد سرانه عامل اصلی افزایش مصرف تلقی می‌شود.

لی و همکاران (Li et al., 2019) مصرف آب و انرژی در چین را طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۵ با روش LMDI ارزیابی کردند. برای این کار تغییرات کلی آب مصرفی به چهار عامل مصرف صنعتی، ساختار صنعتی، مقیاس اقتصادی و مقیاس جمعیت تجزیه شده که بر اساس یافته‌های پژوهش رشد جمعیت و تولید ناخالص داخلی سرانه از عوامل اصلی افزایش مصرف آب بوده‌اند، در حالی که افزایش شدت مصرف موجب کاهش رشد مصرف شده است.

یائو و همکاران (Yao et al., 2019) با استفاده از مدل LMDI به تجزیه تفاوت‌های زمانی-مکانی شدت آب در منطقه اقتصادی رودخانه یانگتسه طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۵ پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که شدت آب صنعتی و ساختار صنعتی به ترتیب مهمترین عوامل کاهش شدت آب هستند.

آلان و همکاران (Allan et al., 2020) تقاضای آب صنعتی در اسکاتلند را به روش تجزیه شاخص طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۲ بررسی کردند. نتایج نشان داد اثر ساختاری تقاضای

آب را کاهش می‌دهد، اما این کاهش نمی‌تواند اثر افزایش فعالیت اقتصادی را جبران کند. همچنین محرک اصلی کاهش مصرف آب شدت مصرف آب است.

وانگ و وانگ (Wang & Wang, 2020) تقاضای آب برای ۳۱ استان چین را با LMDI در دو سطح ملی و استانی طی دوره ۲۰۰۴-۲۰۱۷ بررسی کردند. نتایج نشان داد که شدت مصرف آب و ساختار صنعتی به ترتیب مهم‌ترین عواملی هستند که رشد مصرف آب را کاهش می‌دهند. همچنین مشخص می‌شود که توسعه اقتصادی و اندازه جمعیت بر روی مصرف آب تاثیر مثبت دارند.

ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2020) تفاوت‌های مکانی شدت آب برای استان‌های چین را طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۵ مطالعه کردند. طبق نتایج این پژوهش، سهم عوامل اثر کل، اثر شدت و اثر ساختاری در شش منطقه مورد بررسی به طور قابل توجهی متفاوت بوده است.

سلطانی (۱۳۹۱) به بررسی تطبیقی الگوی مصرف و مدیریت تقاضای آب کشاورزی در کشورهای منطقه‌ی منا پرداخته است. طبق تحلیل وی، امنیت غذایی که در گذشته به مفهوم خودکفایی پیوند می‌خورده، با ارتقاء کارایی مصرف آب کشاورزی مبتنی بر مزیت نسبی در تضاد است و به هر حال کمبود آب در کشورهای خشک و نیمه‌خشک باید از طریق واردات آب مجازی برطرف شود.

رحیمی و همکاران (۱۳۹۲) با روش تحلیلی-مروری الگو مصرف متناسب با ظرفیت‌های تولید و ارزش واقعی را در کشورهای اروپایی (آلمان، هلند و بلژیک) طی دوره ۱۹۹۰-۲۰۰۷ بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که اعمال استراتژی‌های مدیریت تقاضا علاوه بر حفاظت منابع آبی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی موجب کاهش هزینه‌ها، افزایش ارزش افزوده و بهبود کیفیت خدمات شده است. این کشورها با وجود برخورداری از منابع آب فراوان توانسته‌اند متوسط مصرف خود را به ۱۲۰ لیتر به ازای هر نفر در شبانه‌روز کاهش دهند.

کرباسی و رفیعی‌داران (۱۳۹۳) تاثیر اجزای تقاضای نهایی بر مصرف آب استان خراسان رضوی در بخش‌های مختلف اقتصادی را با روش داده-ستاده بررسی کردند. بر اساس نتایج این مطالعه، افزایش ۲۰ درصدی در اجزای تقاضای نهایی که شامل صادرات، مصرف خصوصی، مصرف دولتی و سرمایه است به ترتیب موجب افزایش ۷۱۳، ۸۶۰ و ۳۰ و ۱۸

هزار مترمکعبی در مصرف آب شده است. همچنین یافته‌ها نشان داد تقاضای آب کم‌کشش است.

تهامی‌پور (۱۳۹۶) ارزش اقتصادی آب برای صنایع تولید مواد شیمیایی را طی دوره ۱۳۷۶-۱۳۹۲ برآورد کرد. وی با برآورد تابع تولید بر اساس داده‌های ترکیبی و روش باقی‌مانده نتیجه گرفت که تخصیص هر متر مکعب آب به فعالیت‌های صنعتی ذکر شده ارزشی معادل ۳۷۰۷۱ ریال ایجاد می‌کند، درحالی که هزینه خرید آن ۵۶۸۵ ریال است. بنابراین امکان افزایش تعرفه در قالب سیاست تبعیض قیمت بین کدهای صنعتی برای مدیریت تقاضای آب وجود دارد.

بدیع‌برزین و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی آثار سهمیه‌بندی و افزایش قیمت آب بر الگوی کشت و مدیریت تقاضای آب در دشت سیستان در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داده که اعمال سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری موجب کاهش سطح زیر کشت محصولات منتخب و کاهش بازده ناخالص کشاورزان دشت سیستان می‌شود.

تهامی‌پور رزندی و قربانی (۱۳۹۸) به ارزیابی حجم آب صادر و وارد شده در قالب تجارت محصولات کشاورزی طی دوره ۱۳۸۰-۱۳۹۴ پرداختند. نتایج نشان داده ایران در سال‌های مذکور در بخش محصولات زراعی واردکننده خالص آب مجازی و در بخش محصولات باغی صادرکننده خالص آب مجازی بوده و به طور کلی، در مجموع واردکننده خالص آب مجازی بوده است.

صبوحی صابونی و همکاران (۱۳۹۸) آثار سیاست مدیریت تقاضا بر تعادل منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز نیشابور طی دوره ۱۳۷۸-۱۳۹۰ را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج این مطالعه، سیاست کاهش سهم آبیاری اثر مثبتی بر سطح آب زیرزمینی دارد، بدون اینکه تأثیر زیادی بر کاهش میزان کشت و سود کشاورزان منطقه داشته باشد. تنها با ۲۰ درصد کاهش آب کشاورزی، سطح آب زیرزمینی تا سال ۱۴۰۰ حدود ۴/۷ متر افزایش می‌یابد.

نهاوندی و احمدیان (۱۳۹۸) تقاضای آب شهر قم را با روش پویایی سامانه‌ها بررسی کردند. این مطالعه نتیجه گرفته که با کاهش ۵۰ درصدی نرخ زاد و ولد میزان تقاضای آب ۲۹ درصد در سال ۱۴۰۵ در مقایسه با روند فعلی کاهش می‌یابد. همچنین اثر تغییر قیمت

بر میزان تقاضا ناچیز است و بر اساس این نتیجه سیاست کنترل جمعیت بیشترین تاثیر را بر تقاضای آب دارد.

شهیکی تاش و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ به برآورد تقاضای آب صنایع کارخانه‌ای ایران طی دوره ۱۳۸۳-۱۳۹۶ پرداختند. برآوردها نشان داد کشش‌های جزئی آلن علامت منفی دارند که نشان‌دهنده رابطه منفی بین قیمت و مقدار تقاضا است. مقدار کشش قیمتی تقاضا برای نهاده آب از لحاظ قدر مطلق بیشتر از سایر نهاده‌های دیگر بوده که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این نهاده نسبت به قیمت است. اگرچه با توجه به مقدار کم کشش قیمتی نهاده آب تأثیر سیاست‌های قیمتی در کاهش تقاضا و صرفه‌جویی آب ناچیز است.

بر اساس جستجوهای انجام گرفته، مطالعه‌ای یافت نشد که در آن آب مصرفی صنایع ایران با استفاده از رویکرد تجزیه تقاضا تحلیل شده باشد؛ در حالی که پژوهش‌های خارجی بسیاری وجود دارد که با همین رویکرد آب مصرفی بخش‌هایی مانند کشاورزی و صنعت را بررسی کردند. بنابراین انجام پژوهش برای تحلیل روند مصرف آب صنایع ایران طی دو دهه اخیر و سیاست‌گذاری می‌تواند مفید باشد.

