Original Article
Journal of Natural Environment 75(3): 445-459 (2022)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

مقاله کامل
نشریه محیط زیست طبیعی
دوره ۷۵، شماره ۳: ۴۴۵-۴۵۹ (۱۴۰۱)

بررسی قابلیت مناطق بیابانی اردکان به‌منظور دفع پسماند صنایع با استفاده از روش سلسله‌مراتبی

محسن افتخاری‌پور[۱]، محمدجواد قانعی بافقی[۲*]، مهدی تازه[۲]، محمدرضا فاضل پورعقدایی[۳]

[۱]گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
[۲]گروه مهندسی طبیعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
[۳]ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷**

چکیده

با رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی و به دنبال آن پیشرفت سریع صنعت، یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که در کنار مسائل و مشکلاتی محیط‌زیستی مدیران شهری را به‌خود مشغول ساخته است، مدیریت بهینهٔ پسماندهای صنعتی می‌باشد. هدف از این مطالعه، بررسی قابلیت مناطق بیابانی به‌منظور دفع پسماند صنایع شهرستان اردکان است که در سال ۱۳۹۹ انجام شد. برای رسیدن به این هدف از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. معیارهای انتخابی شامل ویژگی‌های خاک‌شناسی شامل درصد رس و درصد شن، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، فاصله از منابع آب، فاصله از نواحی چهارگانه محیط‌زیستی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، سطح آب زیرزمینی، شیب و فاصله از گسل بود. پرسشنامه توسط ۳۰ خبره تکمیل شد و از نرم‌افزار اکسپرت چویس استفاده شد. بعد از تعیین وزن معیارها، با استفاده از نرم افزار Arc GIS همپوشانی فازی لایه‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که کاربری اراضی بیشترین وزن و سهم را در ارزیابی قابلیت اراضی جهت دفع پسماند دارد وبه دنبال آن، معیار شیب، فاصله از منابع آب تراکم جمعیت و سطح تراز آب و خاک‌شناسی به‌ترتیب بیشترین وزن‌ها را به‌خود اختصاص داده‌اند. در نهایت، نقشهٔ قابلیت اراضی به پنج کلاس تقسیم شد. قسمتی از مناطق در غرب، محدودهٔ کوچکی از مرکز و بخشی نواحی شرقی در مجموع به مساحت ۷۶۹/۲۱ کیلومتر مربع دارای بهترین پتانسیل جهت دفع پسماند می‌باشد که حدود ۶ درصد از کل مساحت شهرستان اردکان را شامل می‌شود. نتایج نشان داد ویژگی‌های خاص مناطق بیابانی مانند اراضی با پوشش ضعیف و بایر مهمترین ویژگی این مناطق در زمینهٔ قابلیت دفع پسماند است و روش تحلیل سلسله‌مراتبی توأم با همپوشانی فازی می‌تواند مناطق مناسب برای دفع پسماند را در حد قابل قبول مشخص کند.

کلید واژگان: AHP، عضویت فازی، هم‌پوشانی فازی، روش گاما

*نویسنده مسئول mjghaneib@ardakan.ac.ir

مقدمه

اراضی بیابانی به‌لحاظ گستردگی و تراکم پایین جمعیت و فواصل دور بین شهرها، هدف توسعهٔ صنایع قرار گرفته است و به‌دنبال آن ضایعات حاصل از صنایع در این اراضی باید دفع گردد. با توجه به شرایط حاکم بر این عرصه‌ها از نظر وضعیت بوم‌شناختی و اقلیمی آن، مکان‌یابی محل دفع مناسب این پسماندها، برای کنترل انتشار آلودگی‌ها ضروری است. رشد سریع فناوری دست‌یابی به فرآیندهای جدید تولید، جایگزینی مواد مصنوعی و ترکیبات شیمیایی، باعث افزایش حجم پسماندهای صنعتی و در برخی موارد باعث تولید پسماندهای خطرناک شده است. جابجایی، انتقال و دفع نامناسب پسماندهای صنعتی مشکلات زیادی را برای انسان و جامعهٔ شهری فراهم می‌کند. امروزه یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های محیط‌زیستی در جهان، ساماندهی مدیریت و دفع مناسب پسماند صنایع به‌خصوص پسماند خطرناک می‌باشد

مدیریت پسماند یا مدیریت چرخهٔ مواد، یکی از محورهای اصلی توسعهٔ پایدار است و بی‌توجهی در این زمینه، خسارت جبران‌ناپذیری به اکوسیستم‌های طبیعی خصوصاً اراضی بیابانی وارد خواهد کرد. اراضی بیابانی به لحاظ استقرار اکوسیستم خشک و شکننده تأثیرپذیری بیشتری نسبت به اراضی موجود در اقلیم‌های مرطوب‌تر دارند و با توجه به اینکه بسیاری از صنایع عامل انتشار آلودگی‌های جدید و در بعضی موارد سبب انتشار آلاینده‌هایی مثل مواد سرطان‌زا و سمی در محیط هستند، عدم توجه به عواقب انتشار این آلودگی‌ها در اراضی بیابانی سبب تخریب منابع حیات این اراضی شده و برگشت‌پذیری آن به مراتب کندتر از سایر مناطق است.

مناطق بیابانی و کویری از مهم‌ترین بوم‌های ایران می‌باشند که نه‌تنها بخش قابل توجهی از مساحت کشور را در بر می‌گیرند بلکه بر دیگر بوم‌ها نیز اثر می‌گذارند. این مناطق برخلاف تصور ظاهری، پتانسیل‌های تولیدی متنوعی دارند که اگر به درستی شناخته شوند و مورد بهره‌برداری قرار گیرند در جهت توسعهٔ پایدار این مناطق گام‌های مفیدی برداشته خواهد شد و نباید از این مناطق در برنامه‌ریزی‌های کلان مدیریت کشور غافل شد. با توجه به این که اکوسیستم مناطق خشک و بیابانی به‌دلیل بارندگی کم و محدودیت‌های خاک، بسیار حساس و شکننده می‌باشد، توجه به پوشش گیاهی که خود را به شرایط سازگار نموده‌اند و حفظ اکوسیسم این مناطق، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در دهه‌های اخیر با توسعهٔ فعالیت‌های صنعتی و معدنی خصوصاً در استان یزد تخریب و تهدید اکوسیستم‌های بیابانی شدت گرفته است. از جمله تهدیدهای صنایع موجود در شهرستان اردکان حجم بالای پسماندهای خشک و تخلیهٔ آن در مناطق همجوار کارخانه‌ها می‌باشد. به‌دلیل اینکه اکثر محل‌های تخلیه پسماندها بدون مکان‌یابی فنی و فقط به لحاظ هزینه کمتر در مناطق نزدیک و بعضاً مجاور مناطق مسکونی انجام می‌شود، می‌تواند منشأ تهدید در آینده باشد؛ چرا که این مناطق پتانسیل تبدیل به کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و یا در صورت تجمع آب باران و شستشوی املاح می‌تواند تهدیدی برای منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه باشد.

پسماندهای صنعتی تنوع بالایی داشته و به‌صورت جامد، نیمه‌جامد و مایع وجود دارند (Bagchi *et al*., 2004)؛ لذا کنترل مؤثر و اعمال یک مدیریت صحیح پسماندهای صنعتی برای بهداشت و مدیریت منابع، از اهمیت خاصی برخوردار است (Mehdi Nia and Behroush, 2016). بررسی قابلیت و استعداد اراضی بیابانی و امکان‌سنجی دفع پسماند صنایع در این اراضی لازمهٔ مدیریت پسماند است. Rezaei و همکاران (۲۰۰۷)، در پژوهشی مناسب‌ترین مکان جهت دفع زباله و پیشنهاد رویهٔ مدیریت مطلوب دفع پسماندهای جامد شهر جدید هشتگرد را بررسی کردند. پس از هم‌پوشانی لایه‌های مکانی، سه منطقه با بیشترین پارامتر مورد نظر انتخاب و از این میان منطقه‌ای واقع در جنوب شهر جدید هشتگرد به مساحت تقریبی ۱۶۳ هکتار با بیشترین پارامتر مناسب به‌عنوان بهترین مکان جهت عملیات دفع پیشنهاد گردید (Rezaei *et al*., 2007).

