تعیین شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست برای تخصیص منطقه‌ای منابع آب در استان‌های ایران[۱]

محمد هادی اکبرزاده
دانشجوی دکتری رشته اقتصاد، دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
مسعود خداپناه[۲]
دانشیار و عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
منصور زراءنژاد
استاد تمام و عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

نوع مقاله: پژوهشی
DOI: 10.22067/erd.2021.69591.1028

چکیده

بحران‌های آبی در بسیاری نقاط جهان به‌عنوان چالش‌هایی اصلی در برابر توسعه پایدار مناطق شناخته می‌شوند. یکی از راه‌حل‌های مواجهه با چالش‌های مربوط به کم‌آبی، استفاده از سیستم‌های یک‌پارچه آب-اقتصاد- محیط‌زیست برای سیاست‌گذاری پایدار منابع آب منطقه‌ای است. با این حال، هنوز سیاست‌گذاری منطقه‌ای منابع آب در استان‌های ایران بر اساس یک سیستم یک‌پارچه برای تخصیص منابع آب در قالب یک فرآیند هماهنگ در توسعه پایدار بخش‌های آبی، اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیست انجام نمی‌شود. هدف این پژوهش تعیین شاخص یک‌پارچه آب-اقتصاد-محیط‌زیست برای سیاست‌گذاری منطقه‌ای منابع آب در استان‌های ایران با بهره‌گیری از سیستم ارزیابی جامع فازی و رویکرد آنتروپی بوده است. برای این منظور، پس از تعیین شاخص آب- اقتصاد – محیط‌زیست بر اساس جدیدترین مبانی نظری و تجربی، این شاخص برای ۳۱ استان در کشور ایران برآورد شده است. همچنین وضعیت هر یک از استان‌های کشور در زیرشاخص‌های پنج‌گانه منابع آب، تکنولوژی و حمل‌ونقل، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست تعیین شده است. مطابق یافته‌های پژوهش، استان‌های اردبیل، کرمان، خراسان شمالی،

---

[۱] این مقاله از پایان‌نامه دوره دکترای دانشجو محمد هادی اکبرزاده به راهنمایی دکتر مسعود خداپناه و دکتر منصور زراءنژاد دانشگاه شهید چمران اهواز استخراج شده است.

[۲] نویسنده مسئول: khodapanah@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷
صفحات: ۷۴-۴۱

سمنان، سیستان و بلوچستان، فارس، قزوین، مرکزی و یزد دارای وضعیت نسبتاً ضعیف در زیرشاخص منابع آب بوده‌اند. همچنین نتایج حاصل از برآورد شاخص کل آب- اقتصاد- محیط‌زیست، استان‌های گیلان، مازندران، چهارمحال بختیاری و خوزستان به‌عنوان مناسب‌ترین استان‌های ایران برای اجرای راهبرد آب مجازی شناخته می‌شوند. در سایر استان‌های کشور نیز، بسته به وضعیت قوت یا ضعف آن استان در هر یک از ابعاد پنج‌گانه در شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست، نیازمند اتخاذ رویکرد و سیاست‌گذاری متناسب با شرایط خاص آن استان برای دستیابی به توسعه منطقه‌ای پایدار وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: شاخص یک‌پارچه، منابع آب منطقه‌ای، آنتروپی شانون، سیستم ارزیابی جامع فازی، استان‌های ایران.
طبقه‌بندی JEL : Q25، R58، Q56، Q01، O24، O13، F18، C02.

مقدمه

توسعه پایدار[1] به‌عنوان به شکلی از فرآیند توسعه تعریف می‌شود که رفاه و نیازهای انسانی نسل کنونی را بدون آسیب زدن به توانایی نسل‌های آینده برای پوشش نیازهای خود برآورده می‌کند. توسعه پایدار معمولاً به‌عنوان نقطه اشتراک فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شود (Tomislav,2018; Holmberg & Sandbrook, 2019). آب منبعی ضروری برای تولید مواد غذایی، تولید صنعتی، حفاظت محیط‌زیست و نهاده‌ای اصلی و بدون جایگزین برای توسعه پایدار در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به شمار می‌آید (Garrick et al.,2020). بر همین اساس سیاست‌گذاری و تخصیص منابع آب در هر کشور، نیازمند توجه ویژه به اصول توسعه پایدار و سیاست‌گذاری یک‌پارچه[2] در تخصیص منابع آب منطقه‌ای است (Sarvin et al.,2021). منظور از سیاست‌گذاری یک‌پارچه منابع آب، فرآیندی است که توسعه و تخصیص منابع آب، زمین و منابع مرتبط را به‌صورت هماهنگ، با هدف دستیابی به رفاه اقتصادی و اجتماعی و بدون تهدید پایداری محیط‌زیست و اکوسیستم‌های حیاتی تأمین می‌کند (Friesen et al.,2017). با این وجود، سیاست‌گذاران در بسیاری از مناطق جهان از توجه ویژه به ابعاد توسعه پایدار و سیاست‌گذاری یک‌پارچه به‌ویژه در ابعاد اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی چشم‌پوشی کرده‌اند (Pires et al.,2017). بی‌توجهی به مسئله تخصیص یک‌پارچه منابع آب بر اساس اصول توسعه پایدار، می‌تواند پیامدهای منفی فراوانی در حوزه اقتصادی – اجتماعی مانند

[1] Sustainable Development
[2] Integrated Policymaking

بیکاری، مهاجرت، بحران‌های اقتصادی - اجتماعی در بخش‌های مختلف جهان پدید آورد. همچنین در حوزه محیط‌زیست، این مسئله وقوع پدیده‌هایی مانند خشک شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، تالاب‌ها و کاهش سطح آب زیرزمینی، نشست زمین، کاهش کیفیت آب، تخریب خاک، بیابان‌زایی و طوفان‌های خاک، بحران‌های زیست‌محیطی، کشاورزی و صنعتی را به دنبال خواهد داشت (Madani et al.,2016).

کشور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک از جهان قرار گرفته است. بر اساس شاخص موسسه بین‌المللی مدیریت آب[1] (IWMI)، ایران در وضعیت بحران آبی شدید قرار دارد (International Water Management Institute,2018). از طرفی، ایران بر اساس رتبه‌بندی مدیریت منابع آبی، در بین ۱۳۲ کشور جهان، رتبه ۱۳۱ و بنا به اعلام سازمان محیط‌زیست کشور، رتبه اول هدررفت آب در جهان (Department of Environment,2019)[2] و در زمره دو کشور اول جهان و کشور اول در منطقه غرب آسیا برای استخراج منابع آبی زیرزمینی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ بوده است (Joodaki et al.,2014; Caldera et al., 2020). کشور ایران در حال رنج بردن از یک خشکسالی اقتصادی- اجتماعی است. مروری بر تاریخچه سیاست‌گذاری و تخصیص منابع آب در ایران نشان می‌دهد، بحران آب در ایران یک پدیده چند بعدی و درهم‌تنیده اقتصادی – اجتماعی و زیست‌محیطی است که پیامد سیاست‌گذاری شتابزده و ناهماهنگ بین بخش‌ها و درک نادرست از مفهوم توسعه پایدار و یک‌پارچگی بوده است (Madani,2014).

بر همین اساس، یکی از راه‌حل‌های طرح شده با رویکرد اقتصادی در زمینه سیاست‌گذاری و تخصیص منطقه‌ای منابع آب، استفاده از نظریه آب مجازی[3] بوده است. در سال‌های اخیر انتقادات گسترده‌ای به نظریه آب مجازی وارد شده است (Merret,2003; Ansink,2010; Jia et al.,2017; Gawel & Bernesen, 2013; Qudusi et al.,2017). در نتیجه، بسیاری از صاحب‌نظران بازنگری و اصلاح در رویکرد نظریه آب مجازی و پیشنهاد یک سیستم شاخص ارزیابی جامع و یک‌پارچه بر اساس ابعاد آبی- اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی را نیازی بسیار ضروری می‌دانند. شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست می‌تواند مصرف آب انسان (در بخش تولیدی و داخلی)، بخش اقتصادی- اجتماعی و استفاده از آب در محیط‌زیست مناطق را به‌صورت یک‌پارچه موردبررسی قرار دهد تا بتوان تخصیص منابع آب در یک

[1] IWMI: International Water Management Institute
[2] www.doe.ir
[3] Virtual Water Theory

منطقه را با شرایط اقتصادی، اقلیمی، اجتماعی، کشاورزی، زیست‌محیطی و منابع آب در آن منطقه مورد ارزیابی قرار داد (Garrick et al.,2020; Cui et al.,2018 Hoekstra et al.,2021; Sarvin et al.,2021). با توجه به انتقادات طرح شده به رویکرد آب مجازی، می‌توان از شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد-محیط- زیست به‌عنوان معیاری نسبی برای انتخاب مناطق جهت اجرای راهبرد آب مجازی در تجارت کالاهای آب‌بر از مناطق دارای فراوانی آب به سمت مناطق کم‌آب بهره گرفت (Cui et al.,2018).

مروری بر مطالعات انجام شده در ایران نشان می‌دهد که هنوز معیاری کمّی و تحلیلی برای سنجش وضعیت و تصمیم‌گیری در قالب یک سیستم یک‌پارچه برای تخصیص منطقه‌ای منابع آب در ایران وجود ندارد. با توجه به اهمیت پایداری فرآیند توسعه منطقه‌ای و ضرورت تخصیص یک‌پارچه منابع آب و این- که بخش عمده‌ای از مسئله خشکسالی در ایران پدیده‌ای اقتصادی – اجتماعی همراه با پیامدهای زیست- محیطی بوده است، استفاده از سیستم‌های ارزیابی یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست به‌صورت منطقه- ای می‌تواند نقش ویژه‌ای در پایداری منابع آب در ایران داشته باشد. از این‌رو، هدف این پژوهش، تعیین شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست برای تخصیص منطقه‌ای منابع آب در استان‌های ایران با استفاده از سیستم ارزیابی جامع فازی[1] و روش آنتروپی[2] بوده است. سؤال اصلی این پژوهش آن است که وضعیت هر یک از استان‌های ایران از نظر ابعاد شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد-محیط‌زیست چگونه است. این موضوع می‌تواند به‌عنوان رویکردی نو در تخصیص یک‌پارچه و پایدار منابع آب منطقه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مبانی نظری

نظریه آب مجازی و انتقادات وارد شده بر این نظریه

(Allan,1998) مفهوم آب مجازی را برای اولین بار در منطقه غرب آسیا معرفی کرد. راهبرد آب مجازی به واردات محصولاتی که نیازمند حجم زیاد آب، طی فرآیند تولید خود هستند، تحت عنوان «تجارت آب مجازی»[3] می‌نگرد. این نظریه بیان می‌کند که تجارت آب مجازی می‌تواند ابزار مناسبی برای تأمین نیازهای

---

[1] Fuzzy Comprehensive Evaluation
[2] Entropy Weighting Method
[3] Virtual Water Trade

رو بـه رشـد مصـرف آب در کشـورهای مختلـف کـه بـا کمبـود آب مواجـه هسـتند، اسـتفاده شـود (Allan,2003). بسـیاری از مطالعـات بیـان مـی‌کننـد کـه منـاطق کـم‌آب بایـد بـه‌جـای تولیـد محصـولات کشاورزی آب‌بر، این محصولات را از مناطق با فراوانی آب وارد کنند. نکته ضروری در این مسئله نحـوه شناسایی و دسته‌بندی مناطق دارای فراوانی آب و مناطق کم آب بـرای تعیـین جهـت جریـان آب مجـازی اسـت (Chen & Li,2015; Katyaini & Barua,2020). نظریـه تجـارت آب مجـازی در واقعیـت ایـده‌ای برگرفته از نظریه هکشر- اوهلین- ساموئلسون[1] برای مزیت نسبی در تجارت بین‌المللی بوده اسـت. اگرچـه ایده تجارت آب مجازی یک مفهوم ذاتاً اقتصادی است؛ اما این مفهوم در برخی موارد از ادبیات اقتصادی سرچشـمه نمـی‌گیـرد و در سـال‌هـای اخیـر اقتصـاددانان انتقـاداتی را بـه ایـن نظریـه وارد سـاخته‌انـد (J Reimer,2013).

