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

۹-۲۲

تهیه مدل ارزیابی فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی سناریوهای مدیریت پسماند جامد شهری با استفاده از GIS و ANP (مطالعه موردی: شهر تهران)

مهدی قنبرزاده لک[۱*]، نادر شریعتمداری[۲]، محمدرضا صبور[۳]، رضا قناتیان نجف‌آبادی[۴]، مهدی حیدری[۵]

[۱] استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه

[۲] دانشیار گروه عمران، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

[۳] استادیار گروه عمران ـ محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[۴] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد عمران ـ محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[۵] دانشجوی دکتری عمران ـ نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۲۸

چکیده

انتخاب شیوه مناسب مدیریت پسماندهای شهری، به‌گونه‌ای که به کم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی بینجامد و از لحاظ فنی و اقتصادی قابلیت اجرایی بالایی داشته باشد، بدون بهره‌گیری از روش‌های نوین مکان‌یابی و تصمیم‌سازی امری بسیار پیچیده و زمان‌بر خواهد بود. گسترش سطحی سکونت‌گاه‌های شهری و به‌تبع آن افزایش فواصل حمل زایدات تا مراکز دفع، ارزش بالای اقتصادی زمین‌های دارای کاربری آزاد در حواشی شهرها، تدوین و اجرای قوانین و الزامات مربوط به کم‌ترین فاصله سامانه‌های دفع از مراکز شهری، و اعتراضات اجتماعی از جمله چالش‌های موجود در زمینه احداث مراکز دفع پسماند جامد شهری در مجاورت مناطق مسکونی حاشیه شهرهای بزرگ به شمار می‌رود. هدف نوشتار حاضر تهیه مدلی است برای مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سامانه‌های دفع زایدات شهری، و تعیین بهترین سناریوی مدیریتی قابل اجرا در این مکان‌ها. در این بررسی شهر تهران به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. با اجرای مدل تهیه شده در این تحقیق برای شرایط محیطی شهر تهران، ضمن بررسی ابعاد مختلف مدل، میزان حساسیت آن به عوامل مؤثر در تصمیم‌سازی تحلیل شد. بدین‌منظور، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی گوناگون ــ نظیر مناطق حفاظت‌شده، مناطق نظامی، مناطق فرهنگی و تاریخی، توپوگرافی، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، گسل‌ها، اطلاعات زمین‌شناسی و کاربری اراضی درخصوص منطقه مورد مطالعه ــ تهیه شد و سپس با اعمال معیارهای مکان‌یابی و روی هم قرار دادن این لایه‌ها، نقاط مناسب به دست آمد. در مرحله بعد، در مقایسه نقاط اخیر با لایه کاربری اراضی طرح جامع شهر تهران، نواحی مستعد احداث سامانه‌های دفع زایدات با کاربری آزاد مشخص شد. در نهایت با توجه به کمیت و کیفیت زایدات تولیدی در شهر تهران، سناریوهای مدیریتی مختلف شامل تعدادی از روش‌های جداسازی و پردازش (MRF)، تولید کود کمپوست، زباله‌سوزی، تولید سوخت مشتق از پسماند (RDF) و دفن، به‌منظور اجرا در مناطق مستعد یادشده تعریف شد. ارزیابی سناریوهای مذکور با استفاده از مدل ANP و تعیین بهترین سناریو به‌منظور اجرا در شهر تهران، بخش پایانی این تحقیق را تشکیل می‌دهد. نتایج حاصله حاکی از برتری سناریوی اول (با وزن نرمال‌شده ۰/۳۰۷۹) بوده و پس از آن سناریوهای دوم، چهارم و سوم به‌ترتیب با وزن‌های نرمال شده ۰/۲۴۴۱، ۰/۲۳۹۳ و ۰/۲۰۸۷ قرار گرفتند. به‌دلیل نزدیکی وزن اولویت‌های دوم و سوم، حساسیت‌سنجی روی آن‌ها براساس ایجاد تغییرات انتخابی در وزن خوشه‌های اصلیِ شبکهٔ تصمیم‌سازی انجام شد. باتوجه به این نکته که در سناریوی چهارم بخش عمده پسماند دفن می‌شود و بیشترین مخاطرات زیست‌محیطی نیز در میان انتخاب‌ها در این سناریو وجود خواهد داشت، با افزایش وزن معیار زیست‌محیطی ارجحیت سناریوی چهارم کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش وزن معیار فنی، به‌دلیل تکنولوژی سادهٔ مورد استفاده در این سناریو، ارجحیت آن روند افزایشی نشان می‌دهد. سایر سناریوها حساسیت کم‌تری نسبت به تغییر وزن معیارها داشتند و در اولویت آن‌ها تغییری ایجاد نشد، به‌گونه‌ای که همواره سناریوی اول از سناریوی دوم برتر بوده و سناریوی دوم نیز بر سناریوی سوم ارجحیت دارد.

کلمات کلیدی: مدیریت پسماند شهری، مکان‌یابی، سناریوی مدیریتی، GIS، مدل ارزیابی ANP، شهر تهران.

Developing a Technical, Environmental and Economical Evaluation Model Based on GIS and ANP to Assess Municipal Solid Waste Management Scenarios (Case Study: Tehran, Iran)

Mehdi Ghanbarzadeh Lak[1*], Nader Shariatmadari[2], Mohamad Reza Sabour[3], Reza Ghanatiyan-Najafabadi[4], Mehdi Heydari[5]

[1] *Assistant Professor, Department of Civil Eng., Faculty of Eng., Urmia University, Urmia, Iran*

[2] *Associate Professor, Civil Eng. Faculty, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran*

[3] *Assistant Professor, Civil Eng. Faculty, K.N. Toosi University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

[4] *M.Sc. of Civil and Environmental Engineering*

[5] *Ph.D. Candidate, Surveying Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Science and Technology, Tehran, Iran*

Abstract

Selecting Municipal Solid Waste (MSW) management alternatives, adaptable to local conditions as well as environmental, technical, and economical concerns, would be a time consuming and complicated task without carrying out modern methods of site selection and decision making. The horizontal development of settlement areas which in turn may enforce high costs of waste collection and transportation, beside the lack of unconstructed fields in the vicinity of large cities, enacting rigorous legislation contributing to the minimum distances of waste processing facilities by dwelling areas, and finally, the social objections, are the most noticeable challenges facing solid waste management practices. The main objective of the present research is to develop a computerized model facilitating MSW disposal site selection task, in addition to the determination of best applicable management scenarios capable with environmental, technical, and economical concerns. Tehran city was chosen as a case study to implement the model and to interpret its sensitivity to the factors affecting the overall decision making process. At the first stage of the current research, data layers, such as protected regions, military areas, historical and cultural areas, topography, rivers and lakes, faults, geology and land use information, was provided about the study area. By the means of a GIS based software, and superimposing the above-mentioned layers, acceptable areas were determined in the second stage. Finally, several scenarios including Material Recovery Facilities (MRF), compost production systems, incineration units, Waste-Derived Fuel (RDF) facilities, and landfilling sites were allocated to any acceptable area, according to the quality and quantity of wastes generated in the city of Tehran. These scenarios were evaluated using developed ANP model in this paper. Results showed the superiority of the first scenario (with normal weight of 0.3079), while the normal priority of other scenarios were as 0.2441, 0.2393 and 0.2087 for the second, fourth and third alternative, respectively. As the priority values of the second and forth scenarios were approximately the same, sensitivity analysis based on selective changes in the weight of main clusters were performed. Due to the fact that the fourth scenario, in which the bulk of collected wastes would be landfilled, might impose the greatest environmental risks among other scenarios, by any amplification in the weight of environmental criteria, the preference of this option would decrease. However, increasing the weight of technical criteria, might prefer the forth scenario because of its simplest technology used. Other scenarios have shown to be less sensitive to changes in the weights of the main criteria, so that the first scenario was usually dominant to the second one and the second scenario had always the top priority comparing to the third scenario.

Keywords: Municipal Solid Waste Management, Site Selection, Management Scenario, GIS, ANP Model, Tehran City.

