مدیریت آب و آبیاری
(نشریه علمی)
دوره ۱۱ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰
صفحه‌های ۴۵۰-۴۳۳
DOI: 10.22059/jwim.2021.325449.885

مقاله پژوهشی:

برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه آبریز کرخه با توجه به درآمد ناخالص بخش کشاورزی، توازن در توزیع درآمد کشاورزی و تأمین حقابه محیط‌زیستی

امیر حاتم خانی[۱]، علی مریدی[۲*]، مجتبی شوریان[۳]، محمدصادق اسکندری[۴]
۱. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲. استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳. استادیار، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶

چکیده
در مطالعات طرح‌های توسعه منابع آب باید علاوه بر توجیهات فنی، جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی نیز مدنظر قرار داده شود. از این‌رو، استفاده از روش‌های شبیه‌سازی برای توسعه یک استراتژی مناسب و به‌منظور تصمیم‌گیری برای آینده منابع آب هر پهنه‌ای امری ضروری به‌شمار می‌آید. برای شبیه‌سازی حوضه آبریز کرخه از مدل MODSIM، استفاده شده است. دو نوع سیاست کلی، یکی مربوط به میزان تقاضای آب در بخش کشاورزی از جهت مصرف حداقلی، میانه و حداکثری و دیگری مرتبط با چگونگی توسعه سدهای حوضه از جهت اضافه‌شدن سدهای در دست‌ساخت و مطالعه به سیستم تعریف شده‌اند. شاخص‌های مدنظر که جهت بررسی هریک از سناریوها در این پژوهش استفاده شده است عبارتند از سطح زیر کشت، تولید ناخالص داخلی کشاورزی، دبی زیست‌محیطی به‌منظور حفظ تالاب هورالعظیم و از همه مهم‌تر ضریب ویلیامسون که بحث کاهش نابرابری اقتصادی و توازن در توزیع درآمد حاصل از کشاورزی میان استان‌های حوضه آبریز کرخه را مورد بررسی قرار می‌دهد. در آخر نیز با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به نام‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای، سیاست‌های مدنظر رتبه‌بندی و در کنار انتخاب سیاست برتر نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند. طبق نتایج در هر دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای، سناریو مشتمل بر توسعه سدهای در دست مطالعه و مصرف کم آب (که یک سناریو ایده‌آل است) و پس از آن سناریوی توسعه سدهای در دست ساخت و مطالعه حوضه آبریز کرخه در شرایط تقاضای متوسط آب کشاورزی، به‌ترتیب بهترین سیاست‌ها برای برنامه‌ریزی در حوضه برمبنای شاخص‌های انتخاب شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: تخصیص منابع آب، تصمیم‌گیری چند شاخصه، حوضه آبریز کرخه، شبیه‌سازی، ضریب تغییرات ویلیامسون، نابرابری اقتصادی.

Water resources planning in Karkheh basin according to the agricultural GDP, equality in the distribution of agricultural and the supplying of environmental requirement

Amir Hatamkhani[1], Ali Moridi[2], Mojtaba Shourian[3], Mohammad Sadegh Eskandari[4]
1. Ph.D. Candidate, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
4. M.Sc. Graduate, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
Received: June 23, 2021 Accepted: September 28, 2021

Abstract
In the study of water resources development projects, in addition to technical issues, economic, social and environmental aspects should also be considered. Therefore, the use of simulation model is the key to develop a reasonable strategy and to decide on the future of water resources in each region. To simulate Karkheh basin, MODSIM model is used as a decision support system. Two main types of policies are investigated, one related to the pattern of water consumption in terms of minimum, medium and maximum consumption, and the other related to how to develop basin dams and add them to the system. The economic, social and environmental indicators used to study each of the scenarios include the area under cultivation, the GDP from agricultural sector, the environmental flow to maintain the Hoor al-Azim wetland and, most importantly, the Williamson coefficient, which examines the issue of reducing economic inequality and equilibrium in the distribution of agricultural income among the provinces of the Karkheh basin. Finally, using the multi-criteria decision-making methods (MCDM) called AHP and ANP and also the MCDM software Super Decision, the results are compared and the policies ranked. The results show that in both AHP and ANP methods, scenarios including the development of the under study dams and minimal water consumption (which is an ideal scenario) and then the scenario of development of under study and construction dams in medium water consumption, respectively, are the best policies for planning in the basin based on the considered criteria.

Keywords: AHP, Karkheh basin, MCDM, MODSIM, Water resources allocation, Williamson index.

* نویسنده مسئول
Email: a_moridi@sbu.ac.ir

مقدمه

آب همواره به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین نیازها برای تشکیل جوامع در مناطق جغرافیایی مختلف مطرح بوده است. لذا بررسی تأثیرات ناشی از وجود، عدم وجود و یا کمبود آن بر عوامل مختلفی هم‌چون مهاجرت، امنیت مرزی، اشتغال، صنعت، کشاورزی و مسائل زیست‌محیطی شایان توجه است. به‌طورکلی مسائلی هم‌چون تأمین حداکثر نیازهای مختلف شرب، صنعت، کشاورزی و غیره و هم‌چنین تعادل‌بخشی بین منابع و مصارف در کنار شاخص‌هایی مانند حفظ محیط‌زیست ازجمله اهدافی است که گاهی با هم در تضاد هستند. در کشورمان ایران حوضه‌های آبریز متعددی وجود دارد که هر یک به نحوی با مسأله کمبود آب مواجه هستند. چگونگی تخصیص آب با نگاهی مدیریتی که بتواند همه مؤلفه‌های ذکرشده را تا حد قابل‌قبولی تأمین نماید یکی از نیازهای حال حاضر کشور است. در این پژوهش سعی بر آن است که با مدیریت تخصیص آب در حوضه آبریز کرخه، تأمین نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی به‌ترتیبی صورت گیرد که شاخص‌های مهمی از جمله بهبود اقتصاد منطقه و تأمین نیاز زیست‌محیطی و توازن در توزیع درآمد حاصل از کشاورزی است را در برداشته باشد. پیچیدگی حوضه آبریز کرخه به حدی است که ارزیابی و یا تغییر هر یک از مؤلفه‌های طراحی بدون بررسی یکپارچه و سیستمی آن امکان‌پذیر نیست. مدل‌های شبیه‌سازی با استفاده از مجموعه‌ای از روابط و پارامترها به پیش‌بینی رفتار سیستم می‌پردازند و رفتار سیستم منابع آب را مطابق با یک مجموعه از قوانین (واقعی یا فرضی) حاکم بر تخصیص‌های آب و بهره‌برداری از سازه‌ها بازسازی می‌کنند. نقطه قوت مدل‌های شبیه‌سازی توانایی آن‌ها در لحاظ‌کردن سیستم‌های منابع آب با کلیه اجزا و جزییات ممکن است.

تاکنون در سطح جهان، برای انجام مطالعات و برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، مدل‌ها و نرم‌افزارهای زیادی مورداستفاده قرار گرفته است. مدل‌های WEAP[1]، MIKE BASIN، RIBASIM[2]، MODSIM[3] از مهم‌ترین مدل‌هایی می‌باشند که در مسائل منابع آب مورداستفاده قرار گرفته‌اند (Hatamkhani & Moridi 2019).

تصمیم‌گیری چندشاخصه[4] (MCDM) یکی از رایج ترین روش‌های مورداستفاده در محیط تصمیم‌گیری است که به بررسی مسایل تصمیم‌گیری با رعایت تعدادی از شاخص‌های تصمیم می‌پردازد. علل لزوم استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب را می‌توان دست‌یابی به اهداف و محورهای گوناگون اسناد بالادستی موجود در مدیریت منابع آب، ارتباط مؤثر و مستقیم مسائل مدیریت منابع آب با دیگر حوضه‌ها مانند اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، وجود معیارها و شاخص‌های متضاد در مسایل مدیریت منابع آب، وجود سازمان‌ها، نهادها و مصرف‌کنندگان گوناگون در مدیریت منابع آب، لزوم در نظرگرفتن پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی طرح‌ها و برنامه‌های پیشنهادی به‌منظور انتخاب گزینه‌های برتر، وجود معیارها و شاخص‌های کیفی و غیرقابل اندازه‌گیری در مسائل مدیریت منابع آب نام برد (Mianabadi & Afshar, 2008).

Yilmaz & Harmancioglu (2010) در مقاله‌ای با عنوان تصمیم‌گیری چند شاخصه برای مدیریت منابع آب؛ مطالعه موردی حوضه رود گدیز در ترکیه به بررسی این رود پرداختند. در این مطالعه، از قابلیت‌های نرم‌افزار WEAP به‌منظور شبیه‌سازی و از شیوه‌های مجموع ساده وزنی[5]، روش برنامه‌ریزی سازشی[6] و TOPSIS[7] به‌منظور تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شده است. در این مطالعه اعتمادپذیری تأمین نیازهای شهری و کمبود سالانه

نیاز آبیاری به‌عنوان شاخص‌های اجتماعی درنظر گرفته شده‌اند. Toosi and Samani (2012) فرایند تحلیل شبکه‌ای[8] (ANP) را به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای رتبه‌بندی پروژه‌های انتقال آب معرفی کردند. با توجه به این که بسیاری از شاخص‌ها با هم مرتبط هستند، تحلیل شبکه‌ای برای رتبه‌بندی پروژه‌ها پیشنهاد می‌شود. در این پژوهش، ده پروژه انتقال آب در رودخانه کارون مورد بررسی قرار گرفته است که با استفاده از شاخص‌های سود، هزینه و ریسک طبقه‌بندی شده‌اند.

