پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۳
ص ۴۶۵-۴۸۱

مقایسهٔ کارایی روش سیستم استنباط فازی و مدل تلفیقی مونت کارلو– سیستم استنباط فازی برای پیش‌بینی پراکنش آب شرب مورد نیاز مناطق مختلف شهر کرمانشاه در سال ۱۴۰۰

کیوان باقری* ـ کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
فرشاد امیراصلانی– استادیار، گروه سنجش از دور، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
آرا تومانیان– استادیار، گروه سنجش از دور، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
سعید حمزه– استادیار، گروه سنجش از دور، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۱۴ تأیید مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۹

چکیده

یکی از مهم‌ترین موضوع‌ها برای پیش‌بینی آب مورد نیاز یک منطقه در آینده، انتخاب مهم‌ترین شاخص‌ها و تعیین وزن آنهاست. در فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در انتخاب مدل برای تصمیم‌گیری، نمی‌توان به همهٔ شاخص‌هایی که احتمال دارد مؤثر باشند توجه کرد؛ زیرا این کار ممکن است از لحاظ زمان اجرا یا دقت برای موضوع تحقیق بهینه نباشد. از طرفی موضوع بررسی میزان آب مورد نیاز یک منطقه پیچیده و مهم است؛ لذا برای رسیدن به این مهم باید از بهترین مدل و شاخص‌ها استفاده کرد. هدف این پژوهش انتخاب مهم‌ترین شاخص‌ها با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو و روش الکتری و سپس نحوهٔ پراکندگی میزان آب مورد نیاز مناطق شهر کرمانشاه در سال ۱۴۰۰ با استفاده از سیستم استنباط فازی است. از روش الکتری برای انتخاب مهم‌ترین شاخص‌ها و از روش مونت‌کارلو برای تعیین وزن شاخص‌های انتخابی استفاده شده است. در این تحقیق ۱۰ شاخص طبیعی و زیرساخت انسانی برای توسعهٔ شهر کرمانشاه انتخاب شده و با استفاده از نظرسنجی ۴۰ کارشناس خبره ارزش‌دهی شده‌اند. روش الکتری این شاخص‌ها را فیلتر کرده است و با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو میزان عدم اطمینان نظرسنجی کاهش داده شده و وزن شاخص‌ها نسبت به هم رتبه‌بندی شده است. نتایج حاکی از آن است که پاسخ دو مدل سیستم استنباط فازی و مدل تلفیقی مونت‌کارلو- استنباط فازی با هم اختلاف زیادی دارند و استفاده از نتایج مدل مونت‌کارلو- استنباط فازی برای مدیریت منابع آبی ریسک کمتری دارد.

کلیدواژه‌ها: آب شرب، الکتری، کرمانشاه، مونت‌کارلو.

نویسندهٔ مسئول:
* E- mail: k.bagheri@ut.ac.ir

مقدمه

کمبود آب شیرین با کیفیت مناسب یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها و مسائل پیش روی تمدن بشری در قرن بیست‌ویکم است که رفاه اجتماعی، بهداشت عمومی و سلامت اکوسیستم‌ها را تهدید می‌کند (Shiklomanov, 2000). نیاز به آب شرب یک مشکل جهانی است (Bathrellos, et al., 2012). محدودیت منابع آب شیرین و افزایش تقاضا برای این مادهٔ حیاتی بدون جایگزین از یک سو و ناهمگونی پراکندگی زمانی و مکانی منابع آب و عدم یکنواختی پراکندگی جمعیت از سوی دیگر، موضوع آب و چگونگی مدیریت آن را به چالشی پیچیده تبدیل کرده است (مخدوم، ۱۳۷۸). تغییرات آب‌وهوا و نبود مدیریت صحیح منابع آبی از مشکلات اصلی در بدتر شدن کیفیت و کمیت آب زیرزمینی و کسری منابع آب است (Panagopoulos & Lambrakis, 2006)؛ لذا برای مدیریت صحیح منابع آبی به پیش‌بینی‌هایی برای نیازسنجی آب مورد نیاز مناطق مختلف در آینده نیاز است که برای رسیدن به این مهم از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. در شرایط تصمیم‌گیری می‌توان مسئلهٔ مورد نظر را در سه حالت بررسی کرد تا به بهترین جواب دست یافت:

۱. انتخابی: انتخاب بهترین گزینه از میان گزینه‌های ممکن؛

۲. رتبه‌بندی: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ارجحیت آنها؛

۳. گروه‌بندی: دسته‌بندی گزینه‌ها در طبقات از پیش تعیین‌شده بر اساس مقایسهٔ آنها با منابع و استانداردهای موجود (ملک‌محمدی و دیگران، ۱۳۸۷؛ Mousseau & Slowinski, 1998).

همچنین نظر به اینکه در مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه به جز ویژگی روش‌ها نمی‌توان به عامل دیگری برای مناسب بودن روش اشاره کرد، لذا بهتر است روشی انتخاب شود که کامل‌ترین و مؤثرترین ویژگی‌ها را داشته باشد. استفاده از روش‌های ادغامی (MIXED) که به‌نوعی ویژگی همهٔ روش‌ها در آنها وجود دارد، قابل دفاع‌تر خواهد بود و به‌علاوه، روش‌های تلفیقی بر خلاف روش‌های مستقل بهتر می‌توانند حالت‌های بالا (انتخابی، رتبه‌بندی و گروه‌بندی) را در نظر بگیرند (فاروقی، ۱۳۸۹).

به دلیل اینکه استفاده از اعداد صریح در تصمیم‌گیری برای مسائل مکان‌یابی و پهنه‌بندی بسیار مشکل و گاهی غیرعملی است، بهتر است از اعداد فازی استفاده شود (غضنفری، ۱۳۹۰). مدل‌های تلفیقی (مانند عصبی- فازی) جواب بهتری نسبت به مدل‌های دیگر برای پهنه‌بندی و مکان‌یابی می‌دهد و این قابلیت را به کاربر می‌دهد که به‌راحتی داده‌ها را پردازش کند و به جواب بهتری نسبت به مدل‌های دیگر برسد (Shu & Ourada, 2008).

انواری (۱۳۹۱)، در تحقیقی نشان داد که مدل‌های تلفیقی نتیجهٔ بهتری نسبت به مدل‌های منفرد در قالب MCDM می‌دهند. از طرفی در یک تصمیم‌گیری هیچ‌گاه همهٔ گزینه‌های استراتژیک به‌طور یکسان مورد توجه استراتژیست‌های یک سازمان نخواهد بود؛ زیرا از میان راه‌های عملی قابل اجرا، باید به مجموعه‌ای از استراتژی‌های مناسب و قابل اجرا توجه شود. همچنین، انتخاب راهبردهای مناسب وظیفه‌ای دشوار است، زیرا باید ابعاد و معیارهای زیادی را هم‌زمان در انتخاب استراتژی‌ها انتخاب کرد (پارسیان، ۱۳۷۹). به عبارت دیگر، در هنگام طراحی و شکل‌گیری استراتژی شناسایی همهٔ طرح‌ها امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین طراحی استراتژی بر مبنای اطلاعات کاملاً کلی دربارهٔ مجموعه‌ای از گزینه‌ها

صورت می‌گیرد. هنگامی که در تحقیق گزینه‌های مشخص‌تری کشف شود، اطلاعات دقیق‌تری فراهم می‌آید که ممکن است در انتخاب اولیهٔ استراتژی‌ها تردید ایجاد کند. لذا باید با روش‌های مناسب، بهترین گزینه را شناسایی و انتخاب کرد (علی‌احمدی، ۱۳۸۲).