* Corresponding author. *E-mail Address*: m.ghanbarzadehlak@urmia.ac.ir

۱- مقدمه

اصطلاح «مواد زاید جامد شهری» به کلیه موادی اطلاق می‌شود که ارزش نگه‌داری ندارند و در مراکز سکونت‌گاهی شهری تولید می‌شوند. به‌عبارت دیگر، زباله یا پسماندهای شهری شامل مجموعه مواد ناشی از فعالیت‌های انسان و حیوان است که معمولاً جامد و غیر قابل استفاده‌اند [۱]. مدیریت بهداشتی و اصولی چنین پسماندهایی مستلزم بهره‌گیری از مجموعه فعالیت‌های گسترده در بخش‌های جمع‌آوری تا دفع بهداشتی زایدات است. در سامانه‌های نوین مدیریت پسماند، تمام اجزای مدیریت زباله از مرحله «تولید» تا «دفع نهایی» مورد توجه قرار گرفته و براساس ارزیابی‌ها و بررسی‌های دقیق در کل چرخه عمر، سناریوی دفع نهایی پسماندها انتخاب می‌شود [۲و۳]. با این وجود، سیاست‌های مدیریت پسماند در نقاط مختلف جهان یکسان نیست و در هر کشور، شهر یا حتی منطقه شهری، بنا بر موقعیت جغرافیایی، شرایط اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و ...، شیوه منحصر به فردی از مدیریت پسماند شهری اعمال می‌شود. مثلاً مدیریت پسماندها در طرح جامعی که توسط سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا تهیه شده، به‌ترتیب اولویت شامل چهار روش «تفکیک در مبدأ»، «بازیافت» (شامل بازیافت مواد و کمپوست‌کردن)، «سوزاندن و استحصال انرژی»، و در نهایت «دفن» است [۴]. به‌طوری که در سال ۲۰۰۹، در حدود ۳۳/۸ درصد از پسماندهای تولیدی در ایالات متحده از طریق بازیافت به چرخه مواد بازگشته و طی بیست سال اخیر، ظرفیت بازیافت مواد از ۲۹ میلیون تن در سال ۱۹۹۰ به ۶۱/۳ میلیون تن در سال ۲۰۰۹ رسیده است. همچنین، ظرفیت تولید کود کمپوست طی این سال‌ها در آمریکا از ۴/۲ میلیون تن به ۲۰/۸ میلیون تن افزایش یافته است[۴]. از آنچه گفته شد می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹، بازیابی مواد در ایالات متحده تقریباً ۲/۵ برابر شده و این خود حاکی از تهیه و اجرای استراتژی‌های انحراف جریان پسماند از مراکز دفن در این کشور است. در بررسی سیاست‌های مدیریت پسماند در اتحادیه اروپا، لازم است مطالعات در افق وسیع چرخه عمر منابع و تولید و مصرف آن‌ها بررسی شود. روش‌های مختلف کاهش دفن ـــ نظیر کاهش تولید پسماندها، بازیافت، استحصال انرژی و پردازش ـــ ازجمله روش‌های موجودند که برخی توسط کشورهای عضو اتحادیه اروپا به مورد اجرا گذاشته شده است [۵]. وضعیت مدیریت پسماند در کشور ژاپن به‌علت ظرفیت کم سایت‌های دفن و افزایش دفن غیرقانونی، مدت‌هاست که بحرانی باقی مانده است[۶]. در سال ۲۰۰۱، به‌منظور ایجاد جامعه‌ای مبتنی بر چرخه مواد، طرح جامعی در این کشور تصویب و اجرا شد. این طرح چهارچوبی قانونی برای مواردی نظیر دفن پسماند و بازیافت اتومبیل و لوازم خانگی فراهم کرد که با استفاده از روش‌هایی نظیر پردازش پیش از دفن، بازیافت و سوزاندن، باعث کاهش چشمگیر دفن شد. با اجرای این طرح، علی‌رغم یکسان بودن میزان تولید پسماند غیرصنعتی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۷، حجم دفع پسماند به روش‌هایی غیر از دفن به رشدی ۱۸درصدی دست یافته است [۶].

در تحقیقی که در سال ۱۳۸۳ و در سطح ملی انجام شد، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های ایران با ارسال پرسش‌نامه‌هایی به تمام شهرداری‌های کشور، وضعیت کنونی مدیریت پسماندهای تولیدی را مورد مطالعه و بررسی قرار داد [۷]. در این پژوهش، کل کشور به ۱۰ منطقه (زون) تقسیم‌بندی شد و سرانه تولید پسماند شهری، سهم هر منطقه از کل پسماند شهری تولید شده در کشور، و کیفیت فیزیکی زایدات شهری هر منطقه برآورد شد. از آنجا که یافته‌های این تحقیق بدون تحلیل مستقیم پسماند به دست آمده است، کاربرد آن‌ها در مطالعات مدیریتی قطعیت چندانی نخواهد داشت اما، سایر نتایج تحقیق یادشده (سرانه تولید پسماند و شیوه‌های کنونی دفع) را می‌توان با دقت بالایی مورد استفاده قرار داد. مطابق یافته‌های تحقیق مذکور، استان‌های یزد و چهارمحال و بختیاری هم از لحاظ سرانه تولید و هم از نقطه‌نظر سهم تولید از کل پسماند شهری کشور، پایین‌ترین مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند. استان هرمزگان به‌دلیل همجواری با آب‌های آزاد و داشتن بنادر بزرگ (که مسئولیت دفع پسماندهای تحویلی از کشتی‌ها را مطابق با کنوانسیون‌های موجود برعهده خواهد داشت)، بیشترین سرانه تولید پسماند شهری در کشور را دارد. در جدول ۱ ترکیب زایدات شهری و چگونگی دفع آن‌ها در کشورهای مختلف جهان و ایران مورد بررسی قرار گرفته است. چنان که در این جدول مشاهده می‌شود، سرانه تولید پسماند توسط هر شهروند ایرانی پایین‌تر از مقادیر متناسب

در کشورهای اروپایی و آمریکاست؛ افزون بر این، میزان اقلام با ارزش موجود در ترکیب پسماند ایران قابل مقایسه با کشورهای مورد مطالعه نیست. با این وجود سهم زایدات قابل تجزیه زیست‌شناختی در زباله تولیدی توسط هر ایرانی تقریباً با ساکنان کشورهای آمریکا و ایتالیا برابری می‌کند. این موضوع را می‌توان به فرهنگ مصرف و دورریز افراد در این کشورها نسبت داد.

نکته دیگری که از جدول ۱ برمی‌آید، بهره‌گیری از انواع گزینه‌های مدیریتی در دفع زایدات شهری توسط کشورهاست، به‌گونه‌ای که در کشورهای توسعه‌یافته در بحث مدیریت پسماند تنها به یک روش اکتفا نشده است.

براساس سلسله مراتبِ توسعه‌یافتهٔ دفع پسماندهای شهری، هر سناریوی مدیریت پسماند مشتمل است بر: ۱. سیاست‌های کاهش از مبدأ تولید و استفاده مجدد؛ ۲. ذخیره‌سازی موقت زایدات؛ ۳. جمع‌آوری و حمل؛ ۴. بازیافت؛ ۵. تولید کود آلی؛ ۶. زباله‌سوزی؛ ۷. دفن بهداشتی. برخی از مراحل و گزینه‌های فوق همچون ذخیره‌سازی، جمع‌آوری و حمل و دفن بهداشتی از جمله موارد الزامی در ساختار سناریوی دفع است و مابقی را می‌توان با انجام ارزیابی‌ها حذف، یا ترکیبی از آن‌ها را در نظر گرفت [۲]. بر این اساس، در تهیه استراتژی مدیریت پسماندهای جامد شهری باید چهارچوبی را در طرح‌ریزی سناریوهای مدیریتی مد نظر قرار داد که: ۱. شامل گزینه‌های مختلف مدیریتی باشد؛ ۲. با شرایط محیطی منطقه (آب و هوا، بارش، دما، رطوبت، توپوگرافی و ...) سازگار باشد؛ ۳. اجرای آن از دیدگاه فنی و اقتصادی ممکن باشد؛ ۴. کم‌ترین آلودگی ممکن را در محیط ایجاد کند.

انجام موفق چنین طرحی در ابتدا مستلزم انتخاب مکانی مناسب برای اجراست. به‌منظور مکان‌یابی مراکز دفع پسماند جامد شهری در این تحقیق از بسته نرم‌افزاری سامانه اطلاعات جغرافیایی[1] (GIS) استفاده شده است. GIS مجموعه‌ای ساختاریافته از نرم‌افزارها، سخت‌افزارها، مدل‌ها و الگوریتم‌هاست که به‌صورت منسجم به‌منظور اخذ، ذخیره‌سازی، ساختاربندی، بازیافت، به‌هنگام‌سازی، تجزیه‌وتحلیل، و نمایش اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده از این سیستم در تصمیم‌سازی، برنامه‌ریزی بهینه، و تصمیم‌گیری سریع‌تر و مدبرانه‌تر کاربرد دارد [۱۵].

پس از انجام مکان‌یابی، باید سناریوهای مدیریتی را پس از طرح‌ریزی، به‌لحاظ فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی ارزیابی کرد. در تحقیق حاضر به‌منظور انجام این ارزیابی‌ها از سیستم مقایسات زوجی به‌صورت شبکه یا فرایند تحلیل شبکه‌ای[2] (ANP) استفاده خواهد شد. نظریه ANP براساس ابزار قدرتمندی به‌نام سوپرماتریس، برای سیستم‌هایی با وابستگی متقابل و بازخورد پایه‌ریزی شده است[۱۶]. در روش ANP، هر شبکه به خوشه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود و تک‌تک عناصر هر خوشه نسبت به یک عنصر در خوشه دیگر مقایسه زوجی می‌شود. پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، سرانجام ماتریس نهایی مقایسات تمامی زیرمجموعه‌ها با هریک از زیرمجموعه‌های دیگر معروف به «سوپرماتریس» تهیه می‌شود. از «سوپرماتریس» برای نمایش جریان مؤثر از یک خوشه به خوشه‌ای دیگر (با توجه به ارتباطات بیرونی)، یا عناصر درون همان خوشه (با توجه به ارتباطات درونی) استفاده می‌شود [۱۷ و ۱۸]. با به توان بالا رساندن این ماتریس، بردار وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها به دست خواهد آمد و گزینه‌ای که بیشترین وزن را داشته باشد، به‌عنوان بهترین گزینه معرفی می‌شود [۱۶ و ۱۸].