Firoozi و Amanpour (۲۰۱۱)، در تحقیقی به مکان‌یابی محل دفع پسماندهای شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شهر لامرد پرداختند. مهم‌ترین نتیجهٔ این تحقیق در این موضوع خلاصه می‌شود که با استفاده از داده‌ها و اطلاعات گردآوری شده و نرم‌افزار GIS و مدل AHP(فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی چند معیاره) اقدام به مکان‌یابی محل مناسب دفع بهداشتی پسماند تولیدی در شهر لامرد شده است و از ۵ مکان پیشنهادی جهت دفع بهداشتی زباله، بهینه‌ترین مکان انتخاب گردیده است (Firoozi and Amanpour, 2011). Donevska و همکاران (۲۰۱۲)، در پژهشی با عنوان انتخاب مکان دفع پسماند بدون مخاطرهٔ منطقه‌ای، با ادغام منطق فازی AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی، به‌منظور مکان‌یابی سایت دفع پسماند بدون مخاطره‌آمیزی در منطقهٔ پولوگ مقدونیه را انجام دادند. نظریهٔ مجموعه فازی برای استانداردسازی معیارها با استفاده از توابع مختلف عضویت فازی و AHP برای تعیین اهمیت نسبی معیارها استفاده شد. نتایج نشان داد که با استفادهٔ هم‌زمان از نظریهٔ مجموعه فازی و AHP امکان افزایش انتخاب محل دفن زباله‌های منطقه‌ای وجود دارد (Donevska *et al*., 2015). Karimzadeh Motlagh و Sayadi (۲۰۱۵)، با هدف ارائه ارزیابی چند معیاره (MCE) برای انتخاب محل دفن زباله در دشت بیرجند از پارامترهایی مانند عوامل محیطی و اجتماعی–اقتصادی استفاده کردند. عواملی مانند شیب، منابع آب، پارامترهای خاک، کاربری اراضی، گسل و مناطق حفاظت شده در مدل معیارهای موثر محیطزیستی و عواملی مانند فاصله از جاده، مناطق شهری، روستا، فرودگاه، مکان تاریخی و صنایع در مدل معیارهای اقتصادی–اجتماعی بررسی و با استفاده از مدل‌های ترکیبی خطی وزنی (WLC) و فرآیند شبکهٔ تحلیلی (ANP) ترکیب و با توجه به میانگین وزنی مرتب شده (OWA) و کمیت کننده زبانی فازی (LQ) جمع شدند (Karimzadeh Motlagh and Sayadi, 2015).

Mirabadi و Abdi Qaleh (۲۰۱۷)، به مکان‌یابی دفع پسماند شهرستان بوکان با استفاده از منطق بولین و مدل سلسله‌مراتبی (AHP) پرداختند. معیارهای مکان‌یابی شامل خطوط ارتباطی، فاصله از نقاط روستایی و شهری، حریم آب‌های سطحی، فاصله از گسل، کاربری زمین، شیب و جهت شیب بود، با استفاده از منطق بولین و وزن‌گذاری لایه‌ها به‌وسیله مدل AHP در نرم‌افزار GIS اقدام نموده و در نهایت به انتخاب بهترین مکان جهت دفع پرداختند (Mirabadi and Abdi Qaleh, 2017). Zareei و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی به‌منظور مکان‌یابی بهینهٔ محل دفع مواد زائد جامد شهری شهر قروه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداختند. آن‌ها پس از استخراج لایه‌های اطلاعاتی، معیارها از روی نقشه‌ها و اولویت‌بندی محدوده‌های مکان‌یابی به این نتیجه رسیدند که پهنه‌های اولویت‌دار قابل توجهی جهت دفع پسماند در شهرستان قروه وجود دارند که محدوده‌ای با مساحت ۲۱۰ هکتار به‌عنوان مناسب‌ترین پهنه انتخاب کردند (Zareei *et al*., 2020). Rezaei Sabzevar و همکاران (۲۰۲۰) ، در یک بررسی مروری مهم‌ترین روش‌های بکارگرفته شده برای مکان‌یابی نقاط مناسب دفن را ترکیب خطی وزنی (WLC)، میانگین وزنی مرتب شده (OWA)، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (F-AHP)، TODIM، TODIM فازی، فرآیند شبکهٔ تحلیلی (ANP) هستند. فرآیند شبکهٔ تحلیلی فازی (F-ANP) و نظریهٔ سیستم‌های خاکستری عنوان شد و بیان نمودند که مهم‌ترین فاکتورهایی که به‌طور گسترده در انتخاب مکان‌های دفع پسماند شامل عمق آب زیرزمینی، سرعت جریان آب سطحی، ارتفاع، شیب زمین، نفوذپذیری خاک، سیل‌خیزی، گسل، کاربری زمین، جهت باد، جاده دسترسی و غیره بود (Rezaei Sabzevar *et al*., 2021). Yousefi Roobiat و همکاران (۲۰۲۱)، با هدف ارزیابی محل مناسب دفن پسماندهای صنعتی غیرویژه شهرک صنعتی بیرجند با تکیه بر ضوابط سازمان حفاظت محیط زیست و وزارت نیرو در

محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ۸ معیار محیطزیستی، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، اقلیمی، زیرساختی و اقتصادی–اجتماعی را عنوان معیارهای اصلی در قالب ۲۶ زیرمعیار در نظر گرفتند (Yousefi Roobiat *et al*., 2021).

شناسایی و اولویت‌بندی مناطقی که از لحاظ فنی کمترین تهدید و خطر را برای اکوسیستم و سلامت ساکنین داشته باشد از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به وضعیت موجود در مناطق بیابانی اطراف اردکان خصوصاً در شهرک‌های صنعتی در حال گسترش در حاشیهٔ این شهر هدف از این مطالعه ۱) ارزیابی قابلیت اراضی بیابانی برای دفع پسماند ناشی از صنایع موجود در اطراف این شهر و ۲) مکان‌یابی پهنه‌های مناسب برای محل دفع پسماند صنایع می‌باشد. این امر می‌تواند در راستای برنامه‌ریزی توسعه‌ای مناطق خشک با هدف حفظ سلامت محیطزیست و ساکنین آن مؤثر باشد.

مواد و روش ها

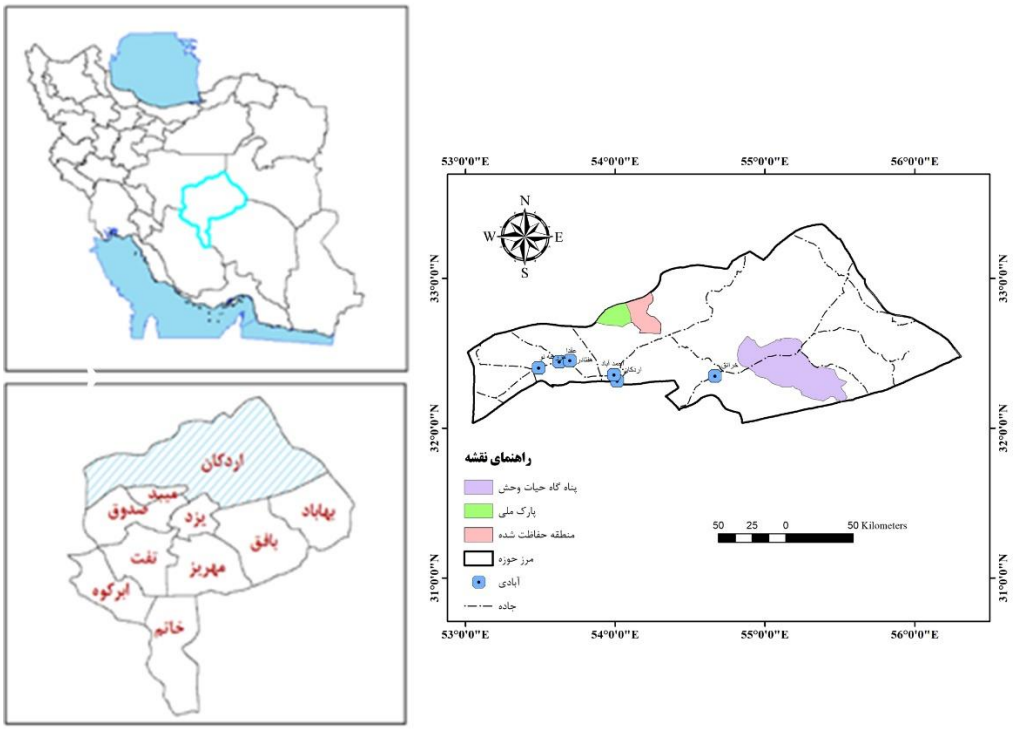
منطقهٔ مورد مطالعه: شهرستان اردکان در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۰۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه تا ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). از نظر توپوگرافی، بخش عمدهٔ شهرستان با خط تراز تقریبی ۱۵۰۰ متر محدود می‌شود. تنها حدود ۵٪ مساحت شهرستان کوهستانی بوده و ارتفاع متوسط شهرستان از سطح دریا ۱۲۳۴ متر است. این منطقه دارای متوسط بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر در سال و متوسط دمای سالانه ۱۹/۲ درجه سانتی‌گراد در سال است. اردکان به‌عنوان قطب فولاد (منطقهٔ ویژهٔ اقتصادی فولاد) در نظر گرفته شده است و از بزرگ‌ترین کارخانجات در حوزهٔ فولاد و سایر صنایع در حال راه‌اندازی هستند. همچنین به‌عنوان قطب صنعت کاشی و سرامیک ایران نیز می‌باشد. در سایهٔ همین صنعتی شدن، آمار مهاجرت به شهرستان اردکان نیز افزایش یافته به‌نحوی که اردکان با رشد ۴/۷۲ درصدی، بیشترین میزان رشد جمعیت را در کشور از آن خود کرده است (شکل ۱).