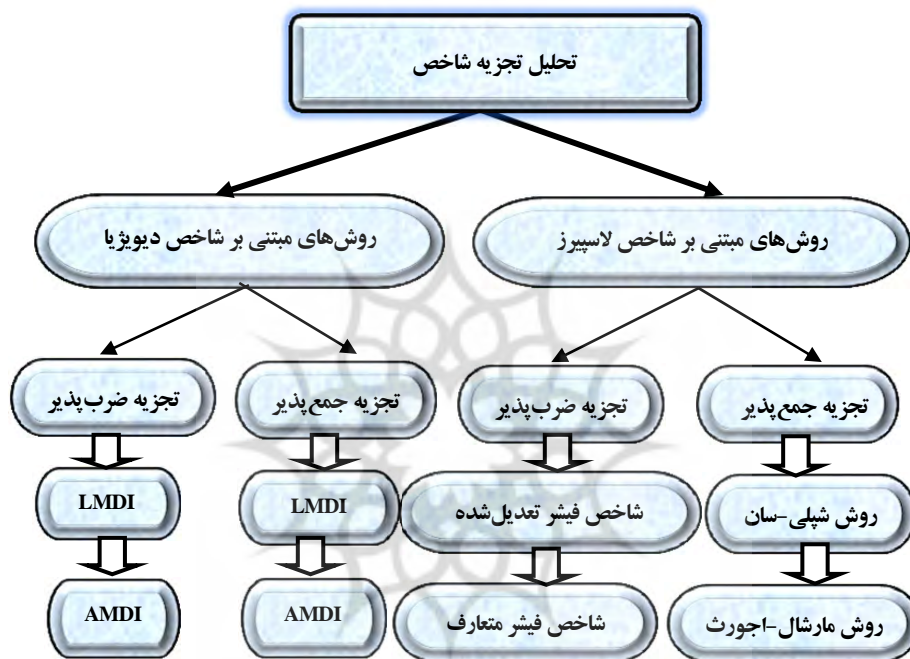
۴. روش و داده‌های پژوهش

۱.۴ روش تجزیه تقاضا

هدف پژوهش حاضر تجزیه و سپس تحلیل عوامل موثر بر تقاضای آب صنایع ایران است. بدین منظور از روش تجزیه تقاضا که به ویژه در حوزه انرژی بسیار رایج است، استفاده می‌شود. این روش از ابزارهای رایج برای بررسی و تحلیل کمی علل تغییر در تقاضا است که بر اساس آن می‌توان تقاضای آب در بخش صنایع را به عوامل موثر بر آن تجزیه کرد. در شکل ۱ انواع این روش ترسیم شده است.

رویکرد تحلیل تجزیه تقاضا (IDA) به دلیل انعطاف‌پذیری محاسباتی می‌تواند به شیوه‌های مختلفی انجام گیرد. شیوه اول بر پایه شاخص لاسپیرز است که در آن تغییرات درصدی متغیرها در طول زمان با استفاده از وزن سال پایه اندازه‌گیری می‌شود. از جمله مشکلات این شیوه آن است که در هنگام افزایش تعداد عوامل (به بیش از سه مورد) فرمول‌های محاسباتی آن‌ها، شکل پیچیده‌تری پیدا می‌کنند. شیوه دوم روش‌هایی هستند که

به شاخص دیویژیا مربوط می‌شوند. شاخص دیویژیا، جمع وزنی لگاریتمی نرخ‌های رشد متغیرها را محاسبه می‌کند که وزن‌های آن تشکیل‌دهنده میزان سهم‌ها در ارزش کل است. این شاخص به دو نوع شاخص دیویژیای میانگین حسابی (AMDI) و شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی (LMDI) تقسیم‌بندی می‌شود (Lin & Du, 2014؛ سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۱: تقسیم‌بندی روش‌های تحلیل تجزیه شاخص (IDA)

منبع: آنگ (۲۰۰۴)

اولین بار روش شاخص دیویژیا، به عنوان یک روش جایگزین برای شاخص لاسپیرز توسط بوید و همکاران (Boyd et al., 1988) پیشنهاد شد. در روش‌های شاخص دیویژیا، روش AMDI اکثر ویژگی‌های روش LMDI را دارد، اما AMDI در مقایسه با LMDI دو کمبود دارد، اول این روش در برخی از شرایط موجب ایجاد پسماند (باقی‌مانده) می‌شود. دوم آن که اگر مجموعه داده‌ها حاوی مقادیر صفر است کاربرد ندارد. با LMDI می‌توان

نشان داد که وقتی مقادیر صفر مجموعه داده با عدد مثبت کمی جایگزین می‌شوند، همگرا است اما AMDI این ویژگی همگرایی را ندارد (Ang, 2004).
تغییر زمانی متغیر W^t نسبت به دوره مبنا (پایه) برابر است با:

$$\Delta W^t = \sum_{i=1}^k \Delta W_i^t + \varepsilon^t. \quad (1)$$

در این معادله ΔW_1^t تا ΔW_k^t تغییراتی از متغیر x^t را نشان می‌دهند که به ترتیب به اجزای x_1 تا x_k مربوط بوده و به صورت زیر قابل محاسبه هستند:

$$\begin{aligned} \Delta W_1^t &= \sum_{i=1}^n (x_{1i}^t - x_{1i}^0) x_{2i}^0 \dots x_{ki}^0, \\ &\vdots \\ \Delta W_k^t &= \sum_{i=1}^n x_{1i}^0 \dots x_{k-1,i}^0 (x_{ki}^t - x_{ki}^0). \end{aligned} \quad (2)$$

اکنون فرض شود W میزان تقاضای آب صنعتی کشور باشد و اندیس i بخش‌های صنعت را نشان دهد (در این پژوهش شامل ۲۴ زیر بخش دو رقمی بخش صنعت است)، در نتیجه می‌توان آن را به صورت نهایی زیر بیان کرد:

$$W = Q \cdot \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{Q} = Q \cdot \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{Q_i} \cdot \frac{Q_i}{Q} = Q \cdot \sum_{i=1}^n a_i s_i, \quad (3)$$

که در آن W تولید کل کشور است. W_i/Q_i ضریب فنی (معکوس بهره‌وری) تقاضای آب است که با a_i نشان داده می‌شود. Q_i/Q سهم بخش‌های تولیدی است که با s_i نشان داده می‌شود. بنابراین، می‌توان تغییرات تقاضای آب را بر اساس تغییر سه مولفه تولید، ضریب فنی (معکوس بهره‌وری) و سهم صنایع (Q ، a و s) تفکیک کرد:

$$\begin{aligned} \Delta W_1 &= (Q^t - Q^0) \sum_{i=1}^n a_i^0 s_i^0, \\ \Delta W_2 &= Q^0 \sum_{i=1}^n (a_i^t - a_i^0) s_i^0, \\ \Delta W_3 &= Q^0 \sum_{i=1}^n a_i^0 (s_i^t - s_i^0). \end{aligned} \quad (4)$$

سه معادله بالا به ترتیب اثر رشد اقتصادی، اثر ضریب فنی (معکوس بهره‌وری) تولید و اثر تغییر ساختار تولید را نشان می‌دهند. این روش تجزیه مبنایی شبیه لاسپیرز دارد. همان طور که مشخص است:

$$\sum_{j=1}^K \Delta W_j^t + \varepsilon^t = \Delta x^t, \quad (5)$$

که اختلاف موجود در عبارت، خطا (ε^t) نامیده می‌شود و در واقع اثرات متقابل را نشان می‌دهد (Ang, 2004). خطا هنگامی که متغیرها در طول زمان نوسانات زیادی داشته باشند، قابل توجه خواهد بود (Sun, 1998; Ang & Zhang, 2000). برای رفع این مشکل سان (Sun, 1998) پیشنهاد می‌کند که خطا به طور مساوی بین اثرات تجزیه‌شده توزیع شود. این روش لاسپیرز اصلاح شده نام دارد و اثرات بر اساس آن به صورت خواهد بود:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta W}_1 = \Delta W_1 + \frac{1}{2}(Q^t - Q^0)[\sum_{i=1}^n (a_i^t - a_i^0)s_i^0 + \sum_{i=1}^n a_i^0(s_i^t - s_i^0)] + \\ \frac{1}{3}(Q^t - Q^0)\sum_{i=1}^n (a_i^t - a_i^0)(s_i^t - s_i^0), \end{aligned} \quad (۶)$$

به همین ترتیب برای $\overline{\Delta W}_2$ و $\overline{\Delta W}_3$ بدست می‌آید. پس در روش لاسپیرز اصلاح شده، اجزای اثرات متقابل با وزن یک-دوم و جز اثر متقابل سه‌گانه با وزن یک-سوم اضافه خواهد شد (Gonzalez et al., 2014; Sun, 1996, 1998). اما توزیع مساوی اثرات متقابل دلیل موجهی ندارد. بنابراین آنگ و چو (Ang & Choi, 1997) پیشنهاد می‌کنند که از روش میانگین حسابی دیویژیا (Arithmetic mean Divisia) استفاده شود. با این روش خطای تجزیه به مقدار قابل توجهی تعدیل می‌شود؛ اما صفر نمی‌شود. به همین دلیل، آنگ پیشنهاد می‌کند که به جای میانگین ساده از میانگین لگاریتمی استفاده شود.

