فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

۱-۲۰

ارزیابی محدودیت‌های مکانی برای دفن بهداشتی زباله‌های شهری در استان مازندران با استفاده از GIS و تحلیل سلسله مراتبی

یاسمن امیرسلیمانی[۱]، عزیز عابسی[۱*] و یاسر ابراهیمیان قاجاری[۲]

[۱] گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸

امیرسلیمانی، ی.، ع. عابسی و ی. ابراهیمیان قاجاری. ۱۳۹۹. ارزیابی محدودیت‌های مکانی برای دفن بهداشتی زباله‌های شهری در استان مازندران با استفاده از GIS و تحلیل سلسله مراتبی. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۴): ۱۸-۱.

سابقه و هدف: مدیریت پسماندهای جامد یکی از مهمترین مشکلات پیش‌روی برنامه‌ریزان شهری در سراسر جهان محسوب می‌گردد. انتخاب مکان مناسب جهت دفن بهداشتی زباله ابتدایی‌ترین مرحله در مدیریت محیط زیستی زباله‌ها در طبیعت محسوب می‌شود. امروزه سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)[۱] رایج‌ترین ابزار در انتخاب محل‌های مناسب دفن زباله محسوب می‌گردد. در این پژوهش با تلفیق سامانه‌های اطلاعات مکانی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نسبت به ارزیابی محدودیت‌های موجود جهت دفن بهداشتی زباله‌های شهری در محدوده استان مازندران براساس قوانین مشروح سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، اقدام می‌گردد.

مواد و روش‌ها: در این مقاله با کمک تحلیل‌های سلسله مراتبی (AHP)[۲] یک مدل تصمیم‌گیری براساس سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) برای مکان‌یابی محل‌های مناسب دفن زباله‌های بهداشتی شهر استان مازندران بیان شده است. در تحقیق حاضر، از نرم افزار ArcGIS 10.4.1 برای ایجاد پایگاه داده‌ها، تحلیل‌های مکانی و روی‌هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی و همچنین از مدل AHP و نرم افزار Expert Choice برای محاسبه‌ی وزن معیارها استفاده شده است.

نتایج و بحث: در پژوهش حاضر ابتدا با توجه به قوانین سازمان حفاظت محیط زیست ایران، عوامل تأثیرگذار در مکان‌یابی محل‌های دفن پسماندهای شهری استخراج گردید. این معیارها شامل شیب، فاصله از گسل، سیلاب دشت، فاصله از دریا، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از تالاب‌ها و دریاچه‌ها، فاصله از چاه‌های آب شرب، عمق آب زیرزمینی، فاصله از منطقه‌های حفاظت شده محیط زیست، فاصله از منطقه‌های شهری، فاصله از منطقه‌های روستایی، فاصله از مراکز آموزشی و درمانی، فاصله از مراکز تاریخی و باستانی، فاصله از فرودگاه‌های محلی و بین المللی، فاصله از صنایع و دسترسی به جاده‌ها می‌باشد. در ادامه، با در نظر گرفتن معیارهای حذفی و طبقه‌بندی و امتیازدهی آن‌ها، نقشه‌های معیار در محیط GIS تولید گردید. از آنجایی که اهمیت معیارها نسبت به هم متفاوت می‌باشد با استفاده از روش AHP و نرم

* Corresponding Author. *Email Address*: Oabessi@nit.ac.ir

http://doi.org.10.52547/envs.18.4.1

افزار Expert choice، وزن نسبی معیارها محاسبه گردید. در نهایت با تلفیق وزنی نقشه‌های معیار، محدوده‌هایی که در استان مازندران برای دفن زباله مناسب تشخیص داده شده‌اند، شناسایی و طبقه‌بندی گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد، ۱۶۱۵۶ کیلومترمربع از مساحت استان مازندران (معادل ۶۸ درصد از کل استان) جزء منطقه‌های ممنوعه برای دفن زباله بوده و تنها ۳۲ درصد از مساحت کل استان شرایط اولیه برای دفن بهداشتی زباله‌های شهری را دارا می‌باشند. به جهت آنکه بسیاری از منطقه‌های پرشیب کوهستانی جزء منطقه‌های مجاز اولیه طبقه بندی شده‌اند، در ادامه این مناطق براساس ویژگی‌های توپوگرافی محل و فاصله مطلوب از عوارض مورد نظر، طبقه‌بندی و اولویت‌دهی شده‌اند. مناطق بالا به ۳ دسته کاملا مناسب، نسبتا مناسب و کمتر مناسب تفکیک شده‌اند. در نهایت ۲۴۰۵ کیلومترمربع از مساحت استان دارای شرایط با مطلوبیت کم، ۴۹۱۴ کیلومترمربع دارای شرایط نسبتا مطلوب و ۲۸۱ کیلومتر مربع دارای شرایط کاملا مطلوب و مناسب برای دفن بهداشتی زباله تشخیص داده شد.

نتیجه‌گیری: بررسی مقایسه‌ای نتایج نشان می‌دهد که در نهایت تنها ۲ درصد از مساحت کل استان دارای شرایط بهینه برای دفن بهداشتی زباله می‌باشد و از این نظر استان مازندران جزء منطقه‌های بسیار خاص کشور با محدودیت‌های بالا برای امکان دفن زباله‌های شهری می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد ترکیب استفاده از سامانه اطلاعات مکانی (GIS) و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای اعمال معیارهای حذفی و اولویت بندی بیان شده در متن قوانین محیط زیستی کشور، می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب جهت مکان‌یابی محل‌های دفن زباله‌های شهری در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، سامانه‌های اطلاعات مکانی، ضوابط سازمان محیط زیست، محل دفن زباله، مکان‌یابی.

مقدمه

رشد جمعیت و تغییر در ساختارهای اجتماعی - اقتصادی سبب افزایش سرانه مصرف و در نتیجه تولید بیشتر زباله می‌شود که این امر تأثیرهای مخرب درازمدت بسیاری بر محیط‌زیست به‌همراه خواهد داشت (Abdullah *et al*., 2019). مدیریت پسماندهای جامد یکی از مهمترین مشکل‌های پیش‌روی برنامه‌ریزان شهری در سراسر جهان است (Gorsevski *et al*., 2012). روش‌های سنتی مدیریت پسماندهای جامد، یعنی تلنبار کردن زباله‌ها بدون استفاده از روش‌های مهندسی، در کشورهای کمتر توسعه یافته هنوز رواج دارد. در حقیقت، دفن غیراصولی زباله یک بخش اساسی از سیستم مدیریت پسماند در این کشورها است که همچنان به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kumar and Hassan, 2013). دفن بهداشتی که به معنی دفن کنترل شده زباله در زمین است، بویژه اگر به‌همراه استفاده از دیگر روش‌های مدیریتی زباله مانند بازیافت و باز استفاده زباله، تولید کودهای آلی و سوزاندن زباله به‌منظور استحصال انرژی همراه باشد، جامع‌ترین روش مدیریت زباله محسوب می‌گردد (Badv, 2013). دفن بهداشتی مواد زائد مقوله‌ای است که شامل مرحله‌های پیچیده‌ای چون انتخاب مکان مناسب و آماده‌سازی و بهره‌برداری از محل می‌باشد، که هر کدام نیازمند به انجام مطالعات گسترده و اعمال مدیریت صحیح می‌باشد (Mirzaei *et al*., 2014). انتخاب مکان مناسب برای دفن بهداشتی زباله، باید با حداقل اثرهای منفی بر محیط‌زیست، جامعه و اقتصاد همراه باشد و به‌طور کلی مورد پذیرش عموم قرار گیرد. معیارها و عامل‌های زیادی در انتخاب محل دفن بهداشتی مواد زائد جامد شهری دخالت دارند که هر کدام به نوبه خود از اهمیت خاصی برخوردارند و محدودیت‌هایی را در انتخاب محل دفن ایجاد خواهند کرد (Firuzi *et al*., 2011). تجزیه و تحلیل این معیارها نیاز به بهره‌گیری از سیستم‌های ارزیابی چند معیاره مکانی دارد و این مهم در قالب استفاده از تکنولوژی‌های جدید از قبیل سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات مکانی امکان پذیر خواهد بود (Gholamalifard and Omidipour, 2014). سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) یکی از رایج‌ترین ابزارهای مورد