روش‌های تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه که به فرایند تصمیم‌گیری با حضور شاخص‌های چندگانه و حتی متضاد اختصاص دارد، قادر است بهترین حالت را با حضور انواع شاخص‌ها برای مسئلهٔ تصمیم در نظر بگیرد (اصغرپور، ۱۳۷۷). از سوی دیگر، هنگامی که یک مسئلهٔ تصمیم شامل چندین تصمیم‌گیرنده با تمایلات متفاوت (ناشی از ایده‌ها و نظرها، ارزش‌ها و هدف‌های آنها) است، تصمیم نهایی نتیجهٔ تعامل تمایلات و برتری‌های افراد است و همین ایده‌های متفاوت بر تغییر و تحول فرایند تصمیم‌گیری به‌گونه‌ای که از ابتدا مدنظر نبوده، تأثیر می‌گذارد (Leyva, 2003). پس با توجه به توضیحات ذکرشده، برای پهنه‌بندی مسائل، مدل‌های تلفیقی نسبت به مدل‌های دیگر تصمیم‌گیری نتیجهٔ بهتری می‌دهند؛ زیرا مدل‌های تلفیقی ویژگی‌های یک مسئله را انعطاف‌پذیرتر و کامل‌تر در نظر می‌گیرند.

به‌طور کلی، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به دو گروه تقسیم می‌شوند؛ یک گروه مبتنی بر رتبه‌بندی گزینه‌هاست که به روش‌های رتبه‌بندی شناخته می‌شوند؛ مانند AHP و تاپسیس. گروه دیگر روش‌هایی‌اند که به رتبه‌بندی گزینه‌ها منتهی نمی‌شوند و بر اساس روابط رتبه – برتری بوده و به روش‌های غیررتبه‌ای یا نارتبه‌ای معروف‌اند. از آن جمله می‌توان به روش‌های الکتری[1] و پراموسه اشاره کرد (سپهر ۱۳۹۱).

خدابخشی (۱۳۸۹)، برای ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی طرح‌های توسعهٔ منابع آب از روش تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ الکتری استفاده کرد و نتیجه گرفت این مدل یکی از معتبرترین تکنیک‌های طبقه‌بندی برای ارزیابی است.

سپهر (۱۳۹۱)، عدم اطمینان حاصل از قضاوت‌ها و عناصر ماتریس تصمیم در ارزیابی شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی را بررسی کرد. هدف او کاهش عدم اطمینان در ماتریس مقایسه‌های زوجی و تعیین وزن شاخص‌ها با استفاده از شبیه‌سازی و تکرارهای مونت‌کارلو[2] بود. وی عدم اطمینان ناشی از اطلاعات تصمیم‌گیرندگان و داده‌هایی که محیط تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد را بررسی کرد. نتایج در نهایت به وزن‌دهی شاخص‌ها انجامید و مهم‌ترین شاخص‌ها مشخص شدند.

رحمتی و همکاران (۲۰۱۴)، از روش‌های فازی، فازی – عصبی و رگرسیون برای پیش‌بینی آب شهری در تهران با استفاده از پارامترهای اقلیمی پرداختند که نتایج پژوهش آنها حاکی از برتری مدل فازی – عصبی بر دیگر مدل‌ها است. شهرکی و همکاران (۲۰۱۴)، میزان آب مورد نیاز شهر زاهدان در کوتاه‌مدت را با استفاده از هوش مصنوعی بررسی کردند و نتایج نشان داد مدل به‌کاررفته ظرفیت خوبی برای پیش‌بینی میزان آب زاهدان دارد.

در سال ۲۰۱۲ پژوهشی تحت عنوان نقشهٔ تقاضای آب شهری ارائه شد که هدف آن اولویت‌بندی مناطق شهری برای تقاضای آب مورد نیاز با استفاده از روش چندمعیاره (AHP) در شهری از کشور یونان بود. در این روش با استفاده از معیارهای طبیعی و انسانی مانند شیب، توپوگرافی، ارتفاع، فاصله از شبکهٔ جاده و سیستم آب، پتانسیل پراکنش آب مورد

1. Electre
2. Monte Carlo method

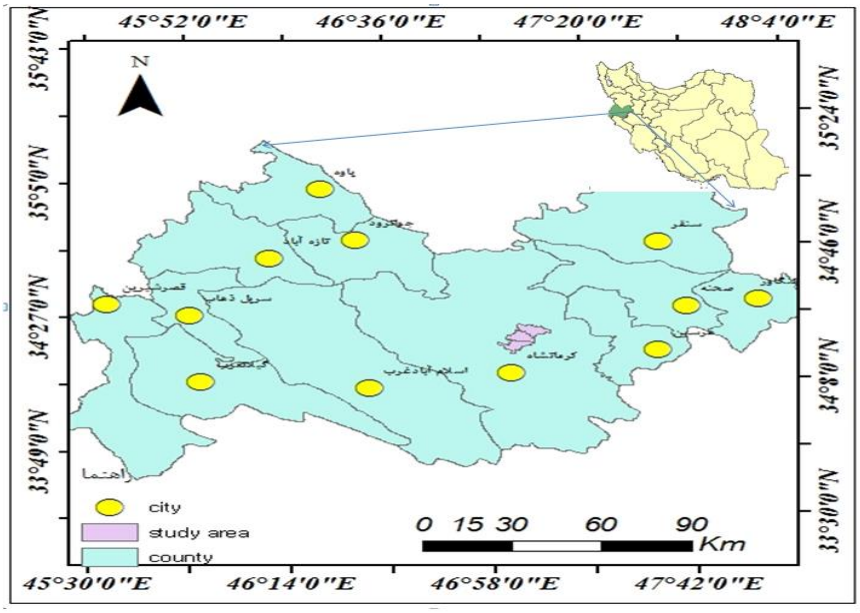
نیاز شهر بررسی شده است (Panagopoulos & Bathrellos, 2012). ضرغامی (۲۰۰۸)، پژوهشی با عنوان مدیریت یکپارچهٔ آب شهری با استفاده از MCDM[1] برای شهر زاهدان انجام داد. زاهدان در سال‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت، کمبود آب شرب و نبود سیستم لوله‌کشی کامل توزیع آب با مشکلاتی روبه‌رو شده است. هدف از پژوهش بررسی یکپارچهٔ مقدار آب و کمبود حجم آب موجود در سیستم لوله‌کشی با استفاده از منابع سطحی و زیرزمینی آب شهر است. برای یکپارچه کردن معیارهای مدیریت آب از برنامه‌های مقایسه‌ای مانند MODM[2] استفاده کرده و نتایج حاکی از آن است که این نوع مدیریت درخواستی می‌تواند پروژه‌های انتقال آب به شهر زاهدان را حدود ۱۰ سال به تأخیر بیندازد.

