Land Suitability Analysis in Locating Compost Production Centers (Case Study: Fars Province)

Ata Ghaffari [1*], Mohammad Hassan Yazdani [2], Abdolvahhab Gholami [3]

[1] Department of Geography and Urban and Rural Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran
[2] Department of Geography and Urban and Rural Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran
[3] Department of Geography and Urban and Rural Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran

Abstract

Today, one of the most significant health and environmental problems in cities is the ascending trend of solid wastes. To overcome this problem, it must be managed and turned into institutionalization of phenomena such as recycling, compost production, energy recovery and biogas from solid urban wastes. By considering more than 65 percent of organic wastes in Fars province represents the need for investment in the compost production sector. The process of determining spatial desirability for the establishment of composting units requires the consideration of multiple criteria, which makes the use of multi-criteria analysis models and techniques inevitable. Accordingly, due to the nature of multi criteria status in the noted problem, in this paper, by choosing Fars province as a case study and using 18 criteria that has been weighted, evaluated and standardized, we have tried to test the application of TOPSIS model in the experimental field of research and the resulting output has been presented in the form of classified spatial suitability of land for the deployment of composting units. Accordingly, as much as the pixel values represent a lower number, the pixel desirability is reduced. In the output map, each pixel with the score closer to 1 indicates the preferred pixel conditions for the establishment of the compost production unit, which is proportional to the need to allocate land to a given site within a specified range and subject to the constraints of the relevant limitation which can be a guide for decision makers to locate composting units.

Key words: Municipal Solid Waste, Compost, Multi-criteria Evaluation, Locating, Fars Province.

* atagafari@gmail.com

جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سـال ۲۹، پیـاپی ۶۹، شـماره ۱، بهـار ۱۳۹۷

تحلیل تناسب اراضی در مکان‌یابی مراکز تولید کمپوست

(مطالعهٔ موردی: استان فارس)

عطا غفاری گیلانده*، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
محمد حسن یزدانی، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
عبدالوهاب غلامی، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

وصـول: ۱۳۹۳/۰۶/۳۰ پـذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷، صص ۱۵۲-۱۲۷

چکیده

امروزه یکی از بارزترین معضلات بهداشتی و زیست‌محیطی شهرها، روند صعودی تولید پسماندهای جامد است. برای رفع این مشکل می‌بایست آن را مدیریت کرد و به نهادینه‌شدن پدیده‌هایی چون بازیافت مواد، تولید کمپوست، بازیافت انرژی و بیوگاز از پسماندهای جامد شهری رو آورد. حجم بیش از ۶۵ درصدی پسماندهای آلی در زباله‌های شهری در استان فارس، نشان‌دهندهٔ ضرورت‌های مطرح در امر سرمایه‌گذاری در بخش تولید کمپوست است. فرایند تعیین مطلوبیت مکانی برای استقرار واحدهای تولید کمپوست، مستلزم درنظرگرفتن معیارهای متعدد و چندگانه است که موجب می‌شود استفاده از مدل‌ها و فنون تحلیل چندمعیاری، امری اجتناب‌ناپذیر قلمداد شود؛ بر همین اساس با توجه به ماهیت چندمعیاری مسئله، در مقالهٔ حاضر سعی شده است با انتخاب استان فارس برای مطالعهٔ موردی و با بهره‌گیری از ۱۸ معیار وزن‌دهی‌شده و با مقادیر ارزش‌گذاری و استانداردشده، کاربرد روش TOPSIS، یکی از فنون تحلیل چندمعیاری، در زمینه‌ای تجربی از موضوع پژوهش به آزمون گذاشته و خروجی به‌دست‌آمده در قالب نقشهٔ درجه‌بندی‌شده از مطلوبیت مکانی ارائه شود؛ بر همین اساس هرچه مقادیر پیکسل‌ها عدد کمتری را نشان می‌دهند، از مطلوبیت پیکسل برای اختصاص کاسته می‌شود. در نقشهٔ خروجی به‌دست‌آمده هر پیکسلی که نمرهٔ آن به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، نشاندهندهٔ شرایط مطلوب‌تر پیکسل برای استقرار واحد تولید کمپوست است که به تناسب نیاز برای اختصاص زمین به کاربری یادشده در محدوده‌ای مشخص و با درنظرگرفتن محدودیت‌ها، راهنمای عمل تصمیم‌گیران در مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست است.

واژه‌های کلیدی: پسماندهای آلی شهری، کمپوست، تناسب اراضی مکان‌یابی، استان فارس.

*نویسنده مسؤول: atagafari@gmail.com

مقدمه

امروزه یکی از بارزترین معضلات بهداشتی و زیست‌محیطی شهرها، روند صعودی تولید پسماندهای جامد است. بیشتر مردم این پسماندها را ماده‌ای دورریز می‌دانند که باید از محیط زندگی آنها دور و دفن شود؛ اما در برخورد با این معضل می‌بایست آن را مدیریت و با استفاده حداکثری از مواد زائد جامد شهری، تهدید را به یک فرصت تبدیل کرد (سعیدنیا، ۱۳۸۳: ۱۹). در کشور ما نبود مدیریت درست و مقررات صریح برای جمع‌آوری، دفع و بازیافت بیش از ۴۰ هزار تن زباله در روز سبب شده است این ضایعات به شکلی بی‌رویه به دل خاک سپرده یا در حوالی شهرها پراکنده شود؛ در حالی که تقریباً ۷۶ درصد آن بازیافت‌شدنی است و امکان تبدیل به کود و هزاران تن پلاستیک، کاغذ و کارتن را دارد؛ این امر صرف‌نظر از خطرات بهداشتی، زیان‌های اقتصادی کلانی نیز دربردارد (نبی بیدهندی و همکاران، ۱۳۸۶: ۳۱۱)؛ با وجود این انتظار می‌رود اجرایی‌شدن قانون مدیریت پسماند (مصوب سال ۱۳۸۳) و آیین‌نامهٔ اجرایی آن (مصوب ۱۳۸۴)، زمینهٔ جالب توجهی در مسیر بهبود مدیریت پسماند در کشور ایجاد کند و باعث شود در تهیهٔ طرح‌های جامع مدیریت پسماند، تأکید بر پردازش و بازیافت زباله‌ها، نمود برجسته‌ای بگیرد؛ بر همین اساس پیش‌بینی می‌شود در دههٔ آینده، تفکیک از مبدأ و بازیافت به صورت فراگیر در دستورکار شهرداری‌ها قرار گیرد (عبدلی، ۱۳۸۷: ۱۶).

بر پایهٔ گزارش مطالعات فنی- اقتصادی بازیافت زباله‌های شهری در استان فارس، ۶۶/۳ درصد از پسماندهای شهری به مواد آلی اختصاص دارد (زززولی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۷۷)؛ با این اوصاف سرمایه‌گذاری در ایجاد واحدهای کمپوست و پیرو آن، تعیین مکان‌های مناسب برای استقرار واحدهای تولید کمپوست از مراحل حساس در سیستم مدیریت پسماندهای شهری محسوب می‌شود و لازم است نهادینه‌کردن سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در این فرایند در دستورکار قرار گیرد. با توجه به اینکه فرایند تعیین مطلوبیت مکانی برای استقرار واحدهای تولید کمپوست مستلزم درنظرگرفتن معیارهای متعدد و چندگانه است، استفاده از مدل‌ها و فنون تحلیل چندمعیاری، یکی از مظاهر برجستهٔ عینیت‌بخشی به استفاده از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در نظام مدیریت پسماندهای شهری محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر سعی شده است با انتخاب استان فارس برای مطالعه، کاربرد مدل TOPSIS، یکی از فنون برجستهٔ تصمیم چندمعیاری (MCDM)، در مدل‌سازی چیدمان مکانی- فضایی واحدهای تولید کمپوست و ارائهٔ الگوی مناسب در طرح و اولویت‌بندی مطلوبیت مکانی سنجیده شود.

هدف‌گذاری پژوهش

با توجه به اینکه تعیین مکان‌های مناسب برای استقرار واحدهای تولید کمپوست از مراحل حائز اهمیت در سیستم مدیریت پسماندهای شهری است، بر همین اساس نهادینه‌شدن استفاده از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در این فرایند، امری اجتناب‌ناپذیر است. فرایند تعیین تناسب اراضی در محورهای یادشده مستلزم درنظرگرفتن معیارهای متعدد و چندگانه است؛ بر این مبنا استفاده از مدل‌ها و فنون تحلیل چندمعیاری، یکی از مظاهر برجستهٔ عینیت‌بخشی به استفاده از سیستم‌های پشتیبان

تصمیم‌گیری در نظام مدیریت پسماندهای شهری محسوب می‌شود؛ با این اوصاف شناخت معیارها و محدودیت‌های مطرح در تعیین سطح تناسب اراضی برای اختصاص به محل استقرار واحدهای تولید کمپوست و نیز سازوکار به‌کارگیری معیارها و محدودیت‌های مطرح در تعیین آن، از دغدغه‌های اصلی در مقالهٔ حاضر بوده است تا پس از وزن‌دهی معیارها و پردازش و نیز ارزش‌گذاری و استانداردسازی مقادیر مرتبط با هر معیار برای بارگذاری نقشه‌های استانداردشدهٔ وزنی معیارها در چهارچوب روش TPOSIS اقدام شود. درنهایت تعیین درجهٔ تناسب اراضی در موقعیت‌های مختلف برای استقرار واحدهای تولید کمپوست که در عطف به خروجی حاصل از اجرای روش TOPSIS صورت گرفته است، هدف‌گذاری محوری مقالهٔ حاضر را تشکیل می‌دهد.

مبانی نظری پژوهش

اهمیت مقولهٔ توجه به پسماندهای شهری و پیامدهای ناشی از آن، باعث افزایش مؤلفه‌ها در سیستم مدیریت پسماندهای شهری (MSWM)[1] از سه مؤلفهٔ تولید، جمع‌آوری و دفن در دههٔ ۱۹۴۰ به هشت مؤلفه در پس از دههٔ ۱۹۹۰ شد. این هشت مؤلفه که هریک حلقه و سطحی از سیستم مدیریت پسماندهای شهری را تشکیل می‌دهند، عبارت‌اند از: سیستم کاهش در مبدأ، کم و کیف تولید پسماند، ذخیره و پردازش و اداره در محل، جمع‌آوری، حمل‌ونقل، پردازش و بازیافت، دفع و مراقبت‌های پس از دفع (عبدلی، ۱۳۸۷: ۱-۲)؛ درواقع تولید کمپوست از پسماندهای شهری، حلقه‌ای از حلقه‌های زنجیرهٔ مدیریت پسماندهای جامد شهری را تشکیل می‌دهد. در مقالهٔ حاضر به این مؤلفه از زاویهٔ مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست از پسماندهای آلی شهری نگاه شده است. مدیریت جامع پسماندهای شهری زمانی عینیت می‌یابد که برای تمام حلقه‌های این زنجیره طرح و برنامه داشته باشد؛ ضمن اینکه در زیرمجموعهٔ هریک از این حلقه‌ها، اقداماتی فهرست‌کردنی است که لازم است دربارهٔ هریک تدابیر مقتضی اندیشیده شود.

یکی از روش‌های دفع و بازیافت مواد زائد جامد، تبدیل اجزای آن به کمپوست یا کود گیاهی است؛ درواقع کمپوست‌شدن (تولید کود از زباله‌های آلی) عبارت است از تجزیهٔ مواد آلی موجود در زباله‌های فسادپذیر در شرایط خاص و کنترل‌شده که با این روش مواد آلی به موادی مفید مانند هوموس تبدیل می‌شود؛ این روش خود نوعی بازیافت مواد آلی از زباله است (مرکز مطالعات و خدمات تخصصی شهری و روستایی، ۱۳۸۵: ۳۱). تولید کمپوست و استفاده از آن ضمن داشتن پیامدهای مثبت زیست‌محیطی، بهداشتی و اقتصادی حاصل از فرایند تبدیل، در اصلاح خاک و افزایش کارکرد فعالیت‌های کشاورزی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارد؛ ازجمله در بهبود حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی به جای کودهای شیمیایی، بهبود کیفیت فیزیکی خاک و درنتیجه ازدیاد محصول در واحد سطح، کاهش مقاومت خاک هنگام استفاده از ماشین‌آلات، تثبیت نسبت کربن به ازت در خاک، نگهداری آب در خاک کشاورزی و افزایش قدرت جذب مواد غذایی خاک. با درنظرگرفتن درصد مواد تبدیل‌شدنی به کمپوست در زباله‌های کشور که

[1] Municipal Solid Wastes Management

متجاوز از ۷۰ درصد است، بیش‌ازپیش به اهمیت محوری تبدیل مواد زائد جامد به مواد کاربردی پی برده می‌شود (محمدی، ۱۳۸۲: ۱۰– ۹).

