کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در مکان‌یابی دفن پسماندهای شهری: مطالعه موردی شهر بوشهر

فاضل امیری[۱] و طیبه طباطبایی[۱*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۳)

چکیده

مکان‌یابی دفن پسماند یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدیریتی مواد زاید جامد شهری است. انتخاب محل مناسب برای دفن پسماند می‌تواند از آثار نامطلوب اکولوژیکی و اجتماعی- اقتصادی جلوگیری کند. از این‌رو، هدف از این مطالعه انتخاب مکان‌های مناسب دفن پسماند شهر بوشهر با درنظر گرفتن لایه کاربری اراضی، فاصله از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، بافت خاک، بارش، جهت باد، زمین‌شناسی، شیب و فاصله از گسل، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از راه‌ها، فاصله از مراکز صنعتی و تأسیسات است. برای این منظور، وزن لایه‌ها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شد. از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مدل‌سازی و تحلیل فضایی و تلفیق لایه‌ها استفاده شد. بر اساس رویهم‌گذاری معیارهای وزن داده‌شده با روش ترکیب خطی وزن‌دار مکان‌های مناسب دفن پسماند انتخاب‌شده به نامناسب و مناسب طبقه‌بندی شد. در مکان‌های مناسب، با کمترین زمان و سرمایه‌گذاری امکان توسعه محل دفن پسماندهای جامد شهری وجود دارد. با درنظر گرفتن حداقل مساحت موردنیاز محل دفن برای دوره ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال، مکان‌های مناسب دفن اولویت‌بندی شد. نتایج نشان داد ۳/۷ درصد از کل منطقه (۳۷۳۸ هکتار) مناسب دفن پسماند است که این محدوده در شرق شهر بوشهر واقع شده است.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، شاخص تناسب، محل دفن پسماند، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ترکیب خطی وزن‌دار

۱. گروه محیط زیست، واحد بوشهر دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tabatabaie20@yahoo.com

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مشکلات در شهرها تولید انواع مختلف پسماندها در کمیت و کیفیت‌های مختلف است که باید مدیریت شوند. دفن به‌عنوان رایج‌ترین روش دفع پسماندهای جامد شهری برای سال‌ها توسط جوامع مختلف استفاده می‌شود. با وجود تلاش‌های گسترده برای بازیابی و بازیافت مواد زاید جامد، محل‌های دفن پسماند هنوز هم بخشی جدایی‌ناپذیر از برنامه‌های مدیریت پسماند هستند (۱۹). انتخاب محل دفن پسماند به‌دلیل اثرات گسترده‌ای که بر اقتصاد، محیط زیست و سلامت دارد یک مسئله حیاتی در فرایند برنامه‌ریزی شهری است (۱۲ و ۱۵). کمال کروکی و ارداقی (۱۸) بیان داشتند که پسماندهای جامد شهری دو مشکل اساسی دارند، روش دفع و محل دفن. دو معیار اصلی در فرایند انتخاب محل دفن عبارت از معیارهای محیط زیست و اجتماعی- اقتصادی است (۱۵ و ۲۵). پژوهشگران مختلف برای انتخاب محل دفن پسماند از معیارهای مختلف بسته به شرایط محیط، استفاده کرده‌اند (۱۰، ۱۱، ۱۳ و ۳۱). تفاوت در انتخاب پارامترها بستگی به نوع مواد زاید (شهری و خطرناک)، شرایط بیولوژیکی و فیزیکی منطقه دارد (۲۸). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مکان‌یابی دفع مواد زاید جامد شهری از جمله روش‌های نوین است (۱۲). امروزه پژوهشگران زیادی از قابلیت‌های GIS به‌دلیل اینکه امکان ترکیب داده‌های مکانی مانند نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های کمی و کیفی، و پایگاه داده اطلاعات توصیفی را فراهم می‌سازد، برای مکان‌یابی محل دفن پسماندها استفاده کرده‌اند (۱۵، ۱۷، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۶، ۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۲). در مطالعات زیادی به قابلیت GIS در تسهیل و کاهش هزینه‌های انتخاب محل دفن پسماند اشاره‌شده است (۱۱، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰ و ۲۶). مطالعات خارجی که از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP: Analytical Hierarchy Process) در انتخاب محل دفن پسماند استفاده شده است می‌توان به تحقیق؛ ناس و همکاران (۲۵) مکان‌یابی دفن پسماندهای جامد شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و ارزیابی چند معیاره (MCDM: Multi-Criteria Decision Making Method) در شهر کامرا ترکیه، کانتوس و همکاران (۲۰) مکان‌یابی محل دفن مواد زاید جامد شهری در جزیره لمنوس (شمال دریای اژه) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره، چانگ و همکاران (۱۵) انتخاب محل دفن مواد زاید جامد در شهر هارلینگن واقع در جنوب تگزاس، اشاره کرد. از مطالعات داخلی انجام‌شده، افضلی و همکاران (۱) به مکان‌یابی محل مناسب دفن مواد زاید شهری شهرستان نجف‌آباد با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. بدین منظور معیارهای محیط زیستی و اجتماعی- اقتصادی تحت عنوان لایه‌های اطلاعاتی در منطق بولین و منطق فازی مورد ارزیابی قرار گرفتند. وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی به‌دست‌آمده از روش استانداردسازی فازی با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت. با رویهم‌گذاری نقشه‌های حاصل از دو منطق بولین و فازی، با درنظر گرفتن حداقل مساحت مورد نیاز دو منطقه برای محل دفن طی ۲۰ سال مناسب تشخیص داده شد. در ارزیابی میدانی این دو محل به‌دلیل نزدیکی به شهرستان تیران، از تناسب لازم برای درنظر گرفتن محل دفن پسماندهای شهری نجف‌آباد برخوردار نبودند. بنابراین پیشنهاد شد که به‌دلیل محدودیت‌های زیاد در نجف‌آباد، بایستی استقرار محل دفن مشترک پسماندهای شهری با شهرهای مجاور مورد بررسی قرار گیرد. یمانی و علی‌زاده (۸) به مکان‌یابی بهینه دفن زباله منطقه هشتگرد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با توجه به پارامترهای ژئومورفولوژی پرداختند. بر اساس چهار معیار اصلی زمین‌شناسی، هیدرولوژی، توپولوژی و کاربری اراضی پنج ناحیه برای مکان‌یابی به‌دست آمد که نتیجه پژوهش حاکی از آن است که برای دفن زباله در قسمت شرقی و جنوبی منطقه در حوالی روستای محمدآباد افشار نواحی کاملاً مناسب و برای دفن زباله ناحیه غربی منطقه به‌دلیل قرارگیری نواحی جمعیتی و کشاورزی و عمق کم آب زیرزمینی ۷ (تا ۳۲ متر) در این قسمت از منطقه کاملاً نامناسب است. ایلدرامی و همکاران (۳) با بررسی معیارهای ژئومورفیک و عوامل تأثیرگذار محیط زیستی، اقتصادی، اجتماعی منطقه و با

استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به مکان‌یابی بهینه برای دفن پسماند شهر زرین‌دشت شیراز پرداختند. معیارهای شیب، شبکه راه‌ها، شبکه هیدروگرافی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، نقشه خاک در مکان‌یابی دفن زباله بر اساس ویژگی‌های منطقه شناسایی و پس از وزن‌دهی پارامترها در AHP چهار مکان دفن مشخص شد. نتایج بررسی‌های میدانی و تحلیل نقشه‌های GIS نشان داد که مکان شماره یک به‌دلایل ژئومورفیکی در مقایسه با دیگر مکان‌ها مناسب‌تر است.

قرارگرفتن محل دفع پسماند شهر بوشهر در فاصله چهار کیلومتری از شهر در مسیر نیروگاه اتمی و توسعه مناطق مسکونی در سال‌های اخیر و قرارگرفتن محل دفن کنونی در جهت باد غالب باعث می‌شود که بوی بد زباله‌ها و دود ناشی از سوزاندن آنها به مناطق مسکونی برسد. تخلیه غیراصولی و دفن غیربهداشتی موجب تجمع جانوران و حشرات شده و همچنین تولید سرانه مواد زاید جامد شهری و خانگی ۱۷۰ تن در روز و محدودیت اراضی به‌دلیل شبه جزیره بودن و از سه طرف محدود شدن به دریا، از دلایل عدم تناسب شایستگی محل کنونی دفن است که بدون هیچ‌گونه ملاحظات محیط زیستی در حال حاضر مورداستفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، شناسایی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل دفن پسماندها بر اساس تحقیقات پیشین و تعمیم آن به منطقه مورد مطالعه و تلفیق تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور مکان‌یابی دفن پسماندهای شهر بوشهر از اهداف این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

