فصلنامه علوم محیطی، دوره یازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲

۱۳۲-۱۲۱

روشی نوین برای مکان‌یابی محل دفن زباله‌های جامد شهری بر پایه نقشه‌های طبقه‌بندی اراضی و GIS

مهناز اسکندری[۱]، مهدی همایی[۲*]، شهلا محمودی[۳]، ابراهیم پذیرا[۴]

[۱] دانشجوی دکتری خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

[۲] استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

[۳] استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج

[۴] استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران.

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۴

چکیده

انتخاب مکان مناسب خاکچال زباله‌های جامد شهری از چالش‌های مهم زیست‌محیطی می‌باشد، زیرا برای انتخاب مکانی بهینه، معیارهای زیادی باید در نظر گرفته شوند. هدف از این پژوهش، ارائه روشی کمّی به منظور ساده‌سازی، کاهش تعداد معیارهای لازم برای مکان‌یابی خاکچال‌ها و امکان چندکاربری کردن نقشه‌های خاکشناسی بود. بدین منظور پس از بسط روش پیشنهادی، این روش برای انتخاب مکان مناسب دفن زباله‌های جامد شهر مرودشت به کار گرفته شد و نتایج حاصله با روش‌های رایج زیست‌محیطی مقایسه گردید. نخست، معیارهای لازم برای مکان‌یابی خاکچال شامل چهار معیار بولین و هشت معیار عامل، منحصراً از نقشه‌های طبقه‌بندی اراضی منطقه مورد مطالعه استخراج شد. سپس معیارهای ارزیابی با روش درجه‌بندی، استاندارد و وزن‌های مناسب به هر یک از آن‌ها اختصاص یافت. آنگاه با تجمیع ورودی‌های وزن‌دار شده، نقشه تناسب اراضی منطقه برای خاکچال در دامنه صفر تا یک بدست آمد و به پنج کلاس تناسب تفکیک شد. مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روش زیست‌محیطی نشان داد که اراضی با بیشترین تناسب برای مکان خاکچال از نظر موقعیت و مساحت تقریباً در هر دو روش یکسان است. با این تفاوت که در روش پیشنهادی تعداد معیارهای ورودی کمتر، روش وزن‌دهی ساده‌تر و ساخت بانک اطلاعات پایه برای مکان‌یابی آسان‌تر است. افزون بر این، نتایج حاصل از نقشه طبقه‌بندی اراضی توان تولید خاک‌ها را نیز لحاظ می‌کند. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی از دقت مناسبی برخوردار بوده و می‌تواند به عنوان روشی نوین برای مکان‌یابی خاکچال‌ها به کار رود.

کلمات کلیدی: سامانه اطلاعات جغرافیایی، مکانیابی خاکچال، مواد زاید جامد شهری، نقشه طبقه‌بندی اراضی.

A New Landfill Siting Method Based on Land Classification Maps and GIS

Mahnaz Eskandari[1], Mehdi Homaee[2*], Shahla Mahmodi[3], Ebrahim Pazira[4]

[1] *PhD Student, Department of Soil Science, Science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

[2] *Professor, Department of Soil Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

[3] *Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tehran University, Karaj, Iran*

[4] *Professor, Department of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

Abstract

Municipal solid waste (MSW) landfill site selection is an important task in waste management, because the optimal siting must consider numbers of evaluation criteria. The objective of this study was to propose a new quantitative method for reducing the number of evaluation criteria inputs for landfill siting, simplifying the siting process and reducing the time needed as well as enhancing the multi-applicability of available soil maps. Consequently, after presenting the proposed method, it was applied to select a suitable landfill site for Marvdasht city and was compared to the common environmental siting method afterwards. At the first step, the necessary criteria for landfill siting including four constraint and eight factor criteria was specifically obtained from land classification map of the study area. In the next step, the criteria were standardized by rating approach and were then weighted. Thereafter, by using simple additive weighting method, the suitability map for landfill siting was obtained in a 0-1 domain and divided into five suitability classes. Comparing the results of the proposed method with the common environmental siting approach indicated that the best suitable lands for landfill siting based on both methods are located almost in the same region. Despite the fact that the numbers of evaluation criteria in the proposed method were less than the traditional methods, the weighting method was much easier and constructing the database for landfill siting was more convincing. Further, the results obtained from land classification map can well consider the productivity of soils.

Keywords: GIS, Land Classification Map, Landfill Siting, Municipal Solid Waste.

* Corresponding author. *E-mail Address*: mhomaee@modares.ac.ir

۱- مقدمه

مدیریت مواد زاید جامد شهری از مهمترین مشکلات زیست‌محیطی در سراسر جهان است. یکی از اجزاء مدیریت مواد زاید، دفن زباله در خاکچال‌هاست که در حال حاضر غالب‌ترین روش دفع زباله‌های جامد شهری به شمار می‌آید [۱، ۲]. از زمانی که دفن زباله‌ها در خاکچال‌های بهداشتی متداول شد، پژوهش‌های بی‌شماری در زمینه ابعاد مختلف محل‌های دفن زباله‌های جامد شهری انجام شده است. برخی پژوهشگران گازهای تولید شده در خاکچال‌ها را مطالعه کرده‌اند، برخی دیگر مسائل و مشکلات ناشی از تولید شیرابه را مورد توجه قرار داده‌اند، بعضی از پژوهش‌ها در راستای امکان‌سنجی گیاه‌پالایی از خاکچال‌ها بوده است و برخی دیگر مکانیابی بهینه محل‌های دفن زباله را بررسی کرده‌اند [۳]. بی‌گمان، یک مکان‌یابی صحیح می‌تواند بسیاری از مشکلات ناشی از دفن زباله در خاکچال‌ها را کاهش دهد. لیکن در مکان‌یابی هر خاکچال باید به معیارهای بسیاری در زمینه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی- فرهنگی و فنّی- اقتصادی توجه شود. همین مسأله باعث شده است که مکان‌یابی محل‌های دفن زباله فرآیندی دشوار، پیچیده، وقت‌گیر و طاقت‌فرسا باشد [۴]. برای حل این مشکل، در دو دهه اخیر پژوهشگران زیادی از روش‌های تحلیل تصمیم چند معیاره (MCDA)[1] استفاده کرده‌اند [۴-۷]. در این روش‌ها، تعداد زیادی از معیارهای مستقل که غالباً متضاد با یکدیگرند برای رسیدن به یک هدف مشترک تجزیه و تحلیل می‌شوند [۸، ۹].

معیارهایی که برای تعیین مکان مناسب خاکچال‌ها به کار می‌روند، در سطح مکان متغیّرند. بنابراین، برای مدیریت بهتر داده‌ها از تکنیک‌های بررسی داده‌های مکانی استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر پژوهشگران بسیاری از تلفیق MCDA و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)[2] برای مکان‌یابی خاکچال‌ها بهره جسته‌اند [۳،۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳].

در سال‌های اخیر تولید زباله در ایران به دو دلیل افزایش جمعیّت و تغییر فرهنگ تولید و مصرف، افزایش چشمگیری داشته است. این در حالی است که دفع مواد زاید جامد شهری در اغلب شهرهای ایران به صورت بهداشتی انجام نمی‌شود. در اکثر موارد، محل‌های دفن در واقع محلّ تلنبار زباله به شمار می‌آیند. وجود چنین مشکلاتی باعث شده تا سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور، ضوابط جدیدی برای مکان‌یابی محلّ دفن زباله‌های جامد شهری، تهیّه و تصویب کند [۳]. عدم مطابقت شرایط بسیاری از محل‌های دفن زباله با این ضوابط و یا بهره‌برداری از بیشتر حجم موجود از محل‌های دفن کنونی، باعث شده تا مکان‌یابی خاکچال زباله‌های شهری به عنوان یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی مورد توجه پژوهشگران [۱۴- ۱۸] قرار گیرد.