پیشینهٔ پژوهش

بحث دربارهٔ ضرورت‌ها و سازوکارهای مطرح در فازهای مختلف از نظام مدیریت پسماندهای شهری، سرمنشأ پژوهش‌های عدیده‌ای محسوب می‌شود که مراجعه به آنها در غنای پایه‌های نظری مرتبط با موضوع پژوهش، نقش برجسته‌ای دارد. با وجود این، مرور ادبیات پژوهش نشان داد فقر ادبیات پژوهش دربارهٔ مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست، امری مسلّم است و در واقعیت امر، حلقهٔ ارتباط پژوهش‌های مرتبط با مدیریت پسماندهای شهری و فنون مکان‌یابی در بسیاری از مواقع در عرصهٔ مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری نمود پیدا کرده است؛ ازجمله:

متکان و همکاران (۱۳۸۷) با انتخاب شهر تبریز برای مطالعه، کاربرد روش‌های WLC [1] و OWA [2] را در مکان‌یابی محل دفن زباله آزموده‌اند و در یک رویکرد قیاسی، خروجی‌های حاصل از به‌کارگیری دو روش یادشده را مقایسه کرده‌اند. نتایج مقایسه نشان داد خروجی به‌دست‌آمده از OWA قدرت تفکیک بهتری دارد و بیش‌برآورد روش WLC در مقایسه با روش OWA زیاد است.

فرهودی و همکاران (۱۳۸۴) با درنظرگرفتن ۱۹ معیار مختلف در مکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهر سنندج، زمینه‌های استفادهٔ کاربردی را از محاسبات فازی در محیط GIS بررسی کرده‌اند. در این پژوهش ضمن بررسی مروری بر کاربرد روش‌های مختلفی همچون منطق همپوشانی، ضریب همبستگی، منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در فرایند تلفیق لایه‌ها و معیارها، درنهایت محاسبات فازی، روش استفاده‌شده در تلفیق متغیرهای مطرح در فاز مکان‌یابی در نظر گرفته شده است. از امتیازات این پژوهش این است که وضعیت مناطق اولویت‌دار حاصل از پژوهش به تفکیک معیارها بررسی و به نوعی اعتبار نتایج حاصل از پژوهش مستندسازی شده است.

شمسایی‌فرد (۱۳۸۲) در پژوهشی، استفاده از آنالیز سلسله‌مراتبی را در مکان‌یابی محل دفن زباله برای شهر بروجرد در شعاع ۲۰ کیلومتری آزموده است. ویژگی برجستهٔ این پژوهش، استفاده از مؤلفه‌های متعددی است که در محورهایی متشکل از هیدرولوژی و ژئوهیدرولوژی، جنس خاک، زمین‌شناسی محل، ترافیک و حمل‌ونقل، نزدیکی و دوری به راههای اصلی و فرعی، آب‌وهوا، فاصله از شهر، قرارگرفتن در جهت توسعهٔ شهر، توپوگرافی محل، پوشش گیاهی منطقه، فاصله از نواحی مسکونی و مساحت محل دفن استفاده شده‌اند. این‌گونه ملاحظات به غنای بیشتر ماهیت چندبعدی فرایند تصمیم‌گیری در انتخاب محل دفن زباله می‌انجامد.

در پژوهش‌های صورت‌گرفتهٔ Chang et al (2007) و Sener et al (2010) نیز قابلیت‌های بعضی از فنون تحلیل چندمعیاری در یک زمینهٔ تجربی از مکان‌یابی محل دفن زباله به آزمون گذاشته شده که به نوبهٔ خود الگو و راهنمای عمل تصمیم‌گیران است.

بررسی این پژوهش‌ها و دیگر پژوهش‌هایی که به نوعی در ارتباط با مکان‌یابی دفن زباله به انجام

[1] Weighted Linear Combination
[2] .Ordered Weighted Averaging

رسیده‌اند، حاکی است چهارچوب روش‌شناسی تعداد زیادی از آنها هم‌پوشانی زیادی دارند و به نوعی بسط کاربرد الگوی پژوهشی مشابه با هم در نمونه‌های موردی متفاوت قلمداد می‌شوند.

در بیان ادبیات پژوهش در عرصهٔ مرتبط با تولید در عین کمی فعالیت‌های پژوهشی در عرصهٔ مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست، پژوهش‌های متعددی دربارهٔ سازوکارهای مرتبط با تولید کمپوست از پسماندهای آلی شهری و جایگاه فرایند بازیافت در چهارچوب نظام مدیریت پسماندهای شهری انجام شده است؛ برای نمونه محمدی (۱۳۸۲) در پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد خود با عنوان «امکان‌سنجی بازیافت زباله‌های شهری در بابل»، پس از شناخت کمّی و کیفی زباله‌ها از روی نمونه‌ها، امکان بازیافت پسماندهای شهری را سنجیده است. یافته‌های پژوهش وی نشان می‌دهد حدود ۷۳ درصد از اجزای زباله‌ها را در شهر بابل، مواد تبدیل‌شدنی به کمپوست تشکیل می‌دهد که امکان تولید ۱۰۸۰۴ تن کود فله با ارزش ۱۴۰۴۵۲۲۰۰۰۰ ریال در سال از آنها وجود دارد.

Troschinetz et al (2008) با بررسی جایگاه بازیافت در کشورهای در حال توسعه، آن را یکی از عوامل مدیریت پایدار مواد زائد جامد شهری دانسته‌اند. در این پژوهش، ضمن بررسی وضعیت تولید زباله‌های شهری در ۲۹ مورد، با توجه به مؤلفه‌هایی چون ویژگی‌های زباله، ویژگی‌های کمّی و کیفی زباله و وضعیت مدیریت اجرایی مواد زائد جامد شهری، موانع و مشوق‌های بازیافت زباله معرفی و تحلیل شده‌اند.

Yau (2010) با انتخاب هنگ‌کنگ برای مطالعهٔ موردی، اثر بازیافت زباله را یکی از عوامل اصلی در پایداری محیط زیست یک شهر مطرح و برای داشتن برنامهٔ بازیافت موفقیت‌آمیز، مشارکت همگانی را ضروری می‌داند و بر نقش مشوق‌های اقتصادی تأکید می‌کند.

جمع‌بندی سوابق پژوهشی حاکی است خلأ پژوهش در حوزهٔ مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست و استفاده از فنون تحلیل چندمعیاری در این حوزه، امری مشهود است؛ با وجود این مواردی چون عرصه‌های پژوهش و توسعه در عرصهٔ تولید کمپوست از پسماندهای آلی شهری در تعیین ضرورت ایجاد واحدهای تولید کمپوست، تعداد واحدهای تولید کمپوست و ظرفیت اسمی آنها در مصرف پسماندهای آلی شهری، استفاده و پیش‌مقدمه‌ای برای پژوهش‌ها دربارهٔ مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست لازم به منظور احداث تلقی می‌شوند؛ بر همین اساس پژوهش حاضر، گامی در جهت پرکردن خلأ یادشده است که طی آن قابلیت‌های مدل TOPSIS، یکی از فنون تحلیل چندمعیاری در مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست آزموده شده است که در نقاط ثقل واقع در حدفاصل کانون‌های شهری تولید پسماندهای آلی تبدیل‌شدنی به کمپوست تعیین می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش

محدودهٔ پژوهش

با توجه به اینکه مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست در حد فاصل کانون‌های تأمین مواد اولیه (شهرها به‌منزلهٔ نقاط ثقل جمعیتی و کانون‌های تولید پسماند) مستلزم دید منطقه‌ای است، بر همین اساس در پژوهش حاضر، مقیاس جغرافیایی مطالعه‌شده در سطح استان فارس در نظر گرفته شده است؛ بدین

صورت که پهنهٔ استان به چند منطقه تفکیک و در ادامه واحدهای تولید کمپوست در موقعیت‌های مناسب از هر منطقه مستقر شود.

در اردیبهشت ۱۳۹۰ استان فارس با مرکزیت شهر شیراز شامل ۲۹ شهرستان، ۸۳ بخش، ۹۴ شهر و ۲۰۴ دهستان بوده است. مساحت این استان ۱۲۲۶۰۸ کیلومترمربع و جمعیت آن براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، ۴۵۹۶۶۵۸ نفر است.

بر پایهٔ گزارش مطالعات فنی- اقتصادی بازیافت زباله‌های شهری در استان فارس، ۶۶ درصد از پسماندهای شهری به مواد آلی فسادپذیر اختصاص دارد و پلاستیک و کاغذ به ترتیب ۱۳و ۶/۳۳ درصد از حجم زباله‌ها را شامل می‌شود (زرولی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۷۷)؛ بنابراین در وضعیت فعلی با درنظرگرفتن برآورد حجم تولید سالیانهٔ بیش از ۸۵۰ هزار تنی پسماندهای شهری در استان و تناژ سالیانهٔ بیش از ۴۰۰ هزار تنی تولید پسماندهای شهری در سطح شهر شیراز، این درصدها حجم زیادی از پسماندهای شهری را شامل می‌شود؛ به گونه‌ای که با ضرب این درصدها در کل حجم زباله‌های ثبت‌شده در سال‌های اخیر، روزانه شاهد تولید ۱۱۷ تن پسماند کاغذ و مقوا، ۲۴۳ تن پلاستیک نرم، ۲۸ تن پلاستیک سخت و ۱۶ تن PET (پلی‌اتیلن تری‌تلیت) خواهیم بود. در همین زمینه درصد زیاد مواد آلی فسادپذیر از کل حجم پسماندهای شهری در استان فارس، ضرورت ایجاد واحدهای تولید کمپوست را از مواد آلی فسادپذیر شهری نشان می‌دهد و پیرو آن مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست مطرح می‌شود.

ماهیت پژوهش، داده‌ها، ابزارها و روش‌های گردآوری اطلاعات

این پژوهش ماهیت توصیفی و تحلیلی دارد و از نوع پژوهش‌های کاربردی محسوب می‌شود. داده‌های استفاده‌شده مشتمل بر نقشه‌ها یا آرشیوهای اطلاعاتی مربوط به معیارها و محدودیت‌ها هستند که در تعیین مطلوبیت مکانی برای استقرار واحدهای تولید کمپوست به کار گرفته می‌شوند. فهرست معیارهای استفاده‌شده در بحث ارزیابی و تصمیم‌گیری، از کانال‌هایی چون مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، بررسی ادبیات موضوع و پیمایش نظرات و عقاید افراد صاحب‌نظر استخراج‌شدنی است.

دستهٔ دیگر از متغیرهای استفاده‌شده در فرایند ارزیابی، محدودیت‌ها[1] هستند که محدودیت‌های اعمال‌شده در انتخاب گزینه‌ها را به نمایش می‌گذارند و مجموعه‌ای از گزینه‌های ممکن را تعیین می‌کنند. از مصادیق بارز محدودیت‌ها در موضوع بررسی‌شده، ضوابطی‌اند که سازمان محیط زیست ارائه کرده است؛ برای نمونه مطابق با ضوابط این سازمان، صنایع براساس شدت و ضعف آلودگی و دیگر مسائل زیست‌محیطی به ترتیب در گروه‌های «**الف**»، «**ب**»، «**ج**»، «**د**»، «**هـ**» و «**و**» طبقه‌بندی و محدودیت‌های مکان‌یابی صنایع مطرح در زیرمجموعهٔ هر گروه مشخص شده‌اند. بررسی صنایع واقع در زیرمجموعهٔ هر طبقه‌بندی نشان می‌دهد صنعت تولید کمپوست از پسماندهای آلی در زیرمجموعهٔ گروه «و» قرار می‌گیرد.

[1] Constraints

این اطلاعات بر پایهٔ استفاده از منابع کتابخانه‌ای، اسنادی، دیجیتالی و پایگاه‌های اینترنتی مرتبط با موضوع پژوهش و با مراجعه به سازمان‌ها و ارگان‌های سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز، سازمان محیط زیست استان، سازمان آب منطقه‌ای استان، استانداری و ادارهٔ مسکن و شهرسازی استان به دست آمده است. نرم‌افزارهای استفاده‌شده در این پژوهش به تناسب کاربرد عبارت‌اند از: نرم‌افزارهای Arc GIS، IDRISI Kilimanjaro، Excel و Expert Choice که به تناسب نیاز در فازهای مربوط به ورود داده‌ها، ذخیره و مدیریت داده‌ها، تعیین وزن‌های معیار، پردازش و تحلیل داده‌ها و بالاخره خروجی‌گرفتن از داده‌ها به کار رفته‌اند.