جدول (۱): انتقادات وارد بر نظریه آب مجازی

۱	تحقیقات انجام شده درباره استراتژی آب مجازی، هیچ‌گونه مشارکتی در زمینـه تخصـیص منطقـه‌ای آب مجـازی از منظر سیستم یک‌پارچه منابع آبی، اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی نداشته‌اند (Cui et al.,2018).
۲	راهبردهای آب مجازی مبتنی بر نظریه اقتصادی مزیت نسبی و مدل تجاری هکشر-اوهلـین اسـت. ایـن راهبـرد هنـوز مورد بحث و اختلاف نظر است (Ansink,2010).
۳	نظریه آب مجازی بر اساس درک ناقص از مزیت نسبی در تولید کالاهای آب‌بر، فـرض می‌کنـد کـه منـابع زمـین از اهمیت بسیار بیشتری نسبت به منابع آبی برخوردار است (Jia et al.,2017).
۴	تنها تولید نهایی آب را به‌عنوان یک عامل تولیـد در نظـر مـی‌گیـرد؛ امـا رشـد اقتصـادی پایـدار را نادیـده می‌انگـارد (Ansink,2010). اسـتراتژی آب مجـازی لزومـاً بـرای همـه منـاطق دارای کمبـود آب مناسـب نیسـت (Cui et al.,2018).
۵	فقط میزان مصرف آب محصولات کشاورزی و تجارت را در نظر می‌گیرد. راهبردهای آب مجـازی از سـاختارهای اقتصادی، اجتماعی، وضعیت عوامل تولید و چشم‌انداز آینده بخش کشـاورزی در منـاطق دچـار کمیـابی آب شـدید چشم‌پوشی می‌کند. محتوای آب موجود در واردات محصولات کشاورزی به‌تنهایی کمتر از کل مقـدار آبـی اسـت که برای پرورش محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. مرت نظریه آب مجازی را صرفاً یک «استعاره»[2] قدرتمنـد و خلاقانه می‌داند (Merret,2003).
۶	مفهوم آب مجازی با مفهوم مزیت نسبی قابل مقایسه نیست. مفهوم آب مجازی به «ذخیره منابع آب اشـاره مـی‌کنـد؛ اما تکنولوژی تولید یا هزینه فرصت را در نظر نمی‌گیرد». موجـودی نسـبی آب تنهـا عامـل اثرگـذار بـر روی الگـوی تجارت آب مجازی نیست و مجموعه‌ای از عوامل مانند تکنولوژی و بسیاری عوامل دیگـر بـر تجـارت آب مجـازی

[1] Heckscher-Ohlin-Samuelson
[2] Metaphore

	اثرگذار هستند (Wichelns,2004).
۷	مباحث ذکر شده از سوی آلن به‌سختی توسط نظریه‌های اقتصادی حمایت می‌شود. او انتقاد خود را در قالب نظریه هکشر- اوهلین- ساموئلسون ارائه نمود و بیان کرد که این مفهوم مباحثی را طرح می‌کند که با حقایق تجربی و نظریه استاندارد اقتصادی همسو نیست (Ansink,2010).
۸	دو ادعای نادرست در رابطه با تجارت مجازی آب وجود دارد: اول آن‌که تجارت آب مجازی می‌تواند توزیع نامناسب آب را از بین ببرد و دوم آن‌که، تجارت مجازی آب می‌تواند مناقشات آب را کاهش دهد (Ansink,2010).

منبع: مطالعات ذکر شده

در پاسخ‌گویی به انتقادات وارد به نظریه آب مجازی، بسیاری از مطالعات استفاده از یک معیار و شاخص ترکیبی و یک‌پارچه را برای حل مسائل مربوط به تخصیص پایدار منابع آب ضروری می‌دانند. برخی مطالعات پیشنهاد کرده‌اند که مناطق کم‌آب باید کمبود آب خود را با در نظر گرفتن تعاملات بین فرآیندهای هیدرولوژیکی و سیستم‌های اقتصادی - اجتماعی حل‌وفصل کنند (Yang & Zehnder,2002; Allan,1997). استفاده از یک معیار ترکیبی در قالب شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد – محیط‌زیست می‌تواند کاستی‌های موجود در زمینه نظریه آب مجازی را در راستای تخصیص منطقه‌ای و پایدار منابع آب پوشش دهد (Hoekstra et al., 2021). باید توجّه داشت که عوامل فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی نیز می‌توانند نقش اساسی در سیاست‌گذاری و تخصیص منطقه‌ای منابع آب داشته باشند (Nguyen et al.,2018; Garrick et al.,2020). سیاست‌گذاری‌های اقتصادی برای تخصیص منطقه‌ای و پایدار منابع آب باید با در نظر داشتن این عوامل انجام شود که این موضوع نیازمند راهبردی سیاستی و بهره‌گیری از شاخص‌های یک‌پارچه است که بتواند به ابعاد و ویژگی‌های فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی آب توجّه کند. این مهم‌ترین موضوعی است که باید در سیاست‌گذاری‌های آینده بر روی آن تمرکز شود (Garrick et al.,2020).

پیشینه پژوهش

به‌طور کلی مطالعات درباره آب در ایران و رویکرد آب مجازی را می‌توان به چهار دسته تقسیم‌بندی کرد. خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در هر یک از این چهار دسته در نظریه آب مجازی جدول (۲) آمده است.

جدول (۲): خلاصه‌ای از سه دسته مطالعات انجام شده در نظریه آب مجازی

دسته		نویسنده / نویسندگان
مطالعات کیفی (ارائه راهکارهای جامع برای همه مناطق کشور به‌صورت یکسان)	مطالعات داخلی کیفی در زمینه آب	Jalil-Pir (2012), Razavi, & Davari, (2014), Mohammad-Jani & Yazdanian (2014), Madani et al. (2016), Ismaili-Fard, & Kaveh (2017), Khalili, (2016), Islamic & Iranian Center of Progress (2016).
مطالعات بر اساس نظریه اولیه آلن (۱۹۹۷) (پیشنهاد راهکارها و سیاست‌هایی برای تأثیر استراتژی آب مجازی برای کاهش استرس آب یا برای روشن کردن رابطه بین رشد اقتصادی، تجارت بین‌المللی و فشار منابع آب)	مطالعات خارجی	Abu-Sharar et al. (2012), Duarte et al. (2016), Sun et al. (2016), Sartori et al (2017), Cai et al. (2019), Wang et al. (2019).
	مطالعات داخلی	Mousavi et al. (2010), Mohammadi-Kanigolzar (2014), Bakhshoodeh, & Dehghanpur (2016), Amoori et al. (2014), Tahamipour et al. (2015), Faramarzi et al. (2010), Arabi Yazdi et al. (2009), Pouran et al. (2018), Nasrollahi & Zarei (2018).
انتقادات از نظریه آب مجازی و کاستی‌های این نظریه	مطالعات خارجی	Wichelns (2004), Ansink (2010), Gawel & Bernesen (2013), J Reimer (2013), Jia et al. (2016).
	مطالعات داخلی	Qudusi & Davari (2017)
رویکردهای یک‌پارچه آب-اقتصاد-محیط‌زیست با در نظر گرفتن انتقادات	مطالعات خارجی	Sarvin et al. (2021), Haak & Pagilla (2020), Cui et al. (2018), Hoekstra et al. (2021), Gong & Jin (2016), Elsadek (2012).
	مطالعات داخلی	انجام نشده است.

منبع: مطالعات ذکر شده

El-sadek (2012) به بررسی نظریه آب مجازی به‌عنوان یک مکانیسم کارا برای مدیریت یک‌پارچه منابع آب در جهان و همچنین در بین کشورهای عربی با استفاده از الگوی ردپای آب[1] پرداخت. این مطالعه نشان داد که رویکرد آب مجازی با رفع کاستی‌ها و نواقص نظری آن، می‌تواند به‌عنوان یک منبع اصلی برای سیاست‌گذاری یک‌پارچه منابع آب در نظر گرفته شود. مطابق نتایج، این امکان وجود دارد که مفهوم استراتژی آب مجازی در سطح ملی و منطقه‌ای با در نظر گرفتن ذخایر آبی و همچنین وارد کردن سایر شرایط اقتصادی، اجتماعی و جمعیتی هر منطقه انجام گیرد تا بتوان به ارزیابی جامع‌تری از تخصیص منابع آب در قالب یک سیستم یک‌پارچه دست یافت. همچنین استراتژی آب مجازی آلن باید به‌عنوان یک

[1] Water Footprint

جزء از یک سیستم یک‌پارچه مدیریت آب در کشورهای مختلف در نظر گرفته شود.

Gong & Gin (2016) به بررسی ظرفیت منابع آب منطقه‌ای در غرب کشور چین با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری فازی و به کمک داده‌های چهل ساله در این منطقه پرداختند. این مطالعه، وضعیت فعلی ظرفیت منابع آب در منطقه لانژو[1] و روند پویای آن در غرب کشور چین را با بهره‌گیری از رویکرد ارزیابی جامع فازی و ماهیت توابع عضویت فازی بررسی کرده است. نتایج مطالعه نشان داد که وضعیت منابع آب در منطقه لانژو مناسب نیست و ظرفیت انتقال منابع آب نیز سال به سال کاهش یافته است. همچنین مطابق نتایج این مطالعه، باید از سیاست‌گذاری یک‌پارچه و سیستم‌های مناسب برای تخصیص منطقه‌ای منابع آب، سیاست‌گذاری‌های درست قیمتی، سیاست‌گذاری‌های تخصیص، صرفه‌جویی و حفاظت اجتماعی منابع آب در غرب کشور چین استفاده کرد.

Cui et al. (2018) با در نظر گرفتن انتقادات وارد شده به نظریه آب مجازی به بررسی تناسب استراتژی آب مجازی در ۵ منطقه از کشور چین در حوزه آبخیزداری هیه[2] (HRB) پرداختند. اطلاعات آماری این متغیرها در ۱۱ ناحیه در HRB در سال ۲۰۱۲ جمع‌آوری گردیده و با استفاده از رویکرد نظریه‌های فازی تحلیل شده است. در این شاخص ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و منابع آب، حمل‌ونقل و تکنولوژی در نظر گرفته شده است. مطابق نتایج، وضعیت تقریباً نیمی از شهرستان‌ها «عالی» بود؛ درحالی که نیمی دیگر وضعیت «متوسط» داشتند؛ به جز شهرستان جینتا[3] که وضعیت آب مجازی در این شهرستان بسیار ضعیف بوده است.

Haak & Pagilla (2020) به ارائه یک چاچوب مفهومی برای شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد پرداختند تا بتوانند پویایی اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی برای حفاظت و توسعه پایدار منابع آب شهری در ۴۹ شهر ایالات متحده آمریکا را مورد بررسی قرار دهند. این شاخص در قالب سه مؤلفه اصلی اقتصادی- اجتماعی، منابع آب و اجتماعی- زیست‌محیطی با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی[4] (PCA) برآورد شده است. نتایج مطالعه نشان داد که راهبرد کارا برای دستیابی به پایداری منابع آب به ترتیب کارایی تخصیص منابع و بازیافت فاضلاب است.

---

[1] Lanzhou
[2] Heihe River Basin
[3] Jinta
[4] Principle Component Analysis

Sarvin et al. (2021) به بررسی ابعاد پایداری در شاخص آبی- اجتماعی- اقتصادی – زیست‌محیطی برای تخصیص یک‌پارچه منابع آب در ۳۵ کشور قاره آمریکا به کمک داده‌های میدانی در سطح ملی طی دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۵ با استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن هوش مصنوعی آبی[1] (GEP) پرداختند. این تحلیل چهار بعد اصلی برای پایداری شامل ابعاد اقتصادی، توسعه اجتماعی، دانش و فناوری و محیط‌زیست را در بر می‌گیرد. مطابق نتایج، وضعیت منابع آب در کشورهای آمریکای شمالی نسبتاً پایدار و در کشورهای واقع آمریکای جنوبی ناپایدار است. همچنین مطابق نتایج کشورهای اوروگوئه، گویان و ونزوئلا بیشترین ناپایداری را در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی داشتند. با توجه به آن‌چه که گفته شد، تا کنون مطالعه‌ای تجربی در ایران انجام نشده است که تخصیص منابع آب در استان‌های ایران را در قالب یک شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست مورد بررسی قرار دهد. این مطالعه را می‌توان گامی نو در راستای ادبیات موضوع در ایران به‌شمار آورد.