هدف از این تحقیق مقایسهٔ نتیجهٔ دو مدل FIS[3] و FIS-MC[4] برای پیش‌بینی میزان آب شرب مورد نیاز مناطق مختلف شهر کرمانشاه در سال ۱۴۰۰ با توجه به رشد جمعیت، سرانهٔ آب مصرفی و توسعهٔ شهر به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح منابع آب این شهر است. این هدف همان نوآوری تحقیق است؛ یعنی ابتدا رابطهٔ میزان آب مصرفی با پراکنش جمعیت، و بعد رابطهٔ پراکندگی جمعیت و توسعهٔ فیزیکی شهر بررسی می‌شود و در نهایت، میزان پراکنش آب مصرفی با توجه به توسعهٔ فیزیکی شهر در آینده محاسبه می‌گردد. با استفاده از روش الکتری شاخص‌ها فیلتر شده است و مدل شبیه‌سازی مونت‌کارلو با توجه به کاهش عدم اطمینان شاخص‌ها، وزنشان را مشخص کرده و در نهایت شاخص‌ها همراه با وزن آنها به منظور پراکنش جمعیت، دادهٔ ورودی روش FIS می‌شوند.

داده و روش تحقیق

محدودهٔ تحت مطالعه، شهر کرمانشاه و محدوده‌های اطراف آن واقع در استان کرمانشاه است. این استان در میانهٔ ضلع غربی کشور بین ۳۳ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۶ دقیقهٔ طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. استان کرمانشاه از شمال به استان کردستان، از شرق به همدان، از جنوب به ایلام و از غرب به کشور عراق محدود شده است و با این کشور ۳۳۰ کیلومتر مرز مشترک دارد. استان کرمانشاه با وسعتی معادل ۴۲۴۵۸۶ کیلومتر مربع، حدود ۱/۵ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده و از این حیث پانزدهمین استان کشور است. محدودهٔ تحت بررسی در این مطالعه شهر کرمانشاه را در بر می‌گیرد. شایان ذکر است در این مطالعه به توسعهٔ فیزیکی محدودهٔ شهر کرمانشاه اکتفا نشده، بلکه به منطقه‌ای بزرگ‌تر از محدودهٔ کنونی شهر برای مطالعه در مراحل بعدی توسعه نیز توجه شده است که مساحتی حدود ۲۲۰ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. شهر کرمانشاه در شرق استان کرمانشاه واقع شده که از شمال شرق و شمال به کوه پرآو، از جنوب به کوه سفید، از شرق به بیستون و از غرب به ماهیدشت محدود است. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۴۲۴ متر است. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۱۴۵ و حداقل آن ۱۲۹۰ متر است. رودخانهٔ قره‌سو به عنوان رودخانهٔ اصلی از مرکز شهر می‌گذرد. این رود از منطقهٔ شمال وارد شهر می‌شود و از جنوب شرق به موازات کوه سفید منطقهٔ فرامان را می‌پیماید و از شهر خارج می‌شود (شکل ۱).

1. Multi-criteria decision making
2. Multi-objective decision making
3. Fuzzy inference system
4. Fuzzy inference system- Monte Carlo



شکل ۱. نقشهٔ محدودهٔ تحت مطالعهٔ شهر کرمانشاه

روش الکتری

این مدل در اواخر دههٔ ۱۹۸۰ مطرح شد و به عنوان یکی از بهترین فنون تصمیم‌گیری چندشاخصه مورد توجه قرار گرفت. اساس این مفهوم روابط غیررتبه‌ای است؛ یعنی لزوماً به رتبه‌بندی گزینه‌ها منتهی نمی‌شود، بلکه ممکن است گزینه‌هایی را حذف کند. مراحل حل این مدل به این قرار است (اصغرپور، ۱۳۷۷):

گام اول: ماتریس بی‌مقیاس‌شده به روش نرم (N)

گام دوم: ماتریس اوزان با یکی از روش‌های وزن‌دهی (W)

گام سوم: ماتریس بی‌مقیاس موزون (V)

$$V = N * W$$

گام چهارم: تشکیل مجموعهٔ هماهنگ و ناهماهنگ: در این مرحله همهٔ گزینه‌ها به‌صورت دوبه‌دو با هم مقایسه می‌شود و شاخص‌هایی را که گزینهٔ K ام در آن نسبت به گزینهٔ I ام برتری دارد، در مجموعهٔ هماهنگ (A) و بقیه را در مجموعهٔ ناهماهنگ (D) قرار می‌دهیم. برای سادگی می‌توان ماتریسی را در نظر گرفت که سطرها و ستون‌های آن را گزینه‌هایی تشکیل داده و هر عنصر به‌جز قطر اصلی یک مجموعه است. برای مجموعه‌های هماهنگ اعضای این مجموعه‌ها شاخص‌هایی است که در آن گزینهٔ سطر به گزینهٔ ستون برتری دارد و بقیهٔ مجموعه ناهماهنگ است.

$$D_{ki} = \{ j | v_{jk} < v_{ij} \} \quad A_{ki} = \{ j | v_{jk} \geq v_{ij} \}$$

گام پنجم: تشکیل ماتریس هماهنگ: این ماتریس فاقد عناصر قطر اصلی است و بقیهٔ عناصر آن از مجموع اوزان اعضای مجموعهٔ هماهنگ تشکیل می‌شود.

$$\begin{pmatrix} - & I_{۱۲} & I_{۱۳} & \cdots & I_{۱m} \\ I_{۲۱} & - & I_{۲۳} & \cdots & I_{۱m} \\ \vdots & \vdots & - & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & - & \vdots \\ I_{m۱} & I_{m۲} & \cdots & I_{m(m+۱)} & - \end{pmatrix}, I_{kl} = \sum w_j$$

گام ششم: تشکیل ماتریس ناهماهنگ: این ماتریس از نظر انطباق شبیه ماتریس ناهماهنگ است، با این تفاوت که اعضای آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$NI = \begin{pmatrix} - & NI_{۱۲} & NI_{۱۳} & \cdots & NI_{۱m} \\ NI_{۲۱} & - & NI_{۲۳} & \cdots & NI_{۱m} \\ \vdots & \vdots & - & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & - & \vdots \\ NI_{m۱} & NI_{m۲} & \cdots & NI_{m(m+۱)} & - \end{pmatrix}, NI_{kl} = \frac{MAX\left|V_{kj} - V_{lj}\right|, j \in D_{kl}}{MAX\left|V_{kj} - V_{lj}\right|, j \in A_{ll}}$$

گام هفتم: تشکیل ماتریس هماهنگ مؤثر: این ماتریس از یک حد آستانه‌ای استفاده می‌شود. در ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ هم می‌توان گزینه‌هایی را که مطلوبیت آنها پایین‌تر از حد مشخصی است به صفر و باقی را به یک تبدیل کرد. حد آستانه از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\bar{I} = \sum_{l=۱}^{m}\sum_{k=۱}^{m}\frac{I_{k,l}}{m(m-۱)}, F_{kl} = \begin{cases} ۱ & I_{kl} \geq \bar{I} \\ ۰ & I_{kl} < \bar{I} \end{cases}$$

گام هشتم: تشکیل ماتریس ناهماهنگ مؤثر

$$\overline{NI} = \sum_{l=۱}^{m}\sum_{k=۱}^{m}\frac{I_{k,l}}{m(m-۱)}, G_{kl} = \begin{cases} ۱ & I_{kl} \geq \overline{NI} \\ ۰ & I_{kl} < \overline{NI} \end{cases}$$

