



Optimal Landfill Site Selection Based on National Guidelines and Local Conditions: Lessons from the City of Chatroud

Majid Ramezani Mehrian¹, Sayedeh Alemohammad^{*2}, Hossein Vahidi³, Hossein Khosravi⁴

¹ Assistant Professor, the Institute for Research and Development in the Humanities (SAMT), Tehran, Iran.

² Assistant Professor, Department of Innovation and Sustainability, Faculty of Governance, University of Tehran, Tehran, Iran.

³ Assistant Professor, Department of Environment, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Art University, Tehran, Iran.

Abstract

Landfill management in arid Iran requires precise site selection due to environmental fragility and agricultural dependence. Chatroud's current landfill has become a pollution hub, provoking social conflicts by neglecting environmental criteria. This study provides an operational framework differentiating and integrating constraint and suitability criteria from national guidelines, tailored to local conditions. Using MCDM, weighted overlaying, and viewshed analysis, unsuitable areas were first excluded based on ecological-social constraints (e.g., buffers for water resources and settlements). Remaining lands were then weighted and evaluated by the suitability degree of other key criteria. Among five candidate sites, Site 2 is optimal due to safe aquifer distance, appropriate city distance, reduced future social conflicts (from wind alignment dispersing pollutants away from settlements, and highly limited viewshed from topographic confinement). The key lesson is implementing "closure and rehabilitation" of the current site while establishing the new site with comprehensive monitoring and sustainable social participation to manage future conflicts. Differentiating constraints from suitability ensures technical compliance with national guidelines and enables project implementation success and local acceptance—generalizable to other arid regions of Iran.

Keywords: Waste, Constraints, Suitability, Environmental Criteria, Social Conflicts.

* Corresponding Author: Sayedeh Alemohammad
Email: sh.alemohammad@ut.ac.ir
Phone: 09120659352



مقاله پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷

مکان‌یابی بهینه محل دفن پسماند بر اساس دستورالعمل ملی و شرایط بومی: درس‌هایی از شهر چترود

مجید رمضانی مهربان^۱، سیده آل محمد^{۲*}، حسین وحیدی^۳، حسین خسروی^۴

^۱استادیار گروه مطالعات محیطی، پژوهشکده تحقیق و توسعه علوم انسانی (سمت)، تهران، ایران.

^۲استادیار گروه نوآوری و پایداری، دانشکده حکمرانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳استادیار گروه پژوهشی محیط‌زیست، پژوهشکده محیط‌زیست، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فن‌آوری پیشرفته، کرمان، ایران

^۴استادیار گروه طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

چکیده

مدیریت دفن پسماند در مناطق خشک ایران، با توجه به شکنندگی محیط‌زیست و وابستگی معیشتی غالب جامعه به کشاورزی، نیازمند مکان‌یابی دقیق و علمی است. سایت دفن کنونی در شهر چترود، به دلیل بی توجهی به معیارهای محیط‌زیستی، به کانون آلودگی و برانگیختن تعارضات اجتماعی تبدیل شده است. هدف این مطالعه، ارائه چارچوبی عملیاتی برای مکان‌یابی بهینه با تفکیک و تلفیق همزمان معیارهای محدودیت (حذف‌کننده) و تناسب (امتیازدهنده) موجود در دستورالعمل ملی و بر حسب شرایط بومی منطقه است. روش کار، بر تصمیم‌گیری فضایی چندمعیاره با روی هم‌گذاری وزنی لایه‌ها و تحلیل دیدنما برای ارزیابی دیدپذیری، استوار بوده است. نخست پهنه‌های غیرقابل قبول بر اساس محدودیت‌های اکولوژیکی-اجتماعی (مانند حریم منابع آب و سکونتگاه‌ها) حذف و سپس اراضی باقیمانده بر اساس درجه تناسب سایر معیارهای کلیدی، وزن دهی و ارزیابی شدند. یافته‌ها نشان داد که از میان پنج گزینه مکانی نهایی، سایت ۲ به دلیل فاصله ایمن از آبخوان، فاصله مناسب از شهر و کاهش تعارضات اجتماعی آینده (به دلیل همسویی با جهت باد غالب به نفع دور کردن آلودگی هوا از سکونتگاه‌ها و دیدنمای بسیار محدود به دلیل محصوربودگی توپوگرافیکی)، گزینه بهینه است. مهمترین درس عملیاتی، اجرای برنامه «بستن و احیا» در سایت کنونی و استقرار سایت جدید همراه با سازوکار نظارت جامع و مشارکت اجتماعی پایدار است تا تعارضات آتی مدیریت شود. تفکیک دوگانه محدودیت و تناسب در فرآیند مکان‌یابی، نه تنها انطباق فنی با دستورالعمل ملی را تضمین می‌کند، بلکه موفقیت اجرایی و پذیرش محلی پروژه را ممکن می‌سازد که برای شرایط بومی مناطق خشک کشور قابل تعمیم است.

کلمات کلیدی: پسماند، محدودیت، تناسب، معیارهای محیط‌زیستی، تعارضات اجتماعی

۱- مقدمه

دفن بهداشتی، به عنوان آخرین گزینه در سلسله مراتب مراحل مدیریت پسماند (پس از کاهش، بازیافت و پردازش) در نظر گرفته شده است. مدیریت پایدار پسماندهای شهری، به ویژه مرحله نهایی دفع، یکی از ارکان اساسی توسعه پایدار شهری و حفاظت از محیط زیست در سطح جهانی محسوب می‌شود [1]. انتخاب مکان بهینه برای دفن نهایی پسماند، نه تنها از آلودگی منابع حیاتی جلوگیری می‌کند، بلکه سرمایه‌گذاری بلندمدت در حوزه زیرساخت‌های شهری را تضمین می‌نماید [2]. این چالش در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ابعادی پیچیده‌تر به خود می‌گیرد. محدودیت شدید منابع آبی، کیفیت خاص خاک‌ها، وابستگی معیشتی جامعه به کشاورزی و دامپروری و شکنندگی اکوسیستم‌های این نواحی، هر گونه سهل‌انگاری در فرآیند مکان‌یابی را به فاجعه‌ای با پیامدهای جبران‌ناپذیر بر سلامت اکوسیستم، بهداشت عمومی و امنیت غذایی تبدیل می‌کند.

در کشور ایران، با وجود تدوین چارچوب‌های قانونی و فنی نسبتاً جامع در حوزه مدیریت پسماند، شکافی عمیق بین استانداردهای تعریف‌شده و اجرای عملی آن‌ها، به ویژه در شهرهای کوچک، متوسط و واقع در مناطق محروم، مشاهده می‌شود [3, 4, 5, 6 & 7]. پایه قانونی این حوزه، "قانون مدیریت پسماندها" مصوب سال ۱۳۸۳ است. این قانون، پسماندها را به پنج دسته اصلی عادی، پزشکی، ویژه، کشاورزی و صنعتی تقسیم کرده و مسئولیت مدیریت پسماندهای عادی (شهری و خانگی) را بر عهده شهرداری‌ها و دهیاری‌ها گذاشته و هرگونه احداث، راه‌اندازی و بهره‌برداری از محل دفن پسماند را منوط به اخذ مجوز از سازمان حفاظت محیط زیست پس از انجام ارزیابی اثرات محیط زیستی^۱ (EIA) نموده است. ماده ۹ این قانون بر رعایت ملاحظات محیط زیستی تأکید دارد. الزامات فنی، معیارها و محدودیت‌های مکانی دقیق و اجرایی، در سند بالادستی «دستورالعمل ملی ارزیابی فنی و ضوابط محیط زیستی محل‌های دفن پسماندهای عادی و ویژه» سازمان حفاظت محیط زیست تشریح شده است. این دستورالعمل، نقشه راه فنی و غیرقابل اغماض برای کلیه مراحل انتخاب محل، طراحی، احداث، بهره‌برداری، پایش محیط‌زیستی^۲ و حتی بستن نهایی و مراقبت پس‌بست^۳ است.

در این دستورالعمل، طبقه‌بندی سه‌گانه محل دفن بر اساس ماهیت پسماند تعریف شده است: ۱) محل دفن نوع خنثی: برای مواد بی‌خطر نظیر نخاله ساختمانی، ۲) محل دفن نوع عادی: برای پسماندهای شهری و خانگی (مورد مطالعه این پژوهش) و ۳) محل دفن نوع ویژه: برای پسماندهای خطرناک و صنعتی. این دستورالعمل مجموعه‌ای از معیارهای محیط‌زیستی، اجتماعی، فنی و اقتصادی را برای انتخاب محل دفن معرفی می‌کند. همچنین استانداردهای طراحی مهندسی (نظیر نوع و تعداد لایه‌های آب‌بند^۴ رسی و مصنوعی، سیستم جمع‌آوری و تصفیه شیرابه، شبکه کنترل گاز و منطقه حائل) را بیان می‌نماید که با مطالعات جهانی مطابقت دارد [8, 9 & 10]. در این دستورالعمل، فرآیند مکان‌یابی بهینه متکی بر اعمال محدودیت‌های مطلق^۵ و الزامات فاصله‌ای^۶ (که مناطق غیرقابل قبول را به‌طور قطعی حذف می‌نماید) و ارزیابی معیارهای تناسب^۷ (که درجه تناسب پهنه‌های باقیمانده را مشخص می‌سازد) است. این معیارها که در این پژوهش نیز به عنوان مبنا برای ارزیابی وضعیت موجود و مکان‌یابی سایت جدید استفاده خواهند شد، به شرح زیر است:

۱- اجتناب از منابع آب سطحی و حریم آبراهه‌ها: رعایت حداقل فاصله ۱۰۰۰ متری محل دفن پسماند از رودخانه‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و سواحل ضروری است. همچنین قرار نگرفتن محل دفن پسماند در محدوده حریم سیلابی^۸ با دوره بازگشت صدساله و خارج بودن از مسیر آبراهه‌های دائم و فصلی، لازم است [11].

۲- حفظ حریم مناطق حساس، تحت حفاظت و میراث فرهنگی: رعایت حداقل فاصله ۱۰۰۰ متری محل دفن پسماند از همه مناطق تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست، جنگل‌ها، مراتع غنی و کریدورهای حیات‌وحش، جهت صیانت از اکوسیستم‌های طبیعی و جلوگیری از تخریب زیستگاه‌ها الزامی است [12].