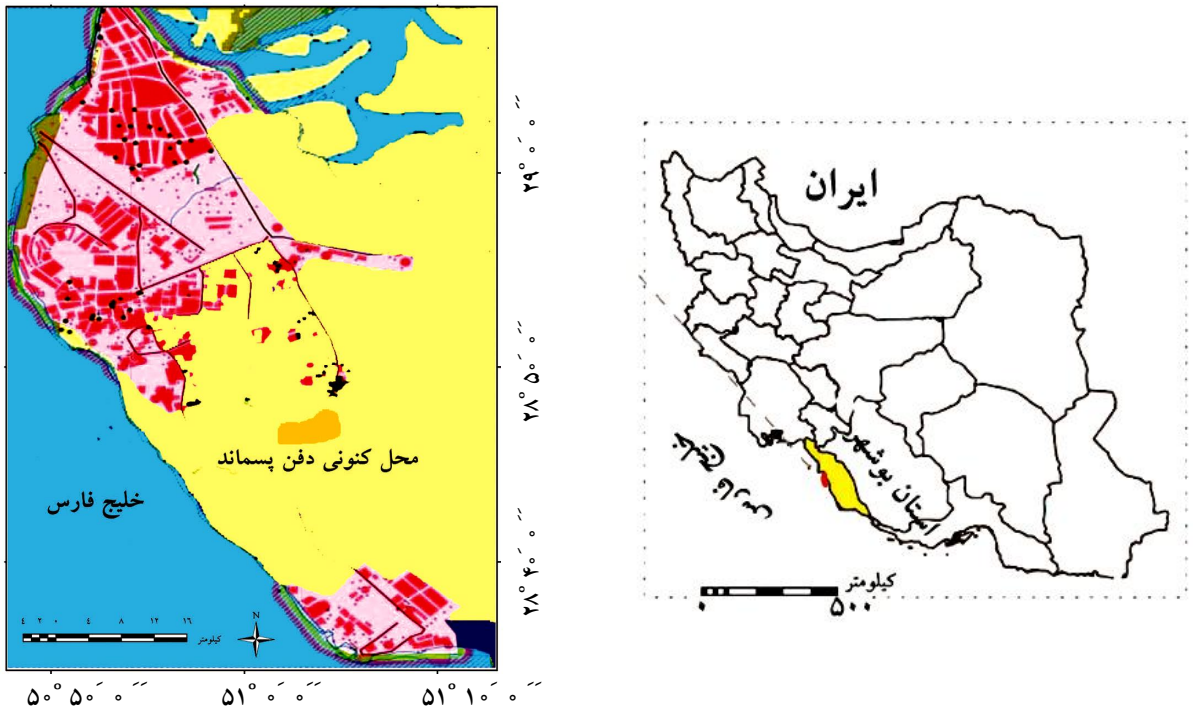
بوشهر در ساحل شمالی خلیج فارس با مساحت ۱۰۱۱/۵ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی ´۳۸ °۲۸ تا ´۰۰ °۳۰ طول شرقی و ´۴۹ °۵ تا ´۱۲ °۵۱ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). میانگین دمای سالیانه بوشهر ۲۴ درجه سانتی‌گراد، میزان رطوبت نسبی آن بین ۷۵–۵۸ درصد و میزان متوسط بارندگی سالیانه این منطقه ۲۱۷ میلی‌متر است (۶).

روش تحقیق

مراحل مکان‌یابی دفن پسماند شامل؛ مرحله اول شناسایی و تحلیل وضع موجود منطقه مطالعاتی در زمینه‌های محیط زیستی و اقتصادی- اجتماعی، مرحله دوم شناسایی معیارهای نامناسب در فرایند مکان‌یابی دفن پسماند و حذف کردن این پارامترها از لایه‌های اطلاعاتی و آنالیز آنها در نرم‌افزار ArcGIS و مرحله سوم ارزشیابی جزئیات مکان‌های منتخب و اولویت‌بندی گزینه‌ها بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP و انتخاب نهایی است. مراحل مورداستفاده در روش تحلیل سلسله مراتبی در فرایند مکان‌یابی در شکل ۲ آورده شده است.

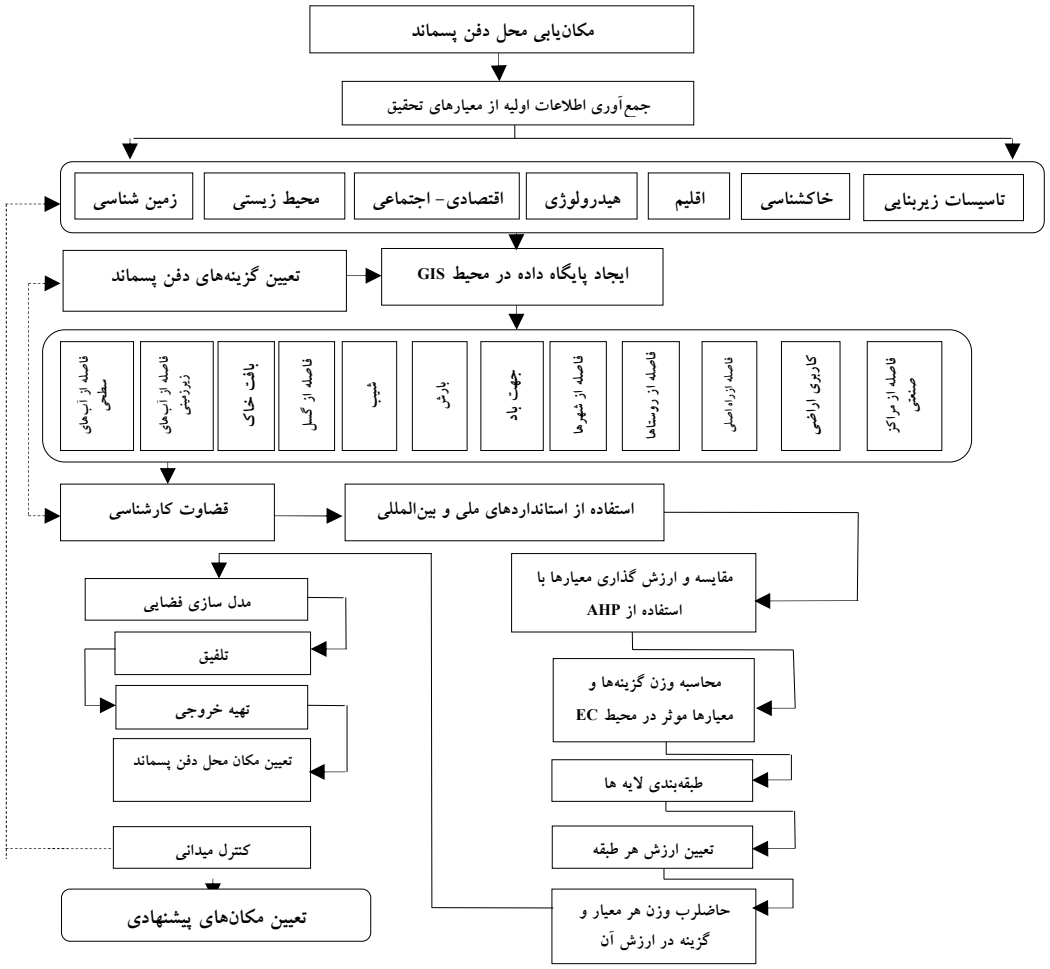
داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل ۷ معیار و ۱۳ گزینه (شکل ۲)؛ محیط زیستی (کاربری اراضی)، اقتصادی- اجتماعی (فاصله از شهرها و فاصله از روستاها)، هیدرولوژی (فاصله از منابع آب‌های سطحی و فاصله از منابع آب‌های زیرزمینی)، بافت خاک، زمین‌شناسی (فاصله از گسل و شیب)، اقلیم (بارش و جهت باد غالب) و تأسیسات زیربنایی (فاصله از راه اصلی و فاصله از مراکز صنعتی) است (۱، ۲، ۴ و ۵).

برای تهیه نقشه کاربری اراضی در ابتدا روی تصویر لندست ۸ (سنجنده OLI) ۲۰۱۷ تصحیحات هندسی صورت گرفت. برای تصحیح تصویر از نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ به‌عنوان نقشه مبنا استفاده شد. بدین ترتیب تصویر ۲۰۱۷ با انتخاب ۳۰ نقطه مشترک با پراکنش مناسب به‌روش نزدیک‌ترین همسایه با خطای RMSe برابر ۰/۴ مطابقت داده شد. با توجه به اینکه خطای تصویر کمتر از ۰/۵ پیکسل به‌دست آمد، نتیجه به‌دست آمده قابل قبول است. سپس با استفاده از روش تبدیل عدد پیکسلی به مقدار بازتابش، روی آن تصحیحات اتمسفری انجام شد و نقشه کاربری اراضی با اعمال طبقه‌بندی نظارت‌شده تهیه شد. نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده با استفاده از بارزسازی تصویر و تفسیر بصری بهبود یافت و نقشه کاربری



