

"مقاله پژوهشی"

اولویت‌بندی کیفی رودخانه‌های حوضه کشکان در استان لرستان جهت توسعه آبی‌پروری (ماهیان سردآبی) با استفاده از ترکیب روش‌های Fuzzy و VIKOR و AHP

منوچهر نصری^{۱*}، مرتضی قبادی^۱، علیرضا سپه‌وند^۲

۱. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست و شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳. گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۹

چکیده

اختصاص آب برای اهداف آبی‌پروری نیازمند در نظر رفتن شاخص‌های متنوعی است. با توجه به رتبه نخست استان لرستان در پرورش ماهیان سردآبی در بین استان‌های غیر ساحلی ایران، تصمیم‌گیری در این مورد اهمیت بیشتری دارد. بنابراین در مطالعه حاضر از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی اختصاص منابع آب برای آبی‌پروری بهره‌گیری شد. برای این منظور تعداد ۱۳ رشته از سرشاخه‌های رودخانه کشکان انتخاب و داده‌های کیفی آب بر اساس گزارش‌های موجود استخراج گردید. برای اطمینان از صحت داده‌ها، از نظر کارشناسان شیلاتی استفاده گردید. تعیین اهمیت داده‌ها بر اساس وزن‌دهی به روش Fuzzy AHP انجام شد. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، اولویت‌بندی رودخانه‌های هدف برای اهداف آبی‌پروری بر اساس ترکیب روش‌های Fuzzy AHP و VIKOR انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که رودخانه‌های کهمان، دوآب‌الشر و کاکاشرف به ترتیب از بالاترین امتیاز و مقدم‌ترین اولویت برخوردار هستند. نتایج این مطالعه کارایی روش ویکور فازی را برای تصمیم‌گیری در خصوص اولویت‌بندی اختصاص منابع آب برای اهداف آبی‌پروری تأیید کرد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، حوضه کشکان، خصوصیات کیفی آب، ماهیان سردآبی، نظریه فازی.

مقدمه

فشار وارد شده بر ذخایر آبرزیان جهان برای تأمین نیاز غذایی بشر و تهدید ذخایر آبرزیان^{۳۲} جهان در اثر فعالیت‌های انسانی (FAO, 2018)، توجه‌ها را به سمت آبرزی پروری به عنوان یک فرصت برای مقابله با این چالش‌ها جلب کرده است. توسعه آبرزی پروری مسئولانه علاوه بر تأمین امنیت غذایی، در حفاظت از اکوسیستم‌های آبی نیز بسیار مؤثر است (Arjomandi et al., 2007). تجربه کشورهای مختلف نشان داده که آبرزی پروری به خصوص در کشورهای در حال توسعه می‌تواند سهم عمده‌ای در تأمین امنیت غذایی داشته باشد. بر اساس آخرین آمار منتشر شده، آبرزی پروری نزدیک به نیمی از نیاز جوامع انسانی به پروتئین با منشأ آبرزیان را تأمین می‌کند (FAO, 2019). وضعیت تولیدات شیلاتی در ایران نیز کم و بیش از الگوی جهانی تبعیت می‌کند. به طوری که حدود ۴۶ درصد از کل تولیدات شیلاتی حاصل آبرزی پروری است (Jafarian, 2009; PBO, 2017). آبرزی پروری از جمله فعالیت‌های پرهزینه بوده، که بیشتر این هزینه مربوط به احداث و استقرار کارگاه (هزینه ثابت) می‌باشد (Sharifian and Sahafi, 2016). از سوی دیگر استفاده از چشمه‌ها و رودخانه‌های مناسب (از نظر شرایط فیزیکی و شیمیایی) اساس پرورش آبرزیان است. برای محققین شیلاتی، یافتن و انتخاب بهترین منبع آبی برای فعالیت‌های آبرزی پروری همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Wurtsbaugh et al., 2015). در حال حاضر انتخاب یک مکان مناسب برای توسعه آبرزی پروری همچنان به روش سنتی و توسط کارشناسان و بر اساس پیشنهادهای سرمایه‌گذاران صورت می‌گیرد.

بر این اساس، کارشناس معمولاً پس از دریافت پیشنهاد از طرف متقاضی، به محل مراجعه کرده و برخی از مهم‌ترین شاخص‌های مکان‌یابی را ارزیابی می‌کند. اما چنانچه از کارشناسان در مورد ارجحیت منابع آبی مختلف برای روش‌های مختلف آبرزی پروری سؤال شود، با دامنه‌ی گسترده‌ای از پاسخ‌های عمدتاً نظری و متنوع روبرو خواهیم شد. این امر به دلیل عدم وجود یک سازوکار نظام‌مند برای اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری برای انتخاب مکان بهینه توسعه آبرزی پروری است. تصمیم‌گیری در عرصه‌های مختلف می‌تواند تک‌معیاره یعنی با در نظر گرفتن یک عامل انجام شود (یکی از عوامل مالی، اکولوژیکی یا بیولوژیکی) و یا ممکن است با در نظر گرفتن چندین متغیر متنوع به صورت هم‌زمان (متغیرهای اقتصادی، فرهنگی، اکولوژیکی و غیره) انجام گردد. بدیهی است هر قدر تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن متغیرهای متنوع‌تری انجام پذیرد، میزان دقت و کارایی تصمیم‌گیری بهبود خواهد یافت (Vergara-Solana et al., 2019).

روش Analytic Hierarchy Process (AHP) تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد اثرات متقابل و هم‌زمان بسیاری از وضعیت‌های پیچیده و نامعین را تعیین کنند. این فرآیند کمک می‌کند تا اولویت‌بندی‌ها بر اساس تمامی اهداف، دانش و تجربه متخصصین تنظیم گردند (Saaty, 2008; Azimi et al., 2018). برای حل مسائل تصمیم‌گیری از طریق AHP، لازم است مسئله موردنظر با همه جزئیات، تعریف و تبیین شده و جزئیات آن به صورت ساختار سلسله‌مراتبی ترسیم گردد (Lee, 2016). چانگ پیشنهاد ادغام فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) با (Fuzzy AHP) را مطرح کرد (Chang,

تحلیلی فازی (FAHP) به‌خوبی توانست کیفیت آب هشت نقطه در امتداد رودخانه یامونا (Yamona) در کشور هندوستان را به‌منظور تصمیم‌گیری برای اختصاص آب برای پنج هدف مختلف مانند کشاورزی، دام‌پروری، شرب و غیره به نحو مطلوبی رتبه‌بندی کند (Singh *et al.*, 2014). در رودخانه‌های ایران نیز طی سال‌های اخیر مطالعاتی بر پایه روش‌های نوین تصمیم‌سازی انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: در مطالعه کیفیت آب رودخانه کارون بر اساس روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) بهترین نقاط برای استقرار سیستم‌های سنجش و پایش کیفیت آب انتخاب گردید (Jafarnejad *et al.*, 2018). دستورالعمل مکان‌یابی استقرار قفس‌های پرورش ماهی در دریا بر اساس مبانی تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS-MCDM با تأکید بر روش AHP در ایران تدوین شده است (حسینجانی، ۱۳۹۷). در مطالعه‌ای که بر روی اهمیت زمین به‌عنوان یکی از پیش‌نیازهای موفقیت و پایداری در آبرزی‌پروری به روش AHP و MCDM در نواحی ساحلی هرمزگان انجام شد، بهترین مناطق برای احداث مزارع پرورش میگو انتخاب گردید (Hadipour *et al.*, 2015). همچنین از روش (AHP) به‌منظور مدیریت هدفمند شیلاتی در دریای عمان استفاده شده است (Zeraatkish, 2016). در ایران عمده تلاش‌های برای استعدادیابی مناطق مناسب برای آبرزی‌پروری معمولاً از روش‌های سنجش کیفیت آب و یا خاک یا اصطلاحاً روش‌های میدانی استفاده می‌شود مانند مطالعه‌ای که بر روی امکان‌سنجی پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در حاشیه رودخانه گاماسیاب انجام شده است (مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین تلاش‌هایی برای پهنه‌بندی مناطق مناسب برای

قابلیت AHP فازی این است که توانایی سروکار داشتن با عدم اطمینان و نسبی بودن در قضاوت‌های انسانی را دارد (Srdjevic and Medeiros, 2008; Zyoud *et al.*, 2016; Brahma and Mitra, 2019). روش ویکور (Vikor) یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره سازشی برای انتخاب بهترین گزینه است که به تصمیم‌گیری پیرامون گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف کمک می‌کند. منظور از جواب سازشی نزدیک‌ترین جواب موجه به جواب ایدئال است. تکنیک ویکور از طریق ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارهای از قبل تعیین‌شده، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند (Kim and Chung, 2013; Gul *et al.*, 2016).