۳- حفاظت از منابع آب زیرزمینی: حفظ حداقل فاصله ۴۰۰ متری محل دفن پسماند از چاه‌های آب شرب و حریم ۲۰۰۰ متری از سایر منابع آب زیرزمینی ضروری است. به علاوه، استقرار در آبخوان‌های اصلی و مناطق تغذیه‌کننده آنها ممنوع است. همچنین وجود

¹ Environmental Impact Assessment

² Environmental Monitoring

³ Post-Closure Care

⁴ Landfill Liner

⁵ Absolute Constraints

⁶ Distance Requirements

⁷ Suitability

⁸ Floodplain/ Inundation Zone

- حداقل ۲ متر فاصله (عمودی) بین پایین‌ترین نقطه از محل دفن پسماند و سطح ایستابی آب در بازه درازمدت ضروری است [13].
- ۴- فاصله‌گذاری از سکونتگاه‌ها و کاربری‌های حساس انسانی: حفظ حداقل فاصله ۱۰۰۰ متری محل دفن پسماند از محدوده سکونتگاه‌ها، مراکز درمانی، آموزشی و طرح‌های توسعه آتی به منظور پیشگیری از مخاطرات بهداشتی، مزاحمت‌های اجتماعی و بروز اعتراضات اجتماعی در آینده ضروری است [14].
- ۵- دور بودن از گسل‌های فعال: رعایت فاصله حداقل ۲۰۰ متری محل دفن پسماند از گسل‌های اصلی و فاصله ۱۰۰ متری محل دفن پسماند از گسل‌های فرعی الزامی است. شایان ذکر است که فاصله هرچه بیشتر از گسل‌های فعال و پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش، ایمنی سازه‌های مهندسی محل دفن را در برابر رویدادهای لرزه‌ای افزایش می‌دهد [15].
- ۶- دسترسی پذیری و فاصله از زیرساخت‌ها: رعایت فاصله مناسب از فرودگاه‌ها، جاده‌های اصلی (حداقل ۳۰۰ متر)، خطوط انتقال نیرو و اماکن تاریخی، ضروری است. نزدیکی به شبکه ارتباطی (جاده‌های اصلی) تا حدی که هزینه‌های حمل‌ونقل کاهش یابد، اما با حفظ فاصله ایمن (عموماً ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر) برای جلوگیری از مخاطرات ترافیکی، آلودگی بصری و نشت احتمالی [16].
- ۷- ویژگی‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی: خاک‌های رسی با نفوذپذیری بسیار پایین (مانند رس فشرده) به دلیل ایجاد سد هیدرولیکی در برابر نشت شیرابه، به عنوان بهترین بستر شناخته می‌شوند [17]. واحدهای سنگی نفوذناپذیر (مانند گرانیت) نیز ارجحیت دارند، درحالی که خاک‌های شنی یا آبرفتی با نفوذپذیری بالا نامناسب هستند.
- ۸- شرایط توپوگرافی: شیب ملایم زمین (ترجیحاً بین ۰ تا ۱۵ درصد) برای تسهیل عملیات اجرایی، کنترل رواناب سطحی، افزایش پایداری شیب‌ها و کاهش هزینه‌های خاکبرداری و تسطیح ضروری است [18].
- ۹- سازگاری با پوشش/ کاربری اراضی^۱ (LU/LC): اولویت در انتخاب محل دفن با اراضی بایر، کم‌بازده و فاقد ارزش کشاورزی یا توسعه آتی است. استقرار محل دفن در اراضی کشاورزی فعال، باغات و پهنه‌های دارای طرح‌های توسعه شهری و روستایی، مجاز نیست [19].
- ۱۰- ملاحظات منظر، زیبایی‌شناسی و دیدپذیری: پرهیز از انتخاب نقاط مشرف و قابل رؤیت از سکونتگاه‌ها، محورهای مسافرتی و گردشگری ضروری است. سایت‌های واقع در نقاط کور توپوگرافی (مانند دره‌های پایین‌دست) یا دارای پوشش گیاهی طبیعی مناسب، به شرط دارا بودن سایر معیارها، از جهت پذیرش اجتماعی و کاهش منظر ناهنجار ارجحیت دارند [20].
- این چارچوب قانونی و فنی، مبنای استخراج معیارهای محدودیت و تناسب مکانیابی محل دفن پسماند عادی در مطالعه حاضر را تشکیل می‌دهد. همچنین به دلیل حساسیت محل دفن پسماند که در مطالعات گذشته برای شرایط مناطق خشک مطرح شده [21, 22 & 23]، تبصره‌هایی در دستورالعمل وجود دارد که میتوان به دو مورد اشاره کرد: (۱) امکان بررسی موردی احداث محل دفن عادی در آبراهه‌های فرعی مناطق با بارش سالانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر، با ارائه راهکارهای کنترلی قوی و اثبات عدم تهدید کیفیت آب‌های سطحی و (۲) با ارائه شواهد فنی قاطع (عمق آب زیرزمینی بیش از ۱۵ متر و نفوذپذیری بسیار پایین خاک)، امکان بررسی احداث روی آبخوان‌های بااهمیت کمتر وجود دارد.
- مرور مطالعات گذشته، نشان می‌دهد که در عمل و به ویژه در شهرهای کم‌برخوردار، انتخاب محل دفن غالباً بر مبنای ملاحظات ساده‌ای چون دسترسی آسان، کم‌هزینه بودن و دوری از دید مستقیم و بدون انجام مطالعات پایه زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و ارزیابی اثرات، صورت می‌پذیرد [4, 24, 25, 26 & 27]. نتیجه این رویکرد غیرعلمی، پیدایش سایت‌های دفن غیربهداشتی، غیرمجاز و فاقد تأسیسات مهندسی است که خود به کانون‌های دائمی تولید آلودگی تبدیل شده‌اند. این شرایط علاوه بر نقض صریح قوانین، موجبات نشت شیرابه به آب و خاک، انتشار گازهای بدبو و گلخانه‌ای، پراکنش زباله توسط باد، تجمع حیوانات موذی، گسترش بیماری‌ها، بروز آتش‌سوزی‌های فصلی، آلودگی بصری، نارضایتی مردم و تهدید جدی پایداری سرزمین را فراهم می‌آورد [3, 28 & 29].
- شهر چترود در استان کرمان به عنوان نمونه‌ای بحرانی از چالش مدیریت پسماند در مناطق خشک مطرح است. این شهر در بستری با محدودیت‌های اقلیمی حاد، منابع آب زیرزمینی آسیب‌پذیر و در حال افت، اقتصاد تک‌محصولی وابسته به کشاورزی، و پیچیدگی‌های خاک‌شناسی قرار دارد. چنین شرایطی، فرآیند مکان‌یابی دفن پسماند را به یک مسئله مهندسی-اجتماعی پیچیده تبدیل می‌کند.
- در حال حاضر، محل دفن پسماند این شهر به صورت سنتی و بدون انجام مطالعات ارزیابی، در مجاورت جاده‌ای فرعی و بر روی اراضی با بافت سبک و نفوذپذیر قرار دارد. بازدید میدانی و تصاویر هوایی نشان می‌دهد که این سایت فاقد کوچک‌ترین تمهیدات مهندسی

¹ Land Use / Land Cover (LULC)

منطبق با دستورالعمل ملی است، از جمله عدم وجود لایه آب‌بند، سیستم جمع‌آوری و تصفیه شیرابه، شبکه کنترل گاز، پوشش روزانه خاک و سامانه زهکشی اصولی. پسماندها به صورت روباز و غیرمتراکم انباشته می‌شوند و شیب اندک زمین همراه با نبود زهکش مناسب، منجر به تجمع شیرابه و رواناب آلوده در فصول بارشی می‌گردد. این سایت در فاصله‌ای حدود ۳/۳۸ کیلومتری مرکز شهر و در مجاورت اراضی کشاورزی و باغی واقع شده است. این وضعیت، نقض همزمان حداقل چندین معیار از فهرست پیشین را نشان می‌دهد. نبود حصارکشی مناسب موجب ورود غیرمجاز دام و افزایش مخاطرات بهداشتی شده و احتمال آتش‌سوزی‌های خودبه‌خودی نیز وجود دارد. علاوه بر این، دیدپذیری بالا از شهر و محورهای مسافرتی، همراه با آثار بصری، بو و گرد و غبار، موجب نارضایتی اجتماعی و تعارض آشکار با اصول فاصله‌گذاری منظرین و حریم سکونتگاه‌ها شده است.

از جنبه هیدروژئولوژیک، نفوذپذیری بالای خاک محل و مجاورت با منابع آب زیرزمینی آسیب‌پذیر، خطر آلودگی پایدار و جبران‌ناپذیر آب و خاک را افزایش داده است. همچنین، دسترسی نزدیک به جاده بدون طرح مدیریت ترافیک جامع، موجب تشدید آلودگی‌های ترافیکی و ریزش زباله شده است. تداوم بهره‌برداری از این سایت در شکل کنونی، نه تنها فاقد توجیه قانونی و امکان اخذ مجوز از سازمان حفاظت محیط زیست است، بلکه به دلیل قرارگیری در بستری با حساسیت اکولوژیک بالا، به قانونی برای تشدید تهدیدات محیط‌زیستی و منازعات اجتماعی تبدیل شده است. این پژوهش برای مکان‌یابی بهینه محل دفن پسماند عادی شهر چترود و پاسخ به این ضرورت فوری انجام شده است.

هدف اصلی پژوهش، مکان‌یابی بهینه محل دفن پسماند عادی شهر چترود است، به گونه‌ای که حداکثر انطباق را با الزامات قانونی ایران و حساسیت‌های اکولوژیک منطقه داشته باشد. اهداف خاص پژوهش به شرح زیر هستند: (۱) شناسایی، طبقه‌بندی و وزن دهی شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی دفن پسماند، با تفکیک معیارهای محدودکننده (حذف‌کننده) و معیارهای تناسب (امتیاز گیرنده)، (۲) ایجاد پایگاه داده لایه‌های اطلاعات مکانی و انجام تحلیل فضایی پیشرفته برای حذف مناطق ممنوعه و تناسب‌سنجی اراضی باقیمانده پیرامون شهر، (۳) اولویت‌بندی گزینه‌های مکانی برتر با تصمیم‌گیری چندمعیاره و (۴) ارائه بینش‌های عملیاتی به شهرداری چترود و اداره حفاظت محیط زیست استان، به منظور تسهیل فرآیندهای اخذ مجوز، تهیه گزارش‌ها، طراحی مهندسی تفصیلی سایت، تدوین برنامه پایش، چگونگی خوداظهاری و مراقبت پس از تعطیلی محل دفن.

