

مکان‌یابی محل دفن پسماند ساختمانی با استفاده از ترکیب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FUZZY AHP) و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) (مطالعه موردی: شهر قزوین)

مظفر خادمی شیراز^{۱*}، مهدی روانشادنیا^۱، افشین خشنود^۲، حمیدرضا عباسیان جهرمی^۲

^۱ دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

^۲ دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶

بازنگری: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۰

ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸

کلمات کلیدی:

سیستم اطلاعات مکانی (GIS)
تحلیل فرآیند سلسله مراتبی
فازی (FAHP)
دفن پسماند
مکان‌یابی
قزوین

خلاصه: امروزه با توسعه روزافزون شهری، پسماند ساختمانی یک معضل بزرگ برای زندگی شهری است. شهر قزوین نیز از این قائده مستثنی نبوده و یافتن مکان دفن مناسب یک ضرورت مهم است. هدف از این پژوهش شناسایی مناطق مستعد دفع پسماندهای ساختمانی در محدوده شهرستان قزوین با در نظر گرفتن شرایط و ضوابط سازمان‌هایی همچون شهرداری، مدیریت پسماند و سازمان حفاظت محیط زیست و با استفاده از سامانه‌ی اطلاعاتی جغرافیایی GIS می‌باشد. بدین منظور در این پژوهش از ۱۶ لایه‌ی اطلاعاتی شامل لایه‌هایی مانند زمین‌شناسی، نوع خاک و نفوذپذیری، کاربری اراضی، اقلیم، فاصله از رودخانه، فاصله از مناطق حفاظت شده، جهت شیب و غیره در محدوده شهرستان قزوین بکار گرفته شدند و بعد از تولید نقشه‌های اولیه، طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری زیرمعیارهای هر لایه اطلاعاتی انجام گرفته است و مقادیر ارزش‌گذاری به مقادیر فازی بین صفر و یک تبدیل گردیدند. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی وزن مطلق هر لایه اطلاعاتی محاسبه شد و با تلفیق و هم‌پوشانی وزن‌دار لایه‌ها، نقشه شایستگی مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی برای شهرستان قزوین تولید گردید. طبق نقشه شایستگی، مکان‌های موجود برای دفن پسماند در پنج پهنه مشخص و زمین‌هایی با مساحت بالا از میان زمین‌های پهنه پنجم (با ارزش ۹) جهت بهترین مکان برای دفن پسماند ساختمانی در بازه ۴۰ ساله پیشنهاد شدند. طبق نتایج تحقیق مشخص شد محدوده شمال غربی قزوین به دلیل جنس خوب خاک، کاربری اراضی مناسب، فاصله از رودخانه‌ها، گسل‌ها و دسترسی به جاده ارتباطی و اقلیم خشک می‌تواند مناسب‌ترین مکان برای دفن پسماند ساختمانی باشد.

۱- مقدمه

جدید با قابلیت‌هایی از قبیل بازیافت و دفن بهینه حس می‌گردد. در این پژوهش برای مکان‌یابی دفن پسماند ساختمانی در شهر قزوین به کمک معیارهایی از قبیل اطلاعات زمین‌شناسی، خاکشناسی، توپوگرافی، فاصله از مراکز جمعیتی و صنعتی، فاصله از خطوط راهی و کاربری اراضی مکان‌های بهینه جدید تعیین گردید. با توجه به دخیل بودن معیارهای مختلف در این زمینه، اجرای صحیح، دقیق و همه‌جانه مکان‌یابی در پروژه‌ها اهمیت و ضرورت بالایی دارد. در این پژوهش از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) که قابلیت ترکیب اطلاعات و تولید نتایج را داراست بهره برده شد. نحوه ترکیب و تصمیم‌گیری در سیستم اطلاعات مکانی از اهمیت بالایی برخوردار هست که استفاده

رشد بی رویه جمعیت منجر به توسعه روزافزون صنعت ساختمان‌سازی و متناسب با آن تولید پسماندهای ساختمانی گشته است. امروزه یافتن یک مکان دفن ایده‌آل که تمامی شرایط محیط زیستی و اقتصادی لازم را داشته باشد یک هدف عمده در بحث پسماندها می‌باشد. عدم مدیریت و دفن هدفمند آن‌ها می‌تواند اثرات مخرب زیست محیطی و انسانی به همراه داشته باشد. در کشور ایران طبق آمار روزانه حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ هزار تن یعنی سالانه ۷۰ تا ۸۰ میلیون تن پسماندهای ساختمانی تولید می‌گردد [۱]. با توجه به عدد بالای میزان تولید این پسماندها برای شهرها ضرورت ایجاد مکان‌هایی *نویسنده عهده‌دار مکاتبات: fkhademishiraz@yahoo.com



و ساده است و در شرایطی که معیارهای انتخاب گزینه‌ها متضاد هستند بهترین کارایی را دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد. تحلیل فرآیند سلسله مراتبی پنج گام کلیدی دارد:

۱. تشکیل ساختار سلسله مراتبی.
۲. تشکیل ماتریس مقایسه زوجی.
۳. محاسبه بردار ویژه و مقدار ویژه.
۴. انجام تست سازگاری و محاسبه وزن.
۵. تست سازگاری بررسی می‌کند که آیا پاسخ پرسشنامه‌ها سازگار بوده یا نه.

۲-۲- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

با این وجود روش تحلیل سلسله مراتبی معمولی به درستی نحوه‌ی تفکر انسانی را منعکس نمی‌کند، زیرا در مقایسه‌های زوجی این روش از اعداد دقیق استفاده می‌شود. منطق فازی قادر است بسیاری از مفاهیم و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم‌اند صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد [۹]. مدل تابع عضویت^۳ فازی کمک می‌کند تا بر عدم اطمینان غلبه شود و فازی‌سازی یک روش، منطبق بر زبان انسان گردد.