جدول (۳): خلاصه‌ای از مطالعات تجربی در زمینه تخصیص و سیاست‌گذاری منابع آب

نویسنده/نویسندگان	دوره زمانی / روش/ نمونه مورد بررسی	نتایج پژوهش
Qasemipour, & Abbasi (2020)	داده- ستانده چند منطقه‌ای[2] (MRIO)	مناطق شمالی کشور ایران که در آن‌ها هیچ‌گونه کمبود آبی وجود ندارد، وارد کننده آب مجازی از طریق تجارت کالاها و خدمات هستند؛ در حالی‌که مناطق با کمیابی آب شدید در ایران صادرکننده خالص آب مجازی به حساب می‌آیند.
Nasrollahi et al. (2018)	استان سمنان/ بررسی خطر و ریسک پدیده خشکسالی / شاخص تبخیر استاندارد شده[3] (SPI)	طی دوره‌های زمانی ۱۲ ماهه در استان سمنان شهرستان‌های شاهرود، دامغان و سمنان آسیب‌پذیرترین شهرستان‌ها در برابر خشکسالی بوده‌اند.
Darbandsari et al. (2017)	مدیریت تقاضا برای آب در مناطق	افزایش قیمت آب و سرمایه‌گذاری بر روی تبلیغات را می-

1 Hybrid-Artificial Intelligence Gene Expression Programming

2 Multi-Regional Input-Output

3 Standard Percipitation Index

نویسنده/نویسندگان	دوره زمانی / روش/ نمونه مورد بررسی	نتایج پژوهش
	مسکونی در استان تهران/ مدل‌های عامل محور[1]/	توان به‌عنوان راهبردی مؤثر برای مدیریت مصرف آب در یک منطقه در نظر گرفت.
Pouran et al. (2018)	حداکثرسازی بهره‌وری آب آبیاری در بخش کشاورزی/ ایلام، بوشهر، آذربایجان غربی، اصفهان، سمنان/ برنامه‌ریزی خطی فازی (FLP)	ارزش اقتصادی محتوی آب آبی (مجموع آب‌های سطحی و زیرزمینی) محصولات کشاورزی در استان‌های آذربایجان غربی، بوشهر، اصفهان، ایلام و سمنان با هدف حداکثر شدن بهره‌وری آب کشاورزی به ترتیب ۱۴۶۱۵، ۴۰۶۰۸، ۷۴۲۰، ۴۶۷۳ و ۳۹۲۷۴ ریال به ازای هر متر مکعب بوده است.
Mousavi et al. (2015)	مدیریت منابع آب در استان بوشهر/SWOT /	بر اساس نتایج این مطالعه نقاط قوت بر نقاط ضعف غلبه می‌کنند و منابع آب با تهدیدات بیشتری نسبت به فرصت‌ها مواجه می‌شوند.
Manshadi et al.(2015)	مدل کمّی- کیفی برای سیستم انتقالات آب بین حوزه‌ای/ نظریه بازی‌ها و آب مجازی/ حوزه سولاکان به رفسنجان	رویکرد پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر و کارا برای توسعه پایدار و مدیریت تخصیص آب و انتقال بین‌حوزه‌ای آب و حل تعارضات آبی و محدودیت‌های فیزیکی و زیست‌محیطی پدید آمده با استفاده از مفهوم آب مجازی در نظر گرفته شود.
Karamouz et al. (2011)	توسعه سیاست‌گذاری‌های مختلف عرضه و تقاضای آب در یک منطقه پویایی‌های سیستم/ رفسنجان	بهبود روش‌های آبیاری و محدود کردن مساحت زیر کشت مهم‌ترین چالش‌های مدیریت تقاضای آب برای کشاورزان است.

منبع: مطالعات ذکر شده

روش پژوهش

شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد – محیط‌زیست

پس از بیان انتقادات به نظریه اولیه آب مجازی برخی از مطالعات با در نظر گرفتن این انتقادات تلاش کردند تا رویکردی نو به مسئله تخصیص پایدار منابع آب با استفاده از سیستم شاخص یک‌پارچه آب –

[1] Agent Based Models

اقتصاد- محیط‌زیست داشته باشند. بسیاری از پژوهشگران بر مفهومی به نام «اتصال از راه دور[1]» تاکید می‌کنند که بیانگر اهمیت چشمگیر تعامل بین سیستم‌های اقتصادی اجتماعی و سیستم‌های زیست‌محیطی در تخصیص منابع آب است (Liu et al.,2013). برخی از مطالعات مانند Cui et al. (2018)، Sarvin (2021)،Gong & Jin (2016)، Hoekstra et al. (2021) بر اساس مبانی نظری آب مجازی و انتقادات طرح شده در این حوزه شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست را برای تخصیص منطقه‌ای منابع آب پیشنهاد کرده‌اند. پیاده‌سازی راهبرد آب مجازی را می‌توان از دیدگاه سیستم یک‌پارچه آب- فرآیندهای اقتصادی- اجتماعی و محیط‌زیست نگریست؛ زیرا آب یک منبع اساسی برای پایداری محیط‌زیست، سیستم‌های اقتصادی- اجتماعی و زندگی انسانی است و عملکرد منطقه‌ای در این زمینه برای ایجاد تعادل بین این ابعاد برای تخصیص منابع آب موضوعی ضروری به شمار می‌آید. بر همین اساس، راهبردهای تخصیص منطقه‌ای منابع آب، نباید تنها خود آب را در نظر بگیرد؛ بلکه این رویکردها باید تعامل و هماهنگی بین آب و سایر ابعاد پایداری منابع آب، پایداری زیست‌محیطی و توسعه اقتصادی را در سراسر یک منطقه به‌صورت یک واحد یک‌پارچه به حساب آورد.

در این مطالعه تلاش شده است تا بر اساس رویکرد مطالعاتی پیشنهادی Cui et al. (2018)، Hoekstra et al. (2021) و همچنین مبانی نظری و ادبیات موجود در زمینه موضوع پژوهش، شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست در قالب سیستم یک‌پارچه و در پنج بعد اقتصاد منابع آب، تکنولوژی و حمل‌ونقل، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای استان‌های ایران تعیین و برآورد شود. زیرشاخص‌های اصلی و متغیرهای مؤثر در شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست بر اساس مطالعات صورت‌گرفته در جدول (۴) آورده شده است.

نکته قابل ذکر آن است که در ابعاد معرفی شده در جدول (۴)، زیرشاخص اجتماعی بیانگر متغیرهای اجتماعی مؤثر بر تخصیص یک‌پارچه منابع آب است. این زیرشاخص در برگیرنده متغیرهای مؤثر بر تخصیص منابع آب مانند ضریب انگل، نرخ شهرنشینی، رشد جمعیت و نسبت افراد با مدرک دیپلم است که از نگاه بسیاری از مطالعات به‌عنوان متغیرهای اجتماعی مؤثر بر شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شوند. در این مطالعه نسبت افراد با مدرک دیپلم به‌عنوان متغیر جایگزینی برای آموزش به‌عنوان یکی از متغیرهای اثرگذار بر بعد اجتماعی منابع آب، هم در زمینه حفاظت از منابع،

---

[1] Telecoupling

آگاهی زیست‌محیطی و تحمل‌پذیری اجتماعی در نظر گرفته می‌شود (Sarvin et al., 2021; Haak & Pagilla,2020; Cui et al.,2018).

افزون بر این، در بعد زیست‌محیطی، شاخص کیفیت سکونت[1] به‌عنوان معیاری برای سلامت زیست‌محیطی[2] در نظر گرفته می‌شود. یکی از رایج‌ترین روابط برای شاخص کیفیت سکونت که در بسیاری از مطالعات استفاده می‌شود، توسط موسسه بین‌المللی علوم زیست‌محیطی[3] پیشنهاد شده است. در این رابطه، A_1، نشان‌دهنده مساحت جنگل، A_2 مساحت مراتع، A_3 مساحت زمین‌های قابل کشت و A_4 مساحت سایر زمین‌های موجود در منطقه است. مقدار A نیز نشان‌دهنده مساحت کل استان مورد نظر خواهد بود. در این رابطه، A_{bio} به‌عنوان ضریب شاخص کیفیت سکونت شناخته می‌شود و مقدار مرجع این ضریب برابر با ۵۱۲/۲۶ در نظر گرفته می‌شود (Cui et al.,2018; Ye et al.,2016).

جدول (٤): شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست و ابعاد آن

مؤلفه / شاخص	تعریف	واحد
	منابع آب	
دسترسی به آب سرانه	دسترسی به آب سطحی و زیرزمینی (مجموع آب‌های سطحی و زیرزمینی) (متر مکعب به نفر)	$\frac{m^3}{person}$
مصرف آب / یک میلیارد ریال ارزش افزوده بخش صنعت	کل مقدار آب مصرف شده در بخش صنعت استان/ کل ارزش افزوده بخش صنعت استان	$\frac{m^3}{10^9\ Rials}$
سرانه زمین‌های قابل کشت سالانه	سرانه مساحت کل زمین‌های قابل کشت هر استان	$\frac{hm^2}{person.year}$
محصول کشاورزی در واحد سطح	کل مقدار محصول کاشتنی در هر استان/ مساحت واقعی زمین‌های استفاده شده برای محصولات کشاورزی در هر استان	$\frac{ton}{hm^2}$
	تکنولوژی و حمل و نقل	
کارایی فنی صنعتی	کارایی صنعتی فنی بر اساس بازدهی نسبت به مقیاس	شاخص
ضریب آبیاری (ضریب	مقدار خالص آب جذب شده به زمین / مقدار کل آب استفاده شده برای آبیاری	درصد

[1] Habitat Quality Index
[2] Ecological Health
[3] ESP (International Environmental Science Press

جذب)		
حمل و نقل و باربری	مقدار تناژ بار حمل شده در استان	ton
تراکم شبکه حمل و نقل	طول امکانات حمل و نقل استان / مساحت استان	$\frac{km}{10^2 km^2}$
	اقتصادی	
تولید سرانه (GDP سرانه)	تولید ناخالص سرانه یک استان	میلیارد ریال
نرخ رشد	تفاضل بین GDP سال هدف و GDP سال گذشته (درصد)	درصد
نرخ ناخالص تولید محصولات کشاورزی	ارزش تولید محصولات کشاورزی سالانه به‌صورت درصد از کل GDP سالانه هر استان	
نرخ ناخالص تولید محصولات صنعتی	ارزش تولید محصولات صنعتی سالانه به‌صورت درصد از کل GDP سالانه هر استان	
	اجتماعی	
ضریب انگل	نسبت درآمد خرج شده بر روی غذا (درصد)	درصد
نسبت افراد با مدرک دیپلم	نسبت جمعیت بالای ۶ سال و دارنده مدرک دیپلم (درصد)	درصد
نرخ شهرنشینی	جمعیت ناخالص شهری به‌صورت درصد از کل جمعیت هر استان (درصد)	درصد
نرخ رشد جمعیت	مقدار کل رشد جمعیت طبیعی در هر استان / به مقدار کل میانگین جمعیت هر استان (درصد)	درصد
	محیط‌زیست	
نسبت پوشش جنگل به مرتع	مجموع جنگل و مراتع به‌صورت مساحت کل زمین در هر استان	درصد
شاخص کیفیت سکونت (HQI)	$\frac{0.35\ A_1 + 0.21\ A_2 + 0.28\ A_3 + 0.16\ A_4}{\mathrm{A}} \times A_{bio}$ A_{bio} ضریب نرمال‌سازی شاخص کیفیت سکونت با مقدار مرجع ۵۱۲/۲۶ است.	
حجم فاضلاب تولیدی در هر استان	حجم سرانه فاضلاب تولیدی در هر استان	

برای الگوسازی شاخص از روش ارزیابی مصنوعی فازی[1] برای طبقه‌بندی و تحلیل ابعاد مختلف اقتصادی،

[1] Fuzzy Synthetic Evaluation

اجتماعی، منابع آب، تکنولوژی و حمل و نقل و محیط‌زیست استفاده شده است. برای وزن‌دهی ابعاد نظریه آنتروپی[1] و بر اساس روش وزن‌دهی پیشنهادی آنتروپی شانون[2] استفاده شده است.

روش آنتروپی

آنتروپی یک مفهوم جهانی در علم است که ابزاری بسیار مناسب برای کمّی‌سازی عدم قطعیت در یک سری از رویدادهای تصادفی به شمار می‌رود. آنتروپی یک معیار کمّی برای بی‌نظمی، بی‌ثباتی، عدم تعادل و عدم قطعیت در یک سیستم است که می‌تواند روند توسعه یک سیستم مشخص را پیش‌بینی کند (Roodposhti et al.,2016). مفهوم آنتروپی برای اولین بار در زمینه ترمودینامیک مورد استفاده قرار گرفت. این روش بعدها توسط Shannon (2001) برای نظریه اطلاعات[3] معرفی شد. هر چند تا کنون شکل‌های متنوعی از مفهوم آنتروپی از سوی دانشمندان ارائه شده است، می‌توان نشان داد که آنتروپی شانون مناسب‌ترین معیار عدم قطعیت برای توضیح یک پدیده تصادفی است (Majernik, 2014). اگر پیشامدی با احتمال زیاد رخ دهد، آن پیشامد اطلاعات کمتری را منتقل می‌کند و بالعکس. هر چه مقدار آنتروپی برای یک معیار خاص بیشتر باشد، این معیار اطلاعات کمتری را به تصمیم‌گیرنده ارائه می‌دهد و وزن کمتری خواهد داشت. به‌عبارت دیگر، این معیار اهمیت کمتری در فرآیند تصمیم‌گیری دارد (Kacprzak,2017).