استفاده در فرآیند مکان‌یابی بویژه انتخاب محـــل مناسب دفن زباله محسوب می‌گـــردد(Abdullah *et al*., 2019) . GIS این توانایی را دارد که بتواند تعداد زیادی از داده‌های مکانی را که از منبع‌های مختلف تهیه می‌شوند، جمع-آوری، مدیریت و تحلیل کند (Abessi and Saeedi, 2009). همچنین می‌توان از آن به‌عنوان بخشی از یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی (SDSS)[۳] با مجموعه‌ای قوی از ابزارهای ورودی، ذخیره، نمایش، تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی داده‌های مکانی استفاده نمود (Barzehkar *et al*., 2019). با این وجود، در انتخاب معیارها و گزینه‌های مختلف، اهمیت نسبـــی و رتـبه‌بنـــدی گزیـــنه‌های نهـــایی هـمـــواره محدودیت‌هایی وجود دارد. تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA)[۴]، مجموعه‌ای از تکنیک‌های مختلف است که ابزارهایی برای در نظر گرفتن معیارهای متعدد و وزن‌دهی آن‌ها جهت بهینه‌یابی مسئله‌های چند هدفه را نشان می‌دهد. با آمیختن تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)، می‌توان زمان و هزینه‌های تجزیه و تحلیل را مدیریت، خطاها را کاهش و دقت تصمیم‌گیری‌ها را افزایش داد (Karimi *et al*., 2019). فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP)، یکی از ابزارهای پرکاربرد در حل مسئله‌های تصمیم-گیری چند معیاره می‌باشد (Khan and Samadder, 2014). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش تصمیم‌گیری است که می‌تواند برای تجزیه و تحلیل و پشتیبانی از تصمیم‌هایی که دارای معیارها و هدف‌های متعدد هستند، استفاده شود. برای انجام این کار، یک مسئله پیچیده، به شکل یک سلسله مراتب تصمیم به تعدادی از مسئله‌های ساده‌تر تقسیم می‌شود (Wang *et al*., 2009). از تحلیل سلسله مراتبی برای برآورد کردن ضرایب وزن معیارهای درگیر در این مسئله‌هـــای ســـاده استـــفاده می‌شـــود (Khan and Samadder, 2014). در تحقیق حاضر برای مکان‌یابی محل‌های مناسب دفـن بهداشتـــی زباله‌هـای شـــهری در محـدوده استـان مازندران براساس قوانین مشروح سازمان محیط‌زیست ایـران، از توانایـــی‌های سامانـــه‌های اطـــلاعات مکانـــی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در ارتباط با تعیین منطقه‌های حذفی و با اولویت بیشتر استفاده شده است. مطالعات انجام شده در این حوزه تاکنون بیشتر محدود به یک شهرستان و یا بخشی از استان بوده و از قواعد عمومی بیان شده در منابع بین المللی استفاده نموده و از محدودیت‌های قانونی سازمان حفاظت محیط زیست ایران استفاده نکرده‌اند. قواعد حاکم برمکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهری در ایران که بعد از تصویب هیأت وزیران به قانون تبدیل شده-اند، برای اولین بار در این تحقیق مبنای مکان‌یابی محل-های دفن در سطح استان مازندران قرار گرفته است. در ادامه مطالعات بین المللی، ملی و منطقه‌ای انجام شده در ارتباط با مکان‌یابی محل‌های دفن زباله در سطح دنیا، ایران و استان مازندران مورد بررسی قرار گرفته و معیارهای مورد استفاده در آن‌ها معرفی می‌گردد.

Siddiqui *et al*. (1996) از اولین محققانی بودند که از GIS و روش AHP برای مکان‌یابی محل دفن زباله استفاده نمودند، آن‌ها از GIS برای تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و از AHP برای رتبه بندی مناطق دفن زباله براساس معیارهای متنوع، استفاده کردند. در تحقیقی دیگر Kontos *et al*. (2005) مکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهری را در محدوده یونان مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای محاسبه وزن معیارها استفاده نموده‌اند. Wang *et al*. (2009) ، مکان‌یابی محل دفن زباله شهری را با استفاده از GIS و تحلیل سلسله مراتبی را در منطقه‌ای از چین مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها افزون بر معیارهای محیط زیستی، معیارهای اجتماعی و اقتصادی را نیز در نظر گرفتند. Abessi and Saeedi (2010) مکـــان‌یابی محـــل دفـــن زباله‌های خطرناک را با استفاده از روش AHP و GIS مورد تحقیق قرار دادند. آن‌ها با استفاده از روش غربالگری سایت و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش پیشرفته برای مکان‌یابی محل دفن

زباله‌های خطرناک در منطقه‌های بسیار وسیع بیان کردند. در این مطالعه آن‌ها مجموعه‌ای از معیارهای فیزیکی، محیط زیستی، اجتماعی - اقتصادی و فنی را در مکان‌یابی مدنظر قرار دادند. Rahmat *et al.* (2017) مکان‌یابی محل دفن زباله‌های جامد شهر بهبهان در استان خوزستان را با تلفیق GIS و AHP مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در ابتدا، از روش امتیازدهی برای ارزیابی تک تک معیارها به‌صورت جداگانه استفاده کرده و سپس اهمیت نسبی معیارها با یکدیگر را توسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تعیین نمودند. Ramesht *et al.* (2013) محل مناسب دفن زباله‌های شهری را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و GIS در محدوده شهرستان کوهدشت مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با در نظر گرفتن پارامترهای انسانی، محیط زیستی، هیدرولوژیکی، زمین شناسی و ژئومورفولوژی منطقه اقدام به انتخاب مناسب‌ترین مکان برای دفن زباله در منطقه‌ی مطالعاتی نمودند. در پژوهشی دیگر، Khodaparast *et al.* (2018) برای مکان‌یابی بهینه محل دفن زباله شهر قم از ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیای GIS و تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده کردند و به‌تازگی Aksoy and San (2019) مکان‌های مناسب دفن زباله را برای یک دوره‌ی ۳۵ ساله در شهر آنتالیا مورد تحقیق قرار دادند. آن‌ها ۱۲ معیار را در این پژوهش در نظر گرفتند و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مناطق مناسب جهت دفن زباله در این منطقه را مشخص نمودند. Karakus *et al.* (2020) از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر GIS برای انتخاب محل دفن زباله بهداشتی در شهر سیواس واقع در کشور ترکیه استفاده نمودند. Asif *et al.* (2020) در پژوهش خود جهت مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله در منطقه لاهور، پاکستان از روش ارزیابی چند معیاره مبتنی بر GIS استفاده نمودند. Hereher *et al.* (2019) با هدف مکان‌یابی مناطق بهینه جهت دفن بهداشتی زباله در کشور عمان از معیارهای جمعیتی، کاربری زمین‌ها، توپوگرافی و هیدرولوژیکی استفاده نمودند. این پارامترها با استفاده از روش وزن‌دهی و سامانه GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

در ارتباط با مطالعات سال‌های اخیر در داخل کشور، Barzehkar *et al.* (2019) جهت انتخاب مکان مناسب برای دفن زباله در ناحیه‌ای از استان گیلان از روش‌های ارزیابی چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS استفاده کردند. پژوهش‌های مشابهی نیز توسط Asghari *et al.* (2019) در محدوده شهرستان شاهین دژ، Samari and Hoseinzadeh (2012) برای شهر بندرعباس، Khosravi and Ashjaei (2017) برای شهر قزوین و Fattaei and Alsheykh (2009) برای شهر گیوی گزارش شده است.

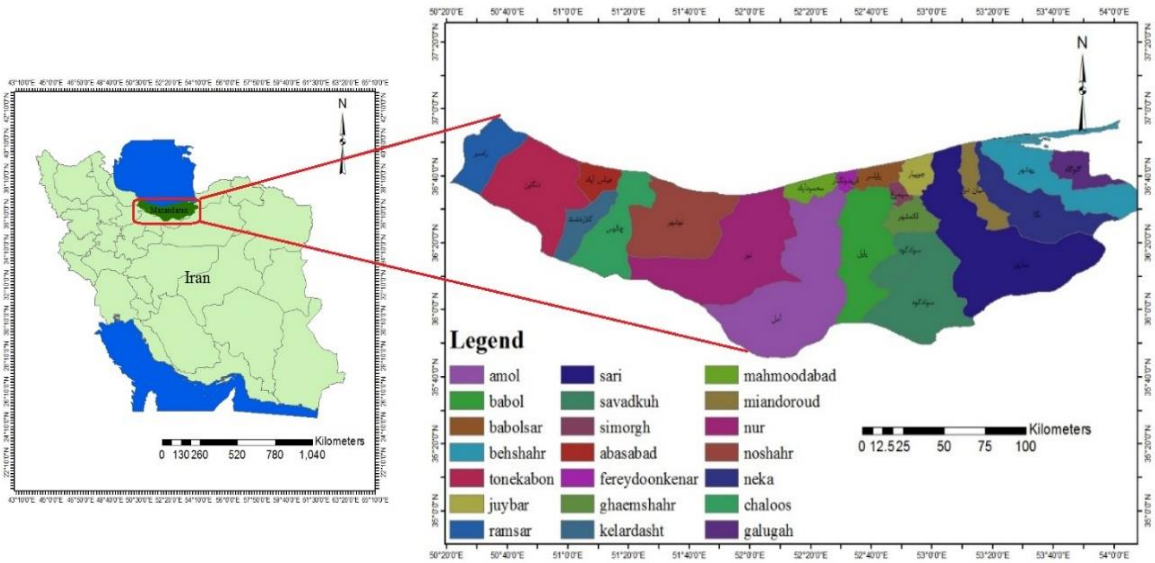
در همین راستا، مطالعات متنوعی در استان مازندران نیز انجام گرفته است. به‌طور نمونه Bozorgmehr *et al.* (2014) برای مکان‌یابی بهینه محل دفن مواد زائد جامد شهری در سطح شهرستان تنکابن در استان مازندران از مدل AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره بردند. در این مطالعه، با بررسی سابقه مطالعات پیشین، معیارهای فاصله از منطقه‌های شهری و روستایی، سطح آب-های زیرزمینی، فاصله از رودخانه، کاربری زمین‌ها، نوع خاک، بارش، فاصله از راه، کاربری زمین‌ها و شیب به‌عنوان معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل‌های دفن در نظر گرفته شده‌اند. وزن معیارهای مؤثر با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شده و با روی‌هم‌گذاری لایه‌ها، نقشه نهایی اولویت‌بندی مناطق برای دفن مواد زائد جامد شهری در این شهرستان استخراج گردید. Lahmian (2018) جهت مکان‌یابی محل جایگزین برای دفن پسماندهای شهر ساری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سامانه تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده نمودند. در این پژوهش، معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل دفن با بررسی پژوهش‌های گذشته و مطابق با دیدگاه صاحب نظران تعیین گردید. معیارهای اولویت‌بندی در این پژوهش، شامل معیارهای زمین‌شناسی، شیب، پوشش گیاهی، کاربری زمین‌ها، راه و فاصله از شهر

