

به کارگیری فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy ANP) در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند شهرستان اصفهان

غدیر عشورنژاد^۱، مرضیه طاهری^۲، رحیم‌علی عباسپور*^۳

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران
ashournejad@ut.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران
tahery_mt63@ut.ac.ir
۳. استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱/۳۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۳۰

چکیده

از مهم‌ترین مسائل در مدیریت پسماند، به حداقل رساندن هزینه خدمات و کاهش آلودگی است. در این زمینه ایستگاه انتقال پسماند مدیریت پسماند را بهبود بخشیده است و جمع‌آوری پسماند را از محل تولید تا محل دفع ساماندهی می‌کند. ایستگاه انتقال پسماند در صورتی کارایی کافی دارد که به خوبی مکان‌یابی شده باشد. مطالعه حاضر به‌منزله پژوهش کاربردی با استفاده از رویکرد تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاری و به کارگیری مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy ANP) در کنار تکنیک DEMATEL و استفاده از نتایج آن‌ها در مدل‌سازی مکانی به ارائه چارچوب نوینی در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند پرداخته است. در این تحقیق، از تکنیک DEMATEL برای شناسایی روابط میان معیارها و عوامل مؤثر در انتخاب مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال استفاده و از نتایج آن در تشکیل ساختار شبکه و روابط میان معیارها در مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy ANP) برای وزن‌دهی به معیارها استفاده شد. از وزن‌های به‌دست‌آمده بر اساس تأثیرگذاری معیارها برای مدل‌سازی و پهنه‌بندی منطقه بر اساس تابع SUM در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. این فرایند در شهرستان اصفهان برای شناسایی مکان‌های بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند اجرا و با توجه به موقعیت هر کدام از شهرها در این شهرستان و موقعیت محل کنونی دفن پسماند، محل‌هایی به‌منزله ایستگاه‌های انتقال پسماند پیشنهاد شد. مناطق پیشنهادی ایستگاه انتقال، کارایی جمع‌آوری مواد زائد را بیشتر کرده و موجب کاهش هزینه حمل و نقل، آلودگی هوا، مصرف انرژی، عبور و مرور کامیون‌ها و فرسودگی جاده‌ها شده است.

کلیدواژه

روش DEMATEL، ایستگاه انتقال پسماند، شهرستان اصفهان، فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy ANP).

۱. سرآغاز

موظف در سیستم مدیریت پسماند در شکل ۱ نشان داده شده است (عبدلی، ۱۳۷۲؛ چوبانگلو و دیگران، ۱۳۸۸). یکی از مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماند است که در این مقاله بحث و بررسی می‌شود. جمع‌آوری و حمل پسماند بنا بر ضرورت و امکانات به شیوه‌های متفاوتی انجام می‌گیرد که شیوه استفاده از ایستگاه انتقال پسماند از رایج‌ترین روش‌ها در کشور ماست (معاونت آموزشی جهاد دانشگاهی، ۱۳۸۷).

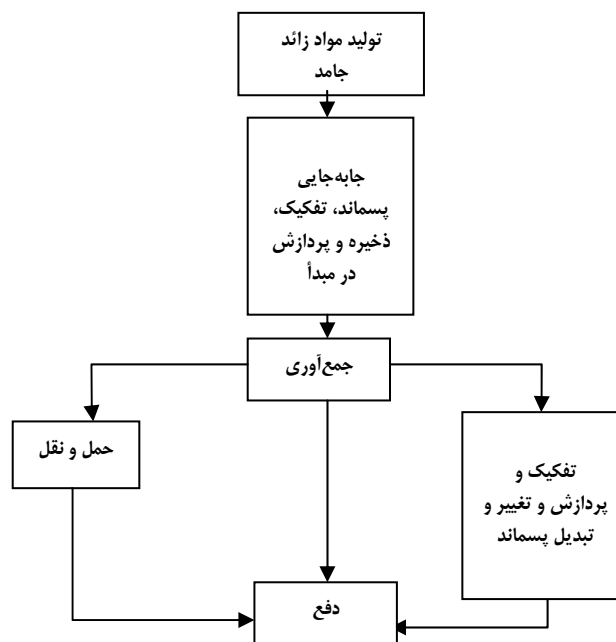
مشکلات مربوط به مدیریت پسماند، به علت کمیت و کیفیت ناهمگون پسماند، محدودیت‌های مالی در خدمات عمومی شهرهای بزرگ، آثار فناوری و محدودیت‌های اساسی در مقوله انرژی و مواد خام در جوامع امروزی بسیار پیچیده است. در نتیجه برای اجرای مؤثر و منظم مدیریت پسماند لازم است تمام جنبه‌های اساسی و ارتباطات مؤثر شناخته شوند. روابط متقابل بین عناصر

جمع‌آوری و حمل و نقل این مواد در بسیاری از شهرهای کشور به صورت غیربهداشتی انجام می‌گیرد و در موارد متعددی تکنیک‌های قدیمی و ناکارآمد استفاده می‌شوند (معاونت آموزشی جهاد دانشگاهی، ۱۳۸۷).

ایستگاه‌های انتقال در واقع صورت بهبودیافته جایگاه‌های موقت پسماند در شهرها به شمار می‌روند، با این تفاوت که جایگاه‌های موقت پسماند به شدت غیربهداشتی‌اند، اما رعایت اصول بهداشتی و ایمنی، از اصول اولیه احداث ایستگاه‌های انتقال است (سعیدنیا، ۱۳۷۸). ایستگاه انتقال کارایی جمع‌آوری مواد زائد را بیشتر می‌کند و موجب کاهش هزینه حمل و نقل، آلودگی هوا، مصرف انرژی، عبور و مرور کامیون‌ها و فرسودگی جاده‌ها می‌شود. همچنین، ایستگاه انتقال باعث ذخیره سرمایه شهرداری می‌شود و هزینه خدمات مدیریت مواد زائد جامد را نیز کاهش می‌دهد. تعیین مکان‌های مناسب برای استقرار ایستگاه‌های انتقال، نقش قابل توجهی در دستیابی به اهداف احداث این ایستگاه‌ها دارد. به منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های انتقال پسماند تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. پایلی در تحقیق خود به کاهش هزینه حمل و نقل بین ایستگاه‌های انتقال پسماند و محل دفع توجه کرده است. او عامل اصلی صرفه‌جویی در هزینه حمل و نقل را مکان ایستگاه انتقال پسماند نسبت به مکان دفع پسماند بیان کرده است. به همین علت کمترین هزینه حمل و نقل را عامل اصلی مکان‌یابی ایستگاه موقت انتقال پسماند قرار داده و بر این اساس با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، مکان بهینه ایستگاه موقت انتقال پسماند را به صورت مدل ریاضی شناسایی کرده است (Paily, 2006).