آنتروپی فازی شناخته‌شده‌ترین معیار برای اندازه‌گیری درجه فازی بودن یک مجموعه فازی است که زاده[4] برای اولین بار این مفهوم را طرح کرد. معیار کمیّت اطلاعات فازی که از مجموعه فازی یا سیستم فازی به‌دست می‌آید، به‌عنوان آنتروپی فازی شناخته می‌شود. باید تاکید کرد که معنای آنتروپی فازی کاملاً متفاوت از معنای آنتروپی کلاسیک شانون است؛ زیرا برای تعریف آن نیازی به مفهوم احتمالی نیست. این مسئله به دلیل این واقعیت است که آنتروپی فازی حاوی ابهام و عدم قطعیت است؛ در حالی‌که آنتروپی شانون شامل عدم قطعیت تصادفی (احتمالی) است (Arya & Kumar,2020). یکی از مهم‌ترین کاربردهای نظریه‌های فازی به‌ویژه آنتروپی شانون ارزیابی اثرات اجتماعی[5] و زیست‌محیطی[6] است؛ زیرا ارزیابی اثرات

---

[1] Entropy
[2] Weighted Shannon Entropy
[3] Information Theory
[4] Zadeh
[5] Social Impact Assessment
[6] Environmental Conflicts

اجتماعی و زیست‌محیطی در زمینه تصمیم‌گیری عمدتاً با استفاده از روش‌های کیفی انجام می‌شود (Van der Voort & Vanclay,2015).

ارزیابی مصنوعی فازی

شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست با توجه به عوامل مختلفی تعیین می‌شود و روابط بین عوامل تا حدود زیادی نامعلوم است. درجه اثرگذاری هر عامل متفاوت است؛ اما بین آن‌ها رابطه‌ای وجود دارد. در نتیجه، ارزیابی روابط بین متغیرها در شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست یک مسئله ارزیابی فازی چند هدفه و چند سطحی[1] است. در بسیاری از مدل‌های ارزیابی ریاضی کلاسیک برای ارزیابی فرآیند از تحلیل سلسله‌مراتبی[2] یا تجزیه و تحلیل اجزای اصلی[3] و غیره استفاده می‌شود. با این حال، این روش‌ها در ارزیابی عدم اطمینان و عدم قطعیت در هنگام حل مساله ناکافی هستند (Wu et al.,2011). در مقایسه با نظریه مجموعه کلاسیک که توسط کانتور[4] معرفی شد، لطفی‌زاده[5] مفهوم مجموعه‌های فازی را پیشنهاد کرد.

روش ارزیابی جامع فازی، یک سیستم شاخص ارزیابی جامع چند لایه بر اساس ریاضیات فازی است که در بسیاری از سیستم‌های ارزیابی در تحقیقات علمی استفاده شده است. روند ارزیابی جامع فازی شامل این موارد است: الف) مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر ارزیابی ساخته می‌شود. ب) مجموعه ارزیابی تنظیم خواهد شد که مجموعه‌ای از همه موارد ممکن برای نتایج ارزیابی، جهت هدف مورد ارزیابی است. ج) تابع عضویت فازی تأیید می‌شود. د) ماتریس رابطه فازی بر اساس ارزیابی کل عوامل تکی ایجاد می‌شود ه) وزن مجموعه‌ای از شاخص‌ها تعیین می‌گردد. و) ماتریس ارزیابی فازی بر مبنای بخش‌های (د) و (ه) ساخته شده و سپس ارزیابی نتایج حاصل از عملگر محاسباتی فازی به دست می‌آید (Delgado & Romero,2017).

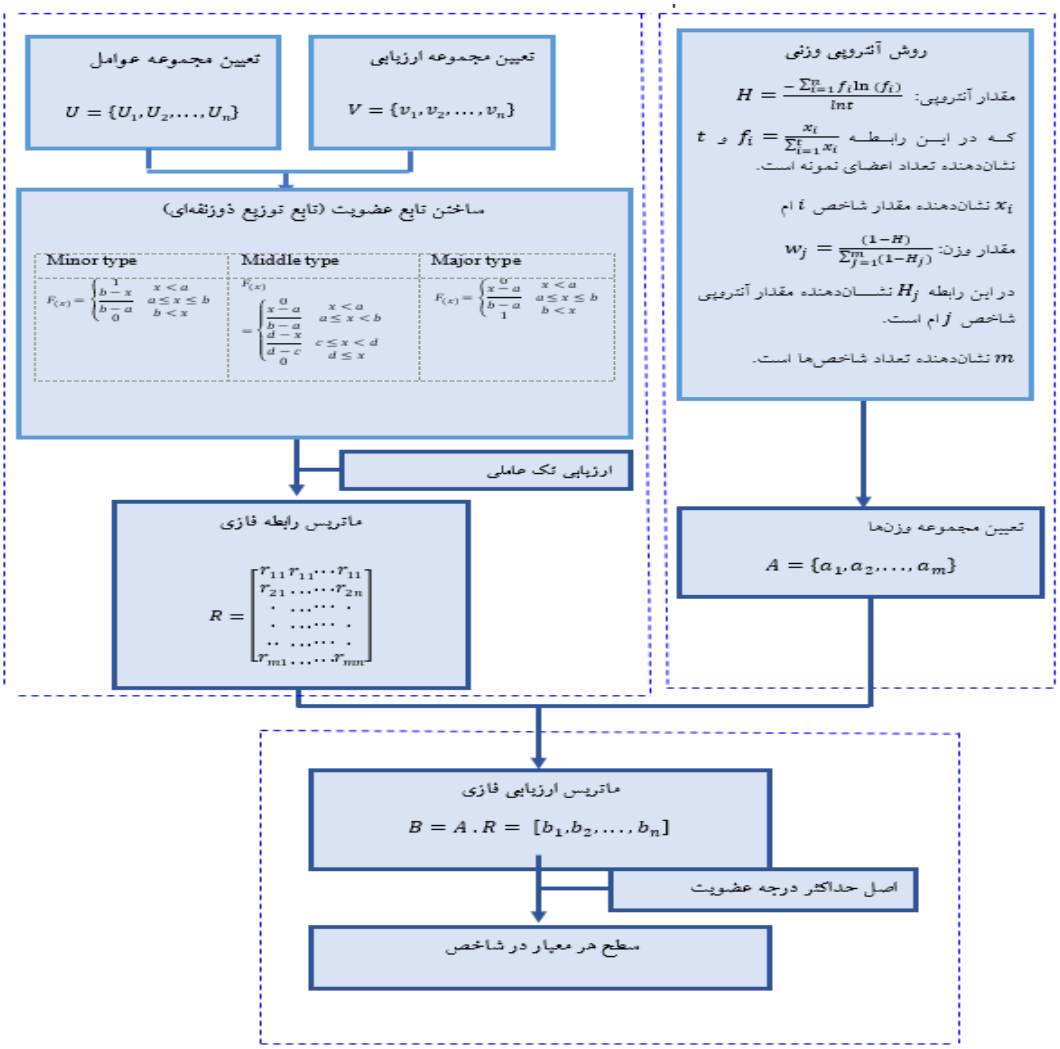
در بخش پایانی سیستم استنتاج فازی کار فازی‌زدایی از مقادیر محاسبه شده انجام می‌شود. روش‌های بسیار متنوعی برای تبدیل کمیت فازی به کمیت کلاسیک (فازی‌زدایی[6]) وجود دارد که این روش‌ها را به‌طور کلی می‌توان در به چهار دسته روش‌های مبتنی بر میانگین[7]، روش‌های مبتنی بر کمینه[1]، روش‌های مبتنی بر

---

[1] Multi-level multi-Objective
[2] Analytic Hierarchy Process
[3] Principle Component Analysis
[4] Cantor
[5] Zadeh
[6] Defuzzification
[7] Methods Associated to Mean

بیشینه[۲] و سایر روش‌ها تقسیم‌بندی کرد (Talon, A. & Curt,2017). سیستم ارزیابی جامع فازی به‌کار رفته در این مطالعه در شکل (۱) آورده شده است.

شکل ۱: سیستم ارزیابی جامع فازی



منبع: Delgado & Romero (2017)

[1] Methods Associated to Minimum
[2] Methods Associated to Maximum

داده‌های پژوهش

پس از تعیین شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست، ابعاد مختلف آن، این مطالعه اقدام به برآورد این شاخص و تحلیل نتایج حاصل از آن با استفاده از ارزیابی مصنوعی فازی و با بهره‌گیری از روش وزن‌دهی آنتروپی بر اساس آخرین داده‌های موجود از بیلان آبی کشور یعنی سال ۱۳۹۰ برای کل استان‌های ایران نموده است. برای این منظور، داده‌های مربوط به مساحت استانی، جمعیت شهری، جمعیت استان، GDP استانی، رشد اقتصادی، ارزش افزوده بخش صنعت، ارزش افزوده بخش کشاورزی، درآمد خرج شده بر روی غذا، تعداد دانش‌آموزان با مدرک دیپلم، کل دانش‌آموزان هر استان، حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی (شامل چشمه، قنات، چاه نیمه عمیق و چاه عمیق)، انواع اراضی (شامل اراضی زراعی، مراتع، سایر اراضی، حجم فاضلاب، وزن‌های بار جابه‌جا شده توسط سیستم حمل و نقل استانی (شامل حمل و نقل جاده‌ای، حمل و نقل ریلی، پروازها (داخلی و بین‌المللی) و بنادر برای استان‌های دارنده هر یک از انواع حمل و نقل)، جمع راه‌های استانی ((شامل کل راه‌های جاده‌ای و کل خطوط ریلی راه‌آهن (اصلی، فرعی و صنعتی))، حجم آب استفاده شده در بخش صنعت از سالنامه‌های آماری استانی، سالنامه آماری کشور، حساب‌های ملی و منطقه‌ای مرکز آمار ایران، وزارت نیرو و وزارت صنعت و معدن به‌دست آمده است.

همچنین آمارهای مربوط به حجم تولیدی محصولات کشاورزی هر استان و مساحت اراضی زراعی و کشاورزی از آمارنامه بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۰ استخراج شده است. داده‌های مربوط به مساحت‌های جنگل‌ها و اراضی استانی از سازمان محیط‌زیست کشور و همچنین سالنامه‌های آماری استانی و کشوری مرکز آمار ایران گرفته شده‌اند. افزون بر این، داده‌های مربوط به میانگین کارایی فنی صنعتی از مطالعه Azadi-Nejad et al. (2010) جمع‌آوری شده است. محاسبات این شاخص به روشی دقیق و با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده[1] (DEA) انجام شده و مقدار شاخص کارایی فنی صنعتی برای هر یک از استان‌های کشور هم به‌صورت تکی و هم به‌صورت میانگین ده ساله محاسبه و رتبه‌بندی شده است. افزون بر این، ضریب آبیاری هر یک از استان‌های کشور موسسه تحقیقات فنی کشاورزی به‌دست آمده است. داده‌های مربوط به حجم منابع آب زیرزمینی و آب سطحی در هر یک از استان‌ها از سامانه تخصصی ساماب و داده‌های مرکز مدیریت منابع آب ایران برای سال ۱۳۹۰ اخذ شده است. سایر نسبت‌های به‌کار

[1] Data Envelopment Analysis

رفته در شاخص و محاسبات کمی برای به‌دست آوردن ضرایبی مانند ضریب انگل، شاخص کیفیت سکونت، نرخ شهرنشینی و ... به‌کار رفته در شاخص توسط محققان انجام شده است.