گام نهم: تشکیل ماتریس کلی مؤثر

$$H_{kl} = F_{kl}.G_{kl}$$

روش مونت‌کارلو

روش مونت‌کارلو یک طبقه از الگوریتم‌های محاسبه‌گر است که برای محاسبهٔ نتایج خود بر نمونه‌گیری‌های تکرارشوندهٔ تصادفی اتکا می‌کند. روش‌های مونت‌کارلو اغلب برای شبیه‌سازی یک سامانهٔ ریاضی یا فیزیک استفاده می‌شوند. گرایش به استفاده از روش‌های مونت‌کارلو زمانی بیشتر می‌شود که محاسبهٔ پاسخ دقیق با کمک الگوریتم‌های قطعی ناممکن یا ناموجه باشد (Douglas, 2007). روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو مخصوصاً در مطالعهٔ سیستم‌هایی مفید است که در آن تعداد زیادی متغیر با درجهٔ آزادی‌های دوبه‌دوی مرتبط وجود داشته باشد. از آن گذشته، روش‌های مونت‌کارلو برای شبیه‌سازی پدیده‌هایی که عدم قطعیت زیادی در ورودی‌های آنها وجود دارد نیز مفیدند؛ مثل محاسبهٔ ریسک در تجارت. همچنین این روش‌ها به‌طور گسترده‌ای در ریاضیات به‌کار می‌روند. یک نمونه استفادهٔ سنتی از این روش‌ها در برآورد

انتگرال‌های معین و به‌خصوص انتگرال‌های چندبعدی با محدوده‌های مرزی پیچیده[1] است. فیزیک‌دانانی که در دههٔ ۱۹۴۰ روی پروژهٔ ساخت یک سلاح اتمی در آزمایشگاه ملی لوس‌آلاموس آمریکا کار می‌کردند، واژهٔ مونت‌کارلو را رایج کردند. استفاده از این روش نیاز به استفاده از مقادیر زیادی اعداد تصادفی دارد و این کاربرد باعث کنار رفتن و توقف گسترش زاینده‌ها یا اعداد شبه‌تصادفی می‌شود. مونت‌کارلو تنها یک روش ندارد، بلکه این واژه به گسترهٔ وسیعی از روش‌هایی پرکاربرد اطلاق می‌شود. به‌هرحال، این رویکردها از یک الگوی مشخص پیروی می‌کنند:

۱. محدوده‌ای از ورودی‌های ممکن را تعریف می‌کنند.
۲. از آن محدوده ورودی‌های تصادفی را تولید می‌کنند.
۳. با استفاده از ورودی‌های به‌دست‌آمده یک سری محاسبه‌های مشخص را انجام می‌دهند.
۴. نتایج هر یک از اجراهای محاسباتی را در پاسخ نهایی ادغام می‌کنند.

کاربرد روش مونت‌کارلو در ریاضیات و آمار بسیار گسترده است. با استفاده از این روش با انتخاب تصادفی یک یا تعداد محدودی پاسخ از میان پاسخ‌های موجود برای دست یافتن به راه‌حل قابل قبولی تلاش می‌شود. این تکنیک زمانی ارزش پیدا می‌کند که مجموعهٔ آلترناتیوهای موجود برای پاسخ یک مسئله بسیار بزرگ باشد و عملاً امکان آزمودن همهٔ آنها وجود نداشته باشد. بعضی مواقع می‌توان با استفاده از انتگرال‌گیری مسائل را حل کرد. روش‌های قطعی انتگرال‌گیری عددی به‌وسیلهٔ دریافت عدد نمونه‌های فاصله‌دار یکنواخت از یک تابع است. به‌طورکلی، این روش برای توابع یک متغیری بسیار خوب جواب می‌دهد. درحالی‌که برای تابعی از بردارها، روش‌های تربیع قطعی بی‌تأثیرند (سپهر، ۱۳۹۱).

سیستم استنتاج فازی

پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ تئوری فازی را در مقاله‌ای به نام *مجموعه‌های فازی* معرفی کرد. منطق فازی به‌طور گسترده‌ای به استفاده از متغیرهای زبانی در مسائل کاربردی اختصاص دارد. در واقع این منطق سعی می‌کند قواعد و قوانین موجود در یک سیستم را که در قالب عبارت‌ها و متغیرهای زبانی بیان می‌گردد، به‌صورت سیستم‌های فازی مدل‌سازی کند. چنین سیستم‌هایی به سیستم‌های قاعده – بنیاد فازی معروف‌اند (کوره‌پزان دزفول، ۱۳۸۴). سیستم استنتاج فازی یکی از مشهورترین کاربردهای منطق فازی و مجموعه‌های فازی است که می‌تواند برای طبقه‌بندی مفید باشد. توانایی سیستم‌های استنتاج فازی مربوط به تشخیص مضاعف آنهاست. از یک طرف آنها قادر به استفاده از عبارت‌های زبانی‌اند و از طرف دیگر، تخمین‌گرهای عمومی محسوب می‌شوند که قادر به انجام نقشه‌های غیرخطی بین ورودی و خروجی‌اند (Guillaume, 2001). با تعریف تابع عضویت از طریق متغیرهای زبانی بازی‌سازی انجام می‌گیرد. البته باید داده‌ها استاندارد یا نرمال باشند و همهٔ ورودی‌ها را می‌بایست در یک محدودهٔ عددی مثلاً بین صفر و یک قرار داد.

قوانین یک سیستم فازی نشان‌دهندهٔ میزان آگاهی و دانش نسبت به کنترل آن سیستم است و قوانین با استفاده از

1. The beginning of the Monte Carlo method

متغیرهای زبانی، برای تشریح استراتژی کنترلی یک سیستم کنترل‌کنندهٔ فازی به‌کار می‌رود (فقیه، ۱۳۸۶). در این مرحله تلفیق داده‌ها با ایجاد پایگاه قواعد «اگر – آنگاه» فازی و به‌کارگیری مدل تصمیم‌گیری انجام می‌گیرد. از مدل‌های ممدانی و تاکی سوگو می‌توان به عنوان مدل‌های تصمیم‌گیری متداول در این مرحله نام برد (کریمی، ۱۳۸۸: ۱۷). در اینجا از مدل ممدانی استفاده شده است. فرمول نهایی موتور استنتاج فازی به‌صورت معادلهٔ ۱ است. در فرمول ۱، M نشان‌دهندهٔ تعداد کل قوانین است.

$$\mu B'(y) = {}^{M}_{1}\max[\sup x \epsilon U \min(\mu A(X), \mu A(x_1), \ldots, \mu A(x_n)), \mu B(y)] \qquad (۱)$$