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

اراضی منطقه (اراضی مسکونی، اراضی کشاورزی، حوضچه‌های پرورش ماهی، درختچه زار، اراضی لم‌یزرع، جنگل‌های مانگرو، مراتع نیمه‌متراکم، مراتع کم‌تراکم و نمک‌زار) تهیه شد. نقشه رودخانه‌ها و آبراهه‌های درجه سه به بالا (با توجه به این نکته که هرچه فاصله از منابع آب‌های سطحی بیشتر باشد برای دفن پسماندها مناسب‌تر است) و نقشه راه‌های اصلی (با توجه به این نکته که با افزایش فاصله از جاده هزینه حمل‌ونقل زیاد شده و کم بودن فاصله از جاده موجب لطمه خوردن به زیبایی بصری محیط می‌شود) از نقشه شیت‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ و با به‌کارگیری توابع تحلیل مکانی در ArcGIS، تهیه شد. موقعیت چاه‌های منطقه با استفاده از بازدید میدانی به‌وسیله GPS مشخص شد (توجه به این نکته که هرچه فاصله از منابع آب‌های زیرزمینی بیشتر باشد برای دفن پسماندها مناسب‌تر است) (۱۶). شیب سطح زمین برای هر پیکسل از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) از منطقه تهیه شد. با توجه به این نکته که هرچه شیب توپوگرافی منطقه بیشتر باشد برای دفن پسماند نامناسب‌تر است، بنابراین به شیب صفر مقدار یک (طبقه مناسب) و به شیب ۴۰ درصد و بیشتر از آن مقدار صفر اختصاص داده شد. نقشه بافت خاک منطقه از نقشه‌های سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شد. نقشه مناطق شهری و روستایی از نقشه کاربری اراضی تهیه شد. مناطق جمعیتی از دو جهت اهمیت دارند؛ اول اینکه لندفیل‌ها نباید در نزدیکی مناطق جمعیتی واقع شوند و باید حریم لازم برای آنها درنظر گرفته شود. دوم اینکه چون این مناطق به‌عنوان منبع تولیدکننده پسماندها هستند، از نظر اقتصادی و هزینه حمل‌ونقل اهمیت پیدا می‌کنند. از آنجا که با افزایش فاصله از مناطق جمعیتی هزینه حمل‌ونقل زیاد شده و کم بودن فاصله از مناطق جمعیتی مشکلات خاص خود را دارد، نقشه فاصله از مناطق شهری و روستایی حاصل در پنج طبقه تهیه شد. برای تعیین جهت باد غالب ابتدا فرمت داده‌های خام هواشناسی دوره ده ساله (۱۳۸۶-۱۳۹۶) ایستگاه سینوپتیک بوشهر (۶) توسط برنامه‌ای که در محیط Exel نوشته شد، به فرمت قابل استفاده



شکل ۲. مراحل تهیه و تلفیق لایه معیارها و گزینه‌ها در مکان‌یابی محل دفن پسماند با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

نرم‌افزار WRPLOT، تبدیل شد. سپس در محیط این نرم‌افزار فراوانی داده‌های باد برای میانگین ده‌ساله آماری، ترسیم شد. نقشه بارش پس از ایجاد تم نقطه‌ای آمار بارندگی ده‌ساله دو ایستگاه، در محیط ArcGIS، با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) (۱۸، ۲۱، ۲۳ و ۲۸) و با توجه به طبقات ارجحیت (جدول ۱) تهیه شد. محل مناسب برای دفن، مناطقی است که حداقل بارندگی داشته باشد و در مسیر باد غالب منطقه نباشد. نقشه گسل‌ها از نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱۰۰۰۰۰ : ۱، از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی (با توجه به این نکته که هرچه فاصله از گسل‌ها بیشتر باشد برای دفن پسماندها مناسب‌تر است) طبقه‌بندی شد. نقشه مراکز صنعتی و تأسیسات منطقه از نقشه کاربری اراضی منطقه استخراج شد. با توجه به اینکه هرچه فاصله از مراکز صنعتی و تأسیسات بیشتر باشد برای دفن پسماندها مناسب‌تر است. پس از تهیه نقشه میزان مطلوبیت معیارها و گزینه‌ها (۵ بیشترین مطلوبیت و ۱ محدودیت) در پنج طبقه (کاملاً مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، نامناسب و محدودیت) تهیه و برای استانداردسازی لایه‌ها کلاس‌بندی شد و به هرکدام از طبقات ارزش یک تا پنج تعلق گرفت (جدول ۱).

وزن پارامترها با مقایسه زوجی بین آنها و استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین شد (۲۷). مقایسه زوجی بین پارامترها با توجه به قضاوت ۲۰ کارشناس به روش دلفی صورت گرفت و بر اساس آن میزان اهمیت و وزن هرکدام از گزینه‌ها و

جدول ۱. معیارها و گزینه‌ها در روش سلسله مراتبی و میزان مطلوبیت آنها (۱، ۲، ۳، ۴ و ۸)

معیارها	میزان مطلوبیت طبقات				
گزینه‌ها	بسیار مناسب [a]	مناسب [a]	نسبتاً مناسب [b]	نامناسب [c]	محدودیت [d]
محیط زیستی					
کاربری اراضی	مراتع کم تراکم، اراضی لم‌یزرع مراتع نیمه متراکم		اراضی کشاورزی	جنگل‌های مانگرو، درختچه‌زار، نمکزار	اراضی مسکونی، حوضچه‌های پرورش ماهی و میگو
هیدرولوژی					
فاصله از منابع آب‌های سطحی (m)	>۳۰۰۰	۲۰۰۰–۳۰۰۰	۱۰۰۰–۲۰۰۰	۳۰۰–۱۰۰۰	<۳۰۰
فاصله از منابع آب‌های زیرزمینی (m)	>۱۰۰۰	۷۰۰–۱۰۰۰	۵۰۰–۷۰۰	۳۰۰–۵۰۰	<۳۰۰
خاکشناسی					
بافت خاک	عمیق خیلی سنگین	عمیق سنگین تا خیلی سنگین	عمیق سنگین تا متوسط	عمیق سنگریزه‌ای و سبک، عمیق شنی و سبک	کم تا نیمه‌عمیق، سنگریزه‌ای
اقلیم					
بارش (mm)	<۱۴۴	۱۴۴–۱۴۸	۱۴۸–۱۵۲	۱۵۲–۱۵۶	>۱۵۶
جهت باد غالب	–	–	–	–	در جهت باد غالب
زمین‌شناسی					
فاصله از گسل‌ها (m)	>۷۰۰	۵۰۰–۷۰۰	۳۰۰–۵۰۰	۱۰۰–۳۰۰	<۱۰۰
شیب (٪)	<۵	۵–۱۰	۱۰–۲۰	۲۰–۴۰	>۴۰
اقتصادی و اجتماعی					
فاصله از شهرها (m)	۵۰۰۰–۷۰۰۰	۳۰۰۰–۵۰۰۰	>۷۰۰۰	۱۰۰۰–۳۰۰۰	<۱۰۰۰
فاصله از روستاها (m)	>۳۰۰۰	۲۰۰۰–۳۰۰۰	۱۰۰۰–۲۰۰۰	۵۰۰–۱۰۰۰	<۵۰۰
تأسیسات زیربنایی					
فاصله از راه‌های اصلی (m)	۱۰۰۰–۱۵۰۰	>۱۵۰۰	۷۵۰–۱۰۰۰	۵۰۰–۷۵۰۰	<۵۰۰
فاصله از مراکز صنعتی و تأسیسات (m)	>۷۰۰	۵۰۰–۷۰۰	۳۰۰–۵۰۰	۱۰۰–۳۰۰	<۱۰۰

[a] بسیار مناسب و مناسب با کمترین زمان و سرمایه‌گذاری امکان توسعه محل دفن پسماندهای جامد شهری در این مناطق وجود دارد.

[b] مناطقی که تا حدودی مناسب است و قبل از شروع دفن پسماندهای جامد شهری نیاز به عملیات آماده‌سازی دارد.

[c] مناطق نامناسب، این مناطق برای دفن پسماندهای جامد شهری صرفه اقتصادی ندارد و هزینه و زمان آماده‌سازی این مناطق بالاست.

[d] مناطق شهری، ساختمان‌ها و اراضی جنگلی، از مناطقی هستند که قابلیت دفن پسماندهای جامد شهری را ندارند. این مناطق در ارزیابی حذف می‌شوند.

معیارها در محیط نرم‌افزار Expert Choices (EC2000) تعیین شد (۲۲). میزان اهمیت نسبی هر زوج نسبت با توجه به امتیازبندی جدول (۲) تعیین شد.

نسبت توافق (CR) با توجه به شاخص ناسازگاری (CI) و شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (Inconsistency Index of Random Matrix; IIR) از رابطه‌های (۱ و ۲) محاسبه شد:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - ۱} \qquad (۱)$$

$$CR = \frac{CI}{IIR} \qquad (۲)$$

در این رابطه‌ها؛ CI شاخص ناسازگاری، λ بیشترین مقدار وزنی ماتریس مقایسه‌ای زوجی. شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (IIR)، مقدار شاخص توافق برای ماتریس‌هایی با ابعاد مختلف و با مقادیر کاملاً تصادفی است، که مقادیر آن را در جدول (۳) ارائه شده است. چنانچه این نسبت CR<۰/۱ باشد، مقایسه‌های قابل قبول و وزن‌های محاسبه‌شده استخراج می‌شوند. درصورتی که نسبت توافق از CR≥ ۰/۱ باشد، آنگاه با اعمال تغییراتی در ماتریس مقایسه دوتایی برای حد قابل قبول تنظیم می‌شود (۷، ۲۲ و ۲۷).

سپس نقشه طبقه‌بندی شده هر گزینه در وزن آن گزینه ضرب و با جمع نقشه‌های وزن‌دهی شده هر گزینه نقشه معیار آن گزینه‌ها تهیه شد. در مرحله بعد، از حاصل ضرب وزن هر معیار در نقشه آن معیار (نقشه حاصل از ضرب وزن هر گزینه در نقشه آن گزینه و مجموع این نقشه‌ها) و جمع نقشه معیارهای وزن‌دهی شده، درنهایت درجه تناسب شایستگی اراضی با روش ترکیب خطی وزن‌دار (Weighted Linear Combination) محاسبه شد:

$$\text{تناسب شایستگی} = (w_۱r_۱+w_۲r_۲+\ldots+w_nr_n)/n \times ۱۰۰ \qquad (۳)$$

در این رابطه؛ w_n وزن و r_n رتبه هر معیار است. طبقات امتیاز نقشه نهایی تناسب شایستگی در جدول (۴) ارائه شده است. در این جدول هر چه امتیاز شایستگی بیشتر باشد نشان‌دهنده پتانسیل بالای منطقه برای دفن پسماند است.