روش‌هایی که تاکنون برای مکان‌یابی خاکچال‌ها ارائه شده‌اند به رغم داشتن محاسن بسیار، معایبی نیز دارند. از جمله آنکه حجم داده‌ها و اطلاعات ورودی مورد نیاز برای آغاز روند مکان‌یابی خاکچال یک منطقه بسیار زیاد است. دیگر آنکه با وجود کاربرد این حجم زیاد از اطلاعات پایه، هنوز نیاز است که برای انتخاب بهترین مکان، بررسی زمینی ثانویه از میان مکان‌های تعیین شده انجام گیرد. سوم آنکه هرچند به نظر می‌رسد اطلاعات پایه برای انتخاب مکان بهینه خاکچال در سراسر دنیا یکسان است، لیکن ممکن است در مکان‌های متفاوت مجموعه‌ای از شرایط خاص محلّی نیز وجود داشته باشند، به طوری که نوع، درجه‌بندی و وزن‌دهی معیارها را تحت تأثیر قرار دهند.

هرچند توانایی GIS در تسهیل مکان‌یابی خاکچال، کاهش زمان و هزینه‌ها، بسیار زیاد گزارش شده است [۲، ۷، ۱۱، ۱۳]، لیکن ایجاد پایگاه داده‌ها از ارکان اولیه GIS برای تحلیل هر مسأله ارزیابی اراضی است. ساخت این پایگاه داده‌های اولیه کاری دشوار، پرهزینه و طاقت‌فرساست که نیازمند جمع‌آوری اطلاعات مختلف از سازمان‌ها و ارگان‌های ذی‌ربط است. یکی دیگر از مشکلات در این راستا، توجه به این مهم است که در کشورهای در حال توسعه منابع داده‌ها یا اصلاً موجود نیست و یا صحّت آن‌ها مورد تردید است و در بسیاری از موارد نیز حتی در صورت وجود داده‌ها، اطلاعات مربوطه در نقشه‌های کوچک مقیاس ارائه شده‌اند [۱۱].

در چنین شرایطی ارائه روشی که بتواند با تعداد کمتری از اطلاعات اولیه، نتایج رضایت‌بخشی ارائه دهد، بسیار سودمند است. از دیگر سو، نقشه‌های مختلف خاک که توسط متخصّصان علوم خاک تهیّه می‌شوند، حاوی اطلاعات بسیار زیاد و سودمندی می‌باشند. این نقشه‌ها نه تنها می‌توانند به منظور توسعه برنامه‌های استفاده صحیح

از اراضی به کار روند، بلکه می‌توان آنها را برای ارزیابی و پیش‌بینی اثر نوع خاصّی از کاربری بر محیط‌زیست نیز به کار گرفت [۱۹]. در ایران، سال‌های بسیاری است که از روش طبقه‌بندی اراضی برای کشت آبی به منظور بررسی توان تولید خاک‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها برای کشاورزی استفاده می‌شود. این روش که با همکاری کارشناسان سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO)[۳] در سال ۱۹۵۴ پایه گذاری شد، به صورت نشریه شماره ۲۰۵ موسسه تحقیقات خاک و آب منتشر شده است [۲۰]. نقشه‌های تهیه شده با این روش در ایران به طور عموم متوسط مقیاس (۱/۵۰۰۰۰) بوده و برای اکثر دشت‌های کشور تهیه شده‌اند.

هدف از این پژوهش ارائه روشی نوین برای تعیین مکان بهینه خاکچال دفن زباله‌های جامد شهری با استفاده از اطلاعات نقشه طبقه‌بندی اراضی به تنهایی، در راستای ساده‌سازی مکان‌یابی، کاهش زمان مورد نیاز و قابلیت چند کاربری کردن نقشه‌های خاک بود. همچنین از دیگر اهداف این پژوهش، ارائه روشی ساده برای حل معضل نیاز به جمع‌آوری اطلاعات زیاد برای مکان‌یابی خاکچال‌ها بود. برای آزمون روش پیشنهادی، مکانیابی خاکچال شهر مرودشت با این روش انجام و با روش متداول زیست‌محیطی مقایسه گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان مرودشت بین ´۴۴ °۵۱ تا ´۳۰ °۵۳ طول شرقی و ´۱۵ °۲۹ تا ´۵۹ °۳۰ عرض شمالی در استان فارس قرار گرفته است. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۵۹۰ متر، میانگین بارش سالانه حدود ۳۹۰ میلی‌متر و میانگین دما ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد است. بر پایه طبقه‌بندی دومارتن این منطقه در اقلیم نیمه خشک واقع شده است. دشت مرودشت از پهناورترین و حاصلخیزترین دشت‌های استان فارس بوده و کاربری عمده اراضی در آن کشاورزی است. دشت مرودشت به طور عمده از رسوبات سیلابی و رسوبات مردابی از جنس سیلت، رس و شن، در برخی مناطق همراه بانمک، تشکیل شده است. مرکز شهرستان، شهر مرودشت با جمعیت ۱۲۴۳۵۰ نفر می‌باشد [۲۱].

در شرایط حاضر متوسط سرانه تولید زباله در مرودشت ۷۰۰ گرم در روز برای هر نفر است که در مجموع به طور متوسط حدود ۸۷ تن زباله در روز تولید می‌شود. مقدار ۹۱/۳۵ درصد از کل زباله‌های تولیدی شامل مواد قابل بازیافت است که ۷۰/۶۳ درصد آن مواد آلی تجزیه پذیر می‌باشد. روش مدیریت پسمانده‌ها در این شهرستان در حال حاضر روشی منسجم نیست و تفکیک زباله‌ها در مبدأ انجام نمی‌شود. هرچند که تاکنون تنها از ۵۰ درصد ظرفیت مکان فعلی دفن استفاده شده، لیکن به دلیل واقع شدن در نزدیکی کوره‌های آجرپزی و قرار گرفتن بر روی معدن رس بنا به درخواست سازمان محیط‌زیست، شهرداری مرودشت باید محل جدیدی را برای دفن زباله‌ها اختصاص دهد. طبق نظرسنجی‌های انجام شده با اولیای امور، مساحتی حدود ۱۰۰ هکتار برای خاکچال جدید شهر باید اختصاص یابد تا پیشرفت‌های احتمالی آتی، مانند احداث کارخانه کمپوست یا سیستم استحصال انرژی از زباله‌ها و همچنین یک حصار منطقی از زمین‌های اطراف محل دفن نیز در نظر گرفته شوند.

۲-۲- انتخاب معیارهای تصمیم‌گیری

در روش ایرانی طبقه‌بندی اراضی، ۱۸ معیار مختلف از خاک و اراضی بررسی می‌شوند. ترکیبی از این ۱۸ عامل به عنوان فرمول محدودیت شناخته می‌شود. این فرمول برای انتخاب مقدماتی واحدهای اراضی برای آبیاری به کار می‌رود. برخی از این معیارها در انتخاب مکان بهینه دفن زباله نیز موثر می‌باشند. معیارهای فرمول محدودیت که در روش طبقه‌بندی اراضی اندازه‌گیری می‌شوند و در مکان‌یابی خاکچال‌های بهداشتی موثر هستند، در زیر ارائه شده است.

