تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی در ارزیابی سناریوهای تخصیص آب

ابراهیم مکلف سربند[۱]، سعید علیمحمدی[۱]، شهاب عراقی‌نژاد[۲] و کیومرث ابراهیمی[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۵)

چکیده

در تعیین تخصیص منابع آب، ابتدا، وضعیت محتمل منابع و مصارف حوضه آبریز سناریوسازی می‌شود سپس، این سناریوها در چارچوب مدیریت بهم پیوسته منابع آب بر اساس اثرات مکانی از دید شاخص‌های توسعه پایدار ارزیابی‌شده و سناریوی برتر ملاک تخصیص آب قرار می‌گیرد. در این ارزیابی‌ها، وجود همزمان توزیع مکانی اثرات تخصیص آب و اندرکنش‌های آن در ماتریس تصمیم، دو ویژگی کلیدی هستند که اغلب در فرایند ارزیابی سناریوها مورد توجه واقع نمی‌شوند. در تحقیق حاضر، به‌منظور اعمال دو ویژگی فوق، دو روش ارزیابی چندمعیاره مکانی تلفیق شده و در فرایند ارزیابی سناریوهای تخصیص آب حوضه ارس به کار گرفته شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل‌سازی توزیع مکانی اثرات سناریوهای تخصیص آب و اندرکنش‌های مکانی آنها از طریق روش‌های ارزیابی ساده، امکان‌پذیر نیست. ساده‌سازی و صرف‌نظر کردن دو ویژگی کلیدی فوق در فرایند ارزیابی سناریوها، می‌تواند عدم قطعیت قابل توجه بر نتایج رتبه‌بندی‌ها با ضریب اسپیرمن ۰/۱- تحمیل کند. در تحقیق حاضر با به‌کارگیری رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی- تلفیقی و اعمال توأم دو ویژگی کلیدی فوق، سناریوی چهارم حائز رتبه برتر شد. رویکرد ارزیابی چندمعیاره مکانی- تلفیقی پیشنهادی در مقایسه با مدل‌های ساده، نتایج رتبه‌بندی متفاوت‌تر و دقیق‌تر با ضریب همبستگی ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷ ارائه کرد.

واژه‌های کلیدی: اثرات مکانی سناریوهای تخصیص آب، اندرکنش، مدیریت بهم پیوسته منابع آب

۱. گروه مهندسی منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ebrahimik@ut.ac.ir

مقدمه

در تعیین تخصیص منابع آب، ابتدا وضعیت محتمل منابع و مصارف در مقیاس حوضه آبریز سناریوسازی می‌شود. سپس سناریوها در چارچوب مدیریت بهم پیوسته منابع آب از دید شاخص‌های توسعه پایدار (۸) ارزیابی می‌شود و سناریوی برتر ملاک تخصیص منابع آب قرار می‌گیرد. مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در زمینه‌های مختلف کاربرد وسیعی داشته (۱۳) و در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب نیز کاربردهای متنوع از این مدل‌ها وجود دارد (۹). مطالعات انجام شده نشان داده است که استفاده از توزیع مکانی مقادیر به‌جای مقدار متوسط آن در حوضه موجب افزایش دقت تخمین‌ها می‌شود (۳ و ۷). در زمینهٔ مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، روش برنامه‌ریزی سازشی در ارزیابی‌ها با شاخص‌های مکانی، کاربردهای وسیع‌تری داشته است (۱۸).

در جدول (۱)، ارزیابی‌های چندمعیاره به‌کار برده شده به لحاظ نوع شاخص و روش ارزیابی چندمعیاره دسته‌بندی شده است. در این ارزیابی‌ها، بیشتر ساده‌سازی شده و از توزیع مکانی مقادیر و اندرکنش‌های مابین المان‌های ماتریس تصمیم صرف نظر شده است. در این تحقیقات، از شاخص‌های توده‌ای و مدل ارزیابی چندمعیاره غیراندرکنشی استفاده شده است. این مقاله ادامه پژوهشی از مؤلفین است (۱۴) که نتایج آن نشان داد که در ارزیابی سناریوهای تخصیص آب، نوع شاخص به لحاظ توده‌ای بودن یا توزیعی بودن و یا به‌عبارت بهتر توزیع مکانی مقادیر، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در فرایند ارزیابی سناریوها و نتایج رتبه‌بندی آن دارد و روش برنامه‌ریزی سازشی، عملکرد بهتری در مدل کردن توزیع مکانی مقادیر دارند. ولیکن روش برنامه‌ریزی سازشی فاقد قابلیت مدل‌سازی اندرکنش‌های مابین المان‌های تصمیم است. در مسائل تصمیم‌گیری که شاخص‌ها، معیارها و گزینه‌ها با همدیگر وابستگی و اندرکنش دارند ضرورتاً روش تحلیل شبکه‌ای به‌کار برده می‌شود (۲۱). همچنین در تحقیق اخیر اثر اندرکنش‌ها بر نتایج ارزیابی سناریوهای تخصیص منابع آب بررسی و نتایج آن نشان داد که ساده‌سازی و صرف‌نظر کردن از اندرکنش‌ها می‌تواند نتایج ارزیابی و رتبه‌بندی‌ها را دچار تغییر قابل توجه کند (۲۲).

در فرایند ارزیابی اثرات سناریوهای تخصیص آب، توزیع مکانی و اندرکنش‌های مکانی از نقش بارزتری برخوردار بوده و به‌طور همزمان در ماتریس تصمیم حضور دارند. مدل‌های ارزیابی چندمعیاره هر کدام به‌تنهایی قابلیت مدل‌سازی توأم دو ویژگی فوق را ندارند، لذا در تحقیق حاضر برای ارزیابی سناریوهای تخصیص آب برای اولین بار، دو روش برنامه‌ریزی سازشی و تحلیل شبکه‌ای تلفیق شده و با شاخص‌های توزیعی به‌کار برده شده است. اهداف این تحقیق عبارت است از:

- تعریف شاخص‌های ارزیابی مکانی، ایجاد ساختار شبکه کلاسترهای ماتریس تصمیم تخصیص آب
- تعیین وزن اهمیت المان‌های تصمیم و اولویت نهایی سناریوهای تخصیص آب با احتساب اندرکنش‌های موجود
- مقایسه عملکرد روش‌های ارزیابی چندمعیاره در تعیین اولویت‌های نهایی سناریوها

مواد و روش‌ها

مبانی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

تحلیل شبکه‌ای: یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، فرایند تحلیل شبکه‌ای است که تعمیم‌یافته روش تحلیل سلسله مراتبی با ساختار شبکه‌ای است. در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، وابستگی‌ها به‌صورت خطی و از بالا به پایین است ولی چنانچه وابستگی‌ها دوطرفه بوده یعنی وزن شاخص‌ها به سناریوها و وزن سناریوها به شاخص‌ها وابستگی داشته باشند، مسئله تصمیم‌گیری از حالت سلسله‌مراتبی خارج می‌شود. در این حالت، یک شبکه و سیستم غیرخطی تشکیل شده که در آن، قوانین و روابط روش تحلیل سلسله مراتبی معتبر نخواهد بود. به همین دلیل، ساعتی (۲۱) نظریه خود درخصوص روش تحلیل سلسله‌مراتبی را گسترش داد و ساختار شبکه‌ای را پیشنهاد کرد. در این ساختار اندرکنش‌ها، وابستگی‌ها، چه درونی (درون یک کلاستر) و چه بیرونی (بین شاخص‌ها و معیارها و سناریوها)، بین عناصر و کلاسترها قابل پیاده‌سازی است. برای حل یک