مکان‌یابی محل دفن پسماند، ماهیتاً یک مسئله چندمعیاره است و گزینه‌های مختلف باید بر اساس شاخص‌های متعدد ارزیابی شوند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ (MCDM) به طور گسترده برای تحلیل همزمان معیارهای کمی و کیفی در این حوزه به کار رفته‌اند [30, 31, 32 & 33]. در این میان، رویکردهای مبتنی بر وزن‌دهی دقیق به معیارها، به دلیل سادگی پیاده‌سازی و کارایی بالا، در پروژه‌های مکان‌یابی دفن پسماند بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند [34, 35, 36 & 37]. با وجود پیشینه قابل توجه در مکان‌یابی محل دفن، یک خلأ روش‌شناختی ملموس در ادبیات موضوع مشهود است. بسیاری از مطالعات موجود، به ارائه مدل‌های کلی و کم‌توجه به جزئیات دستورالعمل‌های ملی پرداخته‌اند.

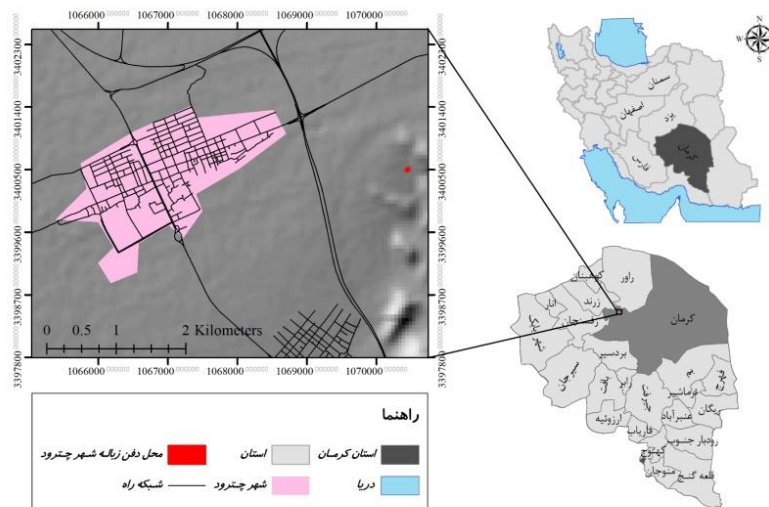
نوآوری اصلی این پژوهش در ارائه و اجرای چارچوبی جامع برای مکان‌یابی بهینه دفن پسماند استوار است که به طور همزمان، سه جنبه کلیدی را پوشش می‌دهد: (۱) بومی‌سازی و اعمال همزمان معیارها؛ این تحقیق با در نظر گرفتن دستورالعمل ملی و شرایط اکولوژیک-اجتماعی بومی، معیارهای مربوط به محدودیت و تناسب را به شکلی نوآورانه و همزمان اعمال می‌کند. (۲) تحلیل کمی دیدنما و ادغام آن در تصمیم‌گیری: یکی از مشارکت‌های متمایز این پژوهش، به‌کارگیری تحلیل دیدنما به صورت کمی و ترکیب آن با اولویت‌بندی نهایی است. این روش، که در مطالعات مشابه داخلی کمتر دیده شده، به طور دقیق، میزان دیده‌شدن سایت‌های پیشنهادی را از سکونتگاه‌ها و مسیرهای اصلی ارزیابی کرده و از انتخاب نقاط نامناسب از نظر منظر شهری و اجتماعی جلوگیری می‌کند. (۳) ارائه درس‌های عملیاتی برای مدیریت پسماند: این مطالعه علاوه بر مکان‌یابی، بر استخراج راهبردهای فضایی و بینش‌های عملیاتی برای بستن سایت قدیمی دفن پسماند تمرکز دارد. جنبه‌های دوم و سوم که کمتر در مطالعات پیشین به آن‌ها پرداخته شده، ارزش کاربردی و اجرایی مقاله را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. این پژوهش با ارائه پهنه‌های مستعد، نقشه‌های حساسیت و اولویت‌بندی گزینه‌ها، بینش‌های راهبردی به منظور برنامه‌ریزی بلندمدت فضایی، مدیریت بحران و تسهیل فرآیندهای اداری (تهیه گزارش EIA، طراحی تفصیلی و برنامه پایش) در اختیار تصمیم‌گیران می‌گذارد.

¹ Multi-Criteria Decision Making

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر چترود، به عنوان مرکز بخش چترود، در موقعیت جغرافیایی 30° و $46'$ عرض شمالی و 57° و $02'$ طول شرقی، در فاصله حدود ۴۰ کیلومتری شمال غرب کرمان واقع شده است (شکل ۱). بر اساس آخرین سرشماری رسمی (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، جمعیت این شهر ۱۳۲۱۶ نفر بوده که عمدتاً در امتداد محور ارتباطی کرمان- زرنده و حواشی اراضی کشاورزی متمرکز هستند. الگوی غالب کاربری اراضی، کشاورزی و باغداری (با محصولات راهبردی پسته و انار) است که ستون فقرات اقتصاد تک‌محصولی را تشکیل می‌دهند. این وابستگی شدید معیشتی هزاران خانوار محلی، حساسیت به هرگونه آلودگی آب یا خاک به حد اعلا رسانده و پذیرش اجتماعی هرگونه تأسیسات دفع پسماند را منوط به ارائه بالاترین سطح تضمین‌های حفاظتی و مهندسی می‌کند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

اگرچه منطقه در قلب اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران و در تنش آبی قرار دارد و این موضوع از فشار هیدرولیکی مداوم برای تولید شیرابه می‌کاهد، اما خطر رخداد سیلاب‌های لحظه‌ای و رگباری را افزایش می‌دهد و لزوم اجتناب مطلق از دشت سیلابی و آبراهه‌ها را به یک اصل غیرقابل مذاکره تبدیل می‌کند. جهت باد غالب (بر اساس داده‌های سینوپتیک کرمان)، عمدتاً غرب به شرق یا شمال‌غرب به جنوب‌شرقی است که خطر گردوغبار شدید را خواهد داشت و مستلزم طراحی کمربندهای سبز حفاظتی با گونه‌های بومی مقاوم است. از نظر زمین‌شناسی، گسل‌های شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و پهنه‌های آهکی- کارستی و واحدهای گچی، ریسک ناپایداری زمین، فرونشست موضعی و ایجاد مسیرهای ترجیحی نشت آلودگی را به همراه دارند. اگرچه در بخش‌هایی از دشت، خاک رسی با نفوذپذیری نسبتاً پایین وجود دارد، اما واحدهای مخروط‌افکنه، دارای خاک درشت‌دانه و هدایت هیدرولیکی بالا هستند.

منطقه به‌طور کامل متکی بر منابع آب زیرزمینی است. آبخوان آبرفتی دشت کرمان- باغین با وسعت حدود ۲۰۲۳ کیلومتر مربع، اصلی‌ترین منبع تأمین آب شرب و کشاورزی است که با افت مداوم سطح ایستابی و روند افزایش شوری در بخش‌هایی از دشت مواجه است. شبکه پایش موجود متشکل از ۶۴ حلقه چاه مشاهده‌ای، ۱۲۰۱ حلقه چاه، ۸ دهنه چشمه و ۴۵ رشته قنات، گواه بهره‌برداری فشرده و آسیب‌پذیری بالای این منابع است. از نظر آب‌های سطحی، رودخانه‌های فصلی نظیر چاری و سرشاخه‌های رودخانه شور زرنده، شبکه زهکش منطقه را تشکیل می‌دهند. رودخانه چاری در حاشیه دشت فرسایش شدیدی ایجاد کرده و کف آن پایین‌تر از سطح دشت قرار دارد. این ویژگی، خطر نفوذ آلودگی از سایت‌های بالادست را به‌طور چشمگیری تشدید می‌کند. بر این اساس، مجاورت با هرگونه آبراهه و حریم سیلابی آن، یک محدودیت مطلق و غیرقابل عبور در فرآیند مکان‌یابی به شمار می‌رود.

۲-۲- روش پژوهش

این پژوهش با هدف مکان‌یابی بهینه محل دفن پسماند عادی شهر چترود، از یک چارچوب روش‌شناختی ترکیبی و سیستماتیک بهره گرفته است. روش غربالگری مورد استفاده، در مطالعات معتبر بین‌المللی مکان‌یابی دفن پسماند به کار رفته است [38 & 39]. در این روش، مرحله اول با اعمال معیارهای حذف‌کننده (قیود سخت) مطابق با استاندارد EPA 40 CFR Part 258 [40] و مرحله دوم با وزن دهی به معیارهای تناسب انجام می‌شود. هسته این چارچوب، وزن‌دهی علمی به معیارها و تحلیل فضایی در سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) است. رویکرد کلی مبتنی بر منطق تصمیم‌گیری چندمعیاره و مطابق با دستورالعمل ملی و شرایط بومی منطقه، شامل دو گام اصلی بود: (۱) شناسایی و اعمال معیارهای حذف‌کننده (قیود سخت) برای تعیین مناطق کاملاً غیرمجاز و سپس (۲) شناسایی، استانداردسازی و وزندهی معیارهای تناسب برای ارزیابی درجه مناسب بودن پهنه‌های باقیمانده. این رویکرد تضمین می‌کند که منطق تصمیم‌گیری مبتنی بر قضاوت خبرگان و سپس تحلیل مکانی مبتنی بر داده‌های عینی و شرایط بومی باشد تا به خروجی‌های نهایی، هم قابل اتکا و دفاع باشند و هم در فضای جغرافیایی قابل اجرا.

۲-۲-۱- گردآوری داده‌ها، ایجاد لایه محدودیت و آماده‌سازی مکانی

لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، شامل داده‌های پایه (نقشه‌های توپوگرافی، هیدروگرافی، گسل‌ها و راه‌ها) و داده‌های موضوعی (زمین‌شناسی، خاک، کاربری و پوشش اراضی) گردآوری شدند. تمامی داده‌ها در محیط GIS با یک سیستم مختصات واحد هم مرجع شده و به فرمت رستری با تفکیک مکانی ۳۰ متر تبدیل گردیدند. محدوده مطالعه، شعاع ۴۵ کیلومتری پیرامون شهر چترود تعریف شد. انتخاب شعاع ۴۵ کیلومتری، نه به عنوان فاصله موردنیاز مستقیم برای شهر چترود، بلکه برای پوشش یک حریم جست‌وجوی گسترده و کاهش عدم قطعیت در فرایند مکان‌یابی انجام شد. از آنجا که هدف مطالعه، شناسایی پهنه‌های مناسب با رعایت کامل معیارهای حذف‌کننده و قیود دستورالعمل ملی بود، لازم بود کل ناحیه پیرامونی در یک مقیاس وسیع‌تر بررسی شود تا حتی در صورت محدود بودن گزینه‌های نزدیک‌تر، امکان ارزیابی پهنه‌های جایگزین با حداقل ریسک زیست‌محیطی و فنی فراهم شود. بنابراین، این شعاع صرفاً یک دامنه تحلیلی برای اطمینان از جامعیت مکان‌یابی و نه به معنای نیاز فضایی شهر با جمعیت ۱۳ هزار نفر است. بر اساس معیارهای بیست‌گانه مندرج در دستورالعمل ملی، کلیه معیارهای حذف‌کننده یا محدودیت‌های مطلق (شامل حریم منابع آب سطحی و زیرزمینی، دشت سیلابی صدساله، گسل‌ها، مناطق حفاظت‌شده، سکونتگاه‌ها، راه‌های اصلی و خطوط انتقال نیرو) شناسایی شدند. از اجتماع این قیود الزام‌آور، یک «نقشه محدودیت‌ها» به صورت یک لایه ماسک باینری^۲ (سلول‌های غیرمجاز=۰، مجاز=۱) تولید و بر کل پهنه مطالعه اعمال شد تا کلیه مناطق غیرمجاز به طور قطعی و پیش از هر تحلیل وزنی حذف گردند (شکل ۲).