این روش که میانگین لگاریتمی دیویژیا نام دارد، تجزیه کامل است و خطا به کلی حذف شده و اثرات متقابل به نحو صحیحی در اثرات تجزیه‌شده ادغام شده‌اند (Wood & Lenzen, 2006; Gonzalez et al., 2014). به همین دلیل در این پژوهش پیشنهاد شده که به جای میانگین ساده وزن‌های تقاضای آب بخشی صنعت (W_i^t و W_i^0) از میانگین لگاریتمی دیویژیا آن‌ها استفاده شود. بنابراین اثرات تجزیه‌شده به صورت زیر در خواهند آمد:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta W}_1 = \sum_{i=1}^n L(W_i^0, W_i^t) Ln(Q^t/Q^0), \\ \overline{\Delta W}_2 = \sum_{i=1}^n L(W_i^0, W_i^t) Ln(a_i^t/a_i^0), \\ \overline{\Delta W}_3 = \sum_{i=1}^n L(W_i^0, W_i^t) Ln(s_i^t/s_i^0). \end{aligned} \quad (۷)$$

۲.۴ داه‌های پژوهش

برای انجام پژوهش به روش میانگین لگاریتمی دیویژیا و بررسی عوامل موثر بر تقاضای آب صنعتی ایران طی دوره ۱۳۷۵-۱۳۹۶، داده‌های ارزش افزوده بخش صنعتی و مقدار آب مصرفی آن‌ها برای «کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر» از سالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران گردآوری شده است. کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر به عنوان صنایع متوسط و بزرگ، در ۲۳ زیربخش صنعتی (کدهای دو رقمی ISIC) طبقه‌بندی شده که کدها و فعالیت‌ها در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱: کد و فعالیت زیربخش‌های دو رقمی بخش صنعت

کد	فعالیت	کد	فعالیت
۱۱	فرآورده‌های غذایی و انواع آشامیدنی‌ها	۲۳	سایر فرآورده‌های معدنی غیرفلزی
۱۲	فرآورده‌های توتون و تنباکو	۲۴	فلزات پایه
۱۳	منسوجات	۲۵	محصولات فلزی به جز ماشین‌آلات
۱۴	پوشاک	۲۶	ساخت محصولات رایانه‌ای، الکترونیکی
۱۵	چرم و فرآورده‌های وابسته	۲۷	تجهیزات برقی
۱۶	چوب و فرآورده‌های چوب و چوب‌پنبه	۲۸	ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده
۱۷	کاغذ و فرآورده‌های کاغذی	۲۹	وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم تریلر
۱۸	چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده	۳۰	سایر تجهیزات حمل و نقل
۱۹	کک و فرآورده‌های حاصل از پالایش نفت	۳۱	تولید مبلمان
۲۰	مواد شیمیایی و فرآورده‌های شیمیایی	۳۲	سایر مصنوعات طبقه‌بندی نشده
۲۱	داروها و فرآورده‌های دارویی شیمیایی و گیاهی	۳۳	تعمیر و نصب ماشین‌آلات و تجهیزات
۲۲	فرآورده‌های لاستیکی و پلاستیکی		

منبع: مرکز آمار ایران

۵. یافته‌های پژوهش

بر اساس روش جمع‌پذیری شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا، سهم سه عامل رشد اقتصادی، ضریب فنی (معکوس بهره‌وری) و ساختار صنعت در تغییرات تقاضای آب

ارائه نظامی مفهومی برای طبقه‌بندی ... (مریم حکیمی و دیگران) ۸۵

صنعتی طی دوره ۱۳۷۵-۱۳۹۶ برآورد شد. سال ۱۳۷۵ به عنوان دوره پایه انتخاب و تغییرات تقاضای آب مصرفی صنایع در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۶، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ نسبت به این سال پایه محاسبه و تجزیه شده است. بنابراین تجزیه تقاضا دوره‌های ۵، ۱۱، ۱۵، ۲۰ و ۲۱ ساله را شامل می‌شود. لازم به ذکر است که محاسبات در محیط نرم‌افزار اکسل (Excel) انجام گرفته است.

همان طور که در جدول ۲ و نمودار ۴ مشاهده می‌شود، در طی همه دوره‌های مورد بررسی رشد اقتصادی یا به بیان دقیق‌تر افزایش تولید صنعتی، بیشترین سهم را در افزایش تقاضای آب صنعتی داشته است. همچنین ضریب فنی و اثر ساختاری موجب کاهش تقاضای آب شده‌اند؛ اما نتوانسته‌اند اثر افزایش تقاضای رشد اقتصادی را خنثی کنند. البته تنها استثنا دوره پنج ساله ۱۳۷۵-۱۳۸۰ است که در آن اثر دو عامل ضریب فنی و اثر ساختاری، اثر افزایشی رشد اقتصادی را خنثی کرده و کاهش تقاضای آب صنعتی را به همراه داشته است.

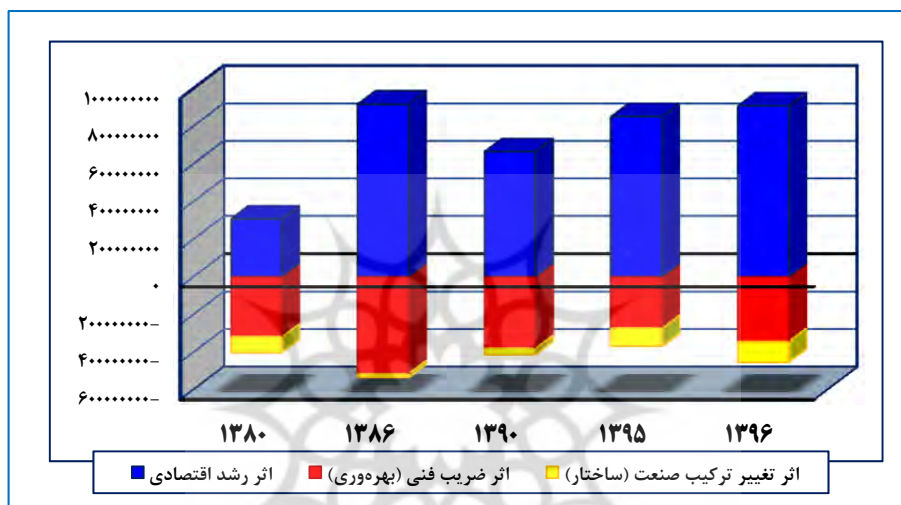
جدول ۲: سهم عوامل مختلف در تقاضای آب صنعتی بر اساس سال پایه ۱۳۷۵

سال	۱۳۸۰	۱۳۸۶	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۳۹۶
اثر رشد اقتصادی (درصد)	۳۰۷۵۶۱۸۸۲ (۴۳)	۹۱۶۴۹۲۹۴۳ (۶۳)	۶۶۳۹۳۷۱۰۲ (۶۲)	۸۵۰۲۳۰۰۰۸ (۷۰)	۹۰۷۰۹۶۱۱۲ (۶۷)
اثر ضریب فنی (درصد)	-۳۱۸۳۰۴۹۹۸ (۴۵)	-۵۱۳۶۵۷۸۶۷ (۳۶)	-۳۷۹۹۵۳۸۵۹ (۳۵)	-۲۷۳۰۰۳۷۷۸ (۲۲)	-۳۴۲۲۲۸۸۵۳ (۲۵)
اثر تغییر ترکیب صنعت (درصد)	-۸۱۳۹۰۸۸۵ (۱۲)	-۲۰۰۶۰۰۷۶ (۱)	-۳۲۹۶۴۲۴۳ (۳)	-۹۵۵۶۴۲۱۰ (۸)	-۱۰۸۷۱۲۶۹۰ (۸)
اثر کل	۹۳۱۳۴۰۰۰	۳۸۲۷۷۵۰۰۰	۲۵۱۰۱۹۰۰۰	۴۸۱۶۶۲۰۲۰	۴۵۶۱۵۴۵۷۰

منبع: یافته‌های پژوهش

رشد اقتصادی مهم‌ترین عامل محرک در افزایش تقاضای آب بخش صنعت به شمار می‌رود که سهم بیش از ۶۰ درصد در دوره‌های ۱۰ ساله به بالا داشته است. در مقابل، اثر ساختاری و ضریب فنی اثر منفی در تقاضای آب صنعتی داشتند. منفی بودن اثر ساختاری بدین معنی است که ساختار صنعت ایران از صنایع با شدت آب‌بری بالاتر به سمت صنایع

با شدت کمتر آب‌بری تغییر کرده و این مسئله موجب کاهش تقاضای آب شده است. البته اثر ساختاری نقش کمتر از ۱۰ درصد در تغییرات تقاضای آب داشته است. همچنین اثر منفی ضریب فنی در همه دوره‌ها نشان‌دهنده بهبود بهره‌وری آب است. سهم این عامل در کاهش تقاضای آب بیشتر از اثر ساختاری بوده اما روند کاهشی داشته است. اثر بهره‌وری از ۴۵ درصد در دوره منتهی به سال ۱۳۸۰ به تقریباً ۲۵ درصد در دوره بلندمدت منتهی به ۱۳۹۶ کاهش یافته است.