آمار و اطلاعات استفاده‌شده در پژوهش که هریک به تناسب نیاز در سازوکار خاصی به کار رفته‌اند، عبارت‌اند از: ۱- میزان زبالهٔ تولیدی در شهرهای استان، ۲- اجزای تشکیل‌دهندهٔ زبالهٔ استان به تفکیک درصد، ۳- ویژگی‌های فیزیکی پسماندهای شهری استان، ۴- بعضی ویژگی‌های شیمیایی پسماندهای شهری استان، ۵- آمارهای جمعیتی کانون‌های شهری و روستایی، ۶- سلسله ارقام و آمار دربارهٔ ترکیب زباله و تغییرات حجم زباله‌های تولیدی از سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز، ۷- نقشهٔ توزیع فضایی کانون‌های جمعیتی، شهرک‌های صنعتی، فرودگاه‌ها، شبکه‌های ارتباطی و شبکه‌های انتقال نیرو، ۸- نقشهٔ رقومی‌شدهٔ توپوگرافی استان، ۹- موقعیت فضایی سایت‌های دفن زباله در استان، ۱۰- نقشهٔ کاربری اراضی و پوشش گیاهی در سطح شهرستان شیراز و استان فارس، ۱۱- نقشهٔ هیدرولوژی و آمار عمق آب‌های زیرزمینی در منطقه، ۱۲- نقشه‌های زمین‌شناسی و توزیع فضایی خطوط گسل و پهنه‌های در معرض زمین‌لغزش، ۱۳- نقشهٔ توزیع فضایی مناطق شناسنامه‌دار به لحاظ ارزش‌های زیست‌محیطی، ۱۴- نقشهٔ کانون‌های تاریخی و باستانی، ۱۵- نمودار گلبادها و فراوانی بادهای غالب و ۱۶- آمار داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه.

در این پژوهش، روش‌های گردآوری و کسب اطلاعات عبارت‌اند از:

الف- متن‌خوانی و استخراج مطالب لازم بر پایهٔ استفاده از منابع کتابخانه‌ای، اسنادی و دیجیتالی مرتبط با موضوع پژوهش اعم از کتاب‌ها و آثار افراد صاحب‌نظر در ارتباط با موضوع پژوهش، مقالات و مطالب مندرج در مجلات علمی- پژوهشی، علمی- ترویجی یا دردسترس از طریق سایت‌های اینترنتی مانند sid.ir, ngdir.com, science direct, civilica؛

ب- استفاده از گزارش‌ها، آمار، جداول و آرشیوهای اطلاعاتی سازمان‌ها و اداراتی که نیاز اطلاعاتی پژوهش حاضر را تغذیه می‌کردند، بخش دیگری از روش کتابخانه‌ای است؛ در این راستا به موازات مراجعه به وب‌سایت‌های سازمان‌ها و ادارات، مراجعهٔ حضوری به تعدادی از ادارات و ارگان‌های مربوطه در برنامهٔ کار قرار گرفت؛

ج- استفاده از نقشه‌های رقومی در راستای استخراج داده‌های لازم از متن نقشه.

فهرست نقشه‌های معیار به‌کاررفته در این مقاله و مبنای کارشناسی مطرح در ارزش‌گذاری و استانداردسازی مقادیر ثبت‌شده در نقشه‌های معیار عبارت‌اند از:

نقشهٔ معیار بارش: برای مناطق با میزان بارندگی زیاد مقدار کمپوست مصرفی، ۵/۱۲ تن در هکتار و در

نواحی نیمه‌خشک و دیم‌زارها از ۵/۲ تا ۵ تن در هکتار سالیانه توصیف شده است (شرکت گسترش صنایع پایین‌دستی پتروشیمی، ۱۳۸۶: ۳۶)؛ بنابراین با توجه به عامل بارش، مکان‌های نزدیک‌تر به مناطق با بارش زیاد، حامل ارزش بیشتر برای ایجاد واحد تولید کمپوست خواهند بود؛ البته باید یادآوری کرد مناطق با بارندگی زیاد و پی‌درپی در فرایند تولید ورمی کمپوست، زمینهٔ شست‌وشوی بستر و پراکندگی کرم‌ها را دارند. با توجه به اینکه میانگین حداکثر بارش سالیانه در سطح ایستگاههای باران‌سنجی استان حدوداً ۵۰۰ میلیمتر است و مطابق با نظر فینک محدوده‌های دارای ۵۰۰ میلیمتر بارندگی سالیانه، مرز مناطق خشک و مرطوب به شمار می‌روند (کردوانی، ۱۳۷۳: ۱۶)، بنابراین محدودیت بارش خیلی زیاد در اقلیم خشک منطقهٔ مدنظر نمود برجسته‌ای ندارد.

درجه‌حرارت: در امر تولید ورمی کمپوست، کرم‌های تجزیه‌کنندهٔ مواد آلی در دمای ۲ تا ۳۰ درجهٔ سانتیگراد مواد آلی را تجزیه می‌کنند (شرکت گسترش صنایع پایین‌دستی پتروشیمی، ۱۳۸۶: ۳۱)؛ بنابراین ارزش‌گذاری میزان تناسب در این دامنه مدنظر قرار گرفته و دماهای بیش از ۳۰ درجهٔ سانتیگراد نامطلوب شناخته شده است. از سوی دیگر با توجه به اینکه نتیجهٔ مطلوب فعالیت کرم‌های ورمی‌کمپوست مستلزم قرارگرفتن دمای محل زندگی درحد فاصل ۲۰ تا ۳۰ درجهٔ سانتیگراد است (گوپتا، ۱۳۸۵: ۵۲)، بنابراین ارزش‌دهی تغییرات دمای محدودهٔ مطالعه‌شده که در دامنهٔ ۳ تا ۲۸ درجهٔ سانتیگراد قرار دارد، به صورت افزایشی در نظر گرفته شده است.

نقشهٔ معیار شیب: از نظر مسائل ژئوتکنیکی شیب اراضی، عامل مؤثری در پایداری استاتیکی و دینامیکی زمین است و زمین‌های پرشیب متأثر از آب و بارندگی و لرزش‌های ناشی از زمین‌لرزه در معرض لغزش قرار دارند. در کل در شیب‌های بیش از ۹ درصد تناسب زمین برای توسعهٔ شهری، روستایی و صنعتی جای تردید دارد و هزینه‌های بهره‌برداری افزایش می‌یابد (مخدوم، ۱۳۸۹: ۲۰۲)؛ علاوه بر این چون شیب‌های بسیار تند نیز با مسائلی چون دفع فاضلاب‌ها روبه‌رو هستند، درمجموع شیب ۳ درصد، شیب بهینه برای اموری چون سکونت و صنعت تشخیص داده شده است. (گروه مهندسین مشاور همکار توسعهٔ بوم‌سازگان پایدار، ۱۳۸۶: ۲۰).

جنس زمین: در مکان‌یابی پدیده‌هایی چون محل دفن زباله که با معضل امکان نفوذ شیرابه‌ها به زمین روبه‌رو هستند، بررسی بعضی جنبه‌های زمین‌شناسی محل همچون نفوذپذیری خاک و سنگ‌های موجود، عمق و نوع خاک لایه‌ها، مشخصات و عمق انواع سنگ‌ها و بسترهای زیرین محل (گسل‌ها، شکست‌ها و ترک‌خوردگی‌ها)، امری ضروری است (عبدلی، ۱۳۷۲: ۱۵۲)؛ برای نمونه سنگ‌بستر آهکی و با گسل‌های متعدد باعث می‌شود شیرابه یا هر آلایندهٔ دیگری بدون کاهش در آلودگی به‌راحتی از ساختار زمین عبور و آب‌های زیرزمینی را آلوده کند (باقرزاده، ۱۳۸۹: ۱۹). ویژگی‌های جنس بستری که برای محل دفن زباله در نظر گرفته می‌شود، در رابطه با محل استقرار واحد تولیدی کمپوست قابل تعمیم است که در آنها تولید در شرایطی چون توده‌های پهن‌شده از زباله‌های فسادپذیر یا توده‌های قالب‌گیری‌شده به روش ویندرو عملی می‌شود؛ زیرا واحدهای تولید کمپوست نیز همچون سایت‌های دفن زباله با مشکل نفوذ شیرابه‌ها و پساب‌های تولیدشده در فرایند تولید

کمپوست روبه‌رو هستند؛ با وجود این باید توجه داشت حساسیت به مقولهٔ جنس بستر در دفن زباله بیش از حساسیتی است که دربارهٔ محل استقرار کمپوست وجود دارد.

فاصله از خطوط گسل: در محدودهٔ گسل‌ها اصولاً درز و شکاف بسیاری وجود دارد و همین مسئله باعث افزایش نفوذپذیری شیرابهٔ زباله و پساب‌های ایجادشده در فرایند تولید کمپوست می‌شود.

موقعیت نسبت به اراضی سیلابی: اراضی سیلابی در فرایند مکان‌یابی محل استقرار واحدهای تولید کمپوست، محدودیت در نظر گرفته می‌شوند. قرارگیری در معرض خطر سیل و فراوانی آب‌های زیرزمینی، دو معضل عمدهٔ این اراضی هستند.

عمق آب‌های زیرزمینی: دربارهٔ عامل‌بودن معیار سطح آب‌های زیرزمینی در تعیین محل استقرار کمپوست با توجه به امکان نشت پساب‌ها و شیرابه‌های تولیدشده در فرایند کمپوست به آب‌های زیرزمینی، بالابودن سطح این آب‌ها مناسب نیست؛ ولی با توجه به اینکه فرایند تولید کمپوست مستلزم آب‌پاشی پیوسته است، زیادبودن عمق آب زیرزمینی هم ممکن است به مشکلاتی در تأمین آب لازم دامن بزند؛ تأمین آبی که با حفر چاه میسر می‌شود.

ارزش‌های موقعیت نسبت به وزنه‌های تولید پسماندهای آلی: ماهیت صنایع در تبدیل مادهٔ اولیه به کالا و کسب ارزش افزوده نهفته است. موقعیت مناسب نسبت به کانون‌های تأمین مواد اولیه که با کاهش هزینهٔ حمل‌ونقل نیز همراه است، یکی از ملاک‌های مطرح در مکان‌یابی صنایع تلقی می‌شود (تولایی، ۱۳۷۵: ۴۹-۴۸). در مکان‌یابی مراکز تولید کمپوست نیز موقعیت مناسب نسبت به وزنه‌های پسماندهای آلی و فسادپذیر تولیدشده در شهرها، یکی از مصادیق بارز اصل نزدیکی به کانون‌های تأمین مواد اولیه در مکان‌یابی صنایع محسوب می‌شود؛ بر همین اساس کانون‌های شهری براساس حجم تولید پسماندهای آلی فسادپذیر به کیلوگرم در روز، شناسنامه‌دار شدند. در همین رابطه نزدیکی به کانون‌های متصف به وزن زیاد تولید پسماند آلی، دارای امتیاز بیشتری برای مکان‌گزینی واحد تولید کمپوست است. در تهیهٔ اطلاعات لازم در این زمینه، از داده‌های مستخرج از گزارش طرح توجیه فنی و اقتصادی بازیافت و تعیین آنالیز فیزیکی و شیمیایی مواد زائد شهری استان فارس (زرولی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۴) و اطلاعات تفصیلی آنالیز فیزیکی و شیمیایی پسماند شهری شیراز به‌منزلهٔ داده‌ها و اطلاعات پایه‌ای استفاده شد. این اطلاعات را سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز به صورت سالیانه تهیه می‌کند. در طرح یادشده شش شهر شیراز، کازرون، فسا، مرودشت، جهرم و فیروزآباد برای نمونه‌برداری و انجام آنالیز فیزیکی و شیمیایی انتخاب شده‌اند. بررسی کمیت و کیفیت مواد زائد شهری و اندازه‌گیری مشخصه‌هایی چون ترکیب فیزیکی و شیمیایی زباله، چگالی، درصد رطوبت و سرانهٔ تولید در سطح استان فارس، جهت‌گیری محوری این طرح را تشکیل می‌دهد. در به‌روزرسانی داده‌های مستخرج از طرح نیز اقدامات زیر انجام شده است:

۱- نمایه‌های مربوط به وضعیت زباله در این شش شهر در تبیین نمایه‌های مربوط به وضعیت زباله شش محدوده از استان به کار گرفته شده است که شهرهای شش‌گانه در آن قرار گرفته‌اند. در پژوهش حاضر برای

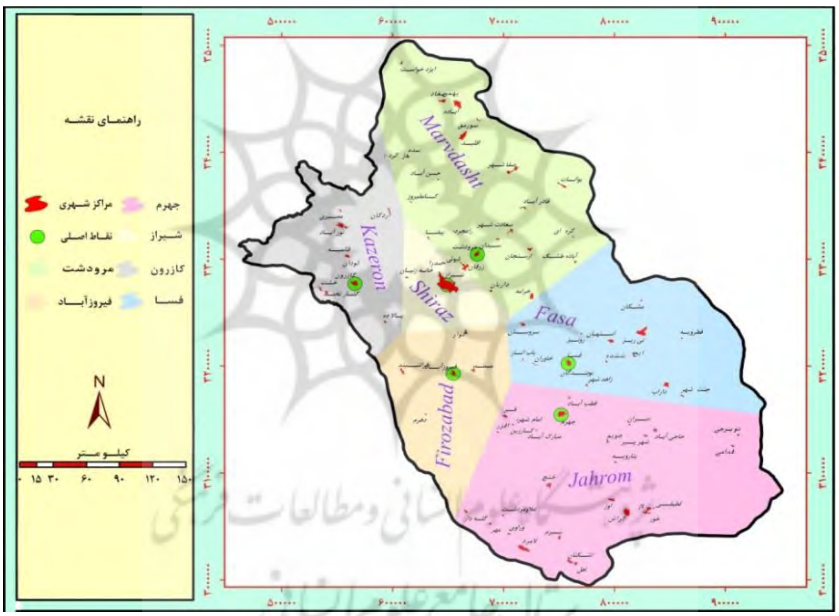
استخراج این شش محدوده از روش چندضلعی‌های تیسن استفاده شده است (شکل ۱). در روش چندضلعی تیسن هر مکان به نزدیک‌ترین نقطهٔ کانون (شهرهای شش‌گانه در پژوهش حاضر) اختصاص داده می‌شود (مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۹۵)