جدول ۱. کاربردهای مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب

زمینه کاربرد	محققین	نوع روش ارزیابی چندمعیاره				نوع شاخص	
		نام روش	ساده	اندرکنشی	ترکیبی	توده‌ای	توزیعی
تأمین آب شهری	ضرغامی و همکاران (۲۸)	CP, SA	☑	☐	☐	☑	☐
	ابریشمچی و همکاران (۱)	CP	☑	☐	☐	☑	☐
رتبه‌بندی سناریوهای مدیریت منابع آب	یانگ و همکاران (۲۷)	AVF	☑	☐	☐	☑	☐
	کیم و همکاران (۱۱)	OPSIS	☑	☐	☐	☑	☐
ارزیابی اثرات سناریوهای مدیریت منابع آب	پرادونویچ و سیمونویچ (۱۸)	CP	☑	☐	☐	☐	☑
	ژردویچ و مدیوریس (۲۳)	AHP	☑	☐	☐	☑	☐
برنامه‌ریزی پایدار	اپریکوویچ (۱۷)	VIKOR	☑	☐	☐	☑	☐
	گنگ و والدراو (۶)	CP	☑	☐	☐	☑	☐
تصمیم‌گیری در مسائل اقتصادی-زیست‌محیطی	منتظر و زادباقر (۱۶)	AHP	☑	☐	☐	☑	☐
رتبه‌بندی چالش‌های منابع آب	افشار و همکاران (۲)	TOPSIS	☑	☐	☐	☑	☐
	ملک‌محمدی و همکاران (۱۲)	AHP	☑	☐	☐	☑	☐
ارزیابی استراتژی‌های مدیریت منابع آب	هاجکویتز و هیقنز (۱۰)	CP	☑	☐	☐	☑	☐
	رضوی طوسی و سامانی (۲۴)	ANP,VIKOR	☑	☑	☐	☑	☐
الگوی کشت و سیستم آبیاری	منتظر و اشنایدر (۱۵)	AHP	☑	☐	☐	☑	☐
ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر سیلاب	رامهر و عراقی‌نژاد (۱۹)	AHP,TOPSIS	☑	☐	☐	☐	☑
قابلیت اراضی کشاورزی دیم	راهداری و همکاران (۲۰)	AHP	☑	☐	☐	☐	☑
تخصیص منابع آب	سربند و همکاران (۲۲)	ANP ,AHP	☑	☑	☐	☑	☑
	مکلف سربند و همکاران (۱۴)	CP	☑	☐	☐	☑	☑

مسئله تصمیم با این فرایند باید شبکه‌ای از هدف، معیارها، شاخص‌ها، سناریوها و روابط بین آنها شناسایی و ترسیم شود. در گام بعدی همه مقایسات زوجی و نرخ سازگاری آنها انجام می‌شود. مقایسات زوجی یک ماتریس بزرگ به‌نام سوپر ماتریس را تشکیل می‌دهند. این سوپر ماتریس در ماتریس وزن گروه‌ها نظیر به نظیر ضرب شده و ماتریس وزنی را تشکیل می‌دهد. ماتریس حد بر پایه زنجیره‌های مارکوف از به توان رساندن سوپر ماتریس وزنی تا زمانی که سطرهای آن به مقادیر ثابتی همگرا شوند مطابق با رابطه ۱ به‌دست می‌آید و در گام آخر، وزن معیارها، شاخص‌ها و رتبه سناریوها از ماتریس حد استخراج می‌شود (۲۱).

$$\text{Limit Matrix} = \lim_{K\to\infty} (W)^K \quad (۱)$$

که در آن، Limit Matrix سوپر ماتریس حد، W سوپر ماتریس وزن‌دار و K توان سوپر ماتریس وزن‌دار است.

روش برنامه‌ریزی سازشی CP: روش برنامه‌ریزی سازشی اولین بار توسط زلنی (۱۹۸۲) ارائه شد. این روش، روشی ساده و پرکاربرد است که در آن، وزن شاخص‌ها و فاصله از آرمان در انتخاب گزینه برتر لحاظ می‌شوند. نرمال‌سازی داده‌ها و اولویت نهایی از روابط زیر محاسبه می‌شوند (۲۸):

$$\overline{a_{ij}} = \frac{a_{ij} - m_j}{M_j - m_j} \quad (۲)$$

$$\overline{a_{ijK}} = \frac{a_{ijK} - m_j}{M_j - m_j} \quad (۳)$$

$$F_i = \left(\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{-p} * w_j^p \right)^{1/p} \quad (۴)$$

در روابط بالا، a_{ij} و $\overline{a_{ijK}}$ به‌ترتیب مقادیر توده‌ای و توزیعی سناریوی i ام از دید معیار j ام به‌صورت نرمال شده و W_j وزن معیار j ام است. P پارامتری که حساسیت تصمیم‌گیر به فاصله از نقطه نامطلوب را برحسب شاخص‌های مختلف بیان می‌کند؛ که در تحقیق حاضر، مقدار آن به دلیل عملکرد مطلوب آن در پایداری نتایج رتبه‌بندی، معادل ۰/۵ انتخاب شد و m_j و Mj به‌ترتیب بیانگر کمترین و بیشترین مقادیر گزینه‌ها یا سناریوها هستند.

رویکرد ارزیابی چندمعیاره مکانی- تلفیقی تحقیق حاضر

در تحقیق حاضر، از رویکرد تحلیل چندمعیاره مکانی- تلفیقی در فرایند ارزیابی سناریوهای تخصیص آب استفاده شد به‌نحوی که اعمال توزیع مکانی اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی سناریوها و اندرکنش‌های مکانی آنها به‌صورت همزمان در فرایند ارزیابی میسر شد. در گام اول، اطلاعات سناریوهای محتمل منابع و مصارف آب در حوضه ارس جمع‌آوری شد. سپس با مشارکت ده نفر از خبرگان منابع آب، پانزده شاخص ارزیابی برحسب شاخص‌های توسعه پایدار و مدیریت بهم پیوسته منابع آب شناسایی شدند (۸). فرایند ارزیابی سناریوها با تلفیق دو مدل تحلیل شبکه‌ای و روش برنامه‌ریزی سازشی انجام شد. در این تلفیق، اندرکنش‌های مکانی از طریق تحلیل شبکه‌ای لحاظ شد و وزن مکانی ۱۳ ناحیه حوضه تعیین شد. سپس با وارد کردن وزن مکانی و مقادیر سناریوها در نواحی مختلف حوضه، امتیازها برای هر سناریو از دید پانزده شاخص، تجمیع و امتیاز نهایی هر سناریو حاصل شد (۲۲). به‌طور خلاصه، فرایند ارزیابی در چهار گام انجام شد و اولویت‌های نهایی و رتبه‌بندی مربوط به آنها با روش‌های مختلف تعیین و از طریق ضریب همبستگی اسپیرمن مقایسه شدند. مدل مفهومی چهار گام فوق در شکل ۱ ارائه شده است.

آنالیز داده‌ها

برای نرمال‌سازی داده‌ها از روش Linear-Max به‌دلیل عملکرد مناسب آن در تحقیقات پیشین (۲۵) استفاده شده است. میزان سازگاری برای کلیه مقایسات زوجی محاسبه و پس از محقق شدن نرخ سازگاری کوچک‌تر از ۰/۱، اعتبار مقایسه‌ها مورد تأیید قرار گرفته است. برای انجام عملیات توان‌رسانی سوپر ماتریس موزون، کدی توسعه داده شد و در انتهای محاسبات، وزن مکانی شاخص‌ها استخراج شد. وزن مکانی استخراج شده اندرکنشی در روش برنامه‌ریزی سازشی با مقادیر مکانی (ماتریس تصمیم با شاخص‌های توزیعی) اعمال و اولویت نهایی سناریوهای تخصیص‌آب تعیین شد. برای مقایسه رتبه‌بندی‌ها از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. این ضریب برای نشان دادن رابطهٔ میان دو متغیر ترتیبی به‌صورت زیر تعریف می‌شود (۴):