در این پژوهش جهت تعیین قابلیت اراضی محدودهٔ مورد مطالعه برای دفع پسماند از روش AHP استفاده شد. در روش AHP هریک از گزینه‌ها بر اساس فاکتورها و معیارها، به روش مقایسهٔ زوجی ارزیابی و وزن‌دهی می‌شود.

مقایسه دو به دو با استفاده از مقیاسی که از ترجیح یکسان تا بی‌اندازه مرجح طراحی شده، انجام می‌گیرد. با این روش، ارزیابی فاکتورهای کیفی، با مقیاس یکسان به‌صورت کمّی قابل مقایسه می‌شوند. در مقایسهٔ گزینه‌ها، ارجحیت عنصر، قضاوت می‌شود و در مقایسهٔ فاکتورها و معیارها، اهمیت آن‌ها قضاوت می‌شود. معیارهای مورد بررسی در مطالعهٔ حاضر که حاصل بررسی منابع و تحقیقات پیشین است، شامل ویژگی‌های خاک، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، فاصله از مابع آب، فاصله از نواحی چهارگان، فاصله از آبراه، فاصله از جاده، سطح آب زیرزمینی، شیب وفاصله ازگسل (Firoozi and Amanpour, 2011; Taghvaei *et al*., 2012; Khaleghi, 2017) بود. تجربه نشان داده است که استفاده از این مقیاس، تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد تا مقایسه‌ها را به گونه‌ای مطلوب انجام دهد (Firoozi and Amanpour 2011). ابتدا با بررسی تحقیقات صورت گرفته در این زمینه معیارهای اصلی مؤثر در این زمینه تعیین گردید. برای مقایسه و امتیازدهی لازم است تا پرسشنامه‌های AHP که شامل ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی است، توسط کارشناسان تکمیل شود. در پژوهش حاضر، تعداد ۱۵ پرسشنامه توسط کارشناسان صاحب‌نظر و خبره تکمیل گردید. پس از نهایی شدن قضاوت‌ها، وزن نسبی[1] یعنی وزن حاصل از هر ماتریس مقایسهٔ زوجی و وزن نهایی[2] یعنی رتبهٔ نهایی هر گزینه که عبارت است از مجموع حاصل‌ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها، محاسبه شد. در محاسبهٔ مراحل مختلف روش سلسله مراتبی از نرم‌افزار

[1]Local Priority

[2]Overall Priority



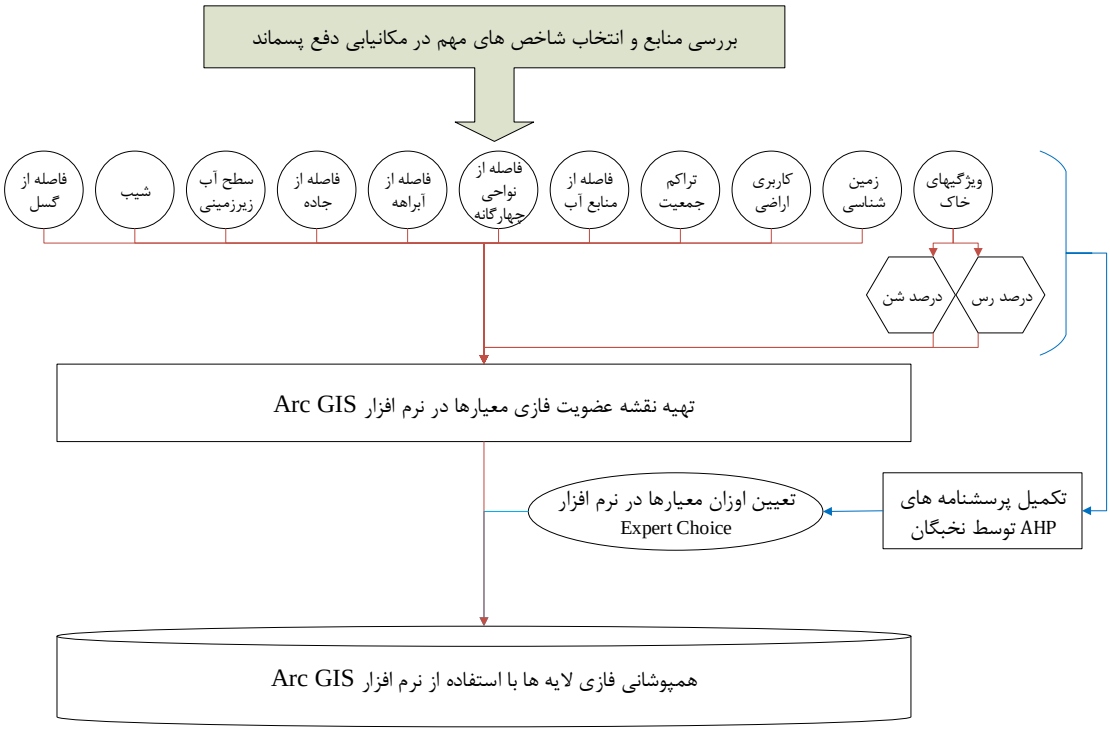
شکل ۱- موقعیت جرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه.

Expert Choice نسخهٔ ۱۱ استفاده شد.

ابتدا فاکتورها و معیارها در نرم‌افزار تعریف و درخت سلسله‌مراتبی ترسیم شد. در مرحلهٔ بعد افرادی که مورد پرسش قرار گرفته بودند، در جدول شرکت‌کنندگان[3] تعریف و قضاوت‌های هر فرد وارد و با کنترل نرخ ناسازگاری، وزن‌های نسبی محاسبه شد. در نهایت با استفاده از دستور ترکیب قضاوت‌های پاسخ‌گوها[4]، وزن‌های نسبی محاسبه شده، ترکیب و وزن نهایی گزینه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها به‌دست آمد. نکتهٔ مهم در محاسبهٔ وزن نهایی، انتخاب حالت تلفیق برای محاسبهٔ وزن نهایی است. این نرم‌افزار دو حالت را برای این امر در نظر می‌گیرد، حالت ایده‌آل[5] و حالت توزیعی[6]. تفاوت این دو روش در نحوهٔ محاسبه وزن نهایی است، هرچند که در ۹۲ درصد اوقات، نتیجهٔ هر دو روش یکسان است (Ghodsipoor, 2019). بنابارین، چنانچه اولویت‌بندی گزینه‌ها مد نظر باشد و همچنین گزینه‌ها از یک جنس و مشابه هم نباشند، از مدل توزیعی استفاده می‌شود (Ghodsipoor, 2019). از این‌رو در تحقیق حاضر، از مدل توزیعی برای محاسبهٔ نتیجه نهایی استفاده شد، هرچند که نتایج حاصل از هر دو روش یکسان به‌دست آمد.

بعد از تعیین اوزان معیارها، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS همپوشانی فازی لایه‌ها انجام شد. معیارهای انتخابی به‌منظور تعیین مهمترین معیارها برای دفع پسماند عبارت‌اند از ویژگی‌های خاک‌شناسی (درصد رس و درصد شن)، زمین شناسی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، فاصله از منابع آب، فاصله از نواحی چهارگانه محیط‌زیستی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، سطح آب زیرزمینی، شیب و فاصله از گسل. در مبحث مکان‌یابی به زمین‌شناسی، نوع و ضخامت آبرفت از نظر نفوذپذیری توجه می‌شود، علت این امر نیز احتمال نفوذ شیرابه حاصل از پسماندها به داخل آب و خاک منطقه می‌باشد. شایان ذکر است که غیر قابل نفوذ بودن مطلق سنگ بستر نیز ممکن است مطلوب نباشد، چرا که با وجود عدم آلودگی آب‌های زیرزمینی، امکان آلودگی آب‌های سطحی وجود دارد که این مشکل را باید با مدیریت صحیح حل نمود. برای کمی‌سازی نقشهٔ کاربری‌اراضی به هر

[3]Participants Table
[4]Combine Participant's Judgment
[5]Ideal Mode
[6]Distributive Mode



شکل ۲ – نمودار جریانی تحقیق.

کاربری امتیازی بین یک تا چهار داده شد. هر چه کاربری برای دفع پسماند مناسب‌تر بود امتیاز بیشتری گرفت.