ساری می‌باشد و محدودیت‌های فاصله از مناطق حفاظت شده، عمق سطح آب زیرزمینی، فاصله از شهر، فاصله از مراکز جمعیتی، فاصله از باغ و جنگل، فاصله از آب‌های سطحی، فاصله از راه، فاصله از گسل و فاصله از خطوط انتقال نیرو به‌عنوان حریم‌های موجود در نظر گرفته شده است. Aliakbari and Livani (2011) جهت مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله‌های جامد شهری بهشهر ترکیبی از عوامل سنگ شناسی، ژئوهیدرولوژی، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از گسل‌ها، فاصله از مراکز شهری و روستایی، فاصله از راه، فاصله از آثار باستانی، بارش و شیب را مورد توجه قرار دادند و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS، دو جایگاه مناسب برای دفن بهداشتی زباله‌های جامد در این ناحیه را پیشنهاد نمودند. تعداد بالای این مطالعات نشان دهنده اهمیت استفاده از GIS و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مکان‌یابی محل دفن زباله شهری است. در عمده این مطالعات محدوده کوچکی از یک شهر، شهرستان یا منطقه، مورد بررسی قرار گرفته و معیارها و قواعد حاکم بر مکان‌یابی محل‌های دفن مبتنی بر نظرهای کارشناسان محلی بوده و یا با بررسی سابقه مطالعات مشابه در دیگر نقاط استخراج شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

استان مازندران در محدوده '۴۶ °۳۵ تا '۵۸ °۳۶ عرض جغرافیایی و'۲۱ °۵۰ تا '۰۸ °۵۴ طول جغرافیایی با مساحتی برابر با ۲۳۷۵۶/۴ کیلومتر مربع، حدود ۱/۴۶ درصد از مساحت ایران را در برگرفته و از نظر وسعت رتبه هجدهم را در بین استان‌های کشور به خود اختصاص داده است. این استان شمالی از لحاظ جمعیت یکی از پرتراکم‌ترین مناطق ایران بوده و براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت استان مازندران بالغ بر ۳۲۸۳۵۸۲ نفر می‌باشد. دریای خزر در شمال، استان‌های تهران، البرز و سمنان در جنوب و استان‌های گیلان و گلستان به‌ترتیب در غرب و شرق استان قرار دارند. براساس آخرین تقسیم‌های کشوری، مازندران دارای ۲۲ شهرستان، ۵۸ شهر، ۵۶ بخش، ۱۳۱ دهستان و ۳۶۹۱ آبادی (Planning and Budget Organization, 2020). در شکل ۱ محل قرارگیری استان مازندران در نقشه ایران و تقسیم‌های شهرستان‌های این استان قابل مشاهده است.

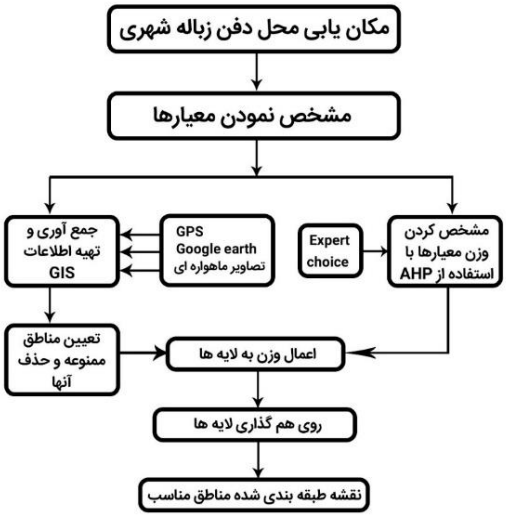


شکل ۱- محدوده مورد مطالعه، استان مازندران
Fig. 1- The study area, Mazandaran Province

توسعه اقتصادی و اجتماعی، افزایش جمعیت و تعداد مسافران و گردشگران، تغییر الگوی مصرف و بالارفتن سطح رفاه در سال‌های اخیر منجر به تولید حجم عظیمی از انواع زباله‌های شهری و صنعتی در استان مازندران شده است. زباله‌های تولیدی متأسفانه در مراکز متعددی در حاشیه شهرها و گاهی رودخانه‌ها، تالاب‌ها، جنگل‌ها، مراتع و حتی ساحل دریا به‌صورت غیرفنی و ابتدایی دپو می‌شوند. در حال حاضر در زمینه زباله در استان مازندران مدیریت منسجمی وجود ندارد و شهرهای این استان با مشکل جدی در دفع پسماندهای خود مواجه هستند. مکان‌یابی نامناسب محل‌های دفن در مجاورت مناطق حساس محیط زیستی و همچنین نزدیکی به مناطق جمعیتی و روستاها سبب تولید مجموعه‌ای از سختی‌ها و مشکل‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و حتی امنیتی در سطح استان مازندران شده است که تاکنون پیامدهای اقتصادی و بهداشتی بلند مدتی برای شهرهای استان به‌همراه داشته است (Amirsoleymani *et al.*, 2020). این موضوع بیانگر اهمیت انجام یک مطالعه منسجم در ارتباط با یافتن محل‌های مناسب دفن در استان مازندران جهت حفاظت از محیط‌زیست، بهداشت و امنیت ذهنی ساکنان آن می‌باشد، که می‌تواند راهگشای تصمیم‌های آتی مدیریتی در سطح ملی و استان باشد.

روش تحقیق

در تحقیق حاضر، از نرم افزار ArcGIS 10.4.1 برای ایجاد پایگاه داده‌ها، انجام عملیات رقومی سازی، ویرایش و ژئورفرنس کردن نقشه‌ها، تعیین سیستم مختصات، اعمال وزن‌ها و روی‌هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده است. همچنین از مدل AHP و نرم افزار Expert Choice برای محاسبه‌ی وزن معیارها استفاده شده است. این مطالعه در ۵ مرحله انجام شده که در شکل ۲ نشان داده شده است. این مرحله‌ها شامل ۱) شناسایی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله براساس قوانین محیط‌زیستی کشور ۲) جمع‌آوری و تهیه لایه‌های اطلاعاتی در GIS ۳) تعیین منطقه‌های ممنوعه برای دفن بهداشتی زباله در سطح استان ۴) تعیین وزن معیارها با استفاده از روش AHP ۵) در نهایت تعیین محدوده‌های مناسب برای دفن از میان منطقه‌های مجاز می‌باشد. در شکل ۲، مدل تصمیم‌گیری چند معیاره برای مکان‌یابی محل‌های مناسب دفن زباله نشان داده شده است.



شکل ۲- مرحله‌های انتخاب محل دفن زباله‌های شهری

Fig. 2- Steps in the siting of municipal landfills

استخراج معیارهای مؤثر

در فرآیند مکان‌یابی محل‌های مناسب دفن مواد زائد جامد شهری، لازم است مجموعه‌ای گسترده از معیارها و پارامترهای کمی و کیفی مرتبط مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق، معیارها و عامل‌های تأثیرگذار برمکان‌یابی محل‌های دفن براساس متن ضوابط محیط زیستی محل‌های دفن پسماندهای عادی، ماده ۲۳ آیین نامه اجرایی مدیریت پسماند ایران انتخاب و به‌طور دقیق مورد استفاده قرار گرفته است. این معیارها در بخشنامه شماره ۸۹/۴۶۱۷۰ مورخ ۸۹/۱۱/۳۰ سازمان حفاظت از محیط زیست ایران به انتشار رسیده است تا پایانی بر بحث‌های بی‌شمار حول معیارهای لازم برای مکان‌یابی

محل‌های دفن در ابعاد ملی در ایران باشد. باوجود محدودیت‌های زیاد، این بخشنامه با برشمردن معیارهای حذفی، فرآیند انتخاب محل‌های دفن را تسهیل کرده است. در این ضوابط البته به معیارهایی که اولویت مکان‌های مجاز را تعیین می‌کنند، توجه کافی نشده است. معیارهای برشمرده را به‌طور کلی می‌توان به سه دسته معیارهای فیزیکی، معیارهای محیط زیستی و معیارهای اجتماعی - اقتصادی طبقه بندی نمود. هر یک از این معیارها شامل زیر معیارهایی می‌باشند که جزئیات آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- معیارهای بیان شده در قوانین سازمان محیط زیست جهت مکان‌یابی محل‌های دفن زباله‌ی عادی (Shaeri and Rahmati, 2012)

Table 1. The regulatory compliance mentioned by the Iranian Department of Environment for landfill siting (Shaeri and Rahmati, 2012)

معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل دفن زباله‌ی شهری Effective criteria for municipal landfill siting	
شیب Slope	معیارهای فیزیکی Physical criteria
فاصله از گسل و منطقه‌های لرزه خیز Distance from fault and seismic regions	
پهنه سیلاب Flood plain	
فاصله از دریا Distance from the sea	
فاصله از رودخانه‌ها Distance from the river	
فاصله از تالاب‌ها و دریاچه‌ها Distance from the wetlands and lakes	معیارهای زیست‌محیطی Environmental criteria
فاصله از چاه‌های آب شرب Distance from the ground water wells	
عمق آب زیرزمینی Depth of groundwater	
فاصله از منطقه‌های حفاظت شده محیط زیست Distance from protected areas	
فاصله از منطقه‌های شهری Distance from urban areas	
فاصله از منطقه‌های روستایی Distance from rural areas	
فاصله از مراکز آموزشی و درمانی Distance from educational and medical centers	
فاصله از مراکز تاریخی و باستانی Distance from historical and ancient zones	معیارهای اقتصادی-اجتماعی Socioeconomic criteria
فاصله از فرودگاه‌های محلی و بین المللی Distance from local and international airports	
فاصله از صنایع Distance from industries	
دسترسی به جاده‌ها Access to roads	

جمع‌آوری و تهیه لایه‌های اطلاعاتی در سامانه GIS

با مشخص شدن معیارهای مرتبط، در ادامه نسبت به جمع‌آوری لایه‌های اطلاعاتی پایه و تشکیل پایگاه داده‌های مکانی اقدام گردید. این اطلاعات از مراکز مختلف علمی و اداری کشور تهیه و جمع‌آوری شده است. در صورت نبود اطلاعات مورد نیاز، لایه اطلاعاتی با استفاده از نقشه‌های ماهواره‌ای سامانه Google Earth و برداشت‌های میدانی GPS تولید شده‌اند. در نهایت هر یک از این معیارها در قالب لایه‌هایی مجزا وارد محیط سامانه اطلاعات مکانی گردید.

