Archive of SID

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دورهٔ ۶۸، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۴
صفحات ۳۱۹- ۳۰۵

ارزیابی تأثیرات محیط زیستی کارخانهٔ کمپوست با استفاده از رویکرد بیزین (مطالعهٔ موردی: استان گلستان)

انسیه نیکوبذل راد*[۱]، عبدالرسول سلمان ماهینی[۲] و امیر سعدالدین[۳]

۱. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد محیط زیست- ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه محیط زیست- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. دانشیار گروه آبخیزداری- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/٤- تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳)

چکیده

تهیهٔ کمپوست یکی از استراتژی‌های مدیریت مواد زاید جامد شهری است که با هدف کاهش حجم و وزن موادی که باید دفع شوند، کاهش انتشار بو و شیرابه، بازیافت منابع و کاهش هزینه‌های دفع زباله استفاده می‌شود. برای رعایت قوانین محیط زیستی در چارچوب سازگاری پروژه‌های توسعه‌ای ب حساسیت‌های محیطی، اجرای طرح‌های ارزیابی تأثیرات محیط زیستی کارخانه‌های کمپوست الزامی شده است. ارزیابی تأثیرات محیط زیستی یکی از روش‌های مؤثر در راستای حفظ محیط زیست و مقابله با تخریب آن است. توجه به روش‌های نوین ارزیابی آثار توسعه، گام مفیدی در راستای بهبود محیط زیست محسوب می‌شود. هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی آثار محیط زیستی پنج گزینهٔ مکانی احداث کارخانهٔ کمپوست در دو بخش شرقی و غربی استان گلستان است. جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از بازدیدهای میدانی و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی انجام شد. سپس پتانسیل آلودگی‌های موجود در پنج منطقه نقشه‌سازی شد. اطلاعات لازم از نقشه‌ها استخراج و نتایج آن برای تعیین جدول‌های احتمال شرطی وارد شبکهٔ بیزین شد. روش استفاده‌شده در شبکهٔ بیزین بر پایهٔ تئوری بیز استوار است. نتایج به‌دست‌آمده از شبکهٔ بیزین در هر یک از گزینه‌ها با استفاده از وزن‌دهی به آلودگی‌ها با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و نیز با استفاده از روش Topsis برای اولویت‌بندی گزینه‌های پیشنهادی به کار رفت. نتایج این پژوهش نشان دادند که در بخش شرقی، گزینهٔ دو و در بخش غربی، گزینهٔ چهار مناسب هستند که نتایج حاصل از روش ماتریس ریاضی فازی‌سازی شده با فاکتور جبران را تأیید می‌کند. با توجه به امکان نمایش عدم قطعیت در مدل شبکهٔ بیزین و واردکردن نظریه‌های کارشناسی در صورت کمبود داده‌ها یا دسترسی‌نداشتن به نتایج مدل‌ها، این روش تبدیل به یک روش کارآمد در ارزیابی آثار توسعه شده است.

کلیدواژگان: ارزیابی آثار محیط زیستی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، شبکهٔ بیزین، عدم قطعیت، کمپوست، نظریه‌های کارشناسی.

*نویسندهٔ مسئول، شمارهٔ تماس: ۰۹۱۲۴۳۹۹۱۳۸
Email: ensiehnikoubazl@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

تعادل، هماهنگی و نظم بین اجزای طبیعت از ملزومات محیط زیست است. چنانچه این تعادل بر اثر برخی شرایط دچار تغییر شود، آسیب به کلیهٔ اجزا و ساختار موجودات زنده و انسان وارد خواهد شد. از نیم قرن گذشته فعالیت‌های مهم اقتصادی و صنعتی، به‌کارگیری فناوری پیشرفته همراه با رشد فزایندهٔ جمعیت و نیز هماهنگ‌نبودن دولت‌های مختلف دنیا در استفادهٔ بهینه از منابع طبیعی موجود موجب برهم خوردن تعادل محیط زیست شده است. درنتیجه، بشر با ایجاد آلودگی‌های مختلف آب، هوا، خاک، صدا، حرارت، فرسایش خاک، بیابان‌زایی، افزایش وقوع سیلاب‌ها یا خشکسالی، انهدام و انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری و تخریب لایهٔ ازن، گرم‌شدن کرهٔ زمین، بالاآمدن آب دریاها و افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب ایجاد بیماری‌های جدید و صعب‌العلاج و مرگ‌ومیر بی‌رویه شده است (Noori & Neshat, 1995).

