Journal of Research in Environmental Health

Volume 6, Issue 3, Autumn 2020

Optimal Location of Landfill in Naien County Using the Combination of Fuzzy Logic and Boolean Logic in GIS

Reza peykanpour fard
* MSc., Faculty of Natural Resources Engineering, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. (Corresponding Author):
Email: reza.peykanpour@na.iut.ac.ir

Saeid Pourmanafi
Assistant Professor, Faculty of Natural Resources Engineering, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran.

Mohammad Erfan Kaghazchi
MSc., Faculty of Natural Resources Engineering, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran.

Received: 2020/08/01
Accepted: 2020/10/14

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: In recent years, the rapid growth of cities has led to an increase in the production of various types of solid wastes in urban areas. Although landfilling is the last option in municipal solid waste management, it is one of the common methods in developing countries. The purpose of this study was to accurately locate an urban landfill in Naein county using a combination of Fuzzy and Boolean methods.

Materials and Methods: In this study, the AHP model was used to standardize and determine the weights of criteria and sub-criteria. The innovation of this research is the combination of Fuzzy and Boolean logic methods. The Fuzzy method consisted of two groups of results, comprising the calculation of the weights of criteria in the first group and the calculation of the weights of sub-criteria in the second group.

The Boolean logic method involved the calculation of the weights of criteria and sub-criteria in five classes.

Results: The results of this study showed that the Fuzzy and Boolean methods identified 34, 48779, 16000, and 7630 hectares of areas in Naein county to be the most suitable areas for constructing urban landfills. Combining these four methods according to their weights led to a single map with four main patches and an area of 5055 hectares in Naein.

Conclusion: The results of this study showed that the combination of Fuzzy and Boolean logic results recognizes better areas for landfills than does the use of either of the methods individually.

Document Type: Research article

Keywords: Boolean Logic; Fuzzy logic; Landfill; Naein; Site Location

▶ **Citation:** Peykanpour Fard R, Pourmanafi S, Kaghazchi ME. Optimal Location of Landfill in Naien County Using the Combination of Fuzzy Logic and Boolean Logic in GIS. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2020; 6(3): 260-274.

بهینه‌سازی محل دفن پسماندهای شهری در شهرستان نایین با استفاده از تلفیق مدل‌های فازی و بولین در نرم‌افزار GIS

رضا پیکانپور فرد
* کارشناس ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. (نویسنده مسئول): ایمیل: reza.peykanpour@na.iut.ac.ir

سعید پورمنافی
استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

محمد عرفان کاغذچی
کارشناس ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۳
نوع مقاله: مقاله اصیل پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: گسترش بی‌رویه رشد شهرها در سال‌های اخیر موجب افزایش تولید انواع مواد زائد جامد در مناطق شهری شده است. اگرچه دفن، آخرین گزینه در مدیریت پسماندهای جامد شهری است، اما در کشورهای در حال توسعه یک روش معمول مدیریت پسماندهای جامد شهری می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف مکان‌یابی دقیق لندفیل شه ری در شهرستان نایین با استفاده از تلفیق روش‌های فازی و بولین انجام شد.
مواد و روش‌ها: در این مطالعه به‌منظور استانداردسازی و تعیین وزن معیارها و زیرمعیار از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. نوآوری این پژوهش، تلفیق نتایج حاصل از منطق فازی و بولین است که روش فازی شامل دو گروه است که گروه اول با محاسبه وزن معیارها و دیگری با محاسبه وزن زیرمعیارها و همچنین نتایج حاصل از منطق بولین با ۵ طبقه که شامل محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها می‌باشد.
یافته‌ها: بر اساس نتایج این پژوهش، روش‌های فازی و بولین یاد شده به‌ترتیب ۳۴، ۴۸۷۷۹، ۱۶۰۰۰ و ۷۶۳۰ هکتار از اراضی شهرستان نایین را بسیار مناسب برای ایجاد لندفیل شهری تشخیص دادند. تلفیق این ۴ روش که با توجه به وزن هرکدام از آن‌ها صورت گرفت، منتج به یک نقشه واحد با ۴ لکه اصلی شد که مجموعاً حدود ۵۰۵۵ هکتار را شامل می‌شد.
نتیجه‌گیری: تلفیق نتایج حاصل از منطق فازی و بولین اراضی بهتری را برای ایجاد لندفیل نسبت به هر یک از روش‌ها ارائه می‌دهد.

کلید واژه‌ها: لندفیل، مکان‌یابی، منطق بولین، منطق فازی، نایین

◄ **استناد:** پیکانپور فرد ر، پورمنافی س، کاغذچی م ع. بهینه‌سازی محل دفن پسماندهای شهری در شهرستان نایین با استفاده از تلفیق مدل‌های فازی و بولین در نرم‌افزار GIS. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۳۹۹؛۶ (۳): ۲۶۰-۲۷۴.

مقدمه

طبق مدارک به‌دست آمده توسط علم باستان‌شناسی، دفن زباله‌ها از حدود پنج هزار سال پیش مرسوم بوده است (۱). امروزه تنوع مواد مصرفی در جوامع شهری و روستایی به‌صورت مواد خوراکی و غیرخوراکی، باعث تولید انبوه مواد زائد به‌صورت زباله (پسماند) گردیده است که شامل زائدات مواد غذایی، لباس، ظروف پلاستیکی، انواع کاغذ و وسایل الکترونیکی مستعمل می‌باشد. همچنین در اثر تغییر فصل، مواد زائد گیاهی شامل شاخ و برگ درختان، تولید خواهد شد (۲). طبق متن قانون مدیریت پسماندها به تمام پسماندهایی که به‌صورت معمول از فعالیت‌های روزمره انسان‌ها در شهرها و روستاها و خارج از آن‌ها تولید می‌شود از قبیل زباله‌های خانگی و نخاله‌های ساختمانی، پسماند عادی یا شهری گفته می‌شود (۳). رشد سریع جمعیت و شهرنشینی باعث کاهش منابع تجدیدناپذیر و در نتیجه تجمع زباله‌های شهری می‌شود (۴). تخصصی که مسئولیت ارائه پاسخ‌های مناسب به انتخاب مدل‌های بهینه مکان‌یابی لندفیل‌های شهری در راستای آمایش سرزمین و توسعه پایدار را دارند، در عمل با موضوع پیچیده و متغیری در ارتباط بوده و نیازمند بهره‌گیری از روش و تکنیک‌های مناسب برای درک، شناخت مخاطرات محیطی، آسیب‌شناسی محیطی، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی هستند. عدم توجه به پیامدهای ناشی از فقدان روشی مناسب برای کنترل پسماند، سلامت جامعه را تهدید می‌کند (۵). اگرچه دفن آخرین گزینه در سلسله مراتب مدیریت پسماندهای جامد شهری می‌باشد؛ اما در کشورهای در حال توسعه دفن، یک روش معمول مدیریت پسماندهای جامد شهری می‌باشد (۶)؛ که به دلایل اقتصادی و عدم آگاهی لازم بدون در نظر گرفتن اصول مهندسی و موارد محیط‌زیستی در بسیاری از نقاط دنیا انجام می‌گیرد (۷). محل دفن بهداشتی، مقرون به‌صرفه‌ترین سیستم پسماندهای جامد است که در کشورهای در حال توسعه به‌کار گرفته می‌شوند. محل‌های دفن بهداشتی زباله نیاز به یک فرآیند ارزیابی گسترده به‌منظور شناسایی بهترین محل دفن دارد. این مکان باید مطابق مقررات دولتی باشد و در عین حال باید هزینه‌های اقتصادی، محیط‌زیستی، بهداشتی و اجتماعی را به حداقل برساند (۸). با توسعه دانش در همه زمینه‌ها، روش‌ها و مدل‌های مختلفی در زمینه‌های مختلف علم از سوی افراد متعددی با هدف آسان کردن کار و سهولت دستیابی به نتایج بهتر پایه‌ریزی شد و برخی از این روش‌ها و مدل‌ها به‌تدریج توسط دیگران به‌منظور بهبود عملکردشان توسعه یافتند. سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) [1] از این دسته‌اند. به‌طور کلی مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره با مجموعه گزینه‌هایی سروکار دارند که بر پایه مجموعه‌ای از معیارها ارزیابی می‌شوند. این معیارها اغلب ناهمگون و گاهی متضادند. سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر مبنای نظری به نسبت قوی بوده و چارچوب مناسبی برای کمک به تصمیم‌گیری‌های پیچیده ارائه می‌کنند. این سیستم‌ها مجموعه‌ای از روش‌های تحلیلی است که به تصمیم‌گیرندگان در حل مسائل پیچیده و دارای ساختار ضعیف کمک می‌کند (۹). منطق فازی، منطقی چندمقداری است؛ یعنی پارامترها و متغیرهای آن، علاوه بر اختیار اعداد صفر یا یک، می‌توانند همه مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. در روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) [2] از اهمیت عوامل و اولویت طبقات مختلف در تناسب سرزمین، راهبردی تجمعی اتخاذ می‌شود و مجموعه اولویت عوامل و اولویت طبقات درونی آن‌ها را حتی اگر به برترین رتبه تعلق نداشته باشند، در تصمیم‌گیری لحاظ می‌کند. این راهبرد از نظر عملکرد با اجرای شرط (AND) در تصمیم‌گیری مقایسه شدنی است. راهبرد ترکیب خطی وزن‌دار محافظه‌کارانه با لحاظ کردن اولویت‌های پایین‌تر دیگر نقشه‌های موضوعی شرکت کننده در ارزیابی تناسب، مکان‌های واجد تناسب برای کاربری را در درجات تناسب کمتر ارزیابی می‌کند که البته از نظر جمع‌نگری به عوامل به آنچه در طبیعت اتفاق می‌افتد، نیز نزدیک‌تر است (۱۰). رتبه‌بندی بر اساس تشابه به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) [3] یک تکنیک مفید برای حل