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ و همکاران به شرح زیر است [۱۰]:

مرحله ۱: رسم نمودار سلسله مراتبی

مرحله ۲: تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

مرحله ۳: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی (\tilde{A}) با به کارگیری اعداد فازی

$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}] \quad (1)$$

که $(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) = a_{ij}$ و $(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) = m_{ij}$ و u_{ij} به ترتیب کران پایین، پیک و کران بالای تابع فازی مثلثی را نمایش می‌دهد. نمونه‌ای از اعداد فازی تعریف شده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

توأم از منطق فازی^۱ و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۲ (AHP) به دلیل ماهیت بسیار کارآمد آن می‌تواند مزایای بسیاری را به ارمغان بیاورد که در این مقاله از آن استفاده شد.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه مکان‌یابی دفن انواع پسماند شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات مکانی در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است به گونه‌ای که هندریکس و همکاران در سال ۱۹۹۲ مکان‌یابی محل دفن مناسب زباله در ایالت ورمونت آمریکا را به لحاظ شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی با استفاده از GIS مورد ارزیابی قرار داده است [۲]. واستاوا در سال ۲۰۰۲ مکان‌یابی دفن زباله در اطراف شهر رانسی را استفاده از GIS و RS و با در نظر گرفتن معیارهای مختلف طبیعی و انسانی مورد بررسی قرار داده است [۳]. وان و همکاران در سال ۲۰۱۷ به مدل‌سازی اطلاعات ساختمان‌ها برای ساخت و مدیریت تخلیه نخاله‌ها و کاهش آن‌ها پرداخته‌اند. [۴]. قانعی و کشفی در سال ۱۳۹۶ به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی شهر یزد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی پرداخته‌اند. آن‌ها در این پژوهش با بهره‌گیری از پارامترهایی از قبیل زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، کاربری اراضی و ترکیب آن‌ها در محیط GIS به انتخاب مکان‌های بهینه برای دفن می‌پردازند [۵]. سرور و همکاران در سال ۱۳۹۴ به مکان‌یابی بهینه دفن زباله‌های بهداشتی-بیمارستانی با استفاده از مدل‌های کمی در شهرستان بناب پرداخته‌اند. روشی مورد استفاده، ترکیب GIS و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP بوده است [۷].

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش روش‌هایی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است توضیح داده می‌شود.

۲-۱- تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش AHP که بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده می‌باشد توسط محقق بنام «توماس ال ساعتی» در دهه‌ی ۱۹۸۰ پیشنهاد گردیده است [۸]. این تکنیک بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به پژوهشگران می‌دهد. فرآیند سلسله مراتبی (AHP) روشی انعطاف‌پذیر، قوی

1 Fuzzy logic

2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

3 Membership function

جدول ۱. اعداد فازی تعریف شده در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی
Table 1. Fuzzy numbers defined in the fuzzy AHP

عدد فازی	تعریف	مقیاس فازی مثلثی
9	اهمیت مطلق	(8.9.9)
7	اهمیت خیلی قوی	(6.7.8)
5	اهمیت قوی	(4.5.6)
3	اهمیت ضعیف	(2.3.4)
1	اهمیت خیلی ضعیف	(1.1.2)
1	دقیقاً مساوی	(1.1.1)

درجه و ۵۸ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه ۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی (شکل ۱).

$$a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$$

۳- نتایج و بحث

روند کلی مکان‌یابی در شکل ۲ نشان داده شده است. روند کلی کار را می‌توان در سه مرحله کلی تشریح نمود.

مرحله اول: مرحله اول بدین صورت است که بعد از بررسی و استخراج پارامترها و فاکتورهای تأثیرگذار در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی، داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری می‌گردد و نقشه‌ها یا لایه‌های اولیه از طریق داده‌های جمع‌آوری گردیده تولید می‌گردند.

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول ۲ نمایش داده شده است که شامل ۱۶ لایه اطلاعاتی است. برخی از لایه‌های خطی و برخی سطحی هستند.

مرحله دوم: در مرحله دوم، لایه‌ها یا نقشه‌های تولید شده به کمک ابزار GIS، براساس قیدهای موجود در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی، کلاسه‌بندی و با اعداد ۱ تا ۹ ارزش‌گذاری و سپس مقادیر ارزش‌های هر لایه به وسیله توابع عضویت فازی به مقادیر فازی تبدیل می‌گردند که اصطلاحاً به آن فازی‌سازی می‌گویند. برای این منظور از نرم‌افزار ArcGIS ۱۰.۵ استفاده گردیده است. در فازی‌سازی مقادیر ارزش‌گذاری از تابع عضویت خطی استفاده شده است (شکل ۳).

در رابطه با مکان‌یابی بهینه محل دفن پسماندهای ساختمانی قیود و شرایطی وجود دارد که بر اساس پژوهش‌های پیشین [۱۲-۱۵] و ضوابط زیست‌محیطی محل‌های دفن مصوب ۱۳۹۸ سازمان محیط

مرحله ۴: محاسبه اوزان لایه‌ها

در پژوهش حاضر از میانگین هندسی برای محاسبه وزن لایه‌ها استفاده شده است [۱۱].

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \otimes \tilde{r}_2 \otimes \dots \otimes \tilde{r}_n)^{-1} \quad (2)$$

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n} \quad (3)$$

که \tilde{w}_i وزن فازی هر لایه اطلاعاتی برای هر سطر ماتریس مقایسه زوجی و \tilde{r}_i میانگین هندسی عدد فازی مثلثی است.

مرحله ۵: غیرفازی‌سازی

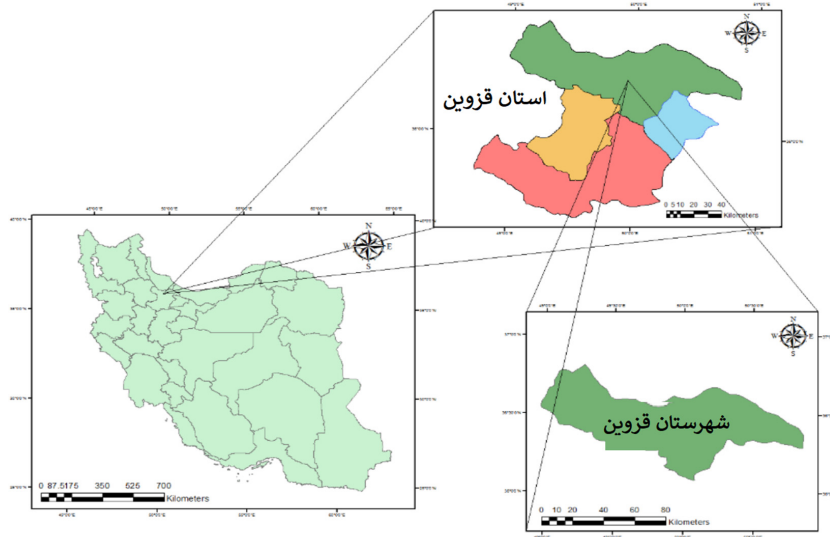
در انتها غیرفازی‌سازی^۱ وزن‌ها برای هر لایه انجام می‌شود و با استفاده از روش مرکز ناحیه^۲ وزن هر لایه محاسبه می‌گردد.