جدول ۱- ترکیب پسماند شهری و وضعیت دفع پسماندهای جامد شهری در کشورهای مختلف جهان و ایران

کشور	ترکیب پسماند تولیدی(g/cap./day)			شیوه دفع زایدات (%)				مرجع
	قابل بازیافت	تجزیه‌پذیر	سایر	بازیافت	کمپوست	زباله‌سوزی	دفن	
بلژیک	۳۵۴/۸۴	۷۷۸/۴۸	۲۰۶/۴۱	۲۷/۵۴	۱۷/۵۵	۵۲/۴۹	۲/۴۲	[۸ و ۹]
آلمان	۵۷۳/۴۹	۳۰۷/۳۱	۷۴۱/۱۱	۳۳/۵۸	۱۲/۶۴	۵۳/۵۳	۰/۲۵	[۸ و ۱۰]
استونی	۳۸۸/۰۴	۴۵۲/۸۰	۱۰۷/۱۰	۱۳/۶۸	۱۱/۲۳	۰/۰۰	۷۵/۰۹	[۸ و ۱۱]
ایتالیا	۷۰۳/۷۹	۴۱۷/۵۸	۳۳۸/۹۰	۱۸/۰۷	۱۱/۳۶	۲۶/۳۳	۴۴/۲۴	[۸ و ۱۲]
مجارستان	۴۵۵/۷۰	۳۶۱/۷۲	۳۶۰/۶۵	۱۲/۱۸	۱/۹۲	۱۷/۵۲	۶۸/۳۸	[۸ و ۱۳]
فنلاند	۲۲۵/۹۳	۷۵۲/۶۶	۳۳۶/۴۷	۲۰/۳۲	۱۰/۰۷	۳۰/۵۶	۳۹/۰۵	[۸ و ۱۴]
امریکا	۱،۰۶۲/۰۲	۵۴۶/۸۴	۳۶۰/۷۲	۲۵/۲۰	۸/۶۰	۱۱/۹۰	۵۴/۳۰	[۴]
ایران	۱۲۰/۰۰	۴۶۱/۰۶	۵۸/۹۴	۵/۹۰	۱۰/۵۳	۰/۰۰	۸۳/۵۷	[۷]

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه مکان‌یابی مراکز دفع پسماندهای شهری با استفاده از GIS و ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است. نکته حائز اهمیت در این تحقیقات، پرداختن به بحث مکان‌یابی مراکز دفن پسماند بدون توجه به سلسله‌مراتب مدیریتی است. افزون بر این، درخصوص مکان‌یابی سایر عناصر مدیریتی مطالعات چندانی صورت نگرفته است.

در تحقیقی که در زمینه مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری برای شهر رامهرمز انجام شد، مکان‌یابی با استفاده از ابزار GIS و با استفاده از سیزده نقشه معیار انجام گرفت [۱۹]. روش مورد استفاده در این تحقیق، روش تلفیق دودویی اصلاح شده بود و در نهایت با روی هم‌گذاری لایه‌های مختلف (پس از رتبه‌بندی آن‌ها) در محیط GIS و یافتن مکان‌های مناسب، نسبت به درجه‌بندی مکان‌های دارای پتانسیل دفن (درجه ۱، درجه ۲، درجه ۳ و بلااستفاده) متناسب با هر معیار، اقدام شد.

در مطالعه بعدی مکان‌یابی محل دفن زباله شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در محیط GIS بررسی شد و طی آن، ابتدا راه‌های دسترسی، نقشهٔ شیب، نقشهٔ کاربری اراضی، فاصله از مراکز شهری و روستایی، نقشهٔ خاک منطقه و نقشهٔ شبکهٔ هیدروگرافی و آب‌های زیرزمینی تهیه شد و پس از وزن‌دهی به هرکدام و تحلیل این وزن‌ها در محیط GIS، نقشه هم‌وزن معیارهای مختلف به دست آمد [۲۰]. با ادغام این نقشه‌ها بهترین مکان برای دفن زباله شهر نیشابور معرفی شده است.

در تحقیق انجام شده درمورد مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری در شهرستان سیرجان، با استفاده از مدل ANP و براساس معیارهای مختلف، سه گزینهٔ منتخب در ارتباط با محیط زیست، عوامل هیدرولوژیک و توپوگرافیک، و نیز رویکردهای اجتماعی و اقتصادی ارزش‌گذاری و امتیازدهی، و سپس اولویت‌بندی شدند [۲۱].

در سال ۲۰۱۱ محققین با استفاده از آنالیز چندمعیارهٔ مکانی و به‌کمک GIS اقدام به مکان‌یابی مراکز دفن پسماند در شهر Cinchina واقع در کشور کلمبیا کردند. آنان با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر شیب، زمین‌لغزش، نفوذپذیری خاک، فاصله از شهر و با استفاده از روش بولین و آنالیز چندمعیاره، به نتایج کاربردی قابل قبولی دست یافتند. این محققین همچنین در بیان معیارهای مکان‌یابی برای دفن زباله با توجه به اهمیت آب‌های زیرزمینی در منطقه تحقیق، به لایه آب‌های زیرزمینی وزن بیشتری دادند[۲۲]. در تحقیقی مشابه، با تلفیق روش‌های AHP و GIS و نیز با در نظر گرفتن معیارهای راه، شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، سکونت‌گاه‌ها، جهت وزش باد، و مناطق حفاظت شده نسبت به مکان‌یابی اراضی مستعد دفن پسماند در منطقه Senirkent-Uluborlu در ترکیه اقدام شد [۲۳].

در سال ۱۹۹۲ نیز محل مناسبِ دفن بهداشتی زباله در ایالت Vermont آمریکا با استفاده از GIS مشخص شد. در آن مطالعه، با بررسی معیارهایی از قبیل خاک مناسب، عمق سنگ بستر، کاربری زمین، آب‌های سطحی و زیرزمینی و پهنه‌بندی ارتفاعی، مکان مناسب دفن زباله در اطراف ناحیهٔ Mad شناسایی شد [۲۴].

چنان که مشاهده می‌شود، در بیشتر تحقیقات عمدتاً انجام مکان‌یابی به‌منظور احداث مراکز دفن بوده و تعیین مکان مناسب برای احداث سایر عناصر موجود در سناریوهای مدیریتی نظیر زباله‌سوزها و مراکز تولید کمپوست مد نظر قرار نگرفته است. علاوه بر آن امتیازدهی به لایه‌های به دست آمده از کاربرد GIS فقط در برخی از مطالعات یادشده صورت گرفته است.

در نوشتار حاضر ابتدا لایه‌های به دست آمده از کاربرد GIS، برای معیارهای مختلف با مراجعه به سازمان‌های مربوطه تهیه و آماده‌سازی شد. سپس با توجه به نبود استاندارد برای برخی از عناصر مدیریتی مد نظر و با استفاده از قوانین مختلف، سخت‌گیرانه‌ترین معیارهای مکان‌یابی مراکز دفع به دست آمد. از روی هم‌گذاری لایه‌ها توسط نرم‌افزار GIS مناطق مستعد تعیین شد. با توجه به این که اجرای سناریوهای مدیریتی شهر تهران به‌عنوان مطالعه‌ی موردی در این تحقیق مد نظر بوده است، کمیت و کیفیت پسماند تولیدی و امکانات و چالش‌های پیش رو در کلان‌شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. براساس یافته‌های اخیر، سناریوهایی برای مناطق مستعد پیشین تعریف و در نهایت با استفاده از روش ANP و مقایسات زوجی، سوپرماتریسِ وزن‌دهی‌شده مشخص گردید. در انتها نیز بهترین سناریوی مدیریتی به‌منظور اجرا در تهران تعیین شد.