1. Multi Criteria Decision Making
2. Weighted Linear Combination
3. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

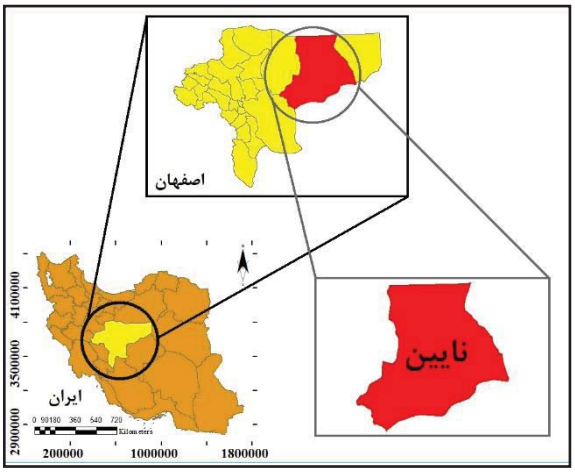
مسائل مربوط به تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است. TOPSIS بر این مفهوم استوار است که مناسب‌ترین گزینه باید کمترین فاصله را از نقطه ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را از نقطه ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. مفهوم TOPSIS منطقی و قابل فهم است و محاسبات به‌کار رفته در آن پیچیده نیست. اگرچه مشکل ذاتی تخصیص ترجیحات ذهنی قابل اطمینان و معتبر به معیارها را باید در این تکنیک در نظر داشت (۱۱). نیکنامی و حافظی در مطالعه مکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهری در شهرستان گلپایگان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) [1]، روش‌ها و مدل‌های مختلفی جهت ارزیابی و تحلیل اطلاعات به‌کار گرفته‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به روش وزن‌دهی افزایشی ساده، روش رتبه‌ای، روش نسبی، مدل بولین، مدل همپوشانی فاکتورها و مدل منطق فازی اشاره نمود. در مطالعه یاد شده با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی به روش‌های یاد شده، محل‌های مناسب برای دفن زباله در شهرستان گلپایگان معرفی شد (۱۲). جعفری و همکاران در مطالعه مکان‌یابی دفن پسماندهای شهری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) [2] و وزن‌دهی تجمعی ساده (SAW) [3] در محیط آرک جی ای اس [4] در استان کهگیلویه و بویراحمد، به الگوسازی مکان‌یابی دفن بهداشتی مواد زائد با بهره‌گیری از سیستم‌اطلاعات جغرافیایی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم‌افزار اکسپرت چویس [5] که به‌منظور سهولت تعریف و وزن‌دهی معیارها توسعه یافته است، پرداخته‌اند. در نهایت با استفاده از وزن‌دهی تجمعی ساده، مناطق مستعد شناسایی و همچنین نتایج حاصل از دو روش به‌منظور سنجش دقت آن‌ها با یکدیگر مقایسه شدند (۱۳). بنی‌اسدی و اشرف‌زاده در مطالعه خود که با عنوان تعیین مکان‌های مناسب دفن پسماندهای جامد شهری در آستارا با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی، به مکان‌یابی دفن پسماندهای جامد شهری در شهر آستارا با در نظر گرفتن عوامل مختلف از جمله جهت جغرافیایی، آب‌های سطحی، گسل‌ها، مناطق حفاظت شده، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، سکونت‌گاه‌ها و کاربری اراضی، در قالب معیارهای محیط زیستی مؤثر و فاکتورهای فاصله از جاده اصلی، فاصله از جاده فرعی، شیب و ارتفاع از سطح دریا در قالب فاکتورهای اقتصادی پرداختند؛ به این نتیجه رسیدند که هر دو پارامتر محیط‌زیستی و اقتصادی، تأثیر بسزایی در مکان‌یابی لندفیل شهری دارند (۱۴). زراعی و همکاران در موضوعی با عنوان مکان‌یابی بهینه محل دفن مواد زائد جامد شهری شهر قروه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، با در نظر گرفتن معیارهای شیب، جهت، فاصله از جاده‌ها، آب‌های سطحی، صنایع و ... اقدام به مکان‌یابی نمودند. در نهایت نقشه پهنه‌بندی در ۴ طبقه تهیه شد که حدود ۲۱۰ کیلومتر مربع که معادل تقریبی ۵/۸٪ مساحت شهر قروه است، بهترین مکان برای احداث لندفیل انتخاب شد (۱۵). باتوجه به مطالعات صورت گرفته در حوزه مکان‌یابی لندفیل، بیشتر روش‌ها معطوف به یک روش فازی و یا بولین چند طبقه‌ای شده است. در نهایت مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی تلفیق روش‌های فازی و بولین در مکان‌یابی محل دفن شهرستان نایین با در نظر گرفتن وزن طیف وسیعی از معیارها و زیرمعیارها با استفاده از AHP و انتخاب بهترین لکه از میان لکه‌های ایجاد شده با استفاده از TOPSIS در جهت حل مشکل مکان دفن شهرستان نایین انجام شد.

روش کار

معرفی محدوده مورد مطالعه: نایین شهرستانی در استان اصفهان و مرکز این شهرستان، شهر نایین است. در سال ۱۳۲۷ شمسی نایین رسماً شهرستان اعلام شد و بخشداری آن به فرمانداری تبدیل گشت. شهرستان نایین وسیع‌ترین شهرستان استان اصفهان و یکی از بزرگ‌ترین شهرستان‌های ایران است. جمعیت شهرستان نایین در سال ۱۳۹۵، ۳۹۲۶۱ نفر بوده است. شهرستان نایین در ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی جغرافیایی و در

1. Geographic Information System
2. Analytic Hierarchy Process
3. Simple Additive Weighting
4. ARC GIS
5. Expert choice

۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی در فاصله ۱۴۵ کیلومتری شرق مرکز استان قرار دارد. این شهرستان از شمال به استان سمنان، از شرق به استان خراسان جنوبی، از جنوب به استان یزد و از غرب به شهرستان‌های اردستان و اصفهان محدود می‌شود. این شهرستان با مساحتی برابر ۲۲۵۸۵۶۲ هکتار، وسیع‌ترین شهرستان استان اصفهان است (۱۶). شهرستان نایین به علت گستردگی، دارای بخش‌های متعدد کوهستانی و جلگه‌ای می‌باشد که شامل ارتفاعات کوه‌کلاغ، ارتفاعات دره انجیر انارک و سیاه‌کوه، ارتفاعات عباس‌آباد چوپانان، جلگه‌های دق‌سرخ، کویر سیاه‌کوه و دق معراجی است. همچنین بخش عمده شهرستان نایین، سرزمینی کویری است (۱۷).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان نایین

محاسبه حجم زباله تولیدی در سال ۱۴۱۸: طبق آخرین آمار رسمی به‌دست آمده از وضعیت جمعیتی شهر نایین و مناطق اطراف مربوط به سال ۱۳۹۰، تعداد ۳۸۰۷۷ نفر در قالب ۱۲۱۴۲ خانوار اعلام شده است. جمعیت نایین در سرشماری سال ۱۳۹۵ معادل ۳۹۲۶۱ نفر گزارش شده است. مقایسه آمار سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، متوسط نرخ رشد ۰/۹۷ را نشان می‌دهد (۱۶). با فرض ثابت بودن رشد جمعیت در ۲۰ سال آینده، جمعیت شهر تا سال ۱۴۱۸ شمسی که ملاک ارزیابی برآورد حجم پسماند و زمین مورد نیاز می‌باشد، به روش هندسی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید (۱۲):

در مرحله اول با استفاده از فرمول میزان جمعیت سال مقصد به‌دست خواهد آمد. P_t نشان‌دهنده میزان جمعیت سال مقصد، Po نشان‌دهنده میزان جمعیت سال مبدأ، r نشان‌دهنده نرخ رشد جمعیت به درصد و t نشان‌دهنده دوره یا تعداد سال‌های که در آینده پیش‌بینی می‌گردد که عبارت است از:

رابطه (۱):
$$P_{1418} = 39261(1 + 0/0097)^{20}$$

در نتیجه جمعیت شهرستان نایین در سال ۱۴۱۸ حدوداً ۴۷۶۲۲ می‌باشد.