تولید روزافزون زباله و چگونگی دفع مناسب آن‌ها از چالش‌های عمدهٔ محیط زیستی جوامع انسانی است. این مشکل در مناطق شهری و پرجمعیت به‌علت کمبود زمین‌های مناسب برای دفن زباله‌ها سبب شده است که زمین‌های دفن در فواصل دور از شهر قرار گیرد و درنتیجه هزینهٔ عملیات و نگهداری آن‌ها به‌طور چشمگیری افزایش یابد. این محدودیت‌ها موجب شده است که توجه بیشتری به مسئلهٔ بازیابی و بازیافت مواد خام معطوف شود. ازجمله روش‌های بازیافت مواد جامد شهری می‌توان به تهیهٔ کود آلی (کمپوست) از زباله‌های تر اشاره داشت. کمپوست یکی از استراتژی‌های مدیریت مواد زاید جامد شهری است که می‌تواند برای مخلوط زباله‌های شهری با هدف کاهش حجم و وزن مواد قابل دفع، کاهش انتشار بو و شیرابه، بازیافت منابع و کاهش هزینه‌های لازم برای دفع زبالهٔ استفاده‌شده قرار گیرد (Abduli, 2001).

محل‌های دفن زبالهٔ شهری را می‌توان در زمرهٔ پروژه‌های عمرانی محسوب کرد که آثار کوتاه‌مدت و بلندمدت محیط زیستی دارد. ارزیابی آثار محیط زیستی به‌منزلهٔ یکی از ابزارهای مدیریت محیط زیست، از دههٔ قبل در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه معمول شده است. استفاده از این نگرش برای پروژه‌های بزرگ عمرانی نظیر احداث محل‌های دفن زباله‌های شهری مورد تأکید است. مشکلات محیط زیستی محل‌های دفن زبالهٔ شهری و محیط‌های پیرامونی آن‌ها، از دیرباز مورد توجه مردم و مسئولان بوده است. در دهه‌های اخیر، به‌ویژه پس از توسعهٔ دانش مدیریت مواد زاید جامد، محل‌های دفن زبالهٔ شهری مورد بهره‌برداری در سال‌های قبل، موجب شده است که مسائل مرتبط با محیط زیست به‌صورت بحرانی‌تر مطرح شود. بنابراین، برای کاهش مشکلات محیط زیستی موجود، نخستین هدف ارزیابی محیط زیستی محل‌های دفن زبالهٔ شهری برای اطمینان‌یافتن از رعایت سیاست‌ها و خط مشی‌های تعیین‌شده در برنامه‌ها و فعالیت‌های طرح‌ها یا پروژه‌های یادشده در راستای ضوابط، معیارها، قوانین و مقررات محیط زیستی دولتی مطرح شده است. از این‌رو تهیهٔ یک گزارش ارزیابی آثار شامل شناسایی کلیهٔ آثار مهم طرح‌ها یا پروژه‌های پیشنهادی محل‌های دفن زبالهٔ شهری است که با ارائهٔ گزینه‌های منطقی و مقبول، حداقل تأثیرات منفی و سوء را با حداکثر افزایش کیفیت زندگی برای انسان‌ها و بیشترین اعتماد و اطمینان را در سطوح تصمیم‌گیران و مردم ایجاد کند (Taheri & Ashrafzadeh, 2009).