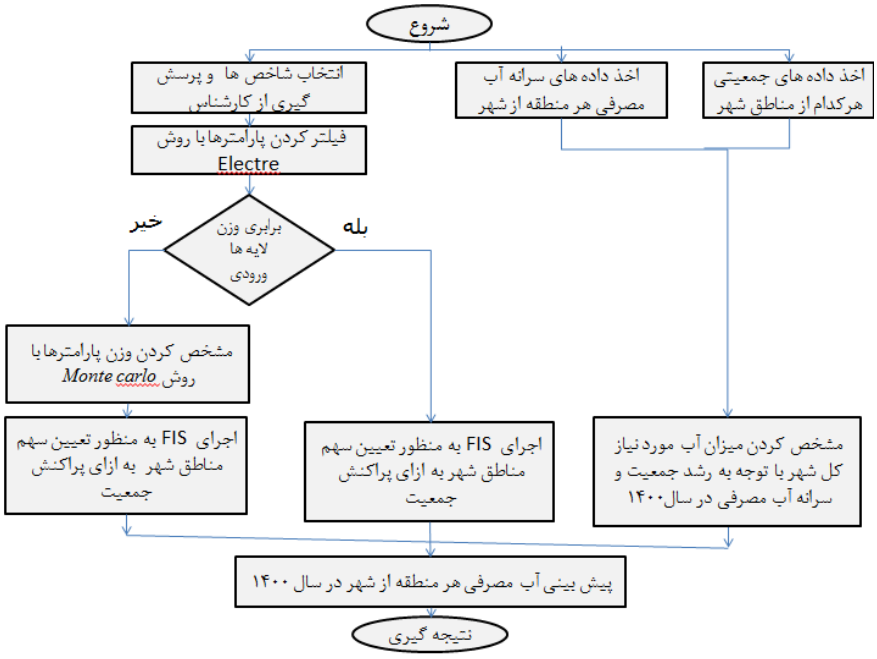
μA ورودی است، μA(X1) تا μA(Xn) قسمتِ «اگر» ما و μB(y) قسمتِ «آنگاه» فازی است. μB'(y) عددِ فازی ما است (Wang,1997). برای ایجاد قوانین و چگونگی آنها از نظرهای کارشناسان و خبرگان با توجه به داده‌های موجود استفاده شده است. مرحلهٔ نهایی مدل قطعی‌سازی خروجی است. خروجی مرحلهٔ استنتاج فازی معمولاً شامل یک یا چندین عدد فازی است که بایستی به یک عدد حقیقی تبدیل گردد. این مرحله قطعی‌سازی داده‌ها نام دارد. برای انجام این مرحله معمولاً از روش‌های مرکز ثقل و مرکز بازهٔ ماکزیمم استفاده می‌شود. روش مرکز ثقل که در این تحقیق به‌کار رفته است، با استفاده از رابطهٔ ۲ بیان می‌شود.

$$Z = \frac{\int \mu_c(z) z dz}{\int \mu_c(z) dz} \qquad (۲)$$

در این رابطه منظور از μ_c درجهٔ عضویت مقادیر فازی متغیر خروجی است. خروجی الگوریتم سیستم استنتاج فازی یک عدد بین صفر و یک است.

شکل ۲ نمایی کلی از فرایند پژوهش را نشان می‌دهد. ابتدا پارامترهای متناسب با موضوع با استفاده از تحقیقات پیشین و نظر خبرگان مشخص شده‌اند و در مرحلهٔ بعد، روش الکتری به منظور کاهش شاخص‌ها اجرا شده است. در گام سوم، شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای به‌دست‌آوردن وزن شاخص‌ها اجرا می‌شود. در مرحلهٔ بعد، FIS به منظور توزیع جمعیت و میزان آب مصرفی به‌کار می‌رود.

در این تحقیق ابتدا ۱۰ شاخص به منظور لایه‌های مؤثر بر جمعیت و میزان آب مورد نیاز، با استناد به پژوهش‌های قبلی و نظر خبرگان انتخاب شده است. این پارامترها عبارت‌اند از جهت شیب، فاصله از رودخانه، ارتفاع منطقه، فاصله از شبکهٔ لوله‌کشی آب، فاصله از راه‌ها (جاده– خیابان)، فاصله از مرکز شهر، تراکم جمعیت، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه (جدول ۱). به دلیل زیاد بودن داده‌ها برای ورودی مدل FIS باید تعدادی از لایه‌ها فیلتر شوند و برای این کار از مدل الکتری استفاده می‌شود. برای انتخاب مؤثرترین شاخص‌ها از ۴۰ کارشناس پرسش به عمل آمد. نتایج پرسش‌ها در جدول ۱ مشاهده می‌شود. هر شاخص به‌صورت طیف لیکرت ارزش‌گذاری شده است. ارزش «اهمیت خیلی زیاد» یعنی بیشترین تأثیر و ارزش «اهمیت ناچیز» بیانگر کمترین تأثیر این لایه است.



شکل ۲. فلوچارتی از مراحل تحقیق به منظور پیش‌بینی آب شرب مورد نیاز مناطق مختلف شهر کرمانشاه

جدول ۱. درجهٔ اهمیت و میانگین شاخص‌های مورد بررسی برای توسعهٔ شهری شهر کرمانشاه با تأکید به افزایش جمعیت و آب مورد نیاز

لایه‌های مورد استفاده	میزان اهمیت لایه‌ها برای توسعهٔ شهری (برای میزان افزایش جمعیت یک منطقه)				
	اهمیت ناچیز	اهمیت کم	اهمیت متوسط	اهمیت زیاد	اهمیت خیلی زیاد
فاصله از شبکهٔ لوله‌کشی آب	۵	۶	۷	۱۲	۱۰
فاصله از راه‌ها (جاده- خیابان)	۳	۱۲	۸	۸	۹
فاصله از مرکز شهر	۹	۵	۱۱	۷	۸
تراکم جمعیت	۷	۷	۶	۱۱	۹
کاربری اراضی	۶	۷	۹	۹	۹
شیب منطقه	۱۱	۴	۱۱	۹	۵
ارتفاع منطقه	۵	۵	۷	۱۲	۱۱
جهت شیب	۴	۶	۱۲	۱۰	۸
فاصله از رودخانه	۶	۲	۹	۷	۱۶
فاصله از گسل	۶	۹	۱۱	۸	۶

مرحلهٔ بعد تعیین وزن شاخص‌هاست که برای رسیدن به این مهم از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده می‌شود. بـرای اجرای مدل مونت‌کارلو بر حسب مقایسه‌های زوجی به منظور اصلاح و ارزیابی پرسش‌گیری از خبرگان باید بـه‌صـورت زیـر عمل شود. در این ارزش‌گذاری عدد ۵ نشانهٔ بیشترین اهمیت و عدد ۱ نشان‌دهندهٔ کمترین اهمیت است (جدول ۲).

جدول ۲. درجهٔ اهمیت کیفی و کمی شاخص‌های انتخاب‌شده برای توسعهٔ شهری کرمانشاه

اهمیت خیلی زیاد	اهمیت زیاد	اهمیت متوسط	اهمیت کم	اهمیت ناچیز
۵	۴	۳	۲	۱

در این پژوهش برای تعیین میزان عدم اطمینان در محاسبه‌ها و تکرارهای مونت‌کارلو از معادلهٔ برآورد عدم اطمینان قضاوت‌های ساعتی (۱۹۸۰) استفاده شده است (سپهر، ۱۳۹۲). در ابتدا میانگین و انحراف معیار هر شاخص (X_i) به‌دست می‌آید و طبق رابطهٔ ۱ معیار جامع عدم اطمینان رتبه‌بندی‌ها (T) محاسبه می‌شود. n تعداد نمونه‌ها، δ_i انحراف معیار وزن‌ها و w_i میانگین وزنی شاخص‌ها است. با استفاده از رابطهٔ ۴ تعداد تکرارهایی که در بازهٔ اطمینانی در رابطهٔ ۳ به‌دست‌آمده حساب می‌شود. A نشانهٔ میزان دقت محاسبات است.

$$T = \sqrt[۲]{\frac{۱}{n}\sum\left(\frac{\delta_i}{w_i}\right)} \qquad (۳)$$

$$N = \frac{۱/۹۶^{۲}}{۴A^{۲}} \qquad (۴)$$

حال نوبت به مقایسهٔ زوجی رتبهٔ شاخص‌ها نسبت به هم است. در این مرحله با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده از پرسش‌گیری، شاخص‌ها دوبه‌دو با هم مقایسه می‌شوند و در نهایت با توجه به جمع رتبه‌های به‌دست‌آمده برای هر شاخص، میزان اهمیت آن مشخص می‌شود. این مقایسه با استفاده از آزمون فریدمن انجام می‌گیرد. آزمون فریدمن هم یک آزمون ناپارامتر، معادل آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری است که از آن برای مقایسهٔ میانگین رتبه‌ها در بین k متغیر استفاده می‌شود.