در مرحله دوم با استفاده از فرمول وزن زباله برای ۲۰ سال آینده پیش‌بینی می‌گردد. t نشان‌دهنده تعداد سال‌های مدنظر است. Q(ton/year)نیز نشان‌دهنده وزن زباله در تعداد سال‌های مدنظر و r نشان‌دهنده نرخ رشد جمعیت است (۵). متوسط تولید روزانه زباله به ازای هر فرد در استان اصفهان ۰/۴۹ کیلوگرم می‌باشد؛ بنابراین، میزان حجم سالانه زباله شهرستان نایین با جمعیت ۳۹۲۶۱ برحسب تن عبارت است از:

رابطه (۲):
$$0/490_{kg} \times 1000_{ton/kg} \times 39261 \times 365 = 7022_{ton/year}$$

رابطه (۳):
$$Wight_{20} = 7022_{\text{ton/year}}(1 + 0/97)^{19-1}$$

مقدار زباله تولیدی در سال ۱۳۹۰ نزدیک به ۶۸۱۰ تن بوده است که این مقدار در سال ۱۳۹۵ به ۷۰۲۲ تن زباله در سال رسیده است. با این وجود تا سال ۱۴۱۸ مجموع مقادیر زباله در این شهرستان نزدیک به ۲۷۶۲۶۰۷ تن افزایش خواهد یافت. نتایج مربوط به آنالیز فیزیکی اجزای تشکیل‌دهنده زباله شهری از جمله در شهرستان نایین نشان می‌دهد که بیشتر از ۷۵٪ از هر تن زباله متعلق به گروه پسماند مواد غذایی می‌باشد. پلاستیک، کاغذ و کارتن، شیشه، پارچه و فلزات در رده‌های بعدی و خاک و چوب کم‌ترین میزان را دارند. در مرحله سوم با توجه به دانسیته زباله شهری که برآورد شده است، حجم زباله به‌دست خواهد آمد (۱۲) که عبارت است از:

رابطه (۴):
$$2762607 \div \frac{0}{35_{ton/m^3}} = 7893163_{m^3}$$

از طرفی تولید شیرابه حاصل از پسماند در محل‌های دفن، امری گریزناپذیر است. شیرابه پسماند جامد شهری معمولاً سرشار از مواد آلی، فلزات سنگین و سایر ترکیبات غیرآلی است و تهدید بزرگی برای محیط‌زیست و سلامت انسان است. در صورتی که این مواد بدون تصفیه وارد محیط شوند، به‌دلیل ماندگاری بیولوژیکی، منجر به کاهش منابع اکسیژن و ایجاد شرایط بی‌هوازی و تولید بو می‌شوند (۱۸). برای حل این تعارض می‌توان ترانشه‌های دفن را در مسیر بالادست شیب احداث نمود تا با کمترین عملیات عمرانی بتوان از طریق لوله‌های جمع‌آوری، شیرابه را به سطح زمین و در حوضچه‌های تبخیر یا تصفیه هدایت نمود. همچنین چاه سنجش آلودگی آب‌های زیرزمینی را می‌توان در انتهای مسیر شیب حفر کرد که بالاترین میزان کارایی را داشته باشد. به‌منظور محاسبه سطح زمین مورد نیاز برای دفن زباله در ۲۰ سال آینده ابتدا فرض بر این است که دفن به روش ترانشه‌ای به ابعاد ۱۰۰×۵۰ و عمق ۲۰ متر صورت گیرد و فاصله بین ترانشه‌ها برابر با ۴ متر باشد. با توجه به این‌که عرض ترانشه‌ها و فاصله بین آن‌ها یکسان فرض شده است، سطح مفید ۵۰٪ کل محدوده مورد نظر را تشکیل می‌دهد. لذا شهرستان نایین با توجه به حجم زباله در ۲۰ سال آینده که برابر ۷۸۹۳۱۶۳ متر مکعب است و با توجه به عمق ترانشه (۲۰ متر) مساحت مفید مورد نیاز برای دفن ۴۰۰۰۰ متر مربع و سطح کل برابر با ۸۰۰۰۰ متر مربع یا حدود ۸ هکتار خواهد بود.

معیارهای انتخاب مکان مناسب برای دفن زباله

در راستای انتخاب مدل اصولی، مکان‌یابی لندفیل شهری جهت آمایش سرزمین و توسعه پایدار، مهم‌ترین مسئله انتخاب پارامترهای محدود کننده با توجه به ویژگی‌های محل انتخابی دفن است. به‌منظور فراهم کردن شرایط در جهت توسعه پایدار، پارامترهای مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که شامل ۲۳ زیرمعیار در ۹ معیار می‌باشند (جدول ۲). گفتنی است به‌منظور تهیه نقشه پوشش اراضی شهرستان نایین از داده‌های رقومی ماهواره (Landsat8_Level2) استفاده شد. دلیل استفاده از این سری لندست، سهولت در استفاده و عدم نیاز به انواع تصحیحات تصویر می‌باشد. برای ایجاد پرداکت‌ها و شاخص‌های مورد نیاز از برنامه گوگل ارث انجین[1] و جهت ایجاد نقشه کاربری اراضی از نرم‌افزار ان‌وی[2] که یک نرم‌افزار جهت پردازش و تحلیل اطلاعات داده‌های ماهواره‌ای است، استفاده گردید.

معیار منابع آبی که شامل پنج زیرمعیار فاصله از آبخوان، رودخانه، چشمه، چاه و قنات می‌شود، طبق ضوابط محیط‌زیستی محل‌های دفع پسماند باید یک کیلومتر از مناطق یاد شده فاصله داشته باشد (۱۹). معیار توان اکولوژیکی شامل دو زیرمعیار پوشش گیاهی و تنوع زیستی منطقه مورد مطالعه و همچنین معیار فیزیوتوپوگرافی شامل چهار زیرمعیار شیب، گسل، نوع خاک و نوع زمین‌شناسی می‌شود. طبقه‌بندی نوع خاک و نوع زمین‌شناسی طبق قوانین موجود انجام شد (۲۰). طبقه‌بندی شیب نیز از تحقیق نیکنامی و حافظی در مکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهری شهرستان گلپایگان اقتباس شد (۱۲). طبق ضوابط محیط‌زیستی، محل‌های دفع پسماند عادی مکان دفن نباید در مسیر و حریم گسل‌های فعال شناخته شده و گسل‌های پنهان قرار داشته باشد، به‌همین دلیل مکان دفن باید ۲۰۰ متر از محدوده‌های قابل پیش‌بینی برای خطرات زمین‌لرزه فاصله داشته باشد (۱۹). معیار فاصله از مناطق انسانی که جزء مهم‌ترین مباحث اقتصادی و اجتماعی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد، شامل سه زیرمعیار شهر، روستا و مناطق توریستی تفریحی است. طبق ضوابط محیط‌زیستی، محل‌های دفع پسماند عادی محل دفع باید حداقل یک کیلومتر با مناطق موجود یا توسعه آتی مسکونی، بیمارستانی، آموزشی، زیارتی، تجارتی و صنعتی فاصله داشته باشد. همچنین زمین‌هایی که شامل مکان‌های باستانی و تاریخی- ملی قرار دارند، نباید به‌عنوان محل دفع انتخاب شوند و حداقل فاصله محل‌های دفع با مراکز تاریخی و باستانی باید ۳ کیلومتر باشند. از سوی دیگر فاصله از مناطق پرجمعیت شهری باید به‌گونه‌ای باشد که از لحاظ دسترسی، مقرون به‌صرفه باشد. این بدین‌معنا است که محل دفن باید تا جای ممکن نزدیک به