۲-۲-۲- استخراج، خوشه‌بندی و استانداردسازی شاخص‌های تناسب

برای ارزیابی درجه تناسب پهنه‌های مجاز، مجموعه‌ای از شاخص‌های مکانی با ماهیت تناسب از دستورالعمل ملی استخراج شدند. شاخص‌ها در محیط GIS مورد استانداردسازی عددی قرار گرفتند. در این فرآیند، هر لایه رستری به یک مقیاس کمی هم‌سنگ در دامنه ۱ (کمترین تناسب) تا ۹ (بالاترین تناسب) برای احداث محل دفن تبدیل شد. برای تحلیل دقیق‌تر، هر شاخص به بازه‌های طبقه‌بندی شده در مقیاس ۱ تا ۹، با استناد به ضوابط مکان‌یابی و مطالعات علمی پیشین تبدیل شد. به طور نمونه، جزئیات این استانداردسازی برای برخی شاخص‌ها در جدول ۱، ارائه شده است.

¹ Geogheraphic Information System

² Binary Mask Layer

جدول ۱- شیوه طبقه‌بندی تناسب شاخص‌ها در مقیاس ۱ تا ۹

شاخص	روش استانداردسازی در مقیاس ۱ تا ۹
فاصله از سکونتگاه	بیشتر از ۵ کیلومتر= امتیاز ۹ (کاملاً مناسب)، ۳ تا ۵ کیلومتر= امتیاز ۷ (مناسب)، ۲ تا ۳ کیلومتر= امتیاز ۵ (نسبتاً مناسب)، ۱ تا ۲ کیلومتر= امتیاز ۳ (نامناسب) و در نهایت کمتر از ۱ کیلومتر= امتیاز ۱ (بسیار نامناسب)
فاصله از آبراهه‌ها	امتیاز ۹ برای فاصله بیشتر از ۳ کیلومتر، امتیاز ۷ برای ۲ تا ۳ کیلومتر، امتیاز ۵ برای ۱ تا ۲ کیلومتر، امتیاز ۳ برای ۱ تا ۲ کیلومتر و در نهایت امتیاز ۱ برای ۱/۵ تا ۱ کیلومتر
تیپ سنگ بستر و نفوذپذیری خاک	خاک رسی نفوذناپذیر= امتیاز ۹، خاک رسی- سیلتی= امتیاز ۷، شیل و خاک ماری= امتیاز ۵، خاک آهکی و کارستی= امتیاز ۳ و در نهایت خاک درشت بافت= امتیاز ۱
شیب زمین	۹ = ۰-۵٪، ۷ = ۵-۱۵٪، ۳ = ۱۵-۲۵٪، ۱ = ۲۵٪>
فاصله از گسل	بیشتر از ۵ کیلومتر= امتیاز ۹ (ایمن)، ۳ تا ۵ کیلومتر= امتیاز ۷ (نسبتاً ایمن)، ۱ تا ۳ کیلومتر= امتیاز ۳ (خطرناک) و در نهایت کمتر از ۱ کیلومتر= امتیاز ۱ (خیلی خطرناک)
نوع پوشش گیاهی/ کاربری اراضی	زمین بایر= امتیاز ۹، مرتع فقیر= امتیاز ۷، اراضی جنگلی یا طبیعی حساس= امتیاز ۳ و در نهایت اراضی کشاورزی فعال= امتیاز ۱
فاصله از جاده اصلی	فاصله بهینه ۵۰۰-۱۰۰۰ متر= امتیاز ۹ (به دلیل فاصله ایمن و دسترسی مناسب)، فاصله نسبتاً دور ۱۰۰۰-۲۰۰۰ متر= امتیاز ۵، (با هزینه حمل و نقل بیشتر ولی قابل قبول) فاصله نزدیک ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر= امتیاز ۳ (دارای خطر احتمالی) فاصله خیلی دور بیش از ۲۰۰۰ متر= امتیاز ۲ (کاهش کارایی) و در نهایت فاصله بسیار نزدیک ۰ تا ۲۵۰ متر= امتیاز ۱ (به دلیل خطر نشت شیرابه و آلودگی بصری)

۳-۲-۲- تعیین وزن شاخص‌های تناسب

برای تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های تناسب در تصمیم‌گیری نهایی و تخصیص وزن نهایی، از ماتریس مقایسه زوجی با مشارکت گروهی از خبرگان (متشکل از متخصصان محیط زیست، زمین‌شناسی، آب‌شناسی و مدیریت شهری) و میانگین‌گیری مقادیر نسبت‌ها، استفاده شد. وزن نهایی هر معیار از طریق محاسبه بردار ویژه استخراج شد. نرخ ناسازگاری^۱ (ICR) ماتریس ۰/۰۴۲ محاسبه شد که کمتر از آستانه قابل قبول (۰/۱) بوده و نشان‌دهنده سازگاری منطقی و قابلیت اعتماد قضاوت‌ها است. ماتریس مقایسات زوجی معیارها در جدول ۲ ارائه شده است. وزن نهایی هر معیار که از بردار ویژه این ماتریس محاسبه گردید، در جدول ۳ نمایش داده شده است. معیارهای «فاصله از سکونتگاه‌ها» و «فاصله از منابع آب سطحی»، به عنوان مؤثرترین معیارهای تناسب شناسایی شدند.

جدول ۲- جدول مقایسات زوجی معیارها

معیار / معیار	سکونت	آب سطحی	شیب	پوشش	جاده	گسل	زمین‌شناسی	خاک‌شناسی
سکونتگاه	۱	۳	۵	۴	۲	۲	۳	۴
آب سطحی	۱/۳	۱	۳	۲	۲	۲	۳	۳
شیب زمین	۱/۵	۱/۳	۱	۲	۱	۱	۲	۲
پوشش گیاهی/ کاربری	۱/۴	۱/۲	۱/۲	۱	۱/۲	۱	۲	۲
فاصله از جاده	۱/۲	۱/۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱
فاصله از گسل	۱/۲	۱/۲	۱	۱	۱	۱	۲	۲
زمین‌شناسی	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۱/۲	۱	۲
خاک‌شناسی	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۱/۲	۱/۲	۱

^۱ Inconsistency Rate

جدول ۳- وزن نهایی معیارها بر اساس جدول مقایسات زوجی و بردار ویژه

شاخص	وزن نهایی
فاصله از سکونتگاه‌ها	۰/۲۹۳
فاصله از آبراهه‌ها	۰/۱۸۳
فاصله از گسل‌ها	۰/۱۰۷
درصد شیب زمین	۰/۱۰۲
فاصله از جاده‌های اصلی	۰/۱
نوع پوشش گیاهی / کاربری اراضی	۰/۰۸۶
تیپ سنگ بستر	۰/۰۷۲
تیپ خاک	۰/۰۵۷
مجموع	۱/۰۰۰

۲-۲-۴- روی هم گذاری وزنی و تولید نقشه نهایی تناسب

پس از آماده سازی لایه‌های استاندارد شده و تعیین وزن آنها، مرحله تلفیق فضایی با استفاده از ابزار روی هم گذاری وزنی در GIS انجام پذیرفت. در این مرحله، شاخص تناسب مکانی برای پیکسل i محاسبه گردید (رابطه ۱: شاخص تناسب مکانی):

$$S_i = \sum (w_j \times r_{ij}) \quad (1)$$

w_j وزن معیار تناسب j ، و r_{ij} امتیاز استاندارد شده آن معیار برای پیکسل i است. در ادامه، لایه ماسک محدودیت‌ها (معیارهای حذف کننده) بر روی نقشه حاصل اعمال شد تا هر پیکسل غیرمجاز حذف گردد. خروجی این مرحله، یک نقشه پیوسته تناسب نهایی بود که پس از نرمال سازی، به پنج کلاس مدیریتی «بسیار مناسب»، «مناسب»، «نسبتاً مناسب»، «نامناسب» و «غیرمجاز» تفکیک گردید. برای ارتقای قابلیت بهره برداری، فیلترهایی برای حذف لکه‌های بسیار کوچک و هموارسازی منطقی مرزها اعمال شد.

۲-۲-۵- استخراج و اولویت بندی نهایی گزینه‌ها

به منظور اطمینان از پایداری و قابلیت اتکای نتایج در برابر عدم قطعیت‌ها، تحلیل حساسیت وزنی و سناریونگاری قیود (با رویکردهای سخت گیرانه، میانه و سهل گیرانه) انجام گرفت. در نهایت، از میان طبقات «بسیار مناسب» و «مناسب»، لکه‌های پیوسته با مساحت کافی (حداقل ۳۰ تا ۵۰ هکتار) و دسترسی عملیاتی مناسب، به عنوان گزینه‌های مکانی نهایی استخراج شدند. برای هر گزینه، شاخص‌ها مقایسه گردید. همچنین به منظور ارزیابی تأثیر منظر و پذیرش اجتماعی، یک تحلیل دیدنما با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و لایه گیرنده‌های حساس (سکونتگاه‌ها، راه‌های اصلی، مراکز درمانی و آموزشی) اجرا شد. خروجی این تحلیل، درصد مساحت دیده شونده هر سایت از نقاط حساس و یک «شاخص ترکیبی دیدپذیری» بود که در کنار دیگر معیارها، برای رتبه بندی نهایی گزینه‌ها و پیشنهاد نهایی، مورد استفاده قرار گرفت.