نمودار ۴: سهم عوامل مختلف در تقاضای آب صنعتی بر اساس سال پایه ۱۳۷۵

منبع: یافته‌های پژوهش

در ادامه تغییرات تقاضای آب هر کد دورقمی به سه اثر رشد اقتصادی، ضریب فنی (بهره‌وری) و تغییر ترکیب صنعت (ساختار) تفکیک و توصیف می‌شود. صنایع بر اساس این که تقاضای آب آنها افزایش داشته یا کاهش، به سه دسته افزایشی، کاهشی و نوسانی تقسیم‌بندی شده‌اند و نتایج هر گروه جداگانه گزارش می‌شود.

۱.۵ صنایع با روند افزایشی تقاضای آب

دسته اول کدهای ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۲ و ۳۳ را شامل می‌شود که تقاضای آب آنها در طی دوره‌های مورد بررسی روند افزایشی داشته است. صنایع این کدها به

ترتیب بیان شده عبارتند از: مواد غذایی و آشامیدنی، منسوجات، پوشاک، فلزات پایه، محصولات یارانه‌ای، تجهیزات برقی، ماشین آلات، وسایل نقلیه موتوری و سایر مصنوعات طبقه‌بندی نشده و تعمیر و نصب ماشین آلات. عموماً صنایع این گروه کالاهای بادوام و صنایع سنگین به شمار می‌روند؛ البته مواد غذایی و آشامیدنی و منسوجات و پوشاک از صنایع کالاهای سبک و کم‌دوام هستند.

نتایج تجزیه تقاضای این کدها در نمودار ۵ مشاهده می‌شود. در این گروه، افزایش تولید صنعتی در همه دوره‌ها با روند افزایشی سهم قابل توجهی در افزایش تقاضای آب داشته است. برای نمونه، در همه دوره‌های کد ۳۲، دوره‌های ۱۱ تا ۲۱ ساله کد ۱۱، دوره‌های ۵، ۱۱، ۲۰ و ۲۱ ساله کد ۲۷ و همچنین دوره‌های ۱۱ و ۱۵ ساله کد ۲۴ بیشترین سهم در افزایش تقاضای آب از جانب افزایش تولید اتفاق افتاده است. در کد ۱۳ نیز افزایش تولید صنعتی در اغلب دوره‌ها بیشترین سهم را در افزایش تقاضای آب نسبت به دو عامل دیگر داشته است.

تغییر سهم صنعت با اثر منفی در صنایع «منسوجات» و «مواد غذایی و آشامیدنی» در همه دوره‌های مورد بررسی موجب کاهش تقاضای آب شده و در صنعت منسوجات بیشترین سهم را در تغییرات تقاضای آب این زیر بخش صنعتی داشته است. تغییر سهم صنعت «پوشاک» نیز در همه دوره‌ها دارای اثر منفی بوده که در دوره ۱۱ و ۱۵ ساله بیشترین سهم را در تقاضای آب داشته و نشان‌دهنده کاهش تقاضای آب این صنایع از جانب کاهش سهم‌شان در صنعت کشور است.

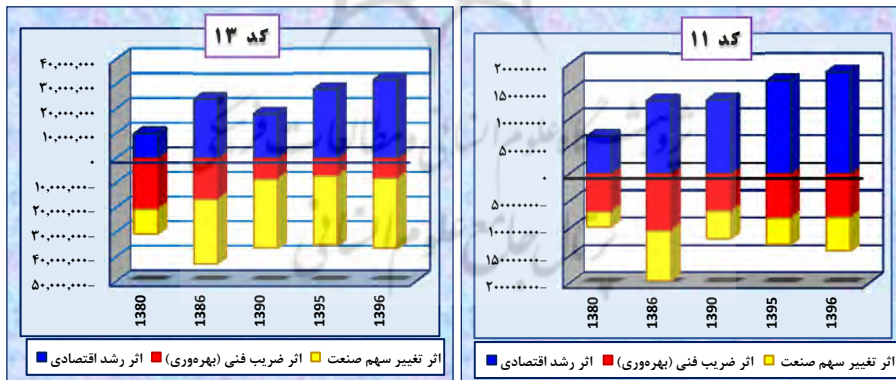
البته استثناهایی در این گروه وجود دارد. در دو صنعت «تجهیزات برق» و «تعمیر و نصب ماشین آلات» اثر تغییر سهم صنعت در همه دوره‌های اثر مثبت بر تقاضای آب داشته است. در دوره‌های ۲۱ و ۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۰ و ۱۳۷۵-۱۳۹۶) کدهای ۲۴، ۲۶، ۲۸، ۲۹ و ۳۳ نیز تغییر سهم صنعت با اثر مثبت بیشترین سهم را در افزایش تقاضای آب داشته است. پس تقاضای آب صنعت در ایران از یک سو از جانب افول صناعی مانند منسوجات و پوشاک کاهش و در مقابل از جانب افزایش سهم صنایع فلزی و مرتبط با آن، افزایش یافته است.

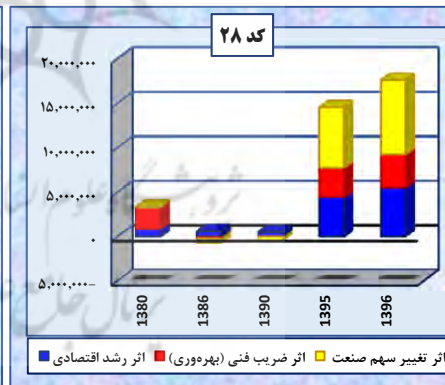
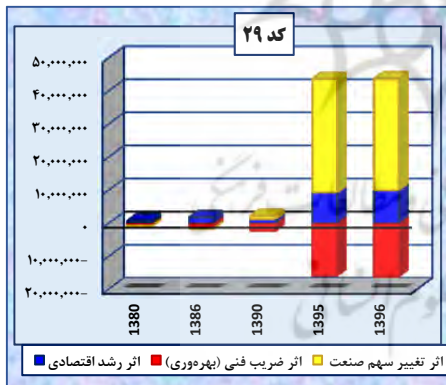
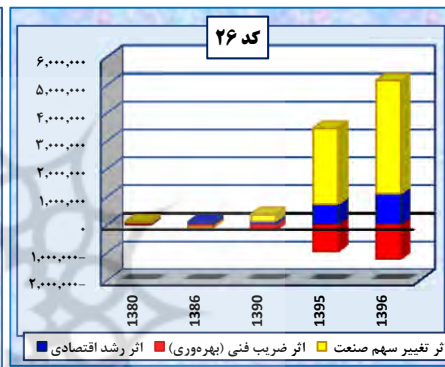
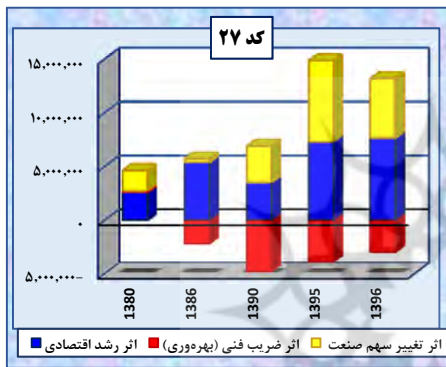
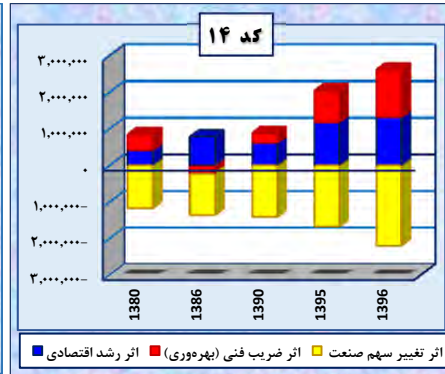
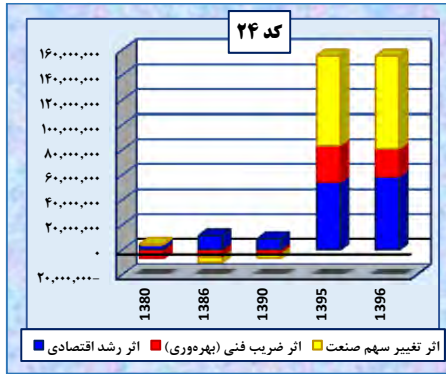
به طور کلی مشخص شد طی سه دوره اول تغییر سهم صنعت اثر منفی در تقاضای آب داشته و موجب کاهش تقاضای آب شده است. اما از دهه ۱۳۹۰ اثر ساختاری مثبت موجب

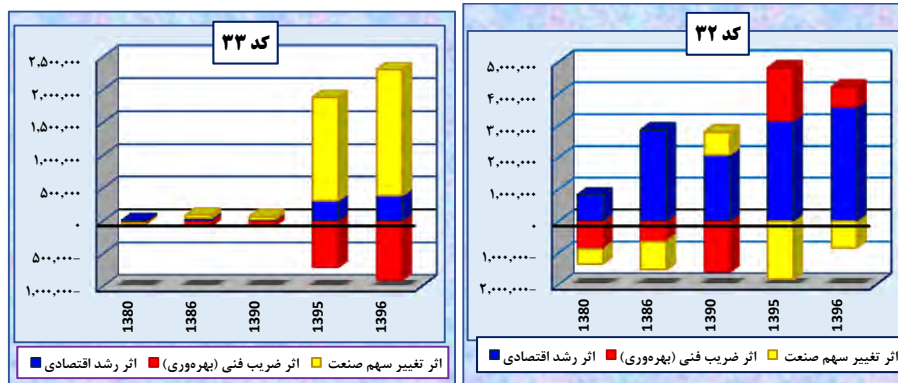
افزایش تقاضای آب شده است. تغییر اثر ساختاری از منفی به مثبت نمایانگر این است که ساختار صنایع این دسته از صنایع با شدت آبربری کمتر به سمت صنایع با شدت آبربری بالاتر تغییر کرده و تغییر سهم صنعت موجب افزایش تقاضای آب شده است.