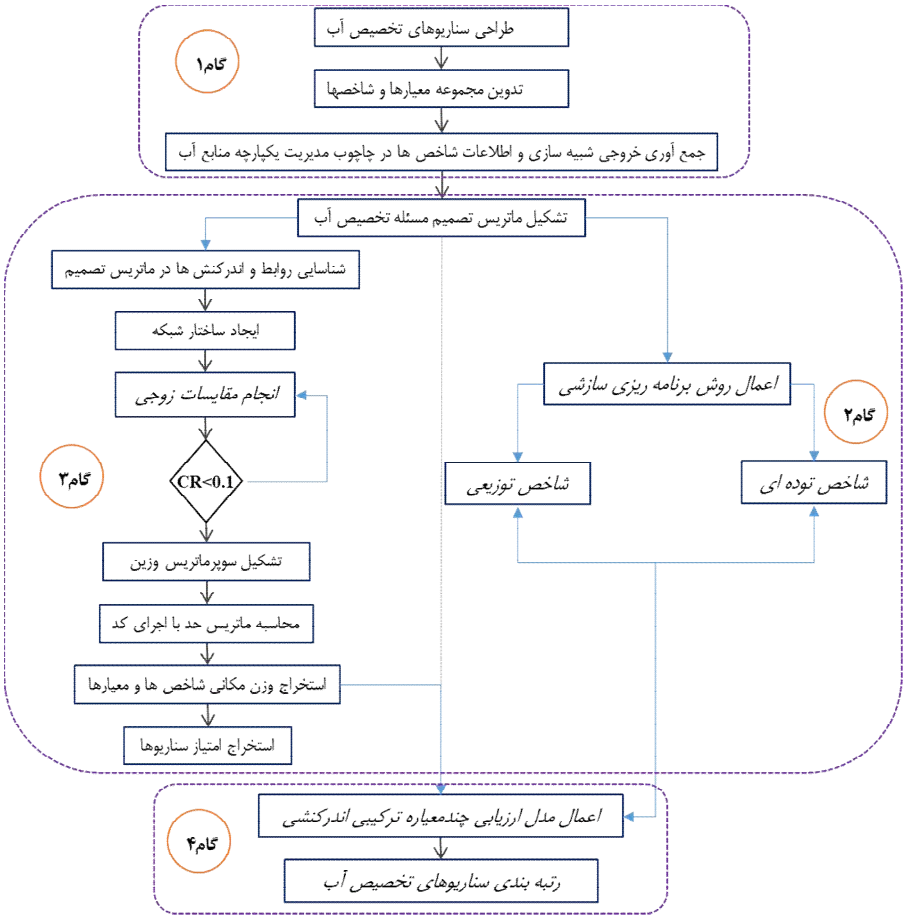
$$r_s = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n} D^2}{n\left(n^2 - 1\right)} \quad (۵)$$

که در آن، D تفاوت بین رتبه‌های اعضای متناظر دو روش تصمیم‌گیری چند شاخصه و n تعداد سناریوهاست.

فرایند ارزیابی سناریوهای تخصیص آب

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، حوضه ارس با سطح ۳۹۵۳۴ کیلومتر



شکل ۱. مدل مفهومی تلفیق دو روش ارزیابی چندمعیاره مکانی و اندرکنشی

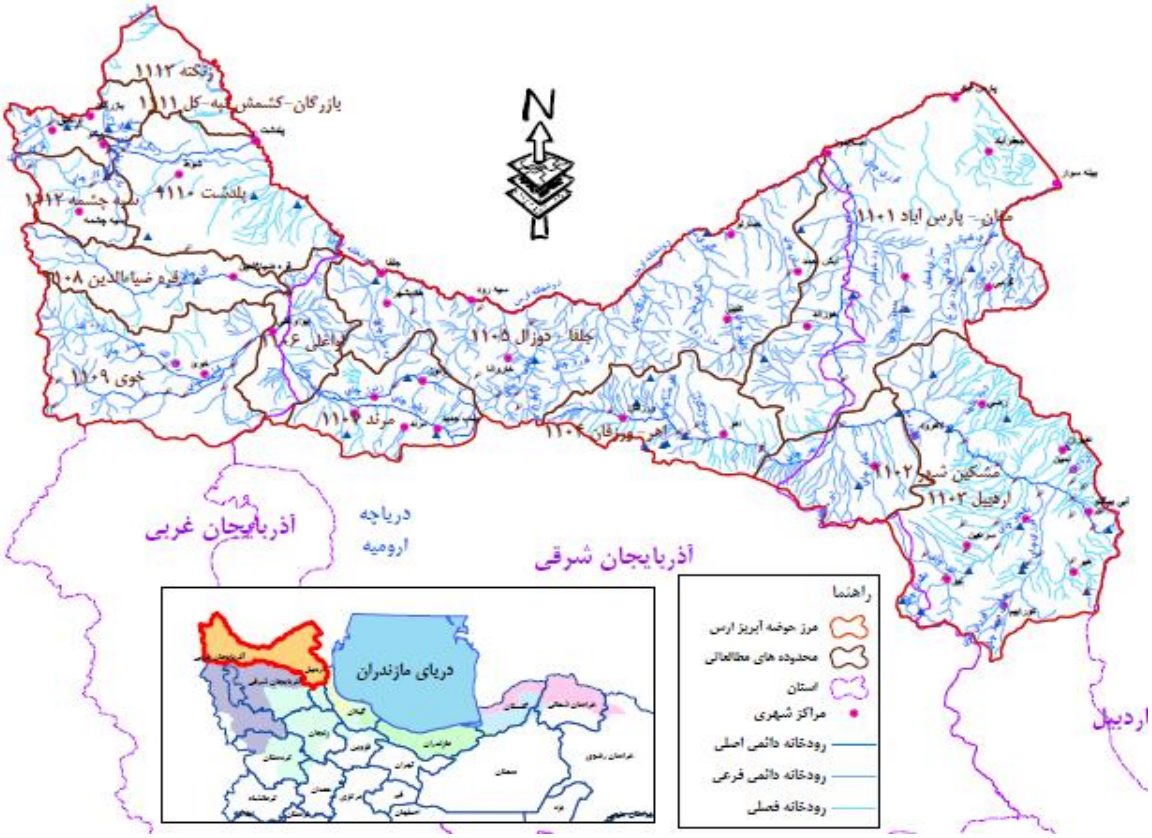
مربع است که در شمال غربی ایران واقع شده و بخشی از حوضه بزرگ ارس- کورا است. این حوضه به لحاظ تقسیمات کشوری، بخش‌هایی از سه استان شامل اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی را تحت پوشش قرار می دهد (شکل ۲). در این حوضه، سرمایه‌گذاری قابل ملاحظه برای بهره‌برداری از منابع آب و خاک انجام شده است. همچنین طرح‌های توسعه‌ای متنوعی در سه استان برای استفاده هر چه بیشتر از منابع آب و خاک برنامه‌ریزی شده است. بخش قابل توجهی از منابع آب سطحی مرزی (مشترک) است سطح ایستابی آبخوان‌های این حوضه نیز با افت مواجه‌اند این شرایط، ارزیابی اثرات سناریوهای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و تعیین تخصیص به کاربرهای مختلف را حائز اهمیت کرده است.

معیارها و شاخص‌های ارزیابی

با مشارکت ده نفر از خبرگان منابع آب، چهار معیار اصلی و پانزده شاخص طبق پژوهش‌های قبلی انتخاب شد (۸ و ۲۲). اطلاعات سناریوهای تخصیص منابع آب حوضه ارس به‌همراه پنج سناریو از گزارش تلفیق مطالعات به هنگام‌سازی منابع آب حوضه دریای خزر به‌شرح ذیل استخراج شدند (جدول ۲).

آب در دسترس (WR): این معیار بیانگر پیکربندی منابع و مصارف آب، میزان تأمین نیازها و وابستگی به آب سطحی است و شامل سه شاخص مکانی: آب خروجی از کشور (WR_1)، تنش نسبی آب (WR_2) و وابستگی به آب سطحی (WR_3) هستند.

معیار اجتماعی (SC): جامعه عشایری با فرهنگ و سنن خاص خود از خصوصیات بارز اجتماعی حوضه ارس است. با توجه به اهمیت تاریخی حضور جمعیت عشایری در مرزهای شمال غربی



شکل ۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران

جدول ۲. مشخصات مجموعه معیارها و شاخص‌های مکانی

معیار	شاخص	نام اختصاری	محدوده تعریف	واحد شاخص	مرجع شاخص
زیست‌محیطی (EV)	کیفیت آب	EV_1	۱۳ ناحیه	Cardinal	IME
	محدودیت توسعه	EV_2	۱۳ ناحیه	Cardinal	IME
	اکوسیستم وابسته به آب	EV_3	۱۳ ناحیه	Cardinal	UNEP, UN
	نیازهای غیرمصرفی	EV_4	۱۳ ناحیه	متر مکعب	IME
اجتماعی (SC)	مشارکت عشایر	SC_1	سه استان	نفر	IME
	سرانه آب	SC_2	۱۳ ناحیه	متر مکعب بر نفر	(5) Falken Mark
	اشتغال	SC_3	۱۳ ناحیه	درصد	IME
	جمعیت	SC_4	سه استان	نفر	IME
اقتصادی (EC)	سرمایه‌گذاری انجام‌شده	EC_1	۱۳ ناحیه	ریال	IME
	کارایی مصرف آب	EC_2	سه استان	ریال بر متر مکعب	FAO
	کارایی تولید محصول	EC_3	سه استان	کیلوگرم در هکتار	FAO
	اراضی حاصلخیز	EC_4	۱۳ ناحیه	هکتار	IME
منابع آب در دسترس (WR)	آب خروجی از حوضه	WR_1	حوضه	متر مکعب	IME
	تنش نسبی آب	WR_2	۱۳ ناحیه	درصد	UNH
	وابستگی به آب سطحی	WR_3	۱۳ ناحیه	درصد	IME

کشور، معیار اجتماعی در حوضه ارس شامل چهار شاخص مکانی: مشارکت عشایر (SC_1)، سرانه منابع آب (SC_2)، نرخ بیکاری (SC_3) و جمعیت (SC_4) درنظر گرفته شده است.

معیار زیست‌محیطی (EV): این معیار با توجه به وجود اکوسیستم‌های مهم وابسته به آب و همچنین پایداری جریان آب ارس در طول مرز شمال غربی کشور و تا محل اتصال به رودخانه کورا و همچنین استفاده از حقابه مرزی و محدودیت های توسعه‌ای در نظر گرفته شده است. معیار زیست‌محیطی شامل چهار شاخص کیفیت آب (EV_1)، محدودیت توسعه (EV_2)، اکوسیستم‌های وابسته به آب (EV_3) و حقابه‌های زیست محیطی (EV_4) برای پایدارسازی جریان است.

معیار اقتصادی (EC): این معیار به‌منظور لحاظ سرمایه‌گذاری های قبلی و تشویق برای افزایش بهره‌وری اقتصادی، ارتقای راندمان مصرف آب و بهره‌برداری از اراضی دیم و یکپارچه و با کیفیت‌تر مدنظر قرار گرفت. این معیار شامل چهار شاخص: سرمایه‌گذاری موجود (EC_1)، بهره‌وری اقتصادی (EC_2)، استعداد افزایش تولید (EC_3) و اراضی حاصلخیز (EC_4) است.

سناریوهای تخصیص منابع آب

سناریوی اول (Se_1) برای ایجاد مبنای مشترک مقایسه‌ای برای سناریوهای محتمل در شرایط آتی و استفاده از اطلاعات موجود حوضه انتخاب شد. جمعیت در این سناریو بر اساس آخرین سرشماری و پیکربندی منابع و مصارف آب حوضه شامل اطلاعات نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی وضع موجود و نیاز زیست‌محیطی با روش مونتانا لحاظ شد. در سناریوی دوم (Se_2)، بررسی اثرات اجرای طرح‌های توسعه منابع آب بیشتر شامل احداث شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی و توزیع مکانی این اثرات مطرح شد. در سناریوی سوم (Se_3)، مدیریت تقاضا با توجه به ظرفیت‌های ارتقای راندمان مصرف آب در کشاورزی با آبیاری تحت فشار، مطرح شد. تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی از طریق کاهش آبیاری در محدوده‌هایی با بیلان منفی، سناریوی چهارم (Se_4) تعریف شد. محدودیت منابع آب ناشی از تغییرات اقلیمی و سازگاری با آن، سناریوی پنجم (Se_5) مطرح شده است. بیلان منابع و مصارف آب برای هریک از سناریوها با استفاده از نرم‌افزار مادسیم شبیه‌سازی شده است و تأمین نیازها با ضرایب اطمینان‌پذیری مناسب انجام شده است از نتایج این شبیه‌سازی‌ها در تحقیق حاضر استفاده شد.

ماتریس تصمیم

شاخص‌ها به دو صورت توده‌ای و توزیعی مشتمل بر چهار معیار منابع آب در دسترس، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی هستند. اطلاعات سناریوها، ماتریس مسئله تخصیص آب را تشکیل داده‌اند. ابعاد این ماتریس تصمیم ۱۵×۵ است (جدول ۳). اثرات شاخص‌ها دارای توزیع مکانی است و این توزیع‌ها با همدیگر متفاوت است به‌طوری که ۱۰ شاخص در ۱۳ ناحیه (مرز منابع آب r_1:r_{13}) و چهار شاخص در سه ناحیه (مرز استانی P_1:P_3) توزیع مکانی دارد و یک شاخص فاقد توزیع مکانی است یک مقدار برای کل حوضه (مرز حوضه) دارد. بر این اساس ماتریس تصمیم دارای پنج سطر (به تعداد سناریوها) و ۱۴۳ ستون است که این مقادیر برای شاخص‌های توزیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

نتایج

ساختار شبکه کلاسترها و سوپر ماتریس آن

ساختار شبکه به کار رفته در مقاله حاضر با توسعه و تکمیل نتایج تحقیق قبلی (۲۲) آماده و به کار گرفته شد. چهار کلاستر C1 تا C4 شامل جنبه‌های اصلی منابع آب (C_1)، شاخص‌ها (C_2)، توزیع مکانی (C_3) و سناریوها (C_4) به‌ترتیب با ابعاد ۴، ۱۵، ۱۴۳ و ۵ المان شناسایی شدند. هدف با کلاستر C_1، کلاستر C_1 با کلاستر C_2، کلاستر C_2 با کلاستر C_3 و کلاستر C_3 با کلاستر C_4 ارتباط سلسله مراتبی (خطی) دارند. بردار وزن نسبی ارتباطات خطی زیر ماتریس‌های $W_{21}, W_{32}, W_{43}, W_{54}$ جانمایی شده است. در تحقیق حاضر، سه نوع اندرکنش لحاظ شده است که عبارت‌اند از:

جدول ۳. ماتریس تصمیم با شاخص‌های توده‌ای

سناریوها	EC_1	EC_2	EC_3	EC_4	EV_1	EV_2	EV_3	EV_4
	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲
	$B_1\times10^{13}$	B_2	B_3	$B_4\times10^3$	B_5	B_6	B_7	$B_8\times10^6$
وضع موجود	۷	۱۲۶۰	۰/۸۳	۳۸۲	۷/۳۹	۵/۱۳	۲/۱۲	۱۰۲۹
اجرای طرح‌های توسعه	۸	۱۲۶۰	۰/۸۳	۵۱۵	۷/۳۹	۵/۱۳	۲/۱۲	۲۶۸۷
مدیریت تقاضا	۸	۱۲۶۰	۰/۸۳	۵۱۵	۷/۳۹	۵/۱۳	۲/۱۲	۲۷۲۶
تعادل بخشی آب زیرزمینی	۸	۱۲۶۰	۰/۸۳	۵۱۵	۷/۳۹	۵/۱۳	۲/۱۲	۲۷۲۶
خشکسالی و تغییر اقلیم	۸	۱۳۰۰	۰/۹۲	۵۱۵	۴/۱۹	۲/۹۱	۲/۱۲	۲۵۷۹

سناریوها	SC_1	SC_2	SC_3	SC_4	WR_1	WR_2	WR_3
	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳
	$B_8\times10^3$	B_{10}	B_{11}	$B_{12}\times10^5$	$B_{13}\times10^9$	B_{14}	B_{15}
وضع موجود	۱۰	۱۳۹۸	۹/۸۰	۶	۴	۱/۰۵	۰/۷۲
اجرای طرح‌های توسعه	۲۱	۱۱۰۰	۶/۸۷	۸	۲	۱/۸۰	۰/۸۴
مدیریت تقاضا	۲۱	۱۱۰۰	۶/۸۷	۸	۳	۱/۴۶	۰/۸۰
تعادل بخشی آب زیرزمینی	۲۱	۱۰۸۳	۶/۸۷	۸	۳	۱/۴۷	۰/۸۱
خشکسالی و تغییر اقلیم	۱۷	۷۴۶	۸/۳۴	۸	۱	۱/۸۹	۰/۷۸

– در کلاستر C_1، جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و قابلیت دسترسی منابع آب در سطح کلان مستقل از هم نبوده و به‌هم وابسته‌اند، بردار وزن این وابستگی‌ها با مقایسات زوجی به‌دست آمده و در زیر ماتریس W_{22} اعمال شده است.

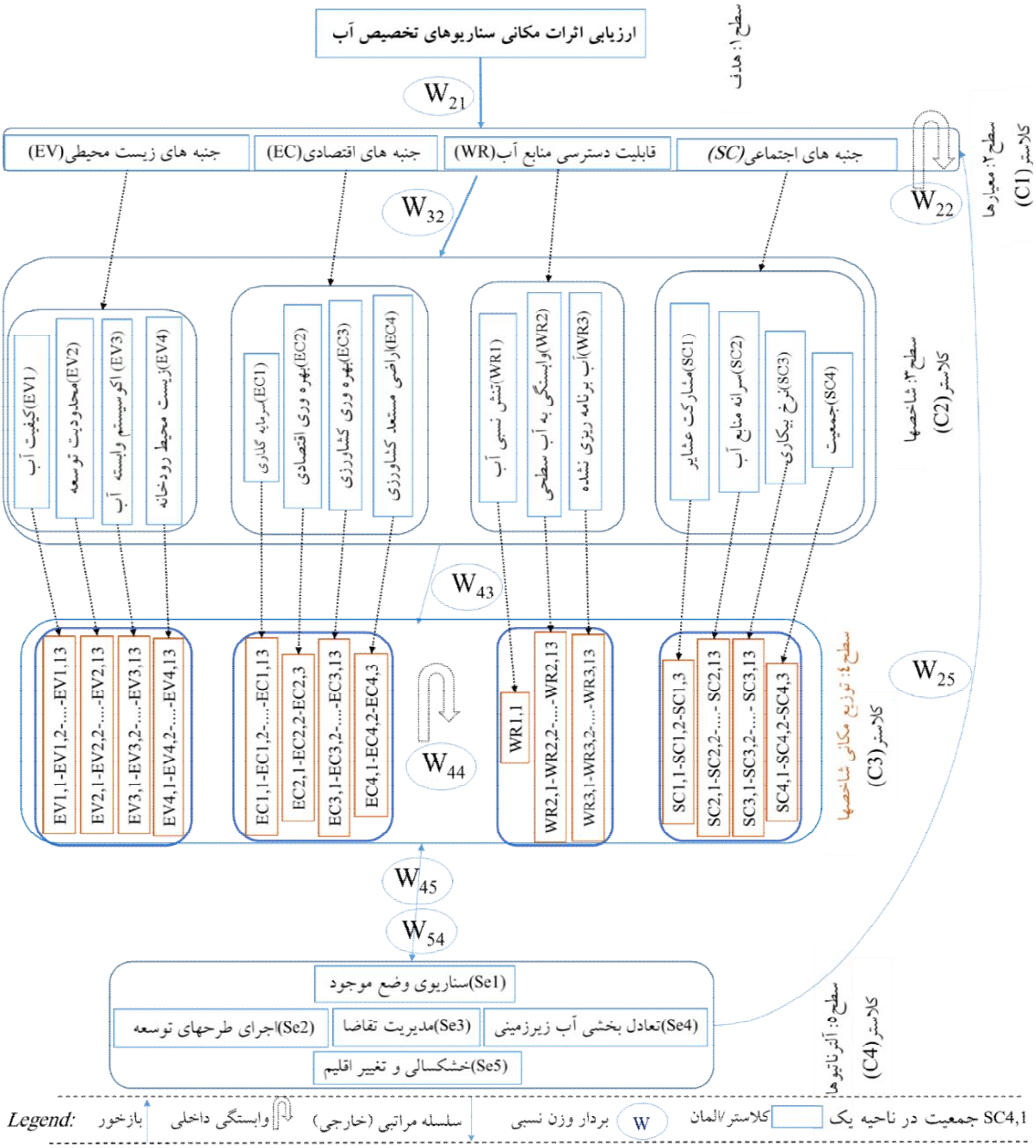
– در کلاستر سوم C3، شاخص‌های مکانی مدل شدند. المان‌های این کلاستر توزیع مکانی اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی سناریوهای تخصیص منابع آب را در خود جای داده‌اند این المان‌ها مستقل از هم نبوده و تعداد ۶۵ مورد وابستگی بین آنها شناسایی شده است بردار وزن متناظر آن در زیر ماتریس W_{44} لحاظ شده است.

– بین سناریوها و معیارها وابستگی دوطرفه (بازخور) وجود دارد این وابستگی (وابستگی دو کلاستر C4 و C2) با زیر ماتریس W_{25} اعمال شده است همچنین این نوع وابستگی بین کلاسترهای C4 و C3 وجود دارد که زیر ماتریس W_{45} متعلق به آن است (شکل ۳).

سوپر ماتریس ارزیابی سناریوهای تخصیص آب از ۲۵ زیر ماتریس با ابعاد ۱۶۸×۱۶۸ ایجاد شده است. این ماتریس دربرگیرنده کلیه ارتباطات ممکن در بین المان‌های تصمیم شامل روابط بیرونی، داخلی و بازخوردها است. در تحقیق حاضر، هشت زیر ماتریس:$W_{25},W_{45},W_{44}W_{22},W_{54},W_{43},W_{32},W_{21}$, دارای ارزش عددی و I ماتریس واحد است. این زیر ماتریس‌ها در موقعیت‌های مختلف سوپر ماتریس قرار داشته و شش زیر ماتریس، دوبه‌دو در یک ستون جای گرفته‌اند (شکل ۴).

وزن اهمیت المان‌های تصمیم

وزن اهمیت المان‌های تصمیم با اعمال اندرکنش‌ها از طریق سوپر ماتریس حد در طی انجام تحلیل شبکه‌ای (۱۹) تعیین شد. تحت تأثیر اندرکنش‌ها در ماتریس تصمیم، وزن‌های متفاوتی نسبت به وزن‌های مشابه مفروض، از ماتریس حد حاصل می‌شود. وزن هشت شاخص، کاهش و وزن هفت شاخص، افزایش یافته است. ضریب همبستگی وزن‌های مفروض با وزن‌های اندرکنشی به مقدار ۰/۷۳ بیانگر تأثیر



شکل ۳. نمادین ساختار شبکه ماتریس ارزیابی سناریوهای تخصیص منابع آب

$$\begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} & W_{15} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} & W_{25} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & W_{34} & W_{35} \\ W_{41} & W_{42} & W_{43} & W_{44} & W_{45} \\ W_{51} & W_{52} & W_{53} & W_{54} & W_{55} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & W_{22} & 0 & 0 & W_{25} \\ 0 & W_{32} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{43} & W_{44} & W_{45} \\ 0 & 0 & 0 & W_{54} & I \end{pmatrix}$$

شکل ۴. سوپر ماتریس ارزیابی سناریوهای تخصیص منابع آب حوضه ارس

جدول ۴. خروجی وزن شاخص‌های متأثر از اندرکنش‌های مکانی (۲۳)

شاخص	EC1	EC2	EC3	EC4	EV1	EV2	EV3	EV4
اولیه	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵
ثانویه (اندرکنشی)	۰/۰۶۶۳	۰/۰۶۶۳	۰/۰۶۶۳	۰/۰۶۶۳	۰/۰۵۳۰	۰/۰۵۳۰	۰/۰۵۳۰	۰/۰۵۳۰
اختلاف (درصد)	+۶/۰۸	+۶/۰۸	+۶/۰۸	+۶/۰۸	−۱۵/۲	−۱۵/۲	−۱۵/۲	−۱۵/۲

شاخص	۱SC	۲SC	۳SC	۴SC	۱WR	۲WR	۳WR
اولیه	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۸۳۳	۰/۰۸۳۳	۰/۰۸۳۳
ثانویه (اندرکنشی)	۰/۰۵۹۷	۰/۰۵۹۷	۰/۰۵۹۷	۰/۰۵۹۷	۰/۰۹۴۷	۰/۰۹۴۷	۰/۰۹۴۷
اختلاف (درصد)	−۴/۴۸	−۴/۴۸	−۴/۴۸	−۴/۴۸	+۱۳/۶۹	+۱۳/۶۹	+۱۳/۶۹

جدول ۵. اولویت‌های نهایی و رتبه سناریوهای تخصیص منابع آب

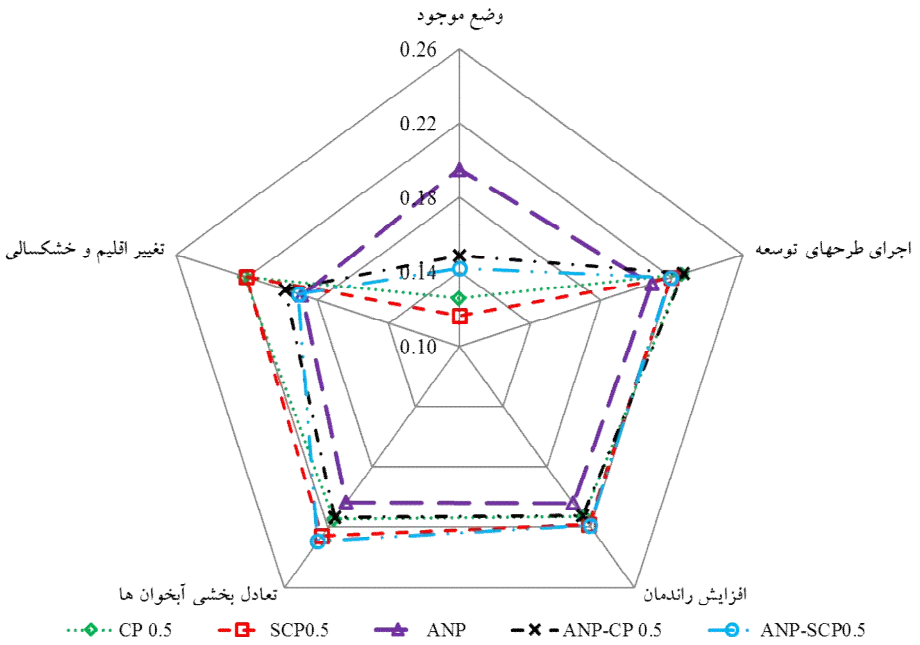
سناریوها	CP0.5		SCP0.5		ANP(23)		ANP-CP 0.5		ANP-SCP0.5	
	امتیاز	رتبه	امتیاز	رتبه	امتیاز	رتبه	امتیاز	رتبه	امتیاز	رتبه
وضع موجود	۰/۱۲۵۵	۵	۰/۱۱۶۵	۵	۰/۱۹۵۲	۴	۰/۱۴۹۱	۵	۰/۱۴۱۹	۵
اجرای طرح‌های توسعه	۰/۲۲۵۴	۱	۰/۲۱۹۳	۳	۰/۲۰۸۶	۱	۰/۲۲۶۵	۱	۰/۲۱۸۹	۲
مدیریت تقاضا	۰/۲۱۳۲	۴	۰/۲۱۸۰	۴	۰/۲۰۴۱	۲	۰/۲۱۲۴	۳	۰/۲۱۸۸	۳
تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی	۰/۲۱۴۵	۳	۰/۲۲۵۸	۱	۰/۲۰۳۴	۳	۰/۲۱۳۸	۲	۰/۲۲۹۳	۱
خشکسالی و تغییر اقلیم	۰/۲۲۱۳	۲	۰/۲۲۰۴	۲	۰/۱۸۸۷	۵	۰/۱۹۸۱	۴	۰/۱۹۱۱	۴

اندرکنش‌ها در فرایند ارزیابی است (جدول ۴).

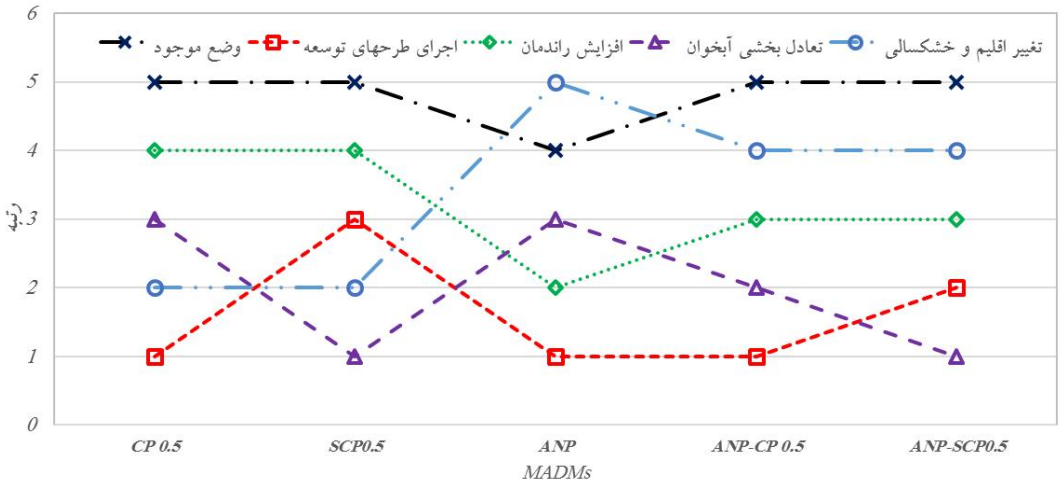
اولویت نهایی سناریوهای تخصیص آب

اولویت نهایی سناریوهای تخصیص با انجام فرایند ارزیابی چندمعیاره توسط دو روش تحلیل شبکه‌ای و برنامه‌ریزی سازشی به‌صورت منفرد و ترکیبی با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی در شکل ۵ ارائه شده است. در پنج روش، سناریوی دوم، رتبه نخست و سناریوی اول، رتبه آخر را به‌خود اختصاص داده‌اند و سناریوهای سوم و چهارم و پنجم، رتبه‌های میانی را کسب کرده‌اند (جدول ۵).

اندرکنش‌ها تأثیر قابل ملاحظه در مرحله اول بر وزن شاخص‌ها و در مرحله دوم بر اولویت نهایی سناریوها دارد. تلفیق دو مدل، اعمال همزمان اثرات توزیع مکانی و اندرکنش‌ها را با استفاده از شاخص‌های توزیعی در اولویت نهایی سناریوها میسر می‌کند. اولویت نهایی سناریوهای Se2 و Se4 با اعمال توزیع مکانی اثرات آن به‌صورت معکوس دچار تغییر می‌شود. اختلاف اولویت نهایی این دو سناریو با اعمال اندرکنش‌ها تعدیل می‌شود. اندرکنش‌ها و توزیع مکانی در بعضی موارد هم‌جهت و در برخی موارد، در خلاف جهت هم عمل کرده و اثر همدیگر را تعدیل می‌کند (Se4). بنابراین تلفیق دو روش ارزیابی چندمعیاره ANP-SCP در ارزیابی سناریوهای تخصیص آب منجر به ارزیابی در شرایط واقعی و دقیق‌تر می‌شود. اندرکنش‌ها ضرورتاً از طریق تحلیل شبکه‌ای قابل اعمال است. اثر نوع شاخص بر اولویت نهایی سناریوها با استفاده از جدول



شکل ۵. اولویت نهایی سناریوهای تخصیص آب (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. رتبه سناریوهای تخصیص منابع آب حوضه ارس (رنگی در نسخه الکترونیکی)

(۵) بررسی شد و نشان داد که علاوه بر روش ارزیابی، نوع شاخص نیز در فرایند ارزیابی تأثیرگذار است؛ بنابراین انتخاب نوع شاخص و روش ارزیابی چندمعیاره در فرایند ارزیابی سناریوهای تخصیص منابع آب حائز اهمیت است.

رتبه سناریوهای تخصیص منابع آب در شکل ۶ آورده شده است. سناریوهای Se2 و Se4 رتبه اول و پنجم را در پنج روش به دست آورده‌اند و سناریوهای Se3 و Se5، رتبه‌های متفاوت تری را نسبت به دو سناریوی Se1 و Se4 به‌خود اختصاص داده اند. در سه مدل، رتبه اول برای سناریوی Se2 و رتبه پنجم برای سناریوی Se1، چهار بار تکرار شده است. سناریوهای Se3، Se4 و Se5 هرکدام دارای دو بار تکرار در رتبه‌اند. این نتایج نشان داد که به‌کارگیری مدل ANP و لحاظ کردن اندرکنش‌ها و استفاده از مدل SCP در مدل‌سازی توزیع مکانی، عملکرد مطلوبی دارند. سه سناریوی Se1، Se3 و Se5

جدول ۶. مقادیر ضرایب همبستگی اسپیرمن پنج نوع روش ارزیابی به‌صورت زوجی

مدل ارزیابی	ANP-SCP	ANP-CP	ANP	SCP	CP
CP	۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۶	۱
SCP	۰/۷	۰/۵	-۰/۱	۱	
ANP	۰/۶	۰/۸	۱		
ANP-CP	۰/۹	۱			
ANP-SCP	۱				

که به توزیع مکانی حساسیت نداشتند به اندرکنش‌ها حساسیت نشان دادند به‌طوری که در مدل تحلیل شبکه‌ای با تغییر رتبه مواجه شدند. بنابراین در فرایند ارزیابی سناریوها، اثر اندرکنش‌ها و توزیع مکانی هر دو قابل توجه هستند. بر اساس سناریوی منتخب حاصل از رویکرد تحلیل چندمعیاره تلفیقی، ۲۵۴ میلیون متر مکعب برای نیاز شرب با ضریب اطمینان‌پذیری ۹۰ درصد، ۲۷۵۱ میلیون متر مکعب نیازهای غیرمصرفی شامل زیست‌محیطی و برقابی با ضریب اطمینان‌پذیری بالای ۹۰ درصد و ۶۵۵۴ میلیون متر مکعب نیاز کشاورزی با ضریب اطمینان‌پذیری بالای ۷۰ درصد تأمین می‌شود.

بحث در خصوص عملکرد روش‌های ارزیابی چندمعیاره

به‌منظور مقایسه نتایج پنج نوع رتبه‌بندی به‌دست آمده در این تحقیق، رتبه‌بندی‌ها به‌صورت زوجی درنظر گرفته شدند و برای ۱۰ زوج $(C_2^5 = \frac{5!}{(5-2)!*2!} = 10)$، مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن محاسبه و در جدول ۶ آورده شد. این زوج رتبه‌بندی‌ها شامل دو روش چندمعیاره مختلف با شاخص مشابه مانند ANP&CP، دو روش رتبه‌بندی مشابه با دو شاخص توده‌ای و توزیعی مانند SCP&CP و یا دو روش چندمعیاره مختلف با شاخص‌های مختلف ANP&SCP است همچنین مدل‌های ارزیابی چندمعیاره ترکیبی با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی مانند ANP-SCP & ANP-CP است. بر اساس روش‌های چندمعیاره فوق، کمترین ضریب همبستگی به مقدار ۰/۱- مربوط به رتبه‌بندی‌های دو روش چندمعیاره ساده (برنامه‌ریزی سازشی و تحلیل شبکه‌ای) و بیشترین ضریب همبستگی با مقدار ۰/۹ متعلق به رتبه‌بندی دو روش چندمعیاره ترکیبی (تحلیل شبکه‌ای- برنامه‌ریزی سازشی) با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی است.

ضرایب همبستگی متنوعی برای زوج رتبه‌بندی‌ها به‌دست آمد. حداقل مقدار آن به‌میزان (۰/۱-) متعلق به دو روش چندمعیاره ساده یعنی دو روش ANP و SCP است. ضریب همبستگی رتبه‌بندی‌ها با یک روش مشابه و با دو نوع شاخص مختلف یعنی CP&SCP به‌میزان ۰/۶ محاسبه شد. این ضریب برای روش چندمعیاره ترکیبی مکانی (با شاخص‌های توزیعی) و غیرمکانی (با شاخص‌های توده‌ای) یعنی دو روش ترکیبی ANP-SCP و ANP-CP معادل ۰/۹ به‌دست آمد. ضریب همبستگی مدل ترکیبی- مکانی (ANP-SCP) با مدل‌های چندمعیاره ساده شامل CP,SCP,ANP به‌ترتیب برابر ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۶ محاسبه شد. این نتایج نشان داد که توزیع مکانی و اندرکنش‌ها به‌صورت همزمان تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نتایج رتبه‌بندی سناریوهای تخصیص منابع آب برجای می‌گذارند. ساده‌سازی توزیع مکانی و اندرکنش‌ها و یا انتخاب نامناسب روش ارزیابی چندمعیاره و نوع شاخص می‌تواند منجر به عدم قطعیت قابل توجه در فرایند ارزیابی شود.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، رویکرد ارزیابی چندمعیاره مکانی- تلفیقی برای ارزیابی اثرات سناریوهای تخصیص آب بر اساس

شاخص‌های توسعه پایدار و مدیریت بهم پیوسته منابع آب به کار گرفته شد. توزیع مکانی اثرات سناریوهای تخصیص آب و اندرکنش‌های مکانی آنها به‌عنوان دو ویژگی کلیدی و اثرگذار در فرایند ارزیابی بررسی شدند و نتایج ذیل به‌دست آمد:

– اعمال اندرکنش‌ها در فرایند ارزیابی، فقط از طریق به‌کارگیری روش تحلیل شبکه‌ای امکان‌پذیر است. برای انجام این فرایند، توسعه شبکه‌ای متشکل از کلاسترهای معیارها، شاخص‌ها و سناریوها ضرورت پیدا می‌کند.

– هیچ‌کدام از روش‌های ارزیابی چندمعیاره به‌تنهایی قادر به مدل‌سازی همزمان توزیع مکانی و اندرکنش‌های بین آنها نیست. این نوع مدل‌سازی، فقط با تلفیق برنامه‌ریزی سازشی و تحلیل شبکه‌ای میسر می‌شود.

– اندرکنش‌ها در مرحله اول بر وزن شاخص‌ها با ضریب همبستگی ۰/۷۳ تأثیر قابل ملاحظه دارند. در مرحله دوم بر اولویت نهایی سناریوها بر مبنای اندرکنش‌ها تأثیرگذارند، ولیکن قابل تفسیر نیستند.

– روش برنامه‌ریزی سازشی عملکرد مناسبی در مدل‌سازی توزیع مکانی اولویت‌های محلی با ضریب همبستگی ۰/۶ دارد.

به‌کارگیری این روش ارزیابی چندمعیاره مکانی منجر به ارزیابی دقیق‌تر اثرات مکانی سناریوهای تخصیص آب می‌شود.

– با وجود متناسب بودن روش تحلیل شبکه‌ای و روش برنامه ریزی سازشی، استفاده هر یک از این دو روش به‌تنهایی می تواند منجر به عدم قطعیت قابل ملاحظه با ضریب همبستگی اسپیرمن ۰/۱– در نتایج شود.

– تلفیق دو روش نشان داد که در بعضی سناریوها، اثرات توزیع مکانی و اندرکنش‌ها در یک‌جهت موجب تقویت اولویت نهایی و در بعضی سناریوها نیز این دو عامل در خلاف جهت هم عمل کرده و اثر همدیگر را تعدیل می‌کنند.

این تحقیق نشان داد که انتخاب نوع روش ارزیابی چندمعیاره و نوع شاخص در فرایند ارزیابی نقش اساسی دارند و به‌کارگیری رویکرد ارزیابی چندمعیاره مکانی– تلفیقی منجر به بهبود عملکرد فرایند ارزیابی سناریوهای تخصیص آب می‌شود. به‌منظور تعدیل بیشتر عدم قطعیت‌ها، انجام تحقیقات بیشتری با به‌کارگیری تصمیم‌گیری گروهی موردنیاز است.

منابع مورد استفاده

1. Abrishamchi, A., A. Ebrahimian, M. Tajrishi and M. A. Mariño. 2005. Case study: application of multicriteria decision making to urban water supply. *Journal of Water Resources Planning and Management* 131(4): 326-335.
2. Afshar, A., M. A. Mariño, M. Saadatpour and A. Afshar. 2011. Fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis applied to Karun reservoirs system. *Water Resources Management* 25(2): 545-563.
3. Brirhet, H. and L. Benaabidate. 2016. Comparison of two hydrological models (lumped and distributed) over a pilot area of the issen watershed in the Souss Basin, Morocco. *European Scientific Journal* 12(18): 347-358.
4. Dodge, Y. 2008. The Concise Encyclopedia of Statistics. Springer Science & Business Media.
5. Falkenmark, M., J. Lundqvist and C. Widstrand. 1989. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. In: Natural resources forum 1989. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, UK.
6. Geng, G. and R. Wardlaw. 2013. Application of multi-criterion decision making analysis to integrated water resources management. *Water Resources Management* 27(8): 3191-3207.
7. Ghavidelfar, S., S. R. Alvankar and A. Razmkhah. 2011. Comparison of the lumped and quasi-distributed Clark runoff models in simulating flood hydrographs on a semi-arid watershed. *Water Resources Management* 25(6): 1775-1790.
8. GWP, INBO. 2009. A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins. Global Water Partnership and International Network of Basin Organizations.
9. Hajkowicz, S. and K. Collins. 2007. A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resources Management* 21(9): 1553-1566.
10. Hajkowicz, S. and A. Higgins. 2008. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research* 184(1): 255-265.

11. Kim, Y. and E. S. Chung. 2014. An index-based robust decision-making framework for watershed management in a changing climate. *Science of the Total Environment* 473: 88-102.
12. Malekmohammadi, B., B. Zahraie and R. Kerachian. 2011. Ranking solutions of multi-objective reservoir operation optimization models using multi-criteria decision analysis. *Expert Systems with Applications* 38(6): 7851-7863.
13. Mendoza, G. A. and H. Martins. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management* 230(3): 1-22.
14. Mokallaf Sarband, E., S. Araghinejad, J. Attari and K. Ebrahimi. 2019. Application of compromise programming method and fuzzy-spatial indicators for assessment of water allocation scenarios, (case study: Aras Basin) *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50(5): 1265-1270. (In Farsi).
15. Montazar, A. and R. L. Snyder. 2012. A multi-attribute preference model for optimal irrigated crop planning under water scarcity conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10(3): 826-837.
16. Montazar, A. and E. Zadbagher. 2010. An analytical hierarchy model for assessing global water productivity of irrigation networks in Iran. *Water Resources Management* 24(11): 2817-2832.
17. Opricovic, S. 2011. Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Systems with Applications* 38(10): 12983-12990.
18. Prodanovic, P. and S. P. Simonovic. 2002. Comparison of fuzzy set ranking methods for implementation in water resources decision-making. *Canadian Journal of Civil Engineering* 29(5): 692-701.
19. Radmehr, A. and S. Araghinejad. 2015. Flood vulnerability analysis by fuzzy spatial multi criteria decision making. *Water Resources Management* 29(12): 4427-4445.
20. Rahdari V., A. Soffianian, S. Pormanafi, H. Ghayomi Mohammadi, S. Maleki and V. Pormardan. 2020. Multi-criteria evaluation for land rain- fed agriculture capability (a case study: Plasjan sub- basin). *Journal of Water and Soil Science* 23(4): 285-297. (In Farsi).
21. Saaty, T. L. 1996. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publication.
22. Sarband, E. M., S. Araghinejad and J. Attari. 2020. Developing an interactive spatial multi-attribute decision support system for assessing water resources allocation scenarios. *Water Resources Management* 34(2): 447-462.
23. Srdjevic, B. and Y. D. P. Medeiros. 2008. Fuzzy AHP assessment of water management plans. *Water Resources Management* 22(7): 877-894.
24. Toosi, S. R. and J. M. V. Samani. 2017. Prioritizing watersheds using a novel hybrid decision model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR. *Water Resources Management* 31(9): 2853-2867.
25. Vafaei, N., R. A. Ribeiro and L. M. Camarinha-Matos. 2016. Normalization techniques for multi-criteria decision making: analytical hierarchy process case study. In: Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems 2016. Springer, Cham.
26. Yang, J. S., E. S. Chung, S. U. Kim and T. W. Kim. 2012. Prioritization of water management under climate change and urbanization using multi-criteria decision-making methods. *Hydrology and Earth System Sciences* 16(3): 801-814.
27. Zarghami, M., A. Abrishamchi and R. Ardakanian. 2008. Multi-criteria decision making for integrated urban water management. *Water Resources Management* 22(8): 1017-1029.
28. Zeleny, M. 1982. Compromise Programming. Multiple-Criteria Decision Making. New York McGraw-Hill Publishing. USA.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 24, No. 4, Winter 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Integrating Spatial Multi-Criteria Decision-Making Models for Evaluating Water Allocation Scenarios

E. Mokallaf Sarband[1], S. Alimohammadi[1], Sh. Araghinejad[2] and K. Ebrahimi[2]*

(Received: February 08-2020 ; Accepted: July 26-2020)

Abstract

In determining the allocation of water resources, the probable conditions of water resources and water demands are considered as the water allocation scenarios in the basin scale. Then, these scenarios are evaluated in the context of integrated water resources management and from the perspective of sustainable development indicators. The best scenario is selected in order to determine the water allocations. In these evaluations, there are spatial distributions and their interactions are simultaneously the key charaterictics in the decision matrix. These features are not often considered in the evaluation process. In the present study, distributed indicators and simple and integrated multi-criteria evaluation models, including ANP and CP methods, were used to evaluate the water allocation scenarios in the Aras Basin. The results showed that modeling of the spatial distribution and interactions of water allocation impacts was not possible through any of the simple multi-criteria evaluation methods. Simplifying and discarding one or two key features in the evaluation process can lead to significant uncertainties on rankings with a Spearman coefficient of -0.1. By implementing the integrated spatial decision-making approach and applying two features simultaneously, the fourth scenario was ranked first. The proposed approach was compared with the individual models, showing more accurate, with the correlation coefficients of 0.5, 0.6 and 0.7.

Keywords: Integrated water resources management, Interactions, Spatial effects of water allocation.

1. Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran.
2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering University of Tehran Karaj.
*: Corresponding author, Email: ebrahimik@ut.ac.ir