تعیین منطقه‌های ممنوعه برای دفن بهداشتی زباله

در این مرحله حریم ممنوعه هر یک از معیارها با توجه به قوانین سازمان حفاظت محیط کشور در قالب نقشه‌های محدودیت[5] تولید گردید. این مرحله شامل ترکیب منطقی نقشه‌های باینری با استفاده از لایه‌های محدودیت است که برای تمایز بین زمین‌های مناسب و نامناسب و به‌منظور تعیین منطقه‌های غیرقابل قبول برای انتخاب محل دفن زباله توسعه داده شده است (Abdullah *et al*.,2019). در این مطالعه، حریم هریک از معیارها براساس قوانین مصوب سازمان حفاظت محیط زیست ایران مشخص گردیده است. حریم ممنوعه این عوارض به‌عنوان منطقه‌های حذفی در نظر گرفته شده و از محدوده انتخاب حذف شده است. در جدول ۲، محدودیت‌های کمی بیان شده در قوانین سازمان محیط زیست آورده شده است.

جدول ۲- محدودیت‌های بیان شده توسط سازمان محیط زیست ایران جهت مکان‌یابی محل‌های دفن زباله‌های عادی (Shaeri and Rahmati, 2012)

Table 2. Regulatory limitations for landfill siting mentioned by the Iranian Department of Environment (Shaeri and Rahmati, 2012)

گروه معیارها Criteria	زیر معیارها Sub-criteria	حریم (متر) Buffer zone (m)
معیارهای فیزیکی Physical criteria	فاصله از گسل و منطقه‌های لرزه خیز Distance from fault	200
	فاصله از پهنه‌ی سیلاب Distance from flood plain	50
	فاصله از دریا Distance from the sea	1000
	فاصله از رودخانه‌ها Distance from the river	1000
معیارهای زیست‌محیطی Environmental criteria	فاصله از تالاب‌ها و دریاچه‌ها Distance from wetlands and lakes	1000
	فاصله از چاه‌های آب شرب Distance from groundwater wells	400
	عمق آب زیرزمینی Depth of groundwater	5
	فاصله از منطقه‌های حفاظت شده‌ی محیط زیست Distance from protected areas	1000
	فاصله از منطقه‌های شهری Distance from urban areas	2000
	فاصله از مرکز استان Distance from the province capital	2500
	فاصله از منطقه‌های روستایی Distance from rural areas	1000
	فاصله از مراکز آموزشی و درمانی Distance from educational and medical centers	1000
معیارهای اقتصادی-اجتماعی Social - economic criteria	فاصله از مراکز تاریخی و باستانی Distance from historical and ancient centers	3000
	فاصله از فرودگاه‌های محلی Distance from local airports	3000
	فاصله از فرودگاه‌های بین المللی Distance from international airports	8000
	فاصله از صنایع Distance from industries	1000
	دسترسی به جاده‌ها Access to roads	300

تعیین وزن معیارها با استفاده از روش AHP

با توجه به اینکه اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برابر نبوده و متفاوت از هم می‌باشند، در این مرحله وزن نسبی هریک از معیارها محاسبه می‌گردد. برای تعیین وزن معیارهای مؤثر، از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، که یکی از کارآمدترین تکنیک‌های وزن‌دهی می‌باشد، استفاده شده است. در مدل AHP، معیارها به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و درجه برتری معیار i نسبت به معیار j، a_{ij} با امتیاز ۱ تا ۹ مشخص می‌شود که جزئیات آن در جدول ۳ به تفصیل آمده است (Saaty, 2008). در این تحقیق، ماتریس مقایسه زوجی ۱۵×۱۵ بوده و مقایسه‌های زوجی با استفاده از نظرهای کارشناسان خبره صورت پذیرفته است که نتایج آن در جدول شماره ۴ آورده شده است. لازم به توضیح است که ماتریس مقایسه زوجی در AHP یک ماتریس معکوس است، یعنی اگر امتیاز معیار i به j، x باشد، در نتیجه امتیاز معیار j به i، $\frac{1}{x}$ خواهد بود (Samari and Hoseinzadeh, 2012). بعد از تشکیل ماتریس مقایسه‌ی زوجی نیاز به محاسبه وزن‌ها می‌باشد که برای این منظور از نرم افزار Expert choice استفاده شده است. وزن‌های محاسبه شده در بازه ۰ تا ۱ قرار داشته و مجموع وزن‌ها برابر با ۱ است. در سطر انتهایی جدول ۴ وزن‌های نهایی به‌دست آمده برای هر یک از معیارها آورده شده است. یکی از مزیت‌های روش AHP این است که درجه سازگاری یا ناسازگاری نظرهای کارشناسان را با سنجه‌ای به نام ضریب ناسازگاری[۶] مشخص می‌کند. این سنجه مقداری بین ۰ تا ۱ دارد و در صورتی‌که کمتر از ۰/۱ باشد، نشان از سازگاری قابل قبول بین نظرهای کارشناسان بوده و در غیر اینصورت ماتریس مقایسه زوجی دوباره باید توسط گروهی دیگر از کارشناسان تکمیل گردد (Ghajari *et al.*, 2018). در این تحقیق سنجه ناسازگاری ۰/۰۶ به‌دست آمده است که گویای سازگاری بین نظرهای کارشناسان است.

جدول ۳- طبقه بندی کمی و کیفی جهت مقایسه‌ی زوجی معیارها (Saaty, 2008)

Table 3. Quantitative and qualitative classification to compare the criteria (Saaty, 2008)

امتیاز عددی Numerical score	تعاریف Definitions
1	اهمیت یا مطلوبیت یکسان Equal importance
3	کمی مهمتر یا کمی مطلوب Weak importance
5	اهمیت یا مطلوبیت قوی Essential or strong importance
7	اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی Demonstrated importance
9	کاملا مهم یا کاملا مطلوب Absolute importance
2, 4, 6 and 8	ترجیحات بین فواصلی Intermediate values between two adjacent judgments

امتیاز دهی و تولید نقشه‌های معیار

در این مرحله، برای اولویت دهی مناطق دفن از میان همه مناطقی که معیارهای حذفی را ارضا می‌کنند، معیارهای مؤثر دسته‌بندی و امتیازدهی شده و نقشه‌های معیار آن تولید گردید. با حذف منطقه‌هایی که در حریم‌های ممنوعه قرار دارند مجموعه‌ای از مناطق مجاز در استان به‌دست خواهد آمد که هیچ اولویتی نسبت به یکدیگر ندارند. در این بخش، به‌منظور درنظرگرفتن میزان مطلوبیت در ارضای معیارهای بالا و لحاظ نمودن تأثیر توپوگرافی و شیب زمین در انتخاب محل دفن، این معیارها دسته بندی شده و امتیازدهی می‌شوند. نقشه‌های اولویت‌بندی به‌صورت رستری براساس تأثیری که بر مکان دفن پسماندها می‌گذارند، به ۶ کلاس طبقه‌بندی شده و امتیاز ۰ تا ۵ به آن‌ها تعلق می‌گیرد. در جدول ۵ محدوده و امتیاز هریک از معیارها نشان داده شده است. امتیاز صفر نشان دهنده کمترین مطلوبیت و امتیاز ۵ بیشترین مطلوبیت می‌باشد. نقشه‌های معیار توسعه داده شده نیز در شکل ۳ آورده شده است.

جدول ۴- جدول مقایسه‌ی زوجی معیارها جهت مکان‌یابی محل دفن زباله‌های استان مازندران با روش AHP

Table 4. The table of criteria's pairwise comparisons for landfill siting in Mazandaran Province using the AHP method

	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9	E_{10}	E_{11}	E_{12}	E_{13}	E_{14}	E_{15}
E_1	1	8	5	6	7	7	8	8	2	5	5	4	9	3	**4**
E_2	0.125	1	0.166	0.2	2	0.33	0.5	1	0.125	0.2	0.166	0.166	1	0.142	**0.2**
E_3	0.2	6	1	2	5	4	3	6	0.166	0.5	0.33	0.5	6	0.33	**0.5**
E_4	0.166	5	0.5	1	4	3	2	5	0.125	0.5	0.25	0.33	6	0.33	**0.5**
E_5	0.142	0.5	0.2	0.25	1	0.33	0.5	1	0.166	0.33	0.2	0.2	2	0.166	**0.2**
E_6	0.142	3	0.25	0.33	3	1	3	4	0.142	0.33	0.2	0.2	2	0.166	**0.2**
E_7	0.125	2	0.33	0.5	2	0.33	1	3	0.166	0.33	0.166	0.166	2	0.142	**0.166**
E_8	0.125	1	0.166	0.2	1	0.25	0.33	1	0.166	0.33	0.2	0.2	1	0.142	**0.2**
E_9	0.5	8	6	8	6	7	6	6	1	5	3	3	6	2	**4**
E_{10}	0.2	5	2	2	3	3	3	3	0.2	1	0.5	0.5	5	0.33	**0.5**
E_{11}	0.2	6	3	4	5	5	6	5	0.33	2	1	0.5	6	0.33	**0.5**
E_{12}	0.25	6	2	3	5	5	6	5	0.33	2	2	1	6	0.33	**2**
E_{13}	0.11	1	0.166	0.166	0.5	0.5	0.5	1	0.166	0.2	0.166	0.166	1	0.166	**0.2**
E_{14}	0.33	7	3	3	6	6	7	7	0.5	3	3	3	6	1	**2**
E_{15}	0.25	5	2	2	5	5	6	5	0.25	2	2	0.5	5	0.5	**1**
وزن Weight	0.215	0.014	0.052	0.041	0.015	0.026	0.02	0.014	0.176	0.051	0.078	0.08	0.013	0.122	**0.084**