حداقل مساحت زمین مورد نیاز برای دفن با درنظر گرفتن چهار عامل؛ متوسط نرخ رشد جمعیت، تولید سالانه پسماند، جرم مخصوص مواد فشرده، ارتفاع محل دفن تعیین شد (۹). با توجه به اینکه موازی با رشد جمعیت میزان پسماند تولیدی نیز افزایش می‌یابد، می‌توان نرخ رشد جمعیت را همان نرخ تولید مواد زاید جامد درنظر گرفت. جمعیت شهر بوشهر در سال ۱۳۹۰ معادل ۱۶۹۹۶۶ نفر بوده است که بر اساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، شهر بوشهر دارای ۱۹۵۲۲۲ نفر جمعیت بوده است که بر اساس رابطه (۴) نرخ رشد در طول این دوره پنج ساله ۰/۹۹۴ تعیین شد:

$$P_{۹۵} = P_{۹۰}\ (۱+r)^{۵} \qquad (۴)$$

در این رابطه؛ $P_{۹۰}$ جمعیت در سال ۱۳۹۰، $P_{۹۵}$ در سال ۱۳۹۵ و r میزان رشد جمعیت برای پنج سال بوشهر است. با توجه به تولید روزانه مواد زاید جامد در شهر بوشهر (طبق اطلاعات اداره شهرداری این شهر، روزانه قریب به ۱۷۰ تن پسماند تولید می‌شود) میزان تولید سالانه مواد زاید جامد از رابطه (۵) تعیین شد:

$$\text{تولید مواد زاید جامد سالیانه } (Q\ (Ton / Year)) = \text{تولید پسماند } (Ton / day) \times ۳۶۵ \qquad (۵)$$

وزن مواد زاید جامد در دوره ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله (t)، $Weight_t$ از رابطه (۶) با داشتن وزن مواد زاید جامد سالانه (Q)، نرخ رشد (r) محاسبه شد (۹).

$$Weight_t = Q_{\frac{ton}{year}} \times \frac{(۱+r)\times(t-۱)}{r} \qquad (۶)$$

حجم مواد زاید جامد (V_t) برحسب مترمکعب دوره ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله (t) از رابطه (۷) تعیین شد (۹):

$$V_t = \frac{Weight_t}{۰/۵} \qquad (۷)$$

پس از محاسبه ظرفیت محل دفن با رابطه (۷) با توجه به اینکه می‌بایست درصد ظرفیت کل محل دفن به خاک پوششی اختصاص یابد، و توجه به این واقعیت که ۲۵-۲۰ درصد از

جدول ۲. مقیاس ۹ امتیازی برای تعیین یا اولویت مقایسات زوجی (۷ و ۲۷)

امتیاز عددی	قضاوت شفاهی
۹	اهمیت مطلق
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت قوی
۳	اهمیت ضعیف
۱	اهمیت یکسان
۲، ۴، ۶ و ۸	ترجیحات بین فاصله‌های بالا

جدول ۳. شاخص ناسازگاری برای ماتریس‌های تصادفی (۷)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IIR	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

جدول ۴. امتیاز نهایی تناسب شایستگی محل‌های دفن پسماند (۴)

تناسب شایستگی	درصد امتیاز
بسیار مناسب	۸۰-۱۰۰
مناسب	۶۰-۸۰
نسبتاً مناسب	۴۰-۶۰
نامناسب	۰-۴۰

ظرفیت محل دفن به خاک‌پوششی اختصاص خواهد داشت، حجم موردنیاز محل دفن (V) از رابطه (۸) تعیین شد (۹):

$$V(m^3) = V_t \times 1/2 \qquad (۸)$$

در این رابطه؛ V حجم مورد نیاز محل دفن مواد زاید جامد را نشان می‌دهد. اگر ارتفاع محل دفن (H) به‌طور متوسط ۱۰ متر درنظر گرفته شود (۲۳)، حداقل مساحت موردنیاز ($A\ m^2$) برای هر دوره از رابطه (۹) محاسبه شد (۹).

$$A(m^2) = \frac{V}{H} \qquad (۹)$$

نتایج

نتایج طبقات کاربری اراضی نشان داد که تیپ غالب به‌ترتیب مراتع کم‌تراکم، اراضی لم‌یزرع (۳۸۲۰۰ هکتار، ۳۷/۷۵ درصد)، مراتع نیمه‌متراکم (۱۵۲۰۰ هکتار، ۱۵/۰۲ درصد)، اراضی کشاورزی (۱۳۳۰۰ هکتار، ۱۳/۱۴ درصد)، جنگل‌های مانگرو، درختچه‌زار، نمک‌زار (۲۰۰۰۰ هکتار، ۱۹/۷۶ درصد) و اراضی مسکونی، حوضچه‌های پرورش ماهی که ۱۴۵۰۰ هکتار (۱۴/۳۳ درصد) دارای محدودیت برای دفن پسماند هستند. مناطقی با شایستگی بسیار مناسب به لحاظ معیار زیست‌محیطی در اراضی با کاربری مراتع کم‌تراکم، اراضی لم‌یزرع واقع‌شده است که ۳۸۲۰۰ هکتار (۳۷/۷۵ درصد) از سطح منطقه را شامل می‌شود (جدول ۵). ۱۱۷۸۳ هکتار (۱۱/۶۵ درصد) از خاک کم تا نیمه‌عمیق سنگریزه‌ای، در طبقه شایستگی نامناسب (محدودکننده) قرار گرفت. اراضی که در فاصله بسیار کم از منابع آب سطحی و زیرزمینی قرارگرفته‌اند (۳۰۰ > متر) به‌ترتیب ۱۴۷۰۰ و ۲۱۰۰ هکتار از سطح منطقه را شامل می‌شوند که مناسب دفن پسماند نیستند. دو گزینه معیار زمین‌شناسی فاصله از گسل و شیب به‌ترتیب ۰/۶ و ۰/۶۴ درصد

جدول ۵. مساحت و درصد مساحت طبقات شایستگی کاربری اراضی معیارها و گزینه‌های دفن پسماند شهری

معیارها / گزینه‌ها	بسیار مناسب		مناسب		نسبتاً مناسب		نامناسب		محدودیت	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
محیط‌زیستی										
کاربری اراضی	۳۸۲۰۰	۳۷/۷۵	۱۵۲۰۰	۱۵/۰۲	۱۳۳۰۰	۱۳/۱۴	۲۰۰۰۰	۱۹/۷۶	۱۴۵۰۰	۱۴/۳۳
هیدرولوژی										
فاصله از منابع آب‌های سطحی	۲۸۶۰۰	۲۸/۲۹	۱۱۹۰۰	۱۱/۷۷	۱۹۵۰۰	۱۹/۲۹	۲۶۴۰۰	۲۶/۱۱	۱۴۷۰۰	۱۴/۵۴
فاصله از منابع آب‌های زیرزمینی	۹۱۴۰۰	۹۰/۴۱	۳۶۵۰	۳/۶۱	۲۱۵۰	۲/۱۳	۱۸۰۰	۱/۷۸	۲۱۰۰	۲/۰۸
خاکشناسی										
نوع خاک	۳۵۷۹۶	۳۵/۳۹	۲۱۱۳۸	۲۰/۹	۲۵۲۷۴	۲۴/۹۹	۷۱۵۱	۷/۰۷	۱۱۷۸۳	۱۱/۶۵
اقلیم										
بارش	۱۰۸۶۰	۱۰/۷۵	۹۵۵۰	۹/۴۵	۳۴۹۷۰	۳۴/۶	۳۹۶۹۰	۳۹/۲۷	۶۰۰۰	۵/۹۴
جهت باد غالب	۱۰۱۱۷۰	۱۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–
زمین‌شناسی										
فاصله از گسل‌ها	۹۷۱۴۰	۹۶/۰۵	۱۱۰۰	۱/۰۹	۱۱۴۰	۱/۱۳	۱۱۶۰	۱/۱۵	۶۰۰	۰/۶
شیب	۶۹۲۵۰	۶۸/۵۲	۲۳۴۹۰	۲۳/۲۴	۵۸۰۰	۵/۷۴	۱۸۷۰	۱/۸۵	۶۵۰	۰/۶۴
اقتصادی و اجتماعی										
فاصله از شهرها	۱۶۰۶۰	۱۵/۸۸	۱۵۸۱۰	۱۵/۶۳	۳۹۷۶۰	۳۹/۳۱	۱۴۹۴۰	۱۴/۷۷	۱۴۵۸۰	۱۴/۴۱
فاصله از روستاها	۶۲۶۴۰	۶۱/۹۳	۱۲۱۹۰	۱۲/۰۵	۱۴۰۸۰	۱۳/۹۲	۶۰۷۰	۶	۶۱۶۰	۶/۱
تأسیسات زیربنایی										
فاصله از راه‌های اصلی	۴۸۹۹۰	۴۸/۴۴	۱۴۰۰۰	۱۳/۸۴	۸۱۷۰	۸/۰۸	۸۹۷۰	۸/۸۷	۲۱۰۰۰	۲۰/۷۷
فاصله از مراکز صنعتی و تأسیسات	۹۷۱۴۰	۹۶/۰۵	۱۱۰۰	۱/۰۹	۱۱۴۰	۱/۱۳	۱۱۶۰	۱/۱۵	۶۰۰	۰/۶