نتایج و بحث

برآورد شاخص یک‌پارچه آب – اقتصاد- محیط‌زیست و رتبه‌بندی هر یک از استان‌ها

تعیین وزن یک گام مهم در ارزیابی مصنوعی فازی است؛ زیرا این یک پارامتر حیاتی است که بر نتایج ارزیابی تأثیر می‌گذارد. هنگامی که هدف ارزیابی شده در دو شاخص متفاوت دارای ارزشی یکسان است، حداکثر مقدار آنتروپی برابر با عدد ۱ خواهد بود. وزن آنتروپی برابر با عدد ۰، بدان معنی است که این شاخص هیچ اطلاعات مفیدی برای تصمیم‌گیرندگان ارائه نمی‌کند. هنگامی که تفاوت در مقدار شاخص برای هر هدف مورد ارزیابی در شاخص‌های خاص بزرگ است، مقدار آنتروپی کوچک خواهد بود. وزن آنتروپی بزرگ بدین معناست که آن شاخص نشان دهنده اطلاعات مفیدی برای تصمیم‌گیرنده است (Majerník, 2014). در گام بعدی هر یک از وزن‌های مربوط به متغیرهای شاخص آب- اقتصاد- محیط- زیست با استفاده از روش وزن‌دهی آنتروپی برای ۲۱ زیرشاخص مؤثر در شاخص آب- اقتصاد- محیط- زیست در ۳۱ استان ایران محاسبه شده است. نتایج برآوردهای مربوط به وزن هر زیرشاخص‌ها در جدول (۵) آورده شده است.

جدول (۵): وزن‌های محاسبه شده برای شاخص کل یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست

زیرشاخص	وزن آنتروپی محاسبه شده	متغیر	وزن آنتروپی محاسبه شده
منابع	۰/۴۱۷۲	دسترسی به آب سرانه	۰/۰۲۷۹
		مصرف آب / یک میلیارد ریال ارزش افزوده بخش صنعت	۰/۰۵۴۳
		سرانه زمین‌های قابل کشت سالانه	۰/۰۳۷۱
		محصول کشاورزی در واحد سطح	۰/۰۶۱۱
تکنولوژی و حمل و نقل	۰/۳۸۲۳	کارایی فنی صنعتی	۰/۰۵۲۲
		ضریب آبیاری (ضریب جذب)	۰/۰۳۸۷
		حمل و نقل و باربری	۰/۰۲۴۵۲
		تراکم شبکه حمل و نقل	۰/۰۱۱۷۴
اقتصادی	۰/۲۱۱۵	تولید سرانه (GDP سرانه)	۰/۰۷۲۱
		نرخ رشد اقتصادی	۰/۰۳۱۶

		نرخ ناخالص تولید محصولات کشاورزی	۰/۰۴۲۳
		نرخ ناخالص تولید محصولات صنعتی	۰/۰۴۰۳
اجتماعی	۰/۰۸۴۱	ضریب انگل	۰/۰۳۱۱
		نسبت افراد با مدرک دیپلم	۰/۰۰۲۹
		نرخ شهرنشینی	۰/۰۰۵۱
		نرخ رشد جمعیت	۰/۰۵۷۹
محیط‌زیست	۰/۰۶۱۳	نسبت پوشش جنگل به مرتع	۰/۰۰۸۳
		شاخص کیفیت سکونت	۰/۰۰۵۵
		سرانه فاضلاب تولیدی در هر استان	۰/۰۵۱۲

منبع: محاسبات نویسندگان

همان‌گونه که از نتایج برآورد شاخص آب-اقتصاد-محیط‌زیست در جدول (۵) مشاهده می‌شود، زیرشاخص منابع آب نقش چشمگیری در بین زیرشاخص‌های پنج‌گانه داشته است و بیشترین وزن محاسباتی مربوط به این زیرشاخص است. وزن محاسباتی برای پنج زیرشاخص تکنولوژی و حمل‌ونقل، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌ترتیب کوچک‌تر بوده است. در بخش منابع آب نیز بیشترین وزن اختصاص یافته متعلق به محصول کشاورزی تولید شده در واحد سطح بوده است. کم‌ترین وزن محاسبه شده در آنتروپی شانون نیز متعلق به بخش محیط‌زیست بوده است؛ اما این به معنای چشم‌پوشی و غفلت از محیط‌زیست نخواهد بود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در بخش اقتصادی بیشترین وزن محاسباتی با استفاده از روش آنتروپی شانون نیز به تولید سرانه، در بخش اجتماعی به نرخ رشد جمعیت و ضریب انگل برای غذا و در بخش محیط‌زیست نیز به فاضلاب تولیدی هر استان اختصاص یافته است.

رتبه‌بندی استان‌های کشور در ابعاد شاخص آب - اقتصاد - محیط‌زیست

پس از انجام محاسبات وزنی، بر طبق اصل اساسی در مورد تابع عضویت و تحلیل درجه عضویت، شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست برآورد شده است. یکی از بخش‌های مهم ارزیابی مصنوعی فازی، تعیین

مجموعه ارزیابی[1] و تابع عضویت[2] است. در این نوع مسائل فازی، به‌دلیل آن‌که امکان استفاده از پاسخ‌های «بله» یا «خیر» برای تعلق به یک مجموعه ارزیابی واحد وجود ندارد؛ برای نشان دادن عدم قطعیت مربوط به عضویت در یک مجموعه ارزیابی از درجه عضویت[3] استفاده می‌شود. هنگامی که درجه عضویت به دلیل تغییر در یک متغیر تغییر می‌کند، نیاز به ایجاد یک تابع عضویت خواهد بود. در واقع، برای به‌دست آوردن یک شاخص ارزیابی کمّی، مقداری عددی در بازه [۰،۱] به‌عنوان درجه عضویت برای بیان عدم قطعیت مربوط به عضویت در مجموعه ارزیابی استفاده می‌شود.

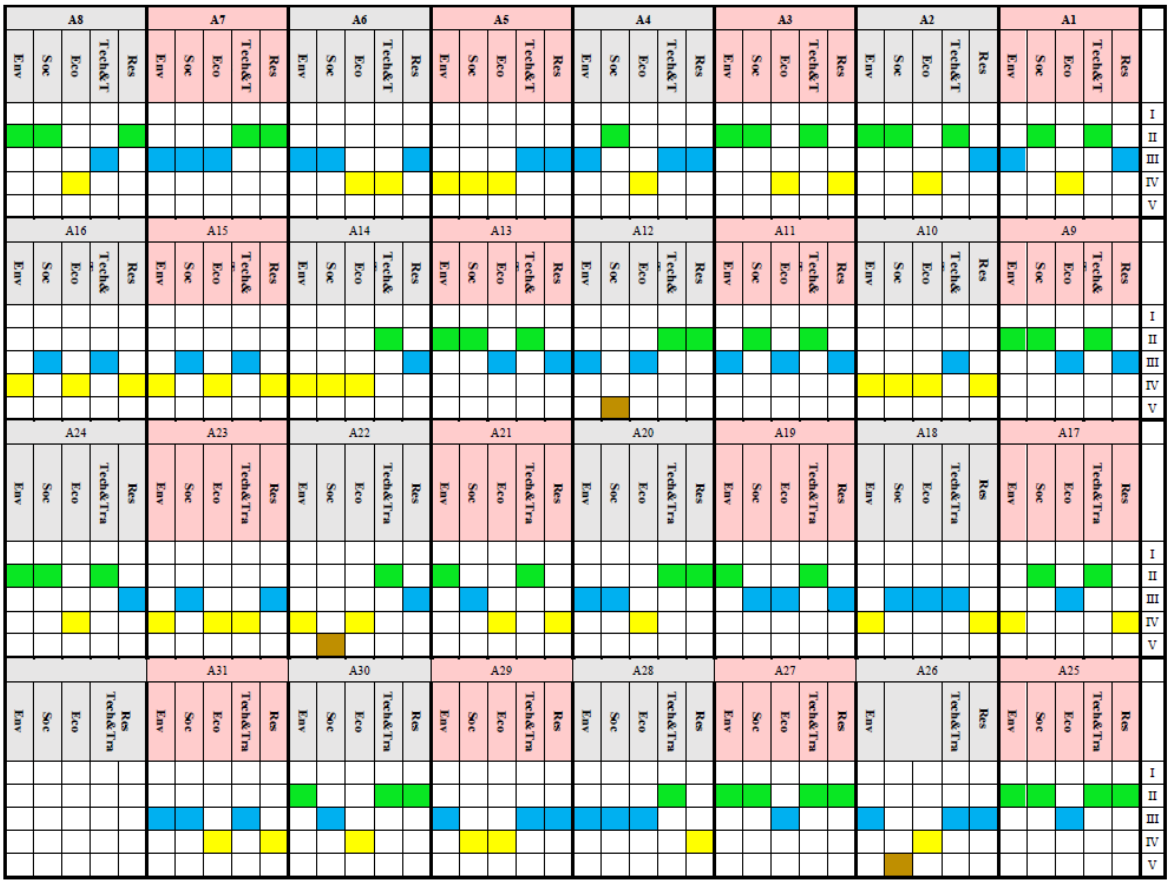
در نهایت، نتایج حاصل از ارزیابی جامع فازی به یکی از پنج رتبه، یعنی مجموعه ارزیابی $\{I, II, III, IV, V\}$ = {عالی، خوب، متوسط، نسبتاً ضعیف و ضعیف} دسته‌بندی می‌شود و برای هر استان، مناسب بودن وضعیت آن استان در هر یک از زیرشاخص‌های موجود در شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست از درجه I به درجه V کاهش می‌یابد. هر استان یکی از پنج رتبه را بر اساس محاسبات انجام شده به دست می‌آورد تا بتوان میزان مناسب بودن تخصیص منطقه‌ای منابع آب در آن استان را ارزیابی کرد. نکته قابل ذکر آن است که پس از دستیابی به ماتریس B از اصل ماکزیمم عضویت[4] و الگوریتم ماکزیمم – می‌نیمم[5] به‌عنوان عملگر محاسباتی فازی[6] استفاده شده است (Zadeh,2015). علت به‌کارگیری این روش‌ها کارایی آن‌ها در انجام محاسبات در زمینه تصمیم‌گیری چندهدفه و چندمعیاره فازی بر اساس روش‌های تحلیل حساسیت[7] در مطالعات (Seddique, 2009)، (Runkler, 1997) و (Zulqarnain et al., 2020) بوده است. بر اساس اصول محاسباتی فازی‌زدایی در روش اصل ماکزیمم عضویت، در صورتی که در انجام محاسبات دو مقدار ماکزیمم وجود داشته باشد؛ سطح ارزیابی به‌صورت مقدار نزدیک‌تر به ماکزیمم دوم در نظر گرفته می‌شود (Zadeh,2015). برای آن‌که بتوان وضعیت هر استان را در هر یک از زیرشاخص‌های آب- اقتصاد- محیط‌زیست و همچنین در پنج درجه عالی، خوب، متوسط، نسبتاً ضعیف و ضعیف دسته‌بندی کرد، یک ماتریس 5×5 برای هر استان در نظر گرفته شده

---

[1] Evaluation Set
[2] Membership Function
[3] Membership Degree
[4] Maximum Membership Principle
[5] Max-Min Algorithm
[6] Fuzzy Arithmetic Operator
[7] Sensitivity Analysis

است. بر اساس محاسبات نهایی حاصل از فازی‌زدایی[1] در ارزیابی جامع فازی، وضعیت هر استان در هر یک از زیرشاخص‌های منابع آب، تکنولوژی و حمل‌ونقل، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در پنج دسته عالی (I)، خوب (II)، متوسط (III)، نسبتاً ضعیف (IV) و ضعیف (V) رتبه‌بندی شده است. نتایج نهایی ارزیابی جامع فازی برای هر یک از استان‌های کشور در هر یک از زیرشاخص‌های پنج‌گانه در شاخص آب-اقتصاد- محیط‌زیست و هم‌چنین وضعیت نهایی هر استان بر اساس شاخص کل در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (٦): وضعیت هر یک از پنج زیرشاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست در استان‌های کشور



[1] Defuzzification

A1	آذربایجان شرقی	متوسط	≡	A2	آذربایجان غربی	متوسط	≡	A3	اردبیل	متوسط	≡	A4	اصفهان	متوسط	≡	A5	البرز	نسبتاً ضعیف	IV	A6	ایلام	نسبتاً ضعیف	IV	A7	بوشهر	متوسط	≡	A8	تهران	متوسط	≡
A9	چهارمحال بختیاری	خوب	=	A10	خراسان جنوبی	نسبتاً ضعیف	IV	A11	خراسان رضوی	متوسط	≡	A12	خراسان شمالی	متوسط	≡	A13	خوزستان	خوب	=	A14	زنجان	نسبتاً ضعیف	IV	A15	سمنان	نسبتاً ضعیف	IV	A16	سیستان و بلوچستان	نسبتاً ضعیف	IV
A17	فارس	متوسط	≡	A18	قزوین	نسبتاً ضعیف	IV	A19	قم	متوسط	≡	A20	کردستان	متوسط	≡	A21	کرمان	نسبتاً ضعیف	IV	A22	کرمانشاه	نسبتاً ضعیف	IV	A23	کهگیلویه و بویر احمد	نسبتاً ضعیف	IV	A24	گلستان	متوسط	≡
A25	گیلان	خوب	=	A26	لرستان	نسبتاً ضعیف	IV	A27	مازندران	خوب	=	A28	مرکزی	نسبتاً ضعیف	IV	A29	هرمزگان	متوسط	≡	A30	همدان	متوسط	≡	A31	یزد	نسبتاً ضعیف	IV				

منبع: محاسبات نویسندگان

مطابق جدول (۶)، ستون‌های عمودی نشان‌دهنده هر یک از پنج زیر شاخص و ردیف‌های افقی بیان‌گر رتبه‌بندی استان‌ها از عالی به ضعیف در هر یک از زیرشاخص‌های منابع آب (Res)، تکنولوژی و حمل‌و-نقل (Tech&Tra)، اقتصادی (Eco)، اجتماعی (Soc) و محیط‌زیست (Env) است. همچنین استان‌ها به-ترتیب حروف الفبا $\{A_1, A_2, \ldots, A_n\}$ نام‌گذاری شده‌اند. در این جدول وضعیت عالی با رنگ قرمز، خوب (سبز)، متوسط (آبی)، نسبتاً ضعیف (زرد) و ضعیف (قهوه‌ای) نشان‌داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هیچ یک از استان‌های ایران از نظر زیرشاخص‌های پنج‌گانه آب- اقتصاد- محیط‌زیست وضعیت عالی نداشته‌اند.