۱-۱- مشخصات محیط مورد مطالعه

تهران ــ پایتخت ایران ــ جمعیتی بالغ بر ۸۳۱۱۷۰۱ نفر و مساحتی برابر ۵۰۸۰ کیلومتر مربع دارد [۲۵]. ارتفاع این شهر از سطح دریا بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر است و از منظر شرایط اقلیمی و آب وهوایی، دشت تهران ــ به‌استثنای نواحی شمالی آن ــ دارای تابستان‌های گرم و خشک، و زمستان‌های معتدل و گاهی سرد است. میزان بارندگی در شهر تهران حدود ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر است [۲۵]. کل پسماند شهری جمع‌آوری شده در تهران در سال ۱۳۸۹ معادل ۳۳۶۱۷۶۹ تن بوده است [۲۶]. از این میزان حدود ۱۲/۵درصد (معادل ۴۲۰هزار تن) مربوط به پسماندهای تفکیک‌شده در مبدأ و حدود ۶/۵ درصد (معادل ۲۲۰هزار تن) مربوط به پسماندهای جمع‌آوری شده از شرکت‌ها، شهرک‌ها و شهرهای اطراف تهران بوده است. بقیه پسماندها نیز (حدود ۸۱درصدِ کل پسماند شهری جمع‌آوری شده در تهران) تحت عنوان پسماند شهری مناطق دسته‌بندی شده است. تقریباً ۱۷درصدِ پسماند شهری مناطق مستقیماً و بدون انتقال به ایستگاه‌های خدمات شهری، به مرکز پردازش و دفع آرادکوه (مرکز دفع پسماند تهران) منتقل می‌شود. در حال حاضر تعداد ۱۱ ایستگاه خدمات شهری در سطح شهر تهران فعال‌اند [۲۶]. این ایستگاه‌ها محل تخلیه و بارگیری پسماند از خودروهای جمع‌آوری به خودروهای بزرگ‌تر (سمی‌تریلر) برای حمل به مرکز دفع و پردازش آرادکوه هستند. آرادکوه با مساحتی نزدیک به ۱۴۰۰ هکتار [۲۶] از سال ۱۳۳۵ در امر پذیرش پسماندهای شهر تهران فعالیت کرده است. با توجه به آمارهای موجود، در حال حاضر روزانه به‌طور متوسط ۸۰۵۵ تن پسماند شهری وارد این مرکز می‌شود که پس از توزین به سمت واحدهای پردازش و تولید کود کمپوست هدایت می‌شوند. علاوه بر آن، بخشی از زایدات شهری نیز مستقیماً به ترانشه‌های مرکز دفن منتقل و دفن می‌شود [۲۶].

۲- مواد و روش‌ها

برای تهیه مدل مکان‌یابی مبتنی بر GIS در این تحقیق ابتدا روی مجموعه‌ای از داده‌های خام همچون جداول MS Excel که مستقیماً در تحلیل‌های مکانی قابل استفاده نیستند، پردازش‌های اولیه انجام گرفت. از لایه‌های اطلاعاتی به دست آمده از این پردازش به‌عنوان اطلاعات مفید و کاربردی در فرایند مکان‌یابی استفاده شد. این لایه‌ها عبارت‌اند از: ۱. بلوک‌های ساختمانی؛ ۲. گسل‌ها؛ ۳. فرودگاه‌ها؛ ۴. توپوگرافی؛ ۵. معابر اصلی؛ ۶. رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی؛ ۷. مراکز پرورش دام و طیور؛ ۸. انبارها؛ ۹. واحدهای صنعتی؛ ۱۰. ساختمان‌های عمومی (ترمینال‌ها، کمپ‌ها، ساختمان‌های تجاری، مراکز مذهبی/آموزشی/فرهنگی، نمایشگاه‌ها، تأسیسات شهری و غیره)؛ ۱۱. کارخانجات؛ ۱۲. مزارع کشاورزی؛ ۱۳. جنگل‌ها؛ ۱۴. مناطق درخت‌کاری مصنوعی؛ ۱۵. چمن‌زارها و فضاهای سبز؛ ۱۶. اماکن تاریخی؛ ۱۷. دریاچه‌ها و مانداب‌ها؛ ۱۸. پالایشگاه‌های نفت؛ ۱۹. پارک‌ها و بوستان‌ها؛ ۲۰. تأسیسات و منابع آبی مرتبط با تصفیه‌خانه‌ها؛ ۲۱. مناطق نظامی و ممنوعه؛ ۲۲. مناطق حفاظت شده محیط زیست.

باتوجه به نبود استاندارد برای برخی از عناصر مدیریتیِ مدنظر، از قوانین بین‌المللی نظیر قانون دفع پسماند (۱۹۶۵)، قانون ملی سیاست زیست‌محیطی (۱۹۶۹)، قانون بازیافت منابع (۱۹۷۰)، قانون بازیافت و حفاظت از منابع (۱۹۷۶)، قانون جامع پاسخ، جبران و مسئولیت‌های زیست‌محیطی (۱۹۸۰)، و قانون سیاست‌گذاری و مقررات بهره‌وری عمومی (۱۹۸۱) استفاده شده و در نهایت سخت‌گیرانه‌ترین معیارهای مکان‌یابی به دست آمد؛ این معیارها روی تمامی لایه‌ها اعمال شد. سپس از روی‌هم گذاری لایه‌ها، مناطقی که واجد شروط و محدودیت‌های مد نظر بودند استخراج شد. در نهایت با مقایسه با لایه کاربری آزاد مناطق، نقاط مستعد تعیین شدند.

در این مرحله تعیین و ترسیم مدل ANP برای مجموعه سناریوهای مدیریتی ضروری است. ارزیابی‌ها از سه منظر فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی انجام شده است. معیار فنی شامل زیرمعیارهایی نظیر نیاز به پرسنل ماهر و متخصص، نیاز به نگه‌داری و تعمیرات دوره‌ای، سهولت بهره‌برداری، نیاز به تجهیزات فنی، نیاز به احداث زیرساخت‌ها و نیاز به زمین است. معیار محیط‌زیستی نیز شامل زیرمعیارهای آلودگی هوا، خاک، محیط آبی و صوتی است. در شکل ۱ شبکه مورد عمل در تحقیق حاضر آورده شده و ارتباط هرکدام از عناصر با یکدیگر، اعم از داخلی و خارجی، با فلش‌های یک‌طرفه و دوطرفه مشخص شده است.

به‌منظور تعیین اوزان هرکدام از ریزپارامترهای درخت تصمیم‌گیری، و سپس تعیین اوزان سناریوها نسبت به این ریزپارمترها و سایر روابط موجود در شبکه، با استفاده از شیوه تحلیل شبکه‌ای در تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره و مطابق الگوی نشان داده شده در زیر این وزن‌دهی‌ها انجام شد. اعداد ۲، ۴، ۶ و ۸ نیز به‌عنوان ترجیحات بین فواصل فوق مورد استفاده قرار گرفتند [۱۶].

اهمیت مطلق	اهمیت خیلی قوی	اهمیت قوی	اهمیت ضعیف	اهمیت یکسان
۹	۷	۵	۳	۱

به‌منظور تعیین وزن در جداول مقایسات زوجی، استفاده از روش بردار ویژه توصیه شده است [۱۶ و ۲۷-۲۹]. مطابق این روش، وزن هرکدام از عناصر یک ماتریس مقایسات زوجی را (که مثبت و معکوس است) می‌توان به‌کمک رابطه ۱ محاسبه کرد:

$$W = \lim_{k\to\infty} \frac{A^k e}{e^t A^k e} \qquad (1)$$

$$e^t = [1,1,\ldots,1]_{1\times n}$$

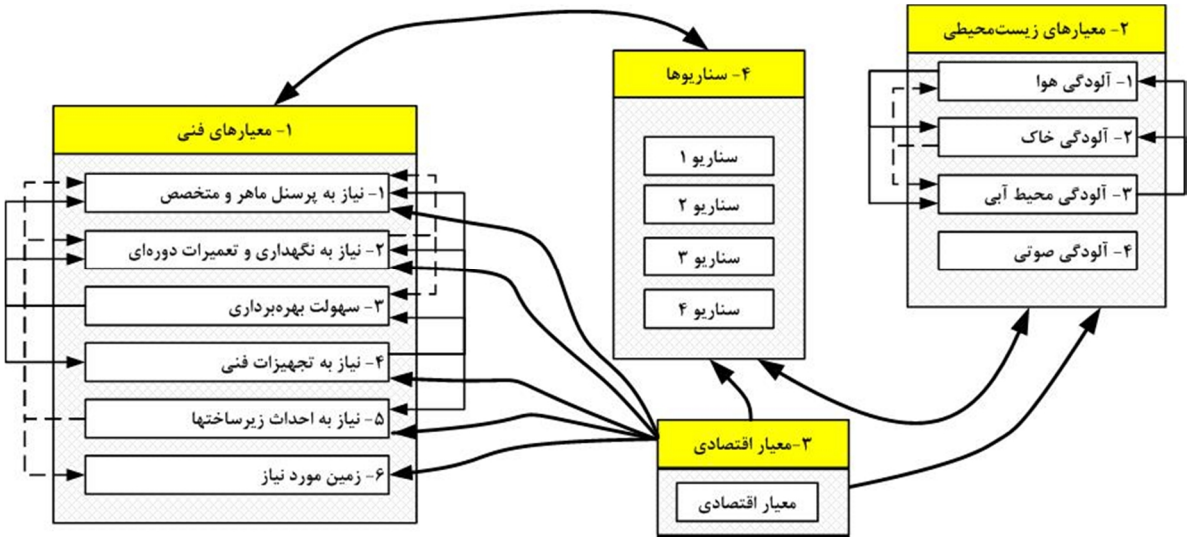
که در آن A ماتریس مقایسات زوجی (n×n)، و W بردار وزن عناصر است. نکته مهم دیگر نحوهٔ محاسبهٔ میزان ناسازگاری در قضاوت‌های افراد است. با ذکر مثالی ساده می‌توان نرخ ناسازگاری را چنین تعریف کرد: اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری ارجحیت گزینه a بر b به‌عنوان مثال مساوی ۲ باشد و گزینه b نیز بر گزینه c ارجحیت ۳ را داشته باشد، به‌طور منطقی گزینه a باید نسبت به گزینه c دارای ارجحیت ۶ باشد. حال اگر فرد مصاحبه‌شونده ارجحیت دیگری را مطرح کند، قضاوت وی دارای ناسازگاری است و باید در انتخاب‌های خود تجدید نظر کند. برخی از محققین نرخ مجاز ناسازگاری در ماتریس‌های مقایسات زوجی را معادل ۰/۰۱ دانسته‌اند [۱۶، ۱۸ و ۲۷-۲۹].