محدودکننده مناسب دفن پسماند نیستند. بارش در بیش از ۵/۹۴ درصد اراضی منطقه بیشتر از ۱۵۶میلی‌متر است بنابراین این مناطق برای دفن پسماند نامناسب هستند. در معیار اقتصادی و اجتماعی به‌ترتیب ۱۴/۴۱ و ۶/۱ درصد مناطق شهری و روستایی از سطح منطقه در طبقه نامناسب به‌لحاظ دفن پسماند قرار گرفت. از نظر معیار تأسیسات زیربنایی به‌علت کم بودن تعداد مراکز صنعتی و راه‌های اصلی به‌ترتیب ۰/۶ و ۲۰/۷۷ درصد محدودیت شایستگی اراضی برای دفن پسماند در منطقه وجود داشت (جدول ۵). نقشه طبقات شایستگی معیارهای کاربری اراضی، آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، راه‌های

اصلی، شیب، نوع خاک منطقه، فاصله از مناطق شهری، فاصله از مناطق روستای، بارش، فاصله از گسل‌ها، فاصله از مراکز صنعتی و تأسیسات و زمین‌شناسی منطقه در شکل ۳ ارائه شده است.

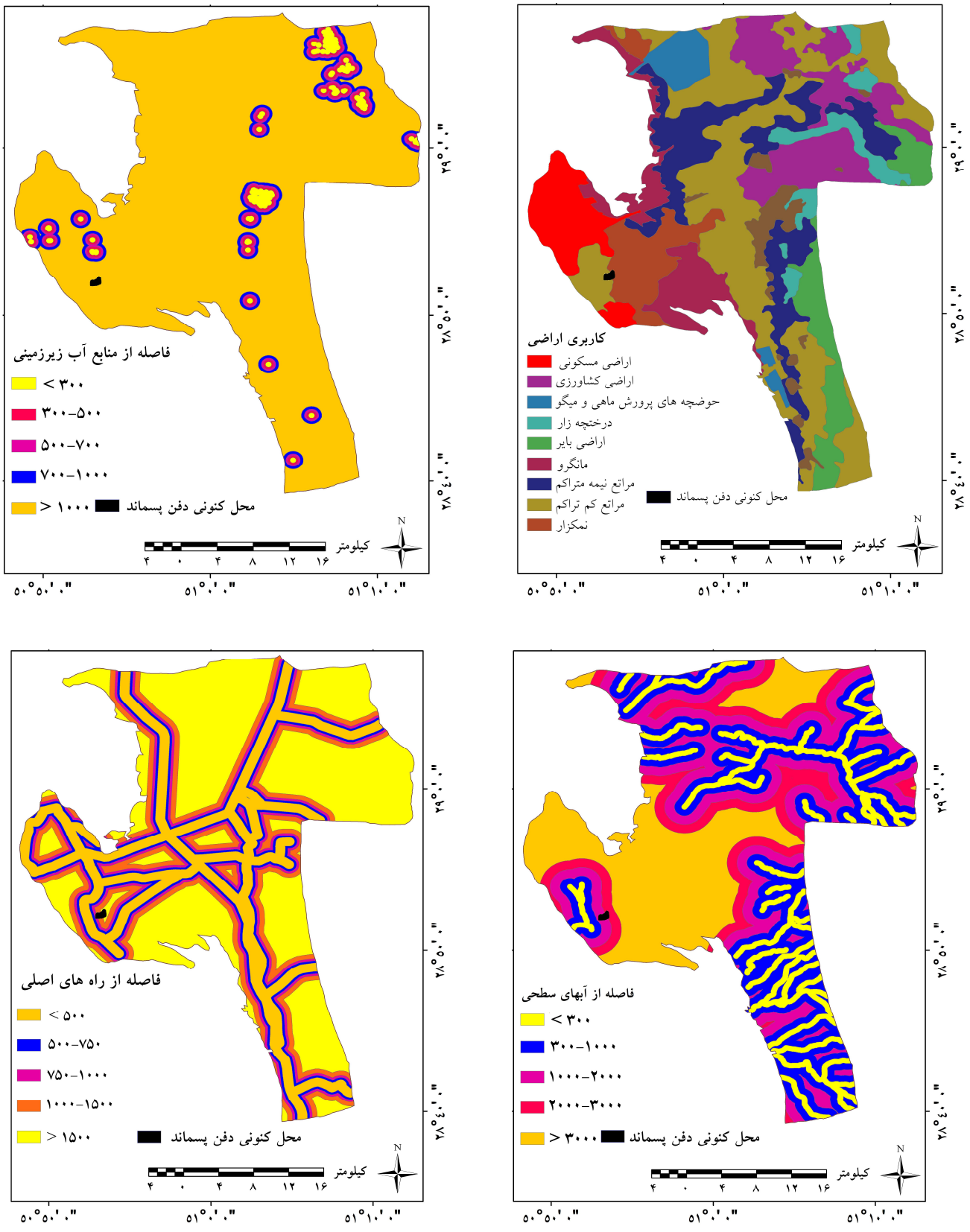
مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها با استفاده از نظر کارشناسان برای تعیین اهمیت نسبی معیارها و گزینه‌ها در ساختار سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج ماتریس مقایسه زوجی و وزن گزینه‌ها و معیارهای مکان‌یابی دفن پسماند جامد شهری نشان داد که معیار محیط زیستی بیشترین اهمیت (وزن ۰/۳۰۴) و معیار زمین‌شناسی به‌دلیل شیب کم منطقه و فاصله زیاد گسل در محدوده مطالعاتی کمترین اهمیت را در مکان‌یابی محل دفن داشت (جدول ۶).

طبقه‌بندی مناطق مناسب پس از تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده معیارهای زیست‌محیطی، هیدرولوژی، خاکشناسی، اقلیم، زمین‌شناسی، اقتصادی اجتماعی و تأسیسات زیربنایی، نقشه مکان‌های مناسب دفن پسماند شهری به‌دست آمد (شکل ۴). با تلفیق نقشه گزینه‌ها و معیارها مناطق دفن پسماند در چهار کلاس مناسب، نسبتاً مناسب، نامناسب و کاملاً نامناسب طبقه‌بندی شد. در مناطق بسیار مناسب و مناسب با کمترین زمان و سرمایه‌گذاری امکان توسعه محل دفن پسماندهای جامد شهری در این مناطق وجود دارد. مناطقی که تا حدودی مناسب است، قبل از شروع دفن پسماندهای جامد شهری نیاز به عملیات آماده‌سازی دارد. مناطق نامناسب، برای دفن پسماندهای جامد شهری صرفه اقتصادی ندارد و هزینه و زمان آماده‌سازی این مناطق بالاست. مناطق شهری، ساختمان‌ها و اراضی جنگلی، از مناطقی هستند که قابلیت دفن پسماندهای جامد شهری را ندارند. این مناطق در ارزیابی حذف می‌شوند (۳۱). از وسعت ۱۰۱۲۰۰ هکتار محدوده مورد مطالعه، ۳۷۳۸/۲ هکتار (۳/۷ درصد) از اراضی منطقه در طبقه مناسب برای دفن پسماند شهری، (در محدوده شرقی شهر بوشهر) قرار گرفت. نتایج فراوانی و جهت باد غالب برای میانگین ده‌ساله (۱۳۸۶-۱۳۹۶) نشان می‌دهد که جهت باد غالب شمال غربی و حداکثر سرعت باد ۲۵ متر بر ثانیه (۹۰ کیلومتر بر ساعت) است. در سه محل مکان‌یابی با توجه به اینکه در جهت باد غالب منطقه نیست (شکل ۴)، باد باعث انتقال بو و پراکنش پسماندهای جامد سبک به شهر بوشهر نمی‌شود، بنابراین باد عامل محدودکننده برای این محل‌های مکان‌یابی نیست (۲).