وسعت کار ارزیابی آثار محیط زیستی یک پروژه، نیازمند حضور طیف وسیعی از متخصصان علوم مختلف است. امروزه در ایران، متخصصان به‌دلیل محدودیت زمانی و متأثر از گرایش‌های متداول از روش‌های فهرست‌برداری و ماتریس برای تعیین آثار توسعه استفاده می‌کنند. دو روش یادشده تا حدی ذهنی هستند و نتایج آن‌ها از عدم تکرارپذیری، تجربهٔ شخصی و ویژه به مکان و زمان بودن رنج می‌برد. چه‌بسا با استفاده از این روش‌ها دو ارزیاب با ذهنیت و تجربهٔ شخصی مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

درخصوص یک طرح توسعه به نتایج متفاوتی دست یابند (Salman Mahini & Momeni, 2008). به همین سبب اهمیت انجام مطالعات ارزیابی آثار با روش‌های نوین دوچندان شده است.

در قوانین احتمالات علت پیشامدها از قبل معلوم است، اما گاهی در احتمالات حالت عکس نیز وجود دارد. به این معنا که احتمال وقوع وقایع متفاوتی در دست است و پیداکردن علت وقوع مورد نظر است. بدیهی است که پاسخ به چنین سؤالاتی نیز برمبنای احتمالات قبلی استوار است. به‌منظور حل چنین مسائلی از نظریهٔ بیز استفاده می‌شود (Rezaei, 1998). در شبکهٔ بیزین، نقاط، بدون پیکان ورودی به‌منزلهٔ نقاط ورودی یا والد محسوب می‌شوند. نقاط دارای پیکان‌های ورودی و خروجی، نقاط میانی محسوب می‌شوند و نقاط بدون پیکان خروجی نقاط خروجی و نهایی هستند. درحقیقت هر نقطه یک جدول تعریف‌شده دارد که تصریح‌کنندهٔ احتمال قطعی (پیشین) هر مرحله برای نقاط ورودی و احتمال شرطی برای نقاط میانی است که درنهایت به محاسبهٔ احتمال نقاط خروجی می‌انجامد (Spiegelhalter *et al.*, 1993). الگوریتم محاسباتی مدل شبکهٔ بیزین امکان به‌روز رسانی سریع احتمالات در سایهٔ شواهد در دسترس را توسط انتخاب نقاط ورودی فراهم می‌کند. روش شبکهٔ بیزین براساس یک مدل مفهومی با ایجاد یک چارچوب مشخص متشکل از متغیرها و روابط بین آن‌ها می‌تواند در نبود داده‌های ثبت‌شده یا مدل‌های آزمون‌شده، نظریه‌های کارشناسی را در ارزیابی آثار در نظر بگیرد و میزان اثر فعالیت‌ها را در قالب احتمالاتی بیان کند تا تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینه‌های برتر توسعه با خطای کمتری همراه باشد.