1. Google Earth Engine
2. ENVI

شهر باشد، اما مؤلفه‌های محیط‌زیستی مربوط به اجتماع را نقض نکند (۱۹). معیار مناطق چهارگانه شامل ۳ زیرمعیار پناهگاه حیات‌وحش عباس‌آباد، منطقه حفاظت شده و پارک ملی سیاه‌کوه می‌باشد. طبق ضوابط محیط‌زیستی محل‌های دفع پسماند عادی محل دفع نباید در داخل مناطق حفاظتی تحت پوشش سازمان قرار داشته باشد. محل دفع باید حداقل یک کیلومتر از مناطق فوق فاصله داشته باشد (۱۹). معیار جاده‌ها که شامل دو زیرمعیار جاده اصلی و فرعی می‌باشد، طبق ضوابط محیط‌زیستی محل‌های دفع پسماند عادی، مراکز دفع باید از جاده اصلی، بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها، حداقل ۳۰۰ متر فاصله داشته باشد (۱۹). معیار خطوط ارتباطی که شامل یک زیرمعیار راه آهن می‌شود، طبق ضوابط محیط‌زیستی محل‌های دفع پسماند عادی این‌گونه خطوط با مراکز دفع حداقل باید ۳۰۰ متر فاصله داشته باشند (۱۹). معیار مناطق تجاری که شامل دو زیرمعیار مناطق صنعتی و کارخانه‌ها می‌باشد، طبق ضوابط محیط‌زیستی محل‌های دفع پسماند عادی محل دفع باید حداقل یک کیلومتر با مناطق موجود یا توسعه آتی صنعتی فاصله داشته باشد (۱۹). معیار فاصله از معادن یا مناطق مورد بهره‌برداری شامل یک زیرمعیار معدن می‌شود که طبق ضوابط محیط‌زیستی، محل‌های دفع پسماند عادی احداث محل‌های دفع بر روی ذخایر معدنی ممنوع است و محل دفع باید حداقل یک کیلومتر از منطقه بالا فاصله داشته باشد (۱۹). همچنین ۵ زیرمعیار دیگر هم در مرحله تصمیم‌گیری ایجاد شد که شامل: اندازه لکه‌ها که بر اساس کیلومتر مربع در نرم‌افزار Arc GIS محاسبه شد. یکپارچگی لکه‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار ایدریسی ترست[1] به‌دست آمد. لایه دسترسی نیز بر اساس نزدیکی به شهرها در نظر گرفته شد. لایه دید بصری نیز همچنین در نرم‌افزار Arc GIS به‌دست آمد. جهت باد غالب نیز طبق نمایه اقلیمی شهرستان نایین از غرب به سمت شرق است (۱۷).

روش‌های مورد استفاده

۱- مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP): درخت سلسله مراتب تصمیم‌گیری، بیانگر استراتژی تصمیم به‌صورت گرافیکی است. ابتدایی‌ترین سطح این درخت، هدف تصمیم‌گیری است و سطوح میانی، معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری و سطح آخر، گزینه‌های تصمیم‌گیری هستند. تعداد سطوح بستگی به پیچیدگی مسئله و درجه جزئیات دارد. مهم‌ترین بخش در این مرحله، انتخاب معیارها و عوامل مؤثر بر هدف تصمیم می‌باشد (۲۱). در این مرحله با توجه به عوامل مؤثر، بر اساس هر یک از معیارها، ماتریس‌های زوجی تشکیل می‌گردند. توجیه مقایسات زوجی در این است که فکر بشر محدود است و نمی‌تواند تعداد زیادی معیار را در یک زمان اندازه‌گیری کند (۲۲). در هر یک از ماتریس‌ها با استفاده از یک مقیاس خاص ترجیح یکسان تا بسیار زیاد ارجح طراحی شده است، مقایسه‌ها صورت می‌پذیرد. تجربه نشان داده است استفاده از مقیاس ۹-۱ تصمیم‌گیرنده را جهت انجام مقایسه به‌گونه مطلوب‌تری توانا می‌سازد (۲۱). در تحلیل سلسله مراتبی، وزن‌ها در دو قسمت نسبی و نهایی به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. وزن نسبی از ماتریس مقایسه زوجی به‌دست می‌آید، در حالی‌که وزن مطلق رتبه نهایی هر گزینه می‌باشد که از تلفیق وزن‌های نسبی محاسبه می‌گردد. هر ماتریس مقایسه زوجی ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در حالتی که ماتریس سازگار باشد، محاسبه وزن ساده بوده و از نرمالیزه کردن عناصر هر ستون به‌دست می‌آید؛ اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد، برای به‌دست آوردن آن از روش مجموع سطری که یکی از روش‌های تقریبی است، استفاده می‌شود. در این روش ابتدا مجموع عناصر هر سطر محاسبه شده تا یک بردار ستونی حاصل گردد و سپس این بردار ستونی نرمالیزه می‌شود (۲۳). برای به‌دست آوردن اولویت‌ها از مفهوم نرمال‌سازی استفاده می‌شود؛ یعنی گزینه‌های مختلف را بر اساس نتایج به‌دست آمده از نظر هر معیار با یکدیگر مقایسه کرده و آن را توسط میانگین وزنی نرمال نموده و سپس اطلاعات به‌دست آمده را از این طریق در ماتریسی که سطر و ستون‌های آن را گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری تشکیل می‌دهند، مرتب کرده و با استفاده از مفهوم میانگین وزنی، وزن‌های به‌دست آمده برای هر

1. Idrisi tersest

کدام از معیارها را در ماتریس‌های ستونی نرمال شده قبلی ضرب کرده و نتایج حاصل را به‌صورت سطری با یکدیگر جمع و در نهایت این جمع با بقیه گزینه‌ها مقایسه شده و اولویت هر گزینه مشخص می‌شود (۲۱). در انتخاب معیارها و زیرمعیارهای آن برای ارزیابی بایستی به ارتباط آن‌ها با مسئله مورد نظر توجه کرد. در صورتی که واحد معیارها و زیرمعیارهای در نظر گرفته شده متفاوت باشند، لازم است قبل از مقایسه آن‌ها، معیارهای ارزیابی استانداردسازی و بدون واحد شوند. در ارزیابی چندمعیاره، وزن‌دهی لایه‌ها باعث مشخص شدن تفاوت در ارزش معیارها خواهد شد و از این طریق، تجزیه و تحلیل‌ها با دقت بیشتری صورت می‌گیرد. در این مطالعه ۹ معیار شامل ۲۳ زیرمعیار برای دستیابی به هدف نهایی انتخاب گردید. به‌منظور استانداردسازی و تعیین وزن معیارها و زیرمعیار مشخص شده از مدل AHP استفاده گردید که برای درجه‌بندی اولویت‌های نسبی معیارها از مقیاس ۹ کمیتی ال‌ساعتی[1] استفاده شده است (جدول ۱). در این مقاله نتایج حاصل از نرمال‌سازی در بازه بین ۰ و ۱ قرار گرفت.

جدول ۱. ضرایب تحلیل سلسله مراتبی

شدت اهمیت	اهمیت بی‌نهایت قوی	اهمیت خیلی قوی	اهمیت قوی	اهمیت متوسط	اهمیت برابر	اولویت بین فواصل
ضرایب	۹	۷	۵	۳	۱	۸، ۶، ۴، ۲

۲- مراحل ترکیب خطی وزن‌دار (WLC):

۱) تهیه‌ماتریس ارزیابی با بررسی پیشینه تحقیق و نظرات و تجربیات کارشناسان و خبرگان.

۲) جمع‌آوری و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی و داده‌های مورد نظر (فرمت مناسب داده‌ها، مدل نمایش داده‌ها، کیفیت داده‌ها، زمان تهیه داده‌ها، مقیاس پروژه، محدوده و مرز منطقه مطالعاتی و ...)

۳) استاندارد کردن داده‌ها: به‌معنای همسان کردن تغییرات داده‌ها بین ۰ و ۱ می‌باشد. عوامل مورد استفاده در ارزیابی چندمعیاری غالباً ماهیت متفاوتی دارند، بنابراین معیار اندازه‌گیری آن‌ها نیز متفاوت است. جهت استفاده مؤثر از تمام عوامل در تجزیه و تحلیل و ارتباط بین آن‌ها و در نهایت دستیابی به مکان‌یابی مناسب یا تناسب اراضی، ارزش‌های مربوط به هر لایه اطلاعاتی تحت قاعده خاصی نرمال می‌شود. برای استاندارد کردن داده‌ها از روش‌های فازی استفاده می‌شود. توابع فازی تجزیه و تحلیل فرآیندهایی را که به‌دلیل تغییرات تدریجی در مکان تعیین مرز مشخص بین طبقه‌های مختلف آن‌ها مشکل است را امکان‌پذیر می‌کند. این توابع می‌توانند خطی[2]، S[3] شکل و یا J[4] شکل باشند که هر سه نوع می‌توانند جزء یکی از انواع کاهشی، افزایشی و یا متقارن قرار گیرند.