اثر ضریب فنی در میان کدهای این گروه متفاوت است. اثر ضریب فنی صنایع ۱۱، ۱۳، ۲۶، ۲۷ (به غیر از دوره ۵ ساله)، ۲۹ و ۳۳ در همه دوره‌ها منفی بوده که نشان‌دهنده بهبود بهره‌وری آب در صنایع تولید مواد غذایی و آشامیدنی، منسوجات، ساخت محصولات رایانه‌ای، الکترونیکی و نوری و تولید وسایل نقلیه موتوری، تجهیزات برقی، تریلر و نیم تریلر و تعمیر و نصب ماشین‌آلات است. به ویژه در کد ۲۹ بهبود بهره‌وری بیشترین سهم را در کاهش تقاضای آب این دو دوره داشته است.

البته اثر منفی ضریب فنی که متناظر بهبود بهره‌وری آب و کاهش تقاضا با حفظ سطح تولید است، در برخی موارد دیگر نیز مشاهده می‌شود: در دوره ۱۱ ساله (۱۳۷۵-۱۳۸۶) کد ۱۴، سه دوره ۵، ۱۱ و ۱۵ ساله کد ۲۴، دوره ۱۵ ساله کد ۲۷، دو دوره ۱۱ و ۱۵ ساله کد ۲۸ و دوره‌های ۵، ۱۱ و ۱۵ ساله کد ۳۲. همچنین در سه دوره ۵، ۱۱ و ۱۵ ساله کد ۳۳ و دوره ۵ ساله (۱۳۷۵-۱۳۸۰) کدهای ۱۱، ۲۴ و ۳۲ بیشترین سهم را در تقاضای آب از جانب بهبود بهره‌وری تجربه کردند. عامل ضریب فنی در دیگر صنایع و دوره‌های این گروه دارای اثر مثبت بوده که یک پسرفت در بهره‌وری آب را منعکس می‌کند (نمودار ۵).







نمودار ۵: نتایج تجزیه صنایع با تقاضای آب افزایشی

منبع: یافته‌های پژوهش

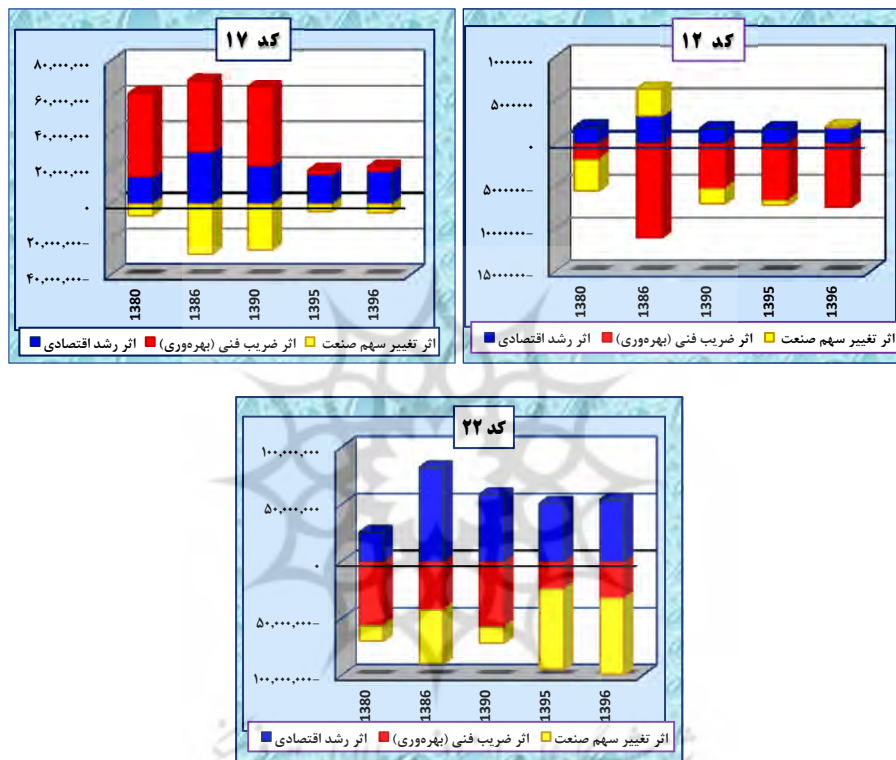
۲.۵ صنایع با روند کاهشی تقاضای آب

این دسته شامل صنایع تولید فرآورده‌های توتون و تنباکو، کاغذ و فرآورده‌های کاغذی و تولید فرآورده‌های لاستیکی و پلاستیکی (۱۲، ۱۷ و ۲۲) است و تقاضای آب آن‌ها در طی دوره‌های مورد بررسی این پژوهش روند کاهشی داشته است. نمودار ۶ تجزیه تقاضای آب آن‌ها را نشان می‌دهد.

افزایش تولید صنعتی در همه دوره‌های هر سه کد موجب افزایش تقاضای آب شده و حتی در دوره ۲۰ و ۲۱ ساله صنعت کاغذ و فرآورده‌های کاغذی و دوره ۱۱ و ۱۵ ساله صنعت تولید فرآورده‌های لاستیکی و پلاستیکی بیشترین سهم را نسبت به دو عامل دیگر (ساختار و بهره‌وری) در تقاضای آب داشته است.

تغییر سهم صنعت به جز یک استثنا (دوره ۱۱ ساله کد ۱۲) همواره اثر منفی بر تقاضای آب داشته و به بیان دیگر موجب کاهش تقاضای آب شده است. این اثر منفی نشان‌دهنده این است که صنایع این گروه در ساختار صنایع ایران به نفع صنایع دیگر به طور نسبی کوچک شده‌اند. عامل ضریب فنی در تولید کاغذ (کد ۱۷) اثر مثبت و در تولید توتون و فرآورده‌های لاستیکی (کدهای ۱۲ و ۲۲) اثر منفی بر تقاضای آب داشته است. همچنین این عامل در اغلب دوره‌ها، بزرگترین سهم را در تغییرات تقاضای آب صنایع این گروه به عهده

داشته است. از آن جایی که اثر منفی ضریب فنی گویای بهبود بهره‌وری است؛ می‌توان ادعا کرد که صنایع «دخانیات» و «پلاستیک» با بهبود بهره‌وری موفق به کاهش تقاضای آب خود شدند، در حالی که بهره‌وری آب در صنعت کاغذ ابتدا کاهش و در سال‌های اخیر ثابت شده است (نمودار ۶).



نمودار ۶: نتایج تجزیه صنایع با تقاضای آب کاهشی

منبع: یافته‌های پژوهش

۳.۵ صنایع با روند نوسانی در تقاضای آب

این دسته شامل کدهای باقی‌مانده است که عبارتند از: ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۳۰ و ۳۱ است. تغییرات تقاضای آب این صنایع روند مشخصی ندارد. برای نمونه در کد

۲۳ تقاضای آب طی دوره ۱۱ ساله (۱۳۷۵-۱۳۸۶) کاهش و در ادامه افزایش یافته است. یا اینکه تقاضای آب در کد ۱۶ طی دوره‌های ۱۱، ۱۵ و ۲۱ کاهش و در دوره ۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۵) افزایش یافته است. همچنین در کد ۱۹ در طی دوره ۱۱، ۲۰ و ۲۱ ساله تقاضای آب افزایش و در دوره ۱۵ ساله کاهش یافته و در کدهای ۲۰ و ۲۵ نیز تقاضای آب طی دوره ۱۱ و ۱۵ ساله افزایش و طی دوره ۲۰ و ۲۱ ساله کاهش داشته است. کدهای دیگر هم نوسان در تقاضای آب را پشت سر گذاشتند.

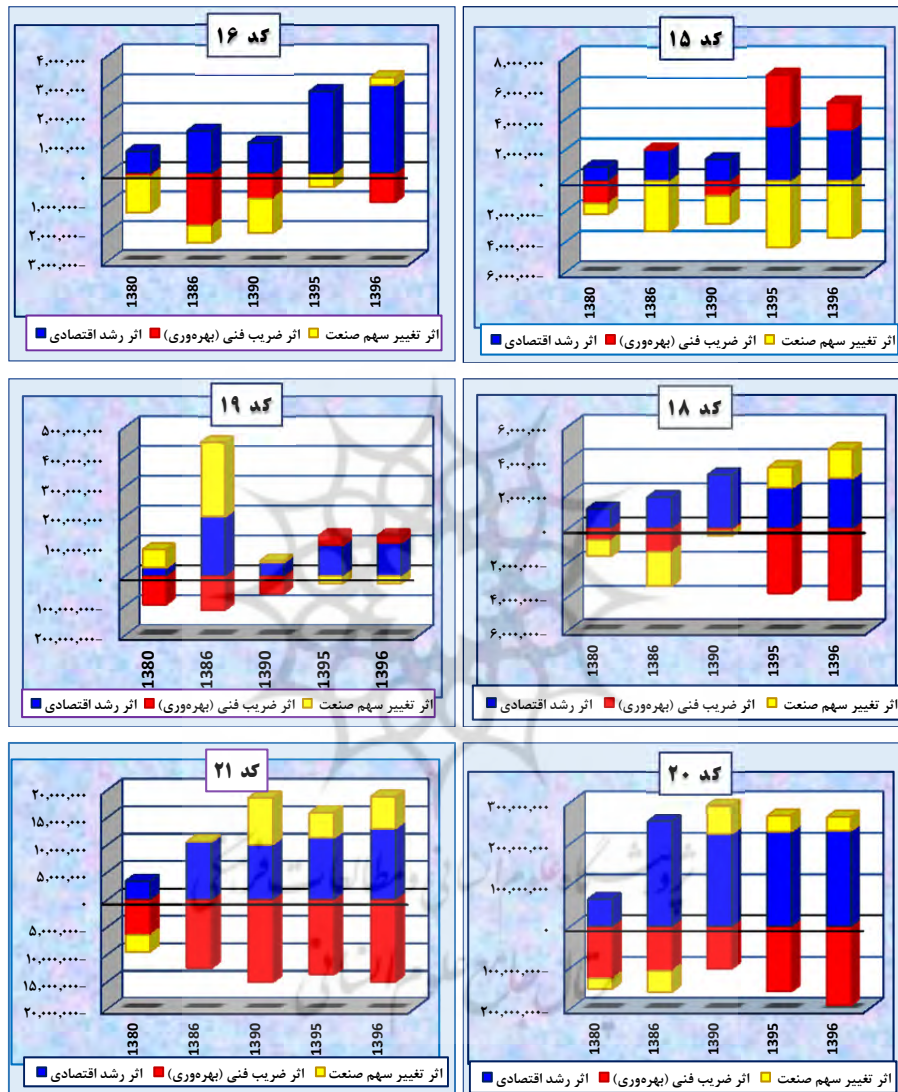
همان طور که از نمودارهای ۷ نیز مشخص است رشد اقتصادی در همه دوره‌ها دارای اثر مثبت بوده و موجب افزایش تقاضای آب شده است. به بیان دیگر، تولید صنعتی موجب افزایش تقاضای آب شده و بیشترین سهم (مهمترین عامل) را در افزایش تقاضای آب همه دوره‌های کد ۲۳ و اغلب دوره‌های کدهای ۲۰ و ۲۵ داشته است. کدهای دیگر که تولید صنعتی بیشترین سهم را در افزایش تقاضای آب آن‌ها داشته عبارتند از: دوره ۲۰ و ۲۱ ساله کد ۱۶ و ۱۹، دوره ۵ و ۱۵ ساله کد ۱۸، دوره‌های ۵ و ۲۰ ساله کد ۳۱.

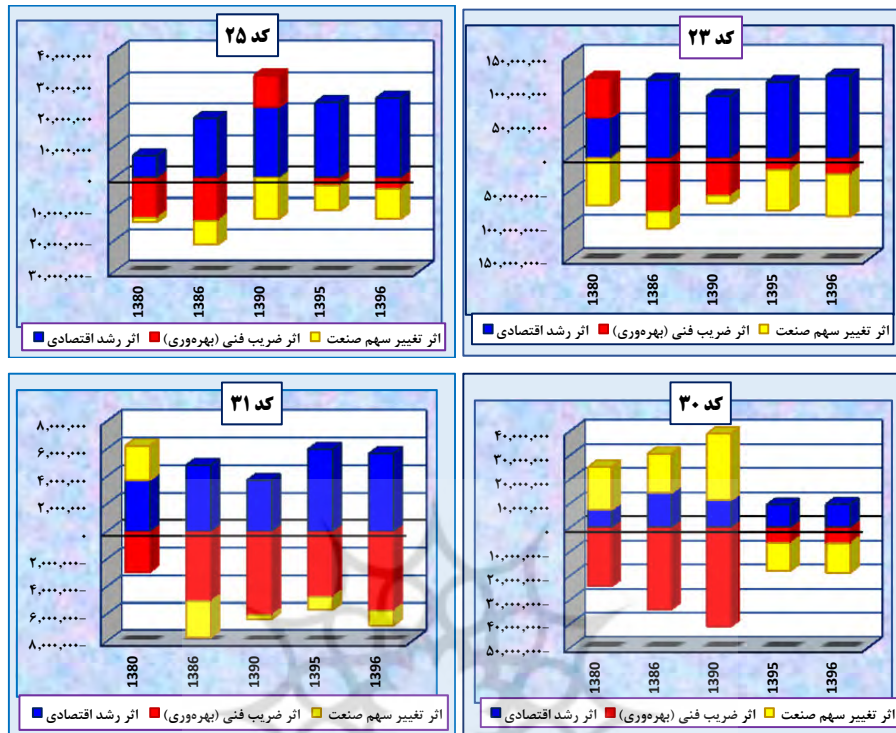
عامل ضریب فنی به جز برخی موارد محدود مانند دوره‌های ۱۱، ۲۰ و ۲۱ ساله کد ۱۵ و دوره‌های ۲۰ و ۲۱ ساله کد ۱۹ که دارای اثر مثبت بر تقاضای آب بوده؛ در دیگر کدها و دوره‌های این گروه دارای اثر منفی بوده و موجب کاهش تقاضای آب شده است. اثر منفی ضریب فنی منعکس‌کننده افزایش بهره‌وری در این صنایع است. محاسبات نشان می‌دهد که بهبود بهره‌وری و عوامل فنی در صنعت دارویی کشور در همه دوره‌ها موثرترین عامل در کاهش تقاضای آب این صنعت بوده‌اند.

اثر تغییر سهم صنعت در همه دوره‌های کدهای ۱۵، ۲۳، ۲۵ و کد ۳۱ (به غیر دوره ۵ ساله) و همچنین کد ۱۶ (به جز دوره ۲۱ ساله) اثر منفی بر تقاضای آب داشته است. اثر منفی تغییر سهم این صنایع نشان‌دهنده کوچکتر شدن این صنایع در ساختار صنعتی به نفع صنایع دیگر است. البته در مقابل نیز صنایعی مانند تولید فرآورده‌های دارویی شیمیایی و گیاهی و همچنین سایر تجهیزات حمل و نقل بزرگتر شده و بدین ترتیب بر مصرف آب صنعتی افزوده‌اند.

در مجموع تغییر سهم صنعت در این دسته طی دوره‌های ۵، ۲۰ و ۲۱ ساله اثر منفی و در دو دوره ۱۱ و ۱۵ ساله اثر مثبت بر تقاضای آب داشته است و این عامل روند نوسانی دارد. اثر منفی در دهه دوم دوره مورد بررسی نشان‌گر تغییر ساختار این صنایع از شدت

آب‌بری بالاتر به سمت شدت آب‌بری کمتر است که کاهش تقاضای آب این دسته را در پی داشته است (نمودار ۷).





نمودار ۷: نتایج تجزیه صنایع با تقاضای آب نوسانی

منبع: یافته‌های پژوهش

۶. نتیجه‌گیری

با افزایش جمعیت جهان به ویژه در کشورهای در حال توسعه، تقاضای آب به منظور تأمین نیازهای جمعیت افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته و کمبود آب شیرین در کشورهای کم‌باران از جمله ایران به مسئله جدی تبدیل شده است. از یک طرف کمبود آب به دلیل کاهش بارندگی و از طرف دیگر افزایش مصرف و تقاضای آب موجب شده که برداشت از آب‌های زیرزمینی، رودخانه‌ها و سدهای موجود شدت یابد و در نتیجه از میزان آب موجود برای مصارف صنعتی و کشاورزی کاسته شود.

به هر حال، با مرور شواهد و پژوهش‌های تجربی در حوزه آب می‌توان به نقش و اهمیت آب در توسعه و رشد جامعه پی برد. با توسعه کشورها، تقاضای آب در بخش صنعت بیشتر از سایر بخش‌ها افزایش می‌یابد و از سوی دیگر با محدود بودن منابع آب در دسترس این کشورها، مسئله آب بیش از پیش حائز اهمیت می‌شود. ایران از جمله کشورهای در حال توسعه در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان است و در نتیجه مسئله کم‌آبی در حال و آینده آن بیشتر نمود دارد. کمبود آب موجب شده محیط‌زیست در معرض آسیب جدی قرار گیرد و از این جهت خساراتی به اقتصاد کشور وارد شده است. بنابراین توجه به مسائل اقتصادی آب و همچنین بررسی دقیق‌تر تقاضای آب بسیار بیشتر از گذشته ضروری است.