نتایج به‌دست آمده از سیستم ارزیابی جامع فازی نشان می‌دهد که در زیرشاخص منابع آب، استان‌های اردبیل، خراسان جنوبی، سمنان، سیستان و بلوچستان، فارس، قزوین، کرمان، مرکزی و یزد وضعیت نسبتاً ضعیف داشته‌اند. همچنین استان‌های بوشهر، گیلان، مازندران، کردستان، تهران، خراسان شمالی، همدان در این زیرشاخص وضعیت خوب دارند. سایر استان‌های کشور از نظر وضعیت زیر شاخص منابع آب، وضعیت متوسط دارند. افزون بر این، از نظر شاخص تکنولوژی و حمل و نقل، اکثر استان‌های کشور در وضعیت خوب و متوسط قرار دارند؛ در حالی‌که استان‌های ایلام و کهگیلویه و بویر احمد در وضعیت نسبتاً ضعیف برای این زیرشاخص هستند. از نظر زیرشاخص زیست‌محیطی نیز بخش عمده‌ای از استان‌های کشور وضعیت خوب و متوسط داشته‌اند؛ در حالی‌که استان‌های البرز، خراسان جنوبی، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، فارس، قزوین، کرمانشاه و کهگیلویه و بویراحمد در وضعیت نسبتاً ضعیف برای این

شاخص دسته‌بندی می‌شوند.

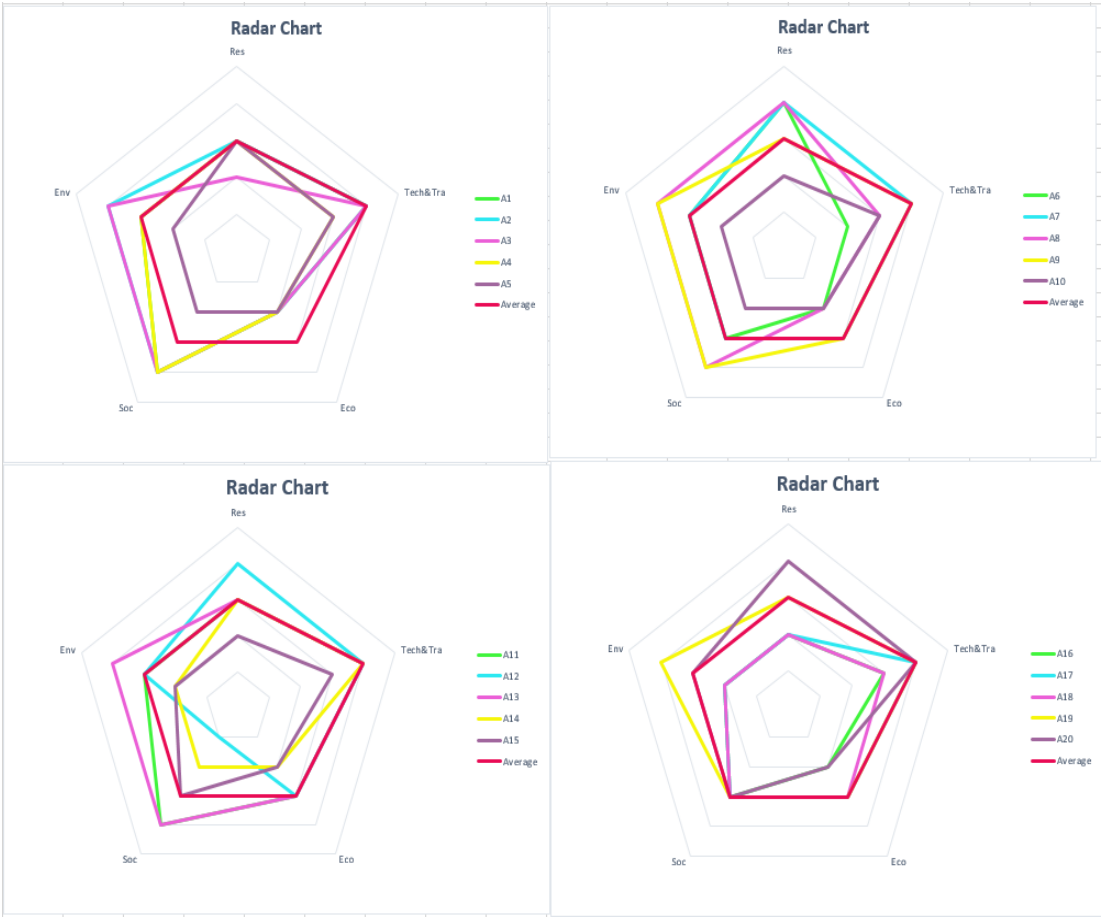
از نظر زیرشاخص اقتصادی، همه استان‌های کشور در وضعیت متوسط و نسبتاً ضعیف قرار دارند. در این زیرشاخص استان‌های فارس، قزوین، قم، مازندران، گیلان، مرکزی، چهار محال و بختیاری، بوشهر، خراسان شمالی و خراسان رضوی وضعیت متوسط و سایر استان‌های کشور وضعیت نسبتاً ضعیف دارند. نکته قابل توجه آن است که از نظر زیرشاخص اجتماعی بخش عمده‌ای از استان‌های کشور وضعیت خوب و متوسط دارند؛ در حالی‌که استان‌های البرز، خراسان جنوبی، زنجان و هرمزگان وضعیت نسبتاً ضعیف و استان‌های خراسان شمالی، کرمانشاه و لرستان در وضعیت ضعیف قرار می‌گیرند. این مسئله نشان می‌دهد که استان‌های مذکور نیازمند سیاست‌گذاری متنوعی در زمینه آب و به‌ویژه در بعد اجتماعی منابع آب هستند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از زیرشاخص محیط‌زیست در شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست، استان‌های البرز، خراسان جنوبی، زنجان، سمنان، سیستان‌وبلوچستان، کهگیلویه و بویر احمد و کرمانشاه در وضعیت ضعیف این شاخص قرار گرفته‌اند. همچنین استان‌های آذربایجان شرقی، ایلام، بوشهر، خراسان جنوبی، خراسان شمالی، کردستان، لرستان، مرکزی، هرمزگان و یزد در وضعیت متوسط این شاخص قرار می‌گیرند.

در نهایت از نظر شاخص کل آب- اقتصاد- محیط‌زیست نیز می‌توان همه استان‌های کشور را دسته‌بندی کرد. می‌توان دید که هیچ یک از استان‌های کشور در وضعیت عالی یا ضعیف شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست قرار نگرفته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده برای شاخص کل آب- اقتصاد- محیط‌زیست، نتایج نشان می‌دهد که بسیاری از استان‌های کشور در وضعیت متوسط قرارگرفته‌اند و استان‌های مازندران، گیلان، خوزستان و چهارمحال بختیاری از نظر وضعیت شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست در وضعیت خوب هستند. بدان معنا که می‌توان این استان‌ها را به‌عنوان بهترین استان‌ها برای اجرای راهبرد تجارت آب مجازی در نظر گرفت. همچنین بر اساس نتایج شاخص کل، استان‌های البرز، ایلام، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، کرمان، قزوین، کرمانشاه، کهگیلویه و بویر احمد، لرستان و مرکزی در وضعیت نسبتاً ضعیف شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست قرار می‌گیرند. نتیجه نهایی نشان می‌دهد که هر یک از استان‌های کشور وضعیت خاصی از نظر شاخص یک‌پارچه اقتصاد- آب- محیط‌زیست دارند و سیاست‌گذاری انجام شده در هر یک از این استان‌ها باید بر اساس قوت یا ضعف استان‌های مذکور در هر یک از زیرشاخص‌های منابع آب، تکنولوژی و حمل‌ونقل، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی باشد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مساحت اختصاص یافته در نقشه رادار به استان‌های مازندران (A_{27})،

گیلان (A_{25}) و استان چهارمحال بختیاری (A_9) و خوزستان (A_{13}) نسبت به میانگین کل استان‌ها در ناحیه محصور شده با رنگ قرمز، بزرگ‌تر است که نشان از مناسب بودن وضعیت این استان‌ها در ابعاد مختلف شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست دارد. از سوی دیگر، از آن‌جا که مساحت مربوط به استان‌های البرز (A_5)، ایلام (A_6)، خراسان جنوبی (A_{10})، زنجان (A_{14})، سمنان (A_{15})، سیستان و بلوچستان (A_{16})، قزوین (A_{18})، کرمان (A_{21})، کرمانشاه (A_{22})، لرستان (A_{26}) و استان مرکزی (A_{28}) و یزد (A_{31}) در درون خط قرمز رنگ برای میانگین مقادیر قرار گرفته است، می‌توان دید که این استان‌ها از نظر شاخص کلی در وضعیت نسبتاً ضعیف قرار دارند.

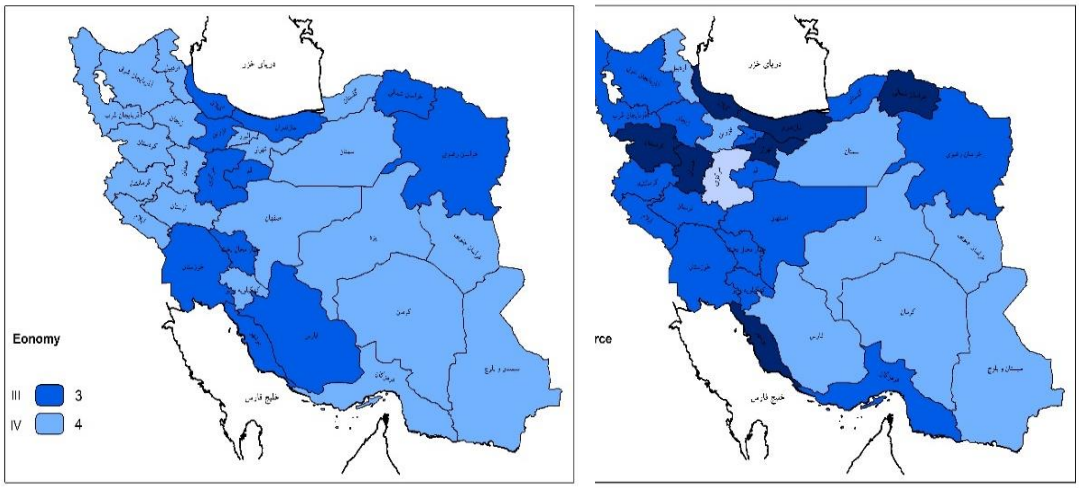
نمودار ۱: نمودار رادار برای وضعیت هر یک از زیرشاخص‌های آب- اقتصاد- محیط‌زیست در استان‌های ایران



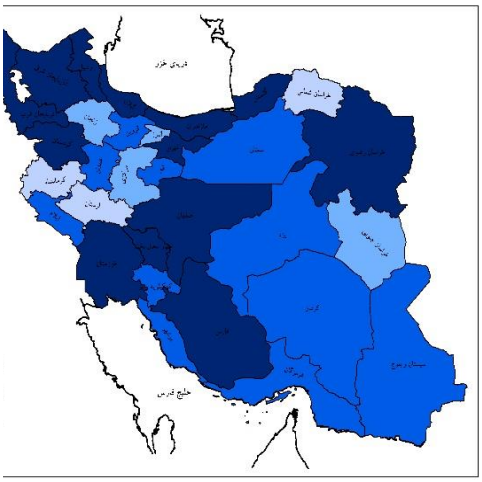
منبع: محاسبات نویسندگان

علاوه بر این، برای فهم بهتر توزیع فضایی شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست در استان‌های ایران، نقشه تغییرپذیری فضایی ابعاد و زیرشاخص‌های مختلف شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست و همچنین شاخص کل با استفاده از نرم‌افزار GIS ترسیم شده است. رنگ به‌کار رفته برای هر استان بر اساس وضعیت آن استان در زیرشاخص‌های آب- اقتصاد- محیط‌زیست و همچنین بر اساس شدت آن از عالی، خوب، متوسط، نسبتاً ضعیف و ضعیف به ترتیب با اعداد ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ ترسیم شده است.