Sikder & Salehin (2015) در مقاله‌ای به مشکل آب‌رسانی روستایی در مناطق ساحلی بنگلادش پرداختند. سه روش مختلف تصمیم‌گیری چند شاخصه یعنی جمع وزنی، روند سلسله مراتبی تحلیلی[9] (AHP) و روش جدید برای ارزیابی نادرست و محیط تصمیم‌گیری[10] برای ارزیابی جایگزین مناسب برای تأمین آب استفاده شد. رتبه‌بندی گزینه‌های به‌دست‌آمده از این تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه نتایج مشابهی را به‌وجود آورد. در این مطالعه شاخص‌های اقتصادی و تکنیکی مورد بررسی قرار گرفتند. Rousta & Araghiejad (2015) برای مدل شناخته‌شده سیستم ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP) یک ابزار جدید تصمیم‌گیری چند شاخص مکانی[11] (SMCDM) برای تسهیل فرایند تصمیم‌گیری چند شاخص توسعه دادند. سه هدف متفاوت یعنی تعادل عرضه و تقاضا، کاهش خشک‌سالی و بهره‌وری اقتصادی برای آنالیز و اولویت‌بندی استراتژی‌های مدیریت حوضه رودخانه در نظر گرفتند. از SMCDM برای اولویت بندی استراتژی‌های مختلف مدیریت برای برآورد تقاضای آب خانگی در حوضه رودخانه گرگانرود استفاده شد.

Alamanos *et al.* (2018) یک ابزار تجزیه و تحلیل چند شاخصه برای ارزیابی استراتژی‌های مدیریت منابع آب و انتخاب مناسب‌ترین در میان آن‌ها، در یک منطقه یونان که با مشکلات کمبود آب مواجه است، ارائه کردند. در این پژوهش هفت استراتژی جایگزین تحت شاخص‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی موردبررسی قرار گرفتند و شاخص‌های محیط‌زیستی و اجتماعی درنظر گرفته نشده‌اند. Golfam *et al.* (2019) در مطالعه‌ای با دو روش AHP و TOPSIS، به تعیین بهترین سناریو تخصیص آب کشاورزی با توجه تغییرات آب‌وهوایی در حوضه قرانغو در شمال غربی ایران پرداخته شد. در این مطالعه، از هشت معیار مدیریت شامل انعطاف‌پذیری، آسیب‌پذیری، بازگشت‌پذیری، اعتمادپذیری زمانی، اعتمادپذیری حجمی، نسبت عرضه به تقاضا، در دسترس‌بودن و مجموع مربع کمبود برای اندازه‌گیری عملکرد سیستم استفاده شد. Hosnavi Atashgah *et al.* (2019) الگوی شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های اصلی و اثرگذار در طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای با روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه ارائه کردند. در این پژوهش، ابتدا معیارها و شاخصه‌ها با روش دلفی به هشت شاخص اصلی طبقه‌بندی‌شده و سپس با روش سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای اولویت‌بندی شدند.

Zamani *et al.* (2020) یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر فازی برای ارزیابی و رتبه‌بندی سناریوهای سازگاری پیشنهادی برای تغییر آب‌وهوا در سیستم منابع آب کشاورزی جره در جنوب‌غربی ایران توسعه دادند. معیارهای در نظر گرفته‌شده در تصمیم‌گیری چندمعیاره، شاخص کارایی در شرایط اقلیمی مختلف و شاخص پذیرش اجتماعی ذی‌نفعان بودند. Ebad Ardestani *et al.* (2020) در مطالعه‌ای چارچوب ارزیابی و رتبه‌بندی جایگزین‌های مختلف سیستم‌های تأمین تقاضای آب کشاورزی مطابق با معیارهای توسعه پایدار در حوزه پلدشت واقع در استان آذربایجان‌غربی را بررسی کردند. این مقایسه براساس معیارهایی شامل تعاریف

اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی انجام شد. نتایج پژوهش به‌خوبی کارایی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را در ارزیابی پروژه‌ها براساس معیارهای توسعه پایدار نشان می‌دهد. Zolfaghary *et al.* (2021) مناسب‌بودن استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده شهری به‌عنوان آب آبیاری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند معیاره را موردبررسی قرار دادند. در دسترس‌بودن آب آبیاری، فاصله فنی و اقتصادی از تصفیه‌خانه فاضلاب و مناسب‌بودن زمین‌های کشاورزی برای کشت محصول به‌عنوان معیارهای فنی و اقتصادی در نظر گرفته شده است.

در شرایطی که ۷۰ درصد آب استحصال‌شده در سطح جهان و در ایران حدود ۹۰ درصد، در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، رقابت‌ها در برداشت بیش‌تر آب به‌طور عمده معطوف به بخش کشاورزی بوده و حتی پیش‌بینی می‌شود در آینده نیز با افزایش نیازهای آبی، رقابت‌ها بر سر تخصیص آب در این بخش تشدید شود. با توجه به بررسی مطالعات گذشته مشخص است که در زمینه مدیریت و تخصیص منابع آب با روش‌های MCDM، معیارها و شاخص‌های مختلفی به‌کار گرفته شده است. اما یکی از شاخص‌هایی که کم‌تر موردتوجه قرار گرفته است و می‌باید در برنامه‌ریزی منابع آب در سطح حوضه آبریز در کنار شاخص‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد، توجه به میزان پراکندگی و تخصیص مناسب آب برای دست‌یابی به توزیع مناسب ثروت و کاهش نابرابری درآمدی ذی‌نفعان بخش کشاورزی است. بنابراین در این پژوهش سعی بر آن است با درنظرگرفتن شاخصی با عنوان توازن در توزیع درآمد بخش کشاورزی در کنار شاخص‌های اقتصادی (درآمد ناخالص داخلی کشاورزی[۱۲](GDP)) و محیط‌زیستی (دبی محیط‌زیستی مورد نیاز تالاب هورالعظیم) با یک نگاه جامع و روشی جدید به برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در حوضه آبریز پرداخته شود. توازن در توزیع درآمد با استفاده از ضریب تغییرات ویلیامسون که یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اندازه‌گیری نابرابری درآمدی درون‌منطقه‌ای است (Cuaresma *et al.*, 2014; Portnov & Felsenstein, 2010) و تا به‌حال در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب به‌کار گرفته نشده است، موردبررسی و اندازه‌گیری قرار گرفته است. با استفاده از این شاخص می‌توان به سمت ایجاد توازن در توزیع درآمد حاصل از کشاورزی (نحوه تخصیص و توسعه منابع آب میان استان‌های مشترک حوضه آبریز با توجه به درآمد و تعداد بهره‌برداران در بخش کشاورزی) و کاهش مناقشات و رقابت‌های بین استانی پیش رفت. دو نوع سیاست کلی، یکی مربوط به میزان تقاضای آب در بخش کشاورزی از جهت مصرف حداقلی، میانه و حداکثری و دیگری مرتبط با چگونگی توسعه سدهای حوضه از جهت اضافه‌شدن سدهای در دست‌ساخت و مطالعه به سیستم (در مجموع شامل نه سناریو) موردبررسی قرار گرفته شده است تا بهترین سیاست برای برنامه‌ریزی در حوضه آبریز انتخاب شود.

شاخص‌های پژوهش یعنی سطح زیر کشت، درآمد ناخالص داخلی و ضریب تغییرات ویلیامسون با استفاده از قابلیت‌های قسمت سفارشی‌سازی نرم‌افزار MODSIM تعریف شده است. سناریوهای آتی که مسأله توسعه زیرساخت‌های منابع آبی را مدنظر قرار داده به‌صورت مجزا مدل‌سازی شده و نتایج آن‌ها موردبررسی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش از شیوه‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه یعنی تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای به‌منظور رتبه‌بندی سناریوها و هم‌چنین انتخاب سناریو برتر استفاده شده است. بدین منظور درخت تصمیم در نظر گرفته شده برای این پژوهش در نرم‌افزار Super Decisions مدل شده است و نتایج حاصل از دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای ارائه و درنهایت نیز گزینه برتر نهایی برای آینده این حوضه معرفی شده است.

مواد و روش‌ها

در این بخش به روش‌ها و ابزارهای استفاده‌شده در این پژوهش پرداخته شده است. ابتدا چگونگی ساخت مدل شبیه‌ساز و تئوری پژوهش در زمینه در نظرگرفتن شاخص‌ها و تمهیدات در نرم‌افزار MODSIM بیان شده و به روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه اشاره شده است. شکل (۱) نمای کلی مراحل انجام این پژوهش را نشان می‌دهد.

مدل MODSIM

MODSIM یک نرم‌افزار جامع تصمیم‌یار جهت شبیه‌سازی و مدیریت حوضه آبریز است. این مدل جهت مدیریت حوضه آبریز به‌گونه‌ای طراحی شده است که به‌عنوان یک ابزار به‌منظور توسعه و بهبود مواردی چون سناریوهای کوتاه‌مدت مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی بلندمدت بهره‌برداری، برنامه‌ریزی احتمالی خشک‌سالی و تحلیل‌های مربوط به حقابه‌ها و حل‌وفصل منازعات میان بخشی (شرب، صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی) در سطح حوضه آبریز استفاده شود. به‌طورکلی مدل MODSIM هم امکان برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه حوضه آبریز را ایجاد می‌کند و هم می‌توان از این مدل جهت کنترل و بهره‌برداری در زمان واقعی بهره برد. اگرچه که مدل MODSIM یک مدل شبیه‌سازی است ولی با استفاده از روش بهینه‌سازی شبکه جریان تخصیص جریان‌های حوضه را با توجه به حقابه‌ها و سایر اولویت‌بندی‌های مشخص‌شده، انجام می‌دهد. در ادمه شاخص‌های پژوهش که با استفاده از قابلیت‌های قسمت سفارشی‌سازی نرم‌افزار MODSIM تعریف شده‌اند، تشریح می‌شود.