واکاوی تقاضای آب کمک می‌کند با مدیریت تقاضا از طریق سازوکارهای اقتصادی تا حدودی از زیان‌ها جلوگیری کرد. به همین جهت، در این پژوهش تقاضای آب در بخش صنایع ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته تا بتوان تقاضای آب صنعتی را به نحو مطلوب‌تری مدیریت کرد. سوال اصلی پژوهش این است که عوامل افزایش تولید، تغییر ساختار صنعت و یا تغییر بهره‌وری چه میزان در کاهش یا افزایش تقاضای آب نقش داشتند؟

در تقاضای آب صنعتی با سال پایه ثابت ۱۳۷۵، تولید صنعتی موثرترین عامل در افزایش تقاضای آب بوده و سهم آن در طی دوره ۵ تا ۲۱ ساله این پژوهش از ۴۳ درصد به نزدیک ۷۰ درصد رسیده است. رشد اقتصادی در همه دوره‌ها بزرگترین سهم را در افزایش تقاضای آب داشته و تنها در دوره ۵ ساله (۱۳۷۵-۱۳۸۰) بعد از عامل ضریب فنی، با سهم ۴۳ درصد دومین عامل در افزایش تقاضای آب بوده است. همچنین در این روش تجزیه، دو عامل دیگر یعنی ضریب فنی (معکوس بهره‌وری) و تغییر ترکیب صنعت اثر منفی بر تقاضای آب داشتند. اثر منفی ضریب فنی، بیانگر بهبود بهره‌وری آب بوده که سهم آن در کاهش تقاضای آب دوره مورد بررسی از ۴۵ درصد به ۲۵ درصد کاهش یافته است. اثر منفی ساختار گویای تغییر ساختار صنایع به سمت صنایع با آب‌بری کمتر است که سهم کمتر از ۱۰ درصد در کاهش تقاضای آب ایفا کرده است. در مجموع، طی دوره ۱۳۷۵-۱۳۹۶ اثر مثبت تولید صنعتی با غلبه بر مجموع دو اثر منفی ضریب فنی و تغییر سهم صنعت بیشترین سهم را در افزایش تقاضای آب صنعتی داشته است (جدول ۳).

جدول ۳: تجزیه تقاضای آب با سال پایه ۱۳۷۵

سال	۱۳۸۰	۱۳۸۶	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۳۹۶
اثر رشد اقتصادی «مثبت»	۴۳٪	۶۳٪	۶۲٪	۷۰٪	۶۷٪
اثر ضریب فنی (اثر بهره‌وری) «منفی»	۴۵٪	۳۶٪	۳۵٪	۲۲٪	۲۵٪
اثر تغییر ترکیب صنعت (ساختار) «منفی»	۱۲٪	۱٪	۳٪	۸٪	۸٪

منبع: یافته‌های پژوهش

بر اساس یافته‌های بالا، در صورت ادامه روند فعلی تولید-محور، توسعه اقتصادی و صنعتی ایران با مشکلات جدی روبه‌رو خواهد شد. به گفته مان (۱۹۸۲)، «حداقل چهار تعریف از حفاظت آب وجود دارد» که عبارتند از: (۱) استفاده و توسعه کامل آب؛ (۲) حفظ استفاده آب؛ (۳) کارایی فنی در استفاده از آب؛ (۴) بهره‌وری (صرفه) اقتصادی در استفاده از آب (گریفین، ۲۰۰۶؛ فلورس-کایولا، ۲۰۲۱). در همین راستا، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد تقاضای آب کشور ایران در بخش صنعت، همواره رو به افزایش است و به طور کلی، از عوامل مورد بررسی (تولید صنعتی، بهره‌وری و تغییر ساختار)، عامل تولید صنعتی به دلیل رشد جمعیت و افزایش مقدار تولید همواره در جهت افزایش تقاضای آب عمل می‌کند و کنترل آن سخت است. بنابراین، برای تامین آب مورد نیاز در بخش‌های مختلف صنعت می‌توان با دو عامل دیگر یعنی ضریب فنی (بهبود بهره‌وری) و تغییرات ساختاری صنایع از افزایش شدید تقاضای آب بخش صنعت جلوگیری کرد.

با بهبود بهره‌وری آب و تغییر ساختار صنایع به سمت آب‌بری کمتر می‌توان تا حدودی از افزایش مضاعف تقاضای آب صنعت کم کرد. در این راستا، توسعه فن‌آوری در بخش‌های مختلف صنعت می‌تواند تقاضای آب را از طریق بهبود کارایی استفاده از آب و افزایش بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب کاهش دهد. در بخش ساختاری نیز با کاهش سهم صنایع بیشتر آب‌بر از جمله تولید فرآورده‌های غذایی و انواع آشامیدنی و تولید فزانات پایه و تشویق صنایع کمتر آب‌بر (تولید پوشاک، چرم و چاپ و ...)، امکان صرفه‌جویی و کاهش تقاضای آب فراهم شود. اقدامات و استانداردهای اجباری در صرفه‌جویی مصرف آب و فن‌آوری‌های با بازده بالا تقاضای آب را کاهش خواهد داد. همچنین با توجه به قرار گرفتن کشور در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان، با بررسی میزان آب‌بری ساختار صنایع

می‌توان بر اساس مزیت نسبی عمل کرد و کالاهای صنایعی را که به شدت آب‌بر هستند را وارد کشور کرد تا از این طریق (یعنی واردات آب مجازی)، از برداشت بی‌رویه منابع آب‌های زیرزمینی جلوگیری کرد و تقاضای آب در بخش صنعت را کاهش داد. در مقابل، منابع کمیاب آب برای بخش‌ها و تکنولوژی‌های دارای مزیت نسبی که کم‌آب‌خواه‌تر خواهند بود، اختصاص می‌یابد.

کتاب‌نامه

- ابونوری، عباسعلی و مهرعلی، اکرم. (۱۳۹۱). تحلیل اثرات یارانه بر تقاضای آب خانگی شهر تهران. فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی (رویکرد اسلامی-ایرانی)، ۱۲(۴۵)، ۱-۲۶.
- اسماعیلی‌فرد، مریم و کاوه‌فیروز، حسن. (۱۳۹۵). آسیب شناسی سیاست‌گذاری آب در ایران. راهبرد اجتماعی و فرهنگی، ۵(۲۱)، ۱۶۹-۱۹۷.
- بدیع‌برزین، حسین و هاشمی‌تبار، محمود و حسینی، سید مهدی. (۱۳۹۸). اثر روش‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری بر الگوی کشت و تقاضای آب در دشت سیستان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳(۳)، ۴۶۳-۴۷۸.
- تهامی‌پور زرنندی، مرتضی و قربانی، محمد. (۱۳۹۸). اندازه‌گیری و تحلیل تقاضای آب ویژه محصولات کشاورزی و جایگاه ایران در تجارت با سایر کشورها. فصلنامه اقتصاد و الگوسازی، ۱۲(۲)، ۱۵۵-۱۸۳.
- تهامی‌پور، مرتضی. (۱۳۹۶). ارزش اقتصادی، رویکردی برای مدیریت تقاضای آب در مصارف صنعتی مطالعه موردی: صنایع تولید مواد شیمیایی. مجله آب و فاضلاب، ۲۸(۱)، ۷۴-۷۳.
- خاکپور، امیر و مهرداد، ناصر و ترابیان، علی و گلپابایی کوتنایی، فرشاد و پازوکی، امیر. (۱۳۹۷). توسعه مدل‌های خطی و کمینه کردن مصرف آب و تولید پساب در صنعت فراوری مس، مطالعه موردی: مجمع مس خاتون‌آباد. مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۱)، ۷۰-۸۰.
- رحیمی، عبدالرحیم و محمودی، رمضان‌علی و کلاتری، مجید و داودآبادی، محمد و سیدزاده، سید علی. (۱۳۹۲). بررسی نظام تعرفه‌ای آب در کشورهای اروپایی در راستای استراتژی‌های مدیریت تقاضای آب. مطالعات مدیریت شهری، ۵(۱۴)، ۶۵-۷۵.
- سالنامه آماری آب کشور ۱۳۹۴-۱۳۹۳. (۱۳۹۷). انتشارات دفتر برنامه ریزی کلان آب و آبفای وزارت نیرو.