کومیلیس کاهش هزینه و زمان رفت و برگشت وسایل نقلیه در آتن را اساس محاسبه مسیر بهینه حمل و نقل از منبع پسماند تا محل دفن قرار داده است. به این صورت که ایستگاه انتقال پسماند را عامل اصلی کاهش هزینه در نظر گرفته است. وی مدل برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی را برای بهینه‌سازی حمل و نقل و انتقال پسماندهای جامد

در ایستگاه‌های انتقال، چنانچه به خوبی مکان‌یابی شده باشند، مواد زائد از ماشین‌های کوچک به ماشین‌های بزرگ منتقل می‌شوند تا سرانجام به محل دفع اصلی حمل شوند (سعیدنیا، ۱۳۷۸). منظور اصلی از ساخت ایستگاه‌های انتقال، جمع‌آوری مواد از طریق تعداد زیادی از وسایل نقلیه کوچک و حمل آن‌ها به ایستگاه انتقال است. در این ایستگاه که معمولاً به دستگاه تراکم مجهز است، مواد فشرده و به کامیون‌های بزرگ‌تر برای حمل به محل دفع نهایی بارگیری می‌شوند. به علت رشد جمعیت و مهاجرت از روستا به شهر که به گسترش شهرها منجر شده است، محل‌های دفن مواد زائد که معمولاً برای دوره‌های بلندمدت طراحی می‌شوند، باید دور از شهر و محورهای توسعه آتی باشند. به همین علت، فاصله آن‌ها از شهر زیاد خواهد بود. در چنین مواردی، ایستگاه انتقال مفید است.

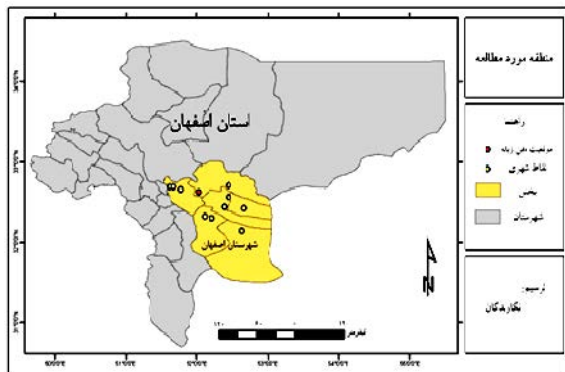


شکل ۱. روابط متقابل بین عناصر موظف در سیستم مدیریت پسماند

همچنین، مواد زائد تولیدی در کارخانه‌های اطراف شهر و مناطقی که تحت پوشش سرویس‌های خدمات شهری نیستند، به ایستگاه‌های انتقال حمل می‌شوند. بنابراین، ایستگاه‌های انتقال از جنبه‌های بهداشتی و اقتصادی بسیار مؤثرند (عبدلی، ۱۳۷۲). در حال حاضر،

شد. وزن هر کدام از معیارها پس از تکمیل پرسشنامه مقایسه زوجی از سوی کارشناسان به وسیله مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی^۲ (Fuzzy ANP) مشخص شد و با استفاده از تابع SUM در نرم‌افزار ArcGIS با هم ترکیب شدند. در این تحقیق، نرم‌افزار MATLAB برای اجرای تکنیک DEMATEL و Fuzzy ANP به کار گرفته شد. از نرم‌افزار ArcGIS برای مدل‌سازی مکانی و پهنه‌بندی منطقه استفاده شد.

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان اصفهان است (شکل ۲). این شهرستان یکی از شهرستان‌های استان اصفهان در مرکز ایران است که مرکز آن، شهر اصفهان، سومین شهر کشور از نظر جمعیتی و با تولید ۹۰۰ تن پسماند در روز است.



شکل ۲. محدوده و قلمرو پژوهش

این شهرستان دارای ۹ شهر و ۶ بخش است و مکان جدید دفن پسماندهای این شهرستان و شهرک‌های اطراف با طول جغرافیایی ۳۶° ۳۷' ۳۲" و عرض جغرافیایی ۳۶° ۱' ۵۲" در شرق اصفهان در منطقه سگری در ۲ کیلومتری جنوب جاده اصفهان- نایین واقع شده است.

۳. فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy ANP)

با توجه به اینکه در دنیای واقعی معیارها معمولاً وابسته به یکدیگرند، رهیافت‌های سنتی در این زمینه به شکل مناسبی قابل به کارگیری نیستند. به همین علت، ساعتی فرایند تحلیل شبکه‌ای را که توسعه یافته فرایند تحلیل سلسله مراتبی است، برای به دست آوردن مجموعه‌ای از وزن‌های

شهری ارائه داده است (Komilis, 2008). علاوه بر این، زامورانو و همکارانش در اسپانیا با استفاده از GIS نقاط بهینه جمع‌آوری پسماند و مسیرهای بهینه خودروهای انتقال پسماند را به منظور کاهش مصرف سوخت ارائه دادند (Zamorano, et al, 2009).

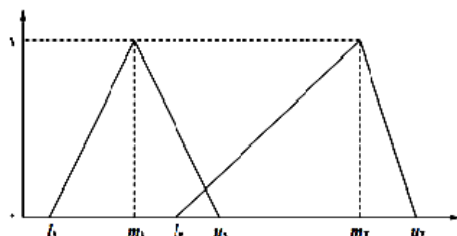
شکرریزفرد و همکاران در شیراز به محاسبه همزمان بهترین مسیر حمل پسماند شهری و مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند پرداختند. برای این منظور برنامه غیرخطی باینری تهیه کردند که تابع هدف مدل مربوطه نیز حداقل کردن مجموع هزینه‌های حمل پسماند به محل ایستگاه‌های انتقال است (شکرریزفرد و دیگران، ۱۳۸۸). رفیعی و همکارانش نیز در تحقیق خود با نام «مکانیابی ایستگاه‌های انتقال پسماند جامد شهری با استفاده از آنالیزهای چندمعیاره فضایی» به مکانیابی ایستگاه‌های انتقال پسماند با فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای وزن‌دهی به معیارها و تلفیق فازی آن‌ها پرداخته‌اند (Rafiee, et al, 2011). عمرانی و همکارانش در تهران به بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی ایستگاه انتقال مواد زاید جامد شهری پرداختند. هدف از مطالعه آن‌ها بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی ایستگاه‌های انتقال پسماند در خصوص وضعیت میزان سر و صدا و شیرابه در محوطه ایستگاه‌ها و پراکندگی بو و وضعیت سر و صدا در زمان فعالیت ایستگاه‌ها در مناطق مسکونی بوده است (عمرانی و دیگران، ۱۳۸۰).

۲. روش تحقیق و محدوده پژوهش

نوع تحقیق کاربردی و روش بررسی آن توصیفی-تحلیلی است. با توجه به اهداف تحقیق، ابتدا عوامل و معیارهای مؤثر در مکان‌گزینی ایستگاه‌های انتقال پسماند از طریق مطالعات کتابخانه‌ای (تحقیقات پیشین) شناسایی و با نظرهای کارشناسان تکمیل و داده‌های مکانی منطقه مورد مطالعه متناسب با معیارها جمع‌آوری شد. برای شناسایی روابط درونی میان معیارها از روش^۱ DEMATEL استفاده

$$M_1 * M_2 = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2) \quad (2)$$

$$M_2^{-1} = \left(\frac{1}{u_2}, \frac{1}{m_2}, \frac{1}{l_2} \right) M_1^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right), \dots \quad (3)$$



شکل ۳. اعداد مثلثی M_1 و M_2

باید توجه داشت که حاصل ضرب ۲ عدد فازی مثلثی، یا معکوس ۱ عدد فازی مثلثی، دیگر ۱ عدد فازی مثلثی نیست. این روابط، فقط تقریبی از حاصل ضرب واقعی ۲ عدد فازی مثلثی و معکوس ۱ عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند. در روش تحلیل توسعه‌ای، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه‌های زوجی، مقدار S_k که خود یک عدد مثلثی است، به صورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{kj} * \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} \quad (4)$$

که k بیانگر شماره سطر است و i و j به ترتیب گزینه‌ها و شاخص‌ها را نشان می‌دهند.