در حالتی که ماتریس A سازگار باشد، یک مقدار ویژه آن برابر n یا بعد ماتریس (که همان بزرگ‌ترین مقدار ویژه آن است) بوده و بقیه آن‌ها برابر صفر است. اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد، λ_{max} یا بزرگ‌ترین مقدار ویژه آن کمی از n فاصله خواهد گرفت [۲۹]. از آنجا که λ_{max} همواره بزرگ‌تر یا مساوی n است، تفاضل این دو مقدار معیار مناسبی به‌منظور سنجش میزان ناسازگاری ماتریس خواهد بود. بر این اساس شاخص ناسازگاری (I.I.) و نرخ ناسازگاری (I.R.) مطابق روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه‌اند [۱۸ و ۲۷-۲۹]:

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (2)$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{R.I.I.} \qquad (3)$$

که در آن منظور از R.I.I. شاخص ناسازگاری تصادفی است و برای ماتریس‌های با ابعاد مختلف طی جداول یا فرمول‌هایی مقدار آن مشخص شده است [۱۸ و ۲۷].



شکل ۱- ارتباطات داخلی(خطوط مستقیم) و خارجی(خطوط منحنی) خوشه‌ها در شبکه مورد مطالعه

در این نوشتار اوزان تلفیقی با استفاده از روش دلفی، و میانگین‌گیری هندسی با توجه به سابقه فعالیت اعضای گروه تصمیم‌گیری و به‌کمک رابطه ۴ محاسبه شده است [۲۷]. در این رابطه، β_k معرف میزان اهمیت و تأثیرگذاری تصمیم‌گیرنده kام و a_{ijk} نیز بیان‌گر درایه ماتریس مقایسه‌های منفرد تصمیم‌گیرنده kام است.

$$a_{ij} = \left[\prod_{k=1}^{n}\left(a_{ijk}\right)^{\beta_k}\right]^{\frac{1}{\sum\beta_k}} \qquad (۴)$$

$$i, j = 1, 2, \ldots, m \qquad k = 1, 2, \ldots, n$$

با توجه به گستردگی مجموعه تخصص‌های اعضای گروه تصمیم‌گیری، β_k برای تمامی اعضای گروه معادل ۱ فرض شد و نقطه نظرات مطابق فرمول اصلاح‌شده ۵ تجمیع شد[۲۷].

$$w_j = \left[\prod_{k=1}^{n}\left(w_{jk}\right)\right]^{\frac{1}{N}} \qquad j = 1,2,\ldots,m \qquad (۵)$$

در نوشتار حاضر، سه سناریو متشکل از احداث واحدهای جداسازی و پردازش پسماندهای قابل بازیافت (MRF)، تولید کمپوست، تولید سوخت مشتق از پسماند (RDF) و زباله‌سوزی تعریف شده و سناریوی چهارم تداوم وضع موجود را مطرح می‌سازد. یادآور می‌شود با توجه به کمیت و کیفیت پسماندهای تولیدی در مناطق مختلف شهر تهران، این شهر به سه منطقه (زون) کلی تقسیم‌بندی شد. نکته مهم در این تقسیم‌بندی توجه به فاصله ایستگاه‌های انتقال میانی از مکان‌های مستعد احداث سامانه‌هاست که سعی شد این فاصله‌ها کمینه شود. توضیحات تکمیلی درخصوص سناریوها در ادامه آورده شده است.

پس از طراحی مدل، به هریک از معیارها و زیرمعیارها، وزنی اختصاص داده شده و این اطلاعات به همراه مدل در نرم‌افزار Super Decisions تعریف شد. خروجی نرم‌افزار در واقع وزن هریک از سناریوها و ارجحیت آن‌هاست که از ترکیب وزن هریک از معیارها و زیرمعیارها و همچنین نحوه ارتباط آن‌ها ناشی می‌شود.

۳- نتایج و بحث

با اجرای مدل مبتنی بر GIS، قسمت‌هایی از زمین‌های بایر که از پتانسیل احداث سامانه‌های دفع پسماندهای شهری تهران برخوردارند مشخص شد. براساس معیارهای مورد استفاده، دو دسته لایه اطلاعاتی ایجاد شد؛ دسته اول شامل مناطقی است که احداث سامانه در آن‌ها به دلیل قرار گرفتن در مناطق ممنوعه همچون مناطق نظامی، حفاظت شده و ... غیر ممکن است، و دسته دوم مربوط به شروط فاصله‌ای هستند. بر این اساس نقشه‌های مناطق مستعد احداث سامانه‌های مدیریت پسماند شهری تهران در دو حالت تولید شد: ۱. حذف زمین‌های بایر واقع در مناطق ممنوعه؛ ۲. احتمال تملک زمین‌های بایر واقع در مناطق ممنوعه توسط شهرداری تهران در تعامل با سازمان‌های ذی‌ربط (شکل ۲). در این بخش فرض شد مرکز دفن مورد نیاز سناریوهای مدیریتی الزاماً در همان محل قدیمی (آرادکوه) واقع شود و طرح‌ریزی سناریوها نیز چنان باشد که میزان پذیرش پسماند این مرکز کمینه شود. بنابراین، تحلیل‌های مبتنی بر GIS برای دو مجموعه از سناریوها ــ «امکان احداث دو یا سه واحد زباله‌سوزی در سامانه‌های شمال‌غرب، شمال‌شرق و جنوب شرق» (سناریوهای ۱ و ۲) و «عدم امکان احداث واحدهای زباله‌سوزی در سامانه‌های اخیر» (سناریوی ۳) ــ انجام شد. لازم به ذکر است با توجه به مسافت حمل پسماندها از ایستگاه‌های انتقال تا محل دفع نهایی، به نظر می‌رسد که باید میزان حجم و وزن پسماندها تا حد امکان در مبادی تولید (در اینجا سامانه‌های سه‌گانه مستقر در حواشی شهر) کاهش یابد. بنابراین، در تحقیق حاضر براساس امکان‌سنجی‌های مبتنی بر GIS، در هرکدام از سایت‌ها که امکان احداث واحدهای زباله‌سوزی وجود داشت چنین واحدهایی، براساس کمیت پسماندهای پذیرش شده، پیش‌بینی شدند. اما در برخی از موارد که به‌دلیل محدودیت‌های دیکته شده چنین امکانی وجود نداشت سعی شد با پیش‌بینی واحدهای پردازش زیست‌شناختی و RDF، حجم و وزن پسماندهای خروجی کمینه شود.

شکل ۲ نمونه‌ای از مکان‌های مستعد برای احداث مراکز مدیریت پسماند شامل واحد MRF و مرکز پردازش زیست‌شناختی بدون حذف لایه نظامی است. ماشین‌ها نماد ایستگاه‌های انتقال‌اند و اعداد کنار آن ظرفیت ورودی روزانه هر ایستگاه را نشان می‌دهد. اعداد روی نواحی سبز رنگ نیز نشان‌دهنده مساحت آن ناحیه برحسب هکتار است. همچنین نواحی نارنجی‌رنگ مکان‌هایی هستند که

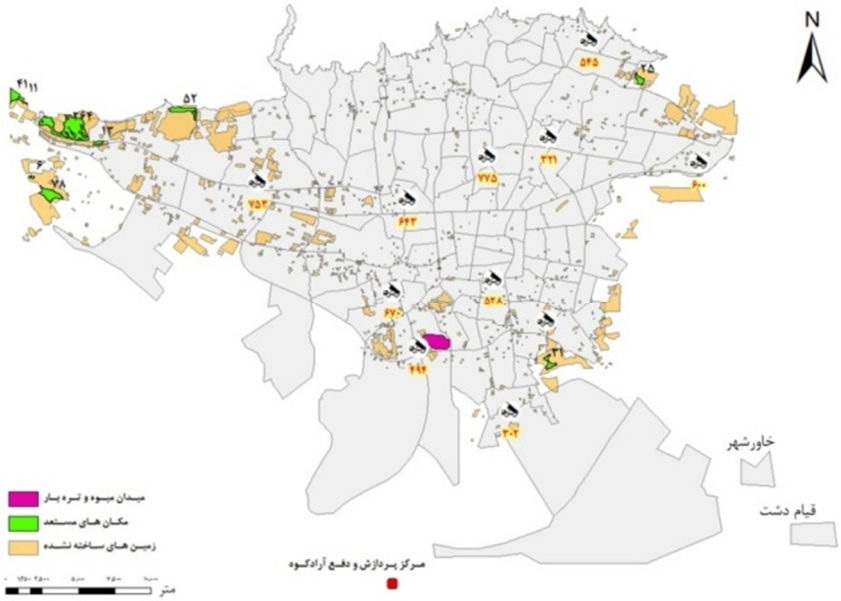
در آن‌ها تا زمان انجام این تحقیق ساخت‌وسازی انجام نشده است (این نواحی با مراجعه به عکس‌های ماهواره‌ای QuickBird استخراج شده‌اند).