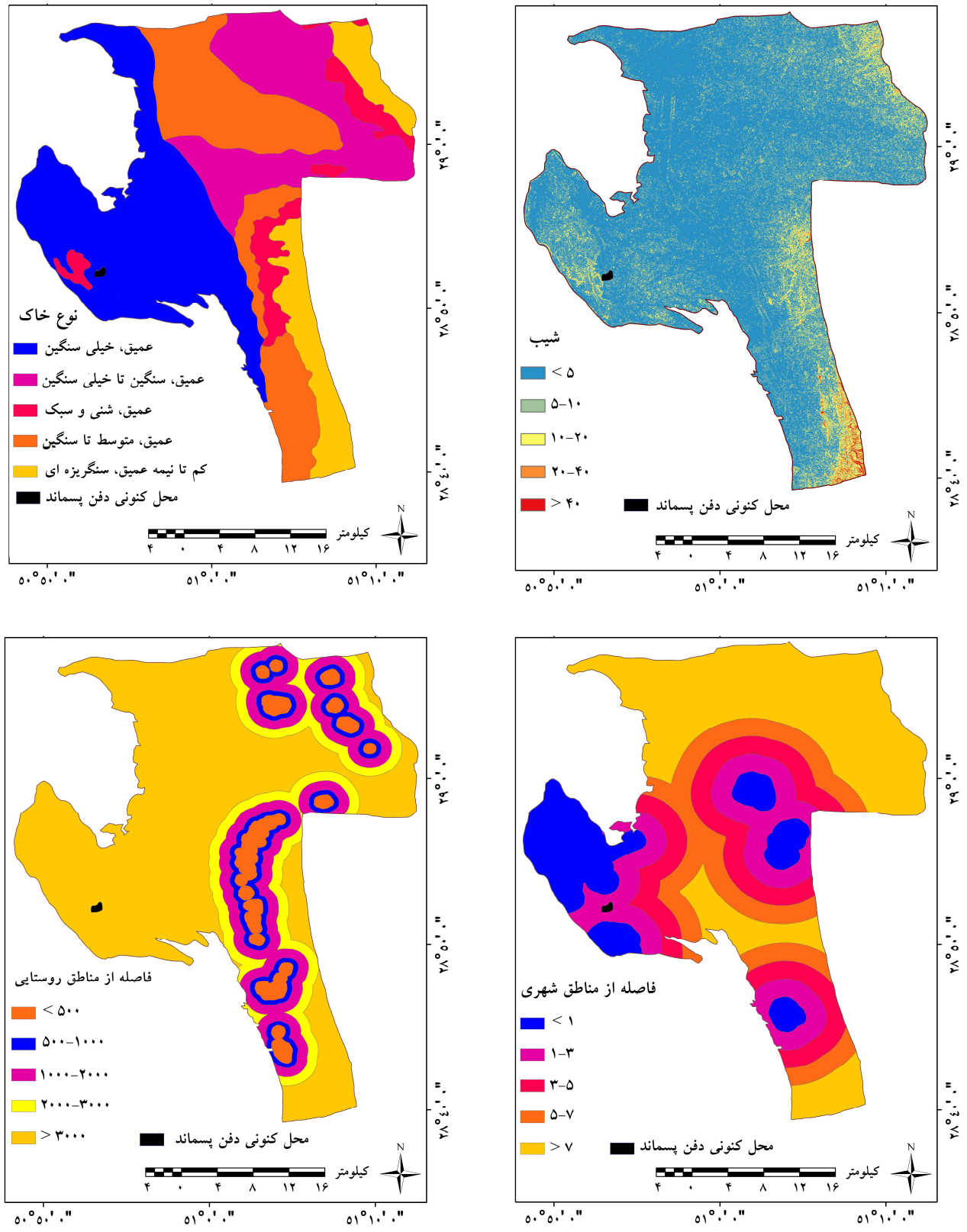
با توجه به اندازه مورد نیاز محل‌های دفن پسماند، مکان‌های دفن پسماند اولویت‌بندی شد (شکل ۴). مساحت طبقات، پیش‌بینی و اولویت مکان‌های مناسب دفن برای در دوره ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله نشان می‌دهد که هر سه محل دفن پیشنهادی بیش از ۱۸۹ هکتار است، بنابراین برای دوره زمانی ۱۰۰ ساله مناسب هستند (جدول ۷). با توجه به اینکه دو محل دفن با اولویت دو و سه در مسیر توسعه آینده شهر بوشهر قرار دارند بنابراین محل مکان‌یابی اول با درنظر گرفتن کلیه معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی مناسب‌ترین مکان برای دفن پسماندهای شهر بوشهر است.

بحث و نتیجه‌گیری

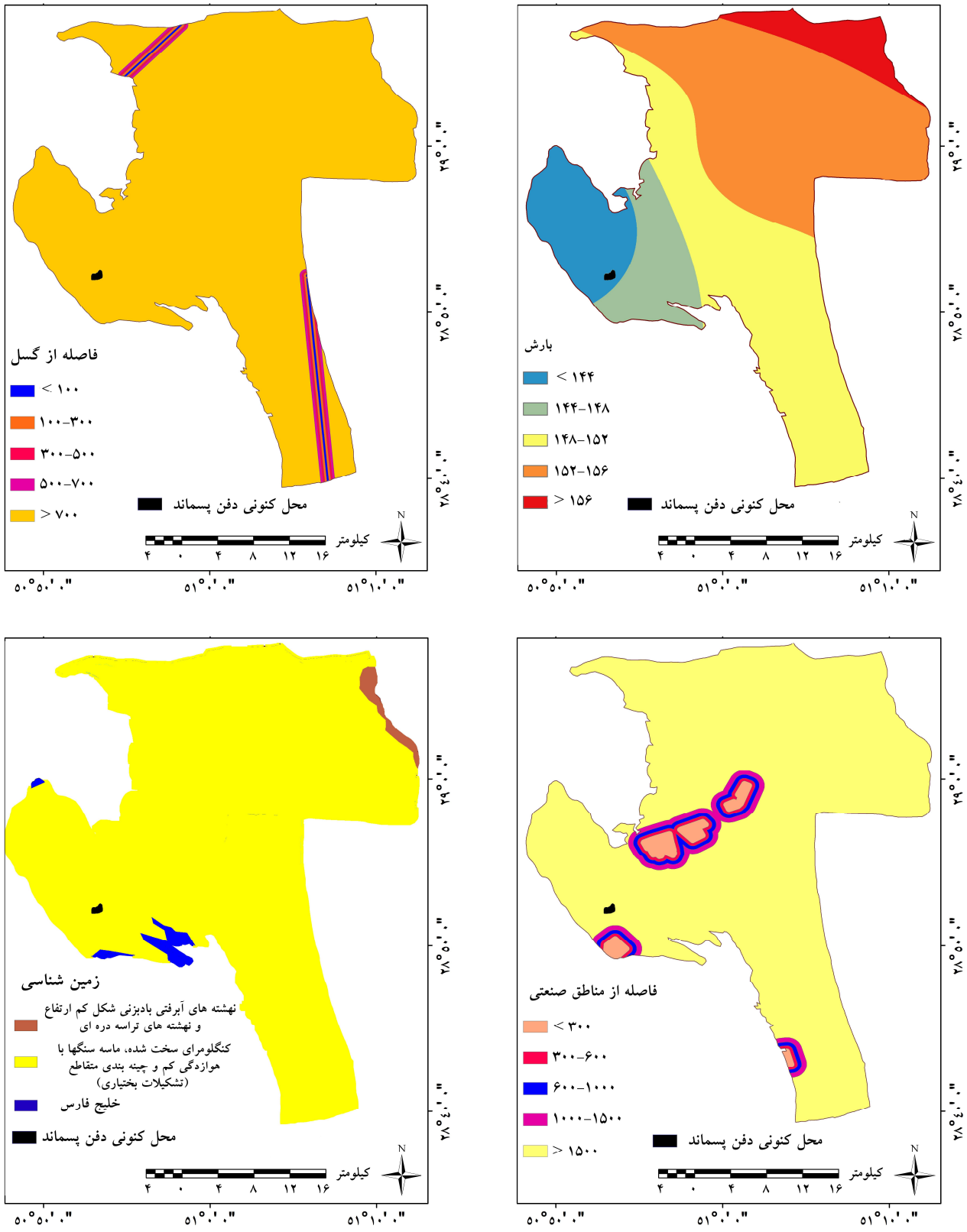
در این مطالعه انتخاب مکان‌های دفن پسماند از فناوری اطلاعات مکانی و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. مدل ارائه‌شده در این تحقیق، روش فرایند سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از وزن‌های محاسبه‌شده در Expert choice این قدرت را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد که مکان‌یابی محل‌های مناسب را با توجه به اهمیت معیارها انجام دهد و یک ساختار قابل درک بین تصمیم‌گیری چند معیاره با مجموعه‌ای از داده‌های کمی و کیفی، وجود ساختار مرتبه‌ای و مستقل، ضریب ناسازگاری را کاهش می‌دهد و می‌تواند بیشترین انعطاف در قضاوت و واقعی‌ترین و بهترین رابطه بین معیارها و گزینه‌ها را ارائه کند (۱۰، ۱۸، ۲۱، ۲۳ و ۲۸). استخراج نقشه نهایی مکان‌یابی دفن پسماند در این تحقیق با روش ترکیب خطی و استفاده از عملیات وزن‌دهی به‌روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نشان داد که نقشه خروجی مکان‌یابی با بررسی میدانی تطابق دارد. یمانی و علی‌زاده (۸)



شکل ۳. نقشه طبقات شایستگی کاربری اراضی، آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، راه‌های اصلی (رنگی در نسخه الکترونیکی)


شیب
< ۵
۵–۱۰
۱۰–۲۰
۲۰–۴۰
> ۴۰
محل کنونی دفن پسماند
نوع خاک
عمیق، خیلی سنگین
عمیق، سنگین تا خیلی سنگین
عمیق، شنی و سبک
عمیق، متوسط تا سنگین
کم تا نیمه عمیق، سنگریزه ای
محل کنونی دفن پسماند
فاصله از مناطق شهری
< ۱
۱–۳
۳–۵
۵–۷
> ۷
محل کنونی دفن پسماند
فاصله از مناطق روستایی
< ۵۰۰
۵۰۰–۱۰۰۰
۱۰۰۰–۲۰۰۰
۲۰۰۰–۳۰۰۰
> ۳۰۰۰
محل کنونی دفن پسماند
کیلومتر
۴ ۰ ۴ ۸ ۱۲ ۱۶
N
۵۰°۵۰'۰"
۵۱°۰'۰"
۵۱°۱۰'۰"
۲۹°۰'۰"
۲۸°۵۰'۰"
۲۸°۴۰'۰"