در روش تحلیل توسعه‌ای، پس از محاسبه S_k ها، باید درجه بزرگی آنها را نسبت به هم به دست آورد. به طور کلی اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1 بر M_2 که با $V(M_1 \geq M_2)$ نشان داده شده، به صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود.

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 & \text{if } m_1 \geq m_2 \\ V(M_1 \geq M_2) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \frac{u_1 - l_2}{(u_1 - l_2) + (m_2 - m_1)} \quad \text{داریم:}$$

میزان بزرگی عدد فازی مثلثی از k و عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$V(M_1 \geq M_2, \dots, M_k) = V(M_1 \geq M_2), \dots, V(M_1 \geq M_k) \quad (6)$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی به صورت رابطه ۷ عمل می‌شود.

$$W'(X_i) = \text{Min}\{V(S_i \geq S_k)\}, k = 1, 2, \dots, n. k \neq i \quad (7)$$

مناسب برای معیارها معرفی کرد (عالم تبریز و باقرزاده‌آذر، ۱۳۸۸؛ قدسی‌پور، ۱۳۸۹). لازمه استفاده از این روش، شناخت کافی از هدف تصمیم‌گیری، محیط تصمیم و تمامی عناصر تصمیم‌گیری به وسیله تصمیم‌گیرنده است. این شناخت به این علت لازم است که تصمیم‌گیرنده بتواند همه ملاک‌های مؤثر در تصمیم را تعیین و تأثیر آنها بر یکدیگر را مشخص و بتواند واقعی‌ترین حالتی از شبکه را رسم کند. مقایسه‌های زوجی بایستی اولویت واقعی عناصر نسبت به یکدیگر را نشان دهند، اما از آنجا که این شناخت کافی از سیستم همیشه موجود نیست و تصمیم‌گیرنده نمی‌تواند در حالت کلی با اطمینان کامل در مقایسه‌های زوجی قضاوت کند، بنابراین برای رفع این مشکل مدل تحلیل شبکه‌ای توسعه داده می‌شود. راه‌حل طبیعی برای انجام مقایسه‌ها در حالت‌های نبود قطعیت استفاده از مقایسه‌های فازی است که حالت‌های ابهام در مقایسه را مدل‌سازی می‌کند (رزمی و دیگران، ۱۳۸۷). به عبارت دیگر، استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و گاه مبهم انسانی دارد و بنابراین بهتر است که با استفاده از مجموعه‌های فازی (به کارگیری اعداد فازی) به پیش‌بینی بلندمدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخته شود (ملکیان و دیگران، ۱۳۹۱).

فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی از تلفیق فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و ماتریس تأثیرات وابستگی متقابل بین معیارها به دست می‌آید که در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود. ابتدا روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی از دیدگاه چانگ بیان می‌شود. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی‌اند. مفاهیم و تعاریف فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی بر اساس روش تحلیل توسعه‌ای تشریح می‌شوند (عالم تبریز و باقرزاده‌آذر، ۱۳۸۸؛ مؤمنی، ۱۳۸۹).

دو عدد مثلثی $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ که در شکل ۳ رسم شده‌اند را در نظر بگیرید. عملگرهای ریاضی آن به صورت روابط ۱، ۲ و ۳ تعریف می‌شوند.

$$M_1 + M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (1)$$

ایستگاه‌های انتقال پسماند شهری بر اساس منابع و مطالعات پیشین (Rafiee, et al., 2011) شناسایی و با استفاده از روش دلفی و نظریات کارشناسان تکمیل شد (شکل ۴).



شکل ۴. عوامل و معیارهای مؤثر در مکان‌گزینی ایستگاه‌های انتقال پسماند شهری

- معیارهای مؤثر مورد استفاده در مکان‌یابی عبارت‌اند از:
 - فاصله از رودخانه: با توجه به اهمیت منابع آبی در مکان‌یابی ایستگاه پسماند باید فاصله از رودخانه به منظور جلوگیری از آلودگی آب رعایت شود.
 - خاک و زمین‌شناسی: در مطالعات مربوط به ایستگاه انتقال پسماند، پرداختن به موضوع خاک‌شناسی و زمین‌شناسی به لحاظ ملاحظات مربوط به طراحی عملیات و چگونگی حفاظت از آب‌های سطحی و زیرزمینی از ضرورت‌های اولیه به شمار می‌آید. در این راستا، خاک‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه به لحاظ نوع خاک و زمین‌شناسی از لحاظ نفوذپذیری طبقه‌بندی شد (بیک محمدی و دیگران، ۱۳۸۹).
 - فاصله از مناطق مسکونی: مکان ایستگاه باید مورد اعتراض مردم نباشد یا از نظر زیباشناختی، جنبه‌های بهداشتی و زیست‌محیطی مشکلاتی را ایجاد نکند (عبدلی، ۱۳۷۲).
 - فاصله از معابر اصلی: مکان ایستگاه باید به سادگی و راحتی به خطوط ارتباطی و حمل و نقل برای کامیون‌های بزرگ یا در صورت لزوم راه‌آهن برای حمل مواد به محل دفن نهایی قابل دسترس باشد (عبدلی، ۱۳۷۲).
- شیب زمین: در این مدل، شیب به منزله پارامتری فیزیکی به حساب می‌آید، زیرا در شیب‌های تند دفن پسماند چه از نظر جاری شدن شیرابه پسماند

بنابراین، بردار وزن^۳ شاخص‌ها به صورت رابطه ۸ خواهد بود.

$$W'(X_i) = [W'(C_1), W'(C_2), \dots, W'(C_n)]^T \quad (8)$$

که همان بردار ضرایب غیرنرمال فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی است. به کمک رابطه ۹ نتایج غیرنرمال به دست آمده از رابطه ۸ نرمال می‌شوند. نتایج نرمال‌شده حاصل از رابطه ۹، w نامیده می‌شوند.

$$W_i = \frac{w'_i}{\sum w'_i} \quad (9)$$

سپس، تأثیرات وابستگی متقابل بین معیارها تعیین می‌شود. اعضای گروه، تأثیر همه معیارها را بر هم مجدداً از طریق مقایسه‌های زوجی می‌سنجند. برای کمک به تسهیل فرایند مقایسه، به مجموعه‌ای از سؤالاتی همچون "کدام معیار بیشتر بر معیار C_3 تأثیر می‌گذارد: C_2 یا C_1 ؟ و چه قدر بیشتر؟" پاسخ داده می‌شود. برای هر معیار، ماتریس‌هایی از مقایسه‌های زوجی تشکیل می‌شود. این ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی برای تعیین تأثیرات نسبی روابط وابستگی معیارها لازم‌اند.