امروزه تلاش‌هایی در حال شکل‌گیری است تا از شیوه‌های مدیریت تصمیم‌گیری نوین برای توسعه آبرزی‌پروری استفاده گردد. به‌عنوان مثال، در یک مطالعه دوساله بر روی رودخانه‌های Macuco و Queixada در ایالت سائوپائولو برزیل بر اساس سه شاخص کدورت، سفر کل و اکسیژن محلول، یک معیار رتبه‌دهی به کیفیت آب جهت توسعه آبرزی‌پروری پیشنهاد داده شد (Simões *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای دیگر، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای تخمین فراوانی نمونه‌برداری جهت مطالعه کیفیت آب رودخانه‌های Xindian و Jingmei در تایوان استفاده و کارایی مناسب این روش مورد تأیید قرار گرفت (Do *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای که به‌منظور رتبه‌بندی کیفیت آب در بخش‌های مختلف حوضه آبخیز TWRD در تایوان انجام شد، روش VIKOR توانست به‌طور موفقیت‌آمیزی حوضه مورد مطالعه را برای اهداف آبرزی‌پروری رتبه‌بندی کند (Chang and Lin, 2014). روش فرایند سلسله‌مراتبی

و شیمیایی آب و نظرسنجی از کارشناسان) با استفاده از روش ویکور فازی برای اهداف توسعه آبرزی پروری انجام و مناسب ترین و نامناسب ترین رودخانه‌ها برای این منظور مشخص گردید.

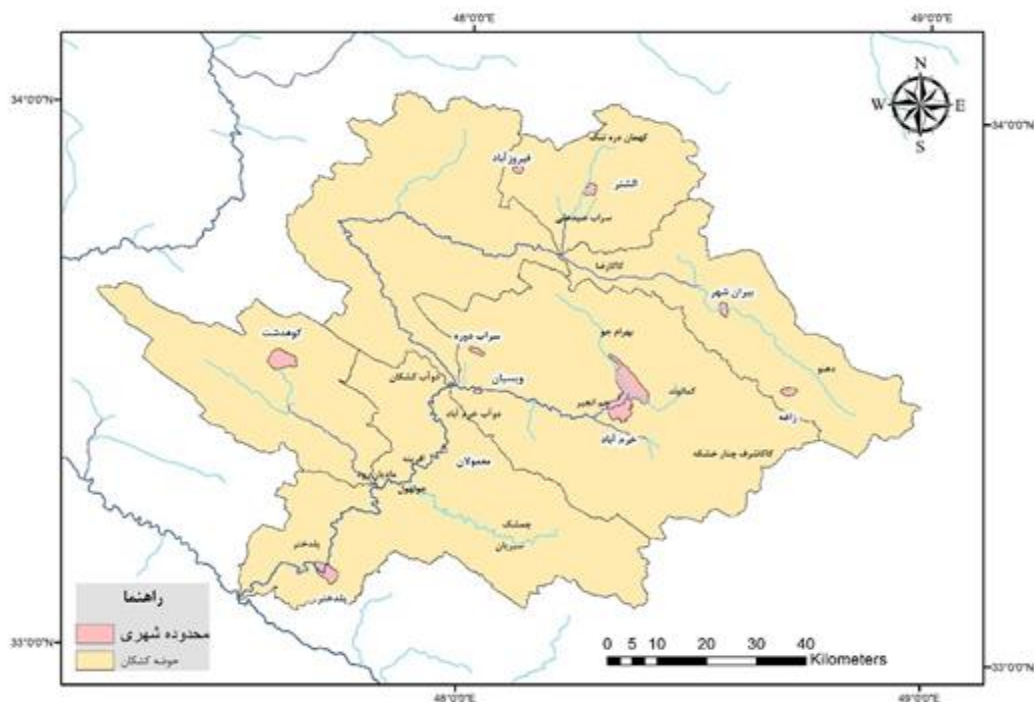
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کشکان با مساحت ۹۲۷۵/۶۶ کیلومتر مربع، در جنوب غربی ایران در استان لرستان و در مختصات جغرافیایی ۱۲° ۴۷' تا ۵۹' ۴۸° طول شرقی و ۸° ۳۳' تا ۲' ۳۴° عرض شمالی واقع شده است. تعداد ۱۳ سرشاخه دائمی از این حوضه آبریز برای این مطالعه انتخاب شد (شکل ۱). مشخصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارمترهای فیزیکی و شیمیایی آب در آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

آبرزی پروری به کمک تکنیک‌های AHP و GIS انجام شده است (حسینجانی و همکاران، ۱۳۹۷).

یکی از چالش‌های روبروی تصمیم‌گیران عرصه‌های مختلف به‌ویژه آبرزی پروری این است که انتخاب نقاط بهینه برای احداث مراکز آبرزی پروری معمولاً بر اساس متغیرهای محدود و عموماً هم‌سنخ صورت گرفته و در اغلب موارد لزوماً موجب بهره‌برداری حداکثری از منابع نمی‌گردد. بنابراین انتخاب و پیاده‌سازی یک سیستم تصمیم‌گیری مبتنی بر روش‌های علمی و محاسباتی دقیق و با لحاظ کردن فاکتورهای متنوع مکان‌یابی (کمی و کیفی) می‌تواند در بهینه‌سازی تصمیم‌گیری و کاهش هدررفت سرمایه و افزایش بهره‌وری مراکز آبرزی پروری بسیار مفید باشد. لذا در این مطالعه اولویت‌بندی رودخانه‌های حوضه کشکان در استان لرستان بر اساس پارمترهای کمی و کیفی آب شامل (خصوصیات فیزیکی



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی رودخانه‌های حوضه کشکان

جدول ۱: رودخانه‌های هدف و مشخصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری

| تاریخ تأسیس | مختصات جغرافیایی | | | کد ایستگاه | نام ایستگاه | نام رودخانه |
|----------------|------------------|-------------|-------------|------------|---------------|----------------|
| | ارتفاع | عرض | طول | | | |
| ۱۳۶۷ | ۱۴۲۰ | ۳۳° ۲۱' ۱۸" | ۴۸° ۳۱' ۰۱" | ۲۱-۹۶۶ | چنارخشکه | R1 کاکاشرف |
| ۱۳۶۸ | ۱۷۳۰ | ۳۳° ۵۶' ۱۰" | ۴۸° ۱۶' ۳۷" | ۲۱-۹۵۴ | دره تنگ الشتر | R2 کهمان |
| ۱۳۳۳ | ۱۵۳۰ | ۳۳° ۴۷' ۱۱" | ۴۸° ۱۲' ۲۵" | ۲۱-۱۷۱ | سراب صیدعلی | R3 دوآب الشتر |
| ۱۳۳۳ | ۱۵۵۰ | ۳۳° ۴۳' ۱۱" | ۴۸° ۱۵' ۲۷" | ۲۱-۱۶۹ | کاکارضا | R4 هرود |
| ۱۳۴۵ | ۹۶۰ | ۳۳° ۲۹' ۴۱" | ۴۷° ۵۷' ۵۱" | ۲۱-۱۷۳ | دوآب ویسان | R5 کشکان |
| ۱۳۴۹ | ۹۴۰ | ۳۳° ۲۳' ۲۵" | ۴۷° ۱۲' ۲۳" | ۲۱-۱۶۳ | تنگ سیاب | R6 دره دزدان |
| ۱۳۳۴ | ۸۲۰ | ۳۳° ۱۹' ۵۲" | ۴۷° ۵۳' ۳۹" | ۲۱-۱۷۷ | افرینه | R7 کشکان |
| ۱۳۳۳ | ۱۱۴۰ | ۳۳° ۲۶' ۳۷" | ۴۸° ۱۴' ۳۸" | ۲۱-۱۷۵ | چمنجیر | R8 خرم‌آباد |
| ۱۳۸۷ | ۱۳۱۰ | ۳۳° ۲۸' ۰۶" | ۴۸° ۴۹' ۰۲" | ۲۱-۸۶۱ | کمالوند | R9 کرگانه |
| ۱۳۴۹ | ۷۸۰ | ۳۳° ۱۸' ۲۰" | ۴۷° ۴۸' ۵۹" | ۲۱-۱۸۱ | برآفتاب | R10 مادیان‌رود |
| ۱۳۳۴ | ۸۰۰ | ۳۳° ۱۸' ۵۱" | ۴۷° ۵۳' ۲۲" | ۲۱-۱۷۹ | افرینه | R11 چولهول |
| ۱۳۳۴ | ۷۰۰ | ۳۳° ۰۹' ۴۳" | ۴۷° ۷۱' ۵۹" | ۲۱-۱۸۳ | پلدختر | R12 کشکان |
| ۱۳۸۳ | ۱۲۶۰ | ۳۳° ۳۴' ۳۰" | ۴۷° ۷۸' ۱۴" | ۲۱-۱۷۴ | بهرام‌جو | R13 خرم‌آباد |

روش تحقیق

پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش توصیفی-پیمایشی می‌باشد. در این تحقیق، تعداد ۹ داده مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب بر اساس آمار ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در بازه زمانی ۱۰ ساله (۹۸-۱۳۸۸) دریافت و تحلیل شد. دامنه تناسب خصوصیات کیفی آب بر اساس (استاندارد ملی ایران ۸۷۲۶) تعیین گردید. رتبه‌بندی تناسب

رودخانه‌های مورد مطالعه برای توسعه آبرزی‌پروری بر اساس ترکیب دو روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy AHP) (برای تعیین وزن هر معیار) و VIKOR (برای رتبه‌بندی رودخانه‌های هدف بر اساس وزن معیارها) انجام شد. وزن‌دهی اهمیت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده و سپس رتبه‌بندی رودخانه‌های هدف بر اساس نظرسنجی گروهی از کارشناسان دانشگاهی و متخصصان اجرایی انجام شد.

جدول ۲: شاخص‌های ارزیابی و محدوده استاندارد آن‌ها برای آبرزی پروری برابر با استاندارد ملی ۸۷۲۶

| ردیف | شاخص | دامنه مناسب برای ماهیان سردآبی |
|------|---|--------------------------------|
| ۱ | دما (T) درجه سانتی‌گراد | ۹-۱۷ درجه |
| ۲ | اکسیژن (DO) میلی‌گرم بر لیتر | ۶-۱۲ |
| ۳ | pH | ۶/۵-۸ |
| ۴ | کل موارد محلول (TDS) میلی‌گرم بر لیتر | کمتر از ۲۰۰ |
| ۵ | کل مواد معلق (TSS) میلی‌گرم بر لیتر | کمتر از ۸۰ |
| ۶ | سختی کل (TH) میلی‌گرم بر لیتر | کمتر از ۴۰۰ |
| ۷ | نیتريت (NO_2^-) میلی‌گرم بر لیتر | کمتر از ۰/۰۲ |
| ۸ | آمونیاک (NH_3) میلی‌گرم بر لیتر | کمتر از ۰/۰۱ |
| ۹ | کلر (Cl) میلی‌گرم بر لیتر | کمتر از ۰/۰۲ |

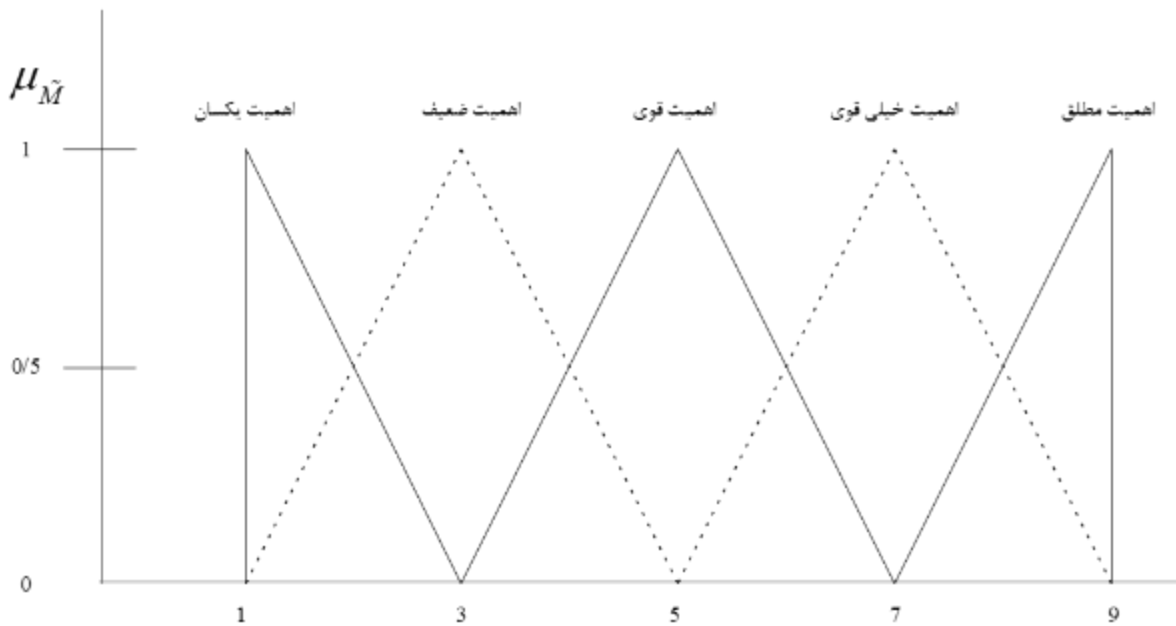
گام دوم-تشکیل ماتریس تصمیم نرمال: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم با استفاده از فرمول زیر انجام شد (Suganthi, 2018):

گام‌های پیاده‌سازی روش ترکیبی ویکور فازی در این تحقیق به طور خلاصه به صورت زیر است:
گام اول-تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری: در این ماتریس، هر گزینه بر اساس تعدادی معیار امتیازدهی می‌شود.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (1)$$

اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی به روش چانگ هستند.

گام سوم-تعیین وزن معیارها و تشکیل ماتریس وزن‌دار: برای تعیین وزن معیارها، از Fuzzy AHP استفاده شد.



شکل ۲: تابع عضویت فازی برای متغیرهای زبانی

شاخص نارضایتی (R) برای هر گزینه، طبق فرمول زیر انجام می‌شوند (Gul et al., 2016):

$$f_i^* = \max_j f_{ij}; \quad f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (2)$$

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}; \quad R_j = \max_i \left[w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \right] \quad (3)$$

W_j وزن معیار Z_j است.