$$COA = w_i = \left(\frac{l+m+u}{3} \right) \quad (4)$$

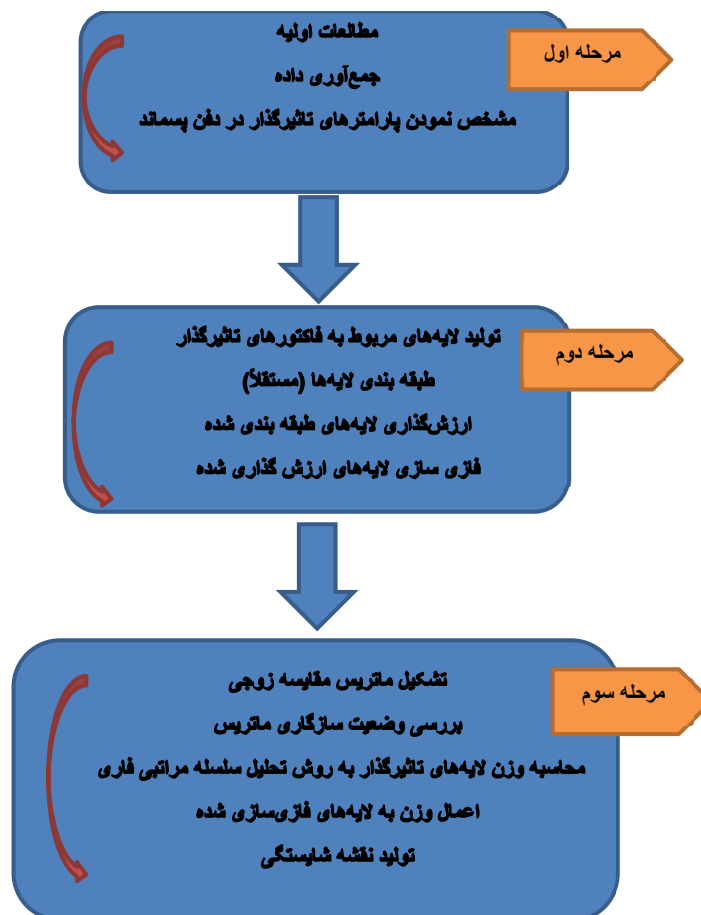
۳-۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در این پژوهش مربوط به شهرستان قزوین از استان قزوین می‌باشد. موقعیت این شهر بین طول جغرافیایی ۴۸

1 Defuzzification
2 Center of Area (COA)



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان قزوین
Fig. 1. Geographical location of Qazvin city

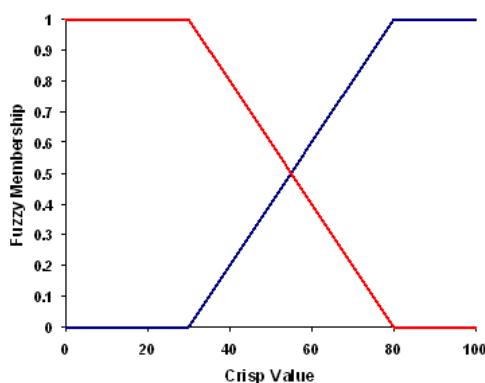


شکل ۲. روند کلی مراحل طی شده
Fig. 2. The general process of the steps

جدول ۲. لایه‌های مورد استفاده برای انجام مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی

Table 2. Layers used to site selection construction landfills

ردیف	داده‌های مورد استفاده	ردیف	داده‌های مورد استفاده
۱	گسل	۹	زمین لغزش
۲	شهرها	۱۰	جاده
۳	زمین‌شناسی	۱۱	خطوط ریلی
۴	نوع خاک و نفوذ پذیری	۱۲	روستاها
۵	کاربری اراضی	۱۳	مناطق حفاظت شده
۶	رودخانه و دریاچه‌ها	۱۴	پوشش گیاهی
۷	اقلیم	۱۵	شیب
۸	مدل رقومی زمین	۱۶	جهت شیب



شکل ۳. تابع عضویت خطی برای فازی‌سازی مقادیر ارزش گذاری شده

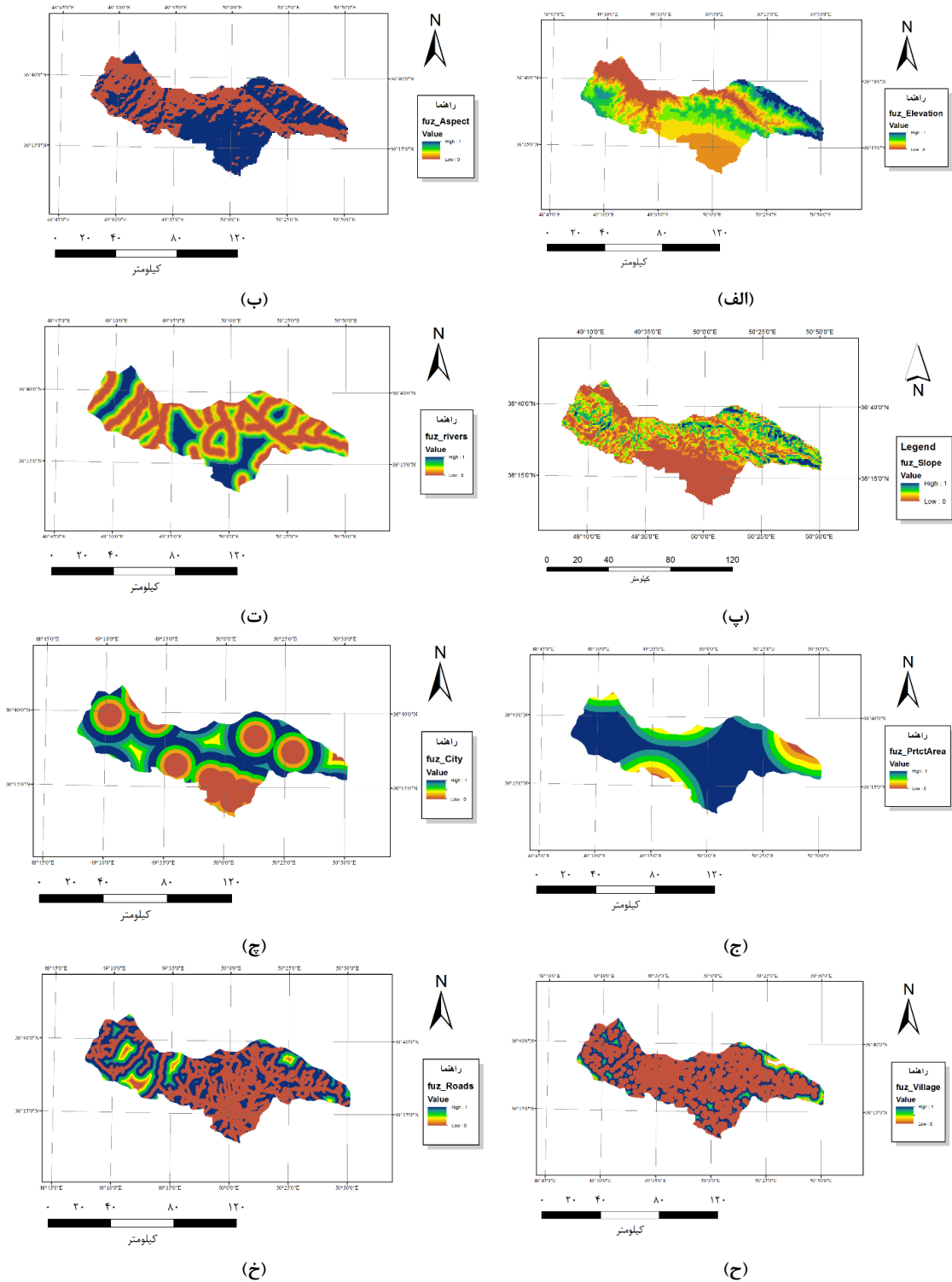
Fig. 3. Linear membership function for fuzzification of classified values

تولید می‌گردد (شکل ۵).

در این پژوهش بعد از تهیه نقشه شایستگی، به ۱۰ طبقه کلاسه‌بندی شد که هر دو طبقه معرف یک پهنه می‌باشد (شکل ۵-بالا). به عنوان مثال طبقه ۱ و ۲ که پایین‌ترین درجه شایستگی را دارا هستند در پهنه یک قرار می‌گیرند و طبقه ۹ و ۱۰ که بالاترین درجه شایستگی را دارا هستند در پهنه پنج قرار می‌گیرند. همین‌طور سایر طبقه‌های میانی پهنه‌بندی می‌شوند. پهنه ۵ مناطق کاملاً مناسب (دارای ارزش ۹) برای دفن پسماند ساختمانی می‌باشد. از عوامل عمده مطلوب بودن مناطق کاملاً مناسب (دارای ارزش ۹) می‌توان چنین بیان نمود: (۱) حریم مناسب با گسل؛ (۲) فاصله مناسب از رودخانه‌ها و مناطق حفاظت شده؛ (۳) کاربری اراضی مرتع فقیر و نسبتاً فقیر؛ و (۴) اقلیم خشک می‌باشد. همچنین علت عمده نامناسب بودن مناطق کاملاً نامناسب (دارای ارزش ۱) را می‌توان موارد زیر

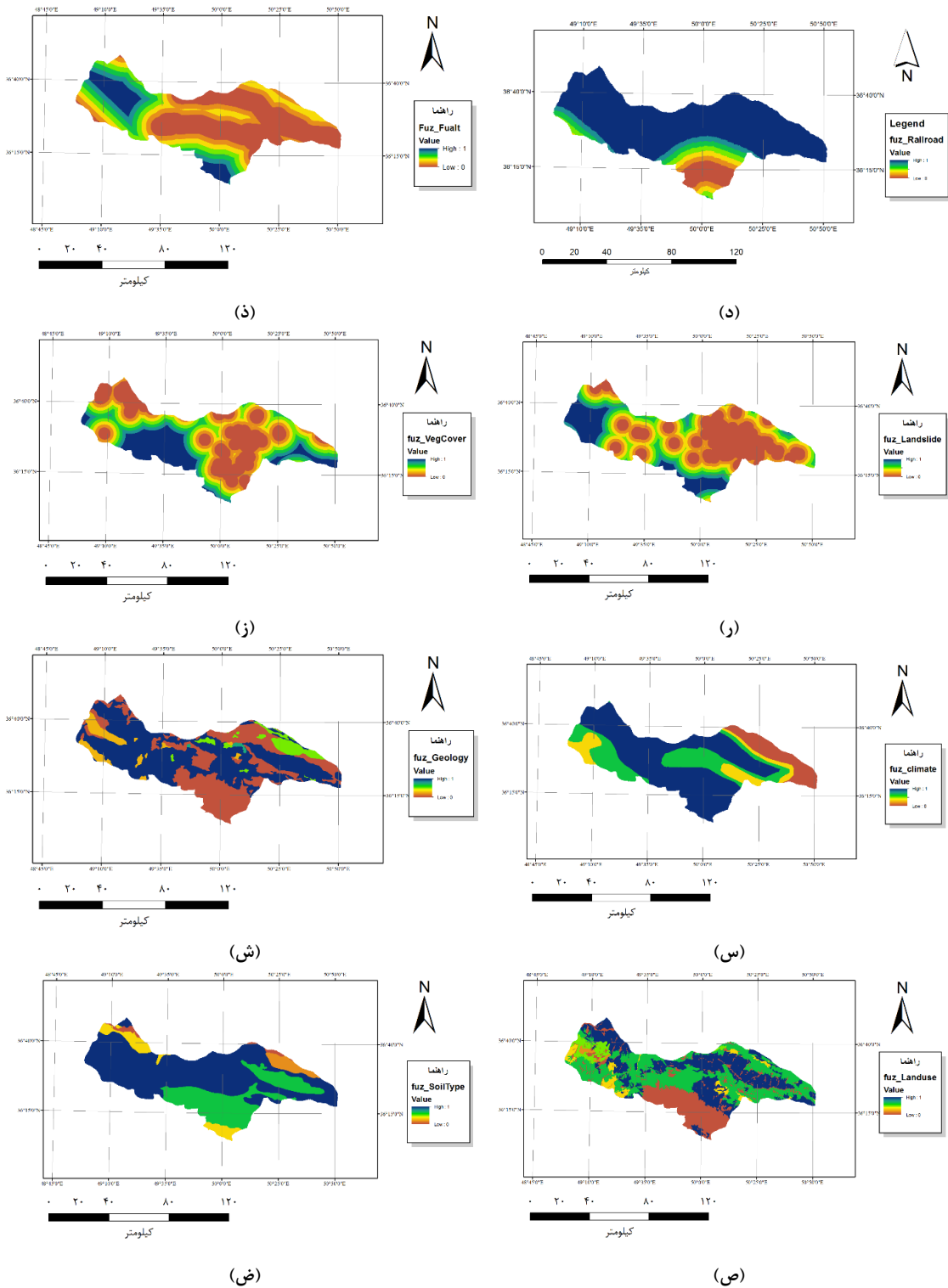
زیست [۱۶] انتخاب شده است که مبنای ارزش گذاری رعایت شرایط فوق بوده است. در شکل ۴ نقشه فازی شده‌ی معیارهای ارزش گذاری شده نمایش داده شده است.