¹ Weighted Overlay

² Weight Sensitivity Analysis

³ Constraint Scenario Planning

⁴ Viewshed Analysis

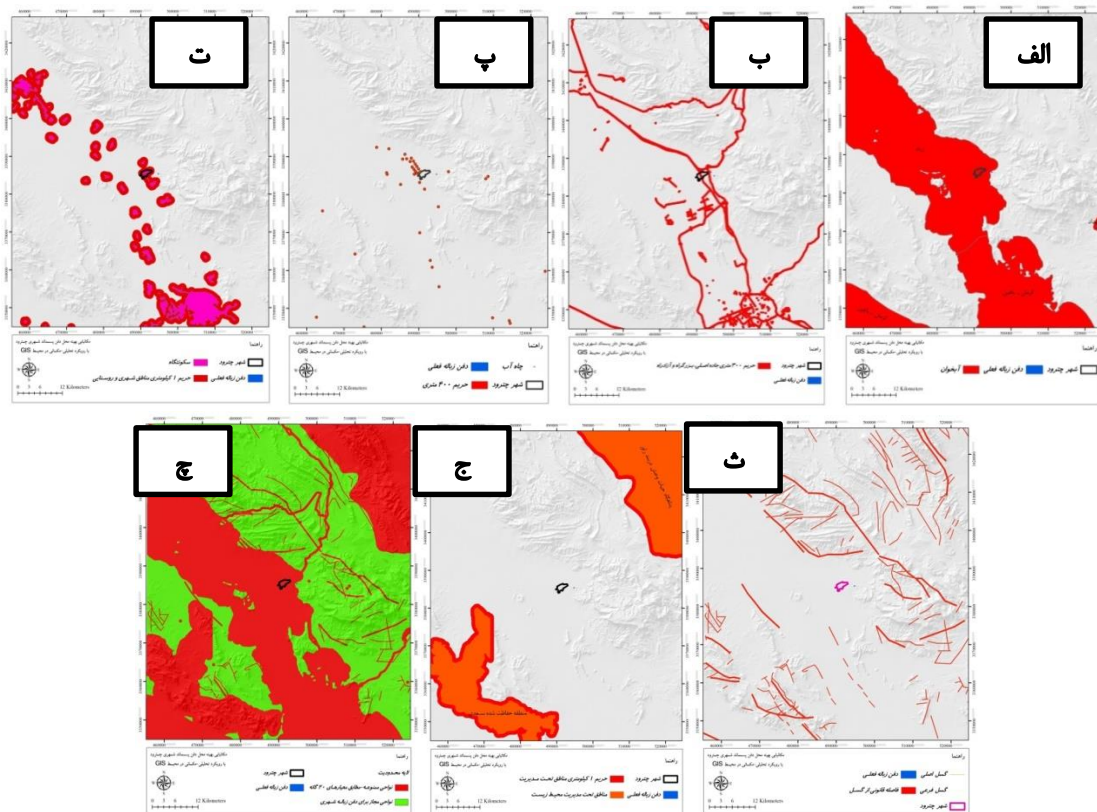
⁵ Digital Elevation Model

⁶ Composite Visibility Index

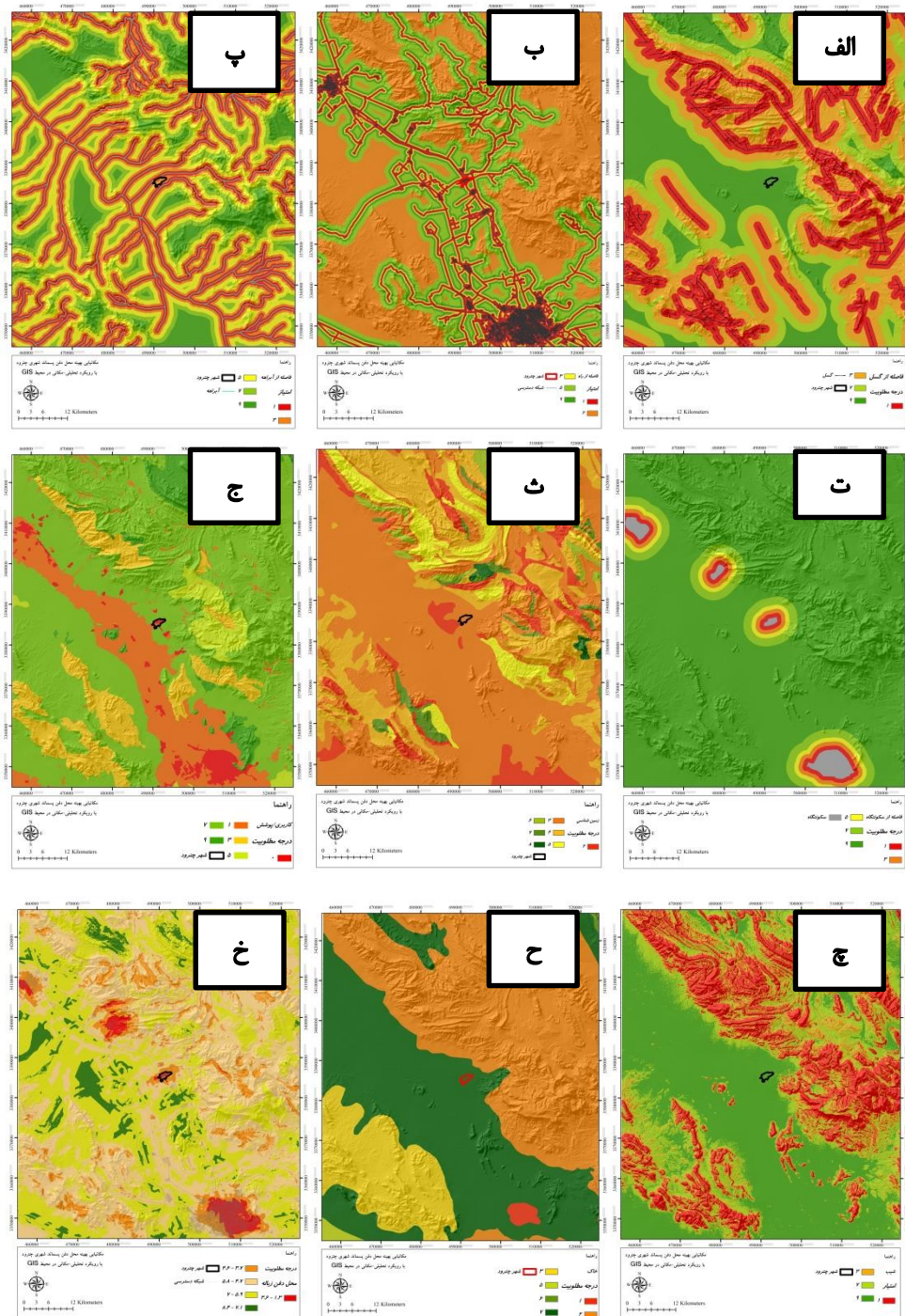
۳- بحث و نتایج

شکل ۲، عوارض مد نظر و محدوده‌های غیرمجاز را نشان می‌دهد. نقشه محدودیت از اجتماع تمامی محدوده‌های غیرمجاز، حاصل شده است (شکل ۲-چ). در نواحی قرمز رنگ، مطابق ضوابط و مقررات موجود، امکان احداث دفن زباله شهری نیست. این شکل، به طور کلی مناطق مجاز و غیرمجاز را نشان می‌دهد و حاوی نتیجه مکان‌یابی بهینه نیست. شکل ۲-الف، وجود آبخوان را نمایش می‌دهد. شکل ۲-ب، حریم راه‌های اصلی را نشان می‌دهد. شکل ۲-پ، حریم چاه‌های آب را نشان می‌دهد. شکل ۲-ت، حریم سکونتگاه‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۲-ث، حریم گسل را نشان می‌دهد. شکل ۲-ج، حریم مناطق تحت حفاظت را نشان می‌دهد. شکل ۳، موقعیت معیارهای تناسب استاندارد و وزن دار است.

شکل‌های ۳-الف تا ۳-ج، شامل فاصله از گسل، فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از سکونتگاه‌ها، واحدهای زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، شیب زمین و واحدهای خاک هستند. هر لایه (از ۱ تا ۹) رتبه‌بندی شده و لایه نهایی تناسب اراضی (شکل ۳-خ)، از تلفیق فضایی وزنی حاصل شده است.



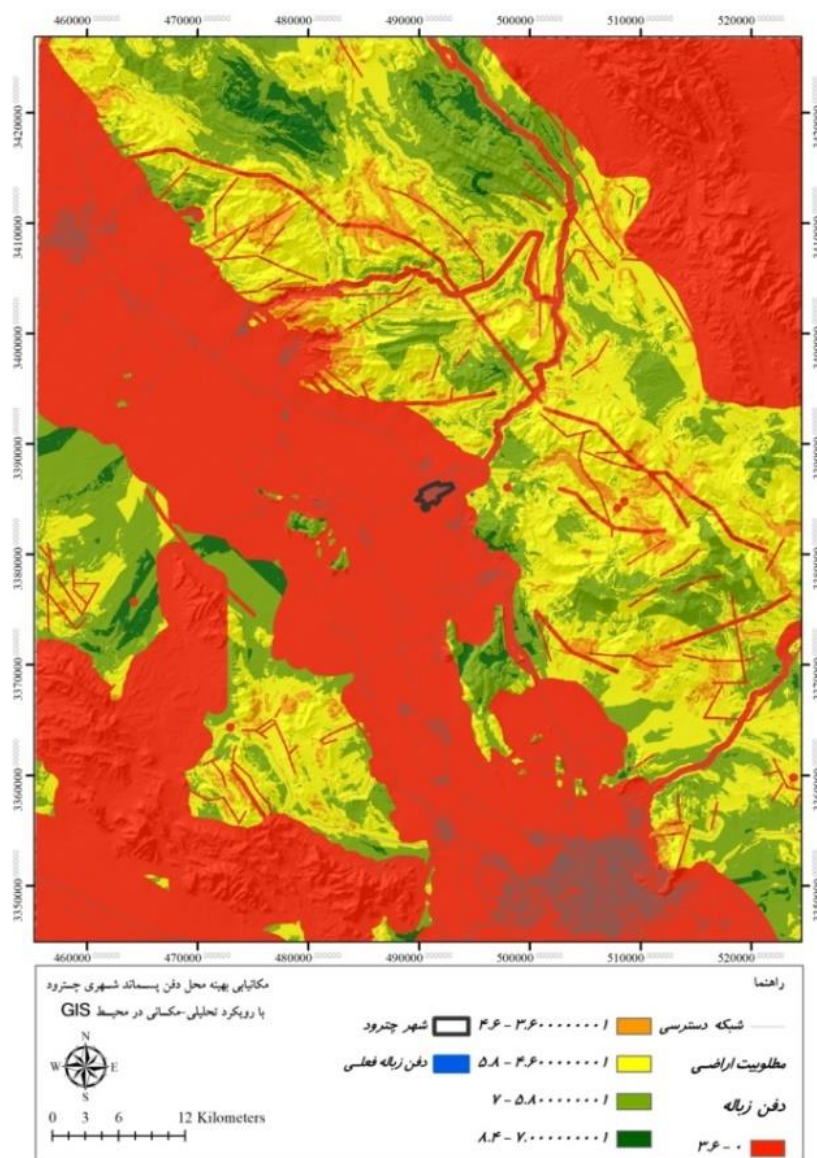
شکل ۲- موقعیت لایه‌های محدودیت: الف) موقعیت آبخوان‌ها، ب) حریم ۳۰ متری جاده‌ها، بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها، پ) پراکنش چاه‌های آب شرب در محدوده مورد مطالعه و حریم ۴۰۰ متری، ت) حریم یک کیلومتری سکونتگاه، ث) محدوده ۱۰۰ متری و ۲۰۰ متری از گسل‌های فرعی و اصلی و ج) حریم ۱ کیلومتری مناطق تحت مدیریت محیط زیست و چ) نقشه مناطق غیر مجاز برای دفن پسماند