۲- با توجه به میزان رشد سرانهٔ زباله در شهرهای شش‌گانهٔ یادشده، میانگین سرانه‌های تولید زباله در روز به ازای هر نفر برای سال ۱۳۹۰ محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱. آمار میانگین سرانهٔ تولید روزانهٔ زباله (به گرم)

عنوان		شیراز	کازرون	فیروزآباد	مرودشت	جهرم	فسا	کل استان
میانگین سرانهٔ تولید روزانهٔ زباله (gr)	۱۳۸۱	۶۴۴	۸۶۴	۴۷۶	۶۲۵	۷۰۳	۵۹۵	۶۵۰
	۱۳۹۰	۷۶۵	۱۰۱۶	۵۶۵	۷۴۳	۸۳۵	۷۰۷	۷۷۱

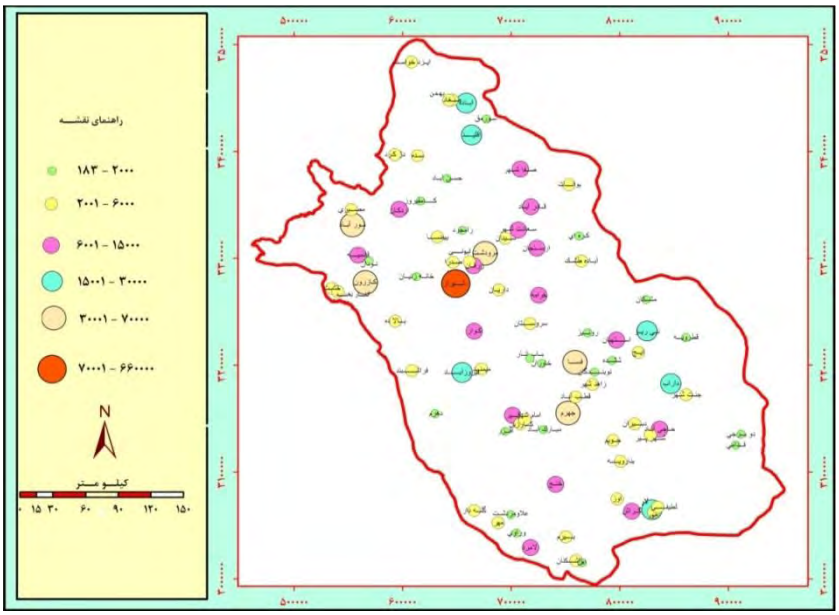
منبع: برآوردهای نگارندگان، زرولی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۴ و آرشیو داده‌های سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز



شکل ۱. پهنه‌های حاصل از به‌کارگیری روش تیسن دربارهٔ شهرهای شش‌گانهٔ نمونه

۳- در ادامه با ضرب جمعیت سال ۱۳۹۰ شهرها در میانگین سرانهٔ برآوردشده از تولید زباله در روز، میزان کلی (وزنه) زبالهٔ روزانه برای هر شهر در سال ۱۳۹۰ به دست آمد.

۴- با توجه به درصد پسماندهای آلی در ترکیب کلی پسماندهای شهری استان، درصد یادشده در میزان (وزنه) کلی زبالهٔ برآوردشده برای شهرهای واقع در پلیگون‌های شش‌گانه ضرب شد و میزان کلی (وزنه) پسماندهای آلی برای هریک از شهرهای استان به دست آمد (شکل ۲).



شکل ۲. نقشهٔ پراکندگی وزنه‌های تولید پسماندهای فسادپذیر به کیلوگرم در روز

فاصله از سکونتگاه‌های روستایی: در امر تولید کمپوست، مناطق روستایی، یکی از مراکز اصلی تولید مواد اولیه ازجمله ضایعات کشاورزی و کودهای حیوانی هستند؛ همچنین این مراکز به علت اشتغال بیشتر مردم به کشاورزی، کانون‌های اصلی تقاضا به شمار می‌آیند؛ بر همین اساس نزدیکی و دسترسی مناسب به مراکز روستایی امتیاز محسوب می‌شود؛ ضمن اینکه لازم است با توجه به قرارگیری صنایع تولید کمپوست در گروه «و» دست‌کم فاصلهٔ ۱۵۰۰ متری از روستاها به‌منزلهٔ محدودیت رعایت شود.

فاصله از زمین‌های زیر کشت: کانون اصلی مصرف فرآورده‌های تولیدشده در واحدهای کمپوست، زمین‌های کشاورزی هستند که به تناسب نوع محصول، شرایط بارش و میزان مواد معدنی در خاک به سطوح متفاوتی از کمپوست تولیدی نیاز دارند؛ با این دیدگاه، موقعیت مناسب واحدهای تولید کمپوست نسبت به زمین‌های کشاورزی یک امتیاز برای این واحدها تلقی می‌شود.

فاصله از سایت‌های دفن زباله: این معیار، یکی از معیارهای مطرح در مکان‌یابی کمپوست به حساب می‌آید؛ درواقع فرض بر این است که تشکیلات مجتمع تولید کمپوست و دفن در یک محدوده در مدیریت پسماندها اثر مثبتی دارد. در طرح محل دفن فعلی پسماندهای شهری شیراز نیز توجه ویژه‌ای به این‌گونه تأسیسات شده است؛ به گونه‌ای که از مساحت فراتر از ۵۰۰۰ هکتاری در نظر گرفته‌شده برای پردازش و دفع، ۴۰ هکتار به دفن و ۳۰ هکتار به احداث مجتمع صنعتی بازیافت اختصاص یافته است. در این سایت هم‌اکنون تولیدی کود ورمی کمپوست در حال فعالیت و بهره‌برداری است (سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز، ۱۳۸۹). استقرار سایت‌های کمپوست در نزدیکی مراکز دفن، بهتر است با رعایت فاصله‌ای باشد که پیامدهای منفی محل دفن را در روند فعالیت تولید کمپوست در پی نداشته باشد؛ برای نمونه رعایت‌نکردن فاصله با انتقال سریع‌تر مگس‌های انباشته‌شده در محل دفن زباله به

محل زندگی کرم‌های عامل در تولید ورمی کمپوست همراه می‌شود و اختلال در زندگی آنها را به دنبال دارد.

فاصله از خطوط ارتباطی: دسترسی به راه‌های ارتباطی موجب می‌شود محل استقرار واحدهای تولید کمپوست در ارتباط سیال‌تر و کارآمدتری با کانون‌های تأمین مواد اولیه و خدمات و کانون‌های عرضهٔ فرآورده‌های این واحدها قرار داشته باشد.

فاصله از خطوط انتقال گاز، نیرو و برق: با توجه به اینکه دسترسی به خطوط نیرو و گاز در گردش جریان تولید در واحدهای بازیافت و تأمین انرژی مورد نیاز در این واحدها نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، بر همین اساس فاصله از این خطوط، معیار در مکان‌یابی در نظر گرفته شد؛ بدین صورت که با افزایش فاصله از این خطوط، شاهد کاهش مطلوبیت هستیم.

میزان C/N و PH در پسماندهای آلی: میکروارگانیسم‌های دخیل در کمپوست برای تأمین انرژی و مواد لازم به‌منظور ساخت سلول‌های جدید به منبع کربن و ساخت پروتئین سلولی به نیتروژن نیاز دارند و بدین منظور میزان بهینهٔ نسبت C/N حدود ۳۰ تا ۳۵ است. در نسبت‌های بیشتر اکسیداسیون کربن اضافی صورت می‌گیرد؛ این امر موجب کاهش اکسیژن دردسترس میکروارگانیسم‌ها می‌شود و درنتیجه در عملیات تخمیر وقفه به وجود می‌آید. در چنین حالاتی نسبت‌های زیاد کربن به ازت باعث می‌شود افزودن ترکیبات ازته به پسماندها ضروری باشد. در نسبت‌های کمتر از ۳۰ درصد نیز نیتروژن به شکل آمونیاک آزاد می‌شود (عبدلی، ۱۳۸۷: ۳۱۷؛ محمدی، ۱۳۸۲: ۹-۸).

در پژوهش حاضر با جمع‌بندی مقادیر ذکرشده در منابع مختلف دربارهٔ دامنهٔ نسبت C/N در پسماندهای آلی استفاده‌شده در فرایند کمپوست، دامنهٔ ارزش‌گذاری تغییرات مقادیر مربوط به نسبت C/N، در حد فاصل رطوبت‌های ۵۰-۲۰ تعیین شده است (چوبانگلوس، ۱۳۸۸: ۸۵۶؛ عبدلی، ۱۳۸۷: ۳۱۷؛ زززولی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۸۲؛ شرکت گسترش صنایع پایین‌دستی پتروشیمی، ۱۳۸۶: ۳۴؛ محمدی، ۱۳۸۲: ۸).

دربارهٔ میزان PH نیز، حد استاندارد مطلوب برابر با ۷ در نظر گرفته می‌شود (زززولی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۷۹)؛ با این حال میزان PH نباید بیش از ۵/۸ و کمتر از ۵ باشد (عبدلی، ۱۳۸۷: ۳۱۷). میزان PH علاوه بر اینکه بر میکروارگانیسم‌های فعال در فرایند کمپوست اثرگذار است، در انتخاب تجهیزات مناسب در فرایند تولید کمپوست نیز به آن توجه می‌شود. پسماندهای خانگی با PH اسیدی، هزینه‌های بیشتری برای ساخت تجهیزات و نگهداری آنها و همچنین تغییرات نیاز دارند. درمجموع با توجه به PH اسیدی پسماندهای شهری در استان، انجام عملیات‌های خنثی‌سازی، امری ضروری است (زززولی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۷۹).

استقرار واحدهای تولید کمپوست در موقعیت مناسب نسبت به مکان‌هایی که در آنها میزان C/N و PH پسماندهای آلی در شرایط مناسب‌تری قرار دارد، یک امتیاز برای این واحدها تلقی می‌شود. در تهیهٔ اطلاعات لازم در این زمینه، از داده‌های مستخرج از گزارش طرح توجیه فنی و اقتصادی بازیافت و تعیین آنالیز فیزیکی و شیمیایی مواد زائد شهری استان فارس (زززولی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۸۲) به‌منزلهٔ داده‌ها و اطلاعات پایه‌ای استفاده شد؛ بدین ترتیب که پس از استخراج پلیگون‌های مربوط به شش شهر شیراز، کازرون، فسا، مرودشت، جهرم و فیروزآباد به روش

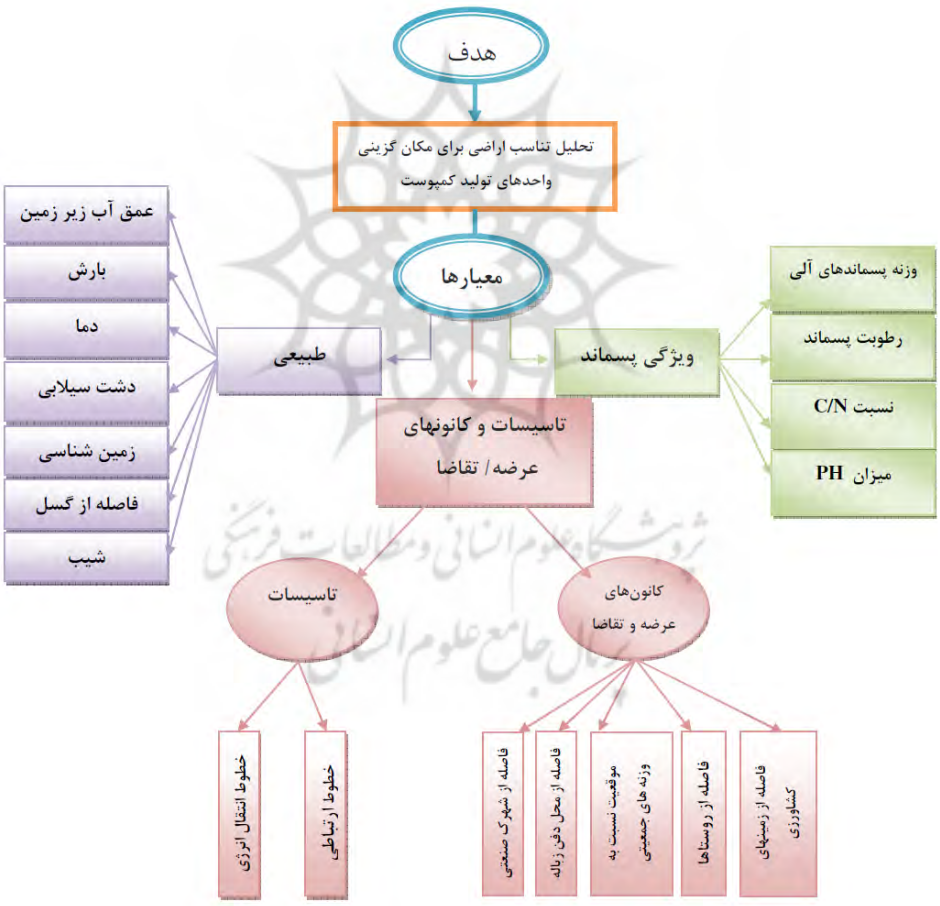
تیسن، داده‌های مربوط به میزان C/N و PH پسماندهای آلی در این شش شهر نمونه در طرح، برای شهرهای واقع در پلیگون‌های مربوطه نیز مدنظر قرار گرفت.