۴) وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها: معیارهای مکان‌یابی دارای اهمیت متفاوتی در فرآیند ارزیابی هستند و اهمیت و اثرگذاری مختلفی دارند. لذا در فرآیند ارزیابی لازم است اهمیت نسبی هر کدام از معیارها مشخص شود و بر اساس آن ضرایب ویژه‌ای به‌عنوان وزن در تجزیه و تحلیل‌ها اعمال گردد.

۵) تلفیق و تحلیل اطلاعات: لایه‌های وزن‌دهی شده و استاندارد شده تلفیق می‌شوند و سپس طبق مدل مفهومی، میزان تناسب محاسبه خواهد شد. یکی از دلایل کاربرد گسترده این مدل، سادگی کاربرد و درک آسان آن برای تصمیم‌سازان است. این مدل دو مؤلفه اصلی دارد که شامل وزن فاکتورها و لایه مورد استفاده است. الگوریتم مورد بررسی در این مدل به شرح فرمول زیر است (۲۴):

رابطه (۵):

$$S = \sum_{n}^{i=1} W_i \cdot X_i \times C_j$$

- S: تناسب برای هر کاربری؛
- W_i: وزن فاکتور i که با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین می‌گردد؛
- X_i: فاکتور i شامل فاکتورهای مورد بررسی؛

1. Tomas L Satty

2. Linear
3. Sigmoidal
4. J-shape

- C_j: لایه‌های محدودیت که شامل نقشه‌های بولین هستند.

۳- رتبه‌بندی بر اساس تشابه به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS)

روش رتبه‌بندی بر اساس تشابه به راه‌حل ایده‌آل یا همان TOPSIS یکی از روش‌های ارزیابی چندمعیاره است که توسط هوانگ و یون ایجاد شد. در این روش گزینه‌ای مناسب است و اولویت بالاتری دارد که حداقل فاصله را نسبت به راه‌حل ایده‌آل مثبت و حداکثر فاصله را نسبت به راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد (۲۵).

۱) تشکیل ماتریس تصمیم: گام اولیه این روش، تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم این روش شامل یک‌سری معیار و گزینه می‌باشد. یک ماتریسی که معیارها در ستون‌ها قرار می‌گیرند و گزینه‌ها در سطر هستند و هر سلول ماتریس، ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار است. بعد از اینکه ماتریس تصمیم تشکیل شود، باید توسط نظرات خبرگان تکمیل گردد که این فرآیند توسط طیف لیکرت[1] یا الساعتی و یا اعداد واقعی صورت می‌گیرد. در مواقعی که معیار کمّی است، عدد واقعی آن برای هر گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما در مواردی که معیار کیفی است و عدد کمّی برای آن مفهومی ندارد، از طیف مورد نظر برای آن استفاده می‌شود.

- بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم (نرمال‌سازی ماتریس تصمیم): بی‌مقیاس کردن در روش TOPSIS با استفاده از روش‌های بی‌مقیاس کردن خطی، بی‌مقیاس کردن فازی و بی‌مقیاس کردن با استفاده از مجموع نرم که از تقسیم هر سلول بر جذر مجموع مربعات تمام سلول‌های موجود در یک ستون به‌دست می‌آید، می‌گیرد.

رابطه (۶):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}$$

۲) تعیین ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار: در این گام باید وزن معیارها که از روش‌های دیگر به‌دست آمده است را در ماتریس نرمال ضرب کرد تا ماتریس وزن‌دار حاصل شود (روش TOPSIS به‌تنهایی قادر به محاسبه وزن معیارها نیست، بنابراین باید از روش‌های دیگر نظیر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، آنتروپی و ... وزن معیارها را محاسبه کرد و به‌عنوان ورودی به این روش داد).

۳) یافتن راه‌حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: در این خصوص باید نوع معیارها مشخص شود، معیارها یا جنبه مثبت و یا منفی دارند. معیارهای مثبت، معیارهایی هستند که افزایش آن‌ها باعث بهبود در سیستم می‌شوند و ضد ایده‌آل که افزایش آن‌ها باعث تضعیف سیستم می‌شوند.

- برای معیارهایی که بارِ مثبت دارند، ایده‌آل مثبت بزرگ‌ترین مقدار آن معیار است.
- برای معیارهایی که بارِ مثبت دارند، ایده‌آل منفی کوچک‌ترین مقدار آن معیار است.
- برای معیارهایی که بارِ منفی دارند، ایده‌آل مثبت کوچک‌ترین مقدار آن معیار است.
- برای معیارهایی که بارِ منفی دارند، ایده‌آل منفی بزرگ‌ترین مقدار آن معیار است.

۴) محاسبه فاصله از راه‌حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: در این گام بر اساس روابط زیر، فاصله هر گزینه ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌شود.

رابطه (۷):

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

رابطه (۸):

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

۵) محاسبه شاخص شباهت و رتبه‌بندی گزینه‌ها: شاخص شباهت نشان‌دهنده امتیاز هر گزینه است و بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود. هرچقدر این شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده برتری آن گزینه است.

رابطه (۹):

$$cl_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + a_i^+}$$

1. Likert spectrum

جدول ۲. معیارها و زیرمعیارها

ردیف	معیارها	زیرمعیارها
۱	منابع آبی	آبخوان، رودخانه، چشمه، چاه، قنات
۲	توان اکولوژیکی	تنوع زیستی گیاهی و جانوری
۳	فیزیوتوپوگرافی	شیب، گسل، نوع خاک، زمین‌شناسی
۴	مناطق انسانی	شهر، روستا، توریسم
۵	مناطق چهارگانه	منطقه حفاظت شده، پارک ملی، پناهگاه حیات وحش
۶	جاده‌ها	راه اصلی و فرعی
۷	خطوط ارتباطی	راه‌آهن
۸	مناطق تجاری	صنایع و کارخانه‌ها
۹	معادن	انواع معادن منطقه

۴- ایجاد نقشه‌های نهایی

تمام اطلاعات پایه از قبیل فاصله از دشت سیلابی، زمین‌شناسی، بافت خاک و ... در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ با استفاده از ۴ روش شامل دو روش فازی بین ۰ و ۱ و دو روش بولین ۵ طبقه‌ای تهیه شده‌اند. این ۴ روش شامل دو روش فازی وزن‌دار بودند که یک‌بار وزن هر معیار و بار دیگر وزن هرکدام از زیرمعیارها محاسبه شد (دو روش دیگر بولین ۵ طبقه‌ای نیز به‌همین ترتیب محاسبه شد). در مرحله بعد با استفاده از ۳ معیار اندازه لکه‌ها، یکپارچگی لکه‌ها و دسترسی در مقایسه با ۴ نقشه تولید شده در مرحله قبل و با استفاده از مدل TOPSIS وزن نهایی هر یک از نقشه‌ها حاصل شد. در نهایت با استفاده از ۳ معیار اندازه لکه‌ها، دید بصری و جهت باد غالب در مقایسه با ۴ لکه تولید شده در مرحله قبل و با استفاده از مدل TOPSIS وزن نهایی هر یک از لکه‌ها به‌دست آمد و بهترین لکه برای ایجاد لندفیل مشخص شد.