استفاده از نظریهٔ بیز در ارزیابی آثار مربوط به Crome و همکارانش (1996) است که آثار برداشت از جنگل‌های پرباران را در جنگل‌های Queensland استرالیا ارزیابی کردند. نتایج استفاده از این روش در مطالعه یادشده بیانگر آن است که نظریهٔ بیز شرایطی را فراهم می‌کند تا به‌سادگی در زمان نبود اطلاعات کافی با استفاده از شواهد که همان نظر کارشناسان است، اطلاعات قبلی یا احتمالات پیشین در یک طرح را به اطلاعات واقعی یا احتمالات پسین تبدیل کرد. Varis (1996) رویکرد احتمالاتی روش برگرفته از نظریهٔ بیز و همچنین توجه به نبود قطعیت در ارزیابی آثار را مورد توجه قرار داد و در سال بعد به همراه Kuikka (1997) آثار تغییرات اقلیم بر روی آب‌های سطحی در دریاچهٔ Tuusulanjarvi فنلاند را به کمک استفاده از قضاوت متخصصان در نظریهٔ بیز ارزیابی کردند. در مطالعهٔ اخیر روش شبکهٔ بیزین استفاده شد که روشی سریع و دربرگیرندهٔ نظریه‌های کارشناسی به‌صورت سازمان‌یافته، معرفی شد. علم ارزیابی آثار نیز نیازمند سرعت عمل بالا و نظریه‌های متخصصان علوم مختلف است. استفاده از داده‌های موجود و همچنین نظرهای کارشناسی در روش بیزین (Heckerman *et al.*, 1994) نظر Marcot و همکارانش (2001) را به خود جلب کرد و به همین سبب در مطالعه‌ای با عنوان «ارزیابی جمعیت ماهی‌ها و حیات وحش تحت طرح ارزیابی آثار محیط زیستی» استفاده شد. در این مطالعه از داده‌های تجربی و بیشتر نظر کارشناسان استفاده شد. این روش جایگزینی مناسب در زمان کمبود اطلاعات موجود است. همسوبودن نظرهای کارشناسی با اطلاعات به‌دست‌آمده در ارزیابی آثار با استفاده از روش بیزین نتیجه‌ای بود که Tattari و همکارانش (2003) در ارزیابی آثار نوار محافظ گیاهی (بافر) بر حفاظت از آب و تنوع زیستی در دریاچهٔ Kanteleenjarvi جنوب فنلاند به دست آوردند. رویکرد دیگری که در ارزیابی آثار با استفاده از روش شبکهٔ بیزین قابل توجه است، استفاده از تحلیل حساسیت است که صحت ارتباط هر یک از متغیرها در شبکه را بررسی می‌کند. Lanini (2006) وجود ارتباط صحیح بین متغیرها را در ارزیابی آثار مدیریت منابع آبی در رودخانهٔ Hérault فرانسه به کمک شبکهٔ بیزین به اثبات رساند. ارزیابی آثار محیط زیستی توسعه

www.SID.ir

Archive of SID

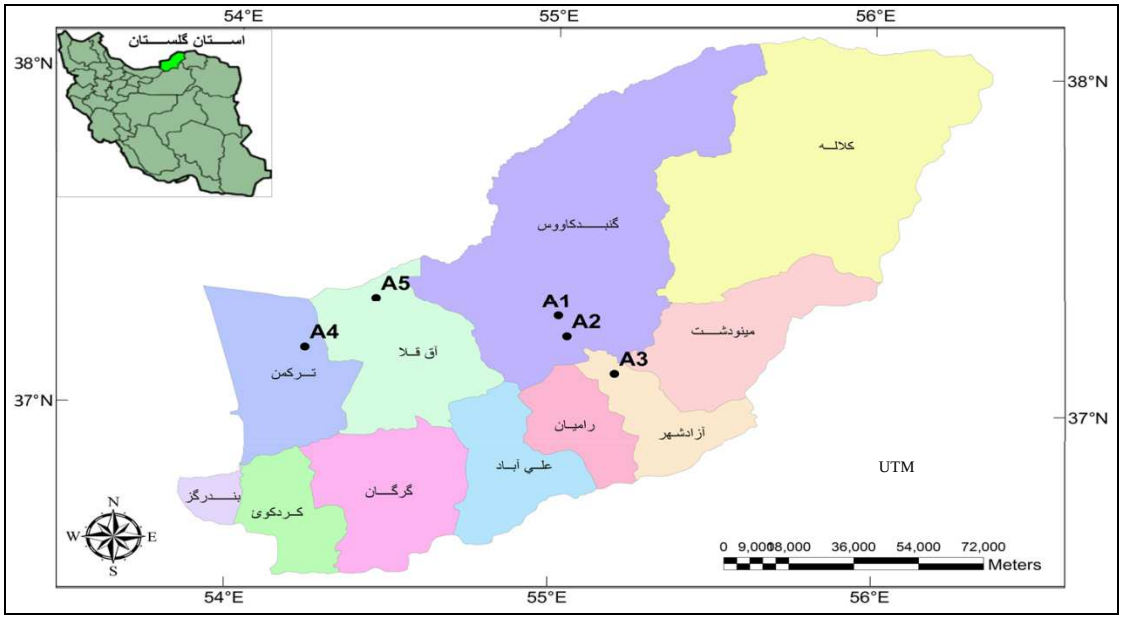
نیازمند ورود متغیرهایی است که گاه پیوسته و گسسته یا کمّی و کیفی هستند. ترکیب هم‌زمان این متغیرها در یک مدل شبکهٔ بیزین امکان‌پذیر است. Sadoddin و همکارانش (2009) در مقاله‌ای از شبکهٔ بیزین به‌منظور ارزیابی آثار بیوفیزیکی و اقتصادی- اجتماعی گزینه‌های متفاوت مدیریت پوشش گیاهی اراضی شوره در حوضهٔ آبخیز Little River در استرالیا استفاده کردند. در این مطالعه شبکهٔ تصمیم بیزین به‌منزلهٔ ابزاری مناسب برای مدیریت یکپارچهٔ حوضهٔ آبخیز معرفی شد.