رطوبت پسماند: رطوبت کمتر از ۳۰ درصد در پسماندهای آلی باعث کاهش سرعت واکنش بیولوژیکی و اگر میزان رطوبت زیاد باشد، موجب ممانعت از جذب اکسیژن لازم با میکروارگانیسم‌ها می‌شود (محمدی، ۱۳۸۲: ۸). در فرایند تخمیر کمپوست میزان بهینهٔ رطوبت در حد ۵۰ درصد است و در مواقعی به موازات کاهش یا افزایش از این حد بهینه، مطلوبیت میزان رطوبت در فرایند تولید کمپوست کاهش می‌یابد (چوبانگلوس، ۱۳۸۸: ۸۵۶). در پژوهش حاضر با جمع‌بندی مقادیر ذکرشده در منابع مختلف در زمینهٔ دامنهٔ میزان رطوبت پسماندهای آلی استفاده‌شده در فرایند کمپوست، دامنهٔ ارزش‌گذاری تغییرات مقادیر مربوط به درصد رطوبت، در حد فاصل رطوبت‌های ۸۰-۲۰ درصد شد (چوبانگلوس، ۱۳۸۸: ۸۵۷؛ عبدلی، ۱۳۸۷: ۳۱۷؛ زرولی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۸۲؛ شرکت گسترش صنایع پایین‌دستی پتروشیمی، ۱۳۸۶: ۳۰؛ محمدی، ۱۳۸۲: ۸). با این اوصاف استقرار واحدهای تولید کمپوست در موقعیت مناسب نسبت به مکان‌هایی که در آنها رطوبت پسماند در شرایط مناسب‌تری قرار دارد، یک امتیاز برای این واحدها تلقی می‌شود **و استانداردسازی نقشه‌های معیار**: ارزش‌گذاری به این معناست که به مقادیر مشخص شده از معیارها برحسب میزان مطلوبیت، ارزشی تعلق گیرد. استاندارد نمودن داده‌ها نیز به معنی همسا دامنه تغییرات ارزش‌ها (در دامنه‌هایی همچون ۰ تا ۱ ۰ تا ۲۵۵ است می باشد (مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۱۸۴).

ارزش‌گذاری: در مقاله حاضر، فرایند ارزش‌گذاری و استانداردسازی به صورت توأم و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه فازی و در دامنه ۰ تا ۲۵۵ در نظر گرفته شده است (یعنی در رابطه با هر معیار یک نقشه رستری استانداردشده تهیه می‌شود که دامنه ارزش‌ها بین ۰ تا ۲۵۵ است، پیکسل‌هایی که نمره آنها به طرف ۲۵۵ میل می‌کند به لحاظ معیار مربوطه از مطلوبیت بیشتری برخوردار می‌شوند). بر همین اسابا استفاده از امکاناتی که در تابع FUZZY از نرم‌افزار IDRISI Kilimanjaro وجود دارد، برای استانداردسازی نقشه‌هایی که به صورت نقشه‌های معیار تهیه شده‌اند به تناسب، از توابع عضویت Sigmoidal و liniear و در قالب‌هایی چون ارزش‌گذاری و استانداردسازی افزایشی به صورت یکنواخت، کاهشی به صورت یکنواخت و سایمتریک استفاده شده است.

وزن‌دهی نقشه‌های معیار: برای دخالت‌دادن اهمیت نسبی هرکدام از عوامل مشخص‌شده در فرایند تعیین مکان بهینه، باید ضرایب ویژه‌ای به‌منزلهٔ وزن به آنها اختصاص داد. برای این منظور در پژوهش حاضر، از روش مقایسهٔ زوجی در سطوح سلسله‌مراتبی از معیارهای فهرست‌شده درزمینهٔ مکان‌گزینی واحدهای تولید کمپوست (شکل ۳) استفاده شده است. اساس تعیین وزن در این روش را مقایسهٔ دوبه‌دوی معیارها تشکیل می‌دهد که در سه‌گام ایجاد ماتریس مقایسه‌ای دوبه‌دو، محاسبهٔ وزن‌های معیار و تخمین نسبت پایندگی یا سازگاری به سرانجام می‌رسد.

در کاربرد روش مقایسهٔ زوجی باید توجه داشت اصولاً این مقایسه را یک کارشناس انجام می‌دهد؛ در چنین شرایطی برای دخالت‌دادن کارشناسان مختلف در تعیین وزن، دو رویکرد مطرح است (مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۳۲۰-۳۱۵). رویکرد اول آنکه کارشناسان مربوطه به صورت یک گروه در تعیین اهمیت معیارها با یکدیگر همکاری و تشریک مساعی می‌کنند و نتیجهٔ نهایی مقایسهٔ دوبه‌دو نشان‌دهندهٔ اولویت‌های توافقی اعضای گروه در تعیین وزن معیارهاست؛ رویکرد دیگر آنکه اولویت‌های هر شخص به صورت جداگانه مشخص و در ادامه برای دست‌یافتن به وزن‌های کلی از مجموع وزن‌های منفرد میانگین‌گیری می‌شود. با توجه به مطالب یادشده، در پژوهش حاضر برای تعیین وزن از رویکرد اول استفاده شده است؛ بدین صورت که وزن‌های به‌دست‌آمده حاصل تشریک مساعی و بحث مشترک ۵ نفر از صاحب‌نظران دانشگاهی با سابقهٔ پژوهش در حوزهٔ مدنظر است.



شکل ۳. سطوح سلسله‌مراتبی از معیارهای مطرح در مکان‌گزینی واحدهای تولید کمپوست

قاعدهٔ تحلیل چندمعیاری استفاده شده در پژوهش: قواعد تصمیم‌گیری و روش‌های تجزیه‌وتحلیل اطلاعات قاعدهٔ تصمیم‌گیری که در پژوهش حاضر مدنظر است، مشتمل بر دستورکاری

است که امکان مرتب‌سازی گزینه‌ها را فراهم می‌کند. یک قاعدهٔ تصمیم‌گیری در رتبه‌بندی گزینه‌ها و تصمیم‌گیری دربارهٔ انتخاب گزینهٔ ارجح به کار گرفته می‌شود. اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان و صورت وضعیتی که گزینه‌های پیشنهادی به لحاظ معیارها و قیود محدودیت تعریف شده در فرایند تحلیل تصمیم چندمعیاری به دست می‌آورند، در رتبه‌بندی گزینه‌ها از اهمیت محوری برخوردار است. مدل‌های استفاده‌شده در تجزیه‌وتحلیل اطلاعات مشتمل بر قواعدی است که در آنها نقشه‌های معیار استانداردشدهٔ وزنی در سازوکار خاصی با هم تلفیق شده‌اند و خروجی حاصله مشتمل بر نقشهٔ اولویت‌بندی‌شدهٔ تناسب اراضی دربارهٔ هدف مدنظر است. روش TOPSIS، یکی از روش‌های برجسته از فنون تصمیم چندمعیاری (MCDM) است که در فرایند تعیین تناسب گزینه‌های مکانی استفاده‌شده قرار گرفته است. در اعمال‌کردن محدودیت‌ها و تفکیک گزینه‌های ممکن از گزینه‌های ناممکن نیز از منطق بولین مبتنی بر AND، استفاده شد. روش کار مبتنی بر GIS از اجرای مدل TOPSIS مشتمل بر مراحل زیر است (مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۳۷۵-۳۷۳):

مرحلهٔ اول: تشکیل ماتریس داده‌ها براساس n آلترناتیو و m شاخص که در آن x_{ij} معرف نمرهٔ خام پیکسل i ام در معیار j ام است.

مرحلهٔ دوم: در این مرحله با استانداردسازی داده‌ها، دامنهٔ مقادیر(x_{ij}) را که در واحدهای اندازه‌گیری متفاوت (همچون واحد اندازه‌گیری رتبه‌ای، درصدی و متریک) وجود دارند، به یک دامنهٔ استاندارد تبدیل می‌کنیم و مقادیر استانداردشدهٔ داده‌ها (Zij) را به دست می‌آوریم. در چنین روندی لایه‌های نقشهٔ استاندارد به دست می‌آید که قابل مقایسه و ترکیب با یکدیگر هستند.

مرحلهٔ سوم: وزن‌های (w_j) مربوط به هر صفت تعیین می‌شود؛ مجموع وزن‌ها باید به گونه‌ای باشد که $0 \leq w_j \leq 1$ و $\sum_j w_j = 1$ به دست آید.

مرحلهٔ چهارم: با ضرب هر ارزش از لایهٔ صفت استانداردشده v_{ij} در وزن متناظر بر آن(w_j)، لایه‌های نقشهٔ استانداردشدهٔ وزنی ایجاد می‌شود؛ هر سلول از لایه‌ها حاوی ارزش استانداردشدهٔ وزنی v_{ij} است.

مرحلهٔ پنجم: ارزش حداکثر (v_{+j}) در هریک از لایه‌های نقشهٔ استانداردشدهٔ وزنی تعیین می‌شود (ارزش‌ها تعیین‌کنندهٔ نقطه ایده‌آل هستند)؛ یعنی $v_{+j} = (v_{max1}, v_{max2}, \cdots, v_{maxn})$.

مرحلهٔ ششم: در این مرحله ارزش حداقل(v_{-j}) برای هرلایهٔ نقشهٔ استانداردشدهٔ وزنی تعیین می‌شود (ارزش‌ها تعیین‌کنندهٔ نقطهٔ حضیض هستند)؛ به صورتی که$(v_{min1}, v_{min2}, \cdots, v_{minn})=v_{-j}$ است.

مرحلهٔ هفتم: با استفاده از یک اندازهٔ انفکاک، فاصلهٔ بین نقطهٔ ایده‌آل و هر گزینه محاسبه می‌شود؛ یک انفکاک با استفاده از متریک فاصلهٔ اقلیدسی محاسبه می‌شود:

$$s_{i+} = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_{+j})^2}$$

مرحلهٔ هشتم: با استفاده از همان اندازهٔ انفکاک، فاصلهٔ بین هر گزینه و نقطهٔ حضیض محاسبه می‌شود:

$$s_{i-} = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_{-j})^2}$$

مرحلهٔ نهم: با استفاده از رابطهٔ زیر، نزدیکی نسبی به نقطهٔ ایده‌آل (c_{i+}) محاسبه می‌شود؛ به طوری که $0 < c_{i+} < 1$ است؛ بر این اساس هر اندازه یک

گزینه به نقطهٔ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، c_{i+} به سمت ۱ میل می‌کند.

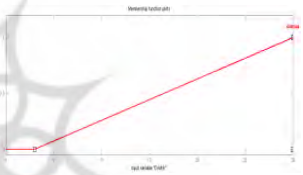
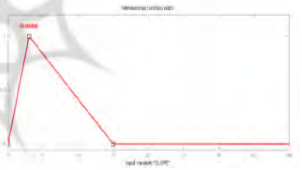
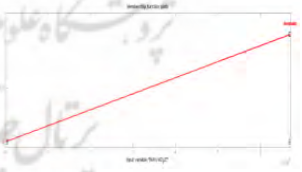
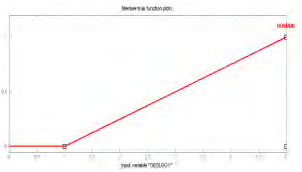
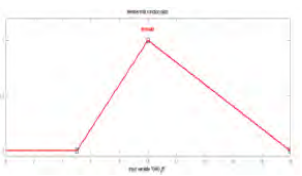
$$c_{i+}=\frac{s_{i-}}{s_{i+}+s_{i-}}$$

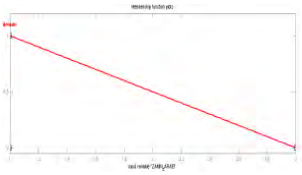
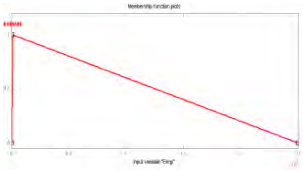
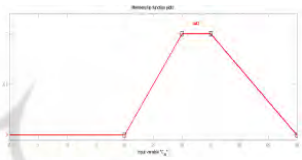
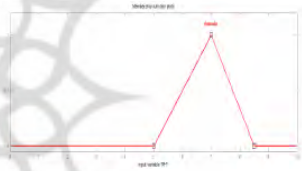
مرحلهٔ دهم: در این مرحله گزینه‌ها برحسب یک ترتیب نزولی از c_{i+} رتبه‌بندی می‌شود؛ گزینه‌ای که با بالاترین ارزش از c_{i+} همراه باشد، بهترین گزینه است.