معمولاً نقشه‌های تهیه شده در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، مقیاس متفاوتی دارند. بنابراین، برای جمع‌بندی معیارها و تصمیم نهایی لازم است تمام معیارها بر پایه مقیاسی یکسان استاندارد شوند. بدین منظور در این پژوهش، به کلاس‌های مختلف معیارها درجه‌ای در دامنه صفر تا یک که نشان دهنده مطلوبیّت آن کلاس برای مکان خاکچال است، اختصاص یافت.

۲-۲-۱- بافت خاک سطحی

این معیار بافت خاک را در ۲۰ سانتی‌متری اول سطح خاک نشان می‌دهد. بافت خاک در فرمول محدودیت، با

علامت‌های Z (خیلی درشت)، C (درشت)، L (سبک)، M (متوسط)، H (سنگین) و V (خیلی سنگین) نمایش داده شده است. در بسیاری از موارد، در صورت مناسب بودن بافت خاک سطحی مکان احداث خاکچال، در پایان کار از آن برای پوشش نهایی استفاده می‌شود. این خاک برای کشت گیاهان با هدف پالایش گیاهی و جلوگیری از فرسایش آبی و بادی پوشش سطحی خاکچال استفاده می‌شود. بنابراین، درجه‌بندی خاک سطحی بر پایه تناسب آن برای کشت گیاهان مختلف انجام شد. درجه اختصاص داده شده به کلاس‌های بافت خاک سطحی برای کاربری خاکچال، در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲-۲- سنگریزه عمقی خاک

این معیار درصد سنگریزه حجمی خاک در عمق ۲۰ تا ۸۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. مقدار سنگریزه تحتانی در فرمول محدودیت، با علامت‌های g (۴۰-۱۵ درصد حجمی سنگریزه)، G (۷۵-۴۰ درصد حجمی سنگریزه) و Z (بیش از ۷۵ درصد حجمی سنگریزه) مشخص شده است. چون خاک برداشت شده از محل دفن معمولاً برای پوشش زباله‌ها استفاده می‌شود، لذا وجود سنگ، سنگریزه و قطعات درشت سنگی در آن، تراکم خاک را دشوار می‌کند. همچنین، وجود سنگریزه زیاد باعث ایجاد جریان ترجیحی[۴] شیرابه و آلودگی محیط اطراف خاکچال می‌شود. بدیهی است که چنین خاکی فاقد توانایی لازم برای فیلتراسیون آلاینده‌های موجود در شیرابه‌های عبوری نیز می‌باشد. بنابراین، اینگونه خاک‌ها برای مکان خاکچال بهداشتی مناسب نیستند. درجه اختصاص داده شده به مقدار سنگریزه خاک تحتانی برای کاربری خاکچال در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲-۳- هدایت هیدرولیکی

این معیار در عمق ۲۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری می‌شود. در فرمول محدودیت، هدایت هیدرولیکی در هر واحد اراضی با کلاس‌های "خیلی سریع" VR (بیش از ۱۲ cm/h)، "سریع" R (۱۲-۶ cm/h)، "متوسط" M (۶-۰/۵ cm/h)، "آهسته" S (۰/۵-۰/۱ cm/h) و "خیلی آهسته" VS (کمتر از ۰/۱ cm/h) نشان داده شده است. درجه اختصاص یافته به هر کلاس هدایت هیدرولیکی، برای کاربری خاکچال، در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲-۴- عمق خاک و لایه محدود کننده

این معیار ضخامت خاک در هر واحد اراضی را نشان می‌دهد. کلاس‌های معرف خاک در فرمول محدودیت، شامل "بسیار عمیق" (بیش از ۱۲۰ Cm)، "عمیق" (۱۲۰-۸۰ Cm)، "نسبتاً عمیق" (۸۰-۵۰ Cm)، "کم‌عمق" (۵۰-۲۵ Cm) و "بسیار کم‌عمق" (۲۵-۱۰ Cm) می‌باشند. هرچه عمق خاک بیش‌تر باشد، حفر آن برای احداث ترانشه دفن زباله‌ها آسان‌تر است. همچنین، خاک پوششی زباله‌ها از محل دفن قابل تهیه و از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه است. درجه اختصاص داده شده به کلاس‌های عمق خاک برای احداث خاکچال در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲-۵- شوری خاک

وضعیت شوری خاک با هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) و بر حسب dS/m تعیین می‌شود. کلاس‌های شوری در فرمول محدودیت، شامل S_0 ($EC_e < ۴$)، S_1 (۸ $> EC_e >$ ۴)، S_2 (۱۶ $> EC_e >$ ۸)، S_3 (۳۲ $> EC_e >$ ۱۶) و S_4 ($EC_e >$ ۳۲) می‌باشند. هرچه مقدار شوری یک واحد اراضی بیشتر باشد، تولید محصول در آن کمتر خواهد بود. چنین اراضی می‌توانند برای سایر کاربری‌های غیر زراعی همچون محل‌های دفن زباله‌های جامد شهری مدنظر قرار گیرند. درجه اختصاص داده شده به کلاس‌های شوری برای کاربری خاکچال در جدول ۱ نشان داده شده است.

۲-۲-۶- سدیمی بودن خاک

این معیار معرف حداکثر سدیم قابل تبادل (ESP)[۵] یا نسبت جذب سدیم (SAR)[۶] در ۷۵ سانتی‌متری ابتدای سطح خاک است. کلاس‌های سدیمی بودن بر مبنای SAR با علامت‌های A_0 (SAR <۸)، A_1 (۱۳>SAR>۸)، A_2 (۳۰>SAR>۱۳)، A_3 (۷۰>SAR>۳۰) و A_4 (SAR>۷۰) در فرمول محدودیت نشان داده شده‌اند. هرچه کلاس سدیمی بودن خاک در واحد اراضی بیشتر باشد برای تولید سودآور در کشاورزی نامناسب‌تر است. بنابراین اینگونه واحدهای اراضی، برای سایر کاربری‌ها همچون خاکچال‌ها می‌توانند مدنظر قرار گیرند. درجه اختصاص داده شده به

کلاس‌های سدیمی بودن خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲-۷- شیب عمومی و جانبی

این معیار معرف درجه شیب کلّی و شیب جانبی در هر یک از واحدهای اراضی است. در فرمول محدودیت، کلاس‌های شیب کلّی شامل A (۲-۰ درصد)، B (۵-۲ درصد)، C (۸-۵ درصد)، E (۲۵-۱۲ درصد)، F (۴۰-۲۵ درصد)، G (۷۰-۴۰ درصد) و H (بیش از ۷۰ درصد) است. کلاس‌های شیب جانبی نیز شامل a (۲-۱ درصد)، b (۵-۲ درصد)، c (۸-۵ درصد)، e (۲۵-۱۲ درصد) و f (۴۰-۲۵ درصد) می‌باشد. درجه اختصاص داده شده به کلاس‌های شیب برای کاربری خاکچال در جدول ۱ ارئه شده است.