در پایان با استفاده از عملیات هم‌پوشانی فازی[7] در نرم افزار ARC GIS نقشهٔ قابلیت اراضی در دفع پسماند در شهرستان اردکان محاسبه و ترسیم شد. بدین منظور پس از تشکیل نقشه‌های عضویت فازی مربوط به هر یک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها، لایه‌ها در وزن‌های به‌دست آمده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی ضرب و سپس با استفاده از عملگر فازی اُمِگا [8] با یکدیگر ترکیب شدند. عمل‌گر فازی اُمِگا از حاصل‌ضرب عمل‌گرهای ضرب و جمع فازی به صورت رابطهٔ ۱ تعریف می‌شود.

رابطهٔ (۱)

$$\mu(x) = ((\text{Fuzzy Algebric Sum})^{\gamma} * (\text{Fuzzy Algebric Product})^{1-\gamma}$$

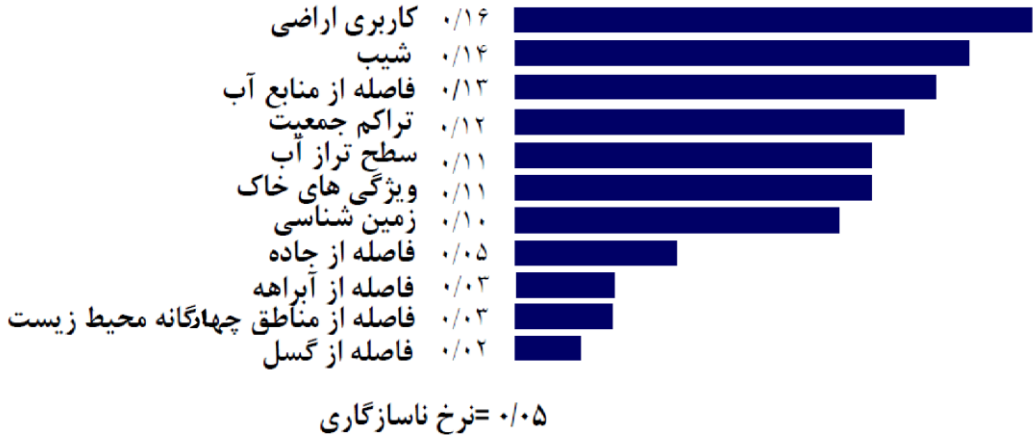
در این رابطه γ: عددی بین صفر تا یک می‌باشد. انتخاب صحیح و آگاهانه γ، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهندهٔ سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات کاهشی ضرب فازی و گرایشات افزایشی جمع فازی می‌باشد (Bonham-Carter, 1994). در این تحقیق γ=۰/۹ در نظر گرفته شد.

پس از تهیه لایهٔ نهایی، با استفاده روش شکست طبیعی[9] در نرم افزار Arc GIS نقشه کلاس‌بندی و پنج کلاس قابلیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد. شکل ۲، نمودار جریانی تحقیق را نشان می‌دهد.

نتایج

اوزان معیارها: با توجه به شکل ۳، کاربری اراضی بیشترین وزن و سهم را در ارزیابی قابلیت اراضی جهت دفع پسماند دارد. پس از کاربری اراضی، شیب، فاصله از منابع آب، تراکم جمعیت، سطح تراز آب و خاک‌شناسی به‌ترتیب بیشترین وزن‌ها را به‌خود اختصاص داده‌اند. کم‌ترین وزن و اهمیت مربوط به فاصله از گسل می‌باشد. معیار ویژگی‌های خاک خود از دو زیرمعیار درصد شن و رس تشکیل شده است که نتایج وزن‌دهی نشان داد که درصد رس دارای اهمیتی تقریباً دو برابر اهمیت درصد شن جهت ارزیابی قابلیت دفع پسماند

[7]Fuzzy Overlay
[8]Fuzzy Operation Gamma
[9]Natural break method



شکل ۳- مقایسهٔ زوجی و محاسبهٔ وزن شاخص‌های دفع پسماند.

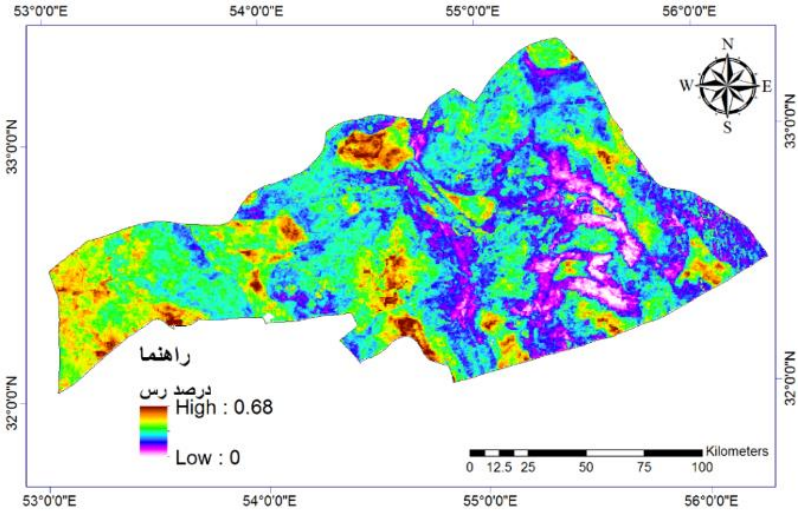
دارد. وزن هر یک از شاخص‌ها با استفاده از نتایج پرسشنامه‌های مقایسهٔ زوجی محاسبه گردید. شکل ۳، مقایسهٔ زوجی و محاسبهٔ وزن شاخص‌های مؤثر در قابلیت مناطق بیابانی به‌منظور دفع پسماند و اولویت‌بندی آن‌ها را نشان می‌دهد.

نقشه‌های فازی: دانه‌بندی خاک در منطقه، در دفع پسماند بسیار مهم است زیرا نسبت درصد ذرات سه گانهٔ مزبور تعیین کنندهٔ ویژگی تراوائی خاک به‌شمار می‌آید. به این معنا که هر چه درصد شن در ساختار خاک منطقه بیشتر باشد، میزان نفوذپذیری آن بیشتر می‌گردد و در مقابل افزایش درصد رس در خاک نه‌تنها از میزان نفوذپذیری آن می‌کاهد بلکه به‌علّت وجود کلوئیدها به‌نحو مؤثری در تبادلات کاتیونی شرکت داشته و زمینه‌ساز پدیدهٔ فیلتراسیون جریانات سیالی می‌گردد. در این پژوهش معیار خاک‌شناسی از دو زیر معیار درصد شن و درصد رس تشکیل شده است. لازم به ذکر است که نواحی که دارای بیشترین درصد رس بوده‌اند بیشترین وزن را به خود گرفته‌اند. نتایج نقشهٔ عضویت فازی درصد رس نشان داد که مناطق غربی شمالی و جنوبی دارای بیشترین وزن و مناطق مرکزی و شرقی شهرستان اردکان دارای کمترین وزن می‌باشند (شکل ۴). نتایج بررسی شکل ۵ نشان می‌دهد هر کجا درصد شن کمتری وجود دارد وزن بیشتری دریافت کرده است. الگوی پراکنش وزن در نقشهٔ درصد رس و شن شبیه به هم است با این تفاوت که مناطق با وزن بیشتر در غرب، شمال و جنوب تمرکز پیدا کرده‌اند (شکل ۵).

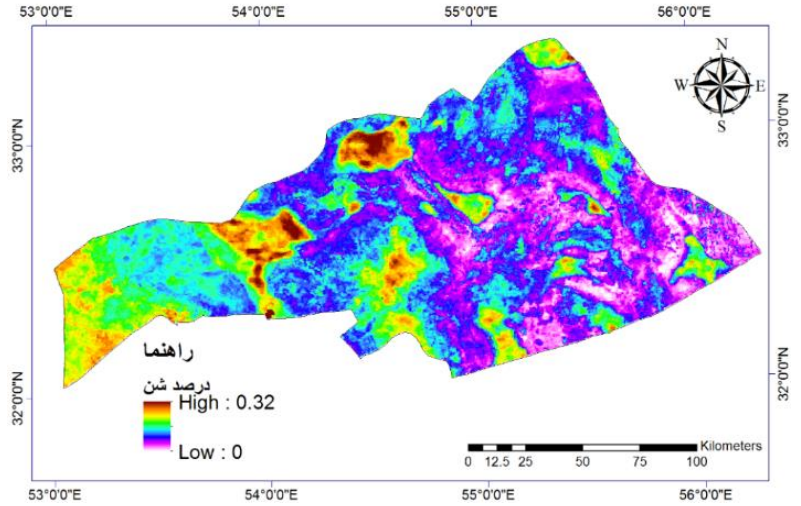
به‌منظور تهیه نقشهٔ فازی زمین‌شناسی، به سازندهای مختلف زمین‌شناسی امتیازی از یک تا چهار داده شد (جدول ۱) (Shahinfar and Motamedi, 2020; Khiyabani *et al.*, 2019). با توجه به نقشهٔ فازی زمین‌شناسی (شکل ۶) نتایج نشان داد که نواحی مرکزی و شرقی بیشترین امتیاز را به‌خود اختصاص دادند.

