

استفاده از منطق فازی در مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی آبخوان با تلفیق روشهای AHP و FTOPSIS

مجید رضانی مهریان^{۱*}، بهرام ملک محمدی^۲، یوسف رفیعی^۳

۱- دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۲- استادیار برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران malekb@ut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران yusefrafii@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۹

چکیده

موفقیت طرح‌های تغذیه مصنوعی مستلزم شناسایی مکان مناسب برای احداث طرح تغذیه است. استفاده از نظریه مجموعه فازی در مکان‌یابی پروژه‌ها، امکان استفاده از اطلاعات کیفی و غیر قطعی را به تصمیم‌گیر می‌دهد. براین اساس در تحقیقات جدید مکان‌یابی پروژه‌ها به روش تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از منطق فازی مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله با رویکرد نو مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی با استفاده از منطق فازی با ترکیب روشهای FTOPSIS و AHP در محیط رستر نرم افزار GIS انجام شده است. روش FTOPSIS یکی از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره است که با کاربرد منطق فازی در روش TOPSIS توسعه یافته است. با انتخاب دشت شمیل و آشکارا به عنوان مطالعه موردی روش پیشنهادی، معیارهای شیب، هدایت الکتریکی، نیروی سیل‌خیزی، زمین شناسی، کاربری زمین و عمق آبهای زیرزمینی برای انتخاب محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از منطق فازی نظر تصمیم‌گیر در قالب اعداد فازی مثلی در وزن‌دهی به طبقات این معیارها اعمال شده است. برای اعتبار دهی به روش پیشنهادی نتایج آن با نتایج به‌دست آمده از روش AHP مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره برای طراحی ساختار، ارزیابی و اولویت بندی گزینه‌های تصمیم و به‌کارگیری GIS برای تجزیه و تحلیل حجم بالای داده‌های جغرافیایی در کنار منطق فازی به‌منظور استفاده از واژه‌های زبانی در قضاوت کارشناسانه ابزار کارآمدی را برای مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی فراهم می‌کند.

کلید واژه

مکان‌یابی، تغذیه مصنوعی آبخوان، تصمیم‌گیری چندمعیاره، سیستم اطلاعات جغرافیایی، منطق فازی

سر آغاز

فازی موجب ایجاد روشهای متنوعی در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره شده است (Cavallaro, 2010 ; Amiri, 2010). روش تعیین ارجحیت با استفاده از میزان نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل^۱ (TOPSIS) یکی از مهمترین روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره محسوب می‌شود. هانگ و یان TOPSIS را برای اولین بار توسعه دادند (Hwang and Yoon, 1981). این روش به طور گسترده‌ای برای اولویت بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. با این حال به دلیل ناتوانی در مدیریت عدم قطعیت ذاتی و کاهش دقت ناشی از اعمال نظر تصمیم‌گیر، به صورت اعداد قاطع مورد نقد است (Amiri, 2010). در روش TOPSIS قضاوت‌های شخصی به صورت اعداد قاطع ارائه می‌شوند. که این باعث می‌شود در بسیاری از موارد عملی نتایج اولویت‌بندی این مدل دقیق نبوده و مطلوب تصمیم‌گیر

یکی از نقاط ضعف فرایندهای ارزشیابی کلاسیک این است که تصمیم‌گیر مجبور است نتیجه قضاوت خود را با یک عدد بیان کند. معمولاً افراد تصمیم‌گیر ترجیح می‌دهند به جای یک عدد قاطع قضاوت خود را به صورت گسترده‌ای از اعداد ارائه دهند. در واقع روشهایی که بر پایه قضاوت‌های ارزشی هستند نمی‌توانند ابهامات و عدم قطعیت‌های موجود در ذهن تصمیم‌گیر را در نتیجه نهایی اعمال کنند. استفاده از نظریه مجموعه فازی اجازه استفاده از اطلاعات کیفی و غیر قطعی را به تصمیم‌گیر می‌دهند. براین اساس حل مسائل مربوط به روش تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از منطق فازی رواج پیدا کرده است. تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در علم تصمیم‌گیری مورد توجه ویژه قرار گرفته و استفاده از منطق