یافته‌ها

ارزیابی صحت نقشه‌پوشش و کاربری اراضی با واقعیت زمینی با استفاده از برنامه ENVI ۵/۳ و حدود ۴۰۰ نقطه تعلیمی در Google earth مورد بررسی قرار گرفت؛ که ضریب کلی[1] آن تقریباً ۹۵٪ و ضریب کاپا[2] آن نیز نزدیک به ۰/۹۳ به‌دست آمد که ضرایب قابل اطمینانی می‌باشند. بیشترین مساحت برحسب درصد مربوط به اراضی بدون کاربری (۹۶٪ از سطح منطقه) بود. مرتع درجه ۳، شوره‌زارها، رخنمون‌های سنگی، مرتع درجه ۲، مناطق کشاورزی و مناطق انسان‌ساز به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرار داشتند و در آخر، مرتع درجه ۱ از کم‌ترین مساحت برخوردار بود (۰/۰۱۷٪ از سطح منطقه). در این پژوهش پس از اعمال محدودیت‌ها که در جدول ۳ به آن‌ها اشاره شده است، نتایج حاصل از تلفیق نقشه‌ها با منطق روی‌هم گذاری فازی (FO)[3] با محاسبه وزن معیارها نشان داد که توان منطقه برای ایجاد لندفیل ۹۳٪ بسیار ضعیف، ۵٪ ضعیف، ۱/۵٪ متوسط، ۰/۴۹۹٪ خوب و ۰/۰۰۱٪ که حدوداً معادل ۳۴ هکتار است؛ بسیار خوب می‌باشد (شکل ۲- الف). همچنین منطق روی‌هم گذاری فازی وزن‌دار (WFO)[4] با محاسبه وزن زیرمعیارها نشان داد که توان منطقه برای ایجاد لندفیل ۰/۵٪ بسیار ضعیف، ۷/۹٪ ضعیف، ۳۹٪ متوسط، ۵۰/۴٪ خوب و ۲/۲٪ که حدوداً معادل ۴۸۷۷۹ هکتار است؛ بسیار خوب می‌باشد (شکل ۲- ب). نتایج حاصل از نقشه‌ها در منطق روی‌هم گذاری وزن‌دار بولیین (BWO)[5] با محاسبه وزن زیرمعیارها نشان داد که توان منطقه برای ایجاد لندفیل ۱۳/۵٪ بسیار ضعیف، ۵/۲٪ ضعیف، ۴۶٪ متوسط، ۳۵٪ خوب و ۰/۳٪ که حدوداً معادل ۷۶۳۰ هکتار است؛ بسیار خوب می‌باشد (شکل ۲- ج) و در منطق جمع وزنی بولیین (BWS)[6] با محاسبه وزن معیارها مشخص شد که توان منطقه برای ایجاد لندفیل ۰/۱٪ بسیار ضعیف، ۳/۲٪ ضعیف، ۴۶/۵٪ متوسط، ۴۹/۲٪ خوب و ۱٪ که حدوداً معادل ۱۶۰۰۰ هکتار است؛ بسیار خوب می‌باشد (شکل ۲- د). در گام بعد این ۴ نقشه با ۳ زیرمعیار اندازه لکه، یکپارچگی لکه و دسترسی به آن در مدل TOPSIS مقایسه و بین ۰ و ۱ به هرکدام وزنی تعلق گرفت و هرکدام از این ۴ نقشه با توجه به وزن هرکدام

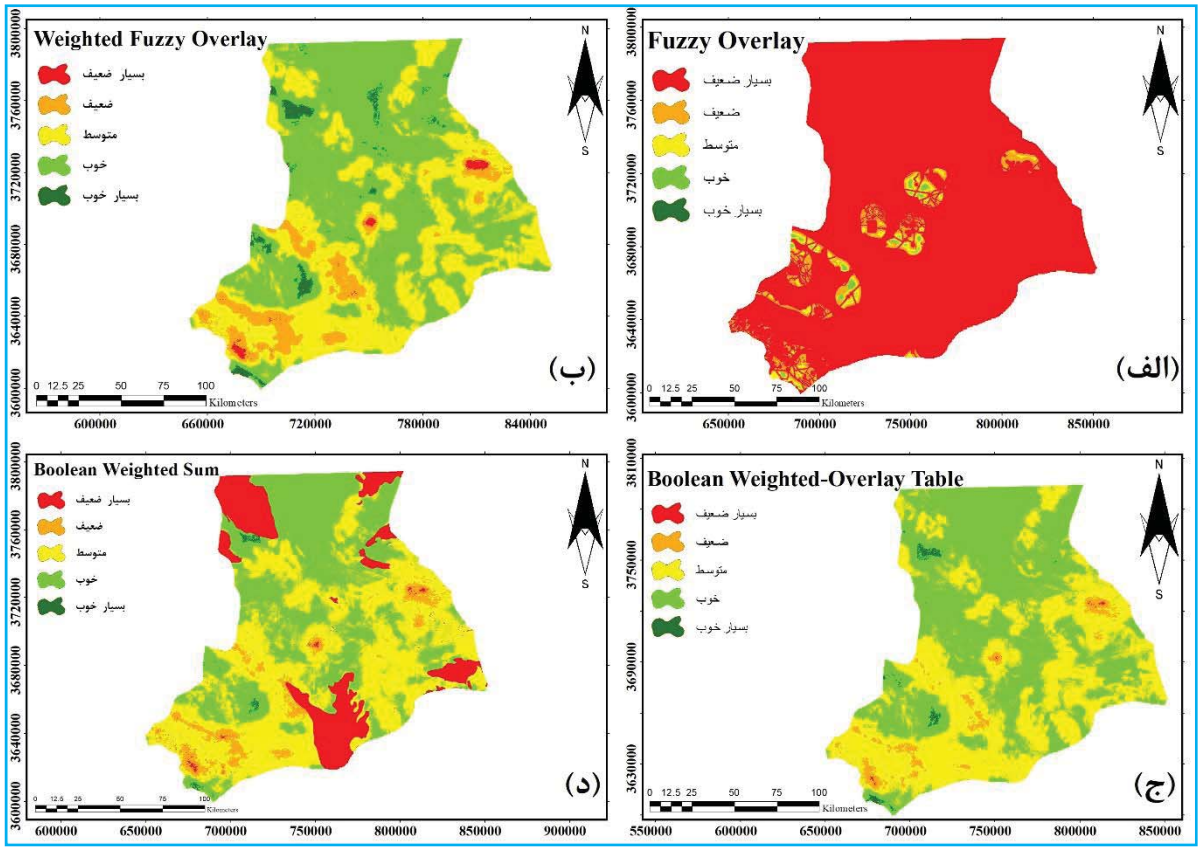
1. Overall Accuracy

2. Kappa coefficient
3. Fuzzy Overlay
4. Weighted Fuzzy Overlay
5. Boolean Weighted Overlay
6. Boolean Weighted Sum

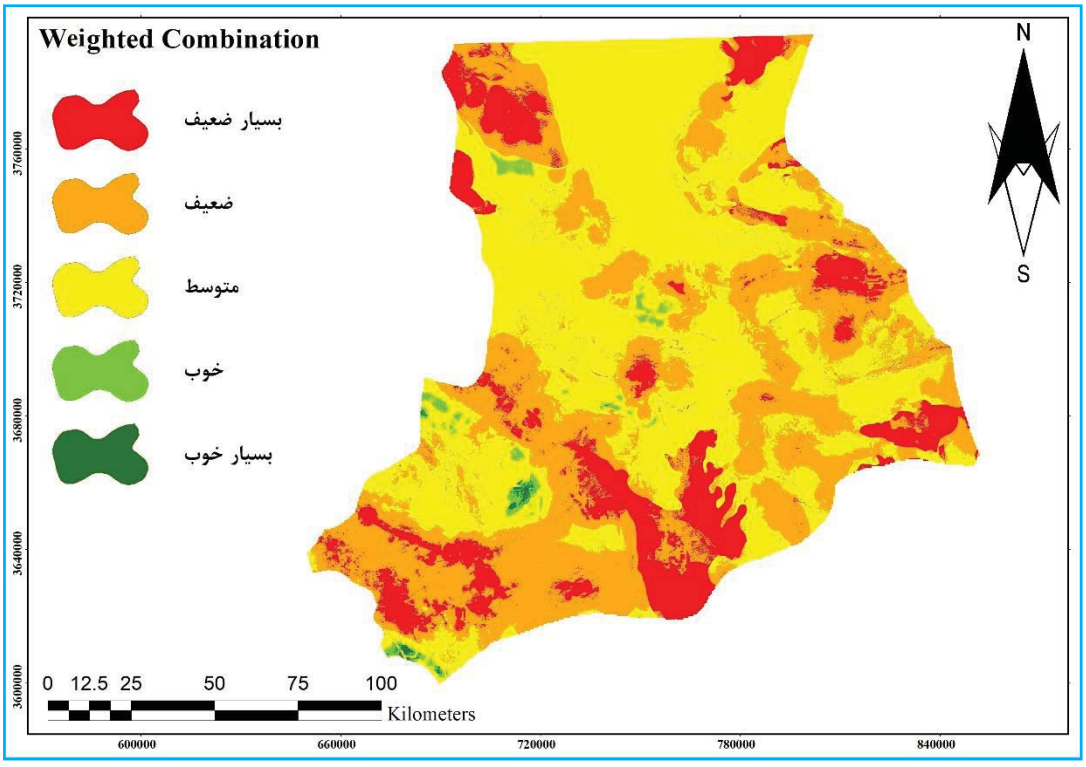
از آن‌ها با یکدیگر تلفیق شدند که در نتیجه توان منطقه برای ایجاد لندفیل ۱۰/۴٪ بسیار ضعیف، ۴۱٪ ضعیف، ۴۷/۴٪ متوسط، ۱٪ خوب و ۰/۲٪ که حدوداً معادل ۴۵۰۵ هکتار است، بسیار خوب بود و یک نقشه واحد با ۴ لکه اصلی دست آمد که حاصل از تلفیق مناطق خوب و بسیار خوب بود. این ۴ لکه اصلی حدوداً ۵۰۵۵ هکتار و تقریباً ۰/۲٪ از اراضی نایین را شامل می‌شد (شکل ۳). در آخرین مرحله این ۴ لکه با سه زیرمعیار اندازه لکه، دید بصری و جهت باد غالب در مدل TOPSIS مقایسه و بین ۰ و ۱ به هرکدام از آن‌ها وزنی تعلق گرفت و بهترین لکه با مساحت حدوداً ۱۰۱۷/۶۶ هکتار جهت ایجاد لندفیل مشخص شد که در شکل ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۳. حدود معیارها و زیرمعیارها