شکل ۳- موقعیت لایه‌های تناسب: الف) درجه تناسب طبقات فاصله از گسل، ب) درجه تناسب طبقات فاصله از راه، پ) درجه تناسب طبقات فاصله از آبراهه، ت) درجه تناسب طبقات فاصله از سکونتگاه، ث) درجه تناسب واحدهای زمین‌شناسی، ج) درجه تناسب پوشش/کاربری اراضی، چ) درجه تناسب شیب اراضی، ح) درجه تناسب واحدهای خاک و خ) درجه تناسب اراضی برای دفن پسماند

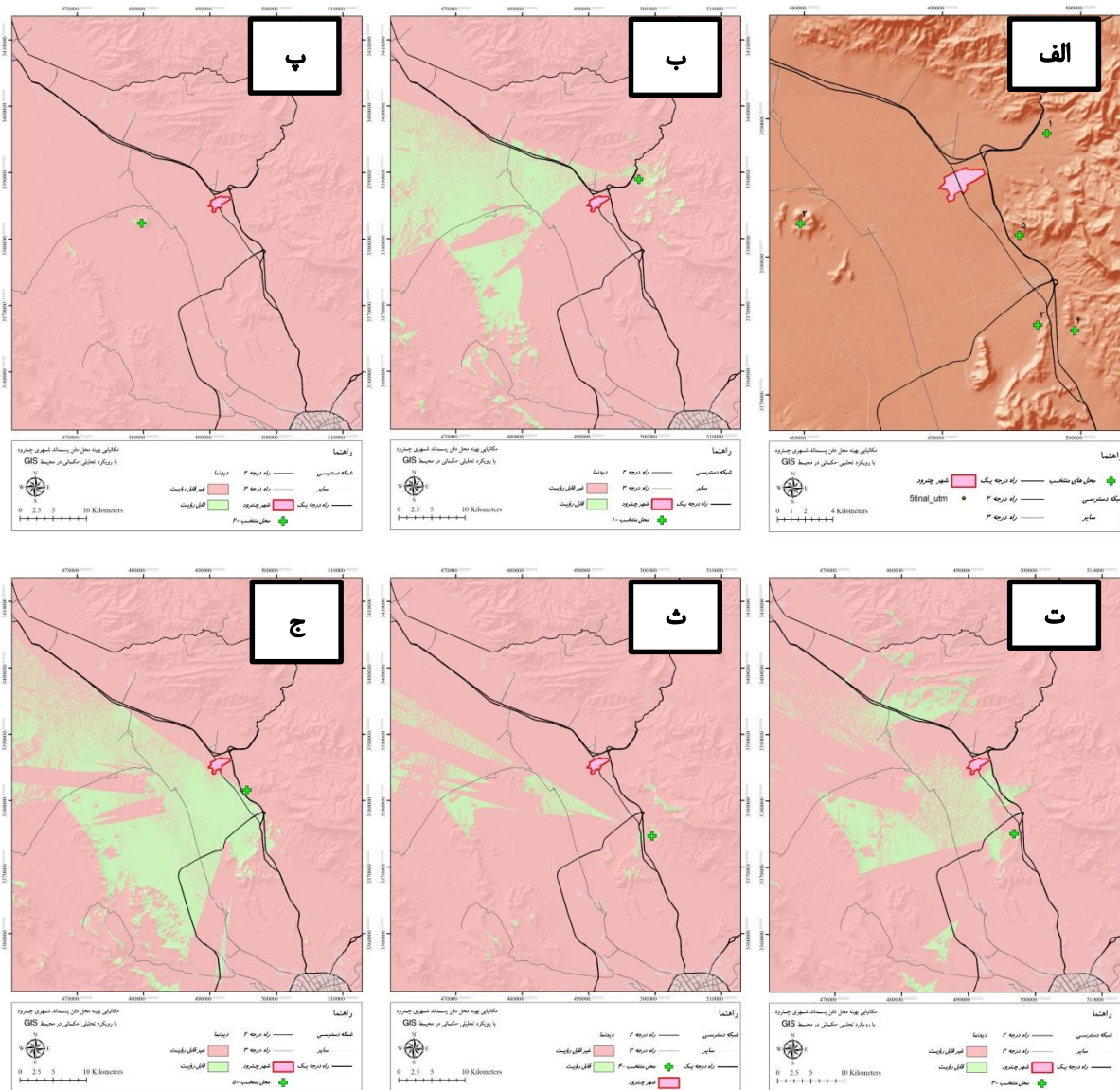
مطابق شکل ۴، تناسب نهایی اراضی حاصل ادغام منطقی دو خروجی قبلی است. بخش قرمز رنگ شامل محدودیت‌ها است که تمامی پهنه‌های «غیرمجاز» را بر اساس ضوابط دستورالعمل به صورت ماسک باینری (مجاز برابر با ۱ و غیرمجاز برابر با صفر)، مشخص می‌کند. سایر بخش‌ها با روش هم‌پوشانی وزنی معیارهای تناسب و ارائه یک امتیاز پیوسته برای هر پیکسل، به دست آمده است. در واقع امتیازهای باقیمانده برای بخش‌های غیرقرمز (بخش‌های مجاز باقیمانده)، استاندارد شده و براساس آستانه‌های مدیریتی به طبقات «بسیار مناسب»،

«مناسب»، «نسبتاً مناسب» و «نامناسب» تفکیک شده است. مطلوب‌ترین مکانها، رنگ سبز پررنگ دارد.



شکل ۴- نقشه نهایی تناسب اراضی برای دفن پسماند پس از اعمال لایه محدودیت

در ادامه، نواحی با بالاترین امتیاز تناسب استخراج و آستانه‌های حداقل مساحت اقتصادی، دسترسی عملیاتی و همگنی زمین‌شناسی-خاک‌شناسی، بر روی آن‌ها اعمال شد. خروجی، پنج سایت پیشنهادی شکل ۵ (الف) است. این گزینه‌های مکانی اولویت‌دار برای بازدید میدانی هدفمند، انجام مطالعات تکمیلی (ژئوتکنیکی و هیدروژئولوژی) و ورود به مرحله ارزیابی اثرات محیط زیستی و تصمیم‌گیری نهایی، مناسب هستند. همچنین بر اساس تحلیل دیدنما در شکل ۵ (ب تا د)، مشخص شد سایت‌ها از کدام سکونتگاه‌ها، راه‌های اصلی و کاربری‌های حساس به چه میزانی، رؤیت‌پذیر هستند.



شکل ۵- الف) مکان های پیشنهادی محل دفن جدید پسماند شهر چترود، ب) وضعیت دیدنمای سایت پیشنهادی شماره ۱، پ) وضعیت دیدنمای سایت پیشنهادی شماره ۲، ت) وضعیت دیدنمای سایت پیشنهادی شماره ۳، ث) وضعیت دیدنمای سایت پیشنهادی شماره ۴ و ج) وضعیت دیدنمای سایت پیشنهادی شماره ۵

سایت ۲ با محصورشدگی در میان ارتفاعات پیرامونی، کمترین سطح رؤیت را از سکونتگاه‌ها و محور کرمان- زرنده دارد. سایت ۳، هرچند بخشی از سایت ۲، از نقاط مرتفع پیرامونی قابل رؤیت است، اما قابلیت مدیریت دید از طریق پرده‌گیری طبیعی و جانمایی مناسب جبهه عملیات را دارد. سایت ۴ نیازمند اجرای اقدامات کاهنده فعال دیدنما مانند کمربند سبز چند ردیفه و فنس‌های مات در مرز شرقی خود است. سایت ۵ به دلیل قرارگیری بخشی از بدنه آن در دید یک راه فرعی، مستلزم اصلاح مسیر دسترسی و پشته‌سازی حاشیه‌ای برای کنترل دید است. سایت ۱ دارای ضعیف‌ترین وضعیت است و دیدپذیری نسبی بالاتری را بدون پوشش یا عوارض مؤثر کاهنده‌ای نشان می‌دهد.

ارزیابی نهایی و اولویت‌بندی پنج گزینه مکانی بر مبنای جمیع شرایط بومی و در مقایسه با دستورالعمل ملی صورت پذیرفته است. سایت شماره ۲ به‌عنوان گزینه برتر شناسایی شده است، زیرا هماهنگی بی‌نظیری بین مزایای طبیعی و الزامات مهندسی ایجاد می‌کند. محصورشدگی ذاتی در ارتفاعات، علاوه بر تحقق حداقل رؤیت‌پذیری، به‌عنوان یک ساختار حفاظتی غیرفعال، هزینه‌های احداث پرده‌های مصنوعی را کاهش می‌دهد. این ویژگی توپوگرافی، همراه با فاصله ۱۳ کیلومتری متعادل و هم‌سویی با باد غالب، یک سامانه کاهش ریسک سه‌گانه ذاتی (بصری، انتشار بو و ذرات) ارائه می‌دهد. همچنین، سابقه بهره‌برداری محلی از این پهنه، سرمایه اجتماعی اولیه‌ای

محسوب شده و گذار به لندفیل شهری را با چالش حقوقی کمتری مواجه می‌سازد.

در مراتب بعدی، سایت‌های ۳ و ۴ به‌عنوان گزینه‌های جایگزین مشروط قرار می‌گیرند که هر یک با یک مانع ساختاری مواجه هستند. سایت ۳ با فاصله ۱۲ کیلومتری، اگرچه از نظر فنی و دیدپذیری قابل قبول است، اما ریسک سیستماتیک ناشی از هم‌جواری با فعالیت معدنی، عاملی غیرقابل اغماض محسوب می‌شود. این هم‌جواری می‌تواند منجر به تعارضات عملیاتی دائمی، نگرانی‌های ایمنی و حتی توقف پروژه گردد. سایت ۴ با فاصله ۱۵/۳ کیلومتری، دورترین گزینه است، اما فقدان کامل پناه توپوگرافی، آن را در برابر کریدورهای دید کاملاً آسیب‌پذیر کرده و نیازمند سرمایه‌گذاری سنگین و دایمی در سازه‌های پوشش بصری است. حضور فعال کاربری کشاورزی در مجاورت آن نیز پروژه را مستعد تعارضات اجتماعی و حقوق مالکیت می‌کند.