سلطانی، غلامرضا. (۱۳۹۱). بررسی تطبیقی الگوی مصرف و مدیریت تقاضای آب کشاورزی در کشورهای منطقه‌ی منا (خاورمیانه و شمال آفریقا). *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۴(۲)، ۱-۲۵.
شهرکی، جواد و رهنما، علی و خاکسارآستانه، حمیده. (۱۳۹۷). مدیریت تقاضای مصرف آب با رویکرد اقتصادی در شمال استان سیستان و بلوچستان. *اکوهیدرولوژی*، ۵(۳)، ۱۰۳۷-۱۰۴۹.
شهیک‌تاش، محمدنبی و موسوی، هانیه و خواجه حسنی رابری، مصطفی. (۱۳۹۹). برآورد پارامتریک تابع تقاضای شرطی آب در صنایع کارخانه‌ای ایران. *فصلنامه علمی پژوهش‌های اقتصاد صنعتی*، ۴(۱۱)، ۲۵-۳۸.

صبحی‌صابونی، محمود و جلالی‌موحد، امیر و شیرزادی لسکوکلایه، سمیه و ضرغامی، مهدی و فلفلانی، فرشید. (۱۳۹۸). بررسی اثر مدیریت تقاضای آبیاری بر تعادل منابع آب و رفاه اقتصادی کشاورزان (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور). *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۳(۴)، ۹۹۸-۱۰۰۹.

کرباسی، علیرضا و رفیعی‌دارانی، هادی. (۱۳۹۳). بررسی تغییراجزای تقاضای نهایی اقتصاد بر مصرف آب در بخش کشاورزی: تحلیل داده-ستانده در استان خراسان رضوی. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۲۲(۸۵)، ۳۷-۶۳.

محمدجانی، اسماعیل و یزدانیان، نازنین. (۱۳۹۳). تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. *فصلنامه روند*، ۲۱(۶۵ و ۶۶)، ۱۱۷-۱۴۴.
مرکز آمار ایران (۱۳۸۵-۱۳۹۷-۱۳۹۸). *سالنامه آماری، تهران*.

مظفری، محمدمهدی. (۱۳۹۵). مدیریت تقاضای آب آبیاری در دشت اردلان با تأکید بر سیاست قیمت‌گذاری. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، ۵(۴)، ۴۷-۶۸.

مهکویی، حجت. (۱۳۹۵). نگاهی به هیدروپلیتیک یا وضع منابع آب در جهان. *سیاسی-اقتصادی*، ۳۱(۳۰۵)، ۱۸۰-۱۹۷.

نهادندی، نسیم و احمدیان، علی. (۱۳۹۸). تحلیل دینامیک تقاضای آب: مطالعه موردی شهر قم. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۵(۱)، ۳۷۲-۳۷۷.

Allan, G.J., McGrane, S.J., Roy, G., & Baer, T. M. (2020). Scotland's industrial water use: Understanding recent changes and examining the future. *Environmental Science & Policy*, 106, 48-57.

Ang B.W., Choi K.-H. (1997). Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method. *Energy Journal*, 18(3), 59-73.

Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy policy*, 32(9), 1131-1139.

- Ang, B. W., & Zhang, F. Q. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 25(12), 1149-1176.
- Arbués, F., Garcia-Valiñas, M. Á., & Martínez-Espiñeira, R. (2003). Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *The Journal of Socio-Economics*, 32(1), 81-102.
- Bazza, M., & Najib, R. (2003, April). Towards improved water demand management in agriculture in the Syrian Arab Republic. In First National Symposium on Management and Rationalization of Water Resources Use in Agriculture, Damascus (pp. 28-29).
- Bijl, D. L., Bogaart, P. W., Kram, T., de Vries, B. J., & van Vuuren, D. P. (2016). Long-term water demand for electricity, industry and households. *Environmental Science & Policy*, 55, 75-86.
- Carvalho, T. M. N., & de Souza Filho, F. D. A. (2021). A data-driven model to evaluate the medium-term effect of contingent pricing policies on residential water demand. *Environmental Challenges*, 3, 100033.
- FAO. (2017) headquarters in Rome, Italy, the partners and stakeholders of the Global Framework for Action to Cope with Water Scarcity in Agriculture in a Changing Climate (the Global Framework) agree to this statement.
- Flores-Cayuela, C. M., González-Perea, R., Camacho-Poyato, E., & Montesinos, P. (2021). Verifiable Water Use Inventory Using ICTs in Industrial Agriculture. In *Water Footprint* (pp. 1-34). Springer, Singapore.
- González, P. F., Landajo, M., & Presno, M. J. (2014). The Driving Forces of Change in Environmental Indicators: An Analysis Based on Divisia Index Decomposition Techniques (Vol. 25). Springer.
- Griffin, R. C. (2006). Water resource economics: The analysis of scarcity, policies, and projects. MIT press.
- Li, J., Fei, L., Li, S., Xue, C., Shi, Z., & Hinkelmann, R. (2020). Development of “water-suitable” agriculture based on a statistical analysis of factors affecting irrigation water demand. *Science of The Total Environment*, 744, 140986.
- Li, Y., Wang, S., & Chen, B. (2019). Driving force analysis of the consumption of water and energy in China based on LMDI method. *Energy Procedia*, 158, 4318-4322.
- Long, H., Lin, B., Ou, Y., & Chen, Q. (2019). Spatio-temporal analysis of driving factors of water resources consumption in China. *Science of the Total Environment*, 690, 1321-1330
- Machado, C. H., Bilotta, P., & do Amaral, K. J. (2020). Mapping the Industrial Water Demand from Metropolitan Region of Curitiba (Brazil) for Supporting the Effluent Reuse from Wastewater Treatment Plants. In *International Business, Trade and Institutional Sustainability* (pp. 899-914). Springer, Cham.
- Olivarez-Areyan, J. J., Nápoles-Rivera, F., & El-Halwagi, M. M. (2021). Macroscopic water networks optimization considering unsatisfied demand and deep wells dynamic level. *Computers & Chemical Engineering*, 145, 107160.

- Oyebode, O., Babatunde, D. E., Monyei, C. G., & Babatunde, O. M. (2019). Water demand modelling using evolutionary computation techniques: integrating water equity and justice for realization of the sustainable development goals. *Heliyon*, 5(11), e02796
- Shang, Y., Lu, S., Shang, L., Li, X., Wei, Y., Lei, X., ... & Wang, H. (2016). Decomposition methods for analyzing changes of industrial water use. *Journal of Hydrology*, 543, 808-817.
- Sun, J.W. (1996). "Quantitative Analysis of Energy Consumption, Efficiency and Savings
Ang B.W., Choi K.-H. (1997). Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities
- Sun, J.W. (1998). Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model. *Energy economics*, 20(1), 85-100.
- Vallee, D., Margat, J., Eliasson, A., & Hoogeveen, J. (2003). *Review of world water resources by country*. Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Wang, Q., & Wang, X. (2020). Moving to economic growth without water demand growth--a decomposition analysis of decoupling from economic growth and water use in 31 provinces of China. *Science of The Total Environment*, 726, 138362.
- Wang, X. J., Zhang, J. Y., Shahid, S., Bi, S. H., Elmahdi, A., Liao, C. H., & Li, Y. D. (2018). Forecasting industrial water demand in Huaihe River Basin due to environmental changes. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23(4), 469-483.
- Water, U. N. (2018). Nature-based solutions for water. *The United Nations World water development Report*.
- Weerasooriya, R. R., Liyanage, L. P. K., Rathnappriya, R. H. K., Bandara, W. B. M. A. C., Perera, T. A. N. T., Gunarathna, M. H. J. P., & Jayasinghe, G. Y. (2021). Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals: a review. *Environment, Development and Sustainability*, 1-49.
- Wei, S., Lei, A., & Islam, S. N. (2010). Modeling and simulation of industrial water demand of Beijing municipality in China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 4(1), 91-101.
- Wood, R., Lenzen, M. (2006). Zero-value problems of the logarithmic mean Divisia index decomposition method. *Energy Policy*, 34, 1326-1331.
- Yao, L., Xu, J., Zhang, L., Pang, Q., & Zhang, C. (2019). Temporal-spatial decomposition computing of regional water intensity for Yangtze River Economic Zone in China based on LMDI model. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 21, 119-128.
- Zhang, C., Wu, Y., & Yu, Y. (2020). Spatial decomposition analysis of water intensity in China. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, 100680.
- Zhang, S., Su, X., Singh, V. P., Ayantobo, O. O., & Xie, J. (2018). Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) decomposition analysis of changes in agricultural water use: a case study of the middle reaches of the Heihe River basin, China. *Agricultural Water Management*, 208, 422-430.

ارائه نظامی مفهومی برای طبقه‌بندی ... (مریم حکیمی و دیگران) ۱۰۱

Zhao, X., Tillotson, M. R., Liu, Y. W., Guo, W., Yang, A. H., & Li, Y. F. (2017). Index decomposition analysis of urban crop water footprint. *Ecological Modelling*, 348, 25-32.

Zou, M., Kang, S., Niu, J., & Lu, H. (2018). A new technique to estimate regional irrigation water demand and driving factor effects using an improved SWAT model with LMDI factor decomposition in an arid basin. *Journal of Cleaner Production*, 185, 814-828.