مکان یابی از مهمترین مسائل در تغذیه مصنوعی به حساب می آید (Bouwer, 2002). تاکنون مطالعات مختلفی جهت مکان یابی محل های تغذیه مصنوعی انجام شده است. راملینگام و سانتاکوماربا استفاده از روشهای GIS و سنجش از دور با در نظر گرفتن معیارهای ژئومرفولوژی، زمین شناسی، خاک، شیب، کاربری زمین، شدت رواناب، عمق آبهای زیرزمینی به بررسی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی در ایالتی در هند پرداختند (Ramalingam and Santhakumar, 2002). قیومیان و همکارانش با استفاده از روی هم گذاری لایه های شیب، نرخ نفوذپذیری، عمق آبهای زیر زمینی، کیفیت رسوبات آبرفتی و کاربری زمین، محل های مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان ساحلی در حوضه آبریز گاوبندی در جنوب ایران را مشخص کردند (Ghayoumian, et al., 2007). در تحقیقی که حکمت پور و همکارانش (۱۳۸۶) انجام دادند مناطق مستعد تغذیه مصنوعی در دشت ورامین از طریق طبقه بندی و تلفیق لایه ها در محیط GIS و تصمیم گیری به کمک سامانه پشتیبانی تصمیم گیری انتخاب شد. برای نشان دادن توانایی روشهای GIS در پهنه بندی تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی مناطق خشک، چینی و همکارانش در حوضه ماکناسی تونس مرکزی، پهنه بندی نیروی تغذیه مصنوعی را با تجزیه و تحلیل داده های بارندگی، شدت رواناب حوضه، زمین شناسی سطحی، و شرایط آبخوان انجام دادند (Chenini, et al., 2009). در مطالعه سرگانکار و همکارانش ارزیابی هیدرولوژیکی آبخیز بر پایه GIS برای تعیین محل های مناسب انجام عملیات تغذیه مصنوعی انجام شد (Sargaonkar, et al., 2010). در تحقیقی قیومیان و همکارانش برای مشخص کردن محل های مناسب تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی حوضه میمه شهرستان اصفهان معیارهای شیب، نرخ نفوذپذیری، ضخامت رسوبات، و کیفیت آب را بررسی کردند (Ghayoumian, et al., 2005). تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از سیستم پشتیبان تصمیم گیری در محیط GIS انجام شد. بررسی سوابق مطالعاتی نشان می دهد، تلفیق دو روش AHP⁵ و FTOPSIS برای مکان یابی محل های تغذیه مصنوعی مورد استفاده قرار نگرفته است، که در این مقاله با بکارگیری از این روشهای تصمیم گیری چند معیاره و استفاده از توانایی های منطق فازی روش نویی که توانایی اجرا در محیط GIS داشته باشد، برای مکان یابی محل های تغذیه مصنوعی ارائه شده است. با انتخاب دشت شمیل و آشکارا به عنوان مطالعه موردی روش پیشنهادی، معیارهای شیب،

نباشد (Chan and Kumar, 2007). در روش FTOPSIS² (اولویت بندی فازی بر اساس نزدیکی به راه حل ایده آل) ارجحیت نسبی گزینه ها نسبت به معیارها با استفاده از اعداد فازی مشخص می شود. بنابراین مشکل مربوط به قضاوت های قاطعانه رفع می شود. دلیل استفاده از اعداد فازی محاسبات نیز در محیط فازی و با استفاده از عملگرهای فازی، انجام می شود. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در کنار روشهای تصمیم گیری چند معیاره³ (MCDM) ابزار قدرتمند تصمیم گیری های فضایی را فراهم می کند. از یک طرف MCDM دارای ابزارهای مناسبی برای طراحی ساختار تصمیم، ارزیابی و اولویت بندی گزینه های تصمیم است و از طرف دیگر GIS⁴ امکان تجزیه و تحلیل حجم بالای داده های جغرافیایی را ایجاد می کند (Ehrgott, et al., 2010).

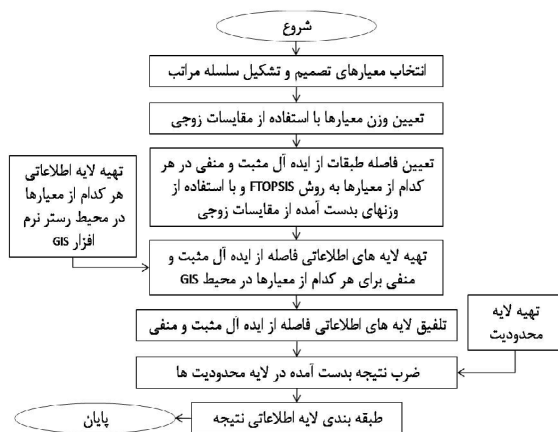
حفظ پایداری محیط زیست به عنوان بستر حیات موجودات زنده یکی از مهمترین ارکان توسعه پایدار محسوب می شود. محدودیت و کمبود منابع آبهای زیرزمینی در جهان و بخصوص در کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین از جمله کشور ما شرایطی را رقم زده است که به منظور حفظ و بهره برداری بهینه و کاهش آثار زیست محیطی ناشی از افت این منابع بسیار با ارزش، باید تلاش بسیاری کرد. با افزایش جمعیت، تقاضا برای منابع آب قابل اطمینان افزایش یافته است. مناطقی که منابع آب زیرزمینی منبع تأمین آب است و میزان برداشت از این منابع بیش از تغذیه آنهاست دارای وضعیتی بحرانی هستند (Kalantari, et al., 2010). برداشت بیش از حد از سفره های زیر زمینی و در نتیجه افت این ذخایر ارزشمند پیامدهای گاه جبران ناپذیری خواهد داشت که مستقیم و غیر مستقیم انسان و سکونتگاههای انسانی را متأثر خواهند کرد. در چنین مناطقی تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی از مهمترین راهکارهای مدیریتی است (Mandal and Singh, 2004).

در مناطق خشک، تغذیه مصنوعی برای: (۱) تقویت تغذیه طبیعی ناشی از باران و رواناب، (۲) جلوگیری از کاهش سطح آب آبخوان، (۳) کنترل آلودگی ذخایر آب به وسیله پساب و (۴) جلوگیری از تداخل آب شور به آب شیرین در سواحل دریاها انجام می شود (Abu-Taleb, 2003). موفقیت طرحهای تغذیه مصنوعی مستلزم جمع آوری و تکمیل داده ها و اطلاعات بسیار زیادی است و نخستین پیش شرط برای احداث طرح تغذیه، شناسایی محل مناسب است (Kalantari, et al., 2010).