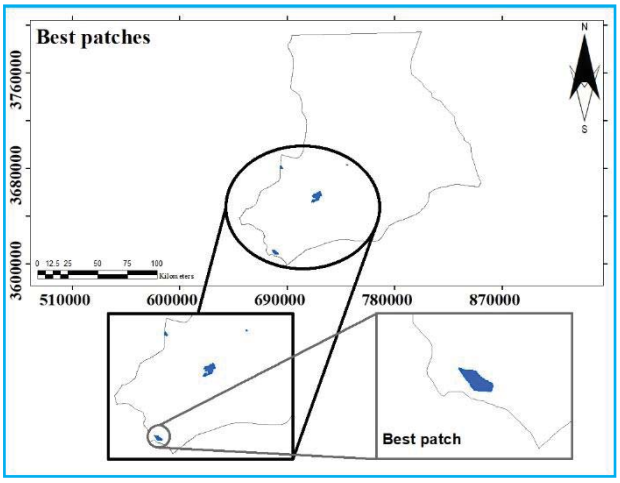
ردیف	نام متغیر	حد نهایی زیرمعیارها	وزن‌هر واحد
۱	منابع آبی	حداقل فاصله ۱ کیلومتر	۰/۰۹۸
۲	تنوع زیستی	حداقل بیشتر از ۲۳/۵٪	۰/۰۶۶
۳	پوشش اراضی	دارای کاربری‌های با ارزش چون کشاورزی نباشد	۰/۰۶۲
۴	ویژگی‌های فیزیکی خاک	درجه‌بندی براساس نوع خاک (رس سیلتی یا شنی سیلتی) و زمین‌شناسی (نفوذناپذیر و آذرین)	۰/۰۴۲
۵	شیب / گسل	حداقل کمتر از ۲۰٪ / حداقل فاصله ۱ کیلومتر	۰/۰۴۴
۶	مناطق انسانی	حداقل فاصله شهر و روستا ۱ و توریسم ۳ کیلومتر	۰/۰۳
۷	مناطق چهارگانه	حداقل فاصله ۱ کیلومتر	۰/۰۲
۸	جاده‌ها	حداقل فاصله ۳۰۰ متر	۰/۰۱۴
۹	خطوط ارتباطی	حداقل فاصله ۳۰۰ متر	۰/۰۱
۱۰	مناطق تجاری	حداقل فاصله ۱ کیلومتر	۰/۰۰۸
۱۱	معادن	حداقل فاصله ۱ کیلومتر	۰/۰۰۶



شکل ۲. الف) نقشه Fuzzy Overlay ب) نقشه Weighted Fuzzy Overlay ج) نقشه Boolean Weighted-Overlay د) نقشه Boolean Weighted Sum



شکل ۳. ترکیب نقشه‌های چهار روش یاد شده



شکل ۴. بهترین لکه برای ایجاد لندفیل

بحث

بی‌توجهی به ظرفیت‌های قابل تحمل محیط‌زیست، بهره‌برداری نامناسب از منابع طبیعی و در آخر بی‌توجهی به مکان‌یابی بهینه لندفیل‌های شهری در سیاست‌گذاری‌های بهره‌برداری از منابع طبیعی و محیط‌زیستی، مشکلاتی را پدید آورده است که همه جوامع به‌نوعی با معضلات محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های بشر مشخص شده است که فعالیت‌های بشری بدون توجه به محدودیت‌های محیط‌زیست نمی‌توانند ادامه پیدا کنند. مطالعات پایه و بنیادی در زمینه اجزاء و عناصر مختلف سیستم مدیریت

مواد زائد جامد شهری در کشور انجام نشده و با وجود مطالعات پراکنده‌ای که در این‌باره توسط وزارت کشور و برخی استانداری‌ها صورت گرفته، کمبودهای زیادی در این مورد وجود دارد. سیستم‌های فعلی مدیریت مواد زائد جامد شهری جوابگوی نیازهای شهرها در این رابطه نیست و به طراحی جدید نیاز دارد (۵). با توجه به مطالعات صورت گرفته در حوزه مکان‌یابی لندفیل که به آن‌ها پرداخته شد، بیشتر روش‌ها معطوف به یک روش فازی و یا بولین چندطبقه‌ای شده است. برای مثال نیکنامی و حافظی در مطالعه مکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهری در شهرستان گلپایگان با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی به روش همپوشانی ساده افزایشی و نرم‌افزار ARC GIS، محل‌های مناسب دفن زباله را معرفی کردند (۱۲). در مطالعه جعفری و همکاران به مکان‌یابی دفن پسماندهای شهری در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از AHP و SAW در محیط ARC GIS پرداختند (۱۳). بنی‌اسدی و اشرف‌زاده در مطالعه تعیین مکان‌های مناسب دفن پسماندهای جامد شهری در آستارا از منطق فازی برای تعیین محل مناسب دفن استفاده کردند (۱۴) و یا در مطالعه زراعی و همکاران که به مکان‌یابی بهینه محل دفن مواد زائد جامد شهری در شهر قروه پرداختند، فقط از روش منطق فازی استفاده کردند (۱۵). برای حل این مشکل در پژوهش مکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهری در شهرستان نایین از ۴ روش که شامل ۲ روش فازی وزن‌دار و ۲ روش بولین پنج طبقه‌ای است، استفاده شد. بررسی شرایط محیط‌زیستی حاکم بر پروژه نشان می‌دهد که محل احداث لندفیل در فاصله مناسب از شهر و روستا و هرگونه منبع آب قرار گرفته‌اند. منطقه دارای شیبی کمتر از ۱۵٪ می‌باشد که از استاندارد اعلام شده جهت احداث لندفیل‌ها (کمتر از ۴۰٪) کمتر است. محل دفن از گسل‌های فعال در منطقه بیش از ۲۰۰۰ متر فاصله دارد. نوع پوشش گیاهی منطقه فقیر و از مرتع درجه ۳ است، در نتیجه عملاً زمین بایر محسوب می‌شود. نوع خاک منطقه از خاک‌های مرغوب و مناسب کشاورزی و مرتع‌داری نبوده و فاقد ارزش اقتصادی است. از این رو با اجرای این طرح، تخریب اراضی کشاورزی صورت نمی‌گیرد. همچنین گیاهان نادر و یا مهم از نظر ژنتیکی، دارویی و اقتصادی وجود ندارد که در خطر انقراض قرار گیرند. محل دفن از مناطق چهارگانه حداقل ۸۳ کیلومتر فاصله دارد که بیشتر از استاندارد اعلام شده جهت احداث لندفیل‌ها در ضوابط محیط‌زیستی محل‌های دفع پسماند عادی می‌باشد که فاصله ۱ کیلومتر را مقرر کرده است. از طرف دیگر بناها، آثار و ابنیه‌ای در این اراضی و یا مجاورت آن وجود ندارد که تخریب گردند و در نهایت عوارض منحصر به‌فرد طبیعی و مناطق گردشگری نیز وجود ندارند که دچار آسیب شوند. این یافته‌ها، یافته‌های حاصل از مطالعات قبلی که در این پژوهش به آن‌ها اشاره شد و فقط از یکی از روش‌های فازی یا بولین استفاده کرده‌اند را توسعه می‌دهد، در حالی‌که همین یافته‌ها مؤید این موضوع هستند که تلفیق نتایج روش‌های مختلف بهتر از نتایج حاصل از تک‌تک روش‌ها است. در ضمن، بهبودهای ذکر شده در این پژوهش ارتباطی به زمان، مکان و با مؤلفه‌های اقلیمی منطقه ندارد و قابلیت استفاده در هر منطقه‌ای از زمین برای مکان‌یابی را دارد. از همین‌رو، این پژوهش نشان داد که فواید کسب شده از تلفیق ۴ روش یاد شده ممکن است نتایج بهتری در جهت مکان‌یابی لندفیل در راستای توسعه پایدار و درخور ایجاد کند.