مرحله سوم: در مرحله سوم، اوزان لایه‌ها یا فاکتورهای تأثیرگذار در مکان‌یابی به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی تعیین می‌گردند. بدین منظور ابتدا ماتریس مقایسه زوجی بین فاکتورهای تأثیرگذار در مکان‌یابی بر اساس دانش کارشناسی تشکیل (مطابق جداول ۳ و ۴) و میزان نرخ ناسازگاری برای آن محاسبه می‌گردد. در صورتی که نرخ ناسازگاری ماتریس زوجی تشکیل یافته بیش‌تر از ۰/۱ باشد نیاز به تجدید نظر در ماتریس مقایسه زوجی می‌باشد. در غیراینصورت اوزان فاکتورهای تأثیرگذار در مکان‌یابی به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی محاسبه می‌گردند و با اعمال وزن به لایه‌های فازی سازی شده و هم‌پوشانی آن‌ها، نقشه شایستگی محل دفن پسماندهای ساختمانی



شکل ۴. نقشه لایه‌های فازی شده به ترتیب (الف) لایه ارتفاع، (ب) لایه شیب، (پ) لایه جهت شیب، (ت) لایه فاصله از رودخانه‌ها، (ج) لایه فاصله از مناطق حفاظت شده، (چ) لایه فاصله از شهرها، (ح) لایه فاصله از روستاها، (خ) لایه فاصله از جاده‌ها، (د) لایه فاصله از خطوط ریلی، (ذ) لایه فاصله از گسل‌های فعال، (ر) لایه فاصله از نقاط زمین لغزش، (ز) لایه فاصله از پوشش گیاهی، (س) لایه اقلیم، (ش) لایه زمین شناسی، (ص) لایه کاربری اراضی و (ض) لایه نوع خاک

Fig. 4. Map of fuzzy layers in order. (a) Layer of height, (b) Layer of slope, (c) Layer of aspect, (d) Layer of distance from rivers, (e) Layer of distance from protected areas, (f) Layer of distance from cities, (g) Layer of Distance from villages, (h) Layer of distance from roads, (i) Layer of distance from railway lines, (j) Layer of Distance from active faults, (k) Layer of distance from landslide points, (l) Layer of distance from vegetation area, (m) Layer of Climate, (n) Layer of Geological, (o) Layer of landuse, and (p) Layer of soil type



ادامه شکل ۴. نقشه لایه‌های فازی شده به ترتیب (الف) لایه ارتفاع، (ب) لایه شیب، (پ) لایه جهت شیب، (ت) لایه فاصله از رودخانه‌ها، (ج) لایه فاصله از مناطق حفاظت شده، (چ) لایه فاصله از شهرها، (ح) لایه فاصله از روستاها، (خ) لایه فاصله از جاده‌ها، (د) لایه فاصله از خطوط ریلی، (ذ) لایه فاصله از گسل‌های فعال، (ر) لایه فاصله از نقاط زمین لغزش، (ز) لایه فاصله از پوشش گیاهی، (س) لایه اقلیم، (ش) لایه زمین شناسی، (ص) لایه کاربری اراضی و (ض) لایه نوع خاک

Continued Fig. 4. Map of fuzzy layers in order. (a) Layer of height, (b) Layer of slope, (c) Layer of aspect, (d) Layer of distance from rivers, (e) Layer of distance from protected areas, (f) Layer of distance from cities, (g) Layer of Distance from villages, (h) Layer of distance from roads, (i) Layer of distance from railway lines, (j) Layer of Distance from active faults, (k) Layer of distance from landslide points, (l) Layer of distance from vegetation area, (m) Layer of Climate, (n) Layer of Geological, (o) Layer of landuse, and (p) Layer of soil type

جدول ۳. ماتریس مقایسه زوجی معیارها
Table 3. Pairwise comparison matrix for criteria

ردیف	معیارها	فاصله از رودخانه‌ها	فاصله از مناطق حفاظت شده	کاربری اراضی	پوشش گیاهی	زمین شناسی	اقلیم	خاک و نفوذپذیری	فاصله از شهرها	فاصله از روستاها	گسل	فاصله از نقاط زمین لغزش	فاصله از جاده	جهت شیب	شیب	ارتفاع	جهت شیب
۱	فاصله از رودخانه‌ها	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
۲	فاصله از مناطق حفاظت شده	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
۳	کاربری اراضی	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
۴	پوشش گیاهی	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
۵	زمین شناسی	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
۶	اقلیم	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
۷	خاک و نفوذپذیری	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
۸	فاصله از شهرها	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
۹	فاصله از روستاها	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3
۱۰	گسل	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
۱۱	فاصله از نقاط زمین لغزش	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
۱۲	فاصله از جاده	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3
۱۳	فاصله از خطوط ریلی	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3
۱۴	شیب	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
۱۵	ارتفاع	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
۱۶	جهت شیب	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