ضریب سازگاری (C.R) : 0.06

* شیب (E1)، فاصله از گسل (E2)، فاصله از محدوده‌ی شهر (E3)، فاصله از محدوده‌ی روستا (E4)، فاصله از صنایع،مراکز درمانی و مراکز آموزشی (E5)، فاصله از فرودگاه بین المللی (E6)، فاصله از فرودگاه محلی (E7)، فاصله از مراکز تاریخی (E8)، دسترسی به جاده‌ها (E9)، فاصله از منطقه‌های حفاظت شده‌ی محیط زیست، پارک ملی و حیات وحش (E10)، فاصله از رودخانه (E11)، فاصله از دریا، دریاچه‌ها و تالاب‌ها (E12)، فاصله از چاه آب شرب (E13)، عمق آب زیرزمینی (E14)، فاصله از پهنه‌های سیلابی (E15)

* Slop (E1), Distance from fault (E2), Distance from urban areas (E3), Distance from the rural areas village (E4), Distance from industries, health centers and educational centers (E5), Distance from the international airport (E6), Distance from the local airport (E7), Distance from historical centers (E8), Access to roads (E9), Distance from protected areas, national park and wildlife (E10), Distance from the river (E11), Distance from the sea, lakes, and wetlands (E12), Distance from the water well (E13), Depth of groundwater (E14), Distance from flood plain (E15)

جدول ۵ – طبقه بندی محدوده و امتیاز هر یک از معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل دفن زباله شهری

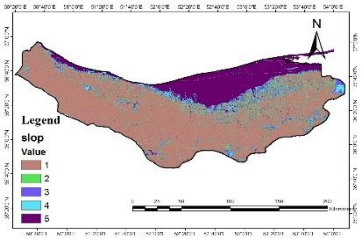
Table 5. Classification of areas and scoring for each effective criteria in locating the landfill

معیارها Criteria	محدوده (متر) Range (m)	امتیاز Score	معیارها Criteria	محدوده (متر) Range (m)	امتیاز Score
فاصله از منطقه‌های شهری Distance from urban areas	0-2000	0	فاصله از گسل و منطقه‌های لرزه خیز Distance from fault	0-200	0
	2000-3000	1		200-500	1
	3000-5000	2		500-1000	2
	5000-10000	3		1000-2000	3
	10000-15000	4		2000-3000	4
	>15000	5		>3000	5
فاصله از منطقه‌های روستایی Distance from rural areas	0-1000	0	فاصله از پهنه‌ی سیلاب Flood zones	0-50	0
	1000-2000	1		50-100	1
	2000-3000	2		100-200	2
	3000-4000	3		200-500	3
	4000-5000	4		500-1000	4
	>5000	5		>1000	5
فاصله از فرودگاه بین المللی Distance from international airports	0-8000	0	دسترسی به جاده‌ها Access to roads	0-300	0
	8000-8500	1		>20000	1
	8500-9000	2		15000-20000	2
	9000-9500	3		10000-15000	3
	9500-10000	4		5000-10000	4
	>10000	5		300-5000	5
فاصله از فرودگاه محلی Distance from local airports	0-3000	0	فاصله از رودخانه Distance from rivers	0-1000	0
	3000-3500	1		1000-2000	1
	3500-4000	2		2000-4000	2
	4000-4500	3		4000-6000	3
	4500-5000	4		6000-8000	4
	>5000	5		>8000	5

ادامه جدول ۵ – طبقه بندی محدوده و امتیاز هر یک از معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل دفن زباله شهری

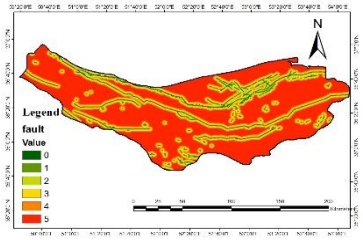
Table 6. Classification of areas and scoring for each effective criteria in locating the landfill

معیارها Criteria	محدوده (متر) Range (m)	امتیاز Score	معیارها Criteria	محدوده (متر) Range (m)	امتیاز Score
فاصله از مراکز تاریخی Distance from historical centers	0-3000	0	فاصله از دریا، دریاچه و تالاب Distance from the sea, lakes, and ponds	0-1000	0
	3000-3100	1		1000-2000	1
	3100-3200	2		2000-4000	2
	3200-3500	3		4000-6000	3
	3500-4000	4		6000-8000	4
	>4000	5		>8000	5
فاصله از صنایع، مراکز درمانی و مراکز آموزشی Distance from industries, medical, and educational centers	0-1000	0	فاصله از منطقه‌های حفاظت شده محیط زیست، پارک ملی و حیات وحش Distance from protected areas, national park and wildlife	0-1000	0
	1000-2000	1		1000-2000	1
	2000-3000	2		2000-4000	2
	3000-4000	3		4000-6000	3
	4000-5000	4		6000-8000	4
	>5000	5		>8000	5
فاصله از چاه آب Distance from the groundwater well	0-400	0	عمق آب زیرزمینی Depth of groundwater	0-5	0
	400-1000	1		5-10	1
	1000-1500	2		10-15	2
	1500-2000	3		15-20	3
	2000-3000	4		20-30	4
	>3000	5		>30	5
			توپوگرافی (به‌صورت درصد شیب) Topology (percentage of slope)	0-2 %	5
				2-6 %	4
				6-12 %	3
				12-18 %	2
				> 18 %	1



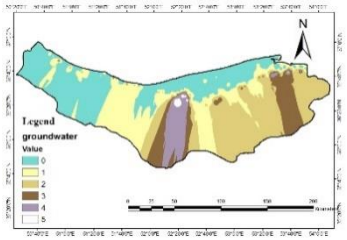
الف) نقشه طبقه‌بندی شیب

a) Slope classification map



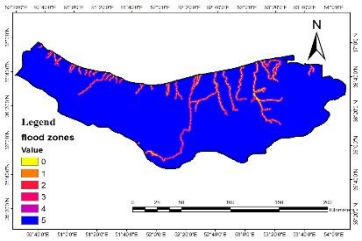
ب) نقشه طبقه‌بندی فاصله از گسل

b) Classification map of the distance from fault



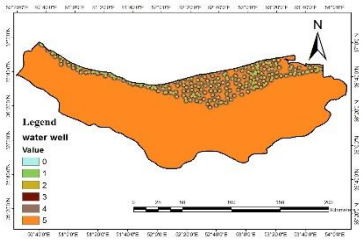
پ) نقشه طبقه‌بندی عمق آب زیرزمینی

c) Underground water depth classification



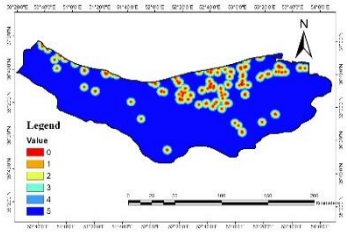
ت) نقشه طبقه‌بندی فاصله از پهنه سیلاب

d) Classification map of the distance from the flood zone



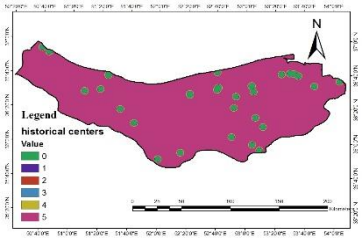
ج) نقشه طبقه‌بندی فاصله از چاه آب

e) Classified map of the distance from the water well



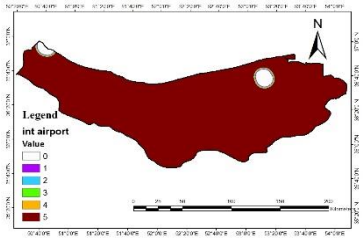
چ) نقشه طبقه بندی فاصله از صنایع، مراکز درمانی و آموزشی

f) Classification map of the distance from industries, medical and educational centers



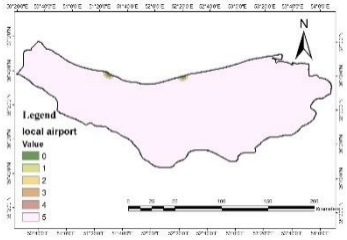
د) نقشه طبقه‌بندی از مراکز تاریخی و باستانی

g) Classification map of the distance from historical centers



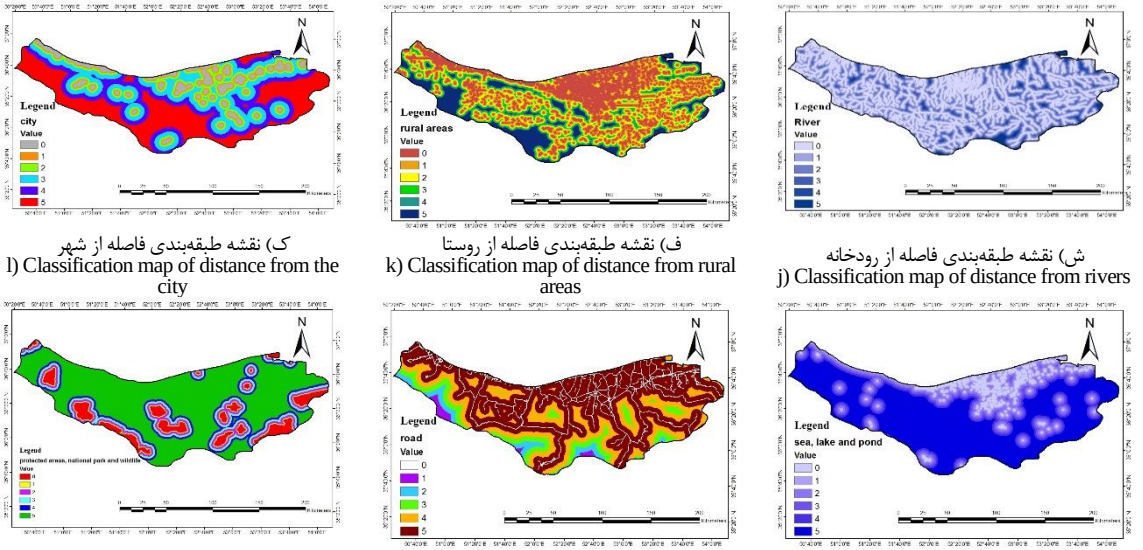
ر) نقشه طبقه‌بندی فاصله از فرودگاه بین المللی

h) Classification map of the distance from the international airport



س) نقشه طبقه‌بندی فاصله از فرودگاه محلی

i) Classification map of the distance from the local airport



ک) نقشه طبقه‌بندی فاصله از شهر
l) Classification map of distance from the city

ف) نقشه طبقه‌بندی فاصله از روستا
k) Classification map of distance from rural areas