حال با توجه به مناطق مستعد به دست آمده، سناریوهای مدیریت پسماند برای شهر تهران تعریف می‌شود. جزئیات یکی از سناریوهای چهارگانه در شکل ۳ آورده شده است.

در این مرحله با توجه به پرسش‌نامه‌هایی که توسط متخصصین امر از جمله اساتید دانشگاه، کارشناسان سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران و کارشناسان بخش خصوصی تکمیل شد، عملیات وزن‌دهی به معیارهای مختلف انجام شد. با واردکردن نتایج حاصل از اطلاعات پرسش‌نامه‌ها در نرم‌افزار Super Decisions، سوپرماتریس وزن‌دهی نشده، سوپرماتریس وزن‌دهی شده، و سوپرماتریس حدی به دست آمد. سوپر ماتریس وزن‌دهی نشده متشکل از همان اعدادی است که در مرحله مقایسات زوجی به هرکدام از عناصر تخصیص داده شد (البته پس از تعیین وزن نسبی به کمک روش‌های موجود [۱۶-۱۸]). پس از ضرب وزن هر خوشه در المان‌های مربوطه این ماتریس، سوپر ماتریس وزن‌دهی شده به دست می‌آید. با نرمال کردن سوپر ماتریس وزن‌دهی شده و به توان بالا رساندن آن، بردار وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها به دست خواهد آمد. در جدول ۲ نتایج سوپرماتریس وزن‌دهی‌شده ارائه شده است.

در نوشتار حاضر سناریوهای اول، دوم، چهارم و سوم به‌ترتیب با اوزان نرمال‌شده ۰/۳۰۷۹، ۰/۲۴۴۱، ۰/۲۳۹۳ و ۰/۲۰۷۸ به‌عنوان سناریوهای برتر ارزیابی شد. جزئیات بیشتر سناریوی اول به‌عنوان سناریوی برتر عبارت است از: سیستم‌های MRF، تولید کمپوست به‌روش هوازی بسته و واحد زباله‌سوزی در سایت شمال غرب؛ سیستم‌های MRF، تولید کمپوست به روش هوازی بسته و واحد زباله‌سوز در سایت شمال شرق؛ سیستم‌های MRF، تولید کمپوست به روش هوازی بسته و RDF در سایت جنوب شرق؛ سیستم‌های MRF، تولید کمپوست به روش ویندرو و زباله‌سوزی در سایت موجود در آراد کوه. در شکل ۴ موقعیت شش مکان مستعد برای احداث سامانه‌های دفع موضوع سناریوی اول نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود از سه ایستگاه انتقال حکیمیه، کوهک و آزادگان به‌عنوان مرکز پردازش پسماند خشک در این سناریو استفاده شده است (اعداد داخل پرانتز بیان‌گر مساحت زمین موجود برای اجرای این سناریو در سایت‌های مختلف است).

با توجه به نزدیکی نتایج به دست آمده برای سناریوهای دوم و چهارم، آنالیز حساسیت روی خروجی مدل ANP نسبت به وزن هرکدام از خوشه‌های فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی انجام شد. در شکل ۵ نمونه‌ای از آنالیزهای حساسیت انجام‌شده نشان داده شده است. در

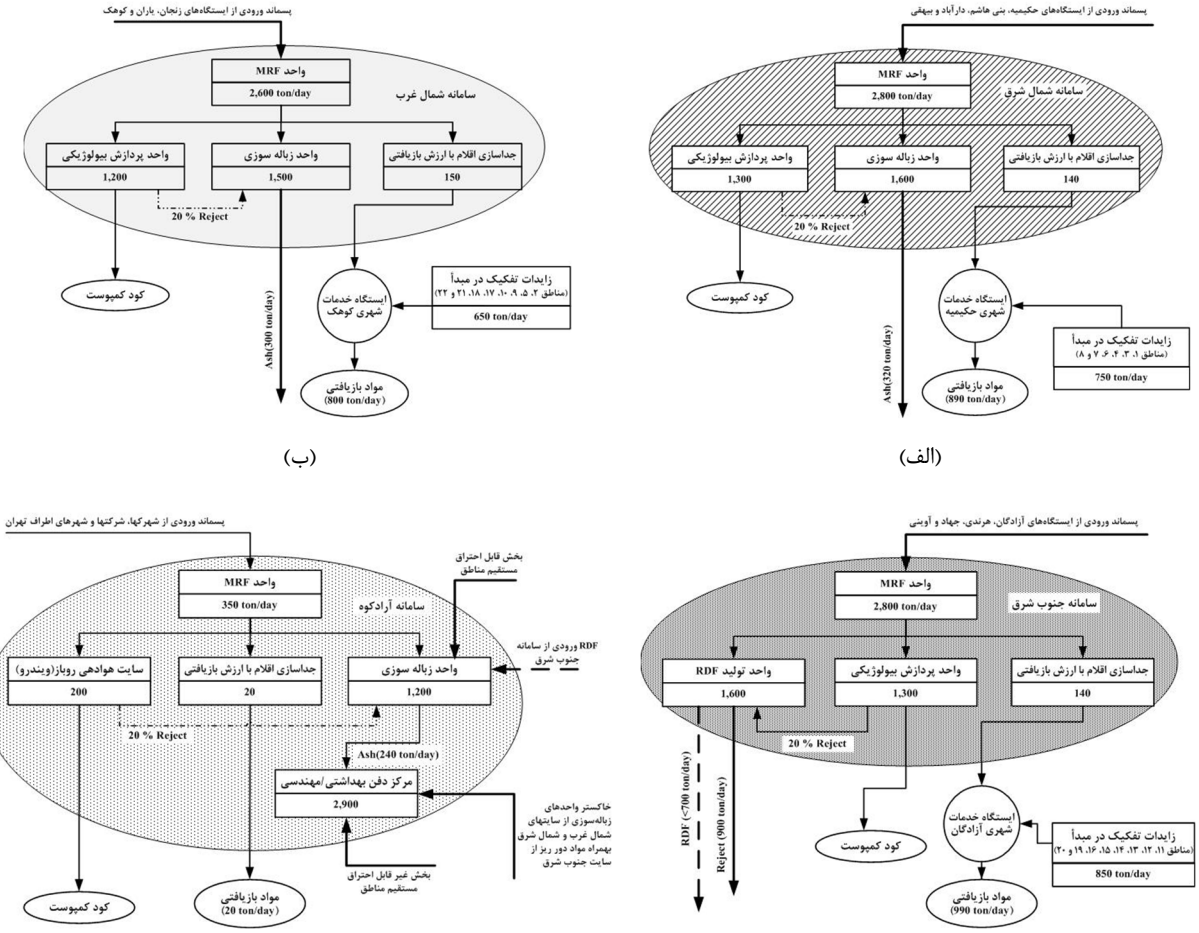


شکل ۲- مکان‌های مستعد احداث واحدهای MRF و پردازش زیست‌شناختی (در شرایطی که شهرداری تهران نتواند اراضی مستعد واقع در مناطق ممنوعه را تحت تملک خود در آورد)