این پژوهش در استان گلستان با هدف انتخاب دو گزینهٔ شرقی و غربی احداث کارخانهٔ کمپوست که کمترین آثار محیط زیستی را داشته باشد، انجام پذیرفت. علت انتخاب این استان وجود مطالعات دیگر با سایر روش‌های سنتی و نوین برای مقایسهٔ نتایج بود.

۲. مواد و روش‌ها

مطالعهٔ حاضر در استان گلستان واقع در شمال شرقی ایران صورت گرفته است. این استان بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقهٔ شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. استان گلستان با مساحت ۲۰۳۸۰/۷ کیلومترمربع، ۱/۳ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد (Sarabi *et al.*, 2010). در این مطالعه با توجه به نیاز استانداری، استان گلستان به دو بخش شرقی با مرکزیت آزادشهر و بخش غربی با مرکزیت گرگان تقسیم شده است. در بخش شرقی، سه گزینهٔ پیشنهادی و در بخش غربی، دو گزینه پیشنهاد شده است که در شکل ۱ مکان جغرافیایی آن‌ها نشان داده شده است.

تعیین محدودهٔ مطالعه و نیز حوزهٔ جغرافیایی آثار محیط زیستی یکی از موارد مهم در کاهش هزینه‌ها، شناسایی دقیق پیامدها، جلوگیری از ابهامات و پیچیدگی‌های آتی و سهولت دسترسی به اطلاعات و داده‌های مورد نیاز است (Monavari, 2007). در این مطالعه، یک بافر ۸ کیلومتری در اطراف گزینه‌های موردنظر به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات در نظر گرفته شد. بررسی اولیه نشان داد با توجه به ویژگی‌های منطقه و نوع آلودگی‌های کارخانهٔ کمپوست بیشترین محدودهٔ انتقال آلودگی‌ها تا ۸ کیلومتر است. برای این منظور از نرم‌افزار Aloha استفاده شد.



شکل ۱. A1 تا A5 نشان‌دهندهٔ موقعیت مکانی گزینه‌های پیشنهادی احداث کارخانهٔ کمپوست

www.SID.ir

Archive of SID

ابتدا در دو سطح منابع محیطی (بافت خاک، پوشش علفی، فاصله از مناطق حفاظت‌شده، فاصله از مناطق مسکونی، تراکم پوشش درختی، شیب، کاربری اراضی، طول آبراهه، فاصله از دریاچه، شبکهٔ زهکش، عمق آب‌های زیرزمینی و فاصله از جاده) و فعالیت‌های پروژه (زهکشی، استفاده از علف‌کش، تسطیح زمین، ساخت جاده و حمل‌ونقل) اطلاعات در سطح گزینه‌های پیشنهادی با استفاده از مطالعات میدانی و داده‌های موجود جمع‌آوری و در محیط سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی پیاده‌سازی شد. سپس، آثار نهایی پروژهٔ احداث کارخانهٔ کمپوست (آلودگی خاک، آلودگی صوتی، فرسایش خاک، آلودگی بو، آلودگی دید، بهداشت عمومی، کاهش تنوع زیستی، کاهش پوشش گیاهی، آلودگی آب‌های سطحی و آلودگی آب‌های زیرزمینی) با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده، نقشه‌سازی شد. اطلاعات نقشه‌های تولیدشده، در هر گزینه استخراج شد.