برای سایت پیشنهادی شماره یک، ارزش‌های نسبی فاکتورهایی مانند محدوده ارتفاعی، متوسط شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از مناطق حفاظت شده، فاصله مناطق زمین لغزش، اقلیم و زمین شناسی مقادیر بالایی و ارزش‌های نسبی فاکتورهایی مانند فاصله از شهر (قزوین)، فاصله از پوشش گیاهی و کاربری زمین مقادیر متوسطی و ارزش‌های نسبی فاکتورهایی مانند فاصله از شهر (الوند و اقبالیه)، فاصله از روستاهای اطراف، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، نوع خاک و فاصله از خط راه‌آهن مقادیر پایینی را نشان می‌دهند. برای سایت پیشنهادی دوم، ارزش‌های نسبی فاکتورهایی مانند متوسط شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از مناطق حفاظت شده، زمین شناسی و نوع خاک مقادیر بالایی و ارزش‌های نسبی فاکتورهایی مانند محدوده ارتفاعی، اقلیم و کاربری زمین مقادیر متوسطی و ارزش‌های نسبی فاکتورهایی

برشمرد: ۱) فاصله کم از شهرها یا بیش از اندازه از شهرها؛ ۲) فاصله کم از گسل‌ها؛ ۳) کاربری کشاورزی و جنگلی؛ و ۴) فاصله کمتر از رودخانه‌ها و دارای اقلیم مرطوب.

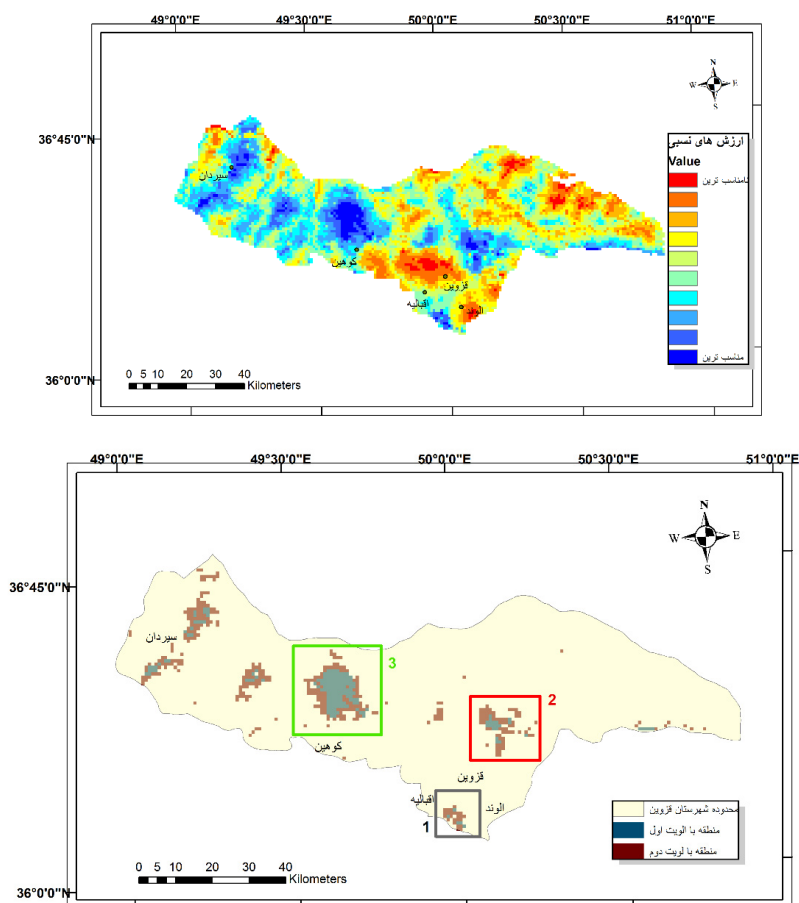
همان‌طور که در شکل ۵-پایین مشاهده می‌گردد، پهنه ۵ با ارزش ۹ از سایر مناطق ماسک و خود پهنه ۵ از دو منطقه با اولویت اول و اولویت دوم به ترتیب با مساحت ۱۴۰ و ۳۰۳ کیلومتر مربع تقسیم شده است. به علت پراکندگی سه سایت پیشنهادی برای محل دفن پسماندهای ساختمانی انتخاب گردید. در انتخاب سایت‌های پیشنهادی قسمت‌هایی از پهنه ۵ انتخاب گردید که نزدیک به شهرستان قزوین بودند. ارزش‌های مسبی سه سایت پیشنهادی از پهنه ۵ در جدول ۶ بیان شده است. سایت پیشنهادی سوم با میانگین ارزش نسبی بالاتر رتبه بهتری از دو سایت دیگر دارد.

جدول ۴. وزن نهایی معیارهای بدست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

Table 4. The final weight of the criteria obtained from the analytic hierarchy process method

ردیف	معیارها	وزن معیار
۱	فاصله از رودخانه‌ها	۰/۱۸۶۹
۲	فاصله از مناطق حفاظت	۰/۱۵۸۳
۳	کاربری اراضی	۱/۰۶۵
۴	پوشش گیاهی	۰/۱۰۶۱
۵	زمین شناسی	۰/۰۸۰۹
۶	اقلیم	۰/۰۷۵۴
۷	خاک و نفوذپذیری	۰/۰۶۵۸
۸	فاصله از شهرها	۰/۰۵۵۸
۹	فاصله از روستاها	۰/۰۴۴۲
۱۰	گسل	۰/۰۳۰۳
۱۱	فاصله از نقاط زمین لغزش	۰/۰۲۵۸
۱۲	فاصله از جاده	۰/۰۱۹۲
۱۳	فاصله از خطوط ریلی	۰/۰۱۴۶
۱۴	شیب	۰/۰۱۰۶
۱۵	ارتفاع	۰/۰۱۰۰
۱۶	جهت شیب	۰/۰۰۹۷

نقشه شایستگی محل دفن پسماند ساختمانی شهرستان قزوین



شکل ۵. نقشه شایستگی و سایت‌های پیشنهادی برای دفن پسماندهای ساختمانی شهرستان قزوین

Fig. 5. Suitability map and suggested sites for burying construction landfill in Qazvin city