میلیارد و ۴۵۰ میلیون متر مکعب آب از منابع زیرزمینی با قنوت، چشمه‌ها و نیز چاهها برداشت می‌شود که ۹۵ میلیون متر مکعب (بیلان منفی) بالاتر از ظرفیت منابع زیرزمینی است (زیرراهی، ۱۳۸۹).

مواد و روشها

در این مقاله با رویکردی نو مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی با استفاده از روش ترکیبی FTOPSIS و AHP در محیط رستر نرم افزار GIS انجام می‌شود. در این روش وزن معیارها با استفاده از مقایسه‌ای زوجی از روش AHP استخراج و با به‌کارگیری اعداد فازی مثلثی برای قضاوت‌های کارشناسی ماتریس تصمیم تشکیل شده است. سرانجام اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش FTOPSIS انجام شده است. شکل شماره (۲) ساختار روش پیشنهادی در این مقاله را ارائه می‌کند.



شکل شماره (۲) فرایند انجام تحقیق در روش پیشنهادی

همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، بعد از تعیین معیارها و تشکیل سلسله مراتب تصمیم، ابتدا وزن هر معیار با استفاده از مقایسه‌ای زوجی به‌دست می‌آید. با تشکیل ماتریس تصمیم با مؤلفه‌های عددی فازی و محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی هر طبقه، ماتریس‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی شکل می‌گیرد. برای هر معیار لایه‌های اطلاعاتی فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی ایجاد می‌شود و با تلفیق این لایه‌ها و ضرب آن در لایه محدودیت، لایه نهایی شکل می‌گیرد. در این مقاله مطابق شکل شماره (۳)، در سلسله مراتب تصمیم، هدف در بالاترین سطح قرار می‌گیرد که در اینجا تعیین محل‌های مناسب انجام عملیات تغذیه مصنوعی است. معیارهای انتخاب شده در سطح میانی و گزینه‌ها در پایین‌ترین

هدایت الکتریکی، نیروی سیل‌خیزی، زمین‌شناسی، کاربری زمین و عمق آبهای زیرزمینی برای انتخاب محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

در انجام این تحقیق دشت شمیل و آشکارا به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. این دشت با وسعت ۱۱۰۶ کیلومتر مربع از لحاظ جغرافیایی در محدوده ۵۵ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی در شمال شرقی استان هرمزگان در شهرستان حاجی آباد و در محدوده ساختاری زاگرس چین‌خورده واقع شده است (شکل شماره ۱).



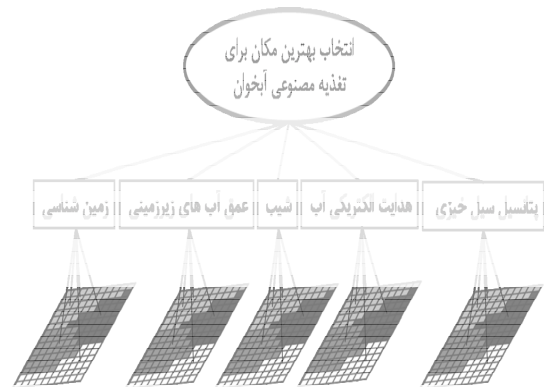
شکل شماره (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (رضایی

مهریان و همکاران، ۱۳۹۰)

گسل معروف زندان به فاصله نزدیکی از شرق منطقه می‌گذرد. میانگین سالانه بارندگی در محدوده این دشت کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر و میزان بالقوه تبخیر به طور میانگین ۲۶۴۰ میلی‌متر در سال است. در سالهای اخیر به دلیل توسعه زیاد کشاورزی و خشکسالی‌های درازمدت در این منطقه حجم ذخیره سفره آب زیرزمینی بشدت کاهش یافته است. هم‌اکنون منابع آب زیرزمینی استان هرمزگان با وضعیت بحرانی مواجه شده است، این استان ۸۲ دشت دارد که هم‌اکنون ۲۸ دشت آن به دلیل اضافه برداشت از آنها برای توسعه بهره‌برداری ممنوع اعلام شده است (زیرراهی، ۱۳۸۹). سهم آبخوان‌های زیرزمینی از منابع آب تجدیدپذیر هرمزگان یک میلیارد و ۳۵۵ میلیون متر مکعب آب شیرین در سال است، اما سالانه یک

سطح قرار می‌گیرند. در این مقاله، معیارهای شیب، هدایت الکتریکی آب، عمق آبهای زیرزمینی، زمین شناسی، نیروی سیل‌خیزی و کاربری زمین بر اساس سوابق مطالعاتی و مشخصات منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد (Ramalingam, Santhakumar, 2002; Ghayoumian, et al., 2005; Ghayoumian, et al., 2007; Chenini, et al., 2009; Kalantari, et al., 2010; Calantari, et al, 2009). در این مطالعه هر پیکسل از محدوده مورد مطالعه با ابعاد 20×20 متر به عنوان یک گزینه در نظر گرفته می‌شود.