۱.۲. شبکهٔ بیزین[1]

شبکهٔ بیزین مدلی است که به‌صورت ترسیمی و احتمالاتی، ارتباطات بین متغیرها را نشان می‌دهد (Cain, 2001; Neopolitan, 2003). اصل یک شبکهٔ بیزین ساختار ترسیمی است که نشان‌دهندهٔ ارتباط بین متغیرها (Cain, 2001)، تسهیل‌کنندهٔ استفاده از نظرهای کارشناسی (Kuikka *et al.*, 1999) و به‌کارگیری قانون احتمال بیز (رابطهٔ ۱) برای محاسبات شبکه است. رویکرد بیزین در مقابل نظرهای کارشناسی و داده‌های تجربی انعطاف‌پذیر است و از هر دو مورد در صورت فقدان داده‌ها و اطلاعات در جدول‌های احتمالاتی استفاده می‌کند (Heckerman *et al.*, 1994; Kuikka *et al.*, 1999). تئوری بیز براساس رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود.

$$P(A|B) = P(B|A)P(A) \;/\; P(B) \qquad (۱)$$

شایان ذکر است در نظریهٔ بیز هر احتمال یک نام متداول دارد:

P (B|A) احتمال وقوع پیشامد B درحالی‌که پیشامد A اتفاق افتاده باشد.

P (A) احتمال وقوع پیشامد A که احتمال پیشین A نیز نام دارد. به عبارت دیگر هیچ اطلاعاتی از پیشامد B در این رویداد وجود ندارد.

P (B) احتمال وقوع پیشامد B که احتمال پیشین B نیز نام دارد.

P (A|B) احتمال وقوع پیشامد A درحالی‌که پیشامد B اتفاق افتاده باشد. احتمال پسین نام دیگر آن است.

اولین‌گام در مدل‌سازی شبکهٔ بیزین، ترسیم نمودار تأثیر از عوامل علّی و معلولی است. در این مطالعه با توجه به مرور منابع و مشاهدهٔ مستقیم وضعیت هر گزینه، نمودار تأثیر مدل ارزیابی آثار محیط زیستی احداث کارخانهٔ کمپوست تهیه شد. گام بعدی با تبدیل نمودار تأثیر به شبکهٔ بیزین اولیه در نرم‌افزار Netica صورت گرفت. در این مرحله برای هر گره (عامل) مجموعه‌ای از حالت‌ها در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر، تعیین حالت‌ها برای هر گره براساس مرور منابع، نظرهای کارشناسی یا براساس توزیع فراوانی داده‌ها انجام گرفت. برای مثال حالت‌های متغیر بافت خاک (Neyshaburi & Reyhanitabar, 2010)، شیب، زهکش خاک و تسطیح زمین (Abduli *et al.*, 2008) با مرور منابع تعیین شد.

در این گام اطلاعات استخراج‌شده از نقشه‌های تهیه‌شده، به جدول‌های احتمال شرطی وارد شد. پس از تکمیل جدول‌های احتمال شرطی و واردکردن داده‌ها به‌صورت دستی در مدل، شبکهٔ بیزین تکمیل شد. بدین ترتیب احتمالات آلودگی‌ها و تبعات محیط زیستی در گره‌های نهایی برای هر گزینه به دست آمد. آلودگی‌های ایجادشده در احداث کارخانهٔ کمپوست و محل دفن زباله‌های شهری اهمیت و وزن یکسانی ندارد، به همین دلیل با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[2] و وزن‌دهی زوجی به آلودگی‌ها با استفاده از نظرهای

1. Bayesian Network

2. Analytic Hierarchy Process

www.SID.ir

Archive of SID

پنج کارشناس، وزن هر یک از آلودگی‌ها تعیین شد. سپس خروجی شبکهٔ بیزین برای هر یک از آلودگی‌ها نرمال‌سازی شد و با ضرب وزن به‌دست‌آمده از AHP در آن، گزینهٔ برتر در قسمت شرقی و غربی به‌طور مجزا انتخاب شد. همچنین در این مطالعه از روش Topsis [1] به‌منظور اولویت‌بندی بین گزینه‌های مکانی انتخاب برترین گزینه نیز استفاده شد. نرم‌افزارهای استفاده‌شده در این پژوهش شامل Arc GIS، Idrisi، Aloha و Netica هستند.