ش) نقشه طبقه‌بندی فاصله از رودخانه
j) Classification map of distance from rivers

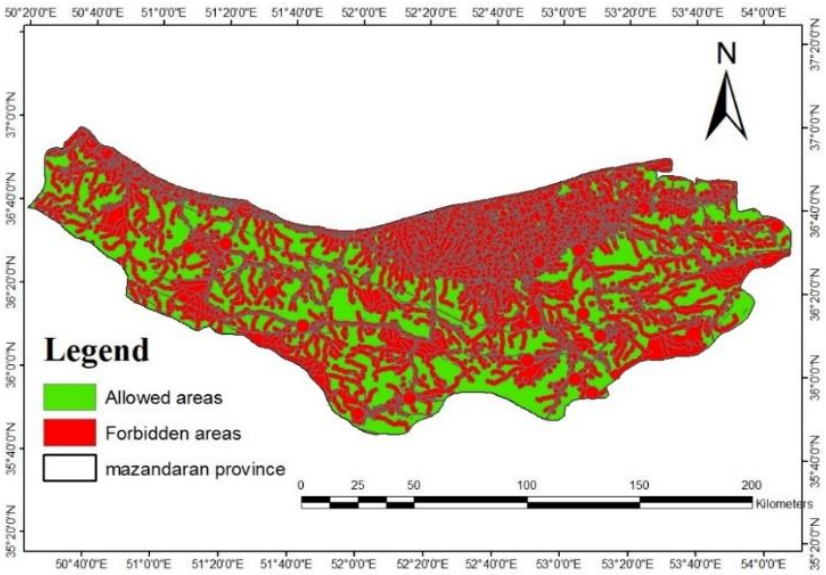
ی) نقشه طبقه‌بندی فاصله از منطقه‌های حفاظت شده محیط زیست، پارک ملی و حیات وحش
p) Classification map of distance from protected areas, national parks, and wildlife

م) نقشه طبقه‌بندی فاصله از جاده
n) Classification map of distance from roads

ل) نقشه طبقه‌بندی فاصله از دریا، دریاچه و تالاب
m) Classification map of distance from the sea, lakes, and ponds

شکل ۳- نقشه‌های طبقه بندی شده معیارهای مؤثر جهت مکان‌یابی بهینه محل دفن زباله استان مازندران

Fig. 3- Classification maps of effective criteria for optimal landfill siting in Mazandaran Province



شکل ۴- نقشه‌ی نهایی منطقه‌های دارای محدودیت جهت دفن بهداشتی زباله‌ی شهری در استان مازندران

Fig. 4- Final constraint map for sanitary landfilling in Mazandaran Province

نتایج و بحث

با تلفیق نقشه حریم‌های حذفی معیارها، که براساس جدول ۲ تولید شده‌اند، نقشه‌ی نهایی منطقه‌های دارای محدودیت در سطح استان مازندران مشابه شکل ۴ توسعه داده شده است. این نقشه، منطقه‌های ممنوعه و مجاز برای دفن بهداشتی زباله در استان مازندران را نشان می‌دهد. در این نقشه، مناطقی که با عنوان منطقه‌های ممنوعه مشخص شده‌اند (منطقه‌های قرمز رنگ) باید از نقشه‌ی نهایی حذف گردند.

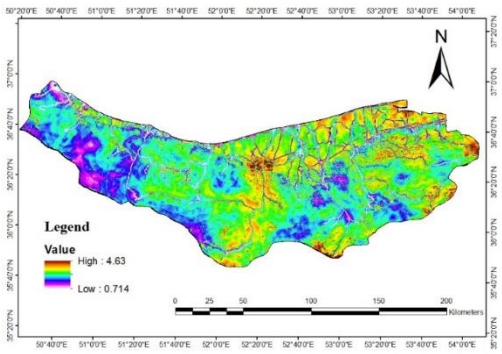
با روی‌هم گذاری نقشه‌های معیار روی مناطق مجاز و

اعمال وزن‌های محاسبه شده و امتیازدهی هر معیار (جدول ۵)، در نهایت نقشه اولویت‌بندی منطقه‌های مناسب برای دفن زباله‌های شهری در سطح استان مازندران به‌دست خواهد آمد. در این نقشه، منطقه‌ای مناسب خواهد بود که بیشترین وزن را داشته باشد. در این تحقیق برای ترکیب معیارها براساس روش ارزیابی چند معیاره مکانی، از تابع ترکیب خطی استفاده شده است که در آن امتیاز معیار در وزن آن‌ها ضرب و مجموع امتیازات هر پیکسل به‌دست می‌آید. این روش را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد (Fattaei and Alsheykh, 2009)

$$S = \sum_1^n Wi\ Xi \qquad (۱)$$

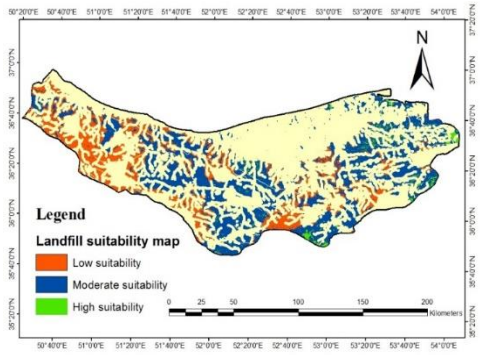
که در آن S مطلوبیت، Wi وزن معیار i، Xi امتیاز معیار i و n تعداد معیارها می‌باشد.

نقشه حاصل از روی‌هم گذاری معیارها و اعمال وزن هر معیار در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به این نقشه، بیشترین امتیاز پیکسل‌ها ۴/۶۳ و کمترین امتیاز آن ۰/۷۱۴ برآورد شده است. اندازه هر پیکسل ۳۰×۳۰ متر می‌باشد. به این ترتیب با حذف منطقه‌های ممنوعه جهت دفن بهداشتی زباله‌ها از این نقشه، در نهایت منطقه‌های مجاز باقی مانده دسته‌بندی و اولویت‌دهی شده اند. پهنه‌بندی لازم جهت انجام مکان‌یابی براساس امتیازهای به‌دست آمده، تهیه و در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، طبقه‌بندی این منطقه‌ها براساس امتیازهای به‌دست آمده با رنگ‌های مختلف مشخص شده است. این منطقه‌ها به ۳ دسته‌ی کاملا مناسب، نسبتا مناسب و کمتر مناسب دسته بندی شدند. به خودی خود، انتخاب هر مکانی برای دفن زباله‌های شهری در منطقه‌های به‌دست آمده در شکل ۶ مجاز می‌باشد اما ترجیح فنی در انتخاب مکان‌هایی است که در محدوده کاملا مناسب قرار گرفته است. تحلیل آماری مساحت مرتبط با هر بخش نیز در شکل ۷ نشان داده شده است.



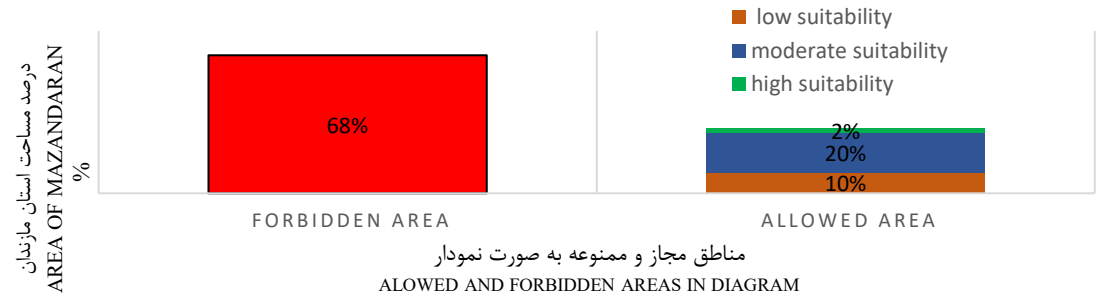
شکل ۵- نقشه حاصل از روی‌هم گذاری نقشه‌های معیار و اعمال وزن‌های AHP

Fig. 5- The developed map from critria's over laying and AHP weight implementation



شکل ۶- نقشه نهایی طبقه بندی مکان‌های مناسب برای دفن بهداشتی زباله‌های استان مازندران

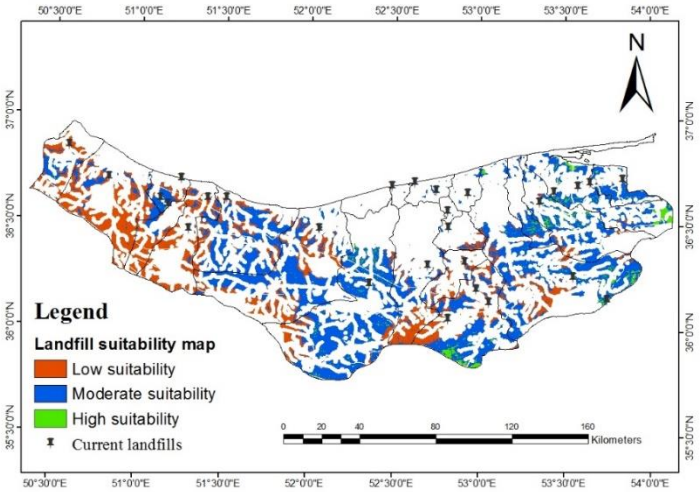
Fig. 6- Final classified map of suitable zones for landfill sites in Mazandaran Province