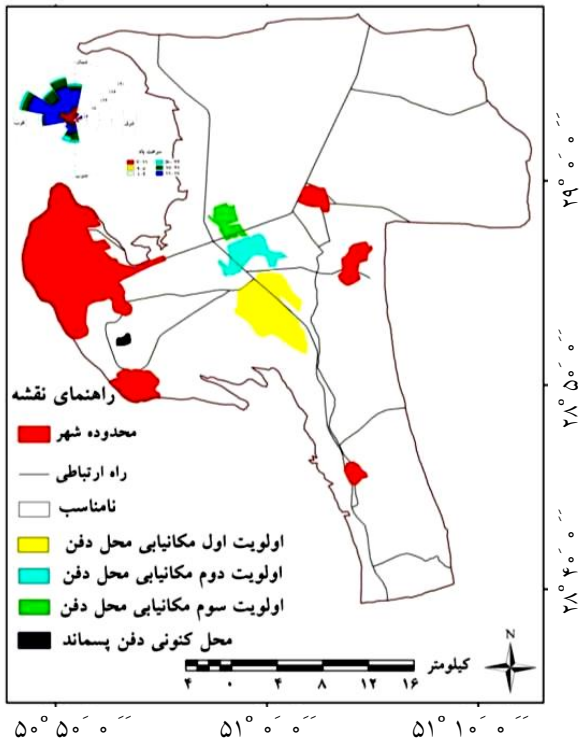
ادامه شکل ۳.


بارش
< ۱۴۴
۱۴۴-۱۴۸
۱۴۸-۱۵۲
۱۵۲-۱۵۶
> ۱۵۶
محل کنونی دفن پسماند
کیلومتر
۴ ۰ ۴ ۸ ۱۲ ۱۶
N
۵۰°۵۰'۰"
۵۱°۰'۰"
۵۱°۱۰'۰"
۲۹°۰'۰"
۲۸°۵۰'۰"
۲۸°۴۰'۰"
فاصله از گسل
< ۱۰۰
۱۰۰-۳۰۰
۳۰۰-۵۰۰
۵۰۰-۷۰۰
> ۷۰۰
محل کنونی دفن پسماند
کیلومتر
۴ ۰ ۴ ۸ ۱۲ ۱۶
N
۵۰°۵۰'۰"
۵۱°۰'۰"
۵۱°۱۰'۰"
۲۹°۰'۰"
۲۸°۵۰'۰"
۲۸°۴۰'۰"
فاصله از مناطق صنعتی
< ۳۰۰
۳۰۰-۶۰۰
۶۰۰-۱۰۰۰
۱۰۰۰-۱۵۰۰
> ۱۵۰۰
محل کنونی دفن پسماند
کیلومتر
۴ ۰ ۴ ۸ ۱۲ ۱۶
N
۵۰°۵۰'۰"
۵۱°۰'۰"
۵۱°۱۰'۰"
۲۹°۰'۰"
۲۸°۵۰'۰"
۲۸°۴۰'۰"
زمین شناسی
نهشته های آبرفتی بادبزنی شکل کم ارتفاع و نهشته های تراسه دره ای
کنگلومرای سخت شده، ماسه سنگها با هوازدگی کم و چینه بندی متقاطع (تشکیلات بختیاری)
خلیج فارس
محل کنونی دفن پسماند
کیلومتر
۴ ۰ ۴ ۸ ۱۲ ۱۶
N
۵۰°۵۰'۰"
۵۱°۰'۰"
۵۱°۱۰'۰"
۲۹°۰'۰"
۲۸°۵۰'۰"
۲۸°۴۰'۰"

ادامه شکل ۳.

جدول ۶. ماتریس مقایسه زوجی و وزن گزینه‌ها و معیارهای مکان‌یابی دفن پسماند

هدف	معیارها	وزن معیارها	گزینه‌ها	وزن گزینه‌ها
مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری با استفاده از روش AHP	اقتصادی- اجتماعی	۰/۲۳۵	فاصله از مناطق شهری	۰/۷۵۰
			فاصله از مناطق روستایی	۰/۲۵۰
	محیط زیستی	۰/۳۰۴	کاربری اراضی	۱
	خاکشناسی	۰/۱۲۸	نوع خاک	۱
	زمین‌شناسی	۰/۰۵۳	فاصله از گسل	۰/۶۶۷
			شیب	۰/۳۳۳
	تأسیسات زیربنایی	۰/۰۶۵	فاصله از راه‌های اصلی	۰/۶۶۷
			فاصله از مراکز صنعتی و تأسیسات	۰/۳۳۳
	اقلیم	۰/۰۶۳	جهت باد غالب	۰/۶۶۷
			بارش	۰/۳۳۳
	هیدرولوژی	۰/۱۵۲	فاصله از منابع آب‌های سطحی	۰/۸۰۰
			فاصله از منابع آب‌های زیرزمینی	۰/۲۰۰
		CR=۰/۰۲		



شکل ۴. نقشه و اولویت مکان‌های مناسب دفن پسماندهای شهر بوشهر

جدول ۷. رتبه و مساحت (A) طبقات مکان‌های مناسب دفن پسماند شهری

محل دفن پسماند	مساحت (هکتار)	بهترین مناطق دفن پسماند (ha)			
		A< ۲۷	۲۷ < A< ۵۷	۵۷ < A< ۱۸۹	A > ۱۸۹ ha
دوره بازگشت (سال)		۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
۱	۲۳۹۵				مناسب
۲	۹۹۱/۲				مناسب
۳	۳۵۲				مناسب
مجموع	۳۷۳۸/۲	–	–	–	۳

و معین‌الدین و همکاران (۲۳) در مکان‌یابی بهینه دفن پسماندهای جامد به‌روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی بیان داشتند که روش AHP یک روش انعطاف‌پذیر، روان و به‌راحتی قابل اجرا برای مکان‌یابی محل دفن زباله است و تلفیق آن با ابزارهای توانمند GIS از کارایی بالایی برخوردار بوده است.

در این تحقیق یک مدل چند معیاره سلسله مراتبی برای ترکیب معیارهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، هیدرولوژی، ویژگی‌های خاک، زمین‌شناسی، آب‌وهوا و فاصله تا سیستم‌های زیربنایی، برای پیش‌بینی محل‌های مناسب دفن پسماند در آینده پیشنهاد شد. معیارهای مؤثر در انتخاب مکان‌های مناسب دفن پسماند، با درنظر گرفتن رشد جمعیت و توسعه این شهر درنظر گرفته شد (۱، ۱۹، ۲۰، ۲۳، ۲۸ و ۳۲). مقادیر مختلف برای هر معیار توسط کارشناسان با مدل تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی و مقایسه شد (۱۳). وزن معیارها و گزینه‌ها با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی تعیین شد (۳). در نقشه نهایی مکان‌یابی با رویهم‌اندازی نقشه وزن‌دهی شده معیارها با روش AHP حداقل سطح مورد نیاز برای دفن پسماند ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال تعیین شد. سه سایت مناسب بر اساس هفت معیار وزن‌دهی شده و اندازه آنها رتبه‌بندی شد. مکان‌های مشخص‌شده به‌عنوان مناطق مناسب دفن پسماند انتخاب شدند.

در محل‌های مکان‌یابی شده به‌دلیل پایین بودن سطح آب زیرزمینی، محدودیتی برای ایجاد محل دفن از نظر این معیار وجود ندارد و با توجه به اینکه تقریباً بخش اعظم آبراهه‌ها فرعی هستند، فاصله از آنها بیش از ۲۰۰۰ متر درنظر گرفته شد. وجود اراضی لم‌یزرع، مراتع کم‌تراکم و نیمه‌متراکم، بخش عمده این منطقه را برای استقرار محل دفن مناسب می‌سازد. در معیار کاربری اراضی مناطق شهری، و محل حوضچه‌های پرورش ماهی و میگو، از مناطقی هستند که قابلیت دفن پسماندهای جامد شهری را ندارند لذا این مناطق در ارزیابی حذف شدند. کومار و حسن (۲۱) در مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری این مناطق را در تصمیم‌گیری محل دفن پسماند درنظر نگرفتند. در این میان معیارهای راه‌های ارتباطی، شیب، پراکنش چاه‌ها و چشمه‌ها، وضعیت گسل‌ها، صنایع و دشت‌های سیلابی نقش کمی در عدم تناسب کل منطقه برای استقرار محل دفن دارند. بافت خاک در مناطق ساحلی سنگریزه‌ای و در سه محدوده مکان‌یابی شده سنگین تا خیلی سنگین است که به‌دلیل عمیق‌بودن نقش زیادی در عدم تناسب ایفا نمی‌کند. معیار باد در این مطالعه بعد از تلفیق همه نقشه‌های مربوطه دخالت داده شد. به این منظور داده‌های ایستگاه سینوپتیک بوشهر بررسی شد که بر اساس آن باد غالب در جهت شمال غربی بود که به‌طرف شهر نیست. بنابراین شهر را تحت تأثیر اثرات نامطلوب محل دفن قرار نمی‌دهد. به‌طور کلی نتایج حاصل از نظرات کارشناسی نشان می‌دهد که در میان معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل دفن کاربری اراضی، فاصله از مناطق مسکونی و منابع آب سطحی و آب‌های زیرزمینی به‌ترتیب از اهمیت بیشتری نسبت به سایر معیارها برخوردارند. در منطقه مورد بررسی، به‌دلیل عدم وجود مناطق باستانی و تاریخی قابل توجه و همچنین میزان بارندگی کم این زیرمعیارها از بررسی‌های بعدی در منطقه مورد مطالعه حذف شدند.