۲-۲-۸- فرسایش

این معیار وضعیت فرسایش خاک در واحدهای اراضی را نشان می‌دهد. کلاس‌های فرسایش آبی در فرمول محدودیت، شامل E_1 (فرسایش اندک)، E_2 (فرسایش متوسط)، E_3 (فرسایش شدید) و "E" (اراضی تخریب شده با فرسایش خندقی) می‌باشند. فرآیند فرسایش، خاک سطحی حاصلخیز را از بین می‌برد و درنتیجه خاک غیر حاصلخیزتر زیرین در سطح قرار می‌گیرد. به همین دلیل توان تولیددهی در واحدهای اراضی فرسایش یافته بسته به میزان فرسایش کاهش می‌یابد. این واحدهای اراضی برای کشت و کار نیازمند توجه بیشتر و در برخی موارد نیازمند مدیریت خاص هستند. بنابراین می‌توان واحدهای اراضی تخریب یافته را به سایر کاربری‌هایی همچون خاکچال بهداشتی اختصاص داد. لیکن در برخی از شرایط در اثر فرسایش شدید، خندق‌ها در واحدهای اراضی بوجود می‌آیند. خندق یا گالی آبراهه‌ای است نسبتاً دائمی که جریان‌های موقت آب به هنگام بارندگی از آن عبور می‌کنند. این جریان‌ها، مقدار بسیار زیادی رسوب را با خود حمل می‌کنند. این نوع فرسایش در خاک‌های فقیر غیر مستعد برای کشاورزی با پوشش گیاهی پراکنده و همچنین در تشکیلات خاصّ زمین‌شناسی بوجود می‌آید [۲۲]. بنابراین، در نظر داشتن این واحدهای اراضی برای کاربری خاکچال نیازمند مطالعه و بررسی دقیق‌تری است. عدم مدیریت صحیح در استفاده بهینه از این اراضی می‌تواند گالی را به سایر قسمت‌های منطقه گسترش دهد. درجه اختصاص داده شده به کلاس‌های فرسایش برای کاربری خاکچال در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲-۹- عمق سفره آب زیرزمینی

در فرمول محدودیت، کلاس‌های عمق آب زیرزمینی در دو شرایط آب شور و شیرین نشان داده می‌شوند. در شرایط شور بودن آب زیرزمینی (EC> ۱/۵ dS/m) شامل W_0 (۳-۵ m)، W_1 (۲-۳ m)، W_2 (۱/۲-۲ m) و W_3 (کمتر از ۱/۲ m) و در شرایط شیرین بودن آب زیرزمینی (EC< ۱/۵ dS/m) شامل W_0 (۲-۵ m)، W_1 (۱/۲-۲ m)، W_2 (۰/۷۵-۱/۲ m) و W_3 (کمتر از ۰/۷۵ m) می‌باشند. بر پایه ضوابط و معیارهای مکان‌یابی خاکچال دفن بهداشتی زباله‌های شهری [۲۳] احداث خاکچال در اراضی با آب زیرزمینی بالاتر از پنج متر مناسب نیست. بنابراین، واحدهای اراضی با هر یک از این کلاس‌های عمق آب زیرزمینی برای خاکچال نامناسب است (جدول ۱). حذف این واحدها به کمک ترسیم نقشه بولین عمق سفره آب زیرزمینی، انجام شد. در این نقشه به واحدهای اراضی با هر یک از کلاس‌های عمق آب زیرزمینی ارزش صفر و به سایر واحدها ارزش یک، اختصاص یافت.

۲-۲-۱۰- سیل‌گیری

این معیار، احتمال غرقاب شدن واحدهای اراضی با آب‌های جاری را نشان می‌دهد. در واحدهای سیل‌گیر افزون بر ایجاد سیل، خساراتی همچون رسوب‌گذاری، تخریب تأسیسات و شبکه‌های زیربنایی امکان‌پذیر است. کلاس‌های خطر سیل‌گیری با علامت‌های F_1 (بسامد سیل در هر ۱۰-۶ سال)، F_2 (بسامد سیل در هر ۵-۳ سال) و F_3 (بسامد سیل در هر ۲-۱ سال) مشخص شده‌اند. بنابراین همه واحدهای اراضی با هر یک از این کلاس‌های سیل‌گیری برای کاربری خاکچال نامناسب است (جدول ۱)، به جز در موارد خاصّی که بتوان با احداث آب‌بند و مسیرهای انحرافی مسیر حرکت آب را تغییر داد. حذف واحدهای اراضی سیل‌گیر با ترسیم نقشه بولین این معیار انجام شد. بنابراین، به واحدهای در معرض سیل عدد صفر و به سایر واحدهای اراضی عدد یک، اختصاص یافت.

۲-۲-۱۱- اراضی متفرقه

در روش طبقه‌بندی ایرانی، اراضی با شرایط بحرانی و خاص، به عنوان اراضی متفرقه معین می‌شوند. این اراضی شامل RW (معرف بستر سنگلاخی رودخانه‌ها)، D (تپه‌های شنی فعال)، U (مناطق مسکونی)، M (باطلاق‌ها و مرداب‌ها)، "E" (اراضی تخریبی با فرسایش گالی) و R (کوه‌ها و تپه‌های سنگی) می‌باشند. بر پایه قوانین سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران تمام این اراضی برای احداث خاکچال نامناسب هستند. بنابراین، تمام واحدهای اراضی واجد این علامت‌ها با ترسیم نقشه بولین حذف شدند.

۲-۳- ساخت الگوریتم تصمیم‌گیری

پس از استخراج معیارهای مناسب در مکان‌یابی خاکچال زباله‌های شهری از نقشه طبقه‌بندی اراضی منطقه مرودشت، الگوریتم تصمیم‌گیری ساخته شد. در شکل ۱ این الگوریتم ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشخص است، در این پژوهش از دو نوع معیار برای تعیین مکان مناسب خاکچال استفاده شد: (۱) معیارهای محدودکننده که هنگام استانداردسازی عدد صفر یا یک به آن‌ها تعلق گرفت. به کمک این معیارها مناطق کاملاً نامناسب حذف و سایر مناطق برای مطالعه بیشتر باقی ماندند. نقشه معیارهای محدود کننده به کمک منطق بولین تهیه شد. این معیارها شامل چهار معیار اراضی کشاورزی مرغوب (کلاس ۱ و ۲ در روش طبقه‌بندی اراضی)، عمق آب زیرزمینی، اراضی سیل‌گیر و اراضی متفرقه بودند. (۲) معیارهای عامل که می‌توانند تناسب یک گزینه نسبت به هدف مسأله را کاهش یا افزایش دهند. معیارهای عامل شامل هشت معیار هدایت هیدرولیکی خاک، بافت خاک سطحی، عمق خاک، شوری خاک، سدیمی بودن خاک، شیب عمومی، فرسایش و سنگریزه خاک تحتانی بودند. این معیارها بر پایه یک مقیاس پیوسته در دامنه صفر تا یک درجه‌بندی شدند. نقشه هر یک از معیارهای عامل بر پایه درجه تخصیصی در هر واحد اراضی، منطبق با جدول ۱ تهیه شد. سپس وزن مناسب در راستای تعیین مکان مناسب خاکچال بهداشتی به هر یک از آن‌ها اختصاص یافت. برای ساخت الگوریتم تصمیم‌گیری، تهیه نقشه‌های مکانی معیارها، استانداردسازی، وزن‌دهی و محاسبه نقشه نهایی تناسب اراضی برای مکان خاکچال منطقه مرودشت، از نرم‌افزار ILWIS 3.3 استفاده شد. کلیّه نقشه‌های معیار از نقشه طبقه‌بندی اراضی منطقه مورد مطالعه تهیّه شدند. این نقشه‌ها به شکل رستری با اندازه سلول ۱۰۰ متر مورد تحلیل قرار گرفتند. وسعت منطقه مورد مطالعه تا شعاع ۳۰ کیلومتر از شهر مرودشت انتخاب شد.