شاخص سطح زیر کشت

همواره سطح زیر کشت به‌عنوان یکی از شاخص‌های پیشرفت در اقتصاد دولت‌ها مطرح بوده است. این شاخص ازیک‌طرف موقعیت اجتماعی پیرامون محدوده خود را دست‌خوش تغییر قرار می‌دهد و از طرفی پارامترهای اقتصادی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌این‌ترتیب که با تأثیراتی که در اشتغال و اقتصاد منطقه ایفا می‌کند به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم یک شاخص اقتصادی- اجتماعی محسوب می‌شود. این شاخص در پژوهش حاضر به‌عنوان پایه‌ای برای محاسبه دیگر شاخص‌ها مورداستفاده قرارگرفته است.

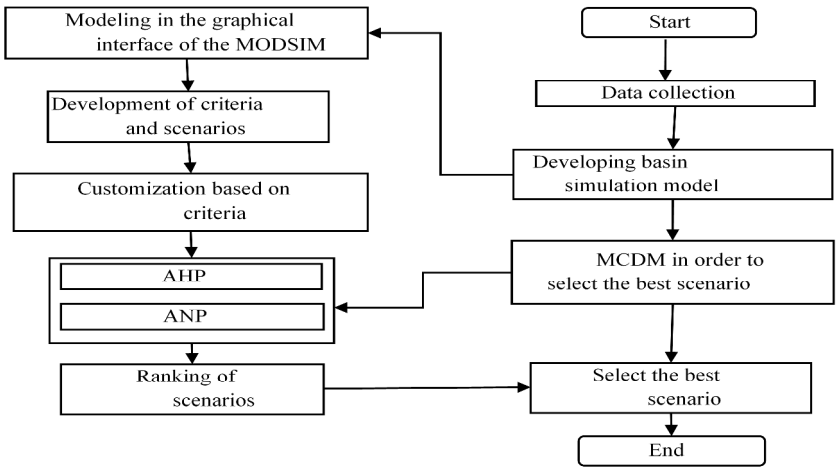

Figure 1. Research process flow chart

شاخص تعداد بهره‌برداران در بخش کشاورزی منطقه و به تفکیک هر استان

با استفاده از رابطه (۱) تعداد بهره‌برداران بخش کشاورزی به‌ازای هر هکتار از اراضی زیر کشت در هر استان از منطقه موردمطالعه به‌دست آمده است. خاطرنشان می‌شود آمار مربوط به تعداد بهره‌برداران بخش کشاورزی هر استان با استفاده از آمار منتشرشده توسط سازمان آمار تهیه‌شده است (Babaeian *et al*., 2016).

$$job_{agri_{index_{province_i}}} = \frac{job_{agri_{province_i}}}{AUC_i} \qquad i = 1.2.3 \ldots .7 \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

$job_agri_index_province_i$: تعداد بهره‌برداران بخش کشاورزی استان به‌ازای هر هکتار اراضی تحت کشت

$job_agri_province_i$: تعداد بهره‌برداران بخش کشاورزی هر استان

AUC_i: سطح زیر کشت استان

حال با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده برای هر استان، این مقادیر در محیط سفارشی‌سازی نرم‌افزار MODSIM با توجه به اراضی زیر کشت که در هر سناریو برای هر استان به‌صورت جداگانه محاسبه شده است به تعداد بهره‌برداران بخش کشاورزی در هر استان در سناریو مربوطه تبدیل می‌شود.

$$\text{job_agri_province}_{i}\text{_}S_j = \text{job_agri_}index\text{_province}_i \times \text{AUC_}edited_i \qquad (۲)$$

$$j = 1.2.3 \ , i = 1.2.3 \ldots .7$$

که در این رابطه $\text{job_agri_province}_{i}\text{_}S_j$ تعداد بهره‌برداران بخش کشاورزی در هر استان در سناریو مربوطه و $\text{AUC_}edited_i$ سطح زیر کشت اصلاح‌شده هر استان مبتنی بر سناریوی مربوطه می‌باشد.

شاخص تولید ناخالص داخلی (GDP) بخش کشاورزی در منطقه و به تفکیک هر استان

حسابرسی ناشی از تولید ناخالص داخلی به‌ازای هر بهره‌بردار از عرصه کشاورزی مسأله موردتوجه این قسمت است. در محاسبه این شاخص اقتصادی نیز هم‌چون شاخص قبل مقادیر مربوط به تولید ناخالص داخلی هر استان با استفاده از آمار منتشرشده توسط سازمان آمار به تفکیک هر استان از حوضه آبریز تهیه شده است و در مراحل بعد این مقدار بر اراضی زیر کشت آن استان تقسیم‌شده است. به این ترتیب شاخص تولید ناخالص داخلی در هر استان به‌ازای هر هکتار از اراضی زیر کشت آن استان محاسبه شده است. فرمول‌بندی محاسبات این شاخص به‌ترتیب زیر ارائه می‌شود (Hatamkhani & Moridi, 2021).

$$GDP_agri_index_province_i = \frac{GDP_agri_province_i}{job_agri_province_i} \qquad (۳)$$

$$GDP_agri_province_i_S_j = = GDP_agri_index_province_i \times job_agri_province_i_S_j \qquad (٤)$$

که در این رابطه $GDP_agri_index_province_i$ سرانه تولید ناخالص داخلی به‌ازای هر بهره‌بردار عرصه کشاورزی در هر استان، $GDP_agri_province_i$ تولید ناخالص داخلی ناشی از کشاورزی در هر استان که از آمارهای رسمی سازمان آمار گرفته شده است، $GDP_agri_province_i_S_j$ تولید ناخالص داخلی ناشی از کشاورزی در هر استان و مربوط به سناریو j می‌باشد.

شاخص ضریب تغییرات ویلیامسون

یکی از اصلی‌ترین اهداف این پژوهش افزایش توازن درآمدی درون‌منطقه‌ای در بخش کشاورزی است. وجود

نابرابری و ابعاد مختلف آن، از نشانه‌های مهم توسعه‌نیافتگی است، زیرا در حقیقت کشورهایی که امروزه به‌عنوان توسعه‌یافته شناخته می‌شوند ضمن این‌که از شاخص‌های اقتصادی بالایی برخوردار هستند، توزیع درآمد و امکانات نیز در آن جوامع نسبتاً عادلانه است، اما در کشورهای توسعه‌نیافته، مقادیر این شاخص پایین است و توزیع آن نامتوازن است (Ahadnejad Reveshty *et al*., 2016). در ایران حدود ۹۰ درصد آب تجدیدپذیر، در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. رقابت‌ها در برداشت بیش‌تر آب به‌طور عمده معطوف بخش کشاورزی بوده و حتی در آینده نیز با افزایش نیازهای آبی، پیش‌بینی می‌شود رقابت‌ها بر سر تخصیص آب در این بخش تشدید شود. حوضه کرخه، از حوضه‌های آبریز بزرگ و مهم کشور است که بخشی از هفت استان مختلف را شامل می‌شود. بنابراین، رقابت بین ذی‌نفعان این حوضه به خصوص بین ذی‌نفعان بالادست و پایین‌دست برای استفاده بیش‌تر آب وجود دارد و عدم تخصیص و توسعه مناسب و متوازن منابع می‌تواند موجب ایجاد درگیری‌ها بین ذی‌نفعان این حوضه بزرگ شود.

ضریب تغییرات ویلیامسون یکی از شاخص‌ها در این زمینه است. ویلیامسون اولین کسی بوده که ایده تخمین شاخص‌های نابرابری بر اساس سهم مناطق در جمعیت ملی را در برآورد نابرابری بین‌منطقه‌ای ارائه داده است (Gluschenko, 2018). این شاخص در علوم مختلف جهت بررسی نابرابری درآمدی کاربرد فراوانی داشته است که می‌توان به توسعه حمل و نقل ریلی (Luo & Zhao, 2021)، ساختار و توسعه فضایی شهری (Yu, 2021) و توسعه بانکداری (D'Onofrio *et al*., 2019) اشاره کرد. این شاخص پراکندگی درآمدی را براساس جمعیت مناطق مختلف نشان می‌دهد و به این ترتیب هر چه مقدار ضریب ویلیامسون بیش‌تر باشد، نشان‌دهنده نابرابری درآمدی بیش‌تر و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده توازن بیش‌تر و نابرابری کم‌تر است (Cuaresma *et al*., 2014). در واقع با استفاده از این ضریب به این سوال پاسخ داده می‌شود که برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه آبریز چگونه باشد تا درآمد بخش کشاورزی توزیع متوازنی در میان استان‌های مختلف داشته باشد؟ این موضوع در استان‌هایی که کشاورزی نقش عمده‌ای در اقتصاد آن‌ها ایفا می‌کند و معیشت مردم وابستگی زیادی به آن دارد، اهمیت ویژه‌ای دارد. روش محاسبه نابرابری‌های منطقه‌ای با استفاده از شاخص ویلیامسون به‌صورت رابطه (۵) است (Díez-Minguela & Llopis, 2020; Williamson, 1965).

$$WI = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(y_i - y^*)^2 \frac{P_i}{P}}}{\bar{y}} \qquad (۵)$$

WI: شاخص ضریب تغییرات ویلیامسون، i: تعداد استان‌ها، Pi: تعداد بهره‌برداران هر استان، P: جمعیت کل بهره‌برداران استان‌های حوضه، yi: درآمد سرانه کشاورزی در استان، y^*i: درآمد سرانه کشاورزی در کل استان‌های حوضه است. جهت محاسبه این ضریب، مقادیر تعداد بهره‌برداران و تولید ناخالص داخلی در بخش کشاورزی در هر استان از سایت مرکز آمار ایران استخراج و استفاده شده است.