مرحلهٔ بعدی اجرای روش FIS به‌منظور تعیین پتانسیل پراکنش جمعیت در مناطق مختلف شهر است. روش FIS به دو حالت اجرا می‌شود: در حالت اول که همان مدل تلفیقی مونت‌کارلو و سیستم استنباط فازی است، از نتایج به‌دست‌آمده از روش مونت‌کارلو برای وزن لایه‌های ورودی استفاده می‌شود و حالت دوم، روش FIS است که وزن همهٔ شاخص‌ها را برابر در نظر می‌گیرد.

ابتدا روش مونت‌کارلو- سیستم استنباط فازی اجرا می‌شود. برای انجام این مرحله ابتدا باید لایه‌ها نرمال شوند که این کار به‌صورت معادلهٔ ۵ انجام می‌گیرد:

$$x_i = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} * \text{normalized range} \qquad (۵)$$

در آن:

xi ارزش سلول بعد از نرمال کردن، Ri ارزش سلول قبل از نرمال‌سازی، Rmin مقدار کمینه در فاکتور، Rmax مقدار بیشینه در فاکتور، و normalized renge ضریب نرمال‌شدگی است که به‌جای آن از وزن‌های حاصل از مدل مونت‌کارلو استفاده می‌شود.

گام اول مشخص کردن تابع عضویت است که برای تعیین آن از توابع عضویت مثلثی استفاده‌شده است که نمونهٔ آن

برای شیب در زیر نمایش داده شده است.

توابع عضویت شیب:

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x < 0, x > 0/3 \\ 1/3(3 - 10x) & 0 \le x \le 0/3 \end{cases}$$ کلاس‌مناسب

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & 0/05 < x, x > 0/5 \\ 1/25(100x - 5) & 0/05 \le x \le 0/3 \\ 1/2(5 - 10x) & 0/3 < x \le 0/5 \end{cases}$$ کلاس‌متوسط

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x < 0/3, x > 1 \\ 1/7(10x - 3) & 0/3 \le x \le 1 \end{cases}$$ کلاس‌نامناسب

گام بعدی در سیستم‌های استنتاج‌گر فازی، تلفیق داده‌های فازی است که با به‌کارگیری موتور استنتاج فازی انجام می‌گیرد.

در مرحلهٔ سوم با توجه به درجه‌های عضویت فازی پیکسل به توابع عضویت ورودی، درجهٔ عضویت پیکسل به تابع عضویت خروجی محاسبه می‌گردد. در مدل ممدانی برای ترکیب درجه‌های عضویت فازی توابع ورودی از عملگر AND، معادل حداقل استفاده می‌شود. برای نمونه، در قاعده‌ای که برای شیب عضویت ۰/۵، برای فاصله از معابر ۰/۲، برای فاصله از سیستم لوله‌کشی آب عضویت ۰/۷، فاصله از مرکز شهر عضویت ۰/۴، فاصله از گسل ۰/۷، کاربری ۰/۵و برای تراکم عضویت ۰/۹ داشته باشیم، درجهٔ عضویت فازی این پیکسل در این قاعده برابر با مینیمم آنها، یعنی ۰/۲ است. گام چهارم خروجی قطعی‌سازی‌شده است.

حال FIS را برای حالت دوم انجام می‌دهیم؛ یعنی حالتی که فرض شده وزن کل شاخص‌ها برابر است. اجرای این روش دقیقاً مانند حالت اول است، فقط در نرمال کردن لایه‌ها به جای *normalized renge* عدد ۱ قرار داده می‌شود.

مرحلهٔ بعدی تحقیق به‌دست‌آوردن سهم نسبی توزیع جمعیت هر یک از مناطق شهر است. این منطقه‌بندی با توجه به تقسیمات شرکت آب‌وفاضلاب مشخص‌شده است. برای رسیدن به این میزان آب شرب مورد نیاز شهر در سال ۱۴۰۰ به این صورت عمل شده است: ابتدا فرض شده تا سال ۱۴۰۰ شهر تا حریم ۳۰۰ متر مسکونی می‌شود، یعنی یک بافر ۳۰۰ متری به مناطق فعلی شهر (سال ۱۳۹۰) اضافه شده است و بعد، منطقه‌های ۱، ۲ و ۳ و نواحی‌ای که جدیداً به آنها افزوده شده، جدا خواهد شد. در مرحلهٔ بعد، مجموع ارزش تمام پیکسل‌های هر منطقه محاسبه و سهم نسبی هر کدام مشخص شده است. حال این ضرایب در مقدار محاسبه‌شدهٔ سرانهٔ آب مصرفی (جدول ۳) و میزان جمعیت پیش‌بینی‌شده (که به‌ترتیب از شرکت آب‌وفاضلاب و شهرداری استان اخذ شده‌اند)، برای سال۱۴۰۰ ضرب شده و میزان آب مورد نیاز برای هر منطقه محاسبه شده است.

جدول۳. میانگین سرانهٔ مصرفی آب شرب ماهانهٔ شهر کرمانشاه (متر مکعب)

ماه‌های سال	منطقهٔ ۱	منطقهٔ ۲	منطقهٔ ۳	میانگین
فروردین	۵/۲۶	۵/۵	۴/۶۹	۵/۱۵
اردیبهشت	۴/۹۹	۵/۴۲	۴/۸۲	۵/۰۸
خرداد	۴/۳۳	۴/۳۸	۴/۶۲	۴/۴۴
تیر	۶/۰۳	۵/۶۲	۵/۱۵	۵/۶
مرداد	۶/۰۱	۵/۷۳	۵/۵۵	۵/۷۷
شهریور	۶/۰۱	۶/۳۱	۵/۵۵	۵/۹۶
مهر	۵/۷۴	۵/۹۵	۵/۶	۵/۷۶
آبان	۵/۹۴	۵/۹۹	۵/۲۵	۵/۷۳
آذر	۴/۸۷	۴/۷۷	۴/۷۹	۴/۸۱
دی	۳/۶۴	۵/۰۱	۴/۵۶	۴/۴
بهمن	۵/۲۲	۴/۴۸	۴/۵۶	۴/۷۵
اسفند	۵/۵۱	۴/۸۸	۴/۴۵	۴/۹۵

برای جمعیت از میانگین سرشماری نفوس دوره‌های قبل (۱۳۳۵–۱۳۹۰) استفاده شد که با توجه به معادله‌های پیش‌بینی رشد جمعیت، میزان جمعیت شهر کرمانشاه برای سال ۱۴۰۰ محاسبه شده است و برای سرانهٔ میزان آب مصرفی هم از میانگین داده‌های ماهانه در سال‌های ۱۳۹۱–۱۳۹۳ استفاده شده است (جدول ۳).