جدول ۱- ارزش استاندارد شده تخصیصی به هر یک از کلاس‌های معیار*

معیارهای ارزیابی	ارزش استاندارد معادل با هر کلاس معیار
بافت خاک سطحی	M (۱)، H (۰/۹)، V (۰/۷) و L، C (۰/۵)، Z (۰/۳)
سنگریزه عمق خاک	Z (۰)، G (۰/۲)، g (۰/۴)
هدایت هیدرولیکی	VS (۱)، S (۰/۸)، M (۰/۵)، R (۰/۲)، VR (۰)
عمق خاک	۱۰-۲۵ (۰/۲)، ۲۵-۵۰ (۰/۴)، ۵۰-۸۰ (۰/۶)، ۸۰-۱۲۰ (۰/۸)، >۱۲۰ (۱)
شوری خاک	S4 (۱)، S3 (۰/۷)، S2 (۰/۵)، S1 (۰/۳)، S0 (۰/۱)
سدیمی بودن	A4 (۱)، A3 (۰/۸)، A2 (۰/۵)، A1 (۰/۳)، A0 (۰/۱)
شیب کلّی	H و G (۰)، F (۰/۲)، E (۰/۴)، D (۰/۶)، C (۰/۸)، B (۱) و A
شیب جانبی	f (۰/۳)، e (۰/۵)، d (۰/۷)، c (۰/۹)، b (۱) و a
فرسایش	E3 (۱)، E2 (۰/۷)، E1 (۰/۳)، E0 (۰/۱)
عمق آب زیرزمینی	W3 (۰) و W2 و W1 و W0
سیل‌گیری	F3 (۰) و F2 و F1

*تعریف‌های کلاس‌های هر معیار و واحد اندازه‌گیری آن‌ها در بخش روش مکانیابی ارائه شده است

۲-٤- وزن‌دهی به معیارها

هدف از وزن‌دهی بـه معیارهـا، تعیـین اهمّیّـت هـر معیـار نسبت به معیارهای دیگر در راسـتای هـدف مسـأله اسـت. مرتب‌سازی معیارها در یک نظم ترتیبی، سـاده‌تـرین روش تعیـین اهمّیّـت آن‌هاسـت. در ایـن پـژوهش، بـه روش رتبه‌بندی کمیت مورد انتظار[۷] به معیارهای عامل با استفاده از معادله زیر وزن‌دهی شد:

$$W_k = \sum_{i=1}^{n+1-k} \frac{1}{n(n+1-i)} \qquad (۱)$$

که در آن W_k معرف وزن استاندارد شده برای معیـار kام، n تعـداد معیارهـای مـورد نظـر و k بیـانگر موقعیـت رتبه‌ای هر معیار است.

این روش وزن‌دهی در مقایسـه بـا روش رتبـه‌بنـدی مجموع[۸] به معیارهایی که در مرتبه بالاتری قرار گرفته‌انـد، وزن بیشتری اختصاص می‌دهد. روش وزن‌دهـی معیارهـا و مقدار وزن اختصاص داده شده به هر یک از آن‌ها بسـته بـه اهمّیّتشان در مکان‌یابی خاکچال و چگونگی تغییرات آن‌هـا در منطقه مورد مطالعه متفاوت است. دو معیار شوری خاک و هدایت هیدرولیکی خاک تحتانی نسبت به سایر معیارهـا در اولویت اول قرار داده شدند. زیرا هـدایت هیـدرولیکی در جلوگیری از آلودگی سفره‌های آب زیرزمینـی مـوثر اسـت. بویژه در شرایطی مانند شهرستان مرودشت کـه سـطح آب زیرزمینی بالاست و امکـان آلـودگی سـفره‌هـای آب وجـود دارد. از دیگر سـو، اسـتفاده وسـیع از منـابع آب زیرزمینـی برای کشاورزی در این شهرستان، مـی‌توانـد آلـودگی را بـه راحتی به سایر اراضی منتقل سازد. اراضی شور نیز به دلیـل عـدم سـودآوری در کشـاورزی مکـان مناسـبی بـرای کاربری‌های غیر کشاورزی مانند خاکچال به شمار می‌آینـد. رفتار خـاک‌هـای سـدیمی نیـز ماننـد اراضـی شـور اسـت. بنابراین، این معیار پس از دو معیار اول بیشترین اولویـت را داشت. بویژه آنکه در خاک‌های ایران اثر شوری بر سـدیمی بودن خاک غالب اسـت. معیارهـایی چـون شـیب اراضـی و عمق خاک در درجه اهمّیّت انـدک قـرار گرفتنـد. زیـرا در منطقه مورد مطالعه، تغییرات زیادی ندارند. شیب اراضی از صفر تا پنج درصد در کل منطقه متغیر اسـت. عمـق خـاک نیز در ۹۰ درصد از واحدهای اراضی بسیار عمیـق گـزارش شده است. همچنـین حضـور سـنگریزه تحتـانی در تعـداد اندکی از واحدهای اراضی منطقه گـزارش شـده اسـت. وزن اختصاص داده شده به هر یک از معیارهای تصمیم‌گیری بر پایه منطق ذکر شده در شکل ۱ ارائه شده است.

شکل ۱- الگوریتم تصمیم‌گیری انتخاب مکان مناسب خاکچال و وزن تخصیصی به هر یک از معیارها

۲-۵- محاسبه ارزش نهایی

پس از تعیین ارزش اسـتاندارد شـده و وزن هـر معیـار، بـا اسـتفاده از جمـع ورودی‌هـای وزن‌دار (SAW)[۹]، ارزش شاخص ترکیبی برای هر پیکسل از منطقـه مشـخص شـد. روش SAW از پرکاربردترین روش‌های استفاده شده بـرای محاسبه ارزش نهایی در مسائل تصمیم‌گیری چنـد معیـاره است [۱۰]. در این روش از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$V_i = \sum_{j=1}^{n} W_j V_{ij} \qquad (۲)$$

که در آن V_i شاخص ترکیبی تناسب در منطقه i، W_j وزن معیار j و V_{ij} ارزش اسـتاندارد شـده در منطقـه i بـرای معیار j و n نشان دهنده تعداد معیارهای ارزیابی است.

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش، ابتدا معیارهای موثر بر مکان‌یابی خاکچـال