شکل ۷- درصد مساحت مناطق مجاز (ارضا کننده محدودیتهای قانونی) و مناطق ممنوعه (داخل مناطق محدودیت دار) در سطح استان مازندران

Fig. 7- The allowed areas (where regulations are satisfied) and forbidden areas (inside the zone of limitation) in Mazandaran Province as graphs in percentages

در استان مازندارن ۲۸ مرکز دفن کوچک و بزرگ وجود دارد که ۱۳ محل از این بین، گزینه‌های اصلی دفن زباله‌های عادی شهرهای بزرگ استان می‌باشند. در نقشه شکل ۸ موقعیت این محل‌های دفن در سطح استان مازندارن در میان منطقه‌های مجاز و غیرمجاز نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود محل‌های دفن زباله شهرهای گلوگاه، بهشهر (هر سه محل دفن بهشهر، رستم کلا و خلیل شهر)، جویبار، بهنمیر، کیاکلا، قائمشهر، بابلسر، فریدونکنار، زیراب، پل سفید، آلاشت، ساری، بابل، آمل، نوشهر، مرزن آباد، کلارآباد، عباس آباد و رامسر در میان منطقه‌های غیرمجاز برای دفن زباله در سطح استان واقع شده‌اند و محل‌های دفن شهرهای تنکابن، چالوس و نور در میان مکان‌های مجاز ولی با مطلوبیت پایین و اماکن دفن شهرهای نکا، شیرگاه و کلاردشت در منطقه‌های نسبتا مناسب واقع شده‌اند. هیچ مکان دفن فعالی در استان در مناطق با مطلوبیت بالا برای دفن زباله، واقع نشده است. این موضوع، ضرورت بازنگری در سیاست‌های مدیریت پسماند در استان مازندارن در ارتباط با مکان‌یابی محل‌های مناسب دفن زباله را خاطرنشان می‌کند.



شکل ۸- موقعیت محل‌های دفن ۲۸ گانه زباله‌های شهری استان مازندران در میان منطقه‌های غیرمجاز و با مطلوبیت کم، متوسط و زیاد
Fig. 8- The location of 28 active municipal landfills in Mazandaran Province between forbidden zones and areas with low, moderate, and high suitability

نتیجه‌گیری

با توجه به جدی بودن مشکل دفع زباله و شرایط نامناسب مکان‌های فعلی دفن زباله در سطح استان مازندران، در این پژوهش نسبت به ارزیابی مکانی منطقه-های مناسب جهت دفن بهداشتی زباله‌های شهری در سطح استان اقدام گردیده است. انتخاب مکان‌های مناسب دفن، یک هدف چند معیاره و پیچیده بوده، بنابراین در این تحقیق از تلفیق سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تعیین منطقه‌های مناسب برای دفن بهداشتی زباله‌ها در استان مازندران استفاده شده است. GIS یک ابزار قدرتمند جهت تصمیم‌گیری‌های مکان محور است که تجزیه و تحلیل داده‌ها و معیارهای متنوع مکانی را ممکن می‌سازد. در این سامانه، نتایج تحلیل‌ها را می‌توان به شکل نقشه‌های خروجی رنگی و لایه بندی شده نشان داد. بنابراین، فناوری GIS به‌عنوان ابزار مؤثری در انتخاب محل دفن زباله تاکنون بسیار مورد توجه و استفاده محققان این حوزه قرار گرفته است. در مطالعه حاضر با توجه به قوانین مصوب سازمان حفاظت محیط زیست ایران در ارتباط با ضوابط محیط زیستی محل‌های دفن زباله‌های عادی، نقشه‌های توپوگرافی و شیب، فاصله از گسل و منطقه‌های لرزه‌خیز، پهنه سیلاب، فاصله از دریا، فاصله از رودخانه، فاصله از تالاب‌ها و دریاچه‌ها، فاصله از چاه‌های آب شرب، عمق آب زیرزمینی، فاصله از مناطق حفاظت شده محیط زیست،

فاصله از مناطق شهری و روستایی، فاصله از مراکز آموزشی و درمانی، فاصله از مراکز تاریخی و باستانی، فاصله از فرودگاه‌های محلی و بین المللی، فاصله از صنایع و نقشه دسترسی به جاده‌ها به‌عنوان معیارهای مؤثر برمکان‌یابی درنظرگرفته شده و با کمک روش مقایسه زوجی وزن‌دهی گردید تا در نهایت براساس آن اماکن نسبت به هم اولویت-بندی گردند. نتایج حاصل نشان می‌دهد براساس قوانین سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۶۱۵۶ کیلومترمربع از مساحت استان مازندران (معادل ۶۸ درصد از کل استان) جزء منطقه‌های ممنوعه برای دفن زباله محسوب شده و تنها ۳۲ درصد از مساحت کل استان شرایط اولیه برای دفن بهداشتی زباله‌های شهری را دارا می‌باشند. به جهت آنکه ممکن است بسیاری از این منطقه‌های مجاز در عمل در قله کوه یا شیب دره‌ها و یا منطقه‌های بکر جنگلی واقع شده باشند، در این تحقیق مناطق مجاز اولیه، براساس فاصله مطلوب از عوارض مورد نظر و شیب و توپوگرافی استان، طبقه بندی و اولویت‌دهی شده‌اند. نقشه نهایی به-دست آمده گویای آن است که ۲۴۰۵ کیلومترمربع از مساحت استان دارای شرایط با مطلوبیت کم، ۴۹۱۴ کیلومترمربع دارای شرایط نسبتا مطلوب و ۲۸۱ کیلومتر مربع دارای شرایط کاملا مطلوب و مناسب جهت دفن بهداشتی زباله است. به این ترتیب تنها ۲ درصد از مساحت کل استان دارای شرایط کاملا مناسب جهت دفن بهداشتی زباله می‌باشد. جهت مشخص کردن مکان نهایی، لازم است معیارهای دیگری مانند جهت باد غالب و مشخصات خاک منطقه که محلی و کوچک مقیاس هستند نیز مورد ارزیابی قرار گیرند تا پیامدهای محیط زیستی دفن زباله به حداقل خود برسد. همه این موارد تنها نقطه آغازی برساخت مهندسی یک لندفیل بهداشتی خواهد بود که متأسفانه حتی یک نمونه از آن در استان مازندران وجود ندارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد ترکیب استفاده از سامانه اطلاعات مکانی (GIS) و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌تواند به‌عنوان روشی کارآمد جهت مکان‌یابی و اولویت دهی مکان‌های دفن پسماندهای شهری در سطح یک منطقه وسیع مورد استفاده قرار گیرد و روش پیشنهادی می‌تواند برای دیگر استان‌های شمالی ایران نیز مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با توجه به ماده ۳۲ ضوابط زیست محیطی محل‌های دفن پسماندهای عادی کشور که در آن پیش بینی شده کارگروه استانی مدیریت پسماند در استان‌های شمالی با توجه به محدودیت‌های مکانی، زمین شناسی، توپوگرافی و اقلیمی موجود قادر هستند ماده هایی از این قانون را تسهیل کرده و به صورت ضوابط محلی به تصویب شورای عالی حفاظت محیط زیست برسانند، پیشنهاد می‌گردد این بندها به‌طور اختصاصی برای استان شمالی و بویژه استان مازندران تصحیح و بازبینی گردد. با توجه به اینکه در این تحقیق وزن‌دهی معیارها با استفاده از نظرهای کارشناسی انجام شده است، نبود قطعیت‌های موجود در قضاوت‌های ذهنی کارشناسان در نظر گرفته نشده است. بنابراین پیشنهاد می‌گردد با استفاده از تئوری‌های عدم قطعیت، مکان‌یابی محل‌های دفن پسماند مورد ارزیابی قرار گیرد. در نهایت پیشنهاد می‌گردد، پس از به‌روزرسانی و کامل نمودن اطلاعات مکانی معیارهای مؤثر، جهت توسعه یک سامانه جامع مکان محور محیط زیستی در قالب Web GIS برای مدیریت زباله استان مازندران اقدام گردد.

قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از حمایت دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل از طریق اعتبار پژوهشی شماره BNUT/۳۹۰۰۳۵/۹۹ اعلام می‌دارند.

پی‌نوشت‌ها

[1] Geospatial Information Systems
[2] Analytic hierarchy process
[3] Spatial Decision Support System
[4] Multiple criteria decision analysis
[5] Constraint maps
[6] Inconsistency Ratio

منابع

Abdullah, M.M., Al-Jenaid, S., Zubari, W.K. and Al-Ali, J., 2019. An integrated method for the selection of optimum locations for landfilling utilizing GIS: a case study of the State of Kuwait. Journal of Environmental Protection. 10, 260-275.

Aliakbari, E. and Livani, J., E., 2011. Site selection of sanitary landfill of municipal solid waste using AHP method, case study: Behshahr. Iranian Journal of Geographical Association. 9(30), 96-111. (In Persian with English abstract).

Abessi, A. and Saeedi, M., 2009. Site selection of a hazardous waste landfill using GIS technique and priority processing, a power plant waste in Qazvin province case example. Environmental Sciences. 6 (4), 121-134.

Abessi, O. and Saeedi, M., 2010. Hazardous waste landfill siting using GIS technique and analytical hierarchy process. Environment Asia. 3(2), 47-53.

Abessi, O. and Saeedi, M., 2011. Ground water quality index development for Qazvin province. Journal of Environmental Sciences. 8(3), 117-128. (In Persian with English abstract).

Aksoy, E. and San, B.T., 2019. Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA) integration for sustainable landfill site selection considering dynamic data source. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 78(2), 779-791.