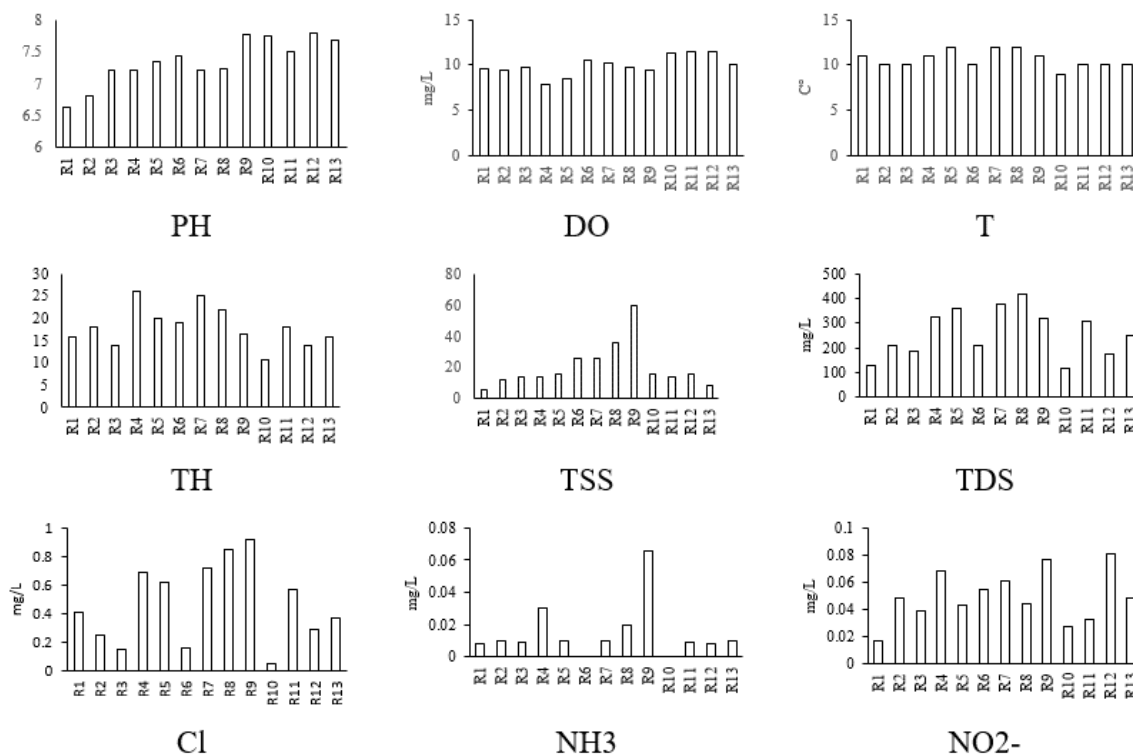
گام پنجم-محاسبه شاخص ویکور: این شاخص همان امتیاز نهایی هر گزینه و کمتر بودن آن، مطلوب‌تر است، با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q_j = v \cdot \frac{S_j - S^-}{S^* - S^-} + (1 - v) \cdot \frac{R_j - R^-}{R^* - R^-} \quad (4)$$

نتایج

رودخانه‌های هدف بالاتر از حد مجاز بوده و سایر موارد در دامنه مجاز قرار داشتند. همچنین مقدار آمونیاک در رودخانه‌های هرود و کرگانه برای بازه ده‌ساله بالاتر از مقدار استاندارد قرار گرفت (شکل ۳).

میانگین و دامنه تعداد ۹ شاخص کیفی آب بر اساس آمار ده‌ساله ایستگاه‌های هیدرومتری مستقر بر روی رودخانه‌های حوضه کشکان تهیه و وارد فرآیند تجزیه و تحلیل گردید. میزان نیتريت و کلر در برخی



شکل ۳: نمودار مقایسه میانگین ده‌ساله شاخص‌های کیفی آب در رودخانه‌های هدف: دما (T)، اکسیژن محلول (DO)، pH، کل موارد محلول (TDS)، کل مواد معلق (TSS)، سختی کل (TH)، نیتريت (NO_2^-)، آمونیاک (NH_3) و کلر (Cl)

استفاده و سطرها بیانگر رودخانه‌های مورد مطالعه بوده و میانگین امتیاز هر معیار مربوط به رودخانه در سلول‌های جدول قرار گرفته است. در پایان نتایج ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌سازی شد (جدول ۴). در ادامه، وزن‌دهی معیارها (w) به کمک روش Fuzzy AHP صورت گرفت (جدول ۵).

در ادامه نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌های کیفی آب رودخانه‌ها با ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره Fuzzy AHP و Vikor و نظر کارشناسان دانشگاهی و متخصصان اجرایی، رودخانه‌های هدف به‌منظور توسعه آبی‌پروری اولویت‌بندی شدند (جدول ۳). در ماتریس تصمیم رتبه‌ای حاصله، ستون‌ها بیانگر معیارهای مورد

جدول ۳: ماتریس تصمیم رتبه‌بندی رودخانه‌های هدف بر اساس میانگین امتیازها

| Cl | NH3 | NO2 ⁻ | TH | TSS | TDS | pH | DO | T | a _{ij} |
|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|
| ۳/۱ | ۶/۳ | ۵/۶ | ۶/۱ | ۶/۳ | ۵/۴ | ۶/۴ | ۶/۲ | ۵/۱ | R1 |
| ۴/۱ | ۶/۲ | ۲/۸ | ۶/۳ | ۶/۲ | ۴/۲ | ۶/۱ | ۶/۴ | ۶/۳ | R2 |
| ۵/۲ | ۶/۲ | ۳/۷ | ۵/۴ | ۵/۸ | ۵/۹ | ۵/۱ | ۵/۹ | ۶/۱ | R3 |
| ۲/۳ | ۱/۳ | ۵/۹ | ۵/۲ | ۵/۹ | ۳/۱ | ۵/۴ | ۵/۳ | ۵/۸ | R4 |
| ۲/۲ | ۶/۱ | ۳/۸ | ۵/۱ | ۵/۴ | ۲/۵ | ۴/۸ | ۵/۷ | ۴/۲ | R5 |
| ۵/۳ | ۶/۷ | ۶/۴ | ۵/۲ | ۵/۶ | ۴/۶ | ۵/۲ | ۴/۲ | ۵/۸ | R6 |
| ۲/۶ | ۶/۳ | ۳/۰ | ۵/۳ | ۵/۳ | ۱/۸ | ۵/۱ | ۳/۸ | ۴/۳ | R7 |
| ۲/۴ | ۳/۲ | ۳/۲ | ۴/۸ | ۴/۱ | ۲/۳ | ۵/۲ | ۵/۲ | ۴/۹ | R8 |
| ۰/۲ | ۱/۱ | ۱/۴ | ۵/۳ | ۳/۲ | ۲/۱ | ۴/۲ | ۴/۷ | ۴/۲ | R9 |
| ۵/۴ | ۶/۸ | ۳/۱ | ۶/۵ | ۲/۶ | ۵/۴ | ۴/۵ | ۴/۲ | ۶/۱ | R10 |
| ۲/۳ | ۵/۸ | ۳/۸ | ۴/۹ | ۵/۷ | ۳/۱ | ۴/۷ | ۴/۶ | ۴/۷ | R11 |
| ۴/۲ | ۶/۱ | ۶/۵ | ۴/۶ | ۵/۹ | ۳/۵ | ۴/۳ | ۳/۹ | ۴/۱ | R12 |
| ۴/۳ | ۵/۳ | ۳/۸ | ۴/۸ | ۶/۴ | ۳/۴ | ۴/۱ | ۵/۳ | ۵/۱ | R13 |