زباله‌های جامد شهری مرودشت از نقشه طبقه‌بندی اراضی این منطقه استخراج شد. سپس به کلاس‌های هر معیار، ارزش استاندارد شده‌ای در دامنه صفر تا یک اختصاص یافت. جدول ۱ ارزش استاندارشده تخصیصی به هر یک از کلاس‌های معیار را نشان می‌دهد. این ارزش‌ها در راستای مطلوبیّت هر کلاس برای مکان خاکچال، از نظر همان معیار انتخاب شده است. در گام بعد، با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه و تأثیر هر یک از معیارها بر مکان خاکچال، وزن مناسبی به هر یک از معیارهای عامل اختصاص یافت. شاخص ترکیبی تناسب اراضی[10] برای هر سلول از نقشه رستری منطقه، از مجموع حاصلضرب‌های ارزش استاندارد شده هر معیار در وزن آن معیار بدست آمد. بدین ترتیب، نقشه تناسب اراضی منطقه که یک نقشه عددی در دامنه صفر تا یک بود، حاصل شد. در گام آخر، این نقشه به پنج کلاس تناسب برای مکان خاکچال تفکیک شد. کلاس‌های تناسب اراضی به ترتیب شامل نامناسب، تناسب کم، تناسب متوسط، مناسب و بهترین تناسب، با شاخص تناسب اراضی برابر با ۰/۲-۰، ۰/۴-۰/۲، ۰/۶-۰/۴، ۰/۸-۰/۶ و ۱-۰/۸ بودند. نقشه تناسب اراضی حاصل از این روش در شکل ۲-الف ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشخص است تقریباً همه اراضی با بیشترین تناسب برای خاکچال، در بخش جنوب شرقی شهر مرودشت قرار دارند. مساحت این اراضی برابر با ۸۳۳۸ هکتار است. این واحدهای اراضی به دلیل شوری زیاد خاک (کلاس S_4) و سدیمی بودن (کلاس A_3) فاقد کاربری هستند. هرچند زمانی از این اراضی برای کشت و کار استفاده می‌شده است، لیکن افزایش شوری خاک باعث شده که هم‌اکنون به حال خود رها شوند. مقدار فرسایش خاک در این اراضی، متوسط گزارش شده است. در محدوده این واحدهای اراضی، رودخانه، چاه‌های آب و قنات فعال وجود نداشته و به دلیل مشکلات خاک، تراکم جمعیت در این ناحیه از محدوده شهرستان مرودشت اندک است. سایر واحدهای نقشه طبقه‌بندی اراضی که در کلاس مناسب برای مکان خاکچال قرار گرفتند نیز به مسائل ناشی از شوری، سدیمی‌بودن و فرسایش خاک مبتلا هستند. لیکن مشکلات آنها در حدّی نیست که فاقد کاربری باشند و در حال حاضر برای کشت و کار مورد استفاده قرار می‌گیرند. اراضی مناسب زمانی می‌توانند برای مکان خاکچال مطرح باشند که یا اراضی با بیشترین تناسب وجود نداشته باشند یا به دلایل قاطع استفاده از آن‌ها ممکن نباشد. لیکن در شرایط فعلی شهرستان مرودشت، می‌توان به راحتی از اراضی در کلاس بیشترین تناسب بهره برد. مساحت مورد نیاز خاکچال این شهر ۱۰۰ هکتار است که با پیمایش زمینی تکمیلی و بررسی‌های بیشتر ژئوتکنیکی و ژئوهیدرولوژی، از میان ۸۳۳۸ هکتار اراضی منتخب قابل تعیین است.

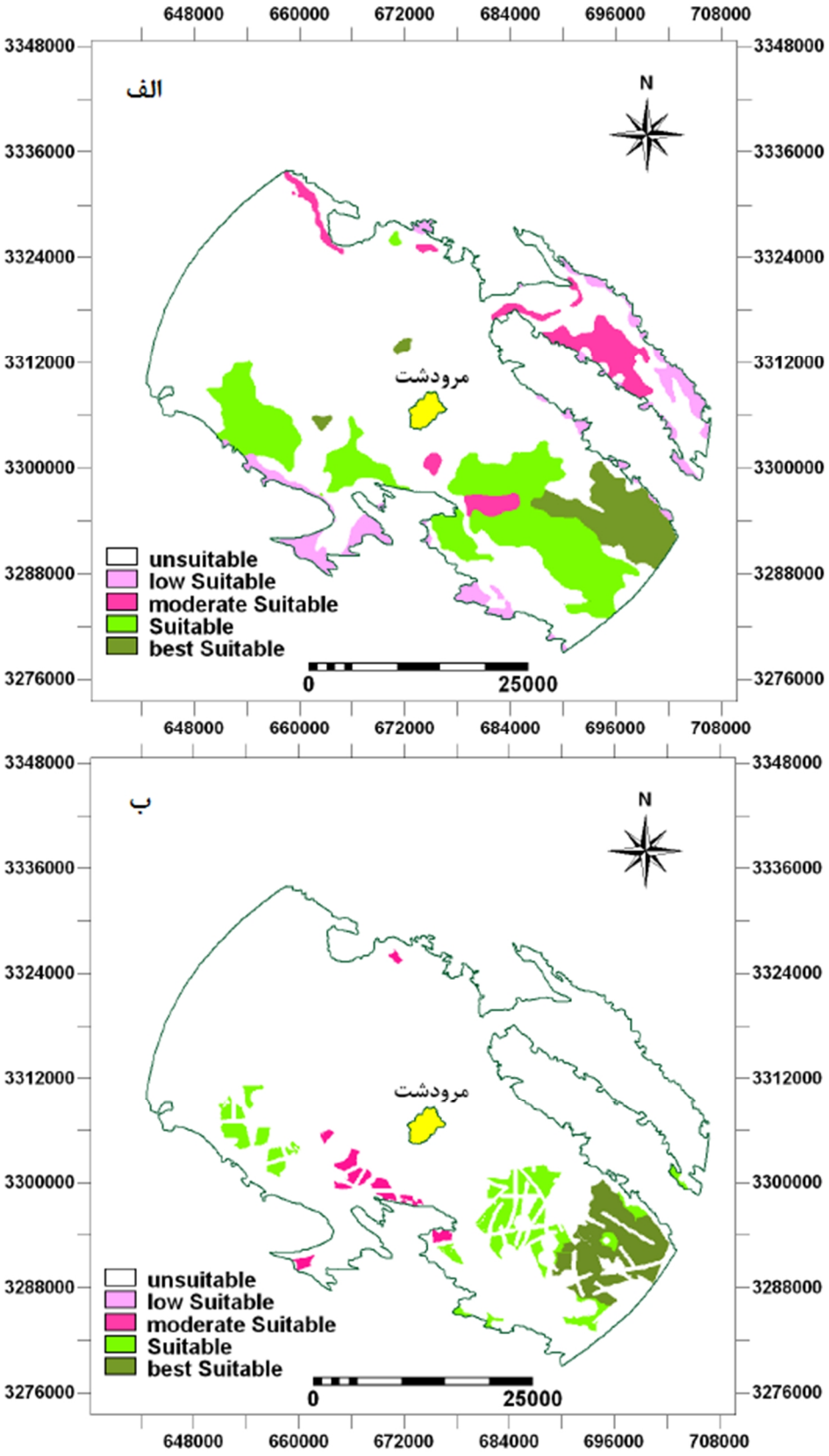
برای بررسی دقت نتایج حاصل از روش پیشنهاد شده، اراضی با بیشترین تناسب در این روش با روش رایج زیست‌محیطی مقایسه شد. برای این مقایسه، از نتایج پژوهش انجام شده برای تعیین مکان مناسب خاکچال زباله‌های جامد شهر مرودشت، با استفاده از تحلیل تصمیم چندمعیاره و GIS که توسط اسکندری و همکاران [۲۴] انجام شده است، استفاده شد. پژوهش مذکور در دو مرحله انجام شده است. در مرحله اول به کمک ۱۳ معیار محدودکننده، با توجه به قوانین سازمان حفاظت محیط-زیست ایران، مناطق نامناسب حذف شده‌اند. این ۱۳ معیار شامل بافرهای مناسب از رودخانه‌ها، چاه‌ها، چاه‌های آب شرب، قنات‌ها، چشمه‌ها، جاده‌ها، مناطق مسکونی، آثار باستانی، شهر مرودشت، خطوط گسل، اراضی با عمق آب زیرزمینی کمتر از پنج متر، اراضی مرغوب کشاورزی و اراضی سیل‌گیر بوده است. پس از اعمال بافرها، اراضی باقی‌مانده به کمک ۱۶ معیار عامل در سه گروه زیست-محیطی (شامل فاصله از رودخانه‌ها، چشمه‌ها، چاه‌ها و چاه‌های آب شرب، قنات‌ها، گسل‌ها، هدایت هیدرولیکی خاک، سطح آب زیرزمینی و کیفیت آن)، معیارهای اقتصادی (شامل فاصله از محل تولید، فاصله از جاده‌ها، قیمت اراضی و عمق خاک) و معیارهای فرهنگی- اجتماعی (شامل فاصله از مناطق مسکونی، آثار باستانی و جهت باد) ارزیابی شده‌اند. وزن‌دهی معیارهای عامل و زیرمعیارهای آن‌ها به کمک نظرسنجی از ۴۰ متخصّص در علوم مختلف مرتبط با مکان دفن زباله‌ها، با استفاده از پرسشنامه انجام گرفته است. در نهایت، وزن تخصیص‌یافته به گروه معیارهای زیست‌محیطی، فرهنگی- اجتماعی و اقتصادی به ترتیب برابر با ۰/۴۲، ۰/۳۴ و ۰/۲۴ بوده است. نتایج حاصل از این پژوهش به صورت نقشه تناسب اراضی برای خاکچال شهر مرودشت در شکل ۲-ب ارائه شده است. همانطور که

در این شکل مشخص است، اراضی با بیشترین تناسب برای مکان خاکچال در این روش نیز در بخش جنوب شرقی شهر مرودشت قرار گرفته‌اند.

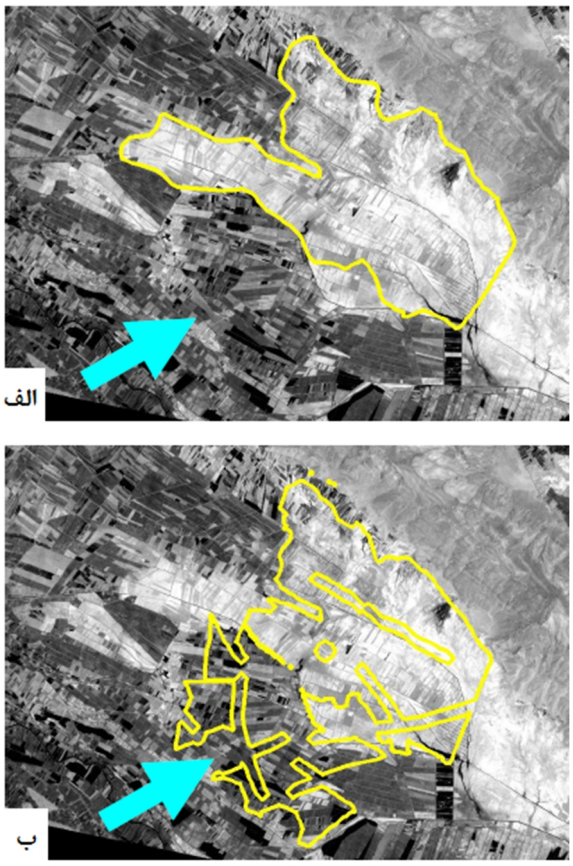
مقایسه اراضی با بیشترین تناسب در روش پیشنهادی با روش‌های متداول زیست‌محیطی (شکل‌های ۲-الف و ۲-ب) نشان‌دهنده هم‌خوانی قابل قبول دو روش با یکدیگر است. وسعت اراضی با بیشترین تناسب برای مکان‌خاکچال در روش پیشنهاد شده و روش رایج زیست‌محیطی به ترتیب برابر با ۴/۹ و ۴/۳۹ درصد از کل منطقه مورد مطالعه است. این مقایسه نشان می‌دهد پهنه اراضی که در کلاس بیشترین تناسب قرار گرفته‌اند، علاوه بر مکان آن‌ها در هر دو روش تقریباً مشابه است. با این تفاوت که نتایج شکل ۲-الف در شرایط استفاده از چهار معیار محدودکننده و هشت معیار عامل بدست آمده است که تماماً تنها از یک نقشه طبقه‌بندی اراضی استخراج شده‌اند. حال آنکه نتایج شکل ۲-ب حاصل کاربرد ۱۳ معیار محدودکننده و ۱۶ معیار عامل است که حداقل از هشت نقشه مختلف حاصل شده‌اند. کاهش تعداد معیارهای لازم نه تنها باعث کاهش هزینه و زمان برای رقومی‌سازی نقشه‌ها و ساخت بانک اطلاعات می‌شود، بلکه روش‌های وزن‌دهی را ساده‌تر و مطمئن‌تر می‌سازد. چرا که با افزایش تعداد معیارها از دقت برخی روش‌ها مانند رتبه‌بندی کاسته می‌شود [۹] و یا برخی دیگر از روش‌ها مانند فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[11] را زمان‌بر و مشکل می‌سازد [۵، ۹]. افزون بر این، توجه به این نکته نیز لازم است که وزن‌دهی معیارها در روش پیشنهادی با یک استدلال روشن و به راحتی انجام شده است، لیکن وزن‌دهی در روش رایج زیست‌محیطی با کمک ۴۰ متخصّص و در یک برنامه زمان‌بر و با صرف هزینه از طریق پاسخ به پرسشنامه صورت پذیرفته است.

با وجود آنکه برخی از معیارهای مهم در مکان‌یابی خاکچال‌ها همچون فاصله از رودخانه‌ها، قنات‌ها، چاه‌ها و مناطق مسکونی در روش پیشنهادی در نظر گرفته نشده‌اند، لیکن نتایج حاصل نشان می‌دهد که اراضی با بیشترین تناسب از فاصله کافی از این معیارها برخوردار هستند. بنابراین به نظر می‌رسد که با حذف اراضی مرغوب کشاورزی و بذل اهمّیّت بیشتر به اراضی نامطلوب برای تولید، بسیاری از معیارهای اجتماعی وابسته به کیفیّت خاک نیز در روش پیشنهادی در نظر گرفته شده‌اند. به عبارت دیگر، چنین به نظر می‌رسد که با در اولویت قرار دادن خاک‌های شور و سدیمی غیر حاصلخیز برای مکان خاکچال دفن زباله‌ها، امکان دور شدن هرچه بیشتر از مناطق مسکونی نیز بیشتر می‌شود و در صورت عدم حضور سکنه در یک منطقه، احتمال وجود سایر تأسیسات وابسته مانند چاه‌ها، قنات‌ها و کارخانه‌های صنعتی نیز اندک است.

همپوشانی نتایج حاصل از هر دو روش با تصویر ماهواره SPOT از منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده است. شکل ۳-الف نشان می‌دهد که اراضی با بیشترین تناسب برای احداث خاکچال بر پایه کاربرد نقشه طبقه‌بندی اراضی، فاقد کاربری هستند. لیکن نتایج حاصل از روش‌های رایج زیست‌محیطی (شکل ۳-ب) نشان می‌دهد که بخشی از اراضی با بیشترین تناسب برای مکان خاکچال در حال حاضر واجد کاربری کشاورزی می‌باشند. در شکل ۳ محدوده کلاس بیشترین تناسب با رنگ زرد و اراضی با کاربری کشاورزی با پیکان آبی رنگ مشخص شده‌اند. با توجه به این مهم که اراضی تحت کشت ارزش تولیدی زیادی داشته و معمولاً دارای مالکین خصوصی می‌باشند، بنابراین تصاحب آن‌ها برای شهرداری‌ها نه تنها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نیست، بلکه به لحاظ اجتماعی نیز دشوار است. نکته دیگر آنکه با توجه به اهمّیّت امنیت غذایی و پرهیز از غیرقابل استفاده کردن اراضی با توانایی تولید از چرخه کاربری‌های سودمند، پرواضح است که بخشی از اراضی منطقه با بیشترین تناسب که در روش متداول زیست‌محیطی بدست آمده‌اند و کاربری کشاورزی دارند، برای احداث خاکچال نامناسب می‌باشند. اهمیت این نتایج هنگامی دو چندان می‌شود که بدانیم در منطقه مورد مطالعه، اراضی فاقد کاربری کشاورزی و منابع طبیعی نیز وجود دارند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که نتایج حاصل از کاربرد نقشه‌های طبقه‌بندی که به توان تولید و سودآوری خاک‌ها توجه بسیار دارد، از این نظر نیز بر روش‌های رایج زیست‌محیطی برای تعیین مکان خاکچال‌ها برتری دارد.