بردارهای ویژه اصلی نرمالیزه‌شده برای این ماتریس‌ها به صورت عناصر ستونی در ماتریس B مربوط به وابستگی وزن‌ها محاسبه و نشان داده می‌شوند. در این ماتریس، صفرها برای وزن‌های بردارهای ویژه معیارهایی در نظر گرفته می‌شوند که رابطه وابستگی با یکدیگر ندارند.

اکنون می‌توانیم وابستگی نسبی معیارها را با تلفیق نتایج حاصل از دو مرحله پیشین به دست آوریم. منظور از تلفیق در اینجا اعمال ضرایب ماتریس وابستگی متقابل (B) بر نتایج حاصل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (W) است. تلفیق این دو همان فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی است.

$$\omega_i = B.W \quad (10)$$

۴. اجرای مدل

۴.۱. شناسایی و تدوین معیارها

در گام نخست، عوامل و معیارهای مؤثر در مکان‌گزینی

متغیر X_{ij} نشان دهنده درجه‌ای است که مخاطب اعتقاد

$$a_{ij} = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H X_{ij}^k \quad (11)$$

دارد عامل (فاکتور) i در فاکتور j تأثیر می‌گذارد. در مورد $i=j$ عناصر قطری روی صفر تنظیم شده‌اند. در مورد هر پاسخگو می‌توان یک ماتریس غیرمنفی $n \times n$ به صورت $x^k = [x_{ij}^k]$ در نظر گرفت که در آن، $(1 \leq k \leq H)$ شماره پاسخگو و n شماره فاکتورهاست. بنابراین، x^1, x^2, \dots, x^H ماتریس‌های هر کدام از پاسخگوها به شمار می‌روند. در ادامه، ماتریس نسبت مستقیم اولیه نرمال شده محاسبه شد.

$$D = A \times \frac{1}{\max_{i < j < 9} \sum_{j=1}^9 a_{ij}} \quad (12)$$

پس از محاسبه ماتریس نسبت مستقیم اولیه نرمال شده، ماتریس T بر اساس فرمول زیر به دست آمد.

$$T = D(I - D)^{-1} \quad (13)$$

در پایان، حد آستانه از طریق محاسبه میانگین عناصر ماتریس T تعیین شده است. از آنجا که ماتریس T اطلاعات مربوط به چگونگی اثرگذاری یک فاکتور بر فاکتور دیگر را فراهم می‌کند، تصمیم‌گیرنده الزاماً باید یک مقدار یا حد آستانه برای فیلترکردن برخی آثار جزئی (ناچیز) تعیین کند. نتیجه نهایی این کار با میانگین $0/8592$ در ماتریس R نشان داده شده است که در آن، صفر حاکی از بی‌تأثیر بودن عامل سطر بر عامل ستونی است و در مقابل، 1 از تأثیرگذاری عامل سطر بر عامل ستونی حکایت می‌کند (جدول ۲).

۵. مدل Fuzzy ANP

ساخت مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی مستلزم شناخت روابط و اثرهای متقابل میان معیارها و زیرمعیارهای مسئله است تا واقعی‌ترین حالت از شبکه ایجاد شود، که در مرحله پیشین از طریق تکنیک DEMATEL و با نظرهای کارشناسان استخراج شده است. در ادامه، برای تعیین وزن‌های مربوط به معیارهای مؤثر در شناسایی مکان‌های مناسب ایستگاه‌های انتقال، از نظرهای کارشناسان استفاده شد.

هنگام بارندگی و چه از نظر اقتصادی (احداث راه‌ها و زیرساخت‌ها) با مشکل مواجه می‌شود (فرهودی و دیگران، ۱۳۸۴).

• فاصله از گسل: یک لایه از گسل‌های منطقه مورد مطالعه، از جمله مواردی است که با اعمال حریم‌های مربوطه، می‌توان بخش‌های دیگری از پهنه‌های مورد بررسی را از قلمرو مطالعات خارج کرد. نکته مهم آن است که با توجه به اینکه هنوز در کشورمان اطلاعات دقیق و کاملی از تمامی گسل‌ها وجود ندارد و کلیه مناطق کشور پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی دارند، پیش فرض اولیه آن است که تمامی گسل‌هایی که در نقشه‌های زمین‌شناسی ترسیم شده‌اند، از جمله گسل‌های فعال به شمار می‌آیند (فتحی، ۱۳۸۶).

۲.۴. شناسایی روابط معیارها با روش DEMATEL برای ساختاردهی و تهیه مدل مفهومی

پس از شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر در جستجوی مکان‌های بهینه ایستگاه‌های انتقال زباله، بررسی روابط درونی بین این عوامل نیز منتهی به اطلاعات مفیدی می‌شود. برای بررسی روابط میان این عوامل و شناسایی ساختار شبکه در فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی از روش DEMATEL، که از انواع روش‌های تصمیم‌گیری بر پایه مقایسه زوجی است، با بهره‌مندی از قضاوت خبرگان استفاده شد (آقابراهیمی سامانی و دیگران، ۱۳۸۷؛ اصغرپور، ۱۳۸۲؛ عشورنژاد و دیگران، ۱۳۹۰). در ادامه، روش DEMATEL (Tzeng, et al., 2007; Wu, 2008; Shieh, et al., 2010) روی ماتریس‌های زوجی تکمیل شده از سوی متخصصان (ماتریس نظرسنجی 7×7 ، به گونه‌ای که سطرها و ستون‌های این ماتریس را همان معیارها تشکیل می‌دهند) به کار گرفته شد. ابتدا ماتریس میانگین A بر اساس ماتریس‌های زوجی تکمیل شده از سوی ۱۲ تن از متخصصان به دست آمد (جدول ۱). برای تلفیق نظرهای هر کدام از پاسخگویان، ماتریس متوسط (میانگین)

جدول ۱. ماتریس میانگین (A)

	فاصله از بزرگراه	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از رودخانه	خاک	زمین شناسی	شیب	فاصله از گسل
فاصله از بزرگراه	۰	۴/۱۳۳۳	۲/۸	۱/۲۶۶۶	۱/۲	۱/۴۶۶۶	۳/۰۶۶۶
فاصله از مناطق مسکونی	۴/۱۳۳۳	۰	۲/۸۶۶۶	۱/۸۶۶۶	۱/۲۶۶۶	۱/۲	۲/۸۶۶۶
فاصله از رودخانه	۲/۲	۳/۱۳۳۳	۰	۲/۷۳۳۳	۳/۹۳۳۳	۲/۳۳۳۳	۲/۸۳۳۳
خاک	۲/۴۶۶۶	۲/۲	۲/۷۳۳۳	۰	۲/۳۳۳۳	۲/۴	۱/۸۶۶۶
زمین شناسی	۲/۴۶۶۶	۱/۵۳۳۳	۲/۴۶۶۶	۴/۱۳۳۳	۰	۲/۱۳۳۳	۱/۲
شیب	۲/۸۶۶۶	۲/۱۳۳۳	۲/۷۳۳۳	۲/۱۳۳۳	۱/۶۶۶۶	۰	۲/۷۳۳۳
فاصله از گسل	۲/۷۳۳۳	۳/۰۶۶۶	۱/۶	۱/۴۶۶۶	۲/۱۳۳۳	۳/۹۳۳۳	۰