جدول ۴: ماتریس نرمال شده رتبه‌بندی رودخانه‌های هدف

| Cl | NH3 | NO2 ⁻ | TH | TSS | TDS | pH | DO | T | a _{ij} ² |
|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|
| ۹/۶۱ | ۳۹/۶۹ | ۳۱/۳۶ | ۳۷/۲۱ | ۳۹/۶۹ | ۲۹/۱۶ | ۴۰/۹۶ | ۳۸/۴۴ | ۲۶/۰۱ | R1 |
| ۱۶/۸۱ | ۳۸/۴۴ | ۷/۸۴ | ۳۹/۶۹ | ۳۸/۴۴ | ۱۷/۶۴ | ۳۷/۲۱ | ۴۰/۹۶ | ۳۹/۰۶ | R2 |
| ۲۷/۰۴ | ۳۸/۴۴ | ۱۳/۶۹ | ۲۹/۱۶ | ۳۳/۶۴ | ۳۴/۸۱ | ۲۶/۰۱ | ۳۴/۸۱ | ۳۷/۲۱ | R3 |
| ۵/۲۹ | ۱/۶۹ | ۳۴/۸۱ | ۲۷/۰۴ | ۳۴/۸۱ | ۹/۶۱ | ۲۹/۱۶ | ۲۸/۰۹ | ۳۳/۶۴ | R4 |
| ۴/۸۴ | ۳۷/۲۱ | ۱۴/۴۴ | ۲۶/۰۱ | ۲۹/۱۶ | ۶/۲۵ | ۲۳/۰۴ | ۳۲/۴۹ | ۱۷/۶۴ | R5 |
| ۲۸/۰۹ | ۴۴/۰۹ | ۴۰/۹۶ | ۲۷/۰۴ | ۳۱/۳۶ | ۲۱/۱۶ | ۲۷/۰۴ | ۱۷/۶۴ | ۳۳/۶۴ | R6 |
| ۶/۷۶ | ۳۹/۶۹ | ۹/۰۰ | ۲۸/۰۹ | ۲۸/۰۹ | ۳/۲۴ | ۲۶/۰۱ | ۱۴/۴۴ | ۱۸/۴۹ | R7 |
| ۵/۷۶ | ۱۰/۲۴ | ۱۰/۲۴ | ۲۳/۰۴ | ۱۶/۸۱ | ۵/۲۹ | ۲۷/۰۴ | ۲۷/۰۴ | ۲۴/۰۱ | R8 |
| ۰/۰۴ | ۱/۲۱ | ۲/۹۶ | ۲۸/۰۹ | ۱۰/۲۴ | ۴/۴۱ | ۱۷/۶۴ | ۲۲/۰۹ | ۱۷/۶۴ | R9 |
| ۲۹/۱۶ | ۴۶/۲۴ | ۹/۶۱ | ۴۲/۲۵ | ۳۸/۴۴ | ۲۹/۱۶ | ۲۰/۲۵ | ۱۷/۶۴ | ۳۷/۲۱ | R10 |
| ۵/۲۹ | ۳۳/۶۴ | ۱۴/۴۴ | ۲۴/۰۱ | ۳۲/۴۹ | ۹/۶۱ | ۲۲/۰۹ | ۲۱/۱۶ | ۲۲/۰۹ | R11 |
| ۱۷/۶۴ | ۳۷/۲۱ | ۴۲/۲۵ | ۲۱/۱۶ | ۳۴/۸۱ | ۲۸/۰۹ | ۱۸/۴۹ | ۱۵/۲۱ | ۱۶/۸۱ | R12 |
| ۱۸/۴۹ | ۲۸/۰۹ | ۴۴/۱۴ | ۲۳/۰۴ | ۴۰/۹۶ | ۱۱/۵۶ | ۱۶/۸۱ | ۲۸/۰۹ | ۲۶/۰۱ | R13 |

جدول ۵: وزن معیارهای به دست آمده در Fuzzy AHP

| وزن | Cl | NH3 | NO2- | TH | TSS | TDS | pH | DO | T | معیار |
|-------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| ۰/۲۳۴ | (۳،۵،۷) | (۱،۳،۳) | (۱،۳،۳) | (۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) | (۵،۷،۹) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۳،۵،۷) | (۵،۹،۷) | (۱،۱،۱) | T |
| ۰/۱۸۶ | (۱،۳،۳) | (۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) | (۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) | (۷،۹،۹) | (۱،۳،۳) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۱،۳،۵) | (۱،۱،۱) | (۱/۹، ۱/۷، ۱/۵) | DO |
| ۰/۱۳۲ | (۵،۷،۹) | (۳،۵،۷) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۱،۳،۳) | (۱،۳،۳) | (۵،۷،۹) | (۱،۱،۱) | (۱/۵، ۱/۳، ۱) | (۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) | pH |
| ۰/۰۴۲ | (۱) | (۵،۷،۹) | (۱،۳،۵) | (۱،۳،۵) | (۱،۳،۵) | (۱،۱،۱) | (۱/۹، ۱/۷، ۱/۵) | (۱،۳،۳) | (۱،۳،۳) | TDS |
| ۰/۰۷۳ | (۱،۳،۳) | (۳،۵،۷) | (۳،۵،۷) | (۱/۵، ۱/۳، ۱) | (۱،۱،۱) | (۱/۵، ۱/۳، ۱) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۱/۹، ۱/۷، ۱/۵) | TSS |
| ۰/۱۲۷ | (۵،۷،۹) | (۵،۷،۹) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۱،۱،۱) | (۱،۳،۵) | (۱/۵، ۱/۳، ۱) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۱/۹، ۱/۹، ۱/۷) | (۳،۵،۷) | TH |
| ۰/۰۵۵ | (۱/۳، ۱) | (۳،۵،۷) | (۱،۱،۱) | (۱،۳،۳) | (۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) | (۱/۵، ۱/۳، ۱) | (۱،۳،۳) | (۱،۳،۵) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | NO2- |
| ۰/۱۱۸ | (۱،۳،۳) | (۱،۱،۱) | (۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) | (۱/۹، ۱/۷، ۱/۵) | (۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) | (۱/۹، ۱/۷، ۱/۵) | (۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) | (۱،۳،۵) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | NH3 |
| ۰/۰۳۳ | (۱،۱،۱) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۱،۳،۵) | (۱/۹، ۱/۷، ۱/۵) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۱،۳،۳) | (۱/۹، ۱/۷، ۱/۵) | (۱/۳، ۱/۳، ۱) | (۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) | Cl |

رودخانه‌های هدف ضرب شده و ماتریس نرمال وزنی به دست آمد (جدول ۶).

پس از وزن دهی به شاخص‌ها، ماتریس نرمال شده در وزن به دست آمده معیارهای مؤثر جهت رتبه‌بندی