یافته‌های پژوهش

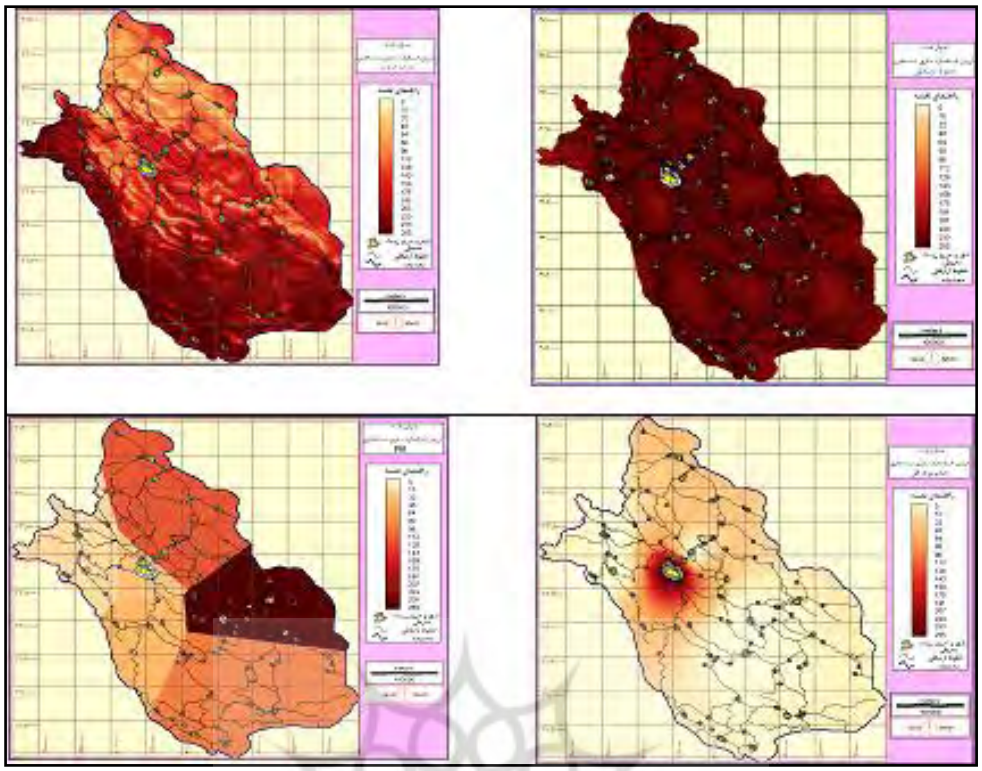
در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از امکاناتی که در تابع FUZZY از نرم‌افزار IDRISI Kilimanjaro وجود دارد برای استانداردسازی نقشه‌هایی که به صورت نقشه‌های معیار تهیه شده‌اند، به تناسب از توابع عضویت Sigmoidal و linear و در قالب‌هایی چون افزایشی به صورت یکنواخت، کاهشی به صورت یکنواخت و سایمتریک استفاده شده است (مانند نمونه‌های مطرح‌شده در جدول ۲).

جدول ۲. نمونه‌های نمایشی از استانداردسازی و ارزش‌گذاری فازی دامنهٔ تغییرات مقادیر معیارها

نام معیار	نمایش درجهٔ عضویت در تابع فازی	توضیحات مربوط به روش ارزش‌دهی
دما		ارزش‌دهی رتبه‌ای: روند افزایشی به تناسب افزایش میزان دما در چهارچوب دامنهٔ تغییرات بازتاب‌یافته بر روی نقشهٔ هم‌دمای استان (۳ تا ۲۸ درجهٔ سانتیگراد).
شیب		ارزش‌دهی طبقه‌ای: روند افزایشی از سطوح بدون شیب تا شیب ۳ درصد، مقطع دارای شیب ۳ درصد با مطلوبیت زیاد به واسطهٔ قرارگیری در نقطهٔ عطف دارای درجهٔ عضویت ۱، روند کاهشی در حد فاصل شیب‌های ۳ تا ۱۵ درصد، نبود مطلوبیت در فواصل دیگر بر پایهٔ درجهٔ عضویت صفر در عدد فازی.
موقعیت نسبت به وزنه‌های پسماند آلی تولیدشده در کانون‌های شهری تولید پسماند		ارزش‌گذاری مستقیم: روند افزایشی به تناسب افزایش نمرهٔ به‌دست‌آمده در برآیند درون‌یابی‌های صورت‌گرفته.
سازندهای زمین‌شناسی		ارزش‌دهی طبقه‌ای: نبود مطلوبیت در سازندهای واقع در طبقهٔ یک (مانند سازندهای آهکی و دولومیتی) با درجهٔ عضویت صفر در عدد فازی؛ شروع روند افزایشی از سازندهای قرارگرفته در طبقهٔ ۲ (مانند سازندهای ماسه سنگی) تا طبقهٔ ۵ (مانند سازندهای رسی و مارنی)؛ درجهٔ عضویت برابر با ۱ در مقطع طبقهٔ ۵.
عمق آب زیرزمینی		ارزش‌دهی: روند افزایشی از ۵ متر تا ۱۰ متر، روند کاهشی در حد فاصل ۱۰ تا ۲۰ متر که با گذشتن از آن نمرهٔ ثبت‌شده در عمق ۲۰ متری ثابت می‌ماند، نبود مطلوبیت در عمق کمتر از ۵ متری بر پایهٔ درجهٔ عضویت صفر در عدد فازی. ملاک انتخاب دامنه: رعایت فاصلهٔ مناسب محل تولید کمپوست از خط

نام معیار	نمایش درجهٔ عضویت در تابع فازی	توضیحات مربوط به روش ارزش‌دهی
		ایستایی آب‌های زیرزمینی با توجه به پتانسیل آلوده‌شدن آب‌های زیرزمینی در اثر نفوذ پساب‌ها و شیرابه‌ها، مناسب‌نبودن عمق زیاد آب به واسطهٔ وجود مشکلات در تأمین آب مورد نیاز با حفر چاه.
فاصله از زمین‌های کشاورزی		ارزش‌دهی فاصله‌ای: روند کاهشی به موازات افزایش فاصله از زمین‌های زیر کشت.
خطوط تأسیسات انتقال انرژی		ارزش‌دهی فاصله‌ای: روند کاهشی به موازات افزایش فاصله از خطوط و تأسیسات انتقال انرژی پس از مراعات حریم مربوطه.
نسبت C/N		روش ارزش‌دهی: روند افزایشی از نسبت ۲۰ تا ۳۰؛ مقطع مشخص‌شده با نسبت ۳۰ تا ۳۵ دارای مطلوبیت حداکثر با درجهٔ عضویت ۱ در عدد فازی؛ روند کاهشی از نسبت ۳۰ تا ۵۰، نبود مطلوبیت در نسبت‌های کمتر از ۲۰ و بیشتر از ۵۰ بر پایهٔ درجهٔ عضویتی در عدد فازی.
میزان PH		روش ارزش‌دهی: روند افزایشی از میزان ۵ تا ۷، PH برابر با ۷ دارای مطلوبیت حداکثر با درجهٔ عضویت ۱ در عدد فازی؛ روند کاهشی از میزان ۷ تا ۵/۸، نبود مطلوبیت در PH کمتر از ۵ و بیشتر از ۵/۸ بر پایهٔ درجهٔ عضویتی در عدد فازی.

تفسیر ارزش‌های استانداردشده بر مبنای درجهٔ عضویت در تابع فازی بدین صورت است که به تناسب درجهٔ تعلق مقادیر ثبت‌شده از معیارها به حالت معرف وضعیت مطلوبیت که در حدفاصل ۰ تا ۱ یا ۰ تا ۲۵۵ تبیین‌شدنی است، مطلوبیت پیکسل‌های نقشه به لحاظ معیار مربوطه مشخص می‌شود؛ بر همین اساس اگر مقدار ثبت‌شده از یک معیار (مانند مقادیر شیب، رتبهٔ مربوط به نوع سازند زمین‌شناسی، مقادیر PH و ...) در یک پیکسل با درجهٔ تعلق کامل به حالت معرف مطلوبیت باشد، نمرهٔ مربوطه در دامنهٔ ارزش‌های استاندارد به تناسب بازهٔ دامنهٔ استفاده‌شده به طرف ۱ یا ۲۵۵ میل می‌کند و هر چقدر از درجهٔ تعلق مقادیر ثبت‌شده از معیار به حالت معرف وضعیت مطلوبیت کاسته شود، نمرهٔ استاندارد یادشده به طرف صفر میل می‌کند. با توجه به توضیحات یادشده در پژوهش حاضر برای استانداردسازی دامنهٔ تغییرات مقادیر معیار از تابع FUZZY در محیط IDRISI Kilimanjaro استفاده و تغییرات درجهٔ عضویت در دامنهٔ $0 \leq \mu_D(x) \leq 255$ تعریف شده است (مانند نمونه‌های قیدشده در شکل ۴).



شکل ۴. نمونه‌هایی از نقشه‌های استاندارد شده مورد استفاده در فرایند تعیین تناسب اراضی در دامنه ۲۵۵–

از سوی دیگر همان‌گونه که مطرح شد برای تعیین بار اهمیت معیار در فرایند تعیین تناسب اراضی از روش مقایسهٔ زوجی در تعیین وزن‌های معیار استفاده شد و با ضرب ضرایب به‌دست‌آمده (جدول ۳) در نقشه‌های معرف مقادیر استانداردشدهٔ معیارها، نقشه‌های استانداردشدهٔ وزنی به دست آمد. در ادامهٔ کار با بارگذاری نقشه‌های استانداردشدهٔ فازی مربوط به معیارها در چهارچوب تکنیک TOPSIS به منزلهٔ قاعدهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاری، گزینه‌های مکانی در فرایند مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست از پسماندهای آلی شهری اولویت‌بندی شد.

در فرایند مقایسهٔ زوجی برای تعیین وزن معیار باید به این پرسش پاسخ دهیم که آیا مقایسه‌های ما پایندگی دارند یا نه؛ علاوه بر این در برآیند انجام مقایسهٔ زوجی باید نسبت پایندگی[1] (CR) را تعیین کرد (در رابطه با محاسبات مراجعه شود به مالچفسکی؛ ۱۳۸۵: ۳۲۴–۳۱۴). نسبت پایندگی به گونه‌ای تعیین می‌شود که اگر CR <۰/۱۰ باشد، در آن صورت این نسبت دلالت بر سطح پذیرفتهٔ پایندگی در مقایسه‌های دوبه‌دو دارد؛ با وجود این اگر CR ≥۰/۱۰ باشد، در آن صورت ارزش‌های نسبت نشان‌دهندهٔ قضاوت‌های ناپاینده هستند. در چنین حالاتی باید ارزش‌های اولیهٔ مطرح در ماتریس مقایسه‌ای دوبه‌دو را بازبینی و در آن تجدیدنظر کرد. با توجه به آنکه در پژوهش حاضر در تمام سطوح سلسله‌مراتبی از مقایسه‌های دوبه‌دو میزان CR کمتر از ۰/۰۸ شد، بنابراین به وضعیت پذیرفتهٔ سطح پایندگی اذعان می‌شود.