جدول ۵. ارزش نسبی معیارهای سه سایت پیشنهادی برای دفن پسماند ساختمانی

Table 5. Relative value of the criteria of the three proposed sites for construction landfill

ارزش نسبی سایت سوم	ارزش نسبی سایت دوم	ارزش نسبی سایت اول	معیارها
۴/۴۶	۶/۷۶	۷/۷۱	محدوده ارتفاعی (متر)
۳/۹۷	۷/۲۳	۸/۹۱	متوسط شیب (درصد)
۴/۲۸	۹	۸/۲۳	جهت شیب
۹	۵/۷۱	۳/۵۰	حداقل فاصله از شهر قزوین (کیلومتر)
۹	۴/۹۳	۳/۸۷	حداکثر فاصله از شهر الوند (کیلومتر)
۹	۵/۵۶	۳/۲۴	حداکثر فاصله از شهر اقبالیه (کیلومتر)
۱/۷۸	۱/۵۳	۱	حداقل فاصله از روستاهای اطراف (کیلومتر)
۹	۳/۲۰	۴/۶۲	حداقل فاصله از رودخانه (کیلومتر)
۹	۹	۹	حداقل فاصله از جاده (کیلومتر)
۹	۴/۲۳	۲/۹۴	حداقل فاصله از خط راه آهن (کیلومتر)
۹	۹	۷/۵۸	حداقل فاصله از مناطق حفاظت شده (کیلومتر)
۳/۵۱	۲/۴۳	۸/۹۶	حداقل فاصله از نقاط زمین لغزش (کیلومتر)
۸/۲۳	۱/۳۱	۵/۸۳	حداقل فاصله از پوشش گیاهی (کیلومتر)
۶/۸۵	۶/۸۳	۵/۶۵	کاربری زمین
۵/۶۰	۶/۵۷	۷	اقلیم
۷	۷	۷/۶۸	زمین شناسی
۲/۹۱	۲/۸۶	۲/۸۴	فاصله از گسل (کیلومتر)
۷	۷	۳	نوع خاک
۶/۹۱	۵/۶۲	۶/۱۵	میانگین ارزشها

جدول ۶. جدول اطلاعاتی مواد زائد جامد شهرستان قزوین (ماخذ. بخش خدمات شهری شهرداری قزوین)

Table 6. Qazvin Solid Waste Material Information Table (Source. Qazvin Municipality Urban Services Department)

۶۲۰	سرانه تولید زباله (g/day)
۲۶۵	حجم خاک پوششی مورد نیاز (m ³ /day)
۴۰٪	درصد کاهش حجم زباله در اثر فشردگی
۲۲۶	دانسیته متوسط زباله (Kg/m ³)

یکی از پژوهش‌های کاربردی، گسترده و پیوسته مورد نیاز می‌باشد. برای مکان‌یابی دفن پسماند ساختمانی یک سری لایه با استفاده از نرم افزار ArcGIS مورد پردازش قرار گرفت. لایه‌های شیب فایل (لایه‌های نقطه‌ای، خطی و پلیگونی) و لایه رستری مدل ارتفاعی رقومی (DEM) برای استخراج ارتفاع، شیب و جهت شیب به نرم‌افزار فراخوان شد. سپس لایه‌ها بعد از ارزش‌گذاری ساعتی، فازی‌سازی شدند. برای محاسبه وزن لایه‌ها با استفاده از روش FAHP از نرم‌افزار اکسل استفاده شد و در لایه همپوشانی نهایی وزن لایه‌ها تأثیر داده شد. تعیین الویت‌بندی لایه‌ها نسبت به هم در روش FAHP بسیار با اهمیت است. در ادامه با توجه به نقشه نهایی به دست آمده و فرمول تجربی ارائه شده توسط انجمن علمی آمریکا در رابطه با اندازه زمین مورد نیاز برای دفن بهداشتی پسماند، مشخص گردید که زمین‌های با مساحت ۷۰ هکتار به بالا که از بین زمین‌های به طور کامل مناسب انتخاب شده‌اند، به عنوان بهترین مکان‌ها جهت دفن پسماند ساختمانی شهرستان قزوین قابل پیشنهاد هستند. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر مشخص شد که ۲۹ درصد از سطح شهرستان قزوین وضعیت مناسب یا ایده‌آل برای دفن پسماند دارند. بعد از تولید نقشه شایستگی مکان‌یابی، پهنه‌بندی شهرستان قزوین، پهنه ۵ (طبقه ۹ و ۱۰ که دارای ارزش ۹ هستند) که به طور کامل مناسب است برای محل دفن پسماندهای ساختمانی انتخاب گردید. سه سایت پیشنهادی از پهنه ۵ که نزدیک شهرستان قزوین قرار داشتند، انتخاب شدند که دارای ارزش ۹ (به رنگ آبی) باشند و فاصله مناسبی نیز نسبت به شهرها (الوند، اقبالیه و قزوین) و روستاها دارا باشند. مطابق جدول ۵ سایت پیشنهادی سوم با میانگین نسبی ارزش‌های بالاتر نسبت به دو سایت دیگر معیار ایده‌آل در اولویت اول قرار دارد.

در جهت بهبود پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود: (۱) استفاده از روش آماری دیگر مانند ژنتیک در برآورد وزن فاکتورهای نسبت به هم و مقایسه نتایج آن با پژوهش حاضر؛ (۲) تولید نقشه شایستگی برای هر شهر بر اساس معیارهای موجود و تخصیص وزن به هر شهر و اعمال وزن به نقشه‌های شایستگی و ادغام نقشه‌های شایستگی. در تخصیص وزن به هر شهر می‌توان از فاکتورهای همانند جمعیت یا میزان تولید پسماندهای ساختمانی هر شهر استفاده نمود؛ (۳) دسته‌بندی فاکتورها در دسته‌های مختلف همانند زیست محیطی،

مانند فاصله از شهر (قزوین و الوند)، فاصله از روستاهای اطراف، فاصله از رودخانه، فاصله از خط راه‌آهن، فاصله از نقاط زمین لغزش، فاصله از پوشش گیاهی و فاصله از گسل مقادیر پایینی را نشان می‌دهند. برای سایت پیشنهادی شماره سه، ارزش‌های نسبی فاکتورهایی مانند فاصله از شهرهای اطراف فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از خط راه‌آهن، فاصله از مناطق حفاظت شده، فاصله از پوشش گیاهی و نوع خاک مقادیر بالایی و ارزش‌های نسبی فاکتورهایی مانند محدوده ارتفاع، شیب، جهت شیب اقلیم مقادیر متوسطی و ارزش‌های نسبی فاکتورهایی مانند فاصله از روستاهای اطراف فاصله از نقاط زمین لغزش و فاصله از گسل مقادیر پایینی را نشان می‌دهند.