جدول ۶: ماتریس نرمال شده وزنی شاخص‌های تصمیم‌گیری

| Cl | NH3 | NO2- | TH | TSS | TDS | pH | DO | T | v_{ij} |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| ۰/۰۰۷۷ | ۰/۰۳۷۳ | ۰/۰۱۹۷ | ۰/۰۴۰۰ | ۰/۰۲۲۹ | ۰/۰۱۵۷ | ۰/۰۴۶۴ | ۰/۰۶۲۷ | ۰/۰۶۳۸ | R1 |
| ۰/۰۱۰۲ | ۰/۰۳۶۷ | ۰/۰۰۹۸ | ۰/۰۴۱۳ | ۰/۰۲۲۵ | ۰/۰۱۲۲ | ۰/۰۴۴۲ | ۰/۰۶۴۷ | ۰/۰۷۸۲ | R2 |
| ۰/۰۱۳۰ | ۰/۰۳۶۷ | ۰/۰۱۳۰ | ۰/۰۳۵۴ | ۰/۰۲۱۱ | ۰/۰۱۷۱ | ۰/۰۳۷۰ | ۰/۰۵۹۷ | ۰/۰۷۶۴ | R3 |
| ۰/۰۰۵۷ | ۰/۰۰۷۷ | ۰/۰۲۰۷ | ۰/۰۳۴۱ | ۰/۰۲۱۴ | ۰/۰۰۹۰ | ۰/۰۳۹۱ | ۰/۰۵۳۶ | ۰/۰۷۲۶ | R4 |
| ۰/۰۰۵۷ | ۰/۰۳۶۱ | ۰/۰۱۳۴ | ۰/۰۳۳۴ | ۰/۰۱۹۶ | ۰/۰۰۷۲ | ۰/۰۳۴۸ | ۰/۰۵۷۷ | ۰/۰۵۲۶ | R5 |
| ۰/۰۱۳۲ | ۰/۰۳۹۷ | ۰/۰۲۲۵ | ۰/۰۳۴۱ | ۰/۰۲۰۳ | ۰/۰۱۳۳ | ۰/۰۳۷۷ | ۰/۰۴۲۵ | ۰/۰۷۲۶ | R6 |
| ۰/۰۰۶۵ | ۰/۰۳۷۳ | ۰/۰۱۰۵ | ۰/۰۳۴۷ | ۰/۰۱۹۲ | ۰/۰۰۵۲ | ۰/۰۳۷۰ | ۰/۰۳۸۴ | ۰/۰۵۳۸ | R7 |
| ۰/۰۰۶۰ | ۰/۰۱۹۰ | ۰/۰۱۱۲ | ۰/۰۳۱۴ | ۰/۰۱۴۹ | ۰/۰۰۶۷ | ۰/۰۳۷۷ | ۰/۰۵۲۶ | ۰/۰۶۱۳ | R8 |
| ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۶۵ | ۰/۰۰۴۹ | ۰/۰۳۴۷ | ۰/۰۱۱۶ | ۰/۰۰۶۱ | ۰/۰۳۰۴ | ۰/۰۴۷۵ | ۰/۰۵۲۶ | R9 |
| ۰/۰۱۳۵ | ۰/۰۴۰۳ | ۰/۰۱۰۹ | ۰/۰۴۲۶ | ۰/۰۲۲۵ | ۰/۰۱۵۷ | ۰/۰۳۲۶ | ۰/۰۴۲۵ | ۰/۰۷۶۴ | R10 |
| ۰/۰۰۵۷ | ۰/۰۳۴۴ | ۰/۰۱۳۴ | ۰/۰۳۲۱ | ۰/۰۲۰۷ | ۰/۰۰۹۰ | ۰/۰۳۴۱ | ۰/۰۴۶۲ | ۰/۰۵۸۸ | R11 |
| ۰/۰۱۰۵ | ۰/۰۳۶۱ | ۰/۰۲۲۸ | ۰/۰۳۰۱ | ۰/۰۲۱۴ | ۰/۰۱۵۴ | ۰/۰۳۱۲ | ۰/۰۳۹۵ | ۰/۰۵۱۳ | R12 |
| ۰/۰۱۰۷ | ۰/۰۳۱۴ | ۰/۰۱۳۴ | ۰/۰۳۱۴ | ۰/۰۲۳۲ | ۰/۰۰۹۹ | ۰/۰۲۹۷ | ۰/۰۵۳۶ | ۰/۰۶۳۸ | R13 |

تصمیم‌گیری ضرب شد، سپس مقدار S_j و R_j به دست آمد. در (جدول ۷ و جدول ۸) مقدار بالاترین و پایین‌ترین ارزش معیارها و میزان برآورد S_j و R_j آمده است.

در ادامه بالاترین ارزش f_i^+ و پایین‌ترین ارزش f_i^- توابع معیار استخراج شده و ارزش S_j (شاخص مطلوبیت) و R_j (شاخص ناراضایتی) محاسبه گردید. بدین منظور ابتدا وزن‌های به دست آمده در Fuzzy AHP در ماتریس

جدول ۷: بالاترین و پایین‌ترین ارزش معیارها

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| ۰/۰۱۳۵ | ۰/۰۴۰۳ | ۰/۰۲۲۸ | ۰/۰۴۲۶ | ۰/۰۲۳۲ | ۰/۰۱۷۱ | ۰/۰۴۶۴ | ۰/۰۶۴۷ | ۰/۰۷۸۲ | $f^* (max)$ |
| ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۶۵ | ۰/۰۰۴۹ | ۰/۰۳۰۱ | ۰/۰۱۱۶ | ۰/۰۰۵۲ | ۰/۰۲۹۷ | ۰/۰۳۸۴ | ۰/۰۵۱۳ | $f^- (min)$ |
| ۰/۰۱۳۰ | ۰/۰۳۳۸ | ۰/۰۱۷۹ | ۰/۰۱۲۴ | ۰/۰۱۱۶ | ۰/۰۱۱۹ | ۰/۰۱۶۷ | ۰/۰۵۶۳ | ۰/۰۲۶۹ | (f^*-f^-) |

جدول ۸: ضرب اوزان معیارها در ماتریس تصمیم‌گیری و محاسبه S_i و R_i و Q_i

| CI | NH3 | NO2- | TH | TSS | TDS | pH | DO | T | $(f^*-fkj)/(f^*-f^-)$ |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| ۰/۰۱۴۶ | ۰/۰۱۰۴ | ۰/۰۰۹۷ | ۰/۰۲۶۷ | ۰/۰۰۲۳ | ۰/۰۰۵۱ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۱۴۳ | ۰/۱۲۵۲ | R1 |
| ۰/۰۰۸۳ | ۰/۰۱۲۴ | ۰/۰۳۹۹ | ۰/۰۱۳۴ | ۰/۰۰۴۶ | ۰/۰۱۷۴ | ۰/۰۱۷۲ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | R2 |
| ۰/۰۰۱۳ | ۰/۰۱۲۴ | ۰/۰۳۰۲ | ۰/۰۷۳۵ | ۰/۰۱۳۸ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۷۴۶ | ۰/۰۳۵۸ | ۰/۰۱۶۳ | R3 |
| ۰/۰۱۹۷ | ۰/۱۱۳۹ | ۰/۰۰۶۵ | ۰/۰۸۶۹ | ۰/۰۱۱۵ | ۰/۰۲۸۷ | ۰/۰۵۷۴ | ۰/۰۷۸۷ | ۰/۰۴۹۰ | R4 |
| ۰/۰۲۰۳ | ۰/۰۱۴۵ | ۰/۰۲۹۱ | ۰/۰۹۳۶ | ۰/۰۲۲۹ | ۰/۰۳۴۸ | ۰/۰۹۱۸ | ۰/۰۵۰۱ | ۰/۲۲۳۱ | R5 |
| ۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۰۲۱ | ۰/۰۰۱۱ | ۰/۰۸۶۹ | ۰/۰۱۸۴ | ۰/۰۱۳۳ | ۰/۰۶۸۹ | ۰/۱۵۷۴ | ۰/۰۴۹۰ | R6 |
| ۰/۰۱۷۸ | ۰/۰۱۰۴ | ۰/۰۳۷۷ | ۰/۰۸۰۲ | ۰/۰۲۵۲ | ۰/۰۴۲۰ | ۰/۰۷۴۶ | ۰/۱۸۶۰ | ۰/۲۱۲۲ | R7 |
| ۰/۰۱۹۱ | ۰/۰۷۴۵ | ۰/۰۳۵۶ | ۰/۱۱۳۶ | ۰/۰۵۲۸ | ۰/۰۳۶۹ | ۰/۰۶۸۹ | ۰/۰۸۵۸ | ۰/۱۴۶۹ | R8 |
| ۰/۰۳۳۰ | ۰/۱۱۸۰ | ۰/۰۵۵۰ | ۰/۰۸۰۲ | ۰/۰۷۳۴ | ۰/۰۳۸۹ | ۰/۱۲۶۳ | ۰/۱۲۱۶ | ۰/۲۲۳۱ | R9 |
| ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۳۶۷ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۴۶ | ۰/۰۰۵۱ | ۰/۱۰۹۰ | ۰/۱۵۷۴ | ۰/۰۱۶۳ | R10 |
| ۰/۰۱۹۷ | ۰/۰۲۰۷ | ۰/۰۲۹۱ | ۰/۱۰۶۹ | ۰/۰۱۶۱ | ۰/۰۲۸۷ | ۰/۰۹۷۶ | ۰/۱۲۸۸ | ۰/۱۶۸۷ | R11 |
| ۰/۰۰۷۶ | ۰/۰۱۴۵ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۱۲۷۰ | ۰/۰۱۱۵ | ۰/۰۰۶۱ | ۰/۱۲۰۵ | ۰/۱۷۸۸ | ۰/۲۳۴۰ | R12 |
| ۰/۰۰۷۰ | ۰/۰۳۱۱ | ۰/۰۲۹۱ | ۰/۱۱۳۶ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۲۵۶ | ۰/۱۳۲۰ | ۰/۰۷۸۷ | ۰/۱۲۵۲ | R13 |