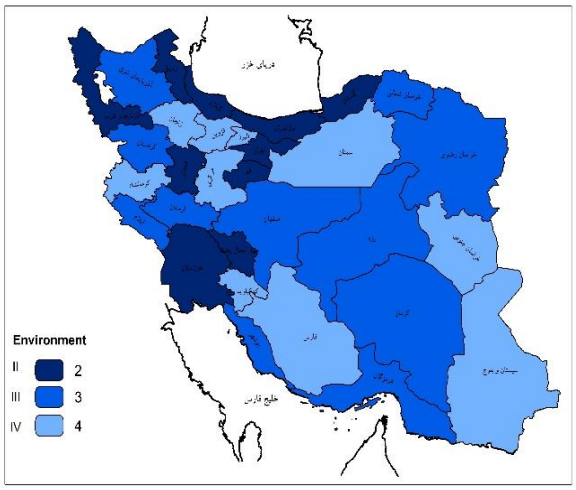
شکل ۲: نقشه فضایی پنج زیرشاخص اصلی و میانگین کل



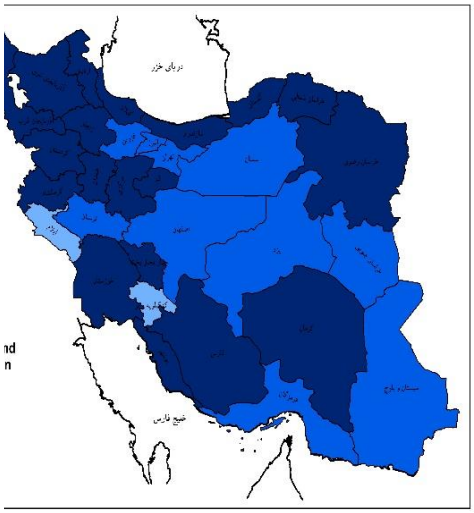
منابع آب



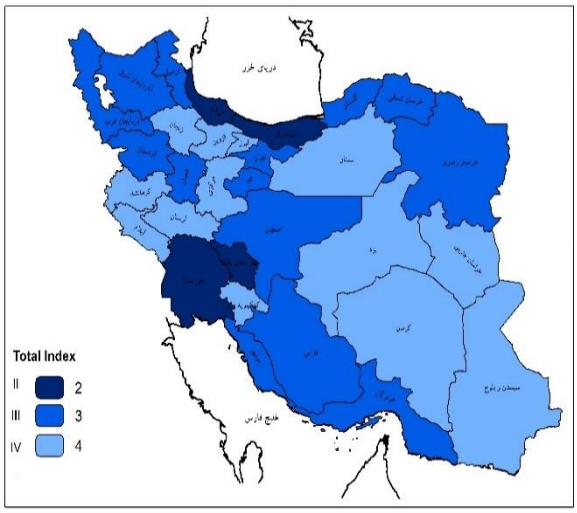
اقتصادی



اجتماعی



زیست‌محیطی



تکنولوژی و حمل و نقل

شاخص کل

منبع: محاسبات نویسندگان

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست یکی از ابزارهای کارا برای باز تخصیص جهانی و محلی منابع آب است. از آن‌جا که کشور ایران در حال رنج‌بردن از نوعی خشکسالی اقتصادی- اجتماعی همراه با اثرات زیست‌محیطی بوده است، سیاست‌گذاری منطقه‌ای با استفاده از یک شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست می‌تواند راه‌حلی مناسب برای تخصیص یک‌پارچه منابع آب و همچنین شناختن استان‌های قوی برای اجرای راهبرد و جهت تجارت کالاهای آب‌بر به مناطق کم‌آب باشد. هدف اصلی این پژوهش، تعیین شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست برای تخصیص منطقه‌ای منابع آب در استان‌های ایران بوده است. برای حل مسئله مربوط به معیار ارزیابی و عینی‌تر ساختن نتایج ارزیابی شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست از تابع عضویت فازی، ارزیابی مصنوعی فازی و روش وزن‌دهی آنتروپی برای توصیف مرزهای شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست استفاده شده است. این مطالعه برای بررسی وضعیت شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست در ۳۱ استان کشور و در قالب پنج زیرشاخص منابع آب، تکنولوژی و حمل و نقل، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی انجام شده است. نتایج مطالعه نشان داد که وضعیت راهبرد آب- اقتصاد- محیط‌زیست در سراسر استان‌های ایران متغیر و از استانی به استان دیگر متفاوت است. بر همین اساس، نمی‌توان یک راهبرد سیاست‌گذاری جامع را به‌صورت یکسان برای همه استان‌های کشور به‌کار گرفت و باید سیاست‌گذاری و تخصیص منابع آب در هر یک از استان‌های ایران بر اساس شدت یا ضعف استان مورد نظر در هر یک زیرشاخص‌های مربوط به شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست باشد. هر چند که استفاده از برخی سیاست‌های عمومی نسبت به منابع آب و محیط‌زیست برای کل کشور امری گریزناپذیر است؛ با توجه به محدودیت منابع آبی و هم‌چنین محدودیت بودجه، سیاست‌گذاری‌های خاص در هر استان باید بر اساس قوت و ضعف استان‌ها در هر یک از زیرشاخص‌های مذکور انجام داد.

یکی از راه‌حل‌های اساسی در این زمینه آن است که استان‌های ضعیف از نظر شاخص آب – اقتصاد- محیط-زیست مانند البرز، ایلام، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، کرمان، قزوین، کرمانشاه، کهگیلویه و بویر احمد، لرستان و مرکزی باید از توسعه صنایع آب‌بر دسته اول خودداری کرده و عمدتاً به توسعه صنایع دسته دوم و سوم از نظر آب‌بری یا توسعه بخش خدمات بپردازند. از سوی دیگر، برای استان‌های ضعیف و نسبتاً ضعیف از نظر بعد منابع آب مانند اردبیل، خراسان جنوبی، سمنان، سیستان و بلوچستان، فارس، قزوین، کرمان، مرکزی و یزد باید جهت‌گیری سیاست‌گذاری بیشتر بر توسعه طرح‌های آبخیزداری، قوانین سختگیرانه‌تر حفاظت و استخراج از منابع آب سطحی و زیرزمینی، صرفه‌جویی و افزایش کارایی استفاده از آب در صنایع و همچنین بخش کشاورزی باشد. برای استان‌های ضعیف و نسبتاً

ضعیف از نظر زیرشاخص اجتماعی مانند استان‌های البرز، خراسان جنوبی، زنجان و هرمزگان و استان‌های خراسان شمالی، کرمانشاه و لرستان باید سیاست‌های جمعیتی، بهبود امنیت غذایی، آموزشی و همچنین توسعه صنایع دسته‌دوم و دسته‌سوم از نظر آب‌بری و بخش خدمات مورد توجه قرار گیرد. برای استان‌های ضعیف از نظر زیرشاخص زیست‌محیطی مانند البرز، خراسان جنوبی، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، فارس، قزوین، کرمانشاه و کهگیلویه و بویراحمد باید تاکید بیشتر سیاست‌گذاری بر حل مسائل حوزه زیست‌محیطی و جنگل‌ها و مراتع باشد.

با توجه به وضعیت خوب استان‌های مازندران، گیلان و چهارمحال بختیاری و خوزستان می‌توان این استان-ها را به‌عنوان استان‌های مناسب برای اجرای راهبرد آب- اقتصاد- محیط‌زیست در نظر گرفت که توسعه صنایع با آب‌بری زیاد، و همچنین توسعه بخش کشاورزی برای تولید محصولات غذایی در این استان‌ها و تجارت آن با استان‌های ضعیف و خیلی ضعیف از نظر شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست رویکردی مناسب با هدف کاهش تنش‌های آبی این استان‌ها به نظر می‌رسد. برای استان‌های ضعیف در بخش تکنولوژی و حمل و نقل نیز بازنگری سیاست‌های مربوط به توسعه شبکه حمل و نقل مانند استان‌های ایلام و کهگیلویه و بویر احمد، افزایش کارایی فنی بخش صنعت و بهبود راندمان فنی آبیاری در بخش کشاورزی از اهمیت بیشتری برخوردار است. برای استان‌های ضعیف از نظر وضعیت اقتصادی اتخاذ سیاست‌های بهبود عملکرد اقتصادی سرانه در تولید صنعتی و کشاورزی و افزایش بهره‌وری تولید سرانه محصولات آب‌بر ضروری به نظر می‌رسد. می‌توان گفت که اجرای راهبرد آب- اقتصاد- محیط‌زیست در مناطق با جمعیت کمتر و سطح فعالیت‌های اقتصادی بیشتر، تأثیر بیشتری خواهد داشت (Cui et al.,2018).

یکی از نکات مهم در این زمینه آن است که برخی از استان‌های ایران مانند استان‌های آذربایجان شرقی، کرمان، اصفهان و ... که بر اساس شاخص میانگین کارایی فنی صنعتی به‌عنوان استان‌های برتر در رتبه‌بندی صنعتی شناخته می‌شوند و سطح کارایی فنی صنعتی در آن‌ها مقادیر چشم‌گیری است، توسعه بخش صنعتی این استان‌ها می‌تواند سرمایه لازم را برای اجرای راهبرد تجارت آب مجازی و واردات غذا از استان‌های دارای وضعیت خوب در شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست پدید آورد و حل مشکلات ناشی از کمیابی آب را در پی داشته باشد. این استان‌ها می‌توانند با کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی و به‌کارگیری راهبرد آب مجازی خطرات کم‌آبی ناشی از گذار به توسعه بخش صنعت را کاهش دهند. در نهایت، به سیاست‌گذاران پیشنهاد می‌شود که برای تحلیل دقیق‌تر وضعیت شاخص آب- اقتصاد- محیط‌زیست از شاخص یک‌پارچه آب- اقتصاد- محیط‌زیست به‌عنوان ابزاری مناسب برای تصمیم‌گیری یک‌پارچه در

زمینه تخصیص منابع آب در ابعاد منطقه‌ای بهره بگیرند. همچنین به سایر پژوهشگران در این حوزه پیشنهاد می‌شود تا ابعاد شاخص آب- اقتصاد – محیط‌زیست را طی دوره‌های بلندمدت و طولانی‌تر و با ابعاد گسترده‌تری بسنجند تا بتوان سیاست‌گذاری آب در ایران را به‌صورت یک‌پارچه و بر حسب ظرفیت‌های استانی و منطقه‌ای در ابعاد پنج‌گانه منابع آب، اقتصادی، اجتماعی، حمل و نقل و تکنولوژی و زیست-محیطی به شکل دقیق‌تری بررسی کنند.

References

Abu-Sharar, T. M.; Al-Karablieh, E. K. & Haddadin, M. J. (2012). Role of Virtual Water in Optimizing Water Resources Management in Jordan. *Water resources management*, 26(14), 3977-3993.

Allan, J. A. (1997). 'Virtual water': A Long-Term Solution for Water Short Middle Eastern economies? (pp. 24-29). *London: School of Oriental and African Studies*, University of London.

Allan, J. A. (2003). Virtual Water-the Water, Food, and Trade Nexus. Useful Concept or Misleading Metaphor? *Water International*, 28(1), 106-113.

Amoori Z.; Bordbar, A. & Heidanejad, M. (2014). 'Quantity and Quality Evaluation of Virtual water trade in Iran (Case study of Khuzestan province), *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*, Volume 2, Issue 1, February, 2014.

Ansink, E. (2010). Refuting Two Claims about Virtual Water Trade, *Ecological Economics*, 69(10), 2027-2032.

Arabi Yazdi, A.; Alizadeh, A. & Mohammadian, F. (2009). Study of ecological water footprint in Iran's agricultural sector, *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, Volume 23, Number 4, Winter, 2009, pp. 15-1 (in Persian).

Arya, V. & Kumar, S. (2020). Knowledge measure and entropy: a complementary concept in fuzzy theory, *Granular Computing*, 1-13.

Azadi-Nejad, A.; Amadeh, H. & Emami Meybodi, A. (2010). Effective factors in technical efficiency of the industrial sector in Iranian provinces, *Economic Research*, Volume 49, 1, pp. 173-188 (in Persian).

Bakhshoodeh, M. & Dehghanpur, H. (2016). Modeling Crop Cultivation Pattern Based on Virtual Water Trade: Evidence from Marvdasht in Southern Iran. *Iran Agricultural Research*, 34(2), 29-34.

Cai, B.; Zhang, W., Hubacek, K.; Feng, K.; Li, Z.; Liu, Y. & Liu, Y. (2019). Drivers of Virtual Water Flows on Regional Water Scarcity in China. *Journal of*

Cleaner Production, 207, 1112-1122.

Caldera, U.; Bogdanov, D., Fasihi, M., Aghahosseini, A. & Breyer, C. (2020). Securing future water supply for Iran through 100% renewable energy powered desalination. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 23, pp 36-89.

Chen, G. Q., & Li, J. S. (2015). Virtual water assessment for Macao, China: highlighting the role of external trade. *Journal of Cleaner Production*, 93, 308-317.

Cui, X.; Wu, X., He, X., Li, Z., Shi, C., & Wu, F. (2018). Regional Suitability of Virtual Water Strategy: Evaluating with an Integrated Water-Ecosystem-Economy Index, *Cleaner Production*, 199, 659-667.

Darbandsari, P.; Kerachian, R., & Malakpour-Estalaki, S. (2017). An Agent-based behavioral simulation model for residential water demand management: The case-study of Tehran, Iran, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 78, 51-72.

Delgado, A., & Romero, I. (2017). Environmental Conflict Analysis Using an Integrated Grey Clustering and Entropy-Weight Method: A Case Study of a Mining Project in Peru, *Environmental Modelling & Software*, 77, 108-121.

Duarte, R.; Pinilla, V., & Serrano, A. (2016). Understanding Agricultural Virtual Water Flows in the World from an Economic Perspective: A Long-Term Study. Ecol. *Indicators 2016*, 61, 980-990.

El-Sadek, A. (2012). Virtual Water: An Effective Mechanism for Integrated Water Resources Management, *Agricultural Sciences*, 2(03), 248.

Faramarzi, M., Yang, H., Mousavi, J., Schulin, R., Binder, C. R., & Abbaspour, K. C. (2010). Analysis of intra-country virtual water trade strategy to alleviate water scarcity in Iran. *Hydrology and Earth System Sciences*, *14*(8), 1417-1433.

Friesen, J.; Sinobas, L. R., Foglia, L., & Ludwig, R. (2017). Environmental and social-economic methodologies and solutions towards integrated water resources management, 906-908.

Garrick, D. E., Hanemann, M., & Hepburn, C. (2020). Rethinking the economics of water: an assessment. *Oxford Review of Economic Policy*, 36(1), 1-23.

Gawel, E., & Bernsen, K. (2013). What is wrong with Virtual Water Trading? On the Limitations of the Virtual Water Concept, *Environment and Planning C: Government and Policy*, 31(1), 168-181.

Gong, L., & Jin, C. (2016). Fuzzy comprehensive evaluation for carrying capacity of regional water resources, *Water resources management*, 23(12), 2505-

2513.

Haak, L., & Pagilla, K. (2020). The water-economy nexus: a composite index approach to evaluate urban water vulnerability. *Water Resources Management*, *34*(1), 409-423.

Hoekstra, A. Y., Karandish, F. & Hogeboom, R. J., (2021). Physical versus virtual water transfers to overcome local water shortages: A comparative analysis of impacts, Water *Resources*, 147, 103811.

Holmberg, J., & Sandbrook, R. (2019). Sustainable development: what is to be done? *Policies for a small planet* (pp. 19-38). Routledge.

Islamic & Iranian Center of Progress (2016). Iran's water resources management: challenges and strategies, *Water Institute, Environment, Food Security and Natural Resources*, 2016 (In Persian).

Ismaili-Fard, M. & Kaveh F. H. (2017). Pathology of water policy in Iran, *Quarterly Journal of Social and Cultural Strategy*, Fifth Year, No. 21, Winter 2017, pp. 169-197 (in Persian).

J. Reimer. J. (2012). On the Economics of Virtual Water Trade, *Ecological Economics*, 75:135-139.

Jalil-Pir, H. (2012). The role of water pricing in the agricultural sector on the balance of water resources, *Economic Journal*, Monthly Review of Economic Issues, No. 2, May 2012, 128-119 (in Persian).

Jia, S.; Long, Q., & Liu, W. (2017). The Fallacious Strategy of Virtual Water Trade. *International Journal of Water Resources Development*, 33(2), 340-347.

Joodaki, G., Wahr, J., & Swenson, S. (2014). Estimating the human contribution to groundwater depletion in the Middle East, from GRACE data, land surface models, and well observations, *Water Resources Research*, 50(3), 2679-2692.

Kacprzak, D. (2017). Objective weights based on ordered fuzzy numbers for fuzzy multiple criteria decision-making methods. *Entropy*, 19(7), 373.

Karamouz, M., Yazdi, M. S., Ahmadi, B., & Zahraie, B. (2011). A system dynamics approach to economic assessment of water supply and demand strategies. In World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability (pp. 1194-1203).

Katyaini, S., Barua, A., & Duarte, R. (2020). Science-policy interface on water scarcity in India: Giving ‘visibility’to unsustainable virtual water flows (1996–2014). *Journal of Cleaner Production*, 275, 124059.

Khalili, d. (2016). Challenges facing water resources management in drought conditions in Iran, *Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and*

Natural Resources, 1, 2, pp. 149-164 (in Persian).

Liu, J., Hull, V., Batistella, M., DeFries, R., Dietz, T., Fu, F., ... & Zhu, C. (2013). Framing sustainability in a telecoupled world. *Ecology and Society*, 18(2).

Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of environmental studies and sciences*, 4(4), 315-328.

Madani, K. Amir A. & Ali Mirchi (2016). Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation, *Iranian Studies*, 49:6, 997-1016.

Majerník, V. (2014). Entropy—A universal concept in sciences. *Natural Science*, 2014.

Manshadi, H. D., Niksokhan, M. H., & Ardestani, M. (2015). A quantity-quality model for inter-basin water transfer system using game theoretic and virtual water approaches. *Water Resources Management*, *29*(13), 4573-4588.

Merrett, S. (2003). Virtual Water and the Kyoto Consensus: A Water Forum Contribution. *Water International*, 28(4), 540-542.

Mohammadi-Kanigolzar, F., Ameri, J. D., & Motee, N. (2014). Virtual Water Trade as a Strategy to Water Resource Management in Iran. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(02), 141.

Mohammad-Jani A. & Yazdanian N. (2014). Analysis of the water crisis in Iran and its management requirements, *Ravand Quarterly Journal*, Volume 21, Numbers 65 & 66, 2014, pp. 117-144 (in Persian).

Mousavi, S. N., Akbari, S. M. R., Soltani, Gh,. & M. Zarei (2010). Virtual water, a new strategy to deal with water crisis, The First National Conference on Water Crisis Management, March 2010 (in Persian).

Nasrollahi, M., Khosravi, H., Moghaddamnia, A., Malekian, A., & Shahid, S. (2018). Assessment of drought risk index using drought hazard and vulnerability indices. *Journal of Geosciences*, 11(20), 1-12.

Nasrollahi, Z. & Zarei, M. (2018). "Study of virtual water flows in Iran's economy: analysis of water sector relationships using output data approach", *Quarterly Journal of Econometric Modeling*, Volume 2, Issue 4, Fall 2018 (in Persian).

Nguyen, T. D., Edenhofer, O., Grimalda, G., Jakob, M., Klenert, D., Schwerhoff, G., & Siegmeier, J. (2018). Policy options for a socially balanced climate policy. G20 Insights. T20 Task Force on Global Inequality and Social Cohesion.

Pires, A., Morato, J., Peixoto, H., Botero, V., Zuluaga, L. (2017). Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources

management. *Science of the total environment*, *578*, 139-147.

Pouran, R. Raghfar H. Ghasemi, A. & Bazazan, F. (2018). Calculating the economic value of virtual water using maximizing irrigation water efficiency approach", *Iranian Journal of Water Economics*, Volume 6, Number 21, Spring 2018. pp. 189-212 (in Persian).

Qasemipour, E., & Abbasi, A. (2020). Virtual water flow and water footprint assessment of an arid region: A case study of South Khorasan province, Iran. *Water*, 11(9), 1755.

Qudusi, H. & Davari H. (2017). Critical analysis of virtual water from a policy perspective. *Water and Sustainable Development*, 3 (1), 47-58 (in Persian).

Razavi, S. & Davari, K. (2014). The role of virtual water management in Iran water resources management, *Water and Sustainable Development*, Volume 1, No. 1, March 2014, pp. 9-18 (in Persian).

Roodposhti, M., Aryal, J., Shahabi, H., & Safarrad, T. (2016). Fuzzy shannon entropy: A hybrid gis-based landslide susceptibility mapping method. *Entropy*, 18(10), 343.

Runkler, T. A. (1997). Selection of appropriate defuzzification methods using application specific properties. *IEEE transactions on fuzzy systems*, *5*(1), 72-79.

Sartori, M., Schiavo, S., Fracasso, A., & Riccaboni, M. (2017). Modeling the Future Evolution of the Virtual Water TradeN: A combination of Network and Gravity Models. *Water Resources*, 110, 538-548.

Sarvin., Etaei, S., & Montaseri, M. (2021). Development of hydro-social-economic-environmental sustainability index (HSEESI) in integrated water resources management. *Environmental Monitoring and Assessment*, *193*(8), 1-29.

Shannon, C. E. (2001). A Mathematical Theory of Communication. *SIGMOBILE Mob Comput Commun Rev*, 5 (1): 3–55.

Siddique, Muhammad. "Fuzzy decision making using max-min, *MMR methods*." (2009).

Sun, S., Wang, Y., Engel, B. A., & Wu, P. (2016). Effects of Virtual Water Flow on Regional Water Resources Stress: A Case Study of Grain in China. *Science of the Total Environment*, 550, 871-879.

Tahamipour, M. Abbas, S. & Arab Mazar, A. (2015). "Virtual water trade pattern in economic activities of Gilan province: application of augmented input-output tables, *Quarterly Journal of Environmental Sciences*, Volume 13, Issue 3, Fall 2015 (in Persian).

Talon, A., & Curt, C. (2017). Selection of appropriate defuzzification

methods: Application to the assessment of dam performance. *Expert Systems with Applications*, 70, 160-174.

Tomislav, K. (2018). The concept of sustainable development: From its beginning to the contemporary issues. *Zagreb International Review of Economics & Business*, *21*(1), 67-94.

Van der Voort, N., & Vanclay, F. (2015). Social impacts of earthquakes caused by gas extraction in the Province of Groningen, The Netherlands, *Environmental Impact Assessment Review*, 50, 1-15.

Wang, Z., Zhang, L., Zhang, Q., Wei, Y. M., Wang, J. W., Ding, X., & Mi, Z. (2019). Optimization of Virtual Water Flow via Grain Trade within China. *Ecological Indicators*, 97, 25-34

Wichelns, D. (2004). The Policy Relevance of Virtual Water Can Be Enhanced by Considering Comparative Advantages. *Agricultural Water Management*, 66(1), 49-63.

Wu, D. S., Feng, X., & Wen, Q. Q. (2011). The Research of Evaluation for Growth Suitability of Carya Cathayensis Sarg. Based on PCA and AHP. *Procedia Engineering*, 15, 1879-1883.

www.amar.org.ir

www.doe.ir

www.iwmi.cgiar.org

Yang, H.; Zehnder, A.J. (2002). Water Scarcity and Food Import: A Case Study for Southern Mediterranean Countries, *World Development*, 2002, 30, 1413-1430.

Ye, W., Xu, X., Wang, H., Wang, H., Yang, H., & Yang, Z. (2016). Quantitative assessment of resources and environmental carrying capacity in the northwest temperate continental climate ecotope of China. *Environmental Earth Sciences*, *75*(10), 868.

Zadeh, L. A. (2015). Fuzzy logic—a personal perspective, *Fuzzy sets and systems*, 281, 4-20.

Zulqarnain, R. M., Xin, X. L., Saeed, M., & Ahmed, N. (2020). Application of Interval Valued Fuzzy Soft Max-Min Decision Making Method in Medical Diagnosis. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, *62*(1), 56-60.