منابع مورد استفاده

۱. افضلی، ا.، ن. میرغفاری و ع. ر. سفیانیان. ۱۳۹۲. کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری: مطالعه موردی شهرستان نجف‌آباد. *مجله بوم‌شناسی کاربردی* ۲(۶): ۳۷-۲۷.

۲. امیری، ح. ر. و س. کریم‌پور. ۱۳۹۶. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در مکان‌یابی محل دفن مواد زاید جامد شهری (مطالعه موردی شهرستان تربت‌حیدریه). *نشریه محیط‌زیست طبیعی* ۶۹(۴): ۸۹۸-۸۸۱.

۳. ایلدرومی، ع. ر.، ح. نوری، ر. میرزایی تالارپشتی و ل. دیانت. ۱۳۹۴. مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی شهر زرین‌دشت شیراز). *علوم و مهندسی محیط‌زیست* ۵(۸): ۴۸-۲۳.

۴. چیت‌سازان، م.، ف. دهقانی، ف. راست‌منش و س. ی. میرزایی. ۱۳۹۲. مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری با استفاده از فناوری‌های اطلاعات مکانی و منطق فازی- تحلیل سلسله مراتبی Fuzzy-AHP (مطالعه موردی: رامهرمز). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)* ۴(۱): ۵۵-۳۹.

۵. رسولی، ع. ا.، ح. محمودزاده، س. یزدچی و م. زرین بال. ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب خطی وزنی در مکان‌یابی محل دفن مواد زاید شهری، مورد شناسی: شهرستان مرند. *جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای* ۴: ۵۲-۴۱.

۶. سالنامه آماری اداره کل هواشناسی استان بوشهر، ۱۳۹۶. http://www.bushehrmet.ir/SC.php?type=static&id=13.

۷. قدسی پور، س. ح. ۱۳۹۵. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، انتشارت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ یازدهم، ۲۲۲ ص.

۸. یمانی، م. و ش. علی‌زاده. ۱۳۹۴. مکان‌یابی بهینه دفن زباله‌های جامد شهری منطقه هشتگرد به‌روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *نشریه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)* ۲۴(۹۶): ۹۰-۷۹.

9. Aivaliotis, V., I. Dokas, M. Hatzigiannakou and D. Panagiotakopoulos. 2004. Functional relationships of landfill and landraise capacity with design and operation parameters. *Waste Management & Research* 22(4): 283-290. doi:10.1177/0734242X04045437.
10. Alavi, N., G. Goudarzi, A. A. Babaei, N. Jaafarzadeh and M. Hosseinzadeh. 2013. Municipal solid waste landfill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: a case study in Mahshahr County, Iran. *Waste Management & Research* 31(1): 98-105. doi:10.1177/0734242X12456092.
11. Babalola, A. and I. Busu. 2011. Selection of landfill sites for solid waste treatment in Damaturu Town-using GIS techniques. *Journal of Environmental Protection* 2: 1-10. doi:10.4236/jep.2011.21001.
12. Bahrani, S., T. Ebadi, H. Ehsani, H. Yousefi and R. Maknoon. 2016. Modeling landfill site selection by multi-criteria decision making and fuzzy functions in GIS, case study: Shabestar, Iran. *Environmental Earth Sciences* 75(4): 1-14. doi:10.1007/s12665-015-5146-4.
13. Baiocchi, V., K. Lelo, A. Polettini and R. Pomi. 2014. Land suitability for waste disposal in metropolitan areas. *Waste Management & Research* 32(8): 707-716. doi:10.1177/0734242X14545642.
14. Banar, M., B. M. Kose, A. Ozkan and I. Poyraz Acar. 2007. Choosing a municipal landfill site by analytic network process. *Environmental Geology* 52(4): 747-751. doi:10.1007/s00254-006-0512-x.
15. Chang, N. B., G. Parvathinathan and J. B. Breeden. 2008. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management* 87(1): 139-153. doi:10.1016/j.jenvman.2007.01.011.
16. Gemitzi, A., V. A. Tsihrintzis, E. Voudrias, C. Petalas and G. Stravodimos. 2007. Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills. *Environmental Geology* 51(5): 797-811. doi:10.1007/s00254-006-0359-1.
17. Gorsevski, P. V., K. R. Donevska, C. D. Mitrovski and J. P. Frizado. 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. doi: 10.1016/j.wasman.2011.09.023.
18. Kemal Korucu, M. and B. Erdagi. 2012. A criticism of applications with multi-criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes. *Waste Management* 32(12): 2315-2323. doi:10.1016/j.wasman.2012.07.003.
19. Khan, D. and S. R. Samadder. 2014. Municipal solid waste management using Geographical Information System

aided methods: A mini review. *Waste Management & Research* 32(11): 1049-1062. doi: 10.1177/0734242X14554644.
20. Kontos, T. D., D. P. Komilis and C. P. Halvadakis. 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management* 25(8): 818-832. doi: 10.1016/j.wasman.2005.04.002.
21. Kumar, S. and M. I. Hassan. 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. doi:10.1007/s12524-011-0161-8.
22. Malczewski, J. 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science* 20(7): 703-726. doi:10.1080/13658810600661508.
23. Moeinaddini, M., N. Khorasani, A. Danehkar, A. A. Darvishsefat and M. Zienalyan. 2010. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). *Waste Management* 30(5): 912-920. doi:10.1016/j.wasman.2010.01.015.
24. Naghadehi, M. Z., R. Mikaeil and M. Ataei. 2009. The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to selection of optimum underground mining method for Jajarm Bauxite Mine, Iran. *Expert Systems with Applications* 36(4): 8218-8226. doi:10.1016/j.eswa.2008.10.006.
25. Nas, B., T. Cay, F. Iscan and A. Berktay. 2010. Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment* 160(1-4): 491-500. doi: 10.1007/s10661-008-0713-8.
26. Nazari, A., M. M. Salarirad and A. Aghajani Bazzazi. 2012. Landfill site selection by decision-making tools based on fuzzy multi-attribute decision-making method. *Environmental Earth Sciences* 65(6): 1631-1642. doi:10.1007/s12665-011-1137-2.
27. Saaty, R. W. 1987. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling* 9(3): 161-176. doi:/10.1016/0270-0255(87)90473-8.
28. Shahabi, H., S. Keihanfard, B. B. Ahmad and M. J. T. Amiri. 2014. Evaluating Boolean, AHP and WLC methods for the selection of waste landfill sites using GIS and satellite images. *Environmental Earth Sciences* 71(9): 4221-4233. doi:10.1007/s12665-013-2816-y.
29. Sumathi, V. R., U. Natesan and C. Sarkar. 2008. GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. *Waste Management* 28(11): 2146-2160. doi: 10.1016/j.wasman.2007.09.032.
30. Tarhan, B. and K. Ünlü. 2005. Performance-based landfill design: development of a design component selection matrix using GIS and system simulation models. *Environmental Geology* 49(1): 133-147. doi:10.1007/s00254-005-0073-4.
31. Wang, G., L. Qin, G. Li and L. Chen. 2009. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management* 90(8): 2414-2421. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.12.008.
32. Zamorano, M., E. Molero, Á. Hurtado, A. Grindlay and Á. Ramos. 2008. Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology. *Journal of Hazardous Materials* 160(2–3): 473-481. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.03.023.

Application of Geographic Information System and Analytic Hierarchy Process for Municipal Solid Waste Landfill Site Selection: A Case Study of Bushehr City, Iran

F. Amiri[1] and T. Tabatabaie[2*]

(Received: Jan. 10-2017; Accepted: Apr. 23-2019)

Abstract

Landfill location is one of the most important aspects of municipal solid waste management. Selecting a suitable solid waste landfill site can prevent adverse ecological and socioeconomic effects. Therefore, the aim of this paper was to determine the solid waste landfill site selection problem in Bushehr city, according to some criteria including the considered land use, distance from surface and underground water, soil texture, precipitation, wind direction, geology, slope and distance from the fault, distance from the residential areas and distance from roads, and distance from the industrial parts and facilities . For this purpose, calculated criteria were weighted using the analytical hierarchy process (AHP). A geographic information system (GIS) was then used to manipulate and present the spatial data. The candidate sites by aggregation based on the criteria weighted by the weighted linear combination (WLC) method were determined and the candidate sites were divided to unsuitable and good landfill areas. In the good landfill area, with the least time and investment, there was the possibility of developing a solid waste. By considering the minimum required landfill area for 10, 20, 50 and 100 years, the candidate sites were prioritized. The results of the site suitability assessment showed that the site E in Bushehr city was the suitable area for locating the disposal of solid wastes, covering an area of 3738 ha, 3.7% of the total area.

.

Keywords: Site selection, Suitability index, Landfill, Analytical hierarchy process (AHP), Weighted linear combination (WLC)

1. Dept. of Environ., Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran.
*: Corresponding Author, Email: famiri@iaubushehr.ac.ir