تصمیم‌گیری چندشاخصه (MCDM)

یکی از مسائل تصمیم‌سازی مدیران،چگونگی انتخاب‌کردن یک گزینه از میان چندین گزینه موجود است که می‌باید با توجه به معیارهایی که برای انتخاب مطرح است این کار صورت پذیرد. حتی در صورتی‌که انتخاب‌کردن هم موردنظر نباشد ممکن است احتیاج داشته باشیم بدانیم اولویت گزینه‌ها نسبت به یکدیگر چه میزان است. در این مسأله به هر گزینه با توجه به امتیازهای تخصیص‌یافته در مقایسه باهم و نیز با توجه به

امتیاز اهمیتی شاخص‌ها نسبت به هم، امتیازی داده می‌شود که نشان‌دهنده قابلیت بهتر آن گزینه با توجه به معیارهای تعریف‌شده است. به‌طورکلی به علم انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌ها و یا اولویت‌بندی آن‌ها با توجه به شاخص‌های معرفی‌شده تصمیم‌گیری چندشاخصه یا MCDM گفته می‌شود. روش‌های مورداستفاده به‌منظور تصمیم‌گیری چند معیاره با نام‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) قرار است نشان دهند که در نظرگرفتن کدام سناریو با توجه به حساسیت‌ها و معیارهای موردنظر،مناسب پیش‌روی حوضه کرخه خواهد بود.

منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز کرخه که به لحاظ تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی جزئی از حوضه خلیج‌فارس به‌شمار می‌رود. از شمال به حوضه رودخانه‌های سیروان، سفیدرود و قره‌چای و از مغرب به حوضه رودخانه‌های مرزی ایران و عراق، از مشرق به رودخانه دز محدود می‌گردد. همان‌طور که در شکل (۲) نمایش داده شده است. این حوضه به‌طور عمده استان‌های کرمانشاه، لرستان، ایلام، همدان و شمال استان خوزستان را در برمی‌گیرد.

یکی از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش اطلاعات مربوط به سطوح زیر کشت مناطق تحت پوشش حوضه کرخه بوده است. بدین منظور سطوح زیر کشت بخشی از شهرستان‌های هر استان که جزو حوضه بوده‌اند با هم جمع شده است تا سهم هر استان از سطوح زیر کشت در حوضه کرخه به‌دست آید. این اطلاعات از درگاه ملی مرکز آمار ایران و با استفاده از اطلاعات ارائه‌شده توسط این سازمان که حاصل سرشماری از کلیه مناطق کشور است استفاده شده است. درنهایت لازم بوده است تا مقادیر تعداد بهره‌برداران و تولید ناخالص داخلی در بخش کشاورزی در هر استان بر مقادیر سطوح زیر کشت آن استان تقسیم شوند تا ضرایب تبدیلی برای به‌دست‌آوردن تعداد بهره‌برداران کشاورز و تولید ناخالص داخلی بخش کشاورزی از مقادیر سطوح زیر کشت به دست بیاید. این ضرایب تبدیل در بخش سفارشی‌سازی نرم‌افزار MODSIM کدنویسی شده‌اند. ضرایب به‌دست‌آمده به‌ترتیب در جدول (۱) ارائه شده است.

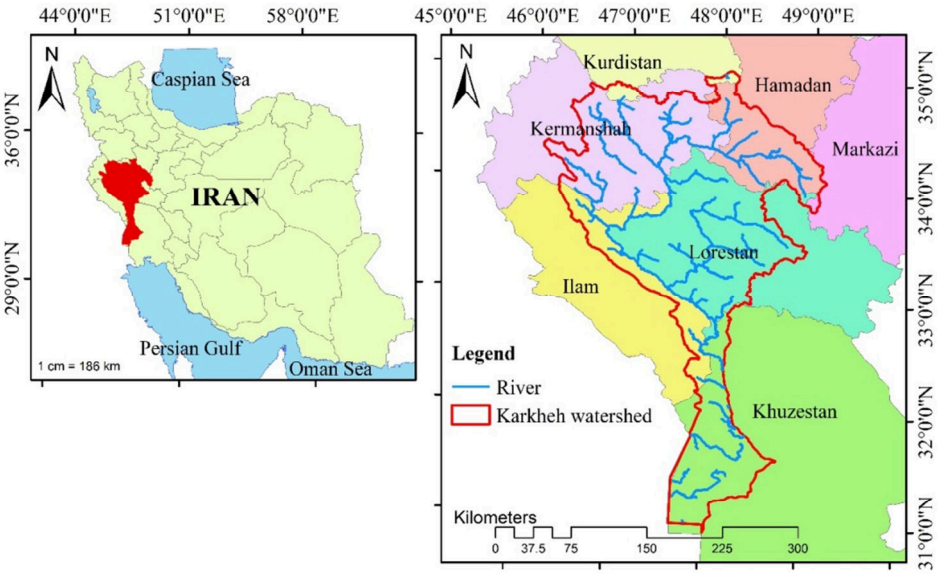

Figure 2. Location of the Karkheh basin and provinces

Table 1. Coefficients of conversion of GDP and number of farmers in the provinces of the Karkheh basin

Provinces	Coefficients of conversion		Area under cultivation
	GDP per farmer	Number of farmers per hectare	
Hamedan	451.199	0.604	138449
Lorestan	276.345	1.057	99810
Kermanshah	310.993	0.179	586171
Kordestan	259.898	0.663	16054
Markazi	456.411	0.667	30981
Khouzestan	462.562	0.093	436547
Ilam	294.461	0.224	211789

بحث و نتایج

سناریوهای در نظر گرفته‌شده

در جدول (۲) خلاصه‌ای از سناریوهای درنظر گرفته‌شده در پژوهش ارائه شده است. سناریوهای در نظر گرفته‌شده شامل دو دسته کلی است. دسته اول براساس میزان تقاضا و مصرف آب در بخش کشاورزی شامل تقاضای حداقل، متوسط و حداکثر است. دسته دوم مربوط به نحوه توسعه سدها در حوضه شامل وضع موجود، اضافه‌شدن سدهای در درست ساخت و اضافه‌شدن سدهای در دست ساخت و سدهای درحال مطالعه به سیستم است. در مدل‌سازی سناریوهای در نظر گرفته‌شده از نتایج مطالعه Shahreza *et al.* (2017) استفاده شده است. در این مطالعه، برای محاسبه آمار محاسباتی از روش‌های K نزدیک‌ترین همسایگی و روش شبکه عصبی استفاده شده و به‌منظور تبدیل داده‌های محاسباتی سالانه به ماهانه روش فرگمنت به‌کار گرفته شده است.

Table 2. Scenarios description

Scenario index	Development in the basin	Agriculture water demand
S1	Current condition	Minimum
S2	Added under construction dams	
S3	Added under construction and under study dams	
S4	Current condition	Medium
S5	Added under construction dams	
S6	Added under construction and under study dams	
S7	Current condition	Maximum
S8	Added under construction dams	
S9	Added under construction and under study dams	

نتایج مدل شبیه‌سازی

با توجه به سناریوهای در نظر گرفته‌شده برای این پژوهش نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار به‌ازای هر سناریو ارائه شده است. جدول (۳) نتایج را نشان می‌دهد که در ادامه به تفضیل تحلیل شده است.

سطح زیر کشت

با دقت در مقادیر جدول (۳) می‌توان فهمید مقادیر سطوح زیر کشت در استان همدان از سناریو اول به سمت سناریوی شماره سه دارای روند متناوبی است. اگر بخواهیم دلیل این رفتار را بررسی کنیم ملاحظه خواهد شد که استان همدان ازجمله استان‌هایی بوده است که در بالادست حوضه قرار دارد و به‌دلیل توسعه طرح‌های منابع آبی در این استان طی سناریوهای اول تا سوم مقادیر سطح زیر کشت در این استان رو به افزایش بوده است. اما در سناریوی شماره سه، روند توسعه سدها در دیگر استان‌ها به‌گونه‌ای است که اگرچه شرایط بهتری نسبت به سناریو شماره یک به‌وجود آورده است، اما نتایج نامناسب‌تری نسبت به سناریو شماره دو رقم خورده است. درنتیجه اضافه‌شدن سدهای در دست مطالعه به سیستم منابع آبی حوضه با شیب کم‌تری مسیر توسعه کشاورزی این استان را هموار خواهد کرد. حال آن‌که در صورت تکمیل سدهای در دست ساخت حوضه شرایط بسیار مطلوبی برای این استان فراهم می‌کند. این رفتار در استانی مثل کرمانشاه نیز که در بالادست حوضه قرار دارد به‌صورت دیگری قابل مشاهده است و سطح زیر کشت روند صعودی به خود گرفته است و لذا روند توسعه طرح‌های منابع آبی حوضه با سرعت بالایی موجبات توسعه کشاورزی این استان را فراهم خواهد کرد. در استان‌هایی مثل خوزستان و ایلام که در پایین‌دست حوضه قرار دارند به‌صورت عکس مشاهده می‌شود که از سناریو اول به سمت سوم سطح زیر کشت کاهش‌یافته است.