برخی محدودیت‌هایی که در این پژوهش وجود داشت و می‌توان به آنها اشاره کرد، عدم بازدید از لکه‌های مشخص شده توسط نرم‌افزار ARC GIS بود. همچنین علاوه بر زیرمعیارهای جمعیت شهرها و روستاها که در این پژوهش مشاهده شد، با درگیر کردن زیرمعیارهای بیشتر اقتصادی و اجتماعی از جمله اطلاعات پسماندهای بیمارستانی موجود در منطقه به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای بیمارستانی پرداخت. در این پژوهش از روش TOPSIS برای رتبه‌بندی و انتخاب بین گزینه‌ها استفاده شد که از دیگر روش‌ها از جمله روش‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک نیز می‌توان در پژوهش‌های بعدی بهره برد. بنابراین پژوهش‌های آتی می‌تواند شامل آن تحقیقات پیگیرانه‌ای باشند که برای ارزیابی بهبود عملکرد در جهت مکان‌یابی دقیق لندفیل از بهبودهای ذکر شده استفاده شود. همچنین با توجه به تخمین جمعیت در آینده و

سن احتمالی لندفیل، می‌توان به استحصال گاز از لندفیل و طراحی لندفیل پرداخت.

نتیجه‌گیری

با توجه به مقالاتی که در این حوزه مورد بررسی قرار گرفته‌اند به نظر می‌رسد این اولین پژوهشی است که به تلفیق ۴ روش یاد شده در جهت مکان‌یابی لندفیل پرداخته است. نتایج این پژوهش شواهد محکمی برای استفاده از تلفیق روش‌های فازی و بولین فراهم می‌کند. همان‌طور که در قسمت‌های قبلی ذکر شد، شهرستان نایین با توجه به حجم زباله در ۲۰ سال آینده که برابر ۷۸۹۳۱۶۳ مترمکعب است، حدود ۸ هکتار زمین برای ایجاد محل دفن پسماند شهری نیاز دارد؛ که بهترین لکه مشخص شده چندین برابر این مقدار است. به‌طور خلاصه نتایج حاکی از آن است که روش به‌کار گرفته شده در این پژوهش (تلفیق دو روش فازی و دو روش بولین به‌صورت وزن‌دار) و درگیر کردن معیارهای متفاوت و انتخاب بهترین لکه با استفاده از TOPSIS نتایج بهتری را نسبت به تک‌تک روش‌ها ارائه داد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی از جمله عدم سرقت ادبی، انتشار چندگانه، داده‌سازی و یا تحریف اطلاعات را در این تحقیق رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی، حقوقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر این تحقیق تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پژوهش و تحقیقات نویسندگان بوده است که با حمایت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. بدین‌وسیله از تمام کسانی که در به ثمر رسیدن این مقاله کمک‌رسانی کرده‌اند، به‌خصوص دکتر سعید پورمنافی که در جهت تأمین داده و اطلاعات ما را راهنمایی کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1) Sofsataie A. Biogas extraction technologies and the study of bioenergy extraction potential from Isfahan landfills. first National Conference on Bioenergy. 2010 Oct. 13. Tehran, Iran. (Persian)
2) Mostajeran MR. Dosti MR. Zoghi MJ. Determining the amount of gases produced in Isfahan landfill using Landgem software. 4th International Conference on Environmental Planning and Management. 2017 May. 23-24. Tehran, Iran. (Persian)
3) Islamic Consultative Assembly. Waste Management Law. Tehran: Islamic Consultative Assembly; 1383. (Persian)
4) Nishanth T. Prakash MN. Vijith H. Suitable site determination for urban solid waste disposal using GIS and Remote sensing techniques in Kottayam Municipality. International Journal of Geomatics and Geosciences 2010; 1(2): 197-210
5) Abdolkhani nezhad T. Manori M. bakhoda MA. Necessity of selecting optimal location models of urban landfills for land management and sustainable development. Third Conference on Environmental Planning and Management. 2013 Nov. 26. Tehran, Iran. (Persian)
6) Pasalari H. Nabizadeh Nodehi R. Mahvi AH. et al. Landfill site selection using a hybrid system of AHP-Fuzzy in GIS environment: A case study in Shiraz city, Iran. MethodsX 2019; 6: 1454-1466.
7) Sadogh vanini H. Tavakoli nia J. zeraie O. Land zoning for physical development of Shiraz city using GIS and AHP. Sepehr's journal 2010; 18(72): 32-39. (Persian)
8) Jafari K. Mazloumi bajestani A. Hafezi moghaddas N. et al. Landfill Siting for Municipal Waste: A Case Study in Ardebil. Journal of Engineering Geology 2017; 11(3): 103-132. (Persian)
9) Malczewski J. Propagation of errors in multicriteria location analysis: a case study. In: Fandel G, Gal T (eds) Multiple criteria decision making. Springer- Berlin Heidelberg 1997; 448: 154-155
10) Rajaie F. Esmaieli A. Mahini A. et al. Predicting the most potential agricultural areas of Tajan watershed using multi-criteria evaluation method (MCE). Journal of Land use planning 2017; 9(1): 111-127. (Persian)
11) Alem tabriz A. Bagherzadeh azar M. Combination of fuzzy ANP and modified TOPSIS for strategic supplier selection. Journal of Public Management Research 2009; 2(3): 149-181. (Persian)
12) Niknami M. Hafezi moghadas N. Location of municipal waste landfill in Golpayegan city using GIS system. Journal of Geotechnical Geology 2010; 6(1): 57-66. (Persian)
13) Jafari HR. Rafie Y. Ramezani mehrian M. et al. Location of municipal waste landfill using AHP and SAW in GIS environment (Case study: Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad

province). Journal of Ecology of Tehran university 2012; 37(61): 131-140. (Persian)
14) Bani asadi S. Ashrafzadeh MR. Environmental Impact Assessment of Waste Landfill Development Project Case Study: Barshour-shiraz. 12th National Conference on Environmental Health. 2009 Nov. 3. Shahid Beheshti University of Medical Sciences. Tehran, Iran. (Persian)
15) Zareei A. Abedi koupaei J. Kakapour V. et al. Optimal Location of Landfill for Municipal Solid Waste in Qorveh City Using GIS and AHP. Journal of Research in Environmental Health 2020; 5(4): 303-314. (Persian)
16) Deputy of the organization of Statistics and Information of Iran. Statistical yearbook of Isfahan province in 1395. Isfahan: Isfahan Province Management and Planning Organization; 1396. (Persian)
17) Meteorological Organization of Iran. Climate index of Naien county in 1394. Isfahan: Isfahan Meteorological Department; 1394. (Persian)
18) Sarkhosh M. Najafpoor AA. Tabrizi Azad M. Treatment of Fresh Leachate from Municipal Solid Waste Landfill. Journal of Research in Environmental Health 2020; 6(2): 193-196. (Persian)
19) Department of Environment of Iran. Applicable technical conditions in the design of landfills for ordinary and special waste. Tehran: Department of Environment; 1398. (Persian)
20) Makhdom farkhondeh M. Fundamental of Land use Planning. Second ed. Tehran: University of Tehran Publishing Institute; 1378. P. 289. (Persian)
21) Salehi sedghiani J. Mathematical approach to AHP hierarchical analysis process. Journal of Management Study 2002; 8(31-32): 111-136. (Persian)
22) Ganji R. Urban landfill site selection using AHP and TOPSIS in GIS Environment (Case Study: Landfill of kherameh Township). [Msc Thesis]. Iran. Faculty of Natural Resources of Isfahan University of Technology; 2016. (Persian)
23) Ghodsi pour H. Multiple Objective Decision Making (MODM) (Methods for A Posteriori Articulation of Preference Information Given). 5th ed. Tehran: Amirkabir University of Technology; 1397. P. 204. (Persian)
24) Malczewski, j. GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. Progress in Planning 2004; 62(1): 3-65
25) Mehri A. Mahini A. Comparison of the efficiency of TOPSIS raster and MOLA methods in land use planning (Case identified: Hablehrood watershed). Journal of Geography and Urban Planning 2016; 6(19): 123-142. (Persian)