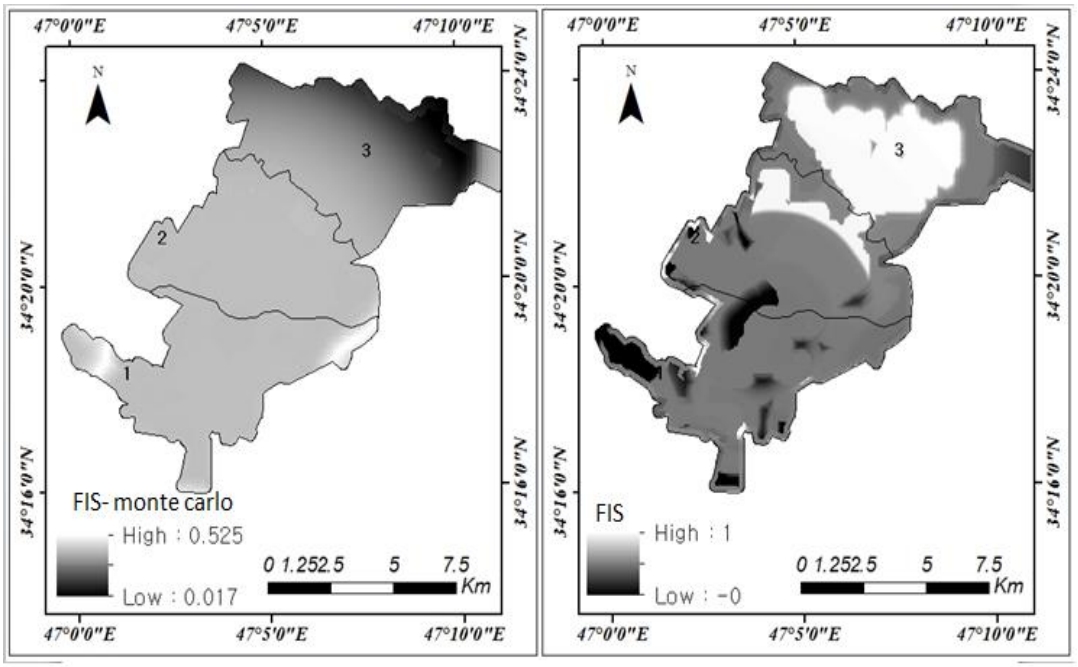
بحث و نتیجه‌گیری

بعد از اجرای روش الکتری روی جدول ۱ شاخص‌های جهت شیب، فاصله از رودخانه و ارتفاع منطقه حذف شدند. همان‌طور که اشاره شد، روش مونت‌کارلو بر اساس قضاوت ساعتی انجام گرفت. مقدار ۰/۱ برای A که نشانهٔ میزان دقت محاسبات بود، تعیین شده است. همچنین مقدار T و N به‌ترتیب تقریباً ۵ درصد و ۱۰۰۰۰ است. نتایج رتبه‌بندی‌های حاصل از روش مونت‌کارلو در جدول ۴ نمایان است.

جدول۴. نتایج وزن شاخص‌های حاصل از شبیه‌سازی مونت‌کارلو

شاخص	مجموع رتبهٔ هر شاخص
فاصله از شبکهٔ لوله‌کشی آب	۵
فاصله از راه‌ها (جاده– خیابان)	۴/۳۷
فاصله از مرکز شهر	۳/۶
تراکم جمعیت	۴/۳۹
کاربری اراضی	۴/۳۱
شیب منطقه	۲/۹۹
فاصله از گسل	۳/۵۱

برای مدل تلفیقی FIS-MC از وزن‌های جدول ۴ استفاده شده است که نتایج آن در شکل ۳ مشاهده می‌شود.



شکل۳. نقشهٔ نهایی حاصل از اجرای مدل FIS و مدل FIS-MC

نتایج سهم نسبی هر یک از مناطق ۱، ۲ و ۳ برای هر دو مدل که در شکل ۳ هم نشان داده شده است، در جدول ۵ مشاهده می‌شود. همان‌طور که از اعداد این جدول مشخص است، نتیجهٔ دو مدل با هم برابر نیستند، یعنی سهم نسبی هر منطقه در دو مدل تفاوت‌هایی دارند که این تفاوت ناشی از وزن‌های حاصل از شبیه‌سازی مونت‌کارلو است. با توجه به اعداد جدول ۵، منطقهٔ ۳ در هر دو مدل بیشترین سهم و منطقهٔ ۱ کمترین سهم را به خود اختصاص داده است.

در جدول ۶ نتایج نهایی میزان آب درخواستی برحسب مترمکعب برای هرکدام از مناطق مشخص است. مثلاً در منطقهٔ ۳ نتایج حدود پنج میلیون مترمکعب با هم اختلاف دارند.

جدول۵. مقدار سهم آب مورد نیاز مناطق سه‌گانهٔ شهر کرمانشاه (درصد)

منطقه	FIS	FIS-MC
۱	۲۷	۳۲
۲	۳۱	۳۳
۳	۴۲	۳۵

جدول۶. مقدار آب مورد نیاز مناطق سه‌گانهٔ شهر در سال ۱۴۰۰ (مترمکعب)

منطقه	FIS	FIS-MC
۱	۱۹۴۶۴۵۴۳	۲۳۰۶۹۰۸۸
۲	۲۲۳۴۸۱۷۹	۲۳۷۸۹۹۹۷
۳	۳۰۲۷۸۱۷۸	۲۵۲۳۱۸۱۵

نتیجهٔ کلی که می‌توان از جدول‌های ۵ و ۶ استنباط کرد این است که نتیجهٔ دو مدل با هم برابر نیستند. در مدل FIS-MC وزن شاخص‌ها بر اساس اهمیت آنها نسبت به موضوع مشخص‌شده و از نظرهای خبرگان تأثیر گرفته است. در مدل FIS-MC برخلاف برابری وزن لایه‌ها در حالت اول (FIS) با هم برابر نیستند و از طرفی چون مدل FIS-MC نسبت به مدل FIS هم از لحاظ تئوری قوی‌تر و هم انعطاف‌پذیرتر است، نتیجهٔ آن متعادل‌تر و منطقی‌تر است و این موضوع به‌وضوح در جدول‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری

بررسی نحوه و میزان پراکنش آب مصرفی/ مورد نیاز یک شهر موضوعی بسیار پیچیده است و از عوامل زیادی مانند پارامترهای طبیعی، زیرساخت انسانی، سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های شهری و شهرسازی و... که به‌نحوی بر توزیع جمعیت در سطح یک منطقه مؤثرند، تأثیر می‌پذیرد. از طرفی، برای رسیدن به این مهم از روش‌های MCDM استفاده می‌شود و چون مدل‌های تلفیقی به علت انعطاف زیاد و قوی بودن تئوری‌شان بهتر می‌توانند پیچیدگی مسائل را در نظر بگیرند، نسبت به همان مدل‌ها در حالت مستقل (غیرتلفیقی) جواب بهتری می‌دهند (رحمتی، ۲۰۱۴؛ شهرکی، ۲۰۱۴؛ اصغرپور، ۱۳۷۷؛ انواری، ۱۳۹۱؛ لیوا، ۲۰۰۳؛ شو و اوردا، ۲۰۰۸؛ غضنفری، ۱۳۹۰؛ فاروقی، ۱۳۸۹).

در این پژوهش از دو روش FIS-MC و FIS برای رسیدن به پراکنش جمعیت و میزان آب مورد نیاز استفاده شد که نتایج هر دو مدل با هم اختلاف دارند. با توجه به توضیحات پژوهش، نتایج مدل تلفیقی FIS-MC معقولانه‌تر است. نتیجهٔ پیش‌بینی‌شده به ارگان‌های وابسته به منابع آب پیشنهاد شد تا بتوانند از آن برای برنامه‌ریزی‌های آینده و در جهت مدیریت منابع آب و مدیریت بحران استفاده کنند.