جدول ۲. ماتریس نتیجه نهایی روابط (R)

	فاصله از بزرگراه	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از رودخانه	خاک	زمین شناسی	شیب	فاصله از گسل
فاصله از بزرگراه	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱
فاصله از مناطق مسکونی	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱
فاصله از رودخانه	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
خاک	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰
زمین شناسی	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰
شیب	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱
فاصله از گسل	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰

زوجی می‌آزمایند. بردار ویژه نرمالیزه شده این ماتریس‌ها در جدول ۴ مشاهده می‌شود. داده‌های جدول ۴ نشان‌دهنده تأثیر نسبی زیرمعیارها بر یکدیگر است. اهمیت نسبی معیارها با در نظر گرفتن وابستگی از طریق تلفیق نتایج و به کارگیری رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

جدول ۵ نتایج نهایی اوزان مربوط به هر کدام از معیارهای مؤثر در شناسایی مکان‌های مناسب استقرار ایستگاه‌های انتقال پسماند را با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی نشان می‌دهد.

ماتریس مقایسه زوجی جامع معیارها و زیرمعیارهای هر کدام از آن‌ها بر اساس ماتریس‌هایی که هر کدام از کارشناسان اعلام کرده بودند، تشکیل شد. درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع، که در تحلیل سلسله مراتبی فازی به کار می‌روند، یک عدد فازی مثلثی اند که مؤلفه اول آن حداقل، مؤلفه دوم آن میانگین و مؤلفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌هاست. جدول ۳ نتایج به دست آمده بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی را نشان می‌دهد. اکنون وابستگی میان زیرمعیارها در نظر گرفته می‌شود. تمامی کارشناسان، تأثیر تمامی زیرمعیارها را با مقایسه‌های

جدول ۳. وزن‌های نهایی معیارها و زیرمعیارها در مدل Fuzzy AHP

اقتصادی، اجتماعی		فنی، محیطی		فیزیوگرافی		معیار	
۰/۵۴۳۸		۰/۲۵۳۸		۰/۲۰۲۴		وزن معیارها	
فاصله از بزرگراه	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از رودخانه	خاک	زمین شناسی	شیب	فاصله از گسل	
۰/۵	۰/۵	۰/۴۴۸۹	۰/۳۲۴۲	۰/۲۲۶۹	۰/۶۸۳۳	۰/۳۱۶۷	وزن زیرمعیارها (نرمال نشده)
۰/۲۷۱۹	۰/۱۱۳۹	۰/۱۱۳۹	۰/۰۸۲۳	۰/۰۵۷۶	۰/۱۳۸۳	۰/۰۶۴۱	وزن نهایی (نرمال شده)

مدل سازي فضايي و پهنه بندي منطقه

براي پهنه بندي منطقه، ميزان عضويت فزي فزي براي هر يك از معيارها تعيين (جدول ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰) و نقشه فزي هر کدام از آنها در محيط نرم افزار ArcGIS تهيه شد. همچنين، براي معيارهاي خاك و زمين شناسي بر اساس نوع آنها ارزش فزي به طور گسسته اختصاص يافت (جدولهاي ۱۱ و ۱۲).

در گام پاياني، وزن هاي به دست آمده در فرايند تحليل شبكه اي فزي براي هر معيار در نقشه فزي به دست آمده براي آن معيار ضرب و تمامي نقشه هاي وزن دار با استفاده از تابع SUM در نرم افزار ArcGIS، كه از توابع محلي Local در ارتباط با مدل لايه هاي رستري است، با يكديگر تركيب شدند (شكل ۵).

جدول ۴. ماتريس وابستگي ميان زير معيارها

فاصله از گسل	شيب	زمين شناسي	خاك	فاصله از رودخانه	فاصله از مناطق مسكوني	فاصله از بزرگراه
۰/۱۰۶۲	۰	۰	۰	۰/۰۶۴۷	۰/۰۷۴۸	۰/۵
۰/۱۰۶۲	۰	۰	۰	۰/۰۷۴۸	۰/۵	۰/۱۱
۰/۰۹۱۸	۰/۱۳۵۸	۰/۱۴۲۹	۰/۱۶۰۵	۰/۵	۰/۱۰۰۷	۰/۰۸۲۶
۰	۰	۰	۰/۶۹۸۸	۰/۱۰۰۷	۰/۰۶۴۷	۰/۰۶۹۸
۰	۰	۰/۸۵۷۱	۰/۱۴۰۷	۰/۱۱۴۸	۰/۰۸۷۶	۰/۰۶۹۸
۰/۰۹۱۸	۰/۷۷۵۳	۰	۰	۰/۰۸۷۶	۰/۰۵۷۴	۰/۰۷۲
۰/۶۰۴۰	۰/۰۸۸۹	۰	۰	۰/۰۵۷۴	۰/۱۱۴۸	۰/۰۹۵۸

جدول ۵. اوزان نهايي براي هر کدام از معيارها و زير معيارها با استفاده از مدل Fuzzy ANP

وزن	زير معيار	معيار
۰/۱۷۰۵	فاصله از بزرگراه	اقتصادي، اجتماعي
۰/۱۸۱۲	فاصله از مناطق مسكوني	
۰/۱۵۲۹	فاصله از رودخانه	فني، محيطي
۰/۱۰۵۵	خاك	
۰/۱۱۶۸	زمين شناسي	
۰/۱۵۸۳	شيب	فيزيوگرافي
۰/۱۱۴۸	فاصله از گسل	

جدول ۶. ميزان اثرگذاري معيار شيب در شناسايي مكان بهينه ايستگاههاي انتقال پسماند

شيب (به درجه)	< ۶	۶-۷	۷-۹	> ۹
ارزش	۰/۵ - ۱	۰/۳ - ۰/۵	۰ - ۰/۳	۰

جدول ۷. ميزان اثرگذاري معيار فاصله از گسل در شناسايي مكان بهينه ايستگاههاي انتقال پسماند

فاصله	ارزش
< ۱۰۰۰	۰
۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۰ - ۰/۲
۲۰۰۰ - ۳۰۰۰	۰/۲ - ۰/۴
۳۰۰۰ - ۴۰۰۰	۰/۴ - ۰/۶
۴۰۰۰ - ۵۰۰۰	۰/۶ - ۰/۸
> ۵۰۰۰	۰/۸ - ۱

جدول ۸. میزان اثرگذاری معیار فاصله از رودخانه در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند

فاصله از رودخانه (به متر)	< ۱۰۰۰	۱۰۰۰ - ۲۵۰۰	> ۲۵۰۰
ارزش	۰	۰ - ۰/۵	۰/۵ - ۱

جدول ۹. میزان اثرگذاری معیار فاصله از بزرگراه در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند

فاصله از بزرگراه (به متر)	< ۵۰۰	۵۰۰ - ۱۰۰۰	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۲۰۰۰ - ۳۰۰۰	۳۰۰۰ - ۴۰۰۰	> ۴۰۰۰
ارزش	۰	۰ - ۰/۲	۰/۹ - ۱	۰/۸ - ۰/۹	۰/۲ - ۰/۸	۰

جدول ۱۰. میزان اثرگذاری معیار فاصله از مناطق مسکونی در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند

فاصله از مناطق مسکونی (به متر)	< ۵۰۰	۵۰۰ - ۶۰۰۰	۶۰۰۰ - ۷۰۰۰	۷۰۰۰ - ۸۰۰۰	۸۰۰۰ - ۹۰۰۰	۹۰۰۰ - ۱۰۰۰۰	> ۱۰۰۰۰
ارزش	۰	۰/۷ - ۱	۰/۵ - ۰/۷	۰/۴ - ۰/۵	۰/۲ - ۰/۴	۰ - ۰/۲	۰

جدول ۱۱. میزان اثرگذاری معیار خاک در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند

ارزش	نوع	ارزش	نوع
۰/۸۰۳۹۲۲	خاک‌های نامرغوب جدید	۰/۸۲۷۴۵۱	خاک‌های خشک
۰/۴۳۱۳۷۳	زمین‌های سنگلاخی	۱	خاک‌های خشک و نامرغوب جدید
۰/۰۷۸۴۳۱	زمین‌های مسطح نمکی	۰/۸۶۲۷۴۵	تلماسه‌ها
۰/۰۳۹۲۱۶	زمین‌های شهری	۰/۰۳۹۲۱۶	کفه‌های نمکی: پلایا

جدول ۱۲. میزان اثرگذاری معیار زمین‌شناسی در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند

ارزش	نوع	ارزش	نوع	ارزش	نوع
۰/۳۵۶۸۶۳	شیل‌های سبز زیتونی روشن همراه با کوارتز و آهک	۰/۴	کنگلومرای پلی میکتیک و ماسه‌سنگ	۰/۳۶۴۷۰۶	ماسه سنگ، کوارتز، شیل و آهک
۰/۱۴۹۰۲	مارن، شیل، ماسه‌سنگ و سنگ آهک	۰/۵۵۶۸۶۳	ترکیبی از کنگلومرای قرمز، ماسه سنگ و مارن و ژیبس	۰/۹۴۱۱۷۶	واریزه‌های مخروط افکنه‌ای و پادگانه‌های دره‌ای انباشته‌شده کلاس پایین
۰/۴۲۳۵۲۹	مارن با شیل به همراه آهک	۰/۶۰۳۹۲۲	مارن قرمز، ژیبس مارنی، ماسه‌سنگ و کنگلومرا	۰/۳۵۲۹۴۱	آتشفشانی (بازالت و آندزیت)
۰/۹۲۱۵۶۹	کنگلومرای پلی ژنیک قرمز کم‌رنگ و ماسه‌سنگ	۰/۴۷۸۴۳۱	ریولیت از نوع توف آتشفشانی	۰/۵۴۹۰۲	توف آتشفشانی
۱	واریزه‌های مخروط افکنه‌ای و پادگانه‌های دره‌ای کلاس بالا	۰/۳۸۰۳۹۲	آهک نازک لایه تا توده‌ای سنگ بستر از نوع ریفتی به رنگ خاکستری تیره و دولومیت زرد نازک لایه‌بخش بالائی	۰/۳۸۴۳۱۴	آهک هوازده و کمتر هوازده نازک لایه تا توده‌ای به رنگ خاکستری و قهوه‌ای، دولومیت‌های توده‌ای سازند جهرم

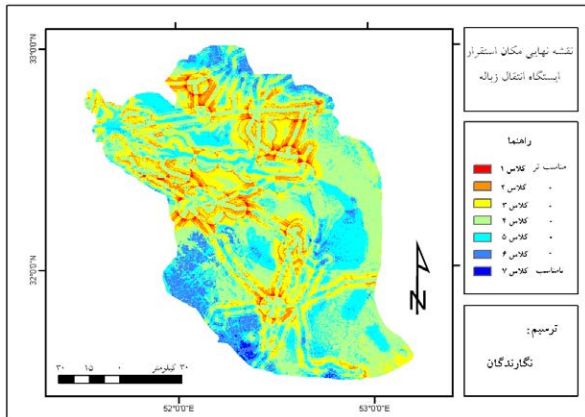
ارزش	نوع	ارزش	نوع	ارزش	نوع
۰/۴	سنگ‌هاى آهكى نازك لايه تا توده‌اى	۰	زمين‌هاى مسطح نمكى	۰/۳۷۲۵۴۹	توف آتشفشانى (آندزيت)
۰/۴۱۱۷۶۵	شيل‌هاى خاكسترى تيره و ماسه‌سنگ (سازند شمشك)	۰/۹۰۱۹۶۱	گنبد‌هاى ماسه‌اى و سطوح مسطح ماسه	۰/۳۶۴۷۰۶	مارن به همراه آهك
۰/۱۱۷۶۴۷	ديوريت	۰/۳۹۲۱۵۷	آهك	۰/۳۳۳۳۳۳	آتشفشانى (آندزيت)
۰/۰۷۸۴۳۱	گرانيت ديوريت	۰/۴۱۹۶۰۸	تراورتن	۰/۱۲۵۴۹	رس مسطح
۰/۱۹۶۰۷۸	دولوميت خالص به رنگ زرد	۰/۳۱۷۶۴۷	آهك توده‌اى تا نازك لايه سفيد تا صورتى اوربیتولین دار	۰/۳۹۲۱۵۷	سنگ‌هاى دوره كرتاسه
۰/۳۳۳۳۳۳	آهك اوربیتولین دار توده‌اى تا نازك لايه خاكسترى	۰/۲۷۴۵۱	آهك زرد تا صورتى نازك لايه سنگ بستر در دوره كواترنرى وورم	۰/۴۹۰۱۹۶	داسيت آندزيت توف
۰/۳۸۸۲۳۵	داسيت آندزيت از زيرگروه سنگ‌هاى آتشفشانى	۰/۲۹۴۱۱۸	آهك نازك و متوسط لايه تا توده‌اى خاكسترى اوربیتولین دار	۰/۳۸۴۳۱۴	داسيت آندزيت توف آتشفشانى
۰/۳۹۶۰۷۸	ژيپس مارن	۰/۳۰۹۸۰۴	جريان‌هاى لاوا	۰/۳۷۲۵۴۹	داسيت آندزيت ولكانيك

جدول ۱۳. وضعیت ایستگاه‌هاى انتقال پسماند پیشنهادى

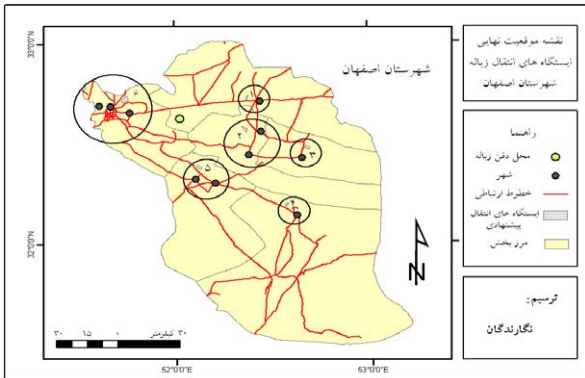
ارزيابى ميدانى	وضعيت كلاس	كاربرى فعلى	فاصله تا شهر (به كيلومتر)	شهر تحت پوشش	ايستگاه انتقال پيشنهادهى
بسيار خوب	۱	كوير	۶/۵	كوهپايه	ايستگاه ۱
بسيار خوب	۱	كوير	۷	هرند	ايستگاه ۲
			۱۳/۵	اژيه	
بسيار خوب	۱	كوير	۶/۵	ورزنه	ايستگاه ۳
بسيار خوب	۱	كوير	۷/۶	حسن آباد	ايستگاه ۴
بسيار خوب	۱	مرايع	۱۱/۱	نيك آباد	ايستگاه ۵
			۶/۴	محمدآباد	
خوب (تنها مشكل قرارگيرى منطقه پيشنهادهى در زمين زراعى است).	۲	اراضى كشاورزى	۱۲/۵	رهنان	ايستگاه ۶

كلاس شماره ۱ با توجه به پتانسيل بيشتري استقرار
ايستگاه‌هاى انتقال پسماند مناسب‌ترين كلاس است و ديگر
كلاس‌ها به ترتيب اهميت كمترى دارند. نتايج به‌دست‌آمده
نشان مى‌دهد كه تنها ۰/۷۲۷ درصد از منطقه مورد مطالعه

به منظور شناسايى و ارزيابى ويژگي‌هاى پتانسيل منطقه
مورد مطالعه براى استقرار ايستگاه‌هاى انتقال پسماند، نقشه
نهايى به‌دست‌آمده از منطقه بر اساس انحراف معيار به ۷
كلاس تقسيم‌بندي شد (شكل ۶).



شکل ۶. نقشه‌های نهایی طبقه‌بندی شده در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند شهرستان اصفهان



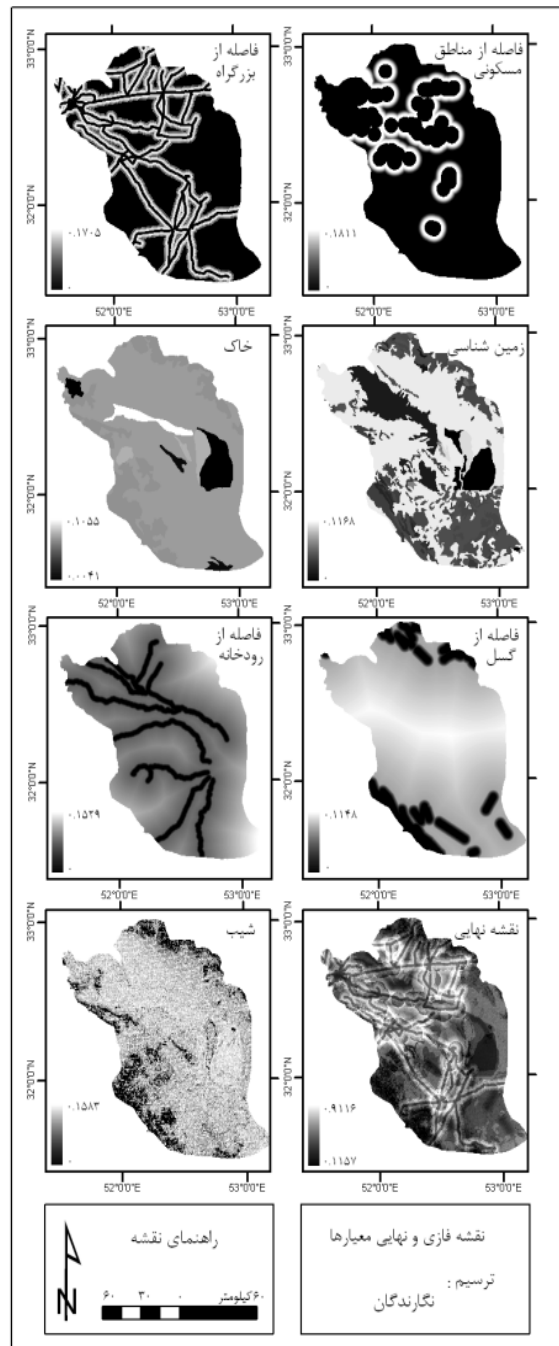
شکل ۷. نقشهٔ موقعیت نهایی ایستگاه‌های انتقال پسماند شهرستان اصفهان

برای رسیدن به این نقاط کم‌ترین فاصله از مکان‌هایی با وضعیت مناسب (کلاس ۱) برای استقرار ایستگاه‌های انتقال تا شهر و محل دفن فعلی پسماند در نظر گرفته شد. علاوه بر این، با قراردادن لایهٔ کاربری اراضی شهرستان سعی شد تا مناطق پیشنهادی در کاربری‌های کویری یا فاقد پوشش گیاهی قرار گیرد تا به اراضی کشاورزی و مرتع آسیبی وارد نشود. جدول ۱۳ توضیحاتی در خصوص نقاط پیشنهادی ارائه می‌دهد.

۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

امروزه توسعهٔ روزافزون مناطق شهری و افزایش بی‌رویهٔ جمعیت در کنار تولید انواع پسماندهای شهری توجه به انتقال این مواد از محیط زندگی انسان را ضروری کرده است. فرایند انتخاب مکان مناسب ایستگاه‌های انتقال پسماند نیازمند توجه به پارامترهای زیادی است. توجه به

برابر با ۱۱۴/۱۷۲ کیلومتر مربع در کلاس ۱ و ۶/۸۶۸ درصد در کلاس ۲ قرار گرفته و سهم هر یک از کلاس‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ به ترتیب ۲۰/۹۸۲، ۴۱/۳۷۶، ۲۳/۶۲۷، ۶/۱۵۷ و ۰/۲۶۲ درصد است. در ادامه با توجه به موقعیت هر کدام از شهرهای این شهرستان و موقعیت محل کنونی دفن پسماند، نقاطی به‌مثابهٔ ایستگاه‌های انتقال پسماند پیشنهاد شد (شکل ۷).



شکل ۵. نقشه‌های فازی وزن‌دار و نهایی هر یک از شاخص‌های مؤثر در شناسایی مکان بهینهٔ ایستگاه‌های انتقال پسماند

مشخص شده باشد. این نکته باید همواره در تمامی مراحل تحقیق در نظر گرفته شود. علاوه بر این، شیوه ترکیب شاخص‌های تأثیرگذار در انتخاب مکان‌های مناسب ایستگاه‌های انتقال پسماند نیز نکته مهم دیگری است که برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر باید در نظر گرفته شود. تکنیک به کار گرفته شده در این تحقیق از ساده‌ترین تکنیک‌های ترکیب است که با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته از نتایج تحقیق دقت قابل قبولی را ارائه داده است. برای نیل به نتایج بهتر لازم است که این تحقیق با تکنیک‌های دیگر ترکیب معیارها آزموده شود و با یکدیگر مقایسه شوند تا امکان تصمیم‌گیری مناسب‌تری را برای این موضوع شاهد باشیم.

یادداشت

- 1-DEMATEL: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
- 2-ANP: Analytic Network Process
- 3-Weight vector

هر کدام از این عوامل و انتخاب مکان مناسب ایستگاه انتقال، کارایی جمع‌آوری مواد زائد را بیشتر می‌کند و موجب کاهش هزینه حمل و نقل، آلودگی محیط و مصرف انرژی می‌شود. این تحقیق با شناسایی عوامل مؤثر در تعیین مکان مناسب ایستگاه‌های انتقال پسماند، مدیران و برنامه‌ریزان شهری را در شناسایی و انتخاب مکان‌های مستعد استقرار این ایستگاه‌ها یاری می‌رساند. نکته مهم در این تحقیق اهمیت دقت در تعیین وزن‌های مربوط به هر یک از معیارهاست که نقش مهمی در نتایج کار داراست. هر چه این وزن‌ها با دقت بیشتری تعیین شوند، نتایج کار به واقعیت نزدیک‌تر می‌شوند و قابلیت اطمینان بالاتری خواهند داشت.

تکنیک فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی با لحاظ کردن روابط میان معیارها و نزدیک‌بودن مقایسه‌ها میان معیارها به تفکر انسانی، نقش بسزایی در نزدیک کردن نتایج به واقعیت داراست. این نزدیکی به واقعیت هنگامی حاصل می‌شود که روابط میان معیارها به درستی از سوی متخصصان خبره

منابع

- آقابراهیمی سامانی، ب؛ ماکویی، ا؛ صدرلاهیجانی، م. ۱۳۸۷. «ارزیابی چالش‌های شرکت‌های ایرانی در پروژه‌های نفت و گاز به روش DEMATEL»، *مجله علمی و پژوهشی شریف*، شماره ۴۵، صص ۱۲۱-۱۲۹، تهران.
- اصغرپور، م. ۱۳۸۲. *تصمیم‌گیری گروهی و نظریه بازی‌ها با نگرش تحقیقی در عملیات*، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- بیک‌محمدی، ح؛ مومنی، م؛ زارع، ا. ۱۳۸۹. «مکان‌یابی بهینه دفن پسماند در شهرها با استفاده از GIS (مطالعه موردی: شیراز)»، *فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی*، سال دوم، شماره چهار، صص ۶۵-۸۱، نجف‌آباد.
- چوبانگلو، ج؛ تیسن، ه؛ ویجیل، س. ۱۳۸۸. *مدیریت جامع پسماند (اصول مهندسی و مسائل مدیریتی)*، جعفرزاده، حقیقی‌فرد، نعمت‌الله یغماییان، کامیار حسینی، محمد بهرامی، حمیده خانبران، چاپ دوم، تهران.
- رزمی، ج؛ صادق عمل‌نیک، م؛ هاشمی، م. ۱۳۸۷. «انتخاب تأمین‌کننده با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی»، *نشریه دانشکده فنی (دانشگاه تهران)*، دوره ۴۲، شماره ۷، صص ۹۳۵-۹۴۶، تهران.
- سعیدینیا، ا. ۱۳۷۸. *کتاب سبز شهرداری: مواد زائد جامد شهری*، سازمان شهرداری‌های کشور، چاپ اول، تهران.
- شکرریزفرد، م؛ طالب بیدختی، ن؛ شکرریزفرد، پ. (۱۳۸۸). «روشی برای محاسبه همزمان بهترین مسیر حمل پسماند شهری و مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند به روش Nonlinear Integer Programing»، *دومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست*.
- عالم تبریز، ا؛ باقرزاده‌آذر، م. ۱۳۸۸. «تلفیق ANP فازی و TOPSIS تعدیل‌شده برای گزینش تأمین‌کننده راهبردی، پژوهش‌های مدیریت»، *دوره ۲، شماره ۳، صص ۱۴۹-۱۸۱*، زاهدان.

- عبدلی، م. ۱۳۷۲. سیستم مدیریت مواد جامد شهری و روش‌های کنترل، سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری، تهران.
- عبدلی، م. ۱۳۷۲. مدیریت مواد زائد جامد (جلد ۱)، سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری، تهران.
- عشورنژاد، غ؛ فرجی سبکبار، ح؛ علوی پناه، ک؛ نامی، م. ۱۳۹۰. «مکان‌یابی شعب جدید بانک‌ها و مؤسسات مالی و اعتباری با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy ANP)»، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۲، شماره ۷، صص ۱-۲۰، مردشت.
- عمرانی، ق؛ رضایی مقدم، م؛ منوری، سید م؛ نصیری، پ. ۱۳۸۰. «بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی ایستگاه انتقال مواد زائد جامد در شهر تهران (مطالعه موردی مناطق ۲، ۵ و ۱۵)»، فصلنامه محیط‌شناسی، سال بیست و هفتم، شماره ۲۸، صص ۳۱-۳۹، تهران.
- فتحی، ت. ۱۳۸۶. «معیارهای مکان‌یابی زیست‌محیطی محل‌های دفن پسماندهای خطرناک»، سومین همایش ملی مدیریت پسماند، سازمان شهرداری‌ها و دهرداری‌های کشور، صص ۴۲۱-۴۳۴، تهران.
- فرهودی، ر؛ حبیبی، ک؛ زندی بختیاری، پ. ۱۳۸۴. «مکان‌یابی محل دفن مواد زائد جامد شهری با استفاده از منطق فازی (Fuzzy Logic) در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر سنندج)»، فصلنامه هنرهای زیبا، شماره ۲۳، صص ۱۵-۲۴، تهران.
- قدسی پور، سید ح. ۱۳۸۹. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، چاپ هشتم، تهران.
- معاونت آموزشی جهاد دانشگاهی. ۱۳۸۷. راهنمای جامع مدیریت شهری: مجموعه اصول، قوانین و مفاهیم موردنیاز شهرداران، جهاد دانشگاهی، واحد تهران، تهران.
- ملکیان، آ؛ افتادگان خوزانی، ا؛ عشورنژاد، غ. ۱۳۹۱. «پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه اختراآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی»، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۴، شماره ۴، صص ۱۳۱-۱۵۲، تهران.
- مؤمنی، م. ۱۳۸۹. مباحث نوین تحقیق در عملیات، ناشر مؤلف، چاپ اول، تهران.
- Komilis, D. P. 2008. Conceptual modeling to optimize the haul and transfer of municipal solid waste, Journal of Waste Management. Vol 28: 2355-2365.
- Paily P. Paily. 2006. Optimal siting of solid waste transfer stations for minimizing haul costs, Journal of Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering June 14-16.
- Rafiee, R. , et al . 2011. Siting transfer stations for municipal solid waste using a spatial multi-criteria analysis. Journal of Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XVII, No. 2, May 2011, pp. 143-154.
- Shieh, J.I., Wu H.H., K.K., Huang. 2010. A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality, Knowledge-Based Systems, Vol.23, No.3, PP. 277-282.
- Tzeng G.H., C.H., Chiang C.W., Li .2007. Evaluating intertwined effects in e-learning programs: a novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL, Expert Systems with Applications: An International Journal. Vol.32, No.4, PP. 1028-1044.
- Wu, W.W. 2008. Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach, Expert Systems with Applications: An International Journal. Vol. 35, NO.3, PP. 828-835.
- Zamoranoa, M., E. et al. 2009. A planning scenario for the application of geographical information systems in municipal waste collection: A case of Churriana de la Vega (Granada, Spain), Journal of Resources, Conservation and Recycling. Vol. 54: 123-133.