پس از اولویت‌بندی این گزینه‌ها، با انجام طبقه‌بندی لایه خروجی در چهار طبقه، درجه رضامندی مکان‌های تغذیه مصنوعی مشخص می‌شوند.



شکل شماره (۳) سلسله مراتب تصمیم

در روش پیشنهادی مورد استفاده در این مقاله T (رابطه ۱) ماتریس تصمیم برای مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی است که در آن \tilde{a}_{ij} عدد مثلثی فازی است که ارجحیت طبقه نام معیار j ام نسبت به بقیه طبقات را بر اساس نظر کارشناسی نشان می‌دهد.

$$T = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1j} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{i1} & \tilde{a}_{i2} & \dots & \tilde{a}_{ij} \end{bmatrix} \quad (1)$$

اگر $W = (w_1, \dots, w_m)$ بردار وزن معیارها با شرط $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ باشد، که با استفاده از مقایسه‌ای زوجی (روش AHP) به‌دست آمده است، با ضرب W_j در هر کدام از مؤلفه‌های ستون j ام ماتریس T براساس رابطه (۲) ماتریس V با مؤلفه‌های

$$k\tilde{a} = (ka_1, ka_2, ka_3) \quad (2)$$

رابطه‌های (۳) و (۴) به ترتیب بردار گزینه‌های ایده‌آل‌های مثبت و منفی ماتریس V را نشان می‌دهند.

$$A^+ = (\tilde{v}_1^{\max}, \tilde{v}_2^{\max}, \dots, \tilde{v}_j^{\max}) \quad (3)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^{\min}, \tilde{v}_2^{\min}, \dots, \tilde{v}_j^{\min}) \quad (4)$$

با تفریق هر کدام از مؤلفه‌های ماتریس V از \tilde{v}_j^{\max} (رابطه ۵) و تقسیم مجموعه مؤلفه‌های هر عدد فازی بر ۳ (رابطه ۶) ماتریس فاصله از ایده‌آل مثبت $(D^+ = (d_{ij}^+))$ (رابطه ۷) حاصل می‌شود، که در این رابطه‌ها \tilde{d}_{ij}^+ و \tilde{d}_{ij}^+ به ترتیب فاصله فازی و فاصله فازی زدایی شده طبقه نام معیار j ام از ایده‌آل مثبت نام است.

$$\tilde{d}_{ij}^+ = \tilde{v}_j^{\max} (-) \tilde{v}_{ij} \quad (5)$$

$$d_{ij}^+ = \frac{d_{ij_1}^+ + d_{ij_2}^+ + d_{ij_3}^+}{3} \quad (6)$$

$$D^+ = \begin{bmatrix} d_{11}^+ = \frac{d_{ij_1}^+ + d_{ij_2}^+ + d_{ij_3}^+}{3} & d_{12}^+ & \dots & d_{1j}^+ \\ d_{21}^+ & d_{22}^+ & \dots & d_{2j}^+ \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{i1}^+ & d_{i2}^+ & \dots & d_{ij}^+ \end{bmatrix} \quad (7)$$

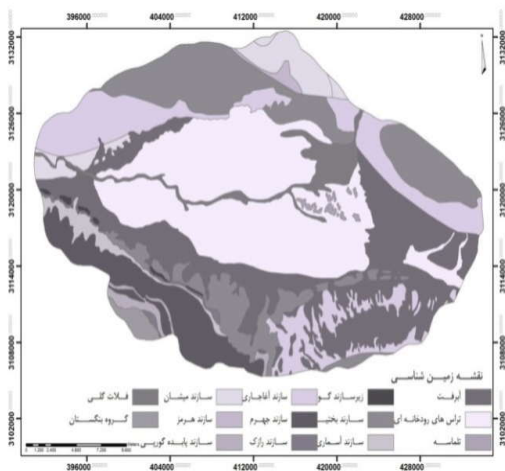
ماتریس فاصله از ایده‌آل منفی (D^-) (رابطه ۱۰) نیز از طریق رابطه‌های (۸) و (۹) به‌دست می‌آید که در این رابطه‌ها \tilde{d}_{ij}^- و \tilde{d}_{ij}^- فاصله فازی و فاصله فازی زدایی شده طبقه نام معیار j ام از ایده‌آل منفی نام است.

$$\tilde{d}_{ij}^- = \tilde{v}_{ij} (-) \tilde{v}_j^{\min} \quad (8)$$

$$d_{ij}^- = \frac{d_{ij_1}^- + d_{ij_2}^- + d_{ij_3}^-}{3} \quad (9)$$

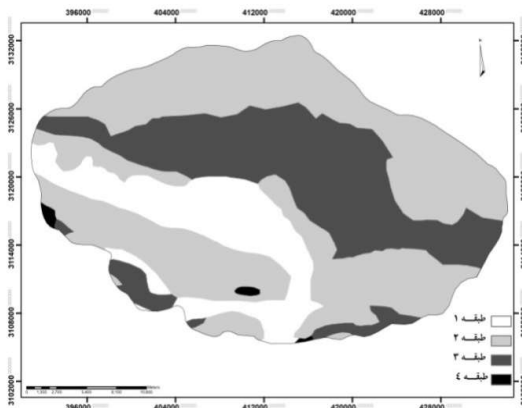
۴۹ درصد از مساحت دشت دارای شیب بالای ۸ درصد است که نواحی اطراف دشت را شامل می‌شود و ۳۳ درصد آن را نواحی با شیب کمتر از ۴ درصد تشکیل می‌دهند که تقریباً در مرکز دشت قرار دارند.

برای تهیه نقشه کاربری زمین از نقشه‌های سال ۱۳۸۵ کاربری زمین که سازمان جنگل‌ها و مراتع آن را منتشر کرده است استفاده شد. شکل شماره (۵) نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۵): نقشه زمین‌شناسی

از لحاظ چینه‌شناسی این دشت دربرگیرنده سازندهای سخت شامل سازندهای هرمز، گروه بنگستان (کژدمی و سروک)، رازک، پابده گورپی، میشان، چهارم، بختیاری، آسماری، گوری، آغاچاری و سازندهای نرم، یا رسوبات آبرفتی است (مهندسیین مشاور فارساب صنعت، ۱۳۸۴). برای اعمال معیار نیروی سیل‌خیزی از نقشه‌ای که سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۸۵) تهیه کرده استفاده شد (شکل شماره ۶).



شکل شماره (۶): نقشه نیروی سیل‌خیزی

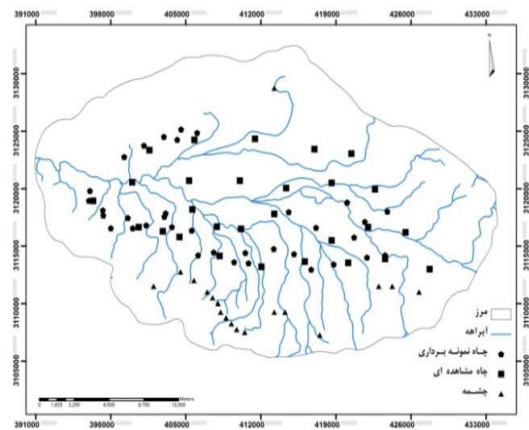
$$D^- = \begin{bmatrix} d_{11}^- = \frac{d_{ij1}^- + d_{ij2}^- + d_{ij3}^-}{3} & d_{12}^- & \dots & d_{1j}^- \\ d_{21}^- & d_{22}^- & \dots & d_{2j}^- \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{i1}^- & d_{i2}^- & \dots & d_{ij}^- \end{bmatrix} \quad (10)$$

نزدیکی نسبی هر گزینه نسبت به راه حل ایده‌آل (RC_i) با استفاده از رابطه (۱۱) به دست می‌آید. و اولویت بندی نهایی گزینه‌ها بر اساس آن انجام می‌شود. در این رابطه m تعداد معیارهاست.

$$RC_i = \frac{\sum_{j=1}^m d_{ij}^-}{\sum_{j=1}^m d_{ij}^- + \sum_{j=1}^m d_{ij}^+} \quad (11)$$

داده‌های ورودی

در اجرای روش برای هر کدام از معیارهای انتخاب شده، لایه اطلاعاتی با فرمت رستری با اندازه پیکسل 20×20 متر تهیه شد. نقشه‌های عمق و هدایت الکتریکی آب با استفاده از داده‌های برداشت شده از چاه‌های مشاهده‌ای و نمونه‌برداری و چشمه‌های دشت شمیل و آشکارا (شکل شماره ۴) تهیه و هر کدام به چهار طبقه تقسیم شدند (جدول شماره ۱).



شکل شماره (۴): چاه‌ها و چشمه‌های دشت شمیل و آشکارا

(رمضانی مهربان و همکاران، ۱۳۹۰)

نقشه شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه و به چهار محدوده طبقه بندی شد (جدول شماره ۱). طبقه بندی لایه‌های اطلاعاتی در این‌گونه مطالعات بر اساس نظر کارشناسی است (Ghayoumian, et al., 2005, 2007).

نتایج (بردازش داده ها)

لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر کدام از معیارها مطابق جدول شماره (۱) در چهار محدوده در محیط GIS طبقه بندی و با استفاده از روش ترکیبی AHP و FTOPSIS وزن دهی و تلفیق شدند. نتیجه در نقشه محدودیت ضرب شد و نقشه نیروی تغذیه مصنوعی بدست آمد که در چهار طبقه محدودیت، نامناسب، نسبتا مناسب و مناسب طبقه بندی شد.

شایان ذکر است که نقشه محدودیت از روی نقشه کاربری زمین و نقشه شیب به دست آمد (Ghayoumian, et al., 2007)، به این صورت که فقط مناطق بایر و دارای شیب کمتر از ۱۰٪ در دشت شمیل و آشکارا نیروی انجام عملیات تغذیه مصنوعی را دارا هستند. ماتریس مقایسه‌ای زوجی برای وزن دهی به معیارهای مد نظر تشکیل شد و تعیین وزن عناصر آن با استفاده از روش بردار ویژه صورت گرفت، در (جدول شماره ۲) بردار ویژه، نرخ ناسازگاری ماتریس، وزن نسبی معیارها و مقدار ویژه حداکثر ارائه شده است. در رابطه ۱۲ ماتریس T ارجحیت طبقات هر معیار بر اساس آرای کارشناسی را به صورت اعداد فازی مثلثی نشان می‌دهد.

توابع عضویت مثلثی برای هر کدام از واژه‌های محاوره‌ای معرف ارجحیت در شکل شماره (۷) نشان داده شده است. با اعمال وزن نسبی معیارها (به دست آمده از روش AHP (جدول شماره ۲)

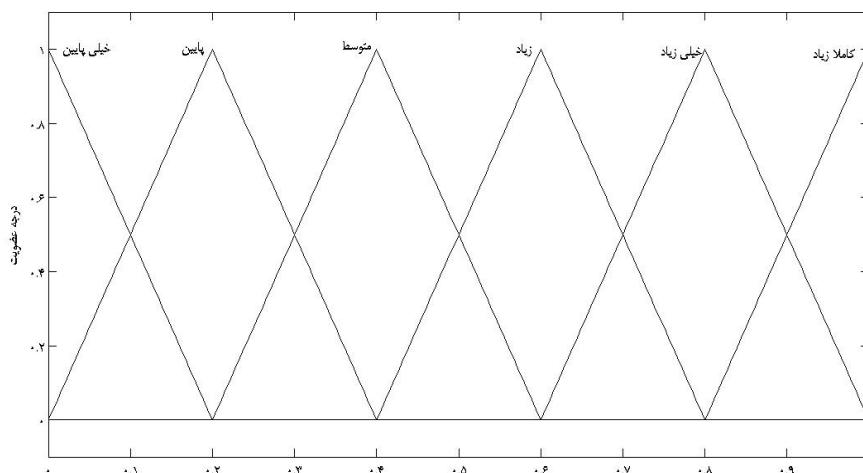
در مؤلفه‌های ماتریس T ، ماتریس تصمیم وزن دار و فازی بدست می‌آید. ویژگی گزینه‌ها ایده‌آل مثبت و منفی به ترتیب با قرار دادن اعداد مثلثی حداکثر و حداقل در هر معیار در یک بردار مشخص می‌شود. با اعمال رابطه‌های (۵ و ۶)، ماتریس D^+ (رابطه ۱۳) و با اعمال رابطه‌های (۸ و ۹) ماتریس D^- (رابطه ۱۴) حاصل می‌شود. هر مؤلفه از ماتریس D^+ ، فاصله از طبقه ایده‌آل مثبت و هر مؤلفه از ماتریس D^- فاصله از طبقه ایده‌آل منفی را نشان می‌دهد. ماتریس‌های D^+ و D^- در لایه‌های اطلاعاتی ۵ معیار مد نظر اعمال شد و برای هر معیار دو لایه اطلاعاتی به نامهای فاصله از ایده‌آل منفی و مثبت تشکیل شد. این لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS با استفاده از رابطه ۱۱ تلفیق شدند که حاصل آن لایه رضامندی است. در این لایه هر چه امتیاز یک پیکسل بالاتر باشد نشان دهنده مطلوبیت بیشتر آن پیکسل جهت انجام عملیات تغذیه مصنوعی است. پهنه بندی نیروی تغذیه مصنوعی دشت شمیل و آشکارا بر اساس این روش در شکل شماره (۸) ارائه شده است. نواحی سفید رنگ مناطق حذف شده شامل نواحی با کاربری‌های غیر مرتع و یا شیب بالای ۱۰۰ درصد هستند که ۱۰ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه را شامل می‌شوند. ۵۰ درصد از محدوده مورد مطالعه در طبقه نامناسب، ۳۴ درصد نسبتا مناسب و ۷ درصد نیز در طبقه مناسب قرار می‌گیرد.

جدول شماره (۱): ویژگی طبقات مختلف معیارها

معیارها / شماره طبقات	زمین شناسی	شیب (%)	درجه نیروی سیل خیزی	عمق آبهای زیرزمینی (m)	هدایت الکتریکی ($\mu\text{mhos/c}$)
طبقه ۱	تلماسه - آغاچاری - رازک - میشان - هرمز	۰-۲	۴	۰-۱۰	۰-۱۰۰۰
طبقه ۲	بختیاری - پابده گوری - تراس‌های رودخانه‌ای	۲-۴	۵ و ۶	۱۰-۲۰	۱۰۰۰-۲۲۵۰
طبقه ۳	بنگستان - زیرسازند گوری - فلات گلی	۴-۸	۷	۲۰-۳۰	۲۲۵۰-۴۰۰۰
طبقه ۴	آسماری - جهرم - آبرفت	۸-۱۰۰	۸	>۳۰	>۴۰۰۰

جدول شماره (۲): مقایسه‌ای زوجی و تعیین وزن معیارها

معیارها	ماتریس مقایسه‌ای زوجی				مقدار ویژه (λ_{max})	نرخ ناسازگاری
	بردار ویژه	وزن نسبی	وزن نسبی	مقدار ویژه		
شیب	۱	۰/۵	۲	۲	۵/۲۱	۰/۰۵
عمق سطح آب	۰/۵	۱	۲	۲		
هدایت الکتریکی	۰/۵	۰/۵	۱	۱		
زمین شناسی	۲	۱	۲	۲		
نیروی سیلخیزی	۱	۱	۱	۱		



شکل شماره (۷): توابع عضویت اعداد مثلثی معرف ارجحیت

$$T = \begin{matrix} & \text{هدایت الکتریکی (۰/۱۳)} & \text{عمق (۰/۱۹)} & \text{نیروی سیل خیزی (۰/۱۹)} & \text{شیب (۰/۲۳)} & \text{زمین شناسی (۰/۲۶)} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} (0.6, 0.8, 1) \\ (0.2, 0.4, 0.6) \\ (0, 0.2, 0.4) \\ (0, 0, 0.2) \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} (0, 0, 0.2) \\ (0, 0.2, 0.4) \\ (0.4, 0.6, 0.8) \\ (0.6, 0.8, 1) \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} (0.2, 0.4, 0.6) \\ (0.4, 0.6, 0.8) \\ (0.6, 0.8, 1) \\ (0.8, 1, 1) \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} (0.8, 1, 1) \\ (0.6, 0.8, 1) \\ (0.2, 0.4, 0.6) \\ (0, 0, 0.2) \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} (0.2, 0.4, 0.6) \\ (0.4, 0.6, 0.8) \\ (0.6, 0.8, 1) \\ (0.8, 1, 1) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (12)$$

می‌گیرند. مقایسه نتایج دو روش نشان می‌دهد که نواحی پیشنهادی در روش AHP، در روش ترکیبی AHP و FTOPSIS نیز وجود دارد و درصد مساحت طبقات مختلف نزدیک به یکدیگر است. نواحی مناسب بر روی رسوبات درشت دانه و مخروطه افکنه ای با نفوذپذیری بالا واقع شده است که تقریباً فاقد شیب بوده، دارای هدایت الکتریکی پایین‌تر از $1000 \mu\text{moh/cm}$ ، نیروی سیل خیزی بالا و ضخامت آبرفت بالای ۳۰ متر است.

روشهای مورد استفاده در تحقیقات گذشته برای مکان یابی در محیط GIS، قابلیت استفاده از روش FTOPSIS را در محیط رستر GIS نداشته ولی با توجه به تعریف ماتریس‌های فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت و منفی (D^+ و D^-) در رابطه‌های ۷ و ۱۰ و تغییر در رابطه محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه نسبت به راه حل ایده‌آل (RC_i) در رابطه ۱۱، در این مقاله این مهم امکان پذیر شد.

در روش پیشنهادی با استفاده از اعداد فازی تصمیم‌گیر به صورت مناسب‌تر و با انعطاف بیشتری قضاوت خود را در مورد ارجحیت طبقات وارد مسئله نمود.

$$D^+ = \begin{bmatrix} 0.14 & 0 & 0.1 & 0.15 & 0 \\ 0.09 & 0.03 & 0.06 & 0.11 & 0.07 \\ 0.04 & 0.11 & 0.03 & 0.04 & 0.09 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0.11 \end{bmatrix} \quad (13)$$

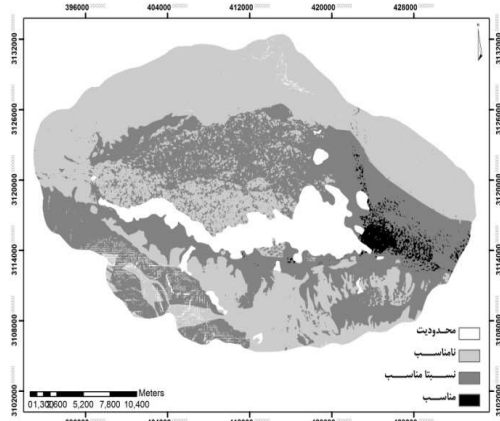
$$D^- = \begin{bmatrix} 0 & 0.22 & 0 & 0 & 0.11 \\ 0.05 & 0.17 & 0.04 & 0.02 & 0.04 \\ 0.11 & 0.08 & 0.08 & 0.09 & 0.02 \\ 0.14 & 0 & 0.1 & 0.13 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

بحث و نتیجه‌گیری

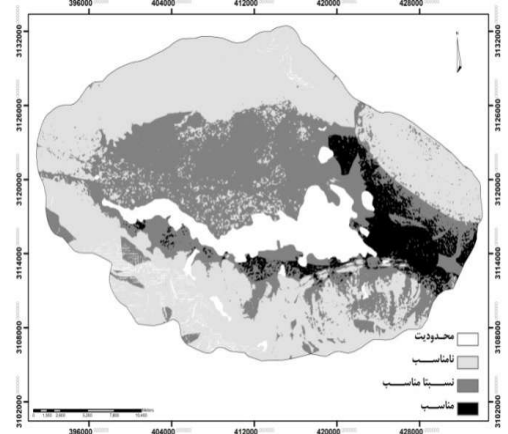
در این مقاله، پهنه‌بندی نیروی دشت شمیل و آشکارا برای انجام عملیات تغذیه مصنوعی با استفاده از روش ترکیبی AHP و FTOPSIS انجام شد. به‌منظور اعتبار سنجی به روش پیشنهادی، پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی با استفاده از روش AHP نیز انجام شد. شکل ۹ پهنه‌بندی با روش AHP را نشان می‌دهد که در آن ۱۰ درصد از محدوده مورد مطالعه در طبقه محدودیت، ۴۸ درصد نامناسب، ۴۰ درصد نسبتاً مناسب و ۲ درصد در طبقه مناسب قرار

می‌تواند در بهبود وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش آثار محیط زیستی آن در منطقه کمک کند

استفاده از توانایی اعداد فازی در وارد کردن نظر تصمیم گیر در مراحل مکان‌یابی، دقت تصمیم‌گیری را بالا برده و اطمینان به نتایج مکان‌یابی را افزایش می‌دهد.