نقشهٔ کاربری اراضی بر اساس امتیازات جدول ۲ طبقه بندی گردید. بعد از تهیه نقشه، امتیازدهی کاربری مشخص شد که با توجه اینکه اراضی بایر و مراتع ضعیف بخش عمده ای از کاربری‌های شهرستان اردکان را شامل می‌شوند، اکثر نواحی محدودهٔ مورد مطالعه از نظر کاربری اراضی دارای وزن بالایی می‌باشند (شکل ۷).

به‌دلایل حفاظتی و محیطزیستی نواحی دفع پسماند باید به دور از مراکز جمعیتی و نواحی دارای تراکم جمعیت باشد. بنابراین هرچه تراکم جمعیت در یک ناحیه بیشتر باشد امتیاز کمتری می‌گیرد. در این نقشه (شکل ۸) مراکز جمعیتی که کمترین امتیاز را گرفته‌اند به‌خوبی دیده می‌شوند. منابع آب که شامل قنات، چاه و چشمه است باید از تهدید منابع آلودگی در امان باشد.



شکل ٤- نقشهٔ عضویت فازی درصد رس.

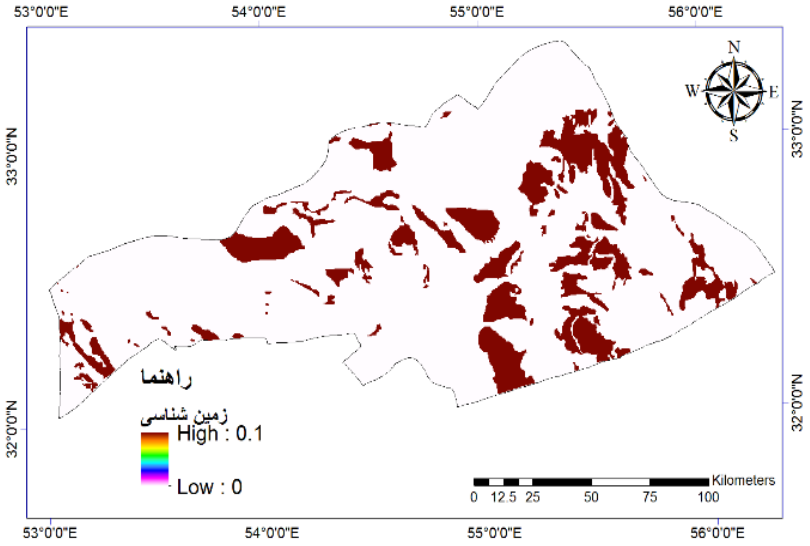


شکل ٥- نقشه عضویت فازی درصد شن.

جدول ۱- امتیاز واحدهای سنگ‌شناسی جهت تلفیق.

کلاس	امتیاز	سازند
کاملاً نامناسب	۱	تناوب کنگلومرا و ماسه سنگ دانه‌درشت تراورتن سنگ آهک دولومیتی تناوب کنگلومرای سخت نشده، آبرفت‌های کواترنر.
نامناسب	۲	سنگ آهک با درون لایه‌های مارنی تناوب ماسه سنگ و شیل تناوب مارن و ماسه سنگ-کنگلومرا سنگ آهک و کوارتزیت تناوب شیل سنگ آهک نازک لایه.
مناسب	۳	تناوب کنگلومرا، مارن و مارن سیلتی تناوب توف و ماسه سنگ و شیل تناوب شیل‌های آهکی تیره تناوب شیل و ماسه سنگ و آهک.
کاملاً مناسب	۴	شیل و مارن، بازالت و توف‌های آندزیتی و جریانی، گارنت و دیاباز، آندزیت و بازالت.

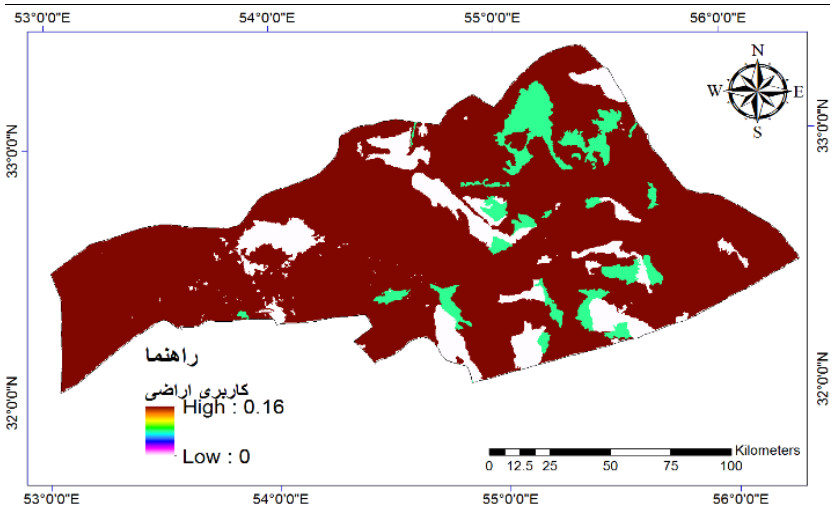
در نتیجه نواحی مناسب دفع پسماند باید بیشترین فاصله را از منابع آب داشته باشد. نتایج نشان داد که شمالی‌ترین و شرقی‌ترین نواحی شهرستان اردکان دارای بیشترین وزن و دیگر نواحی به تناسب فاصله از منابع آب دارای امتیار کمتری می‌باشند (شکل ۹). مناطق چهارگانهٔ محیط‌زیست، مناطق با ارزشی به شمار می‌روند که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران مدیریت می‌شوند. این مناطق جز ذخایر زیست‌کره هستند و حفاظت از آن‌ها مهم می‌باشد. درنتیجه منابع آلودگی باید حداکثر فاصله ممکن را از آن‌ها داشته باشند (شکل ۱۰).



شکل ٦- نقشهٔ عضویت فازی زمین‌شناسی.

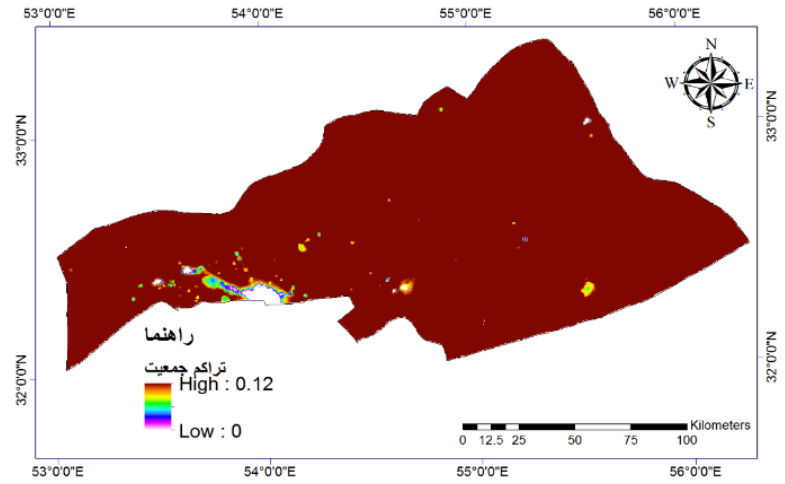
جدول ۲- امتیاز واحدهای کاربری اراضی جهت تلفیق (Shayan *et al.*, 2018; Taghavimoghadam *et al.*, 2021).

کلاس	امتیاز	کاربری
کاملاً نامناسب	۱	اراضی کشاورزی زراعی باغی، مناطق مسکونی و اراضی مرطوب.
نامناسب	۲	مراتع متوسط تا قوی.
مناسب	۳	تپه ماسه‌ای، مراتع ضعیف.
کاملاً مناسب	۴	اراضی بایر.