بالاترین اولویت محسوب می‌گردد. بنابراین اولویت رودخانه‌های حوضه کشکان جهت توسعه آبرزی‌پروری به ترتیب به صورت کهمان < دوآب الشتر < کاکاشرف <

در نهایت رتبه‌بندی رودخانه‌های هدف بر اساس مقادیر Q_i و ضریب ویکور ($V=0.5$) محاسبه گردید (جدول ۹). بر این اساس، کمترین مقدار Q به عنوان

ماهیان سردآبی نسبت به ماهیان گرم آبی به کمبود اکسیژن، بررسی پارامتر اکسیژن محلول در آب و میزان TDS برای این سه رودخانه منتخب نشان داد که میزان اکسیژن محلول در آب آن‌ها در محدوده مجاز ۶ تا ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر و کل جامدات محلول در آب در محدوده مجاز کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. میزان pH آن‌ها نیز در دامنه مناسب ۶/۵ تا ۸ بوده و این وضعیت تأثیرات زیادی در بهبود رشد و سلامتی ماهی دارد. دامنه سختی آب رودخانه‌های منتخب نیز در محدوده مجاز کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مناسب می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه هر سه رودخانه منتخب از چشمه‌های آب زلال سرچشمه می‌گیرند، به‌صورت طبیعی زیستگاه مناسبی برای ماهی سردآبی هستند (استاندارد ملی ایران ۸۷۲۶).

هرود < مادیان رود < دره دزدان < خرم‌آباد (بهرام‌جو) < خرم‌آباد (چم انجیر) < چولهول < کشکان (دوآب و سیان) < کشکان (افرینه) < کشکان (پلدختر) < کرگانه تعیین گردید.

در بین رودخانه‌های هدف به ترتیب رودخانه کهمان با پایین‌ترین امتیاز ($Q=0.011$) در اولویت اول، رودخانه دوآب الشتر با امتیاز ($Q=0.185$) در اولویت دوم و رودخانه کاکاشرف با امتیاز ($Q=0.283$) در اولویت سوم مناسب‌ترین رودخانه‌ها جهت توسعه آبی‌پروری (سردآبی) در حوضه کشکان تشخیص داده شدند. میانگین ده‌ساله دمای رودخانه‌های منتخب در محدوده مجاز ۹ تا ۱۷ می‌باشد و برای تغذیه رشد و تکثیر ماهی مناسب است، با توجه به اهمیت اکسیژن محلول در آب، برای حیات، رشد و افزایش تولید ماهی و حساسیت

جدول ۹: مقدار Q و رتبه‌بندی نهایی رودخانه‌های هدف جهت توسعه آبی‌پروری

| اولویت | Q | رودخانه‌ها |
|--------|-------|-------------------------|
| ۱ | ۰/۰۱۱ | کهمان R2 |
| ۲ | ۰/۱۸۵ | دوآب الشتر R3 |
| ۳ | ۰/۲۸۳ | کاکاشرف R1 |
| ۴ | ۰/۴۱۵ | هرود R4 |
| ۵ | ۰/۴۴۵ | مادیان رود R10 |
| ۶ | ۰/۴۹۱ | دره دزدان R6 |
| ۷ | ۰/۵۲۱ | خرم‌آباد (بهرام‌جو) R13 |
| ۸ | ۰/۶۲۰ | خرم‌آباد (چم انجیر) R8 |
| ۹ | ۰/۶۶۴ | چولهول R11 |
| ۱۰ | ۰/۷۸۱ | کشکان (دوآب و سیان) R5 |
| ۱۱ | ۰/۸۲۳ | کشکان (افرینه) R7 |
| ۱۲ | ۰/۸۸۸ | کشکان (پلدختر) R12 |
| ۱۳ | ۰/۹۷۲ | کرگانه R9 |

بحث

مکان‌یابی و سرمایه‌گذاری برای احداث مراکز آبرزی‌پروری با توجه به نیاز ذاتی آبریان مستلزم در نظر گرفتن شاخص‌های کیفی آب است (Koshe and Moier, 2004; FAO, 2014). روش مرسوم در مکان‌یابی احداث مزارع پرورش ماهیان سردآبی نیازمند مراحل زیر است: پیشنهاد یک منبع آب و زمین به اداره شیلات، بازدید میدانی کارشناسان شیلات، صدور مجوز یا رد درخواست متقاضی بر اساس معیارهای مربوطه. هرچند این روش می‌تواند در جای خود کارگشا باشد، اما تصمیم‌گیری کلان و برنامه‌ریزی برای توسعه منطقه‌ای آبرزی‌پروری نمی‌تواند به این شکل به نتایج ارزشمندی دست یابد. کارشناسان شیلاتی برای تصمیم‌گیری در مورد یک مکان پیشنهادی معمولاً چند شاخص کلیدی مانند دمای آب، اکسیژن محلول، دبی، شیب زمین و غیره را مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهند (عمادی، ۱۳۹۲؛ سمائی، ۱۳۹۳). بدیهی است برای تصمیم‌گیری بهتر لازم است علاوه بر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی که شاخص‌های کمی هستند، شاخص‌های کیفی مانند وضعیت اجتماعی، نظرات کارشناسی، اولویت‌های توسعه کشاورزی و بسیاری موارد دیگر را در معادلات وارد کرد. مسلماً با افزایش تعداد مؤلفه‌های مؤثر در نتیجه، فرایند تصمیم‌گیری پیچیده‌تر می‌گردد. در این حالت دیگر محاسبات تجربی و نظرات کارشناسی به‌تنهایی پاسخگو نبوده و نیازمند یک سیستم تصمیم‌سازی چندمعیاری هستیم تا بهترین نتیجه را کسب کنیم. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (Fuzzy AHP) و تلفیق آن با تکنیک VIKOR می‌تواند با در نظر گرفتن تمامی مؤلفه‌های مهم، ما را به صورت گام‌به‌گام به سمت

رتبه‌بندی مکان‌های پیشنهادی بر اساس امتیاز و اولویت آن‌ها برای هدف موردنظر سوق دهد. در مطالعه مکان‌یابی استقرار پایدار قفس‌های پرورش ماهی در تایوان از تلفیق تکنیک AHP و GIS به‌خوبی بهره‌برداری شده و مشخص گردید که فاکتورهای جغرافیایی-محیطی مهم‌ترین فاکتورها در مکان‌یابی هستند (Shih, 2017). ترکیب روش AHP و داده‌های زمین‌شناسی اخذ شده از سازمان‌های دولتی به‌خوبی برای رتبه‌بندی مکان‌های مناسب جهت توسعه آبرزی‌پروری در کشور برزیل به کار گرفته شده است (Francisco et al., 2019). در مطالعه حاضر نیز با استفاده از ترکیب روش‌های VIKOR و Fuzzy AHP و بر اساس داده‌های فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌ها و نظر متخصصین امر عمل رتبه‌بندی رودخانه‌های حوضه کشکان برای هدف پرورش ماهیان سردآبی انجام شد. بر اساس نتایج حاصله، رودخانه‌های کهمان و کرگانه به ترتیب بهترین و بدترین رودخانه و شاخص دما مهم‌ترین عامل مؤثر بر توسعه پرورش ماهیان سردآبی تعیین گردید. از نقاط قوت این روش این است که بر انتخاب از یک مجموعه گزینه‌های با ماهیت متنوع تمرکز داشته و جواب‌های سازشی را برای یک مسئله با معیارهای متضاد تعیین می‌کند، به‌طوری‌که قادر است عوامل را برای دستیابی به یک تصمیم نهایی یاری دهد. در این میان، استفاده از منطق فازی و در نظر گرفتن عدم قطعیت می‌تواند حل مسئله رتبه‌بندی را مطلوب‌تر نماید. همچنین در این پژوهش، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، معیار نزدیکی نسبی به راه‌حل ایدئال محاسبه می‌شود که در مقایسه با پژوهش‌های مشابه در زمینه تصمیم‌گیری چندمعیاره دارای دقت و نوآوری بیشتری می‌باشد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر با حمایت مالی دانشگاه لرستان تهیه شده-