شکل شماره (۹): پهنه بندی تغذیه نیروی تغذیه مصنوعی
به روش AHP



شکل شماره (۸): پهنه بندی تغذیه نیروی تغذیه مصنوعی
به روش پیشنهادی

یادداشت‌ها

- 1-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
- 2-Fuzzy-Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
- 3-Multiple Criteria Decision Making
- 4-Geographic Information System
- 5-Analytic Hierarchy Process
- 6-Triangular membership function

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از دیدگاه فازی در کنار روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند رویکرد مناسبی برای مکان‌یابی تغذیه مصنوعی باشد. با توجه به ماهیت یکسان فرایند مکان‌یابی می‌توان از این روش ترکیبی در سایر پروژه‌های مربوط به مکان‌یابی استفاده کرد. با توجه به آثار محیط زیستی و مسائل ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه، استفاده از روش پیشنهادی این مقاله و انتخاب مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی و اجرای آن

منابع مورد استفاده

حکمت پور، م. و همکاران. ۱۳۸۶. پهنه بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت ورامین به کمک GIS و سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری. مجله محیط شناسی، شماره ۴۲، ش ۱ تا ۸.

سازمان جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری کشور. ۱۳۸۵. دفتر مهندسی و ارزیابی طرحها. پروژه ملی سیمای آبخیزهای کشور.

مهندسین مشاور فارساب صنعت. ۱۳۸۴. مطالعات زمین شناسی دشت شمیل و آشکارا.

رضانی مهربان، م. و همکاران. ۱۳۹۰. "مکان‌یابی محل‌های انجام عملیات تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی با به‌کارگیری روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان هرمزگان، دشت شمیل و آشکارا)" علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال پنجم - شماره ۱۴، ۱ تا ۱۰

- زیرراهی، ج. ۱۳۸۹. وضعیت منابع آب زیر زمینی هرمزگان بحرانی است. روزنامه مردم سالاری، ۲۹ شهریور، نسخه شماره ۲۴۵۵.
<http://www.mardomsalari.com/Template1/News.aspx?NID=86365>
- زیرراهی، ج. ۱۳۸۹. ۲۸ دشت هرمزگان برای توسعه بهره‌برداری ممنوع اعلام شده است. ایسنا، ۲۷ شهریور، کد خبر ۷۹۶-۷۹۸۴-۵.
<http://khalijefars.isna.ir/Default.aspx?NSID=5&SSLID=46&NID=720>
- Abu-Taleb, M.F. 2003. Recharge of groundwater through multi-stage reservoirs in a desert basin. *Environmental Geology*, 44, 379-390.
- Amiri, M.P. 2010. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 37, 6218-6224.
- Bouwer, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, 10, 121-142.
- Cavallaro, F. 2010. Fuzzy TOPSIS approach for assessing thermal-energy storage in concentrated solar power (CSP) systems. *Applied Energy*, 87, 496-503.
- Kalantari, N., N.J., Pawar., and M.R., Keshavarzi. 2009. Water Resource Management in the Intermountain Izeh Plain, Southwest of Iran. *J. Mt. Sci*, 6, 25-41.
- Chan, F.T.S., and N., Kumar. 2007. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35, 417-431.
- Chenini, I., A., Ben Mammou, and M., El May. 2009. Groundwater Recharge Zone Mapping Using GIS-Based Multi-criteria Analysis: A Case Study in Central Tunisia (Maknassy Basin). *Water Resources Management*, 24, 921-939.
- Ehrgott, M., et al. 2010. Multiple Criteria Decision Analysis and Geographic Information Systems, pp. 369-395, *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer, US.
- Ghayoumian, J., et al. 2005. Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge, case study Meimeh Basin, Isfahan, Iran. *Environmental Geology*, 47, 493-500.
- Ghayoumian, J., et al. 2007. Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater recharge in a coastal aquifer in southern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 30, 364-374.
- Hwang, C. L., and K., Yoon. 1981. Multiple attribute decision making: methods and applications. Springer, Berlin.
- Kalantari, N., et al. 2010. Site selection and cost-benefit analysis for artificial recharge in the Baghmalek plain, Khuzestan Province, southwest Iran. *Hydrogeology Journal* 18: 761-773.
- Kulak, O., and C., Kahraman. 2005. Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process. *Information Sciences* 170: 191-210.
- Mandal, N., and V., Singh. 2004. A new approach to delineate the groundwater recharge in hard rock terrain. *Curr Sci*, 75, 658-662.
- Ramalingam, M., and A., Santhakumar. 2002. Case study on artificial recharge using remote sensing and GIS. *GIS development*.

Sargaonkar,A., B., Rathi, and A., Baile. 2010. Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan, India. Environmental Earth Sciences, 1-10.