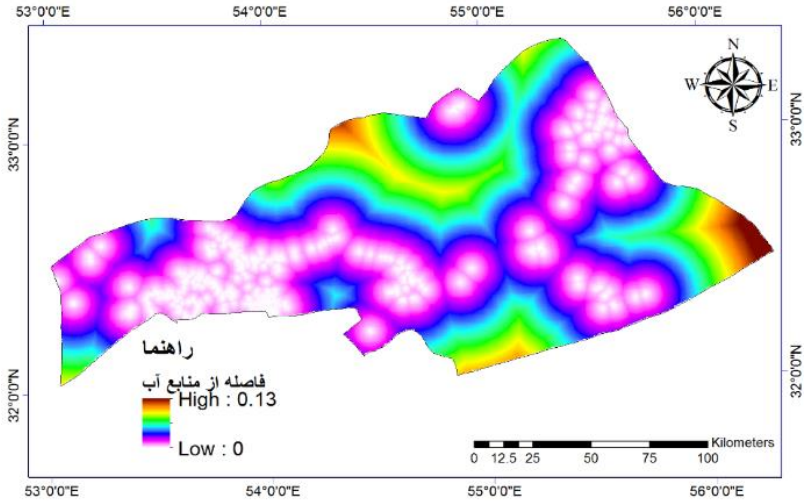


شکل ۷- نقشه عضویت فازی کاربری اراضی

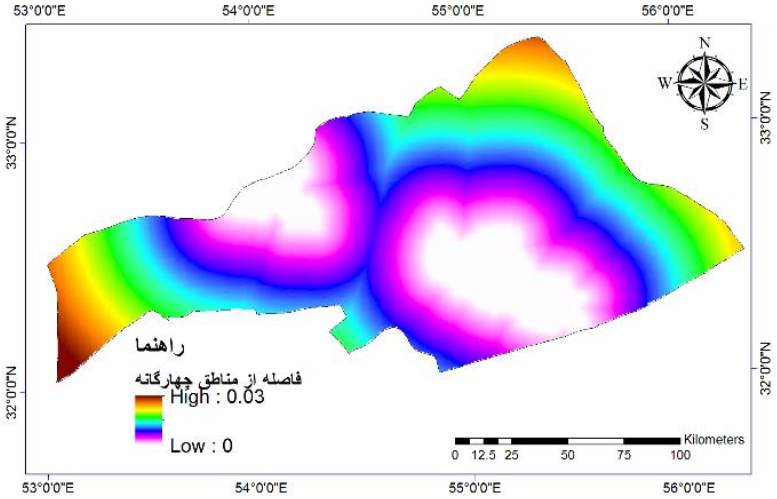
با توجه به خطر آلودگی آب‌های سطحی، محل دفع پسماند می‌بایست در فاصلهٔ مناسبی از آبراهه قرار داشته باشد. نواحی مرکزی به طرف شرق دارای بیشترین امتیاز در معیار فاصله از آبراهه می‌باشد (شکل ۱۱). در مورد دسترسی به راه‌ها از یک طرف بهتر است مکان دفع پسماند دارای راه اصلی و جاده باشد و به راه‌های موجود نیز نزدیک باشد و از طرف دیگر باید حداقل ۵۰۰ متر از جاده فاصله داشته باشد تا بوی نامطبوع اثر منفی بر رانندگان نگذارد. در این پژوهش تا فاصله ۵۰۰ متری جاده کمترین امتیاز و از ۵۰۰ متر به بعد با دور شدن از جاده امتیاز افزایش پیدا کرد. محافظت آب‌های زیرزمینی در برابر نشت شیرابه از مهم‌ترین اقدامات تعیین مکان دفع پسماند می‌باشد (شکل



شکل ۸- نقشهٔ عضویت فازی تراکم جمعیت.



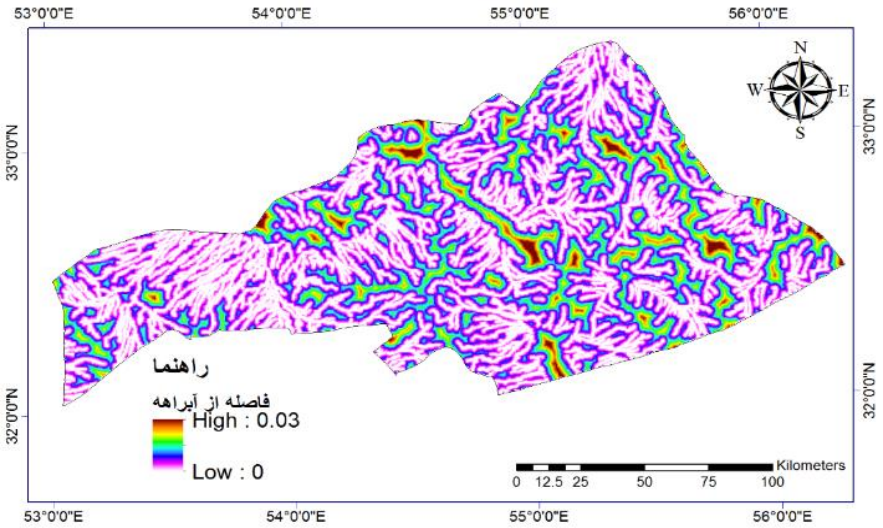
شکل ۹- نقشهٔ عضویت فازی منابع آب.



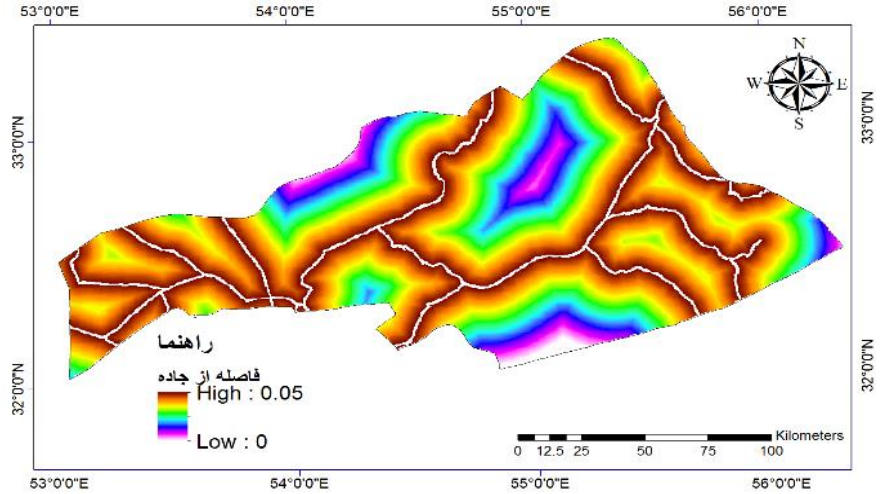
شکل ۱۰- نقشهٔ عضویت فازی مناطق چهارگانهٔ محیط‌زیست.

۱۲). پتانسیل آلوده‌سازی آب‌های زیرزمینی توسط شیرابه بستگی فراوان به وضعیت فیزیکی محل دفع، خلل و فرج خاک در منطقه، تهویه (یا غیر اشباع) و محل استقرار سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دارد. بهترین منطقه از نظر عمق سطح آب زیرزمینی، منطقه‌ای است که بیشترین عمق را داشته باشد (شکل ۱۳).

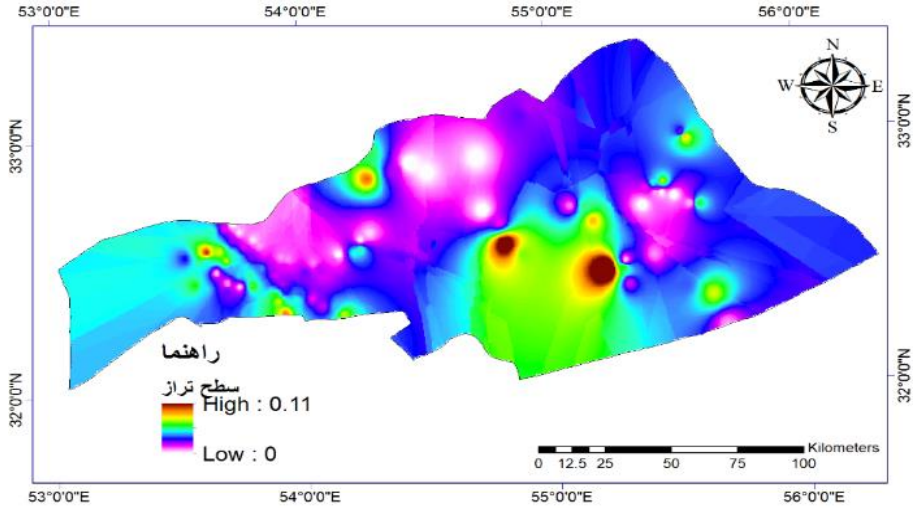
یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مکان‌یابی صحیح محل دفع پسماند، شیب منطقه است. زیرا بر نوع عملیات،



شکل ۱۱- نقشهٔ عضویت فازی فاصله از آبراهه.