Amirsoleymani, Y., Abessi, O. and Ebrahimian Ghajari, Y., 2020. Environmental evaluation of municipal landfills in Mazandaran Province based on Iran national environmental regulations. Town and Country Planning. 12(1), 101-124. (In Persian with English abstract).

Asif, K., Chaudhry, M.N., Ashraf, U., Ali, I. and Ali, M., 2020. A GIS-based Multi-criteria evaluation of landfill site selection in Lahore, Pakistan. Polish Journal of Environmental Studies. 29(2), 1511-1521.

Asghari-Kaljahi, E., Barzegari, G., Azarmi, R. and Shahbazi, A., 2019. Site selection for Shahindezh city landfill using AHP and GIS. Geography and Planning. 22(66), 23-44. (In Persian with English abstract).

Badv, K., 2013. Engineering principles of solid waste landfilling. 136, First ed. Urmia University Press, Urmia, Iran.

Barzehkar, M., Dinan, N.M., Mazaheri, S., Tayebi, R.M. and Brodie, G.I., 2019. Landfill site selection using GIS-based multi-criteria evaluation (case study: SaharKhiz Region located in Gilan Province in Iran). SN Applied Sciences. 1(9), 1082.

Bozorgmehr, K., Hakimdoost, S., Mohammadpour Zeidi, A. and Seydi, Z., 2014. Optimal location of municipal solid waste materials landfillusing AHPmodeland GIS (case study: Tonekaboncity). Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR). 23(91), 81-88. (In Persian with English abstract).

Ebrahimian Ghajari, Y. and Barari Siavoshkolaei, M., 2019. Runoff production potential zoning using fuzzy GIS-MCDA models (case Study: Tajan River Basin). Journal of Geomatics Science and Technology. 9(1), 1-14. (In Persian with English abstract).

Fataei, E. and AleSheykh, A.A., 2009. Housing site selection of landfills for urban solid wastes using GIS technology and analytical hierarchy process (a case study in the city of Givi).

Environmental Sciences. 3(6), 145-158. (In Persian with English abstract).

Firuzi, M., Amanpour, S. and Mohammadi, A., 2011. Locate the burial site of municipal waste by using GIS: case example of the city of Lamard. Advanced Applied Geology. 1(1). 104-112 (In Persian with English abstract).

Ghajari, Y.E., Alesheikh, A.A., Modiri, M., Hosnavi, R., Abbasi, M. and Sharifi, A., 2018. Urban vulnerability under various blast loading scenarios: analysis using GIS-based multi-criteria decision analysis techniques. Cities. 72, 102-114.

Gholamalifard, M. and Omidipour, R., 2014. Siting MSW Landfill of Ilam City using boolean and weighted linear combination procedures in GIS Environment. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 24(117), 143-156. (In Persian with English abstract).

Gorsevski, P.V., Donevska, K.R., Mitrovski, C.D. and Frizado, J.P., 2012. Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: a case study using ordered weighted average. Waste Management. 32(2), 287-296.

Hereher, M. E., Al-Awadhi, T. and Mansour, S.A., 2019. Assessment of the optimized sanitary landfill sites in Muscat, Oman. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 23(3), 355-362.

Karakuş, C. B., Demiroğlu, D., Çoban, A. and Ulutaş, A., 2020. Evaluation of GIS-based multi-criteria decision-making methods for sanitary landfill site selection: the case of Sivas city, Turkey. Journal of Material Cycles and Waste Management, 22(1). 254-272.

Karimi, H., Amiri, S., Huang, J. and Karimi, A., 2019. Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. International Journal of Environmental Science and Technology. 16(11), 7305-7318.

Khan, D. and Samadder, S.R., 2014. Municipal solid waste management using Geographical Information System aided methods: a mini review. Waste Management & Research. 32(11). 1049-1062.

Khodaparast, M., Rajabi, A. M. and Edalat, A.,2018. Municipal solid waste landfill siting by using GIS and analytical hierarchy process (AHP): a case study in Qom city, Iran. Environmental Earth Sciences. 77(2), 52.

Khosravi, Y. and Ashjaeai, H., 2017. Landfill Site selection for urban hysteresis of Qazvin City using the AHP in ArcGIS Software. Human & Environment. 15(4), 51-63. (In Persian with English abstract).

Kontos, T.D., Komilis, D.P. and Halvadakis, C. P., 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. Waste Management, 25(8), 818-832.

Kumar, S., and Hassan, M.I., 2013. Selection of a landfill site for solid waste management: an application of AHP and spatial analyst tool. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 41(1), 45-56.

Lahmian, R., 2018. The use of GIS and multi-criteria decision-making system in Selected the landfill (case study: city of Sari). Geographical Planning of Space. 8(29), 167-180. (In Persian with English abstract).

Planning and Budget Organization, 2020. Arrangement program of Mazandaran province, Analysis of natural resources and environment, group of environment and natural resource,

Volume 1, Mazand Tarh consultant engineers.

Mirzaie, M., Mahini, A.S. and Mirkarimi, S.H., (Case Study: Landfill of Golpayegan township). Journal of Natural Environment. 67(1), 105-119. doi: 10.22059/jne.2014.51003 (In Persian with English abstract).

Rahmat, Z.G., Niri, M. V., Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A.A., Baboli, Z. and Hosseinzadeh, M., 2017. Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran. KSCE Journal of Civil Engineering, 21(1). 111-118.

Ramesht, M., Hatamifard, R. and Mosavy, S.H., 2013. Site selection of municipal solid waste disposal using AHP Model and GIS technique (case study: Kouhdasht City). Geography and Planning.17 (44). 119-138. (In Persian with English abstract).

Saeedi, M., Abessi, O., Sharifi, F. and Meraji, H., 2010. Development of groundwater quality index. Environmental Monitoring and Assessment. 163(1-4), 327-335.

Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences. 1(1), 83-98.

Samari Jahromi, H. and Hosseinzadehasl, H., 2012. Landfill site selection in Bandarabbas by analytical Hierarchy Process Model. Human & Environment. 10(22), 65-76. (In Persian with English abstract).

Shaeri, A.M. and Rahmati, A., 2011. Human environmental laws, regulation criteria and standards. Department of Environment. Iran.

Siddiqui, M.Z., Everett, J.W. and Vieux, B.E., 1996. Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. Journal of Environmental engineering. 122(6), 515-523.

Wang, G., Qin, L., Li, G. and Chen, L., 2009. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: a case study in Beijing, China. Journal of Environmental Management. 90(8), 2414-2421.

Environmental Sciences Vol.18 / No.4 / Winter 2021

1-20

Evaluation of spatial restriction for the urban sanitary landfill along Mazandaran Province using GIS and analytical hierarchy process

Yasaman Amirsoleymani [1], Ozeair Abessi [1]*, Yasser Ebrahimian Ghajari [2]

[1] Environmental Engineering Deparment, School of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

[2] Survey Engineering Deparment, School of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

Received: 2019.03.24 Accepted: 2020.08.18

Amirsoleymani, Y., Abessi, O. and Ebrahimian Ghajari, Y., 2021. Evaluation of spatial restriction for the urban sanitary landfill along Mazandaran Province using GIS and analytical hierarchy process. Environmental Sciences. 18(4): 1-20.

Introduction: Today, solid waste management is an important issue for urban planners all over the world. The landfill, which is a site for the safe disposal of waste materials by burial, is considered to be the core of an integrated waste management strategy in modern cities. Selecting a suitable site for landfilling is the first and most important phase in the process of waste disposal. Geospatial Information System (GIS) has become a common tool for the selection of landfill sites. In this research, by integrating spatial information systems and a multi-criteria decision-making model, spatial limitations for sitting sanitary landfills along the province of Mazandaran were evaluated based on the regulatory compliance based on the Iranian Department of Environment (DOE) regulations.

Material and methods: Municipal solid waste disposal is one of the major problems of urban environments in almost all northern states of Iran, especially Mazandaran Province. In this paper, using the analytical hierarchy process (AHP), a spatial information system has been developed for siting urban waste burial landfills in Mazandaran Province. ArcGIS 10.4.1 software was used to create an information database for spatial analysis and integration of map layers. The AHP model and Expert choice software were also used to compute the weight of criteria.

Results and discussion: In this study, according to the regulatory requirements of the Iranian DOE, the effective factors for siting urban landfills were extracted. These criteria were slope, distance from the fault,

---

* Corresponding Author. *Email Address*: Oabessi@nit.ac.ir

http://doi.org.10.52547/envs.18.4.1

flood plain, distance from the sea, distance from rivers, distance from lakes and wetlands, distance from groundwater wells, groundwater depth, distance from protected areas, distance from urban areas, distance from rural areas, distance from educational and medical centers, distance from historical and ancient centers, distance from local and international airports, distance from industries and also having access to roads. Considering the elimination criteria and by classification and scoring them, maps of the layer of each criterion were produced in the GIS system. As the role of each criterion is different, in the next step, the relative weights of criteria were calculated using AHP and Expert Choice. Finally, by integrating the map layers of each criterion and by deleting layers of limitation, the suitable areas have been classified into three categories. The results showed that 16156 km^2 of Mazandaran Province (about 68 percent of the total area) is forbidden for any landfilling based on the national regulations of DOE and only 32 percent of the total area has the initial conditions for any disposal. The initial candidate landfill sites were separated into three categories: high suitability, moderate suitability, and low suitability. As a result, 2405 km^2 of the province's area had low suitability, 4914 km^2 had moderate suitability, and 281 km^2 had high suitability conditions.

Conclusion: The comparison of results showed that only two percent of the province has essentially the optimal conditions for proper landfilling and Mazandaran Province is a region with strict restriction from this aspect. This study showed that the combination of GIS and AHP methods for the application of regulatory requirements for limitation zones and the priority setting can be considered as a suitable approach for siting urban landfills.

Keywords: Analytic hierarchy process, Geospatial Information Systems, Department of Environment, Landfill, selection.