شکل ۲- نقشه تناسب اراضی خاکچال شهر مرودشت: الف) بر پایه روش نوین پیشنهادی، ب) بر پایه روش رایج زیست‌محیطی



شکل ۳- مقایسه اراضی با بیشترین تناسب برای خاکچال با تصویر ماهواره‌ای منطقه مرودشت: الف) بر پایه روش پیشنهادی، ب) بر پایه روش رایج زیست‌محیطی

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش نشان داده شد که می‌توان با استخراج معیارهای ارزیابی تنها از یک نقشه طبقه‌بندی اراضی، مکانیابی خاکچال دفن مواد زاید شهری را با دقت قابل قبول انجام داد. تعداد معیارهای مورد نیاز در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های معمول زیست‌محیطی، کمتر و در نتیجه هزینه و زمان برای رقومی‌سازی نقشه‌ها و ساخت بانک اطلاعات پایه نیز کمتر بود. همچنین روش وزن‌دهی ساده‌تر و مطمئن‌تر به نظر می‌رسید. چرا که با افزایش تعداد معیارها از دقت برخی روش‌ها مانند رتبه‌بندی کاسته می‌شود و یا برخی دیگر از روش‌ها مانند فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را زمان‌بر و مشکل می‌سازد. همچنین با وجود آنکه برخی از معیارهای مهم در مکان‌یابی خاکچال‌ها در روش پیشنهادی در نظر گرفته نشدند، لیکن نتایج حاصل نشان داد که اراضی با بیشترین تناسب از فاصله کافی از این معیارها برخوردار هستند. بنابراین به نظر رسید که با حذف اراضی مرغوب کشاورزی و بذل اهمّیّت بیشتر به اراضی نامطلوب برای تولید، بسیاری از معیارهای اجتماعی وابسته به کیفیّت خاک نیز در روش پیشنهادی در نظر گرفته شده‌اند و در حقیقت کاربرد نقشه‌های طبقه‌بندی که به توان تولید و سودآوری خاک‌ها توجه بیشتری دارند، از این نظر بر روش‌های رایج زیست‌محیطی در تعیین مکان خاکچال‌ها برتری دارند. هرچند به نظر می‌رسد که چون نقشه‌های طبقه‌بندی اراضی با در نظر داشتن ویژگی‌های خاک‌ها تا عمق دو متر تهیّه می‌شوند برای تعیین مکان خاکچال‌ها به تنهایی کفایت نکنند، لیکن نتایج پژوهش حاضر امکان کاربرد این نقشه‌ها را به تنهایی برای مکانیابی خاکچال‌ها اثبات کرده و بدین ترتیب افقی جدید در زمینه پژوهش‌های مربوط به مکانیابی محل‌های دفن زباله ارائه نموده است.

پی‌نوشت‌ها

[1] Multi Criteria Decision Analyses
[2] Geographical Information System
[3] Food and Agriculture Organization
[4] Preferential flow
[5] Exchangeable Sodium Percentage
[6] Sodium Adsorption Ratio
[7] Expected value
[8] Sum rank
[9] Simple Additive Weighting
[10] Composite suitability index map
[11] Analytical Hierarchy Process

منابع

[1] Kim K R, Owens G. Potential for enhanced phytoremediation of landfills using biosolids-a review. Journal of Environmental Management; **2009**; 91(4): 791-797.

[2] Sumathi V R, Natesan U, Sarkar Ch. GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. Waste Management; **2008**; 28: 2146–2160.

[3] Eskandari M, Homaee M, Mahmodi S. An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environ-mental, economical and socio-cultural area. Waste Management; **2012**; 32: 1528–1538.

[4] Chang N B, Parvathinathan G, Breeden J B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. Journal of Environmental Management; **2008**; 87(1): 139–153.

[5] Sener S, Sener E, Karaguzel R. Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. Environmental Monitoring Assessment; **2011**; 173: 533-554.

[6] Wang G, Li Q, Guoxue L, Lijun Ch. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. Journal of Environmental Management; **2009**; 90: 2414–2421.

[7] Nas B, Cay T, Iscan F, Berktay A. Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. Environmental Monitoring Assessment; **2010**; 160: 491-500.

[8] Morrissey A J, Browne J. Waste management models and their application to sustainable waste management. Waste Management; **2004**; 24: 297-308.

[9] Malczewski J. GIS and multicriteria decision analysis. New York: John Wiley & sons, Inc.; **1999**.

[10] Kontos T, Komilis D P, Halvadakis C P. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. Waste Management; **2005**; 25: 818–832.

[11] Delgado O B, Mendoza M, Granados E L, Geneletti D. Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. Waste Management; **2008**; 28: 1137–1146.

[12] Geneletti D. Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites. Waste Management; **2010**; 30: 328–337.

[13] Moeinaddini M, Khorasani N, Danehkar A, Darvishsefat A A, zienalyan M. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). Waste Management; **2010**; 30, 912–920.

[14] Salman Mahini A, Gholamalifard M. Siting MSW landfills with a weighted linear combination methodology in a GIS environment. International Journal of Environmental Science and Technology; **2006**; 3(4): 435-445.

[15] Matkan A A, Shakib A R, Pouali H, Nazmfar H. Urban waste Iandfill site selection by GIS (Case Study: Tabriz City). Environmental Sciences Journal; **2009**; 6(2): 121-132. [In Persian]

[16] Fataee E, Alesheikh A. Housing site selection of landfills for urban solid wastes using GIS technology and analytical hierarchy process (A Case Study in the City of Givi). Environmental Sciences Journal; **2009**; 6(3): 145-158. [In Persian]

[17] Afzali A, Samani M V. Landfill site selection for municipal solid waste of Esfahan city using analytic network process considering the importance of water resources protection. Iran Water Resources Research; **2011**; 7(1): 67-76. [In Persian]

[18] Eskandari M, Homaee M, Mahmoodi S, Pazira E. Integrating GIS and AHP for Municipal Solid Waste Landfill Site Selection. Journal of Basic and Applied Scientific Research; **2013**; 3(4): 588-595.

[19] Brady N C, Weil R. The nature and properties of soils, fourteenth ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall; **2008**.

[20] Ayoubi Sh, Jalalian A. Land evaluation (agriculture and natural resources). Isfahan, Iran, Isfahan university of technology publishing; **2006**. [In Persian]

[21] Iranian Statistics Center. General Census of Population and Housing of Marvdasht City; **2006**. [In Persian]

[22] Rafahi H Gh. Soil erosion by water and conservation. Tehran, Iran, Tehran University publishing; **2000**. [In Persian]

[23] Iran's Environmental Protection Organization (IEPO), Office for Soil and Water Pollution Studies. Guidelines for Siting MSW Sanitary Landfill. Tehran, Iran. **2009**. [In Persian]

[24] Eskandari M, Homaee M, Mahmoodi S. Optimized approach for MSW landfill siting using MCDA and GIS. Environmental Sciences Journal; **2011** (accepted). [In Persian]