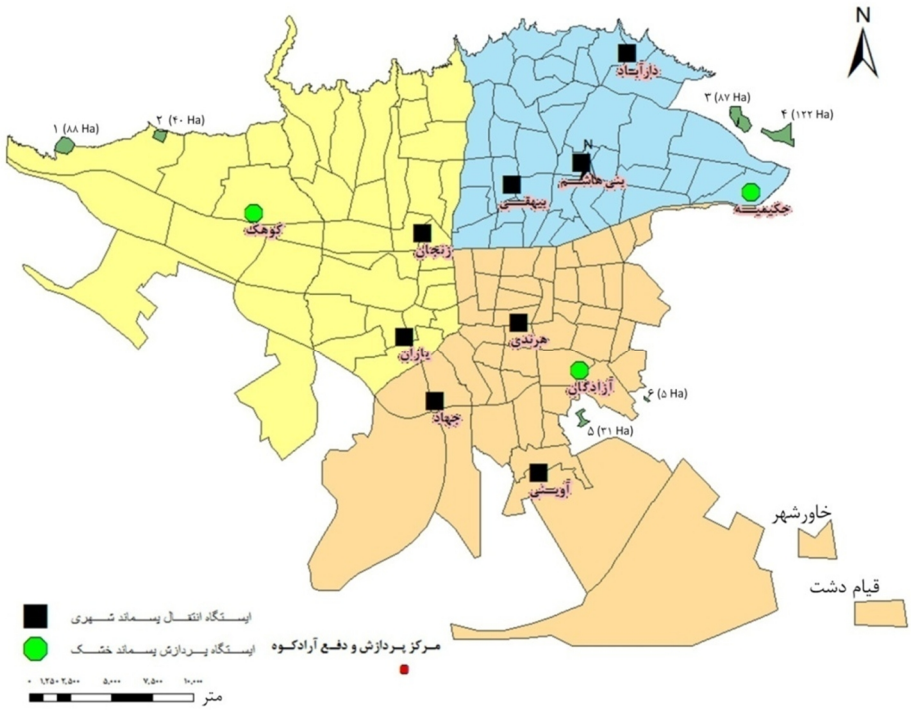
این شکل وزن معیار اقتصادی معادل ۲۵درصد ثابت در نظر گرفته شده و سپس ۷۵درصد وزن باقی‌مانده، به دو معیار فنی و زیست‌محیطی تخصیص داده می‌شود (لازم به ذکر است نتایج آنالیز حساسیت برای مقادیر غیر از ۲۵درصد برای وزن خوشه اقتصادی، مشابه نتایج به دست آمده درخصوص وزن ۲۵درصدی بوده است). با افزایش وزن یک معیار و کاهش از وزن معیار دیگر نیز مدل اجرا شد و نتایج حاصله در شکل ۵ ترسیم شد. چنان که مشاهده می‌شود، اولویت سناریوهای ۱، ۲ و ۳ با افزایش وزن معیار فنی کاهش می‌یابد، زیرا هریک نیاز به تجهیزات ویژه‌ای از قبیل زباله‌سوز، واحد RDF یا تولید کود کمپوست دارند و بنابراین از ارجحیت آن‌ها کاسته می‌شود. اما سناریوی ۴ که سهم عمده پسماند در آن دفن می‌شود، نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های پیچیده ندارد و لذا با افزایش وزن معیار فنی بر ارجحیت آن افزوده خواهد شد.

از طرف دیگر، با کاهش وزن معیار فنی و افزایش وزن معیار زیست‌محیطی، ارجحیت سناریوی ۴ که به‌دلیل فواصل زیاد حمل و نقل موجد بیشترین آلودگی زیست‌محیطی است کاهش خواهد یافت.

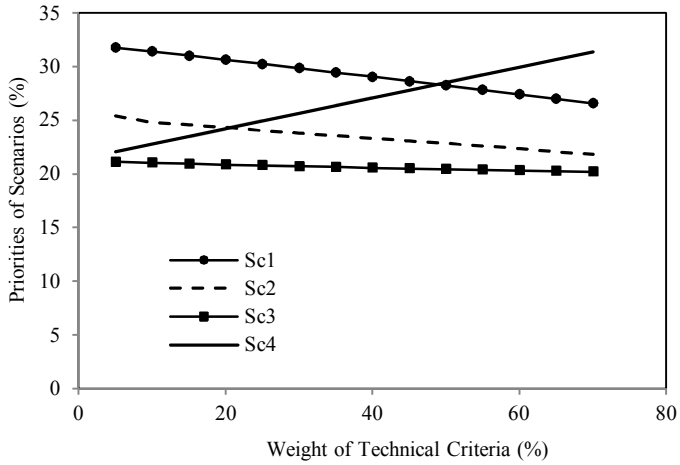
باید توجه داشت که ترتیب سناریوهای ۱، ۲ و ۳ با افزایش و کاهش وزن هریک از معیارها تغییر نمی‌کند و همواره ارجحیت سناریوی اول بیشتر از سناریوی دوم و ارجحیت سناریوی دوم بیشتر از سناریوی سوم است. وقتی وزن معیار فنی کم‌تر از ۲۰درصد باشد سناریوی دوم نسبت به سناریوی چهارم اولویت بیشتری خواهد داشت و همچنین، وقتی وزن معیار فنی بین ۲۰ تا ۵۰ درصد باشد سناریوی چهارم در اولویت دوم قرار خواهد گرفت. به‌همین ترتیب زمانی که وزن معیار فنی بالاتر از ۵۰ درصد باشد، سناریوی چهارم به اولویت اول تصمیم‌گیری تبدیل خواهد شد.



شکل ۳- اجزاء سناریوی اول شامل سامانه‌های: (الف) شمال شرق، (ب) شمال غرب، (ج) جنوب شرق و (د) آرادکوه



شکل ۴- مکان‌های مستعد احداث تأسیسات سناریوی اول



شکل ۵- تحلیل حساسیت نتایج مدل نسبت به وزن معیار فنی (وزن معیار اقتصادی ۲۵ درصد)

٤- نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر به‌منظور مکان‌یابی مناطق مستعد احداث مراکز دفع در شهر تهران، ابتدا لایه‌های مبتنی بر GIS برای معیارهای مختلف تهیه و اطلاعات آن به‌روز شد. سپس با توجه به نبود استاندارد برای برخی از عناصر مدیریتی مد نظر، با استفاده از قانون‌های مختلف لایه‌های مناسب تهیه شد. از روی هم‌گذاری این لایه‌ها و لایه کاربری مناطق آزاد توسط نرم‌افزار GIS، مناطق مستعد تعیین شد. سپس کمیت و کیفیت پسماند تولیدی، امکانات و چالش‌های پیش رو در شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. براساس یافته‌های اخیر، سناریوهایی برای مناطق مستعد پیشین تعریف شد؛ در نهایت نیز با استفاده از روش ANP و مقایسات زوجی معیارهای فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی و زیرمعیارهای هریک در نرم‌افزار Super Decisions، سوپرماتریس وزن‌دهی‌شده مشخص و در انتها بهترین سناریوی مدیریتی به‌منظور اجرا در تهران تعیین شد. از میان چهار سناریوی تعریف شده، سناریوی

جدول ۲- سوپر ماتریس وزن‌دهی شده در تحقیق حاضر

		معیار فنی						اقتصادی	معیار زیست‌محیطی				گزینه‌ها			
		1TC	2TC	3TC	4TC	5TC	6TC	E	1EN	2EN	3EN	4EN	1A	2A	3A	4A
معیار فنی	1TC- نیاز به پرسنل ماهر و متخصص	۰/۰۰۰۰	۰/۳۷۵۰	۰/۱۰۰۰	۰/۰۶۲۵	۰/۲۱۴۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۳۰۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۸۴	۰/۰۳۰۶	۰/۰۲۶۸
	2TC- نیاز به نگهداری و ...	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۱۰۰۰	۰/۰۶۲۵	۰/۲۱۴۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۷۵	۰/۰۱۰۲	۰/۰۲۶۸
	3TC- سهولت بهره‌برداری	۰/۰۰۰۰	۰/۱۲۵۰	۰/۰۰۰۰	۰/۱۸۷۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۸۴	۰/۰۳۰۶	۰/۰۲۶۸
	4TC- نیاز به تجهیزات فنی	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۳۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۷۵	۰/۰۱۰۲	۰/۰۲۶۸
	5TC- نیاز به احداث زیرساختها	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۱۸۷۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۳۰۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۳۴۰	۰/۰۴۵۵	۰/۰۳۰۶	۰/۰۲۶۸
	6TC- زمین مورد نیاز	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۷۱۴	۰/۰۰۰۰	۰/۰۷۱۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۶۶۱	۰/۰۴۵۵	۰/۰۳۰۶	۰/۰۰۸۹
معیار اقتصادی: E- برآورد اقتصادی		۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۲۸۵۷	۰/۲۸۵۷	۰/۲۸۵۷	۰/۲۸۵۷
معیار زیست‌محیطی	1EN- آلودگی هوا	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۴۰۸	۰/۰۰۰۰	۰/۱۲۵۰	۰/۱۲۵۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۴۰۳	۰/۰۵۷۱	۰/۰۵۰۶	۰/۱۴۹۸
	2EN- آلودگی خاک	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۴۰۹	۰/۲۵۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۳۷۵۰	۰/۰۰۰۰	۰/۲۲۴۹	۰/۱۷۱۴	۰/۱۳۶۵	۰/۰۳۱۶
	3EN- آلودگی محیط آبی	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۱۷۱۲	۰/۲۵۰۰	۰/۳۷۵۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۲۲۴۹	۰/۱۷۱۴	۰/۱۳۶۵	۰/۰۶۷۱
	4EN- آلودگی صوتی	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۳۵۳۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۷۸۶	۰/۱۷۱۴	۰/۲۴۷۸	۰/۳۲۲۹
گزینه‌ها	1A- سناریوی اول	۰/۲۰۰۰	۰/۰۴۷۷	۰/۱۰۰۰	۰/۰۴۷۷	۰/۱۰۰۰	۰/۴۸۴۹	۰/۰۴۰۳	۰/۲۳۳۶	۰/۱۵۶۳	۰/۲۳۸۱	۰/۲۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	2A- سناریوی دوم	۰/۲۰۰۰	۰/۰۸۰۰	۰/۱۰۰۰	۰/۰۸۰۰	۰/۱۰۰۰	۰/۲۸۰۰	۰/۰۳۸۷	۰/۱۳۸۶	۰/۱۵۶۳	۰/۱۴۴۴	۰/۲۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	3A- سناریوی سوم	۰/۲۰۰۰	۰/۱۳۸۶	۰/۱۰۰۰	۰/۱۳۸۶	۰/۱۰۰۰	۰/۱۶۶۹	۰/۰۳۹۲	۰/۰۸۰۰	۰/۱۵۶۳	۰/۰۸۸۰	۰/۲۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	4A- سناریوی چهارم	۰/۴۰۰۰	۰/۲۳۳۶	۰/۲۰۰۰	۰/۲۳۳۶	۰/۲۰۰۰	۰/۰۶۸۱	۰/۱۲۴۳	۰/۰۴۷۷	۰/۰۳۱۳	۰/۰۲۹۵	۰/۴۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰

اول با وزن نرمال شده ۰/۳۰۷۹ به عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. جزئیات بیشتر این سناریو عبارت است از: سیستم‌های MRF، تولید کمپوست به روش هوازی بسته و زباله‌سوزی در سایت شمال غرب؛ سیستم‌های MRF، تولید کمپوست به روش هوازی بسته و زباله‌سوزی در سایت شمال شرق؛ سیستم‌های MRF، تولید کمپوست به روش هوازی بسته و RDF در سایت جنوب شرق؛ سیستم‌های MRF، تولید کمپوست به روش ویندرو و زباله‌سوزی در سایت موجود آرادکوه. با توجه به نزدیک بودن اوزان به دست آمده برای سناریوها در این تحقیق، حساسیت اوزان به وزن معیارهای سه‌گانهٔ اصلی مورد بررسی قرار گرفت. باتوجه به این که در سناریوی چهارم بخش عمده پسماند دفن می‌شود و بیشترین مخاطرات زیست‌محیطی را دارد، با افزایش وزن معیار زیست‌محیطی ارجحیت این سناریو کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش وزن معیار فنی، با توجه به تکنولوژی ساده‌ای که این سناریو نیاز خواهد داشت، ارجحیت آن افزایش پیدا می‌کند. سایر سناریوها حساسیت کم‌تری نسبت به تغییر اوزان معیارها داشته و در اولویت آن‌ها تغییری ایجاد نخواهد شد و همواره سناریوی اول از سناریوی دوم برتر و سناریوی دوم نیز از سناریوی سوم ارجح‌تر است.

تشکر و قدردانی

مؤلفین بر خود لازم می‌دانند مراتب سپاس و قدردانی خود را از کارشناسان محترم سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران (خصوصاً جناب آقای مهندس سعید مرادی‌کیا) برای همکاری در زمینه تهیه و ارائه اطلاعات لازم ابراز دارند.

پی‌نوشت‌ها

[1] Geographycal Information System (GIS)
[2] Analytical Network Process (ANP)

منابع

[1] Tchobanoglous G, Kreith F. Handbook of Solid Waste Management, second edition. McGraw-Hill Professional; **2002**.

[2] Ghanbarzadeh Lak M, Sabour M R. Greenhouse Gas Emissions and Energy Consumption through Solid Waste Disposal Scenarios Using LCA, Case Study: Siri Island. Journal of Environmental Studies; **2011; 36**(3): 67-78 [**in Persian**].

[3] Peavy H S, Rowe D R, Tchobanoglous G, Environmental engineering (1985). Translated by S. Ebrahimi, and M.A. Keynejad, third edition. Sahand University of Technology Press; **2007 [in Persian].**

[4] US EPA. Municipal Solid Waste in The United States - Fact and Figures 2009, US Environmental Protection Agency; **2010**. Available on: www.epa.gov/wastes/ nonhaz/municipal/pubs/msw2009rpt.pdf (Accessed December, 2012).

[5] EEA. Diverting waste from landfill, Effectiveness of waste management policies in the European Union, European Environment Agency Report, No 7; **2009**. Available on: http://www.eea.europa.eu/ publications/ diverting-waste-from-landfill-effectiveness-of-waste-management-policies-in-the-european-union (Accessed December, 2012).

[6] Japan Statistics Bureau. Statistical Handbook of Japan, Statistics Bureau; **2010**. Available on: http://www.stat. go.jp/ english/ data/handbook/ c14cont.htm (Accessed December, 2012).

[7] Hassanvand M S, Nabizadeh R, Heidari M. Municipal Solid Waste Analysis in Iran. Iran. Journal of Health & Environment; **2008; 1**(1): 9-18 [**in Persian**].

[8] EC Eurostat. Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method. European Commission; **2012**. Available on: http://epp.eurostat. ec.europa.eu/ portal/page/portal/ environment/ data/ main_tables (Accessed December, 2012).

[9] Statistics Belgium. Waste generated by economic activity in tonnes; **2009**. Available on: http://statbel. fgov.be/fr/modules/publications/ statistiques/environnement/fichiers_telechargeables/dechets_produit_par_activite_economique_en_tonnes_2008_.jsp (Accessed December, 2012 - in French).

[10] German Federal Statistical Office. Waste management; **2009**. Available on: https://www.destatis.de/EN/ Facts Figures/ National EconomyEnvironment/Environment/EnvironmentalSurveys/WasteManagement/WasteManagement.html (Accessed December, 2012).

[11] Statistics Estonia. Environmental pressure; **2009**.

[21] Shahba S, Shahba S, Nourbakhsh S Z, Mozaffari M. Municipal solid waste landfill siting using ANP, Case study: Sirjan city. Proceedings of The 2nd Conference on Environmental Planning and Management; **2012** (Tehran University, Tehran, Iran) [**in Persian**].

[22] Sharifi M A, Retsios V. Site selection for Waste disposal through Spatial Multiple Criteria Decision Analysis. Proceedings of 3rd International Conference on Decision Support for Telecommunications and Information Society; **2003** (4-6 September 2003, Warsaw, Poland).

[23] Sener S, Sener E, Karagüzel R. Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent – Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment; **2011; 173**(1-4): 533-554.

[24] Hendrix W G, Buckley D J A. Use of a geographic information system for selection of sites for land application of sewage waste. Journal of Soil and Water Conservation; **1992; 47**(3): 271-275.

[25] Statistical Center of Iran, Tehran State Information; **2011**. Available on: http://www. amar.org.ir/ Default. aspx? tabid=115& agentType= View&Property ID=849 (Accessed December 2012) [**in Persian**].

[26] TWMO. Information gathered from Tehran Waste Management Organization; **2011**. Available on: http://pasmand.tehran.ir/ Default.aspx? tabid=41 (Accessed December 2012) [**in Persian**].

[27] Ataei M. Multi-Criteria Decision Making. Shahrood University of Technology Press; **2010 [in Persian]**.

[28] Mohammadi Lord A. Analytic Network Process (ANP) and Analytic Hierarchy Process (AHP). Alborz-e-Far-e-Danesh Press; **2009 [in Persian]**.

[29] Tzeng G H, Huang J J. Multiple attribute decision making, methods and applications. CRC Press; **2011**.

Available on: http://www.stat.ee/environmental-pressure (Accessed December, 2012 - in English & Estonian).

[12] Italian National Institute of Statistics. Environmental data Cities :Urban waste management; **2009**. Available on: http://www. istat.it/it/archivio/8563 (Accessed Dece-mber 2012- in Italian).

[13] Hungarian Central Statistical Office. Environmental report; **2009**. Available on: http://www.ksh.hu/ apps/ shop.lista? p_session_id=53926408&p_lang=EN&p_temako r_kod=U (Accessed December 2012- in English & Hungarian).

[14] Official Statistics of Finland. Waste treatment in 2009; **2009**. Available on: http://www. tilastokeskus.fi/til/ jate/ 2009/jate_2009_2011-05-20_tau_001_fi.html (Accessed December 2012- in Finnish).

[15] Siddiqui M Z, Everett J W, Vieux B E. Landfill siting using geographic information systems: A demonstration. Journal of Environmental Engineering; **1996; 122**(6): 515-523.

[16] Asgarpour M J. Multiple Criteria Decision Making, fifth edition. University of Tehran Press; **2008 [in Persian]**.

[17] Nouri D, Sabour M R, Ghanbarzadeh Lak M. Environmental and Technical Modeling of Industrial Solid Waste Management Using Analytical Network Process; A Case Study: Gilan-Iran. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology 81; **2011**: 130-136 (Singapore, Singapore, September 28-30, 2011).

[18] Ghodsipour S H. Analytical Hierarchy Process. Amirkabir University Press; **2002** [in Persian].

[19] Heidarzadeh N, Abdoli M A. Municipal solid waste landfill siting using GIS, Case study: Ramhormoz city. Proceedings of The 5th National Conference & Exhibition on Environmental Engineering; **2011** (Tehran University, Tehran, Iran) **[in Persian]**.

[20] Shayesteh-Azimian H, Ghafoori M, Hafezi-Moghads N. Municipal waste landfill siting using AHP in GIS environment, Case study: neyshabur Region. Proceedings of The 15th Symposium of Geological Society of Iran; **2011** (Kharazmi University, Tehran, Iran) [**in Persian**].