برای این رفتار نیز می‌توان گفت به‌دلیل توسعه طرح‌های منابع آبی در بالادست حوضه مقادیر کم‌تری از آب به پایین‌دست حوضه می‌رسد. این شرایط حتی درصورتی‌که طرح‌های منابع آبی پایین‌دست نیز به‌صورت موازی توسعه پیدا کند اتفاق خواهد افتاد. البته در مورد رفتار این دو استان نکته دیگری نیز قابل‌بررسی است و آن هم این‌که با دقت در مقادیر سناریوهای دوم و سوم مشاهده می‌شود که سناریو سوم شرایط بهتری را برای این دو استان فراهم خواهد کرد و به همین ترتیب سناریو دوم تأثیر نامطلوبی بر شرایط کشاورزی این مناطق خواهد گذاشت. در مورد مقادیر ثابت مربوط به استان‌های مرکزی و کردستان باید گفت که این دو استان هیچ متغیری در مجموعه‌ی حوضه کرخه و در مدل نداشته‌اند که بتواند شاخص‌های آن را در معرض تغییر و تحول قرار دهد، لذا هیچ یک از مقادیر مربوط به این دو استان در کلیه جدول‌ها تغییر نمی‌کند. در مورد استان لرستان باید گفت با توجه به موقعیت این استان در میانه حوضه و با توجه به توسعه سدهای حوضه طی سناریوهای یک تا سه روند متناوبی از خود نشان داده است. دقت بیش‌تر در مقادیر استان نشان می‌دهد توسعه کامل سدهای حوضه تغییر چندانی در سطوح زیر کشت این استان به‌وجود نخواهد آورد، اگرچه سناریوی شماره دو نتایج مطلوبی برای سطوح زیر کشت این استان در بر خواهد داشت. درمجموع می‌توان گفت توسعه سدهای حوضه در شرایط مصرف حداقل آب باعث توسعه سطوح زیر کشت استان‌های بالادست حوضه و کاهش سطوح زیر کشت استان‌های پایین‌دست حوضه خواهد شد.

در چشم‌انداز کلی حوضه مقادیر سطح زیر کشت شاید در دو سناریو اول و سوم تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهند، اما در سناریو دوم کاهش داشته است. این مسأله نشان از آن دارد که اگرچه با در مدار قرار گرفتن سدهای جدید سطوح زیر کشت بیش‌تری به حوضه اضافه می‌شوند اما درصد اعتمادپذیری پایین این سدها باعث شده است تا نه تنها در مجموع سطح زیر کشت بیش‌تری به‌دست نیاید بلکه به‌دلیل تعدد پروژه‌های منابع آبی کاهش محسوسی نیز مشاهده شود. در سناریوی چهارم تا ششم نیز همان الگوی سناریوهای قبلی حاکم است. یعنی به همان ترتیب با توسعه سدهای حوضه، شاهد افزایش سطح زیر کشت در استان‌های بالادست حوضه و کاهش این سطوح در استان‌های پایین‌دست حوضه و رفتار متناوب در میانه مشاهده می‌شود. تفاوت مقادیر به‌دلیل در نظرگرفتن مصرف بیش‌تر آب است. بدیهی است که افزایش مصرف آب در بخش کشاورزی تا حدی به توسعه کشاورزی و افزایش سطوح زیر کشت کمک می‌کند و موجبات توسعه منطقه را فراهم می‌سازد، اما این موضوع با سوء مصرف استفاده از آب برای این منظور کاملاً متفاوت است، سناریوهای چهارم تا نهم نه تنها آب اضافی برای مصارف کشاورزی اختصاص نداده‌اند بلکه با سوء مصرف آب در موارد مختلف، باعث کاهش آب ورودی به مخازن سدهای حوضه شده‌اند. باید توجه کرد که در این پژوهش تغییر در سطوح زیر کشت هر استان بسته به مقدار تغییر در درصد اطمینان‌پذیری تأمین نیازهای سدهای آن استان است و مقادیر سطح زیر کشت برای هر استان با استان دیگر و مقادیر اطمینان‌پذیری سدهای مختلف با یکدیگر متفاوت است. لذا راندمان ناشی از مصرف آب بیش‌تر در مناطق مختلف حوضه متفاوت بوده و تأثیرات منفی متغیری در مناطق مختلف حوضه بر جای گذاشته است. اگرچه به‌طورکلی می‌توان گفت مصرف بیش‌تر از نیاز آب در سناریوهای چهارم تا ششم و به‌ویژه هفتم تا نهم باعث کاهش سطوح زیر کشت در یک نگاه کلی شده است. در سناریوهای هفتم تا نهم با در نظرگرفتن افزایش مصرف آب به‌صورت بیشینه مصرف و کاهش مقادیر سری‌های زمانی ورودی به مخازن براساس مطالعات صورت گرفته است. مشاهده می‌شود که این رویداد تأثیر مطلوبی در افزایش عملکرد نسبت به سناریوهای چهارم تا ششم نداشته است.

Table 3. Simulation model results

Area under cultivation (Hectare)									
Provinces	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Hamedan	138428	141620	139307	137463	137302.1	137526	137150.6	137020.3	137165
Khouzestan	436547	383243	407446	436547	405477.3	405318	395777.9	340387.5	337800
Kermanshah	586171	589505	602911	586027	588198.6	600006	585429.8	586178.6	591682
Ilam	211789	161078	196156	211789	182407	190306	171019.9	116262.2	117305
Lorestan	99810	135890	100333	98852	98886.67	99826	98785.91	98949.58	99335
Markazi	30981	30981	30981	30981	30981	30981	30981	30981	30981
Kordestan	16054	16054	16054	16054	16054	16054	16054	16054	16054
Basin	1519780	1458371	1493188	1517714	1459306.67	1480017	1435199.11	1325833.18	1330323
GDP (Billion Rials)									
Provinces	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Hamedan	37766.5	38637.4	38006	37503.2	37459.2	37520	37417.9	37382.3	37422
Khouzestan	18894.7	16587	17635	18894.7	17549.9	17543	17130.1	14732.4	14621
Kermanshah	32742	32928	33677	32734	32855.3	33514	32700.6	32742.4	33050
Ilam	14006	10652.4	12972	14006	12062.9	12585	11309.9	7688.6	7758
Lorestan	29160.5	39701.7	29313	28880.7	28890.7	29165	28861.3	28909.1	29022
Markazi	9473.8	9473.8	9473/8	9473.8	9473.8	9947	9473.8	9473.8	9473.8
Kordestan	2767.6	2767.6	2767.6	2767.6	2767.6	2767.6	2767.6	2767.6	2767.6
Basin	144811.4	150749.2	143846	144260.4	141059	142570	139661	133696.9	134113

شاخص تولید ناخالص داخلی (GDP) ناشی از بخش کشاورزی

در جدول (۳) مشاهده می‌شود که سطح زیر کشت از سناریوی شماره یک به سناریوی شماره دو کاهش می‌یابد. حال‌آن‌که در این جدول مقدار GDP بخش کشاورزی از سناریوی شماره یک به سمت سناریوی شماره دو افزایش می‌یابد. همان‌گونه که مطرح شد شاخص سطح زیر کشت به‌عنوان شاخص اصلی مطرح است و مقادیر شاخص‌های دیگر با توجه به مقادیر این شاخص به‌دست می‌آید. بنابراین این مسأله که کاهش سطح زیر کشت از سناریوی شماره یک به سمت سناریوی شماره دو افزایش تولید ناخالص داخلی در بخش کشاورزی را در برداشته است نشان از ارزش‌افزوده بالاتر در بخش اقتصاد کشاورزی در مکان‌هایی است که در سناریوی شماره دو سطح زیر کشت در آن‌ها توسعه یافته است. این ارزش‌افزوده آن‌قدر تأثیر مثبت داشته است که نه‌تنها کاهش سطح زیر کشت را خنثی کرده بلکه موجبات توسعه اقتصاد کشاورزی منطقه را در این سناریو فراهم کرده است. البته توسعه سدهای در دست مطالعه در منطقه دوباره شرایط را به قبل برمی‌گرداند و تأثیر زیادی در مقدار تولید ناخالص داخلی منطقه ندارد.

ملاحظه می‌شود که میزان تولید ناخالص داخلی ناشی از کشاورزی استان همدان و کرمانشاه افزایش و استان‌های خوزستان و ایلام کاهش می‌یابد. در استان لرستان نیز روند متناوبی از تولید ناخالص داخلی بین سناریوهای اول تا سوم شاهد هستیم. در سناریوی چهارم تا ششم با توجه به مصرف آب بیش‌تر در مقیاس کلی حوضه روند کاهش تولید ناخالص داخلی ناشی از کشاورزی حاکم است حال آن‌که در مقیاس استانی در استان‌های کرمانشاه و لرستان روند افزایشی مشاهده می‌شود و در استان‌های خوزستان و ایلام روند کاهشی دیده می‌شود. در استان همدان نیز مقادیر تقریباً ثابت هستند. ارزش‌افزوده‌ها و راندمان‌های متفاوت ناشی از بخش کشاورزی در استان‌های مختلف دلیل برخی تغییر رفتارها در مقایسه این مقادیر است. در سناریوهای هفتم تا نهم تقریباً همان رفتار سناریوی چهارم تا ششم ولی با شیب کم‌تری دیده می‌شود که به‌علت مصرف بیش‌تر آب رقم خورده است.

شاخص ضریب تغییرات ویلیامسون

یکی از دلایلی که همواره می‌تواند توجیه مناسبی بر اثرات مطلوب و با نامطلوب توسعه طرح‌های منابع آبی به‌ویژه

سدهای این منطقه باشد تغییرات ضریب ویلیامسون در تخصیص آب به نقاط مختلف حوضه است. اگرچه که تأثیر شاخص‌هایی هم‌چون سطح زیر کشت، تعداد بهره‌برداران و تولید ناخالص داخلی بر آینده برخی استان‌ها مثبت و برای برخی دیگر منفی بود اما شاخص ویلیامسون که به‌صورت کلان گستره پراکندگی آب در منطقه را دنبال می‌کند. لذا تأثیرات منفی ناشی از اعمال این سناریوها در برخی استان و تأثیرات مثبت آن در برخی دیگر را می‌توان از نشانه‌های میل به سمت نابرابری تلقی نمود. نتایج برای هر نه سناریو در در شکل (۳) ارائه شده است. اولین نکته مورد توجه کاهش مقدار ضریب تغییرات ویلیامسون با افزوده‌شدن سدهای در حال ساخت و در حال مطالعه به سیستم است. با توجه به توضیحاتی که در مورد این شاخص داده شده است، کاهش آن نشان‌دهنده نزدیک‌ترشدن به توازن در توزیع درآمد است. این روند در هر سه سناریوی کلی مصرف کم، متوسط و زیاد آب دیده می‌شود به‌گونه‌ای که سناریوهای با توسعه کامل طرح‌های در دست مطالعه و ساخت یعنی سه و شش و نه کم‌ترین مقدار ضریب ویلیامسون را دارند. این موضوع را می‌تواند به دو علت باشد. توسعه طرح‌های منابع آبی بیش‌تر در استان‌های بالادست حوضه است که به نسبت کم‌تر توسعه‌یافته هستند که این امر متناسب است با افزایش سطح زیر کشت، افزایش اشتغال و درآمد حاصل از بخش کشاورزی در این استان‌ها که در بخش‌های قبل تشریح شد. علت دوم این است که توسعه و ساخت این طرح‌ها موجب می‌شود که بخشی از آب در استان‌های بالادست ذخیره شود و به برای کشاورزی در این استان‌ها مصرف شود. به‌عبارت دیگر، با گسترش سدسازی در حوضه پراکندگی آب در سطح حوضه نیز افزایش می‌یابد و همین امر موجبات چنین عملکردی را فراهم می‌سازد. نکته قابل‌توجه دیگر کاهش مقدار ضریب ویلیامسون در سناریوهای با افزایش میزان مصرف آب است، به‌طوری‌که سناریوهای هفتم تا نهم کم‌ترین مقدار ضریب ویلیامسون و سناریوهای اول تا سوم بیش‌ترین مقدار را نسبت به سناریوهای متناظر خود از لحاظ توسعه را دارند. این به آن علت است که ضریب تغییرات ویلیامسون همان‌طور که که گفته شد یک ضریب تغییرات است که تنها نسبت پراکندگی و نحوه مناسب و متوازن منابع را اندازه‌گیری می‌نماید و اگر به‌طور مثال در گزینه‌ای میزان کلی درآمد بسیار پایین‌تر باشد اما نحوه توزیع آن مناسب‌تر باشد برتری دارد. بنابراین این نمی‌توان آن را به‌عنوان یک شاخص کلی و به تنهایی به کار برد و می‌بایست در کنار شاخص‌های دیگر با هم درنظر گرفته شود تا بتوان به نتیجه مناسبی رسید.

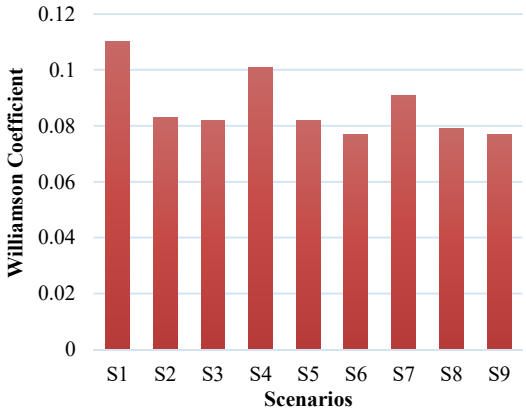

Figure 3. Changes in the williamson coefficient

شاخص خروجی حوضه به تالاب هور العظیم (زیست‌محیطی)

به‌منظور بررسی تأثیرات سناریوهای انتخاب‌شده در این پژوهش به حیات این هور مقادیر خروجی از رود کرخه به سمت تالاب هورالعظیم تحت سناریوهای مختلف موردبررسی قرار داده شده است. هرچه مقادیر خروجی از حوضه کم‌تر باشد حیات این هور با خطر جدی‌تری روبرو خواهد شد و به سمت خشک‌شدن پیش می‌رود. هم‌چنین تأثیرات نامطلوب خشک‌شدن این تالاب بر

اکوسیستم منطقه و بی‌توجهی به نیاز زیست‌محیطی نیز یکی از ابعاد ماجراست که نباید از آن غافل شد.

در شکل (٤) اعدادی را ارائه می‌دهد که نشان‌دهنده نسبت مقدار آب خروجی از حوضه به سمت تالاب هورالعظیم به مقدار آب خروجی در وضعیت حال حاضر (با تقریب سناریوی شماره چهار) است. لذا مقدار آن برای سناریوی شماره چهار برابر ۱ و برای باقی سناریوها به نسبت بالاتر یا پایین‌تر از یک است. با دقت بیش‌تر در این خروجی‌ها مشاهده می‌شود که با حرکت به سمت مصرف محتاطانه آب شاهد افزایش خروجی به سمت تالاب خواهیم بود حال آن‌که هرچه در مصرف آب سوء مدیریت شود مقادیر کم‌تری سهم تالاب خواهد شد و بنابراین بدین ترتیب مشکلات ناشی از آن گریبان‌گیر کشور خواهد شد. هم‌چنین هرچه سدهای حوضه چه در دست مطالعه و چه در دست ساخت توسعه پیدا کنند به‌دلیل انباشت بیش‌تر آب در داخل حوضه طبیعی است که مقادیر خروجی کاهش یابند.

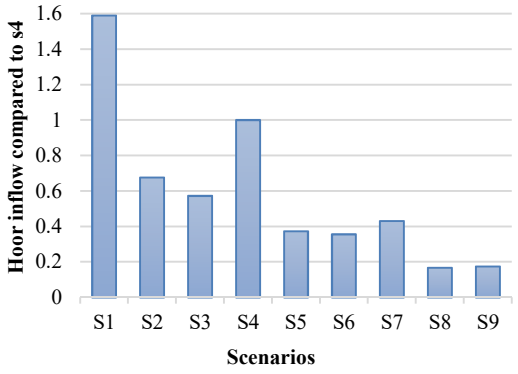

Figure 4. Changes of Karkheh basin outflow (Hoor inflow) compared to scenario number 4 (current scenario)

تصمیم‌گیری چند شاخصه

مدل‌سازی و نتایج تحلیل سلسله مراتبی AHP

با در نظرگرفتن تمامی شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها و ضرایب اهمیت در نظر گرفته‌شده، ترتیب زیر برای سناریوهای نُه‌گانه پیشنهادی با استفاده از قوانین حاکم بر روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارائه شده است.

Table 4. Ratings of scenarios by AHP method

Scenario	Ideals	Normals	Raw	Rank
S1	0.99	0.11	0.04	2
S2	1	0.11	0.04	1
S3	0.98	0.11	0.0	4
S4	0.96	0.11	0.04	5
S5	0.95	0.11	0.04	6
S6	0.98	0.11	0.04	3
S7	0.91	0.10	0.04	9
S8	0.91	0.10	0.04	8
S9	0.93	0.10	0.04	7

در جدول (٤) ستون با سرستون RAW مبین وزن‌های خام هر یک از گزینه‌هاست حال آن‌که ستون Normals از تقسیم هر یک از مقادیر وزن خام در ستون RAW بر مجموع ستون وزن‌های خام به‌دست می‌آید. در نهایت ستون Ideals نیز از تقسیم وزن‌های خام بر بزرگ‌ترین وزن خام به‌دست می‌آید. بنابراین سناریویی که دارای بالاترین وزن باشد در این ستون مقدار یک را به‌خود اختصاص می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود در جدول (٧) سناریوی شماره دو با نام توسعه سدهای در دست ساخت در شرایط کاهش مصرف آب در حد و اندازه‌های نیاز طبیعی به‌عنوان گزینه منتخب در نظر گرفته شده است. اما سناریوهای شماره یک تا سه فقط به‌منظور مقایسه در سناریوها تعبیه شده است. بنابراین مسلم است که به‌دلیل مصرف پایین آب بهترین اولویت‌ها را به‌خود اختصاص می‌دهند. اما با توجه به افزایش مصرف در این مناطق سناریوی ایده‌آل به‌منظور آینده حوضه باید از میان سناریوهای چهارم تا نهم انتخاب شوند. بنابراین سناریوی شماره (٦) که نشان‌دهنده توسعه سدهای در دست ساخت و در دست مطالعه حوضه در شرایط مصرف آب میانگین است به‌عنوان سناریوی برگزیده در نظر گرفته شده است. این نتیجه بدین معناست که با در نظرگیری اهداف پژوهش و خروجی‌های حاصل از مدل شبیه‌ساز و هم‌چنین نظر خبرگان ذی‌ربط سناریوی شماره (٦) بهتر از

دیگر سناریوها جامعه هدف را به سمت اهداف موردنظر هدایت می‌کند.

مدل‌سازی و نتایج تحلیل شبکه‌ای ANP

ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی در نظر گرفته‌شده در این شیوه دقیقاً همان ماتریس‌هایی است که در شیوه AHP مورد استفاده قرار گرفته بودند. با این تفاوت که به‌خاطر در نظرگرفتن ارتباطات جدید داخلی میان شاخص‌ها نیاز به تعریف‌کردن چند ماتریس ارتباطات زوجی جدید مربوط به این ارتباطات داخلی وجود دارد. در نهایت با استفاده از قوانین حاکم بر شیوه تحلیل شبکه‌ای و در نظرگرفتن ارتباطات بیش‌تر که دقت مدل ساخته شده به این شیوه را افزایش می‌دهد انتظار می‌رود که این شیوه نتایج دقیق‌تری را ارائه دهد. جدول (۵) حاوی رتبه‌بندی سناریوهای نُه‌گانه با استفاده از شیوه ANP است. که در جدول (٤) مشاهده می‌شود گزینه برتر دوباره سناریوی شماره دو انتخاب شده است. در این شیوه نیز با صرف‌نظر از سناریوهای یکم تا سوم که از جهت مقایسه در نظر گرفته شده است سناریوی شماره شش به‌عنوان سناریوی پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. این اتفاق تأکید بیش‌تری بر انتخاب سناریوی ششم به‌عنوان سناریو مناسب می‌کند.

Table 5. Ratings of scenarios by ANP method

Scenario	Ideals	Normals	Raw	Rank
S1	0.975909	0.112735	0.056367	4
S2	1	0.115518	0.057759	1
S3	0.986834	0.113997	0.056998	3
S4	0.96289	0.111231	0.055615	6
S5	0.96582	0.111569	0.055785	5
S6	0.990935	0.114471	0.057235	2
S7	0.928154	0.107218	0.053609	7
S8	0.919036	0.106165	0.053082	9
S9	0.92710	0.10709	0.05354	8

انتخاب سناریوی برتر

دقت در نتایج جدول‌های (٤) و (۵) نشان از آن دارد که تمامی سناریوها غیر از دو سناریویی که دو پله تغییر را تجربه کرده‌اند، دچار تغییرات یک‌پله‌ای در رتبه‌بندی به دو روش مذکور شده‌اند. تنها سناریوی شماره دو یا همان سناریوی برگزیده است که دست‌خوش هیچ تغییری نشده و در جای خود ثابت بوده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود اگرچه در هر دو مدل AHP و ANP سیاست شماره دو به‌عنوان سیاست اول انتخاب شده است، اما باقی سیاست‌ها در دو مدل مذکور به تعداد یک تا دو پله تغییر مکان داده‌اند. یکی از مهم‌ترین علت‌های انتخاب سیاست شماره دو به‌عنوان سیاست اول، هم‌زمانی کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی و توسعه طرح‌های منابع آبی یعنی سدهای در دست ساخت حوضه آبریز کرخه است. با عنوان‌نمودن این ادعا شاید کسی ایراد کند که گزینه شماره سه با هم‌زمانی کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی و وارد مدارشدن سدهای حوضه به‌صورت توسعه یافته‌تر از سیاست شماره دو (اضافه‌شدن سدهای در دست مطالعه افزون بر سناریوی شماره دو) می‌بایست در مقامی بالاتر از سناریوی شماره دو قرار می‌گرفت و گزینه برتر را به‌خود اختصاص می‌داد. در پاسخ باید گفت، همان‌طورکه در خروجی‌های ارائه‌شده توسط نرم‌افزار MODSIM نیز بررسی شد، توسعه هرچه بیش‌تر طرح‌های منابع آبی ازجمله سد لزوماً به حل‌شدن معضلات منطقه نمی‌انجامد. یکی از مصادیق این مسأله سیاست شماره سه است که اولویت پایین‌تری نسبت به سیاست شماره دو را به‌خود اختصاص داده است. ازجمله علت‌های این رویداد می‌توان به این نکته اشاره کرد که پتانسیل رشد کشاورزی در مناطق مختلف با یکدیگر متفاوت است. بنابراین وقتی پراکندگی آب در سطح حوضه به‌واسطه توسعه طرح‌های منابع آبی ازجمله سدها افزایش یابد آن‌گاه با توجه به پتانسیل متغیر کشاورزی و وضعیت مصرف آب مناطقی که به‌واسطه این طرح‌ها به سیستم اضافه شده‌اند می‌توان تأثیرات مثبت یا منفی بر

کشاورزی و سطوح زیر کشت منطقه را مشاهده کرد. لذا این مسأله که توسعه طرح‌های منابع آبی از جمله سدها لزوماً باعث رشد هرچه بهتر کشاورزی و اقتصاد منطقه را فراهم می‌کند، جمله‌ای اشتباه است و بهتر است گفته شود توسعه سدهای منطقه ممکن است بتواند باعث توسعه کشاورزی حوضه در نگاه کلان و جامع‌نگر شود. بدین ترتیب اختصاص‌دادن اولویت پایین‌تر به سیاست شماره سه نسبت به سیاست شماره دو قابل‌توجیه است.

اگر سناریوها از منظر مصرف آب در نظر گرفته شوند، سه دسته سناریو مشاهده می‌شود. این سناریوها شامل سناریوهای اول تا سوم، چهارم تا ششم و هفتم تا نهم هستند. همان‌طور که انتظار می‌رود در یک نگاه کلی سناریوهای هفتم تا نهم که مصرف آب بیشینه را به‌خود اختصاص داده‌اند درمجموع رتبه‌های پایین‌تری را اختیار کرده‌اند و این در حالی است که دسته دوم یا سیاست‌های چهارم تا ششم رتبه‌های میانه و دسته اول شامل سیاست‌های اول تا سوم بهترین رتبه‌ها را به‌خود اختصاص داده‌اند. البته در این میان سیاست شماره شش این نظم عمومی را تحت تأثیر قرار داده و مرتبه نسبتاً بالاتری را به‌خود اختصاص داده است. وجود چنین رفتاری با توجه به الگوی مصرف آب قابل پیش‌بینی بود. اگرچه این روند نسبتاً عمومی محسوس و قابل پیش‌بینی بود، اما همان‌طورکه قبل‌تر مطرح شد، در مورد طرح‌های توسعه منابع آب ازجمله سدها نتایج کاملاً با برداشت عمومی متفاوت است و داخل هر یک از دسته‌های سه‌گانه سیاست‌ها تأثیرات مثبت و منفی متفاوتی از رتبه‌بندی در صورت توسعه سدها دیده می‌شود. یکی از این موارد سیاست شماره شش است که در تحلیل شبکه‌ای اولویت شماره دو را اختیار کرده است. این سناریو اگرچه از نظر توسعه سدها معادل با سناریوی شماره سه است اما از نظر مصرف آب، مصرف بیش‌تری را به‌خود اختصاص داده است. با این وجود مشاهده می‌شود مرتبه بالاتری نسبت به سناریوی شماره سه دارد. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود مصارف متفاوت آب نیز براثربخش‌بودن یا نبودن طرح‌های منابع آبی ازجمله سدها تأثیرگذار است. یکی از مصادیق این نتیجه‌گیری نیز ترتیب اولویت‌های سیاست‌های هفتم تا نهم است. این اولویت‌بندی نشان داده است که در شرایط کمبود آب و مصرف بالای آب حوضه آسیب‌پذیری بالایی را در مقابل عدم توسعه سدهای منطقه از خود نشان می‌دهد. همان‌طورکه گفته شد سیاست‌های اول تا سوم به‌منظور مقایسه با شرایطی که مصرف مازاد آب در فواصل مخازن صورت گیرد تعبیه شده است. حال آن‌که هم‌اکنون و در آینده امکان ایجاد هم‌چنین شرایطی وجود ندارد. پس سناریوی ایده‌آل حوضه بدون در نظرگرفتن سناریوهای اول تا سوم به‌عنوان سناریوی پیشنهادی معرفی می‌شود. با توجه به خروجی‌های جدول (۹) سناریوی شماره شش دارای چنین شرایطی است و به‌عنوان سناریو پیشنهادی معرفی می‌شود. این سناریو در شرایط مصرف آب میانگین توسعه سدهای مطالعاتی و در حال اجرای حوضه را پیشنهاد می‌کند.

نتیجه‌گیری

استفاده از مدل شبیه‌ساز به‌منظور در نظرگرفتن یک استراتژی مناسب برای آینده آب‌های سطحی حوضه کرخه با توجه اهداف و شاخص‌های در نظر گرفته شده، عمده‌ترین هدف این پژوهش بود که به‌وسیله مدل‌کردن نیازهای کشاورزی، صنعتی و شرب در این محدوده و هم‌چنین آورد رودخانه‌ها و ورودی سدها به‌صورت یک سیستم منابع آبی جامع در نرم‌افزار MODSIM صورت گرفت. دو نوع سیاست، یکی مربوط به میزان تقاضای آب در بخش کشاورزی و دیگری مرتبط با چگونگی توسعه سدهای حوضه از جهت اضافه‌شدن سدهای در دست

ساخت و مطالعه به سیستم و هر یک در سیاستی مجزا تعریف شده و با یکدیگر ترکیب شده‌اند. در این میان شاخص‌هایی به‌منظور بررسی از دیدگاه پژوهش تعریف شدند که در میان آن‌ها از شاخص‌های اقتصادی هم‌چون حساب‌های آب مربوط به تولید ناخالص داخلی در بخش کشاورزی گرفته تا شاخص‌های زیست‌محیطی هم‌چون دبی زیست‌محیطی و شاخص ویلیامسون برای تخصیص متوازن آب میان استان‌های حوضه دیده شده است. در وهله آخر نیز با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری چند شاخصه به‌نام‌های تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای و با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions سیاست‌های مدنظر رتبه‌بندی شده و سیاست برگزیده با توجه به شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در نظر گرفته‌شده انتخاب شده است. انتخاب سیاست شماره دو به‌عنوان سیاست اول هم‌زمانی کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی و توسعه طرح‌های منابع آبی یعنی سدهای در دست ساخت حوضه آبریز کرخه است.

نتایج مدل شبیه‌سازی گویای آن است که سناریوهایی هم‌چون سناریوی شماره دو یا سناریوی شماره یک اگرچه سطح زیر کشت نسبت به شرایط حال حاضر کاهش یافته است، اما تعداد بهره‌برداران بخش کشاورزی و تولید ناخالص داخلی بخش کشاورزی در همین سناریوها افزایش یافته است. که دوباره یادآور این نکته می‌شود که اگرچه سطح زیر کشت کاهش یافته است اما با توجه به ظرفیت اراضی دیگری که در سناریوهای مذکور آب به آن‌ها اختصاص یافته در تولید اشتغال و ارزش‌افزوده، بیش‌تر شاهد رشد پارامترهای اشتغال و ارزش‌افزوده در این سناریوها هستیم. استان‌هایی هم‌چون همدان و کرمانشاه در شاخص ارزش‌افزوده و استان لرستان در ایجاد اشتغال سهم بالایی را به‌خود اختصاص داده‌اند، بنابراین تغییرات نه چندان محسوس در اراضی تحت کشت این استان ها می‌تواند تغییرات به نسبت بیش‌تری را در تعداد بهره‌برداران و تولید ناخالص داخلی بخش کشاورزی این مناطق به‌وجود آورد. نتایج تصمیم‌گیری چند شاخصه نشان می‌دهد که سناریوی شماره دو که هم‌زمانی کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی و توسعه سدهای در دست ساخت حوضه آبریز کرخه را لحاظ می‌کند، به‌عنوان سناریو برتر انتخاب شده است. طبق نتایج توسعه هرچه بیش‌تر طرح‌های منابع آبی ازجمله سد لزوماً منجر به بهبود وضعیت نمی‌شود. به همین علت است که سناریوی شماره سه که توسعه تمامی سدهای در حال ساخت و بهره‌برداری را درنظر می‌گیرد، اولویت پایین‌تری نسبت به سیاست شماره دو را به‌خود اختصاص داده است. هم‌چنین مصرف کم‌تر آب حتماً موجب بهبود شاخص‌ها نمی‌شود. سیاست شماره شش (توسعه سدهای درحال ساخت و بهره‌برداری با مصرف میانه) است که در تحلیل شبکه‌ای اولویت شماره دو را اختیار کرده است. این سناریو اگرچه از نظر توسعه سدها معادل با سناریوی شماره سه است، اما از نظر مصرف آب، مصرف بیش‌تری را به‌خود اختصاص داده است. حال آن‌که مرتبه بالاتری نسبت به سناریوی شماره سه دارد. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود مصارف متفاوت آب نیز بر اثربخش‌بودن یا نبودن طرح‌های منابع آبی از جمله سدها تأثیرگذار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت توسعه طرح‌های منابع آبی و کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی هیچ‌کدام به تنهایی نمی‌توانند بهترین اثرگذاری در توسعه اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی حوضه را در برداشته باشند و باید با یکدیگر موردبررسی قرار گیرند. در نظرگرفتن ظرفیت‌های صنعتی و خدماتی در کنار ظرفیت‌های کشاورزی و در نظرگرفتن منابع آب زیرسطحی در کنار منابع سطحی آب و بررسی دوباره سیاست‌های مطالعاتی، از جمله پیشنهاداتی هستند که برای تکمیل پژوهش اخیر می‌توان اشاره کرد.

پی‌نوشت‌ها

1. Water Evaluation And Planning System
2. River Basin Simulation
3. Model Simulator
4. Multiple criteria decision making
5. Simple Additive Weighting
6. Composite Programming
7. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
8. Analytic Network Process
9. Analytic Hierarchical Process
10. Novel approach to imprecise assessment and decision environments
11. Spatial Multi Criteria Decision Making model
12. Gross domestic product

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

Ahadnejad Reveshty, M., Mousavi, M.N., Mohammadi Hamidi, S., & Waysian, M. (2016) Investigating and analyzing social justice in terms of accessibility to municipal services. *Journal of Geography and Urban Space Development*, 3(1), 33-51 (In Persian)

Alamanos, A., Mylopoulos, N., Loukas, A., & Gaitanaros, D. (2018). An integrated multicriteria analysis tool for evaluating water resource management strategies. *Water*, *10*(12), 1795.

Babaeian, F., Bagheri, A., & Rafieian, M. (2016). Vulnerability analysis of water resources systems to water scarcity based on a water accounting framework (case study: Rafsanjan study area). *Iran-Water Resources Research*, *12*(1), 1-17. (In Persian)

Cuaresma, J. C., Doppelhofer, G., & Feldkircher, M. (2014). The determinants of economic growth in European regions. *Regional Studies*, *48*(1), 44-67.

Díez-Minguela, A., & Llopis, M.T.S. (2020). Comparing different estimation methodologies of regional GDPs in Latin American countries. In Time and Space (pp. 17-40). Palgrave Macmillan, Cham.

D'Onofrio, A., Minetti, R., & Murro, P. (2019). Banking development, socioeconomic structure and income inequality. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *157*, 428-451.

Ebad Ardestani, M., Sharifi Teshnizi, E., Babakhani, P., Mahdad, M., & Golian, M. (2020). An optimal management approach for agricultural water supply in accordance with sustainable development criteria using MCDM (TOPSIS) (Case study of Poldasht catchment in West Azerbaijan Province-Iran). *Journal of Applied Water Engineering and Research*, *8*(2), 88-107.

Gluschenko, K. (2018). Measuring regional inequality: to weight or not to weight?. *Spatial Economic Analysis*, *13*(1), 36-59.

Golfam, P., Ashofteh, P.S., Rajaee, T., & Chu, X. (2019). Prioritization of water allocation for adaptation to climate change using multi-criteria decision making (MCDM). *Water Resources Management*, 33(10), 3401-3416.

Hatamkhani, A., & Moridi, A. (2019). Multi-objective optimization of hydropower and agricultural development at river basin scale. *Water Resources Management*, *33*(13), 4431-4450.

Hatamkhani, A., & Moridi, A. (2021). Optimal Development of Agricultural Sectors in the Basin Based on Economic Efficiency and Social Equality. *Water Resources Management*, 35(3), 917-932.

Hosnavi Atashgah, M., Yasi, M., & Amiri Takaldani, E. (2019). Decision Making Pattern in Identifying and Ranking Effective Criteria in Inter-Basin Water Transfer Projects Based on Network Analysis Process and Analytical Hierarchy Process. *Iran-Water Resources Research*, *15*(4), 299-313.

Luo, H., & Zhao, S. (2021). Impacts of high-speed rail on the inequality of intercity accessibility: A case study of Liaoning Province, China. *Journal of Transport Geography*, *90*, 102920.

Mianabadi, H., & Afshar, A. (2008). Multi-attribute decision-making to rank urban water supply schemes. *Journal of Water and Wastewater*, 19(2), 34-45 (In Persian)

Portnov, B.A., & Felsenstein, D. (2010). On the suitability of income inequality measures for regional analysis: Some evidence from simulation analysis and bootstrapping tests. *Socio-Economic Planning Sciences*, *44*(4), 212-219.

Rousta, B.A., & Araghinejad, S. (2015). Development of a multi criteria decision making tool for a water resources decision support system. *Water Resources Management*, *29*(15), 5713-5727.

Shahreza, F., Moridi, A., & Mousavi Nadoushani, S. (2017). Estimating Stationary Inflow Time Series for Planning Water Resources at the Basin Level (Case Study: Karkheh Watershed). *Iran-Water Resources Research*, 13(4), 168-173. (In Persian)

Sikder, A., & Salehin, M. (2015). Multi-criteria decision making methods for rural water supply: a case study from Bangladesh. *Water Policy,* 17(6), 1209-1223.

Toosi, S. R., & Samani, J. V. (2012). Evaluating water transfer projects using analytic network process (ANP). *Water Resources Management*, *26*(7), 1999-2014.

Williamson, J. G. (1965). Regional inequality and the process of national development: a description of the patterns. *Economic Development and Cultural Change*, *13*(4, Part 2), 1-84.

Yilmaz, B., & Harmancioglu, N. (2010). Multi-criteria decision making for water resource management: a case study of the Gediz River Basin, Turkey. *Water SA*, *36*(5).

Yu, B. (2021). Urban spatial structure and total-factor energy efficiency in Chinese provinces. *Ecological Indicators*, *126*, 107662.

Zamani, R., Ali, A.M.A., & Roozbahani, A. (2020). Evaluation of adaptation scenarios for climate change impacts on agricultural water allocation using Fuzzy MCDM methods. *Water Resources Management*, *34*(3), 1093-1110.

Zolfaghary, P., Zakerinia, M., & Kazemi, H. (2021). A model for the use of urban treated wastewater in agriculture using multiple criteria decisions making (MCDM) and geographic information system (GIS). *Agricultural Water Management*, *243*, 106490.