منابع

۱. حسینیجانی، ع.، ۱۳۹۷. مکان‌یابی مناطق مناسب استقرار قفس‌های پرورش ماهی در دریا بر اساس روش‌های مبتنی بر GIS-MCDM با تأکید بر روش AHP. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۳۸ صفحه.
۲. حسینیجانی، ع.، خارا، ح.، جمالزادفلاح، ف.، حقیقی‌خامی، م.، ۱۳۹۷. پهنه‌بندی مناطق مناسب جهت احداث کارگاه‌های پرورش ماهیان سردآبی با استفاده از تلفیق روش AHP/GIS. نشریه توسعه آبی‌پروری، ۱۲(۴)، ۲۷-۱۷.
۳. سمائی، س. م.، ۱۳۹۳. پرورش ماهیان سردآبی در منابع آبی خرد. نشرآموزش (مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی). ۸۴ صفحه.
۴. عمادی، ح.، ۱۳۹۲. تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلا و آزاد. علمی آبیان، تهران، ۲۶۴ صفحه.
۵. مهدی‌زاده، غ.، حسینیجانی، ع.، عباسی، ک.، صابری، ح.، چکمه‌دوزقاسمی، ف.، قانع، ا.، بابایی، ه.، صادقی‌نژاد، ا.، احمدنژاد، م.، ۱۳۹۵. امکان‌سنجی اراضی حاشیه رودخانه گاماسیاب برای پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان. نشریه توسعه آبی‌پروری، ۱۰(۱)، ۱۴۹-۱۳۳.
6. Arjomandi, R., Karbasi, A., Mogoi, R., 2007. Investigation of environmental impacts of aquaculture in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9, 19-28.
7. Azimi, S.-M., Moghaddam, A., Arman, S., Monfared, H., 2018. Spatial assessment of the potential of groundwater quality using fuzzy AHP in GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 142.
8. Brahma, A.K., Mitra, D.K., 2019. Fuzzy AHP and Fuzzy VIKOR Approach modelling for flood control project selection. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14, 3579-3589.
9. Chang, C.L., Lin, Y.T., 2014. Using the VIKOR method to evaluate the design of a water quality monitoring network in a watershed. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 303-310.
10. Chang, D.-Y., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655.
11. Do, H.T., Lo, S.-L., Thi, L.A.P., 2013. Calculating of river water quality sampling frequency by the analytic hierarchy process (AHP). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 909-916.
12. FAO, 2014. The State of World Fisheries and Aquaculture (Opportunities and challenges). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Report number: 243 p.
13. FAO, 2018. Fishery and Aquaculture Statistics. FAO, Roma, 104 p.
14. FAO, 2019. FAO: Challenges and Opportunities in a Global World. FAO, Rome, 325 p.
15. Francisco, H.R., Corrêa, A.F., Feiden, A., 2019. Classification of Areas Suitable for Fish Farming Using Geotechnology and Multi-Criteria Analysis. *International Journal of Geo-Information*, 8, 1-19.
16. Gul, M., Celik, E., Aydin, N., Gumus, A.T., Guneri, A.F., 2016. A state of the art literature review of VIKOR and its fuzzy extensions on applications. *Applied Soft Computing*, 46, 60-89.

است.

27. Simões, F.d.S., Moreira, A.B., Bisinoti, M.C., Gimenez, S.M.N., Yabe, M.J.S., 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*, 8, 476-484.
28. Singh, A.P., Srinivas, R., Kumar, S., Chakrabarti, S., 2014. Water quality assessment of a River Basin under fuzzy multi-criteria framework. *International Journal of Water*, 9, 226-247.
29. Srdjevic, B., Medeiros, Y.D.P., 2008. Fuzzy AHP Assessment of Water Management Plans. *Water Resources Management*, 22, 877-894.
30. Suganthi, L., 2018. Multi expert and multi criteria evaluation of sectoral investments for sustainable development: An integrated fuzzy AHP, VIKOR / DEA methodology. *Sustainable Cities and Society*, 43, 144-156.
31. Vergara-Solana, F., Araneda, M.E., Ponce-Díaz, G., 2019. Opportunities for strengthening aquaculture industry through multicriteria decision-making. *Reviews in Aquaculture*, 11, 105-118.
32. Wurtsbaugh, W.A., Heredia, N.A., Laub, B.G., Meredith, C.S., Mohn, H.E., Null, S.E., Pluth, D.A., Roper, B.B., Saunders, W.C., Stevens, D.K., Walker, R.H., Wheeler, a.K., 2015. Approaches for studying fish production: Do river and lake researchers have different perspectives? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72, 149-160.
33. Zeraatkish, S.Y., 2016. Utilization of analytic hierarchy process (AHP) to meet management objectives in fishery industry of the Sea of Oman. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15, 1379-1387.
34. Zyoud, S.H., Kaufmann, L.G., Shaheen, H., Samhan, S., Fuchs-Hanusch, D., 2016. A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 61, 86-105.
17. Hadipour, A., Vafaie, F., Hadipour, V., 2015. Land suitability evaluation for brackish water aquaculture development in coastal area of Hormozgan, Iran. *Aquaculture International*, 23, 329-343.
18. Jafarian, H., 2009. Development of sustainable aquaculture using probiotics in Iran. *Journal of Fisheries*, 2, 1-11.
19. Jafarnejad, M., Azimi, A., Asadolah-Fardi, G., Shokoohi, M., 2018. Evaluation of Karun River Water Quality Monitoring System Using MCDM Optimization Approach with Point and Nonlinear Pollutant Impact Approach. In: (Eds.), *Proceeding of Conference of Iranian Water Resources Management*, Yazd. pp. 1-8.
20. Kim, Y., Chung, E.-S., 2013. Fuzzy VIKOR approach for assessing the vulnerability of the water supply to climate change and variability in South Korea. *Applied Mathematical Modelling* 37, 9419-9430.
21. Koshe, E.G., Moier, G.F., 2004. *Freshwater fish rearing management*. Noorbakhsh Publication, Tehran, 416 p.
22. Lee, S., 2016. Application of AHP and Fuzzy AHP to Decision-Making Problems in Construction. In: (Eds.), *Proceeding of 52nd ASC Annual International Conference Proceedings*, Provo. pp .
23. PBO, 2017. *Statistical Yearbook of Lorestan Province*. Lorestan Province Management and Planning organization, Lorestan, 636 p.
24. Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1, 83-98.
25. Sharifian, M., Sahafi, H.H., 2016. Technical Instructions for Calculating the Effect of Effective Management and Force Factors on Production of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Breeding Centers for Insurance Operations. *Iranian Fisheries science Reserch Institute*, Tehran, 60 p.
26. Shih, Y.-C., 2017. Integrated GIS and AHP for Marine Aquaculture Site Selection in Penghu Cove in Taiwan. *Journal of Coastal Zone Management*, 20, 1-6.