[1] consistency ratio

جدول ۳. وزن معیارهای مطرح در مکان‌یابی مراکز تولید کمپوست

گروه		زیرمعیار	وزن			وزن نهایی معیار
سطح ۱	سطح ۲		سطح ۱	سطح ۲	معیار	
		ف. مراکز روستایی			۰/۳۲۱	۰/۱۳
	کانون	ف. زمین‌های کشاورزی			۰/۳۲۱	۰/۱۳
تأسیسات و	عرضه و	موقعیت نسبت به کانون‌های جمعیتی		۰/۷۵۰	۰/۱۶۲	۰/۰۶۶
کانون‌های	تقاضا	ف. محل دفن زباله	۰/۵۴۰		۰/۱۲۹	۰/۰۵۲
عرضه/تقاضا		ف. شهرک صنعتی			۰/۰۶۷	۰/۰۲۷
		ف. خطوط ارتباطی		۰/۲۵۰	۰/۷۵۰	۰/۱۰۱
	تأسیسات	ف. خطوط انتقال انرژی			۰/۲۵۰	/۰۳۴
		شیب			۰/۳۱۱	۰/۰۵۱
		ف. خطوط گسل			۰/۱۶۹	۰/۰۲۸
		زمین‌شناسی			۱۵۶/۰	۰/۰۲۵
		ف. دشت سیلابی		۰/۱۶۳	۰/۱۲۵	۰/۰۲
طبیعی		عمق آب زیرزمینی			۰/۱۲۱	۰/۰۲
		دما			۰/۰۶۷	۰/۰۱۱
		بارش			۰/۰۵۲	۰/۰۰۸
		وزنهٔ پسماندهای آلی			۰/۷۸۴	۰/۲۳۳
		رطوبت پسماند		۰/۲۹۷	۰/۱۳۵	۰/۰۴
ویژگی زباله		نسبت کربن به ازت و PH			۰/۰۸۱	۰/۰۲۴

مأخذ: نتایج حاصل از مقایسه دوبدو

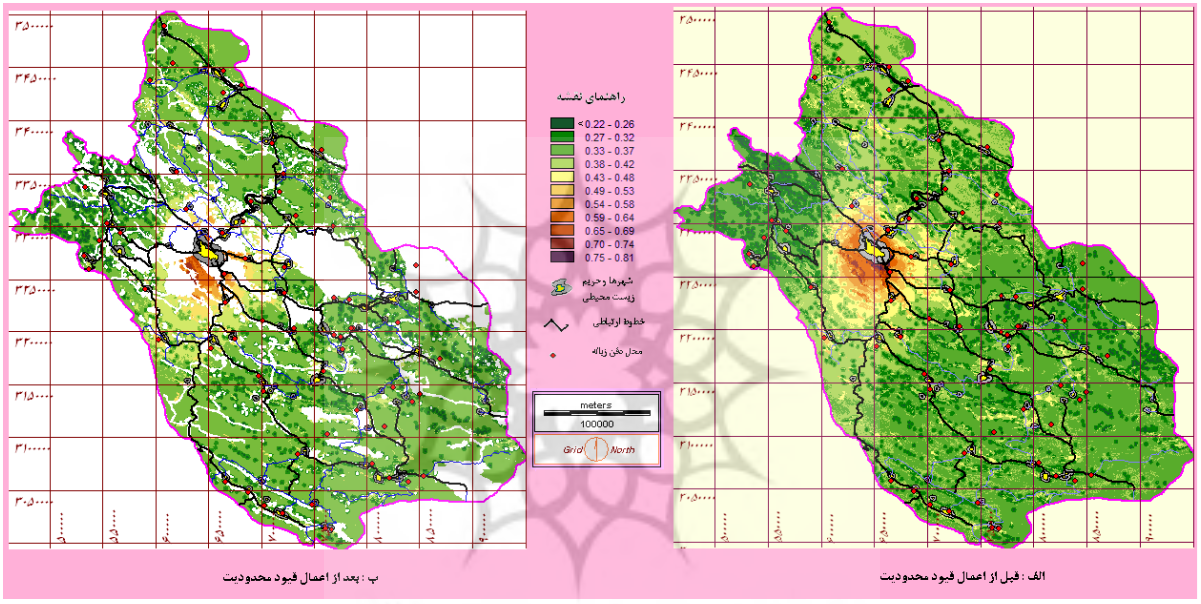
تکنیک مرتب‌سازی اولویت گزینه‌ها بر مبنای میزان مشابهت به راه‌حل ایده‌آل[1] (TOPSIS)، یکی از متداول‌ترین روش‌ها در تعیین میزان انفکاک از موقعیت ایده‌آل محسوب می‌شود. براساس این تکنیک، بهترین گزینه، گزینه‌ای است که به طور همزمان نزدیک‌ترین واحد به نقطهٔ ایده‌آل و دورترین واحد از نقطهٔ متصف به شرایط نامطلوب باشد. از امتیازات مهم این روش، استفادهٔ همزمان از شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی است؛ با این حال لازم است در این مدل برای محاسبات ریاضی، تمامی مقادیر نسبت داده‌شده به معیارها از نوع کمّی باشد و در صورت کیفی‌بودن نسبت داده‌شده به معیارها، می‌باید آنها را به مقادیر کمّی تبدیل کرد. اگرچه روش TOPSIS هم در محیط رستری و هم در محیط برداری مربوط به GIS به کار برده می‌شود، اما این تکنیک به طور ویژه‌ای مناسب با ساختار داده‌های رستری است.

در برآیند عملیاتی‌سازی مراحل و دستورکارهای مطرح در فرایند به‌کارگیری مدل TOPSIS، نقشه‌ای اولویت‌بندیشده از گزینه‌های مکانی برای استقرار واحدهای کمپوست به دست آمد که امتیاز آنها در دامنهٔ بین صفر و یک مشخص بودند. در نقشهٔ

[1] technique for order preference by similarity to the ideal solution

خروجی به‌دست‌آمده هر پیکسلی که نمرهٔ آن به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهندهٔ شرایط مطلوب‌تر آن برای استقرار واحد تولید کمپوست است که به تناسب نیاز برای اختصاص زمین به کاربری یادشده در محدوده‌ای مشخص و با درنظرگرفتن قیود محدودیت فهرست‌شده در جدول، راهنمای عمل تصمیم‌گیران در جهت‌دهی چیدمان مکانی – فضایی واحدهای تولید کمپوست است (شکل ۵ – الف).

بررسی صورت وضعیت پیکسل‌های اولویت‌دار مشخص‌شده در نقشهٔ تناسب اراضی به لحاظ معیارهای به‌کارگرفته‌شده در تعیین تناسب مکان برای استقرار واحدهای تولید کمپوست نیز، گویای مطلوبیت وضعیت پیکسل‌ها به لحاظ معیارهای یادشده است. کنترل صورت وضعیت نمونه‌هایی از پیکسل‌های اولویت‌دار نشان می‌دهد امتیاز استاندارد فازی این پیکسل‌ها در بیشتر معیارها بیش از ۲۳۰ است.



شکل ۵. نقشهٔ درجه‌بندی‌شدهٔ تناسب مکانی برای استقرار واحدهای تولید کمپوست

دستهٔ دیگر از متغیرهای بررسی‌شده، محدودیت‌ها هستند که محدودیت‌های اعمال‌شده در انتخاب پیکسل‌ها به‌عنوان گزینه‌ها را به نمایش می‌گذارند و مجموعه‌ای از گزینه‌های ممکن را تعیین می‌کنند. از مصادیق بارز محدودیت‌ها، ضوابطی است که سازمان محیط زیست ارائه کرده است. براساس ضابطه‌های این سازمان، صنایع براساس شدت و ضعف آلودگی و دیگر مسائل زیست‌محیطی در گروه‌هایی با مشخصات زیر قرار می‌گیرند (سازمان محیط زیست، ۱۳۷۸):

- گروه «الف»: صنایع این گروه مجازند در مناطق صنعتی یا تجاری داخل محدودهٔ مصوب شهری استقرار یابند.
- گروه «ب»: صنایع این گروه مجازند داخل حریم زیست‌محیطی شهرها مشروط به رعایت دست‌کم فاصلهٔ ۲۰۰ متر از مراکز مسکونی، درمانی و آموزشی و یکصد متری از مراکز نظامی و انتظامی و رعایت حریم رودخانه‌ها و قنوات دایر استقرار یابند. بدیهی است رعایت همهٔ حریم‌های قانونی الزامی است

(حریم زیست‌محیطی عبارت از محدوده‌ای است به عرض ۵ کیلومتر پس از محدودهٔ مصوب شهری برای شهرهایی با جمعیت بیش از ۲۰۰.۰۰۰ نفر و ۳ کیلومتر برای شهرهای با جمعیتی بین ۷۵.۰۰۰ تا ۲۰۰.۰۰۰ نفر و ۲ کیلومتر برای شهرهای با جمعیت کمتر از ۷۵.۰۰۰ نفر).

➢گروه «ج»: صنایع این گروه مجازند در مناطق صنعتی داخل حریم زیست‌محیطی هر شهر یا خارج از حریم زیست‌محیطی و با رعایت دست‌کم فاصلهٔ ۵۰۰ متر از مراکز مسکونی، آموزشی و درمانی و رعایت حریم قانونی جاده استقرار یابند.

➢گروه «د» و «ه»: صنایع این گروه مجازند خارج از حریم زیست‌محیطی هر شهر مشروط به رعایت فواصل لازم از مراکز حساس استقرار یابند. یکی دیگر از ضوابطی که می‌شود به مندرجات این جدول اضافه کرد این است که صنایع گروه «د» و «ه» به ترتیب در فاصله‌های ۳۰۰۰ متری و ۵۰۰۰ متری از حریم زیست‌محیطی شهرها قرار داشته باشند.

➢گروه «و»: محل پیشنهادی برای استقرار صنایع این گروه را با توجه به آثار زیست‌محیطی آنها، اصول کاربری زمین و ظرفیت پذیرش محیط، سازمان حفاظت محیط زیست ارزیابی و اعلام می‌کند.

با مرور مصادیق صنایع و تأسیساتی که ممکن است در زیرمجموعهٔ گروه‌های یادشده قرار داشته باشند، مشخص شد واحدهای تولید کمپوست در گروه «و» قرار می‌گیرند. صنایع داخل در این گروه به لحاظ میزان آلایندگی و مسائل زیست‌محیطی در وضعیت حادتری نسبت به چهار گروه اول قرار دارند و درنظرگرفتن محدودیت‌ها با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی از حساسیت بیشتری برخوردار است. در جمع‌بندی بررسی‌های صورت‌گرفته محدودیت‌های مطرح در زمینهٔ مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست به شرح جدول (۴) آورده شده‌اند.

جدول ۴. محدودیت‌های استفاده‌شده در مکان‌یابی واحدهای تولید کمپوست

نوع محدودیت	توضیحات	احراز شرایط	احرازنشدن شرایط
شهرها و حریم زیست‌محیطی	حریم تعریف‌شده در ضوابط	۱	۰
سکونتگاه‌های روستایی	۱۵۰۰ متر (کمترین فاصله)	۱	۰
مراکز صنعتی	۲۰۰۰ متر (کمترین فاصله)	۱	۰
راه‌های اصلی	۳۰۰ متر (کمترین فاصله)	۱	۰
فاصله از فرودگاه‌های محلی و بین‌المللی	۳۰۰۰ تا ۸۰۰۰ متر به تناسب نوع فرودگاه	۱	۰
دریاچه، باتلاق، تالاب و مناطق حفاظتی	۱۰۰۰ متر (کمترین فاصله)	۱	۰
رودخانه و آب‌بند (سد)	۱۰۰۰ متر (کمترین فاصله)	۱	۰
دشت‌های سیلابی	قرارنگرفتن بر این مناطق	۱	۰
چشمه	۱۰۰۰ متر (کمترین فاصله)	۱	۰
چاه آب شرب و قنات	۴۰۰ متر (کمترین فاصله)	۱	۰
محدوده‌های زمین‌لغزش	قرارنگرفتن در پهنه‌های در معرض خطر	۱	۰
سایر محدودیت‌ها	اعمال‌شدنی بر خروجی نهایی به تناسب شرایط	۱	۰

برای اعمال محدودیت‌ها لازم است نقشهٔ نهایی از تناسب اراضی، در نقشه‌های محدودیت ضرب شوند که حامل ارزش‌های ۰ یا ۱ هستند. در نقشهٔ محدودیت، محدوده‌هایی که در آنها شرایط مندرج در محدودیت مراعات شده و درواقع جزو محدوده‌هایی نیستند که در آنها محدودیت وجود داشته باشد، با کد ۱ مشخص و در غیر این صورت با کد ۰ شناسنامه‌دار می‌شود. بدیهی است با ضرب نقشه‌های بولین مربوط به محدودیت‌ها در نقشهٔ تناسب اراضی، محدوده‌هایی از نقشهٔ تناسب اراضی که در عدد ۱ مربوط به نقشهٔ بولین ضرب شده‌اند، ارزش خود را حفظ می‌کنند و در غیر این صورت با نمرهٔ صفر مارک‌دار می‌شوند. با این ضرب فقط پیکسل‌هایی باقی می‌مانند که بدون استثنا، شرایط قیدشده در آنها رعایت شده باشد. در شکل (۵–ب) محدوده‌های شناسنامه‌دار با قیود محدودیت به صورت لکه‌های سفید مشخص و بقیهٔ محدوده‌ها معرف پیکسل‌هایی هستند که در آنها بدون استثنا تمام شرایط مندرج در زیرمجموعهٔ مبحث محدودیت‌ها مراعات شده‌اند.

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج به‌کارگیری مدل در محدودهٔ مطالعه‌شده نشان می‌دهد پیکسل‌های اولویت‌دار معرفی‌شده در خروجی حاصل از مدل، متصف به شرایط بهینه از منظر معیارهای تعریف‌شده هستند؛ بنابراین تصمیم‌گیرندگان از این مدل به‌منزلهٔ یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS) در فرایند چیدمان مکانی – فضایی واحدهای تولید کمپوست بهره می‌برند.