یکی از مهم‌ترین تحلیل‌ها پس از شناسایی مکان‌های بهینه برای دفن پسماند، بررسی کفایت زمین‌های انتخاب شده برای بازه زمانی مورد نظر است. به طور کلی زمین مورد نیاز دفن پسماند به دلیل تغییرات جمعیتی به طور معمول برای یک دوره ۲۰ الی ۴۰ ساله در نظر گرفته می‌شود. طبق تحقیقات انجمن علمی آمریکا (APA) در مورد اندازه زمین مورد نیاز برای دفن بهداشتی (مرجع) رابطه تجربی زیر ارائه شده است:

$$V = R / D(1 - p / 100) + CV \quad (5)$$

در این فرمول V فضای مورد نیاز در طول سال (هکتار)، R سرانه تولید هر نفر، CV حجم خاک پوشش مورد نیاز، P درصد کاهش حجم زباله در اثر فشردگی و D چگالی متوسط زباله است.

طبق فرمول تجربی ارائه شده توسط انجمن علمی آمریکا در مورد اندازه زمین مورد نیاز برای دفن بهداشتی و با توجه به اطلاعات کسب شده از بخش خدمات شهری شهرستان قزوین در مورد مواد زائد شهری (جدول ۶)، فضای مورد نیاز در طول سال برای دفن بهداشتی مواد زیاد جامد شهرستان قزوین برابر ۱/۷۵ هکتار می‌باشد که در نتیجه زمین مورد نیاز دفن بهداشتی برای بازه ۴۰ ساله در شهرستان قزوین برابر ۷۰ هکتار می‌باشد. که سه سایت پیشنهادی از پهنه ۵ برای دفن پسماند شرایط فوق را احراز می‌کند.

۳- نتیجه‌گیری

مسأله تعیین موقعیت مناسب برای دفن پسماند در دنیای امروز

- [8] T.L. Saaty, What Is The Analytic Hierarchy Process? In: Mathematical Models for Decision Support, Springer, 1988, Pp. 109-121.
- [9] A. Pourahmad, M. Sajad Zahrai, S. Nazari Alavi, K. Habibi, The Use Of Fuzzy Algorithms And GIS Equipment To Locate In Urban Areas (Case Study: City Landfill Babolsar), J Environ Stud, 33(42) (2007) 31-42.
- [10] D.-Y. Chang, Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, 95(3) (1996) 649-655.
- [11] J.J. Buckley, Fuzzy Hierarchical Analysis, Fuzzy Sets and Systems, 17(3) (1985) 233-247.
- [12] A. Arabameri, A.R. Shahriari, Site Selection Of Landfill With Emphasis On Hydro geomorphological – Environmental Parameters Shahrood-Bastam Watershed, Journal Of Geographical Sciences, 16(43 #F00418) (2017) 55-80. (In Persian).
- [13] Y. Khosravi, H. Ashjaie, Landfill Site Selection For Urban Hysteresis Of Qazvin City Using The AHP In Arcgis Software, Journal Of Human & Environment, 15(4) (2018) 51-63. (In Persian).
- [14] V. Nikzad, Y. Moarab, M.J. Amiri, N. Foroughi, Landfill Site Selection Using Fuzzyl In Gis And Fuzzy Analytic Hierarchical Model (Fahp)(Case Study: Minoodasht Town), Journal Of Environmental Science And Technology, 16(Special Issue) (2015) 421-435. (In Persian).
- [15] M. Yamani, S. Alizadeh, Site Locating Landfill In Hashtgerd Area By Using Analytical Hierarchy Process(Ahp) And Geographic Information System (Gis), Geographical Data, 24(96) (2015) 79-90. (In Persian).
- [16] E.P. Agency, Technical Requirements for Designing Normal and Special Landfills, (2019).
- اقتصادی و غیره و تشکیل ماتریس مقایسه زوجی برای هر دسته و همچنین تشکیل ماتریس مقایسه زوجی برای دسته‌ها به جهت برآورد وزن هر دسته.
- مراجع**
- [1] K. Khodaverdi, A. Faghih, E. Eslami, A fuzzy analytic network process approach to evaluate concrete waste management options, Tehran: Sharif University of Technology, (2008).
- [2] W.G. Hendrix, D.J. Buckley, Use of a geographic information system for selection of sites for land application of sewage waste, Journal of Soil and Water Conservation, 47(3) (1992) 271-275.
- [3] U. Shrivastava, M. Nathawat, Selection of potential waste disposal sites around Ranchi urban complex using remote sensing and GIS techniques, urban planning, in: Map Asia Conference, 2003, pp. 13.
- [4] J. Won, J.C. Cheng, Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization, Automation in Construction, 79 (2017) 3-18.
- [5] J. Ghanei Ardakani, S.A. Kashfi, Landfill Location construction waste Yazd using Analytical Hierarchy Methods, Scientific Journal Management System, 11(39) (2017) 54-70. (In Persian).
- [6] A. Kengpol, P. Rontlaong, M. Tuominen, A decision support system for selection of solar power plant locations by applying fuzzy AHP and TOPSIS: An Empirical Study, Journal of Software Engineering and Applications, 6(09) (2013) 470.
- [7] R. Sarvar, A. Rashidi Ebrahimhesari, Optimal Positioning For Disposing Sanitary/Hospital Wastes Case Study: Bonab Township, Geography, 12(42) (2014) 45-65. (In Persian).

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Khademi Shiraz, M. Ravanshadnia, A. Khashand, H.R. Abbasian, Site Selection of Construction Waste Landfill Based on Combination of Fuzzy AHP and Geospatial Information System (GIS), Amirkabir J. Civil Eng., 53(7) (2021) 2909-2920.

DOI: 10.22060/ceej.2020.17555.6599