سایت شماره ۵ با فاصله ۷ کیلومتری، در آستانه حذف قرار دارد. نزدیکی به شهر در این مورد یک عامل تهدید دوگانه محسوب می‌شود: افزایش حساسیت اجتماعی و فشار نهادهای نظارتی به دلیل رؤیت‌پذیری بالا، و افزایش تراکم تعارضات حقوقی و عرفی با ذی‌نفعان محلی. این گزینه فاقد هوشیاری محیطی لازم بوده و تبدیل آن نیازمند دگرگونی پرهزینه در منظر و بافت حقوقی زمین است که توجیه‌پذیری پروژه را زیر سؤال می‌برد.

سایت شماره ۱ با فاصله ۶/۹ کیلومتر، به دلایل بنیادین و غیرقابل جبران به طور کامل حذف می‌شود. قرارگیری در بالادست هیدرولیکی آبخوان، یک آسیب‌پذیری ذاتی و غیرقابل اصلاح کامل ایجاد می‌کند، به‌گونه‌ای که حتی با پیشرفته‌ترین سامانه‌های مهندسی، خطر آلودگی منبع آب زیرزمینی در بلندمدت یا تحت رویدادهای حدی وجود دارد. این ریسک حیاتی، همراه با چالش‌های حقوقی چندجانبه، هزینه مذاکره و پایش مستمر را به شدت افزایش داده و پذیرش اجتماعی را ناممکن می‌سازد.

راهبرد عملیاتی پیشنهادی، هدایت تمامی منابع مطالعاتی و مذاکراتی به سمت سایت ۲ است. موفقیت این گزینه منوط به تکمیل زنجیره مدیریت از طریق مطالعات ژئوتکنیک دقیق، طراحی سامانه مهندسی شده کنترل رواناب و شیرابه، و تقویت پوشش سبز است. تنها در صورت بروز مانع غیرقابل عبور در این گزینه، می‌توان با پذیرش صریح ریسک‌های بالاتر و هزینه‌های اضافی، گزینه‌های ۳ یا ۴ را با انجام مطالعات تطبیقی عمیق‌تر و عقد توافق‌نامه‌های تضمین‌کننده، دنبال نمود. اولویت‌بندی گزینه‌ها به‌وضوح سایت شماره ۲ را به دلیل برخورداری همزمان از مزایای طبیعی محصورشدگی، فاصله متعادل، همسویی با باد غالب، و سرمایه اجتماعی اولیه در صدر قرار می‌دهد. سایت‌های ۳ و ۴ با محدودیت‌های ساختاری جدی به عنوان گزینه‌های مشروط و پرهزینه‌تر مطرح هستند. سایت‌های ۵ و ۱ به ترتیب به دلیل ریسک اجتماعی-حقوقی بالا و ریسک حیاتی غیرقابل جبران برای آبخوان، فاقد قابلیت توجیه هستند.

۳-۱- بحث

با توجه به ضرورت فوری خروج از وضعیت بحرانی سایت فعلی دفن پسماند چترود و الزام به استقرار سیستم مهندسی شده و پایدار، بینش‌های عملیاتی زیر ارائه می‌شود که مسیر مشخصی را برای شهرداری چترود و اداره حفاظت محیط زیست استان در زمینه اخذ مجوز، طراحی مهندسی، پایش و مراقبت پس از تعطیلی ترسیم می‌کند.

نخست، ارزیابی قاطعانه سایت فعلی نشان می‌دهد که این سایت با نقض سیستماتیک ضوابط ملی، به کانونی برای آلودگی پایدار آب و خاک، مخاطرات بهداشتی و تعارض اجتماعی تبدیل شده است. بنابراین، اولین گام عملیاتی، **تعطیلی برنامه‌ریزی‌شده و فوری این سایت و آغاز فرآیند بستن و احیا** است. این فرآیند باید شامل اجرای پوشش نهایی مهندسی شده، احداث شبکه زهکش و انحراف رواناب پیرامونی، استقرار سیستم پایش آب‌های زیرزمینی و برنامه‌ریزی برای احیای پوشش گیاهی با گونه‌های بومی باشد. تا زمان انتقال کامل عملیات به سایت جدید، اجرای اقدامات کنترلی فوری مانند پوشش روزانه منظم، آب‌پاشی برای کنترل گردوغبار و مدیریت ورود دام ضروری است.

برای سایت برگزیده شماره ۲، به عنوان گزینه بهینه، یک برنامه اجرایی فازبندی‌شده ضروری است. این برنامه باید با **تمدید یا تملک قانونی زمین و اخذ موافقت اصولی محیط‌زیست بر اساس نقشه‌های تناسب و لایه محدودیت این پژوهش** آغاز شود. در گام بعدی، **طراحی مهندسی تفصیلی سایت** باید با تأکید بر بهره‌گیری از پناه طبیعی توپوگرافی برای حداقل‌سازی هزینه‌های خاکبرداری و کنترل دید، طراحی آب‌بند ترکیبی (خاک رسی فشرده و ژئوممبران) متناسب با شرایط زمین‌شناسی منطقه، و جانمایی سلول‌های دفن، تأسیسات کمکی و کمربند سبز با در نظرگیری جهت باد غالب (غرب به شرق) صورت پذیرد. همزمان، **بهینه‌سازی و تقویت راه**

دسترسی موجود به همراه تدوین طرح مدیریت ترافیک، احداث ایستگاه شست و شوی چرخ و تأمین پایدار منابع آب غیرشرب برای کنترل گردوغبار، از ملزومات پیش از آغاز عملیات عمرانی است. سومین بینش عملیاتی، **تدوین یک برنامه جامع پایش، نظارت و تعامل مشارکتی** برای تضمین انطباق و پایداری بلندمدت است. این برنامه باید استقرار یک **شبکه پایش یکپارچه** شامل چاهک‌های پایش آب زیرزمینی در بالادست و پایین‌دست، حسگرهای سنجش کیفیت هوا و پایش برخط شیرابه را در برگیرد. به موازات آن، **تدوین برنامه مراقبت پس از تعطیلی** برای حداقل ۱۰ سال پس از تعطیلی سایت، با تمرکز بر پایش محیط‌زیستی، نگهداری از تأسیسات و احیای اکولوژیکی، ضروری است. نهادینه کردن سازوکارهای شفاف **تعامل با ذینفعان** از طریق جلسات دوره‌ای، سامانه رسیدگی به شکایات و انتشار عمومی گزارش‌های پایش، پذیرش اجتماعی و پاسخگویی نهادی را تقویت خواهد کرد.

تحقق موفقیت‌آمیز این گذار، نیازمند **ایجاد یک چارچوب نهادی و راهبردی یکپارچه** است. پیشنهاد می‌شود **کارگروه تخصصی پسماند شهرستان** با حضور نمایندگان شهرداری، محیط‌زیست، جهاد کشاورزی و جامعه محلی تشکیل شود تا بر اجرا و پایش توافقات نظارت کند. برای تأمین مالی پایدار سایت شماره ۲، پیشنهاد می‌شود صندوق سرمایه‌گذاری محلی پسماند با ساختار سه‌وجهی زیر تشکیل شود: (۱) وصول عوارض پسماند به صورت ماهیانه از طریق قبوض آب، (۲) تخصیص ۲ درصد از درآمد سالیانه شهرداری چترود از محل عوارض ساختمانی، و (۳) واگذاری امتیاز جمع‌آوری و فروش گاز متان استحصالی از سایت به سرمایه‌گذار خصوصی با تضمین خرید ۱۰ ساله. به‌عنوان دستاورد، چارچوب به کار رفته می‌تواند به عنوان یک **دستورکار استاندارد محلی** برای بازبینی دوره‌ای مکان‌یابی و ارزیابی عملکرد سایت‌های دفن پسماند در شهرهای مشابه در مناطق خشک کشور نهادینه شود.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش با به‌کارگیری روشی ترکیبی و پایبندی به ضوابط ملی، چارچوبی نظام‌مند و قابل تکرار را برای مکان‌یابی دفن پسماند در مناطق خشک ارائه کرد. نتایج نشان داد که رویکرد تلفیقی «قضاوت خبرگان» و «تحلیل فضایی عینی» نه تنها گزینه‌های بهینه را شناسایی می‌کند، بلکه امکان ردیابی و دفاع کارشناسی از تصمیم‌ها را فراهم می‌سازد. در مطالعه موردی شهر چترود، پنج محدوده پیشنهادی با در نظرگیری همزمان قیود اکولوژیکی، فنی و اجتماعی ارزیابی و در نهایت سایت شماره ۲ به دلیل مزایای طبیعی محصورشدگی، همسویی با باد غالب، فاصله متعادل و ریسک پایین آلودگی آب‌های زیرزمینی، به عنوان گزینه برتر انتخاب شد. بینش‌های عملیاتی این مطالعه را می‌توان در چند محور خلاصه کرد: نخست، ارائه نقشه‌های تناسب و محدودیت به عنوان سند پشتیبان برای تسهیل فرآیند اخذ مجوز و تهیه گزارش ارزیابی اثرات محیط‌زیستی. دوم، ارائه دستورالعمل اجرایی برای طراحی مهندسی سایت منتخب با تأکید بر بهره‌گیری از پناه توپوگرافی، طراحی سیستم‌های مهار آلودگی و مدیریت دسترسی. سوم، تدوین چارچوبی برای پایش جامع و برنامه مراقبت پس از تعطیلی با مکانیزم‌های مشارکت اجتماعی. در نهایت، تأکید بر لزوم تعطیلی برنامه‌ریزی‌شده سایت فعلی و اجرای فوری عملیات «بستن و احیا» به عنوان پیش‌نیاز هرگونه اقدام جدید.

به‌طور مشخص، با توجه به نقش کلیدی «محصورشدگی توپوگرافیک» سایت شماره ۲ در کاهش دیدپذیری، پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی بر توسعه یک مدل پایش مشارکتی مبتنی بر سنجش از دور برای پایش فصلی تغییرات شاخص پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی اطراف سایت شماره ۲ و همبستگی آن با غلظت ذرات معلق ناشی از عملیات دفن، متمرکز شود. همچنین، بررسی امکان به‌کارگیری فناوری‌های جایگزین دفن (مانند زباله‌سوزی با بازیافت انرژی) در کنار ارزیابی اقتصادی-اجتماعی کامل‌تر هر گزینه، می‌تواند تصمیم‌گیری را در مناطق خشک به سمت جامع‌نگری بیشتری سوق دهد. نهایتاً، تعمیم و تطبیق این روش‌شناسی برای دیگر شهرهای کم‌برخوردار در اقلیم‌های مشابه، به نهادینه کردن رویکردی علمی و پیشگیرانه در مدیریت پسماند کشور کمک خواهد کرد.

۵- منابع

1. Environmental Protection Agency. (2020). *Managing and transforming waste streams: A tool for communities* (EPA Publication No. 530-F-20-001). <https://www.epa.gov/transforming-waste-tool>
2. Kazuva, E., Zhang, J., Tong, Z., Liu, X. P., Memon, S., & Mhache, E. (2021). GIS- and MCD-based suitability assessment for optimized location of solid waste landfills in Dar es Salaam,

- Tanzania. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28 (9), 11259–11278. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11213-0>
3. Rouhani, A., & Hejman, M. (2025). A review of soil pollution around municipal solid waste landfills in Iran and comparable instances from other parts of the world. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(10), 9711-9728. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05728-z>
 4. Golhosseini, Z., & Ghazizade, M. J. (2024). Municipal solid waste status in Iran: from generation to disposal. *Environmental Protection Research*, 4(1), 16-29. <https://doi.org/10.37256/epr.4120243553>
 5. Jomehpour, M., & Behzad, M. (2020). An investigation on shaping local waste management services based on public participation: A case study of Amol, Mazandaran Province, Iran. *Environmental Development*, 35, 100519. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100519>
 6. MehriAhmadi, H. S. H., Mohameda, A. F., & Shamshiria, N. M. E. (2013). Status of waste governance system in Iran-An overview. *World Applied Sciences Journal*, 25(4), 629–636. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.25.04.1371>
 7. Ansari, M., Emamjomeh, M. M., Yousefabad, S. A., Sheikh, M. R., Jamali, H., & Ahmadi, E. (2024). Towards Modern Waste Governance: Reforming Iran's Waste Management Law. *International Archives of Health Sciences*, 11(Special Issue: Policy Briefs), 285–287. <https://doi.org/10.48307/iahsj.2025.521546.1376>
 8. Derakhshandeh, M., & Taleb Beydokhti, T. (2014). Management of landfill locating of urban waste. *European Online Journal of Natural and Social Sciences: Proceedings*, 3(3 (s)), pp-32. <https://european-science.com/eojnss/article/view/1849/pdf>
 9. Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental chemistry letters*, 19(2), 1433-1456. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>
 10. Dabrowska, D., Rykala, W., & Nourani, V. (2023). Causes, types and consequences of municipal waste landfill fires—literature review. *Sustainability*, 15(7), 5713. <https://doi.org/10.3390/su15075713>
 11. Javahershenas, M., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M., & Mahvi, A. H. (2022). The effects of Lahijan landfill leachate on the quality of surface and groundwater resources. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(2), 558-574. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1724984>
 12. Donevska, K., Jovanovski, J., & Gligorova, L. (2021). Comprehensive review of the landfill site selection methodologies and criteria. *Journal of the Indian Institute of Science*, 101, 509–521. <https://doi.org/10.1007/s41745-021-00228-2>
 13. Najafi Saleh, H., Valipoor, S., Zarei, A., Yousefi, M., Baghal Asghari, F., Mohammadi, A. A., & Mousavi Khaneghah, A. (2020). Assessment of groundwater quality around municipal solid waste landfill by using Water Quality Index for groundwater resources and multivariate statistical

- technique: a case study of the landfill site, Qaem Shahr City, Iran. *Environmental geochemistry and health*, 42(5), 1305-1319. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00417-0>
14. Qureshi, S., Shorabeh, S. N., Samany, N. N., Minaei, F., Homae, M., (2021). A new integrated approach for municipal landfill siting based on urban physical growth prediction: A case study mashhad metropolis in Iran. *Remote Sensing*, 13(5), 949. <https://doi.org/10.3390/rs13050949>
 15. Demesouka, O. E., Vavatsikos, A. P., & Anagnostopoulos, K. P. (2013). Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: method, implementation and case study. *Waste Management*, 33(5), 1190–1206. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.030>
 16. Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Jaafarzadeh, N., & Teymouri, P. (2013). Municipal solid waste landfill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: Mahshahr, Iran. *Waste Management & Research*, 31(1), 98–105. <https://doi.org/10.1177/0734242X12456092>
 17. Ghazifard, A., Nikoobakht, S., & Azarafza, M. (2016). Municipal waste landfill site selection based on environmental, geological and geotechnical multi-criteria: A case study. *Iranian Journal of Environmental Technology*, 2(1), 49-67. <https://doi.org/10.22108/ijet.2018.107396.1003>
 18. Adeli, Z., & Khorshiddoust, A. (2011). Application of geomorphology in urban planning: Case study in landfill site selection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 19, 662-667. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.183>
 19. Ahmadi, M., Teymouri, P., Dinarvand, F., & Nabizadeh, R. (2014). Municipal solid waste landfill site selection using AHP & GIS in Abadan, Iran. *Iranian Journal of Health Sciences*, 2(1), 37–50. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jhs.2.1.37>
 20. Khorsandi, H., Faramarzi, A., Aghapour, A. A., & Jafari, S. J. (2019). Landfill site selection via integrating multi-criteria decision techniques with geographic information systems: a case study in Naqadeh, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 191(12), 730. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7863-8>
 21. Balist, J., Nahavandchi, M., & Bidar, G. S. (2021). Landfill Site Selection Using Fuzzy Logic & AHP & WLC (Case study: Razan city-Iran). *Journal of Civil Engineering Frontiers (JoCEF)*, 2(1). <https://doi.org/10.38094/jocef20129>
 22. Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., Javad Amiri, M., & Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 986-996. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014>
 23. Ghiasinejad, H., Ghasemi, M., Pazoki, M., & Shariatmadari, N. (2021). Prediction of landfill leachate quantity in arid and semiarid climate: a case study of Aradkouh, Tehran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(3), 589-600. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02843-5>
 24. Ahmadi, M., Nikseresht, M., Najafi, E., & Morshedi, B. (2020). Landfill site selection using geographic information system and Fuzzy-AHP model: A case study of Ilam township,

Iran. *Journal of environmental health and sustainable development*.
<https://doi.org/10.18502/jehsd.v5i3.4276>

25. Mousavi, S. M., Darvishi, G., Mobarghaee Dinan, N., & Naghibi, S. A. (2022). Optimal landfill site selection for solid waste of three municipalities based on boolean and fuzzy methods: A case study in Kermanshah Province, Iran. *Land*, 11(10), 1779. <https://doi.org/10.3390/land11101779>
26. Pasalari, H., Nodehi, R. N., Mahvi, A. H., Yaghmaeian, K., & Charrahi, Z. (2019). Landfill site selection using a hybrid system of AHP-Fuzzy in GIS environment: A case study in Shiraz city, Iran. *MethodsX*, 6, 1454-1466. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.06.009>
27. Torabi-Kaveh, M., Babazadeh, R., Mohammadi, S. D., & Zaresefat, M. (2016). Landfill site selection using combination of GIS and fuzzy AHP, a case study: Iranshahr, Iran. *Waste Management & Research*, 34(5), 438-448. <https://doi.org/10.1177/0734242X16633777>
28. Fallahizadeh, S., Rahmatinia, M., Mohammadi, Z., Vaezzadeh, M., Tajamiri, A., & Soleimani, H. (2019). Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran. *MethodsX*, 6, 391-398. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.02.013>
29. Saghi, M. H., Nadimi, H., Eslami, A., Alavi Bakhtiarvand, S. N., Oghazyan, A., Setoudeh, S., & Sargolzaei, M. S. (2024). Characteristics and pollution indices of leachates from municipal solid waste landfills in Iranian metropolises and their implications for MSW management. *Scientific Reports*, 14(1), 27285. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78630-w>
30. Mozaffari, M., Bemani, A., Erfani, M., Yarami, N., & Siyahati, G. (2023). Integration of LCSA and GIS-based MCDM for sustainable landfill site selection: A case study. *Environmental monitoring and assessment*, 195(4), 510. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11112-0>
31. Bechrone, W., Kherrou, L., Belaid, L., & Goumrassa, A. (2024). GIS-MCDM integrated approach for suitable landfill site selection: a case study of the southwestern part of Bejaia Province, Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(12), 1262. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13381-9>
32. Sisay, G., Gebre, S. L., & Getahun, K. (2021). GIS-based potential landfill site selection using MCDM-AHP modeling of Gondar Town, Ethiopia. *African Geographical Review*, 40(2), 105-124. <https://doi.org/10.1080/19376812.2020.1770105>
33. Maafa, Z., & Badi, I. (2025). Integrating Multi-Criteria Decision-Making and Geographic Information Systems in Landfill Site Selection: A Comprehensive Review. *International Journal of Sustainable Development Goals*, 1, 289-309. <https://doi.org/10.59543/ijisdg.v1i.15325>
34. Mukomberanwa, N. T., Chaipa, B., & Mutowo, G. (2025). GIS-Integrated Analytical Hierarchy Process (AHP) for optimal landfill site selection in Kadoma City, Zimbabwe. *Sustainable Environment*, 11(1), 2557727. <https://doi.org/10.1080/27658511.2025.2557727>
35. Shukor, A. A. H. M., Ishak, N. M., Salleh, S. A., & Othman, F. (2024, March). Waste management: Landfill selection using GIS and analytical hierarchy process. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1316, No. 1, p. 012003). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1316/1/012003>

36. Elshaboury, N., M. AlMetwaly, W., Ali, E., & EE Eltoukhy, A. (2025). Sustainable Landfill Site Selection for Construction and Demolition Waste Using Magnitude-Based Fuzzy AHP and GIS Technologies. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 9(1), 27. <https://doi.org/10.1007/s41651-025-00227-2>
37. Moumane, A., Al Karkouri, J., & Batchi, M. (2025). Utilizing GIS, remote sensing, and AHP-multi-criteria decision analysis for optimal landfill site selection in Kenitra Province, Morocco: a step towards sustainable development goals. *Discover Environment*, 3(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00183-0>
38. Chang, N. B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.011>
39. Abessi, O., & Saeedi, M. (2010). Hazardous waste landfill siting using GIS technique and analytical hierarchy process. *EnvironmentAsia*, 3(2), 69-78. <https://doi.org/10.14456/EA.2010.26>
40. Environmental Protection Agency. (1996). *Solid waste disposal facility criteria: Technical manual* (EPA/530/R-93/017). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.osti.gov/biblio/5495829>