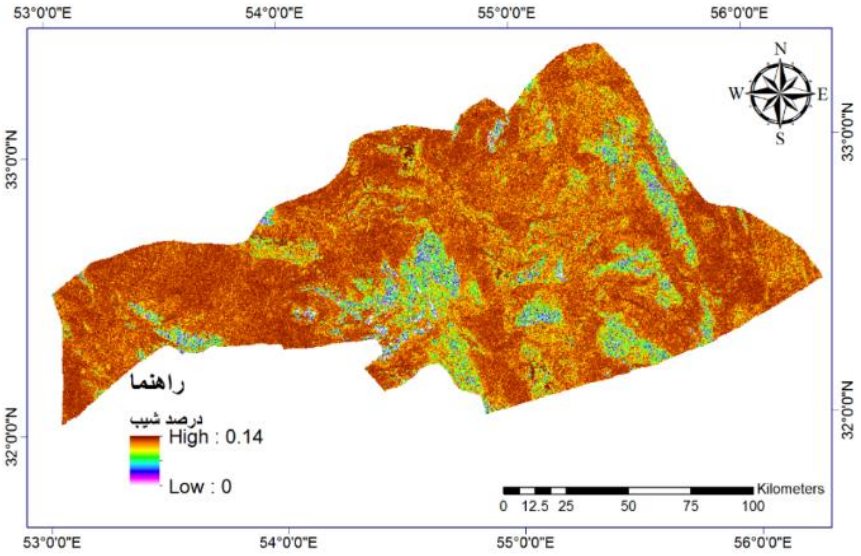


شکل ۱۲ -نقشهٔ عضویت فازی فاصله از جاده.

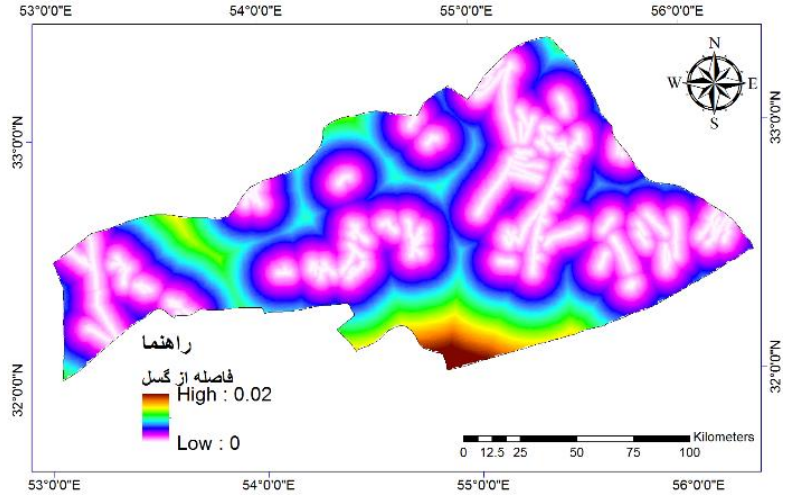


شکل ۱۳- نقشهٔ عضویت فازی تراز آب زیرزمینی.

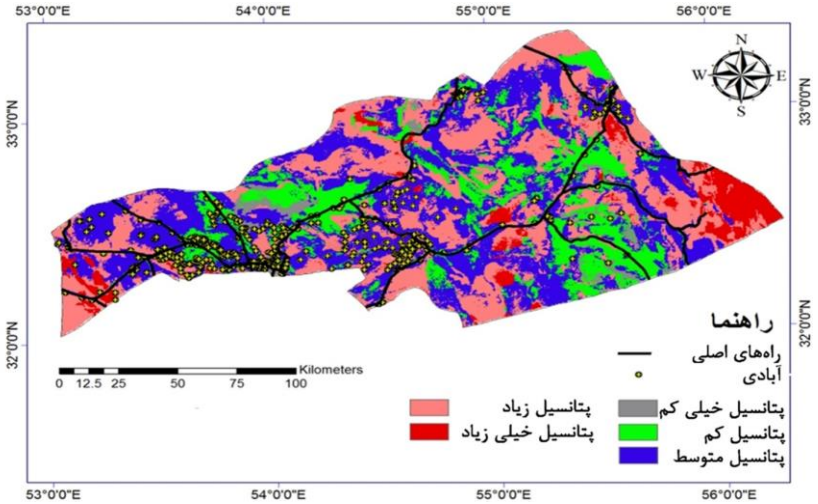
روش دفع، طراحی زهکش‌های منطقه دفع و تعیین نوع استفاده از زمین‌تأثیر می‌گذارد. مناطق با شیب زیاد هزینه های احداث مکان دفع پسماند را بالا می‌برد. از طرفی مناطق با شیب زیاد ناپایدار هستند و احتمال لغزش زیاد است و همچنین باعث جریان یافتن شیرابه تولید شده به مناطق مجاور و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود



شکل ١٤- نقشهٔ عضویت فازی درصد شیب.



شکل ١٥- نقشهٔ عضویت فازی فاصله از گسل.



شکل ١٦- نقشه کلاس‌بندی قابلیت اراضی دفع پسماند صنایع در محدودهٔ مورد مطالعه.

(شکل ۱۴). شکل ۱۵، نقشهٔ عضویت فازی فاصله ازگسل را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، نواحی جنوبی دارای بیشترین امتیاز از نظر فاصله از گسل و نواحی مرکزی شرقی و غربی دارای کمترین امتیاز می‌باشند. در نهایت شکل ۱۶ نقشهٔ طبقه‌بندی نهایی قابلیت اراضی دفع پسماند را نشان می‌دهد. همان‌طور که درشکل مشاهده می‌شود، قسمتی از مناطق

جدول ۳- مساحت کلاس‌های قابلیت اراضی جهت دفع پسماند صنایع.

نام کلاس	مساحت (Km^2)	درصد مساحت
پتانسیل خیلی‌کم	۲۱/۷۶۹	۳۳/۳
پتانسیل کم	۴۶/۴۵۶۴	۷۶/۱۹
پتانسیل متوسط	۹۶/۸۳۰۱	۹۴/۳۵
پتانسیل زیاد	۴۲/۸۰۵۹	۸۹/۳۴
پتانسیل خیلی‌زیاد	۴۵/۱۴۰۴	۰۸/۶

غربی، بخشی از نواحی مرکزی و نواحی جنوب شرقی دارای بهترین پتانسیل جهت دفع پسماند می‌باشد. این مناطق حدود ۶ درصد از کل مساحت شهرستان اردکان را دربر می گیرد. بیشترین مساحت مربوط به کلاس پتانسیل متوسط است که حدود ۳۶ درصد از مساحت کل مساحت شهرستان اردکان را شامل می‌شود و کمترین مساحت مربوط به کلاس پتانسیل خیلی کم که ۳/۳۳ درصد از مساحت کل را شامل می‌شود (جدول ۳).

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر در راستای بررسی قابلیت‌های اراضی بیابانی اطراف اردکان برای دفع پسماند صنایع موجود از روش AHP استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از روش AHP نشان داد که در بین معیارهای مورد بررسی، معیار کاربری اراضی دارای بیشترین نقش تعیین‌کننده در پتانسیل اراضی جهت دفع پسماند در شهرستان اردکان دارد. این نتیجه ناشی از آن است که بیشترین کاربری اراضی در شهرستان اردکان، زمین بایر یا مراتع ضعیف می‌باشد و بیشترین امتیاز را در تعیین پتانسیل اراضی جهت دفع پسماند به‌خود اختصاص داده‌اند. Houshyar (۲۰۱۷)، نیز در تحقیقات خود پیرامون مکان‌یابی بهینهٔ دفع مواد زائد شهری در شهر بوکان نیز به این نتیجه رسید که مراتع کم‌تراکم و ضعیف بیشترین امتیاز را به‌خود اختصاص داده است و فاصله از آب‌های سطحی و زیرزمینی در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در تحقیق حاضر مشخص شد که بعد از کاربری اراضی به‌ترتیب شیب، فاصله از منابع آب، تراکم جمعیت، خاک‌شناسی، سطح آب و زمین شناسی بیشترین نقش را در ارزیابی پتانسیل اراضی جهت دفع پسماند دارد. نتایج این تحقیق با نتایج Adineh Vand (۲۰۱۶) مطابقت دارد. همچنین معیارهای فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده کم‌ترین وزن و اهمیت را در ارزیابی پتانسیل اراضی جهت دفع پسماند دارند. حضور این عوارض و اهمیت آن در هر منطقه می‌تواند در رتبه‌بندی و اهمیت آن نقش مهمی داشته باشد. در اراضی بیابانی شهرستان اردکان هیچ‌گونه رودخانهٔ دائمی وجود ندارد و جریان‌های سطحی عمدتاً به‌صورت سیلاب است که به‌دلیل خشک بودن منطقه، این پدیده به‌ندرت اتفاق می‌افتد. بنابراین، این معیار اهمیت چندانی ندارد در صورتی که در مناطق پرباران که رودخانه‌های دائمی در تأمین آب منطقه نقش مهمی دارند معیار فاصله از رودخانه می‌تواند اهمیت بیشتری داشته باشد. مانند نتیجه‌ای که در بررسی Moeinaddini و همکاران (۲۰۱۱)، حاصل شده و نقش رودخانه اهمیت بیشتری داشته است. به‌دلیل گستردگی منطقه و خشک بودن آن و تراکم پایین جمعیت عملاً جاده‌ها هم تراکم زیادی ندارند. بنابراین معیار فاصله از جاده هم اهمیت پایین دارد. این قاعده در مورد گسل‌های منطقه هم قابل بسط است. نتایج نشان داد از کل مساحت شهرستان حدود ۶/۰۸ ٪ مناطق دارای پتانسیل خیلی زیاد برای دفع پسماند می‌باشد و حدود ۳۴/۹ ٪ نیز مناطق با پتانسیل زیاد برای دفع پسماند شناسایی گردید. به‌منظور بررسی بهتر، نقشهٔ نهایی با لایه جاده‌های اصلی و نقشه شهر و آبادی‌های شهرستان هم‌پوشانی گردید. نتایج نشان داد که از مناطق شناسایی شده با پانسیل خیلی زیاد سطحی حدود ۵۰۰ هکتار در فاصله ۸۳ کیلومتری شهرستان در مسیر جاده چوپانان موقعیت بهتری دارد. از مناطقی که دارای پتانسیل زیاد برای

دفع پسماند می‌باشد ۳ محدوده در فواصل ۱۴ تا ۵۸ کیلومتری شهرستان نسبت به بقیه مناطق در آن کلاس موقعیت بهتری دارند. این ۳ محدوده در مسیر جاده اردکان به خرانق، سمت شرق شهر اردکان و نیز در مسیر جاده اردکان به نایین در سمت شمال غرب شهر اردکان قرار می‌گیرد. البته این نکته را باید در نظر داشت که سطح مناطق با پتانسیل زیاد بر اساس فاکتورهای در نظر گرفته شده در تحقیق شناسایی شده که برای اجرایی نمودن و مشخص کردن مناطقی که از نظر جنبه‌های دیگر نظیر دسترسی به صنایع و مسائل اقتصادی، اجتماعی و سیاسی مناسب می باشند نیاز به بازدیدهای میدانی و بررسی‌های دقیق‌تری در این خصوص می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر در خصوص شناسایی مکان‌های مناسب جهت دفع پسماند با تحقیقات Razavian و همکاران (۲۰۱۵)، که محل‌های دفع پسماند شهر اردبیل را مشخص نمودند، مطابقت دارد. همچنین درخصوص نیاز به بازدید میدانی جهت تکمیل نتایج با تحقیق Eskandari و همکاران (۲۰۱۱) همسو می‌باشد. البته باید خاطرنشان کرد که با توجه به معیارهای انتخابی، شرایط منطقهٔ مورد مطالعه و دیدگاه حاکم بر کارشناسان شرکت‌کننده در روش AHP تأثیر زیادی بر وزن‌های به‌دست آمده دارد. در هم‌پوشانی لایه‌ها از روش فازی استفاده شد. این روش به‌خوبی توانست معیارها را باهم ترکیب کند، نتایج تحقیق Razavian و همکاران (۲۰۱۵)، نیز به این موضوع اشاره می‌کند.

مهمترین محدودیت تحقیق حاضر عدم دسترسی به آمار باد محلی به‌طور گسترده بود که ناشی از کمبود ایستگاه هواشناسی بود. آنچه از نتایج تحقیق حاصل می‌شود این است که روش تحلیل سلسله‌مراتبی توأم با همپوشانی فازی می‌تواند مناطق مناسب برای دفع پسماند را در حد قابل قبول مشخص کند و در منطقهٔ مورد مطالعه بهترین پهنه، منطقهٔ شرقی با فاصله مناسب از مناطق شهری و کاربری مناسب اراضی مرتعی ضعیف مشخص گردید. با توجه به دقت بالای این روش در غربال‌سازی مناطق مختلف در سطح یک ناحیه و استفاده از ابزارهای مدیریتی جهت بهینه‌یابی میان کاندیداهای موجود، استفاده از آن جهت مکان‌یابی موارد مشابه پیشنهاد می‌گردد.

References

Adinehvand, A., 2016. Spatial Analysis of Waste Disposal in Khorramabad, M.Sc. Thesis in Geography and Urban Planning, West Ilam Higher Education Institute. 168 p. (In Persian)

Bagchi, A. 2004. Design of landfills and integrated solid waste management, 3rd edition, John Wiley & Song, New Jersey 10(145), 302-316.

Bonham-Carter, G.F., Bonham-Carter, G., 1994. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS (No. 13). Elsevier. 398 p.

Donevska, K.R., Gorsevski, P.V., Jovanovski, M., Peševski, I., 2012. Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and geographic information systems. Environmental Earth Sciences 67(1), 121-131.

Eskandari, R., Hafezi Moqaddas, N., Ghasemi, H., 2011. Location of hazardous waste disposal using GIS and multivariate analysis in Central Iran, 7th Iranian Conference on Engineering Geology and Environment, Shahroud University of Technology. pp: 1-10. (In Persian)

Firoozi, M., Amanpour, S., Mohammadi, A., 2011. 'Emplacement burying of urban household wastes with GIS: A Case Study, lamerd City', Advanced Applied Geology 1(1), 104-112. (In Persian)

Ghodsipoor, S.H., 2019. Analytical hierarchy prosess (AHP). Amirkabir universiuy Press, Tehran, 222 p.

Houshyar, H., 2017. Locating the optimal solid waste slandfill by using analytic hierarchy process (Case Study: City of Boukan) Journal of Geographical Space 17(57), 255-272. (In Persian)

Karimzadeh Motlagh, Z., Sayadi, M.H. 2015. Siting MSW landfills using MCE methodology in GIS environment (Case study: Birjand plain, Iran). Waste Management 46, 322-337.

Khaleghi, F., 2017. 'Site Selection for Municipal Solid Waste Landfills with by using of GIS & AHP; Mianeh, East Azarbaijan. Journal of Environmental Geology 11(38), 29-33. (In Persian)

Khiyabani, R., Shahinfar, H., Azarmi Arabshah, R., 2019. Location of solid municipal waste landfill using GIS (Case study of Osco city). Journal of Environmental Geology 12(43), 47-56. (In Persian)

Mehdi Nia, A., Behroush, M., 2016. Industrial Waste Management, Fourth Scientific Congress of New Horizons in the Field of Civil Engineering, Architecture, Culture and Urban Management of Iran. pp: 1-12 (In Persian).

Mirabadi, M., Hussein Abdi, A., 2017. Landfill locate in Bukan by Boolean logic and Analytical Hierarchy Process (AHP)', Journal of Environmental Science and Technology 19(1), 149-168. (In Persian)

Moeinaddini, M., Khorasani, N., Danehkar, A., Darvishsefat, A., 2011. 'Siting MSW Landfill using Hierarchical Fuzzy TOPSIS methodology (case study: Karaj). Journal of Natural Environment, 64(2), 155-167. (In Persian)

Razavian, M.T., Kanoni, R., Firoozi Majandeh, A., 2015. Location of municipal solid waste landfill (Case study of Ardabil), Journal of Spatial Planning and Planning 19(4), 92-67. (In Persian)

Rezaei sabzevar, Y., Bazargan, A., Zohourian, B., 2020. Landfill site selection using multi criteria decision making: Influential factors for comparing locations. Journal of Environmental Sciences (China) 93, 170-184.

Shahinfar, H., Motamedi, F., 2020. Location of Municipal Solid Waste Landfill, Oshnavyeh City by Method Hierarchical analysis. Journal of Environmental Geology 14(50), 27-37. (In Persian)

Shayan, M., Anabestani, A., Bazvand, S., 2018. Optimal Locating of Rural Waste Disposal with Fuzzy Logic in Zarrindasht County', Journal of Studies of Human Settlements Planning 13(1), 85-103. (In Persian)

Taghavimoghadam, E., Porian, Z., Zaganeh asadi, M., Amiri, E., 2021. Assessment of land suitability for urban landfill site selection with an emphasis on natural factors (Case study: Joghatay City). Journal of Geography and Environmental Studies 10(37), 99-114. (In Persian)

Taghvaei, M., Momeni, M., Zare R., 2012. Application of AHP Hierarchical Analysis Method in Locating a Landfill (Marvdasht City). Journal of Geography and Environmental Studies 1(4), 19-29. (In Persian)

Yousefi Roobiat, E., Sayadi, M.H., Chamanepour, E., 2021. Evaluation of national standards for locating industrial waste landfills using GIS', Journal of RS and GIS for Natural Resources. In press. (In Persian)

Zareei, A., Kakapour, V., Abedi Koupai, J., Ramezani, R., Talebi, S., nekouei esfahani, A., Zareei, S., 2020. Optimal Location of Landfill for Municipal Solid Waste in Qorveh City Using GIS and AHP. Journal of Research in Environmental Health 5(4), 303-314. (In Persian)