در پژوهش حاضر در عطف نقاط اولویت‌دار به معیارها و محدودیت‌های تعیین‌شده ملاحظات متعددی در نظر گرفته شده است که عینیت آنها در مرتبط‌کردن پیکسل‌های شکل (۵) با پیکسل‌های متناظر در نقشه‌های معیار و قیود محدودیت تبیین‌شدنی است. نقاط اولویت‌دار در استقرار واحدهای کمپوست که در تفکیک زون‌بندی‌شده از شهرستان‌های استان بررسی می‌شوند، باید با درنظرگرفتن سرجمع معیارهای بررسی‌شده در تعیین تناسب اراضی و وزنه و اهمیت آنها در فرایند تصمیم‌گیری، شرایط مطلوبیت تعریف‌شده به لحاظ معیارهای مربوطه را داشته و در عین حال تمام شرایط مندرج در محدودیت‌ها در آنها احراز شده باشند؛ با این اوصاف این نقاط باید موقعیت مناسب نسبت به کانون‌های تولید پسماندهای آلی در مقام وزنه‌های تأمین مواد اولیه داشته باشند؛ در عین حال ویژگی‌های پسماندهای آلی به لحاظ رطوبت پسماند، نسبت کربن به ازت و میزان PH که تأثیر مستقیمی بر کیفیت فرآورده‌های کمپوست دارند، یک مؤلفهٔ مثبت در ایجاد واحدهای تولید کمپوست در نظر گرفته شوند. از سوی دیگر موقعیت نسبت به شبکه‌های ارتباطی و خطوط انتقال نیرو و نیز موقعیت مناسب به عرصه‌های فعال استفاده از کمپوست در زمین‌های کشاورزی، امتیازی در ایجاد واحدهای تولید فرآورده‌های کمپوست از پسماندهای آلی شهر در نظر گرفته شود؛ همچنین موقعیت مناسب نسبت به شهرک‌های صنعتی و مراکز روستایی، در عین لحاظ‌کردن فاصله‌های استاندارد که سلامت زیست‌محیطی جامعه اقتضای آن را دارد، فرصتی مکمل در تأمین زمینهٔ مناسب در دستیابی به مواد اولیه یا عرضهٔ فرآورده تلقی می‌شود؛ همچنین لازم است موقعیت مناسب نسبت به محل دفن زباله در چهارچوب زنجیرهٔ ممتد از اقدامات

عملیاتی در مدیریت پسماندهای شهری، نقطه‌ای مثبت در مکان‌یابی محل ایجاد واحدهای تولید کمپوست در نظر گرفته شود. مطلوبیت مکان برای استقرار واحدهای تولید کمپوست اقتضای آن را دارد که هم‌آوا با شرایط یادشدهٔ شرایط طبیعی به لحاظ شیب، عمق آب زیرزمینی، دما، بارش و سازندهای زمین‌شناسی، معرف وضعیت مناسب باشند.

بدیهی است که ابعاد و ظرفیت اسمی واحدهای تولید کمپوست در نقاط اولویت‌دار در هر محدوده از استان، به تناسب حجم پسماندهایی خواهد بود که در محدوده پیرامونی یک نقطه پیشنهادی برای استقرار واحد کمپوست تولیدشده و می‌توانند به سمت نقطه مذکور (به‌عنوان نقطه ثقل)، جریان داشته باشند. پیشنهادهایی که در برآیند تحقیق مدنظر نگارندگان مقاله حاضر قرار گرفته است، به ترتیبی که در ذیل می‌آید ارائه می‌گردد

۱) ۱۱۱- پیش۱۱- پیشنهاد می‌شود مکان‌گزینی واحدهای تولید کمپوست از پسماندهای آلی شهری، با دیدگاه منطقه‌ای همراه شود و مراکز بازیافت در هر منطقه از استان در کانون‌هایی مستقر شوند که نقطهٔ ثقل در دسترسی به مواد اولیهٔ لازم در امر بازیافت دانسته می‌شوند؛

۲- بنا بر ضرورت تمرکززدایی و توزیع متعادل‌تر واحدهای تولید کمپوست در سطح استان، پیشنهاد می‌شود به موازات مرکز ثقل شیراز، مراکز ثقل ثانویه‌ای نیز به تناسب پراکنش وزنه‌های جمعیتی در سطح استان ایجاد شود. تعیین ظرفیت اسمی واحد تولید کمپوست در هر منطقه به تناسب حجم پسماندهای آلی است که به‌منزلهٔ مواد اولیه در واحدهای تولید کمپوست مصرف می‌شوند؛

۳- پیشنهاد می‌شود به تفکیک معیارهای مطرح در تعیین تناسب اراضی برای مکان‌گزینی واحدهای تولید کمپوست، پژوهش‌های ویژه‌ای در نظام ارزش‌گذاری دقیق‌تر مقادیری اندازه‌گیری‌شده از معیارها صورت پذیرد؛

۴- پیشنهاد می‌شود به موازات اقبال هرچه بیشتر به نهادینه‌کردن استفاده از قواعد تحلیل چندمعیاری در انتخاب مکان مناسب برای استقرار مراکز تولید کمپوست، مطالعات دامنه‌داری دربارهٔ استفاده از قواعد چندمعیاری در انتخاب روش‌های مناسب در امر تولید کمپوست صورت پذیرد که تناسب بیشتری با شرایط بومی دارند.

منابع

باقرزاده، کبری، (۱۳۸۹). **بررسی فاکتورهای اقلیمی مؤثر در مکان‌یابی دفن زباله در شهرستان شبستر در محیط GIS**، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، استاد راهنما: سبحانی، بهروز، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه جغرافیا.

پناهنده، محمد، بهروز، ارسطو، آریامن قویدل، فاطمه و قنبری، فاطمه، (۱۳۸۸). **مکان‌یابی جایگاه دفن پسماند در شهرستان سمنان با استفاده از مدل AHP و نرم‌افزار GIS**، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکدهٔ بهداشت، تهران.

تولایی، سیمین، (۱۳۷۵). **درآمدی بر مبانی جغرافیایی اقتصادی**، تک‌جلدی، چاپ اول، تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی تربیت معلم.

چوبانگلوس، جورج، هیلاری، تیسن و ساموئل، ویجیل، (۱۳۸۸). **مدیریت جامع پسماند**، ترجمه نعمت‌الله جعفرزاده، نعمت‌الله حقیقی‌فرد، کامیار یغمانیان، محمد حسینی و حمیده بهرامی، چاپ اول، تهران، انتشارات خانیران، ۱۱۹۴ صفحه.

خلیل‌وند، محبوبه، (۱۳۸۹). **مکان‌یابی دفن زبالهٔ شهر مرودشت با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS**، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، استاد راهنما: سبحانی، بهروز، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه جغرافیا.

رمضانی، بهمن و هدی، ابراهیمی، (۱۳۸۸). **زمین‌لغزش و راهکارهای تثبیت آن**، فصلنامهٔ جغرافیایی آمایش، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۷، صفحات ۱۳۹ – ۱۲۹.

زرولی، محمدعلی، عمرانی، قاسمعلی، حمدی مقدم، مهدی و بابایی، علی‌اکبر، (۱۳۸۶). **بررسی پتانسیل بازیافت مواد زائد جامد شهری در استان فارس**، سومین همایش روز زمین پاک، مدیریت پسماند و جایگاه آن در برنامه‌ریزی شهری، تهران.

سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، (۱۳۸۵)، **محیط زیست روستا**، مرکز مطالعات و خدمات تخصصی شهری و روستایی، از سری متون تخصصی ویژهٔ شهرداران.

سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز، (۱۳۸۹). **گزارش‌های آماری مربوط به وضعیت کمّی و کیفی مربوط به پسماندهای شهری شیراز**.

سعیدنیا، احمد، (۱۳۸۳). **مواد زائد جامد شهری**، کتاب سبز شهرداری‌ها، جلد هفتم، چاپ اول، تهران، انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.

شرکت گسترش صنایع پایین‌دستی پتروشیمی، (۱۳۸۶). **مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح تولید بازیابی ضایعات پلاستیک (PET)**، سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی ایران، تهران.

شمسایی‌فرد، خدامراد، (۱۳۸۲). **مکان‌یابی محل دفن بهداشتی مواد زائد جامد شهری با استفاده از GIS (مطالعهٔ موردی: شهر بروجرد)**، پایان‌نامهٔ ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت معلم تهران، گروه جغرافیا.

عبدلی، محمدعلی، (۱۳۷۲). **سیستم مدیریت مواد زائد جامد شهری و روش‌های کنترل آن**، تک‌جلدی، چاپ اول، تهران، انتشارات سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری.

عبدلی، محمدعلی، (۱۳۸۷). **بازیافت مواد زائد جامد شهری**، تک‌جلدی، چاپ سوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

عبدلی، محمدعلی، جلیلی قاضی‌زاده، مهدی، غلامعلی‌فرد، مهدی، کریمی، سعید و اعتمادی، حسین، (۱۳۸۶). **بررسی معیارهای زمین‌شناسی مؤثر در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ویژه با استفاده از منطق تقاطع در محیط GIS (مطالعهٔ موردی: استان سیستان و بلوچستان)**، ششمین

کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.

عمرانی، قاسمعلی، ملکی، افشین و شرافت‌مولا، علی، (۱۳۸۸). **بررسی کمیّت و کیفیت مواد زائد جامد و قابلیت بازیافت آن در استان سیستان و بلوچستان**، مجلهٔ علوم و تکنولوژی محیط زیست، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۴، ۱۸–۱۱.

فرهودی، رحمت‌الله، حبیبی، کیومرث، زندی بختیاری، پروانه، (۱۳۸۴). مکان‌یابی محل دفن مواد زائد جامد شهری با استفاده از منطق فازی (Fuzzy Logic) در محیط GIS (مطالعهٔ موردی: شهر سنندج)، نشریهٔ هنرهای زیبا، شمارهٔ ۲۳، ۲۴–۱۵.

کردوانی، پرویز، (۱۳۷۳). **مناطق خشک (ویژگی‌های اقلیمی، علل خشکی و مسائل آب)**، جلد اول، چاپ سوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

گروه مهندسین مشاور همکار توسعهٔ بوم‌سازگان پایدار، (۱۳۸۶). **طرح کالبدی منطقهٔ فارس**، جلدهای اول تا سوم، وزارت مسکن و شهرسازی معاونت شهرسازی و معماری.

گوپتا، پی. کی، (۱۳۸۵). **تولید ورمی کمپوست برای کشاورزی پایدار**، ترجمهٔ حسینعلی علیخانی و غلامرضا ثواقبی، تک‌جلدی، چاپ اول، تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران.

مالچفسکی، یاچک، (۱۳۸۵). **سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری**، ترجمهٔ اکبر پرهیزکار و عطا غفاری گیلانده، چاپ اول، تهران، انتشارات سمت.

متکان، علی‌اکبر، شکیبا، علیرضا، پورعلی، سیدحسین و نظم‌فر، حسین، (۱۳۸۷). **مکان‌یابی مناطق مناسب جهت دفن پسماند با استفاده از GIS (ناحیهٔ مورد مطالعه: شهر تبریز)**، علوم محیطی، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۲، ۱۳۱–۱۲۱.

محمدی، صمد، (۱۳۸۲). **امکان‌سنجی بازیافت زباله‌های شهری در بابل**، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، استاد راهنما: عبدلی، محمدعلی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی.

مخدوم، مجید، (۱۳۸۹). **شالودهٔ آمایش سرزمین**، تک‌جلدی، چاپ ۹، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

مرکز مطالعات و خدمات تخصصی شهری و روستایی، (۱۳۸۵). **محیط زیست روستا**، از سری متون تخصصی ویژهٔ شهرداران، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.

معماریان، حسین، (۱۳۷۷). **زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک**، تک‌جلدی، چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

نبی بیدهندی، غلامرضا، هویدی، حسن و نصرآبادی، تورج، (۱۳۸۶). **بهینه‌سازی سیستم بازیافت مواد زائد جامد براساس استراتژی‌های مدیریت محیط زیستی به روش SWOT**، سومین همایش روز زمین پاک، مدیریت پسماند و جایگاه آن در برنامه‌ریزی شهری، تهران.

Chang, N., G., Parvathinathan, J., Breeden, (2007). **Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill**

Troschinetz, Alexis M. Mihelcic, R. James, (2008). **Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries**, Waste Management, 915–923.

Yau, Yung, (2010). **Domestic waste recycling**, collective action and economic incentive:The case in Hong Kong. Waste Management, available at ScienceDirectfiv.

siting in a fast-growing urban region, Journal of Environmental Management, 139–153.

Sener, S., E. Sener, B. Nas, and R. Karaguzel, (2010). **Combining AHP with GIS for landfill site selection: Acase study in the Lake Beys ehir catchment area (Konya, Turkey)**. Waste Management.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی