

تعیین راهبرد درازمدت مدیریت منابع آب در مناطق خشک (مطالعه موردی: شهرستان شاهرود)

فرخنده سادات هاشمی مدنی^۱ و محمد ابراهیم بنی حبیب^{۲*}

چکیده

در پژوهش حاضر، برای تعیین راهبرد درازمدت مدیریت منابع آب در مناطق خشک بر اساس معیارهای توسعه پایدار، از ترکیب روش بارش فکری با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره وزن‌دهی ساده (SAW) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. ابتدا با استفاده از روش بارش فکری، ۹ گزینه مختلف برای مدیریت راهبردی منابع آب در استان شاهرود در نظر گرفته و مشاهده شد راهبرد تدوین و اجرای طرح آمایش سرزمین در مدل SAW و راهبرد نظارت در بهره‌برداری از آبخوان‌ها در مدل AHP رتبه‌های اول را به خود اختصاص دادند. همچنین بر اساس حداقل نمره قبولی هر راهبرد برای رعایت معیارهای توسعه پایدار (۵۰٪ وزن معیارها)، راهبرد انتقال آب بین حوضه‌ای با مدل AHP مطابق با اصول توسعه پایدار شناخته نشد و اجرای این راهبرد از لحاظ توسعه پایدار توصیه نگردید. علاوه بر این، تحلیل حساسیت این مدل‌ها در سطوح $\pm 20\%$ تغییر در وزن هر یک از معیارها صورت گرفت و مشاهده شد که این روش‌ها نسبت به معیارهای مقبولیت و مشارکت اجتماعی فرهنگی ذی‌نفعان و حفاظت از منابع طبیعی و تعادل زیست‌محیطی که وزن بالایی در میان سایر معیارها دارند، حساسیت بیشتری نشان داده و ندی متفاوتی را ارائه می‌دهند. همچنین مدل AHP نسبت به تغییرات در وزن معیارها نسبت به مدل SAW حساسیت کمتری نشان می‌دهند و با توجه به تفاوت قابل اغماض نسبت به مدل SAW، تعیین راهبرد درازمدت مدیریت منابع آب با این مدل توصیه شد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، توسعه پایدار، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدیریت راهبردی منابع آب، وزن‌دهی ساده.

ارجاع: هاشمی مدنی ف. و بنی حبیب م. ا. ۱۳۹۵. تعیین راهبرد درازمدت مدیریت منابع آب در مناطق خشک (مطالعه موردی: شهرستان شاهرود).
مجله پژوهش آب ایران. ۲۳: ۶۳-۷۲.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

* نویسنده مسئول: banihabib@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۶

مقدمه

در سال‌های اخیر سامانه‌های منابع آب تحت تأثیر فعالیت‌های جوامع بشری و گسترش و صنعتی شدن آن‌ها، دچار شرایط بحرانی شده‌اند و در نتیجه چگونگی برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، به امری حیاتی تبدیل شده است که کیفیت زندگی این جوامع را متأثر می‌کند (کیسی، ۲۰۰۵). با این دیدگاه تحقیقات گسترده‌ای در مدیریت راهبردی منابع آب در جهان صورت گرفته است. از آن جمله، می‌توان به تحقیق لوکاس و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که با استخراج دو دسته راهبردهای مدیریت ذخایر آب و مدیریت تقاضای آب، به مدیریت راهبردی منابع آب حوضه‌ای در یونان پرداختند. مدیریت پایدار حوضه‌های آبریز نیازمند همکاری گروهی از متخصصان علوم اجتماعی، علوم طبیعی، مدیران منابع آب، طراحان و سیاستمداران است. از آنجا که اختلاف اساسی بین سیاست‌های کاری بخش‌های مختلف علمی منجر به خروجی‌های نامطمئن در بین آن‌ها خواهد شد؛ لذا در این زمینه استفاده از تکنولوژی، شاخص‌ها، راهبردها و تحلیل‌های چندمعیاره به طور گسترده‌ای در بهبود مدیریت پایدار منابع مؤثر است (ماکلود و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین پیچیدگی‌های شاخص‌های ارزیابی در مدیریت منابع آب و تضاد منافع بهره‌برداران و سیاست‌گذاران نیز از جمله دلایلی است که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را الزامی کرده است. کاربردهای متعدد تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، نشان داده است که آن‌ها ابزار مناسبی در فرآیند تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب هستند (ابریشم‌چی و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین برای تحقق چشم‌انداز توسعه پایدار، بهترین معیار ارزیابی، شاخص‌های پایداری است. بدین ترتیب می‌توان در فرآیند برنامه‌ریزی راهبردی، با ارزیابی پایداری راهبردها بر اساس شاخص‌های توسعه پایدار، مناسب‌ترین اولویت‌بندی برای اجرای راهبردها را اتخاذ کرد. مورایس و آلمیدا (۲۰۰۷) از تصمیم‌گیری گروهی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مدیریت راهبردی در رابطه با نشت شبکه‌های آب استفاده کردند و معیارهای اقتصادی، اجتماعی، فنی و زیست‌محیطی را به منظور دستیابی به توسعه پایدار در تصمیم‌گیری‌ها در نظر گرفتند. بیسوس و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از

مدل تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) و در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، به بررسی و ارزیابی گزینه‌های مدیریت یکپارچه منابع آب در مناطق کوهستانی بنگلادش پرداختند. کواداس و سیدایکو (۲۰۰۱) از مدل چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی در بررسی گزینه‌های مدیریت آب در کشاورزی و بر مبنای معیارهای توسعه پایدار استفاده و مشاهده کردند تعدادی متغیرهای محیطی وجود دارند که بر تصمیم‌گیری‌ها تأثیرگذارند و برنامه‌ریزان برای برنامه‌ریزی عملی و پایدار باید این متغیرها را شناسایی کنند و مورد توجه قرار دهند در این زمینه استفاده از مدل‌های چندمعیاره مناسب به نظر می‌رسد. همچنین صفویان و همکاران (۱۳۹۲) در انتخاب بهترین سناریوی اجرای فعالیت مدیریتی برای بهبود کیفیت آب در حوضه آبخیز گرگان‌رود در استان گلستان از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله AHP استفاده کردند و نتیجه گرفتند تصمیم‌گیری چند معیاره، توانایی ایجاد یک محیط تصمیم‌گیری مناسب و نیز زمینه تدوین سناریوهای مختلف مدیریتی را فراهم می‌آورد.

همان‌طور که بررسی منابع نشان می‌دهد، کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع آب، می‌تواند نتایج قابل قبولی را ارائه کند. در اغلب مطالعات پیشین، بررسی مدیریت منابع آب با این مدل‌ها، در سطح مخزن یا مدیریت منطقه زراعی بوده است. در پژوهش حاضر، از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی راهبردهای مدیریت راهبردی منابع آب در بخش‌های مختلف در یک منطقه خشک استفاده شده است. بدین ترتیب تلاش شده که با ارائه مدل مناسب، بتوان معیارهای توسعه پایدار را در انتخاب راهبرد مناسب دخیل و مناسب‌ترین راهبرد مدیریت پایدار منابع آب را انتخاب کرد.

مواد و روش‌ها

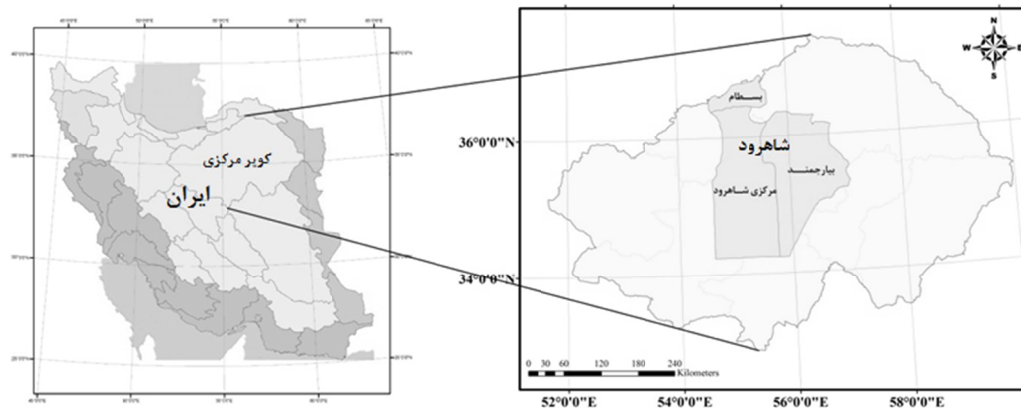
معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان شاهرود یکی از هشت شهرستان استان سمنان است و در شمال شرق کشور ایران و در حاشیه شمالی دشت کویر و دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز با حداقل طول شرقی جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۳ دقیقه و حداقل

1- Analytical Hierarchy Process (AHP)

قسمت‌ها دارای اقلیم سرد و خشک است (سالنامه آماری استان سمنان، ۱۳۸۹). شکل ۱ موقعیت شهرستان شاهرود در حوضه کویر مرکزی را نشان می‌دهد.

عرض شمالی جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۳ دقیقه واقع شده است. آمار هیدرولوژی و هواشناسی استان نشان می‌دهد منطقه مذکور بر اساس شاخص اقلیمی دومارتن در بیشتر



شکل ۱- موقعیت شهرستان شاهرود

مختلفی که در جهان مطرح شده‌اند، دارای وجوه مشترکی از جمله تأکید بر وجود ابعاد زیست‌محیطی، فنی، اجتماعی و اقتصادی است و از این رو شاخص‌ها در این چهار دسته تعریف شدند. معیارهای مورد استفاده در تحقیقات پیشین منابع آب که در این تحقیق استفاده شدند، در جدول ۱ آورده شده است. این معیارها در جلسه متخصصان طرح و وزن‌دهی شده‌اند که در ادامه ارائه خواهند شد.

رودخانه‌هایی که در این محدوده جریان دارند، دائمی نیستند و اغلب آن‌ها، کوهستانی و کم‌آب هستند که تنها در مواقع بارندگی‌های زیاد تشکیل سیلاب می‌دهند و به دشت کویر منتهی می‌شوند (سالنامه آماری استان سمنان، ۱۳۸۹). منطقه مورد نظر که از مناطق خشک ایران است با بحران آب روبرو و از این رو مدیریت راهبردی منابع آب بر اساس توسعه پایدار امری ضروری است.

فرآیند تعیین راهبرد درازمدت مدیریت منابع آب

در این پژوهش، برای تعیین راهبرد درازمدت مدیریت منابع آب در منطقه مورد نظر، ابتدا از روش بارش فکری استفاده شده است که از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی است، این روش که به اسامی مختلف مانند بارش افکار، طوفان فکری، طوفان ذهنی و غیره نیز نامیده می‌شود، از معروف‌ترین روش‌های خلاقیت است (راولینسون، ۱۹۸۹ و اوزبورن، ۱۹۵۷). در این روش ابتدا تمهیدات جلسه تهیه و با شرح مشکلات و اهداف، اطلاعات کافی در اختیار اعضای گروه قرار می‌گیرد. سپس نظرها و ایده‌ها تولید و در نهایت این نظرها ارزیابی و جمع‌بندی می‌شود و بهترین آن‌ها انتخاب می‌شوند.

انتخاب معیارهای توسعه پایدار

در این پژوهش برای انتخاب معیارهای توسعه پایدار به بررسی پیشنهادی تحقیق پرداخته و مشاهده شد که تعاریف

مدل تصمیم‌گیری وزن‌دهی ساده (SAW)^۱

در روش وزن‌دهی ساده در مسئله‌ای که از n معیار و m راهبرد تشکیل شده باشد، ابتدا با توجه به معیارها و راهبردهای مختلف، ماتریس ارزیابی تشکیل و سپس با استفاده از معادله (۱)، معیارها بی‌بعد می‌شوند:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij}\}} \quad (1)$$

x_{ij} عملکرد راهبرد i ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با معیار j ($j=1,2,\dots,n$) است. سپس با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، بردار وزن معیارها تعیین می‌شود و انتخاب بهترین راهبرد با استفاده از معادله (۲) به دست می‌آید (هوانگ و یون، ۱۹۸۱):

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \right\} \quad (2)$$

1- Simple Additive Weighting (SAW)

در این معادله A_i وزن راهبرد A_i ، W_j وزن معیار j ام و r_{ij} وزن راهبرد i نسبت به معیار j ام است.

جدول ۱- معیارهای توسعه پایدار مورد استفاده در مطالعات پیشین

C2: مقبولیت و مشارکت اجتماعی - فرهنگی ذینفعان		C1: اقتصادی بودن (اقتصادی)	
استطاعت پرداخت و مقبولیت عمومی	لاندی و همکاران (۲۰۰۸)	دکارالو و همکاران (۲۰۰۹)	سطح سرمایه‌گذاری
مقبولیت اجتماعی و فرهنگی	هلستروم و همکاران (۲۰۰۲)	هلستروم و همکاران (۲۰۰۲)	معیار اقتصادی (تحلیل سود- هزینه)
پذیرش، مشارکت و مسئولیت‌پذیری ذی‌نفعان	فکسون و همکاران (۲۰۰۳)	وزارت آب و برق پاکستان (۲۰۰۲)	توجیه‌پذیری اقتصادی
مشارکت مردم بومی و احترام به فرهنگ آنان گارفی و همکاران (۲۰۱۱)		فکسون و همکاران (۲۰۰۳)	قرار گرفتن در معرض خطرات مالی
C4: اثرگذاری (فنی)		C3: حفاظت از منابع طبیعی و تعادل زیست‌محیطی (زیست محیطی)	
اثربخشی بر پایداری منابع آب مختلف	دکارالو و همکاران (۲۰۰۹)	لاندی و همکاران (۲۰۰۸)	تعادل زیست‌محیطی
اثربخشی پروژه بر تامین نیازهای منطقه‌ای	وزارت آب و برق پاکستان (۲۰۰۲)	دکارالو و همکاران (۲۰۰۹)	فشارهای زیست‌محیطی
اثرات بر کیفیت آب از مخزن تا محل عرضه	گارفی و همکاران (۲۰۱۱)	هلستروم و همکاران (۲۰۰۲)	تعادل زیست‌محیطی
اثرگذاری بر پایداری دسترسی به منابع در طول روز و فصل‌های مختلف	گارفی و همکاران (۲۰۱۱)	وزارت آب و برق پاکستان (۲۰۰۲)	اثرات زیست‌محیطی
اثرگذاری پروژه بر میزان تغذیه سفره‌ها	کر و چونگ (۲۰۰۱)	گارفی و همکاران (۲۰۱۱)	مصرف منابع طبیعی
		گارفی و همکاران (۲۰۱۱)	اثرات زیست‌محیطی
C6: انعطاف پذیری (فنی)		C5: امکان‌پذیری (فنی)	
انعطاف‌پذیری	لاندی و همکاران (۲۰۰۸)	دکارالو و همکاران (۲۰۰۹)	تداخل با ظرفیت‌های سازمانی و فنی
انعطاف و انطباق سامانه با محیط‌زیست	دکارالو و همکاران (۲۰۰۹)	لاندی و همکاران (۲۰۰۸)	ظرفیت‌های سازمانی
میزان انعطاف و انطباق‌پذیری با اهداف ملی	وزارت آب و برق پاکستان (۲۰۰۲)	وزارت آب و برق پاکستان (۲۰۰۲)	مراجعه امکان‌پذیری با توجه به ظرفیت‌های لازم برای اجرا و نگهداری پروژه
انعطاف‌پذیری و انطباق‌پذیری	فکسون و همکاران (۲۰۰۳)		
انعطاف و انطباق‌پذیری با محیط‌زیست	گارفی و همکاران (۲۰۱۱)	گارفی و همکاران (۲۰۱۱)	امکان دسترسی به فناوری‌های نوین

تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ساختن نمودار، سلسله مراتبی است که معمولاً به ترتیب در آن هدف، معیارها (در صورت وجود زیرمعیارها) و راهبردها نشان داده می‌شوند. در گام بعد عناصر هر سطح نسبت به سایر عناصر مربوط به خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه و ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل می‌شوند. همچنین برای تبدیل عبارات کیفی به معادل‌های کمی و تکمیل ماتریس‌های مقایسات زوجی، از مقیاس یک تا نه پیشنهاد شده توسط ساعتی (۱۹۸۰) استفاده می‌شود. به منظور محاسبه وزن عناصر در روش تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به هر یک از عناصر سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه و وزن آنها محاسبه

می‌شود. به این وزن‌ها، وزن نسبی^۱ می‌گویند. روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی بر اساس ماتریس مقایسه زوجی وجود دارد. روشی که در این مطالعه استفاده شده است، روش بردار ویژه^۲ است که دقیق‌تر از سایر روش‌هاست (ساعتی، ۱۹۸۰). سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی^۳ هر راهبرد مشخص می‌شود. در روش تحلیل سلسله مراتبی، یک ماتریس ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد و محاسبه مقدار ناسازگاری از اهمیت بالایی برخوردار است. ناسازگاری زمانی رخ می‌دهد که تصمیم‌گیرندگان در طول فرآیند خطاهای ناشی از کم دقتی یا قضاوت‌های اغراق‌آمیزی در مقایسات زوجی

1- Local Priority
2- Eigenvector method
3- Overall Priority

را تجزیه و تحلیل نمود (مارشال، ۱۹۸۸). این مرحله به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد رتبه‌بندی‌های متفاوتی از راهبردها در دست داشته و تغییرات نتایج را به واسطه تغییری اندک در وزن معیارها تجزیه و تحلیل کند. در این تحقیق، اولویت‌بندی جدید راهبردها به واسطه تغییرات در سطوح $\pm 20\%$ در وزن یک معیار خاص صورت می‌گیرد.

نتایج و بحث

راهبردها

راهبردهای در نظر گرفته شده برای مدیریت راهبردی منابع آب در این منطقه که به رتبه‌بندی آن‌ها می‌پردازیم، با استفاده از روش بارش فکری به دست آمدند و به شرح جدول ۳ هستند.

معیارهای مورد استفاده در مدل‌های تصمیم‌گیری

در این تحقیق، معیارها بر اساس معیارهای توسعه پایدار مورد استفاده در تحقیقات پیشین (جدول ۱) منابع آب و به صورت شاخص‌های پایداری کیفی^۴ تعریف شدند و برای جلوگیری از قضاوت سلیقه‌ای تعاریفی روشن از معیارهای کیفی به شرح جدول ۴ ارائه شد.

نتایج اولویت‌بندی راهبردها با استفاده از مدل‌های

تصمیم‌گیری چندمعیاره

در این بخش نتایج رتبه‌بندی راهبردها با استفاده از مدل‌های وزن‌دهی ساده و تحلیل سلسله مراتبی و با در نظر گرفتن معیارهای توسعه پایدار آورده شده است. قابل ذکر است که نظرات ۴۵ نفر از متخصصان و کارشناسان آب جمع‌آوری و نتایج به دست آمده با میانگین‌گیری از تعداد ۴۰ فرم که سازگار بوده‌اند، حاصل شده است.

همچنین بر اساس این نظرسنجی حداقل نمره قبولی هر راهبرد به منظور کسب معیارهای توسعه پایدار ذکر شده در طرح در حدود ۵۰٪ تعیین گردید و در صورتی که هر یک از راهبردها این وزن را کسب نکنند، مطابق با اصول توسعه پایدار نیست و اجرای آن توصیه نمی‌شود.

در روش وزن‌دهی ساده، ابتدا با توجه به راهبردها و معیارهای موجود، ارزیابی راهبردها برای معیارهای مختلف صورت گرفت و ماتریس تصمیم تشکیل شد. همچنین با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف، وزن معیارهای

داشته باشند. ساعتی، عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می‌کند و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. در صورتی که بزرگ‌ترین مقدار ویژه^۱ ماتریس مقایسه‌ی زوجی (I_{max}) مشخص نباشد، این مقدار با استفاده از معادله سه تخمین زده خواهد شد (ساعتی، ۱۹۸۰):

$$I_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}, I_{max} \geq n \quad (3)$$

در این معادله n عبارت است از تعداد گزینه‌های موجود. با مشخص شدن مقدار I_{max} از معادله (۴) مقدار شاخص ناسازگاری^۲ (I.I.) محاسبه خواهد شد:

$$I.I. = \frac{I_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

نرخ ناسازگاری^۳ (I.R.) از معادله (۵)، مطابق زیر به دست خواهد آمد:

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R} \quad (5)$$

در این معادله I.I.R نرخ ناسازگاری تصادفی است که از جدول ۲ استخراج می‌شود.

جدول ۲- نرخ ناسازگاری تصادفی ماتریس‌های مقایسات زوجی (ساعتی، ۱۹۸۰)

I.I.R	n	I.I.R	n
۱/۳۲	۷	۰	۱
۱/۴۱	۸	۰	۲
۱/۴۵	۹	۰/۵۸	۳
۱/۴۵	۱۰	۰/۹	۴
...	...	۱/۱۲	۵
...	...	۱/۲۴	۶

تحلیل حساسیت در مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

نتایج به دست آمده از نظرسنجی‌ها، به واسطه نامعین، غیردقیق و تعریف نشده بودن بعضی از عوامل در قضاوت‌های رأی‌دهندگان، دارای قطعیت نیستند و در نتیجه، نمی‌توان این نظرها را مطلقاً صحیح دانست. به منظور کاهش خطای ناشی از این مسئله در نتایج تصمیم‌گیری، می‌توان با ایجاد تغییرات اندکی در وزن معیارها، تغییرات به وجود آمده در اولویت‌بندی راهبردها

1- Eigenvalue
2- Inconsistency Index (I.I.)
3- Inconsistency Ratio (I.R.)

راهبرد در آن معیار به دست می‌آید (ساعتی، ۱۹۸۰). به همین ترتیب اولویت‌بندی معیارها و مقایسه راهبردها با یکدیگر در هر معیار، موجب رتبه‌بندی راهبردها می‌شود. نتایج رتبه‌بندی راهبردها با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۵ موجود است. با توجه به نتایج به دست آمده در این روش، راهبرد نظارت در بهره‌برداری از آبخوان‌ها (جلوگیری از برداشت بی‌رویه) (A4) در رتبه اول قرار گرفته است. همچنین راهبردهای گسترش سامانه‌های آبیاری مدرن و فرهنگ‌سازی استفاده از آن (A8) و تدوین و اجرای طرح آمایش سرزمین (الگوی کشت بهینه و الگوی توسعه بهینه صنایع) (A2) به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج دو مدل SAW و AHP، نظارت و حفاظت از آبخوان‌ها و همچنین آمایش سرزمین و اصلاح سامانه‌های آبیاری بر اساس شرایط موجود در منطقه نسبت به سایر راهبردها از اهمیت بالاتری برخوردارند. در ایالت تگزاس آمریکا نیز در زمینه حفاظت از منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها به دو عامل کلیدی اشاره شده است که ارتباطی نزدیک با مصرف آب آبیاری برای کشاورزی دارد؛ این عوامل عبارتند از مشخص کردن میزان برداشت بهینه آب زیرزمینی همراه با پیاده‌سازی الگوی کشت بهینه و ارزیابی اثرات فناوری‌های نوین آبیاری بر میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی (اربیت و همکاران، ۲۰۰۱) که این عوامل اهمیت توجه به میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی و همچنین ارتباط آن با آمایش سرزمین و همچنین سامانه‌های آبیاری و آبرسانی را روشن می‌کند. همچنین در مدل AHP راهبرد انتقال آب بین حوضه‌ای (A1) با وزنی کمتر از ۵۰٪، حداقل امتیاز موردنظر برای مطابقت با معیارهای توسعه پایدار را کسب نکرده است و در نتیجه از هماهنگی کافی با این معیارها برخوردار نیست. قابل توجه است که این راهبرد در روش SAW نیز کمترین امتیاز را داشته است؛ لذا این راهبرد از نظر پایداری زیست‌محیطی مورد تردید است و در فهرست راهبردهای ناپایدار قرار می‌گیرد.

C1 تا C6 به ترتیب برابر با ۰/۱۱۸، ۰/۲۰۱، ۰/۲۳۱، ۰/۱۸۴، ۰/۱۹۶ و ۰/۰۷ تعیین گردید. بر این اساس ترتیب اولویت راهبردها را در جدول ۵ می‌توان مشاهده کرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روش وزن‌دهی ساده، راهبرد تدوین و اجرای طرح آمایش سرزمین (الگوی کشت بهینه و الگوی توسعه بهینه صنایع) (A2) رتبه اول را در میان راهبردها دارد و به عنوان راهبرد برتر در تناسب با معیارهای توسعه پایدار انتخاب شده است. همچنین راهبردهای نظارت در بهره‌برداری از آبخوان‌ها (جلوگیری از برداشت بی‌رویه) (A4) و گسترش سامانه‌های آبیاری مدرن و فرهنگ‌سازی استفاده از آن (A8) به ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص داده‌اند. در این روش همه راهبردها با کسب وزنی بیش از ۵۰٪ مطابق با اصول توسعه پایدار شناخته شده‌اند. در مدل تحلیل سلسله مراتبی پس از تشکیل درخت سلسله مراتبی، وزن هر یک از معیارها و راهبردها با استفاده از روش مقایسات زوجی به دست آمد. به این منظور ابتدا یک ماتریس برای مقایسه زوجی معیارها تشکیل، معیارهای هر سطح نسبت به سایر معیارها در سطح بالاتر مقایسه و با رتبه‌بندی معیارها وزن نهایی آن‌ها مشخص می‌شود. در جدول ۶ نتایج اولویت‌بندی معیارها ارائه شده است. ضرایب وزن هر یک از معیارها از تجزیه و تحلیل ارزش‌های داده شده به هر یک از معیارها توسط چهل نفر از کارشناسان و متخصصان آب به دست آمده است. در مجموع برای رسیدن به وزن نهایی معیارهای مؤثر در اولویت‌بندی راهبردها، از میانگین هندسی وزن عناصر ماتریس‌های مقایسات زوجی استفاده شده است. در جدول ۶ وزن هر یک از راهبردها در هر معیار نیز به طور جداگانه مشاهده می‌شود. همچنین نرخ ناسازگاری به دست آمده برای هر یک از معیارها نیز همان‌طور که مشاهده می‌شود کمتر از ۰/۱ بوده است و لذا کلیه امتیازدهی‌ها سازگار هستند. وزن نهایی هر راهبرد در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل‌ضرب اهمیت هر معیار در وزن

جدول ۳- راهبردهای به دست آمده از روش بارش فکری

شماره	راهبرد
A1	انتقال آب بین حوضه‌ای
A2	تدوین و اجرای طرح آمایش سرزمین (الگوی کشت بهینه و الگوی توسعه بهینه صنایع)
A3	افزایش راندمان و کاهش نشت و تلفات شبکه‌ها
A4	نظارت در بهره‌برداری از آبخوان‌ها (جلوگیری از برداشت بی‌رویه)
A5	تأمین آب از طریق روش‌های نوین استحصال آب
A6	احیای سفره‌های آب‌بیرزمینی با تغذیه مصنوعی
A7	تصفیه و استفاده مجدد از پساب‌ها
A8	گسترش سامانه‌های آبیاری مدرن و فرهنگ‌سازی استفاده از آن
A9	ارزش‌گذاری ذاتی آب (قیمت‌گذاری بر اساس قیمت واقعی)

جدول ۴- معیارهای مورد استفاده و تعاریف مربوط به آن‌ها

شماره	معیار	تعریف
C1	اقتصادی بودن	مقرون به صرفه بودن هر راهبرد (بررسی با دیدگاه کیفی)
C2	مقبولیت و مشارکت اجتماعی - فرهنگی ذی‌نفعان	میزان پذیرش راهبرد توسط ذینفعان و تمایل آنان به حضور در اجرایی کردن راهبرد
C3	حفاظت از منابع طبیعی و تعادل زیست‌محیطی	میزان حفاظت راهبرد از محیط‌زیست
C4	اثرگذاری	میزان تأثیر راهبرد در تامین کمبود آب منطقه یا حفاظت از منابع آب موجود در منطقه
C5	امکان‌پذیری	قابلیت اجرای راهبرد با توجه به ظرفیت‌های فنی، مطالعاتی و اجرایی موجود و محدودیت‌های طبیعی، مالی و حقوقی در اجرای راهبرد
C6	انعطاف‌پذیری	ظرفیت راهبرد در واکنش به فشارهای طبیعی یا تحمیلی یا ضربه‌های ناگهانی، یا به عبارتی دیگر، قابلیت ترمیم یا نگهداری سامانه در بی‌نظمی‌های کوتاه یا درازمدت

جدول ۵- نتایج رتبه‌بندی راهبردها با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

راهبرد	نتایج مدل SAW		نتایج مدل AHP	
	رتبه	وزن راهبرد	رتبه	وزن راهبرد
A1	۹	۵۸/۱۵	۹	۳۷/۴۱
A2	۱	۱۰۰	۳	۹۵/۹۱
A3	۵	۹۳/۱	۵	۷۹/۵۹
A4	۲	۹۷/۸	۱	۱۰۰
A5	۷	۷۵/۵۴	۸	۵۳/۰۶
A6	۸	۶۶/۶۱	۷	۵۶/۴۶
A7	۴	۹۳/۴۱	۴	۸۸/۴۳
A8	۳	۹۶/۲۳	۲	۹۶/۵۹
A9	۶	۸۶/۸۳	۶	۷۲/۷۸

جدول ۶- نتایج اولویت‌بندی معیارها در مدل تحلیل سلسله مراتبی

شماره معیار	وزن معیار	رتبه معیار	نرخ ناسازگاری	وزن گزینه‌ها در معیار								
				A1	A2	A3	A4	A5	A6			
C1	۰/۱۱۸	۵	۰/۰۱	۰/۰۳۴	۰/۱۳۸	۰/۱۲۸	۰/۱۵۵	۰/۰۶۱	۰/۰۴۴	۰/۱۱۴	۰/۱۲۴	۰/۲۰۲
C2	۰/۲۰۱	۲	۰/۰۲	۰/۰۶۵	۰/۱۵۲	۰/۱۲۳	۰/۰۷۹	۰/۰۸۴	۰/۲۰۱	۰/۰۳۵	۰/۱۹۸	۰/۰۶۲
C3	۰/۲۳۱	۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۱۱۳	۰/۱۱۲	۰/۲۳۶	۰/۱۱۳	۰/۰۷۳	۰/۱۵۳	۰/۰۷۴	۰/۰۹۶
C4	۰/۱۸۴	۴	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱۷۵	۰/۰۹۲	۰/۱۷۴	۰/۰۴۵	۰/۰۳۷	۰/۱۵	۰/۱۴۹	۰/۱۲۹
C5	۰/۱۹۶	۳	۰/۰۱	۰/۰۸۷	۰/۱۲۹	۰/۱۲۴	۰/۱۰۲	۰/۰۸۳	۰/۰۵۳	۰/۱۸	۰/۱۴۱	۰/۱۰۱
C6	۰/۰۷	۶	۰/۰۲	۰/۰۴۸	۰/۱۲۷	۰/۱۴۵	۰/۱۴۵	۰/۰۷۲	۰/۰۷۳	۰/۱۴۶	۰/۱۷۳	۰/۰۷

تحلیل حساسیت مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره
در این بخش به منظور تحلیل حساسیت معیارها نسبت به ایجاد تغییرات جزئی در وزن آن‌ها، اولویت‌بندی جدید راهبردها به واسطه تغییرات در سطوح $\pm 20\%$ در وزن یک

معیار خاص بررسی شد. این تغییرات در وزن هر یک از معیارها اعمال شده و نتایج سطوحی از وزن معیارها که رتبه‌بندی راهبردها در آنها تغییر کرده، به شرح جدول ۷ به دست آمد.

جدول ۷- نتایج تحلیل حساسیت مدل تحلیل سلسله مراتبی

راهبرد	مدل AHP						مدل SAW					
	۱/۲C1	۱/۲C2	۰/۸C2	۱/۲C3	۰/۸C3	۰/۸C6	۱/۲C2	۰/۸C2	۱/۲C3	۰/۸C3	۰/۸C4	۰/۸C5
A1	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹
A2	۲*	۳	۲*	۲*	۲*	۲*	۱	۱	۱	۱	۱	۱
A3	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۴*	۵	۵	۴*	۴*	۴*
A4	۱	۱	۱	۱	۲*	۱	۳*	۲	۲	۳*	۲	۲
A5	۸	۸	۷*	۸	۸	۸	۷	۷	۷	۷	۷	۷
A6	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۸	۸	۸	۸	۸	۸
A7	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۵*	۳*	۳*	۵*	۵*	۵*
A8	۲	۱*	۳*	۳*	۱*	۲	۲*	۴*	۴*	۲*	۳	۳
A9	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶

*رتبه‌های تغییر یافته راهبردها

با توجه به نتایج این جدول هر دو مدل وزن‌دهی ساده و تحلیل سلسله مراتبی نسبت به افزایش و کاهش در وزن معیارهای مقبولیت و مشارکت اجتماعی فرهنگی ذی‌نفعان (C2) و حفاظت از منابع طبیعی و تعادل زیست‌محیطی (C3) که وزن بیشتری در میان سایر معیارها کسب کرده‌اند، حساسیت بیشتری نشان دادند و با تغییرات جزئی در وزن این معیارها، رتبه‌بندی راهبردها تغییر کرد. همچنین مشاهده می‌شود که رتبه راهبردهای انتقال آب بین حوضه‌ای (A1)، تصفیه و استفاده مجدد از پساب‌ها (A7) و ارزش‌گذاری ذاتی آب (A9) با تغییرات وزن معیارها تغییر نکرده است. قابل توجه است که مدل SAW نسبت به مدل AHP حساسیت بیشتری به تغییرات وزن معیارها نشان می‌دهد و در نتیجه با توجه به حساسیت

کمتر مدل AHP نتایج این مدل دقیق‌تر ارزیابی می‌شود؛ بنابراین در این مدل رتبه راهبردها به مقدار زیادی تغییر نکرده و قابل چشم‌پوشی است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای تعیین راهبرد درازمدت مدیریت منابع آب در مناطق خشک، از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره وزن‌دهی ساده و تحلیل سلسله مراتبی استفاده و معیارهای توسعه پایدار به منظور ارزیابی راهبردها به کار گرفته شد. معیارهای موردنظر بر اساس تعریف توسعه پایدار و در چهار دسته فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی انتخاب شدند. همچنین حداقل نمره قبولی هر راهبرد به منظور کسب معیارهای توسعه پایدار ذکر

- supply. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 131(4): 326-335.
4. Arabiyat T. S. Segarra E. and Johnson J. L. 2001. Technology adoption in agriculture: implications for ground water conservation in the Texas high plains. *Resources, Conservation and Recycling*. 32: 147-156.
 5. Biswas S. Vacik H. Swanson M. E. and Haque S. M. 2011. Evaluating integrated watershed management using multiple criteria analysis a case study at Chittagong Hill Tracts in Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184(5): 2741-2761.
 6. De Carvalho S. C. P. Carden K. J. and Armitage N. P. 2009. Application of a sustainable index for integrated urban water management in southern African cities: case study comparison Maputo and Hermanus. *Water SA*. 35(2): 144-151.
 7. Foxon T. J. McIlkenny G. Gilmour D. Oltean-dumberava C. Souter N. Ashley R. Butler D. Pearson P. Jowitt P. and Moir J. 2003. Sustainability criteria for decision support in the UK water industry. *Journal of Environmental Planning and Management*. 45(2): 285-301.
 8. Garfi M. Marti L. F. Bonoli A. and Tondelli S. 2011. Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes; A case study in semi-arid region of Brazil. *Journal of Environmental Management*. 92(3): 665-675.
 9. Hellstrom D. Jeppsson U. and Karrman E. 2002. A framework for systems analysis of sustainable urban water management. *Environmental Impact Assessment Review*. 20(3): 311-321.
 10. Hwang C. L. and Yoon K. 1981. Multiple attribute decision making: Method and Applications. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Springer, Berlin. 259 p.
 11. Kerr J. and Chung K. 2001. Evaluating watershed management projects. *Water Policy*. 3(6): 537-554.
 12. Kyessi A. G. 2005. Community-based urban water management in fringe neighborhoods: The case of Dares Salaam, Tanzania. *International Journal of Habitat*. 29(1): 1-25.
 13. Loukas A. Mylopoulos N. and Vasiliades L. 2007. A modeling system for the evaluation of water resources management strategies in Thessaly, Greece. *Water Resources Management*. 21(10): 1673-1702.
 14. Lundie S. Ashbolt N. Livinston D. Lai E. Blaiki J. and Anderson J. 2008. Sustainability Framework. *Water services Association of Australia (WSAA)*.

شده در طرح در حدود ۵۰٪ در نظر گرفته شد. از لحاظ توسعه پایدار، مشاهده شد راهبرد انتقال آب بین حوضه‌ای (A1) در مدل تصمیم‌گیری AHP حداقل نمره قبولی به منظور مطابقت با معیارهای توسعه پایدار ذکر شده در طرح را کسب نکرد و در مدل SAW نیز در رتبه آخر قرار گرفت و از این رو مطابق با اصول توسعه پایدار شناخته نشد و اجرای این راهبرد از لحاظ توسعه پایدار توصیه نگردید. همچنین در روش وزن‌دهی ساده، راهبرد تدوین و اجرای طرح آمایش سرزمین (الگوی کشت بهینه و الگوی توسعه بهینه صنایع) (A2) و در روش تحلیل سلسله مراتبی راهبرد نظارت در بهره‌برداری آبخوان‌ها (جلوگیری از برداشت بی‌رویه) (A4) رتبه اول را در میان سایر راهبردها به خود اختصاص داده و هماهنگ با معیارهای توسعه پایدار شناخته شده‌اند. همچنین به منظور تحلیل حساسیت مدل‌ها، تغییراتی در سطوح $\pm 20\%$ درصد وزن هر یک از معیارها انجام شد و نتایج به دست آمده نشان داد هر دو مدل وزن‌دهی ساده و تحلیل سلسله مراتبی نسبت به معیارهای "مقبولیت و مشارکت اجتماعی فرهنگی ذینفعان" و "حفاظت از منابع طبیعی و تعادل زیست‌محیطی" که وزن بالایی در میان سایر معیارها کسب کرده بودند، حساسیت بیشتری نشان و رتبه‌بندی متفاوتی را ارائه دادند. تغییرات به وجود در رتبه راهبردها در مدل AHP کمتر است و نتایج را به مقدار قابل توجهی تغییر نداده است و با توجه به قابل اغماض بودن تفاوت دو مدل و حساسیت کمتر مدل AHP نتایج این مدل قابل قبول است و در عمل برای اجرا توصیه می‌شود.

منابع

۱. سالنامه آماری استان سمنان. ۱۳۸۹. فصل اول: سرزمین و آب و هوا. استانداری استان سمنان. معاونت برنامه‌ریزی. ۱۲۰۰ ص.
۲. صفویان آ. سلمان‌ماهینی ع. میرکریمی ح. سعدالدین ا. ۱۳۹۲. انتخاب بهترین سناریوی بهبود کیفیت آب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوضه آبخیز گرگان‌رود- استان گلستان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۰(۳): ۱۷۳-۱۹۲.
3. Abrishamchi A. Ebrahimian A. and Tajrishi M. 2005. Case study: Application of multicriteria decision making to urban water

- Occasional paper. 17: 6-99.
15. Macleod C. J. Scholefield D. and Haygarth P. M. 2007. Integration for sustainable catchment management. *Science of the total Environment*. 373(2-3): 591-602.
 16. Mareschal B. 1988. Weight stability intervals in multicriteria decision aid. *European Journal of Operational Research*. 33(1): 54-64.
 17. Ministry of Water and Power. 2002. Pakistan Water Sector Strategy, National Water Sector Strategy. Office of the Chief Engineering Advisor/Chairman Federal Flood Commission. 2: 1-136.
 18. Morais D. C. and Almeida A. T. 2007. Group decision-making for leakage management strategy of water network. *Resources Conservation and Recycling*. 52(2): 441-459.
 19. Osborn A. F. 1957. *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Thinking*. Charles Scribner's Sons, New York. 379 p.
 20. Quaddus M. and Siddique M. A. 2001. Modelling sustainable development planning: A multi-criteria decision conferencing approach. *Environment International*. 27(2-3): 89-95.
 21. Rawlinson J. G. 1989. *Creative Thinking and Brainstorming*. Wild wood House, London. 129 p.
 22. Saaty T. L. 1980. *The analytical hierarchy process, planning, priority, resources allocation*. RWS Publications, USA. 287 p.