منابع

اصغرپور، محمدجواد؛ (۱۳۷۷). تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

انواری، علی‌اصغر؛ حسینیان، شهامت؛ (۱۳۹۱). رتبه‌بندی مالی شرکت‌های بورس با روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه و مدل‌های ترکیبی، شمارهٔ ۱، ۵۴-۳۱.

خدابخشی، بهناز؛ جعفری، حمیدرضا؛ (۱۳۸۹). کاربرد مدل تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ Electre-TRI در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌های توسعهٔ منابع آب، آب و فاضلاب، شمارهٔ ۳.

دیوید، فرد ار؛ (۱۳۷۹). مدیریت استراتژیک، ترجمهٔ علی پارسیان و محمد اعرابی، انتشارات پژوهش‌های فرهنگی، تهران.

سلطان‌پناه، ه.؛ فاروقی، ه.؛ گلابی، م.؛ (۱۳۸۹). به‌کارگیری و مقایسهٔ تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در رتبه‌بندی کشورها بر مبنای میزان توسعهٔ انسانی، مجلهٔ دانش و فناوری، ۱(۲).

عادل، سپهر؛ (۱۳۹۱). ایجاد سامانهٔ شاخص‌های بیابان‌زایی بر اساس DPSIR (بهره‌گیری از روش فازی-تاپسیس)، مجلهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شمارهٔ ۱.

----------؛ (۱۳۹۲). استفاده از روابط مونت‌کارلو در کاهش عدم اطمینان مقایسات زوجی شاخص‌های بیابان‌زایی، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، شمارهٔ ۴.

علی‌احمدی، علی‌رضا؛ فتح‌الله، مهدی؛ تاج‌الدین، ایرج؛ (۱۳۸۲). نگرشی جامع بر مدیریت استراتژیک، انتشارات تولید دانش، تهران.

غضنفری‌راد، فروغ؛ (۱۳۹۰). مجلهٔ تحقیق در عملیات و کاربردهای آن؛ ارائهٔ یک مدل ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی برای تعیین محل شهرک صنعتی، شمارهٔ ۶.

فقیه، نظام‌الدین؛ علمداری بولی، فرشاد؛ (۱۳۸۶). کنترل هوشمند مواد با کنترل فازی (صنعت کامپوزیت) T انتشارات رخشید.

کریمی، محمد؛ (۱۳۸۸). مدل‌سازی توان اکولوژیکی سرزمین، با استفاده از منطق فازی، سنجش از دور و GIS ایران، شمارهٔ اول، سال اول، ص۱۷-۳۸.

کوره‌پزان دزفولی، امین؛ (۱۳۸۴). اصول تئوری مجموعه‌های فازی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

مخدوم، مجید؛ (۱۳۷۸). شالودهٔ آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران.

ملک‌محمدی، ب.؛ کرایچیان، ر.؛ (۱۳۸۷). رتبه‌بندی جواب‌های مدل بهینه‌سازی چندهدفهٔ بهره‌برداری از مخازن با روش Electre-TRI، مجموعه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز، ایران.

Ali Ahmed, A.; Fatah, Ali; R.Tajaldin, I. (1382). Holistic approach to strategic management, knowledge Publications, Tehran.

Asgharpour, M. J. (1377). Decision and Operations Research, Tehran University Press, Tehran.

Bathrellos, G. et al. (2012). Potential suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological–geomorphological parameters, Environmental Earth Sciences 66(2): 537-548

David, F. (1379). Strategic management, translation Persians, and Arabs Ali, Muhammad, Cultural Studies Publications, Tehran.

Douglas, H. (2007). How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business p. 46, John Wiley & Sons.

Faqih, N.; Booli, A.; Farshad, (1386). Intelligent control, fuzzy control materials (composites industry), Rakhshyd publications.

George, D. (2012). Bathrellos KalliopiGaki-Papanastassiou, Potential suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological–geomorphological parameters" Environ Earth Sci 66:537–548

George, P.; Panagopoulos, George, D., Bathrellos (2012). Mapping Urban Water Demands Using Multi-CriteriaAnalysis and GIS" Water Resour Manage, 26:1347–1363.

Ghazanfari Rad, F. (1390). Presents a hybrid model of fuzzy multi-criteria decision-making methods to locate Industrial Zone, Journal of Operations Research and its Applications, No. 6.

Hoda Rahmati, S. et al. (2014). A comparison of anfis, ann, arma & multivariable regression methods for urban water-consumption forcasting, considering impacts of climate change: a case study on tehran mega city. Indian J.Sci.Res. 7 (1): 870-880, 2014.

Karimi, M. (1388). Ecological modeling capability, using fuzzy logic of remote sensing and GIS Center, the first year .pp. 17-38.

Khodabakhshi, B.; Jafar, H. (1389). Application of Multi Criteria Decision Making Electre-TRI in environmental impact assessment, water resource development projects, water and sewer, N 3.

Kore Pzan Dezful, A. (1384). The theory of fuzzy sets. Publication Amirkabir University Jihad.

Leyva, J.; Fernandez, E. (2003). A New Method for Group Decision SupportBased on ELECTRE III Methodology, www.sciencedirect.com.

Makhdoom, M. (1378). Land base of Tehran University Press.

Malek Mohammadi, B.; Kraychyan, B. (1387). Anking solutions of multi-objective optimization model, exploitation of reservoirs with Electre-TRI, Proceedings of the Third Conference on Water Resources Management in Iran, Tabriz, Iran.

Mousseau, V.; Slowinski, R. (1998). Inferring an Electre-TRI model from assigement examples, Journal of Global optimization, 12: 157-174.

Panagopoulos, G.; Lambrakis, N.; (2006). The contribution of time series analysis to the study of the hydrody-namic characteristics of the karst systems, application on two typical karst aquifers of Greece (Trifilia SaatyT. the analytic hierarchy process, McGraw-Hill, New York, 1980.

Sepehr, A. (1391). Causing desertification of the system parameters based on the DPSIR (use of fuzzy-TOPSIS method), Journal of Geography and Environmental Planning, No. 1.

Sepehr, A. (1392). Using pairwise comparisons of Monte Carlo in reducing uncertainty parameters Byabanzayy, Geographical Research Quarterly, No. 4.

Shahraki, J. Abbasian (2014). Application of artificial neural network rbf and gmdh forecasting short- term water demand, Journal of Multidisciplinary Research, Vol. 3 Issue 5ISSN 2278-0637, 1-11.

Shiklomanov, I. A.; (2000). Appraisal and assessment of world water resources, J. Water International, 25(1), 11-32.

Shu, C.; Ouarda, T. B. M. J.; (20080. Regional flood frequency analysis atungauged sites using the adaptiveneuro-fuzzy inference system, Journal of Hydrology 349, 31-43.

Sultan Panah, E.; Farooq-e.; Pears, D. (1389). Application and comparison of techniques for multi attribute decision making based on the ranking of countries in terms of human development, Journal of Science and Technology, 1 (2).

Zarghami, M. et al. (2008). Multi-criteria Decision Making for Integrated Urban Water Management, Water Resources Management, 22(8): 1017-1029.