۳. نتایج

اولین مرحله در ارزیابی آثار توسعه، تشریح وضعیت موجود و حاکم بر محیط زیست و تعیین پارامترهایی از محیط زیست است که بر اثر اجرای پروژهٔ مورد نظر تحت‌تأثیر فعالیت‌های انجام‌شده، قرار می‌گیرند. با توجه به منابع متعددی که در این زمینه وجود دارد و مطالعه‌ای که در همین مناطق با سایر روش‌های ارزیابی آثار صورت‌گرفته است، فعالیت‌های تأثیرگذار پروژهٔ احداث کارخانهٔ کمپوست (زهکش خاک، تسطیح زمین، حمل‌ونقل، استفاده از علف‌کش و ساخت جاده) بر روی منابع محیطی انتخاب شدند. نتایج نقشه‌سازی آلودگی‌های محیط زیستی یا همان آثار نهایی در ادامه می‌آید.

- آلودگی خاک: یکی از علل آلوده‌شدن خاک‌ها نفوذپذیری زیاد آن‌هاست. نفوذپذیری خاک وابسته به بافت خاک و شیب منطقه است. به همین دلیل و با توجه به ماهیت پروژهٔ احداث کارخانه و محل دفن زباله با بررسی میزان نفوذپذیری خاک (با تعیین ارتباط بین شیب منطقه و بافت خاک) و استفاده از دستور MCE [2] در نرم‌افزار ادریسی، نقشهٔ احتمال آلودگی خاک براساس میزان نفوذپذیری تهیه شد (شکل ۲).

- آلودگی صوتی: به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ آلودگی صوتی، نقشهٔ تراکم پوشش گیاهی، نقشهٔ درجهٔ زبری زمین و نقشهٔ فاصله از مناطق مسکونی در قالب یک MCE با یکدیگر ترکیب شدند (شکل ۳).

الف) نقشهٔ تراکم پوشش گیاهی: در محیط نرم‌افزار ادریسی با استفاده از تصاویر لندست سال ۲۰۱۰، نقشهٔ تراکم پوشش گیاهی تهیه شد؛

ب) نقشهٔ درجهٔ زبری زمین: در محیط نرم‌افزار ادریسی با استفاده از دستور Toposhape و نقشهٔ مدل رقومی ارتفاع [3]، نقشهٔ درجهٔ زبری منطقه تهیه شد؛

ج) نقشهٔ فاصله از مناطق مسکونی: با استفاده از دستور Distance در محیط نرم‌افزار ادریسی از نقشهٔ مناطق مسکونی، نقشهٔ فاصله تهیه شد؛

د) درنهایت با ترکیب نقشه‌های فوق در قالب یک MCE، نقشه‌های به‌دست‌آمده به‌منزلهٔ معیار معرفی شد.

- فرسایش خاک: به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ فرسایش خاک از معادلهٔ جهانی هدررفت خاک اصلاح‌شده (RUSLE [4]) استفاده شد (شکل ۴). معادلهٔ جهانی هدررفت خاک اصلاح‌شده (رابطهٔ ۲)، متوسط سالانهٔ تلفات خاک را به‌صورت ترکیبی از شش فاکتور تخمین می‌زند که ساختار آن به‌صورت زیر است (Renard *et al.*, 1997):

$$A = R.K.L.S.C.P \qquad (۲)$$

در رابطهٔ فوق (R) نشان‌دهندهٔ نیروی فرسایندگی باران، (K) فرسایش‌پذیری خاک، (LS) طول و درجهٔ شیب، (C) پوشش گیاهی و (P) عملیات مدیریتی است.

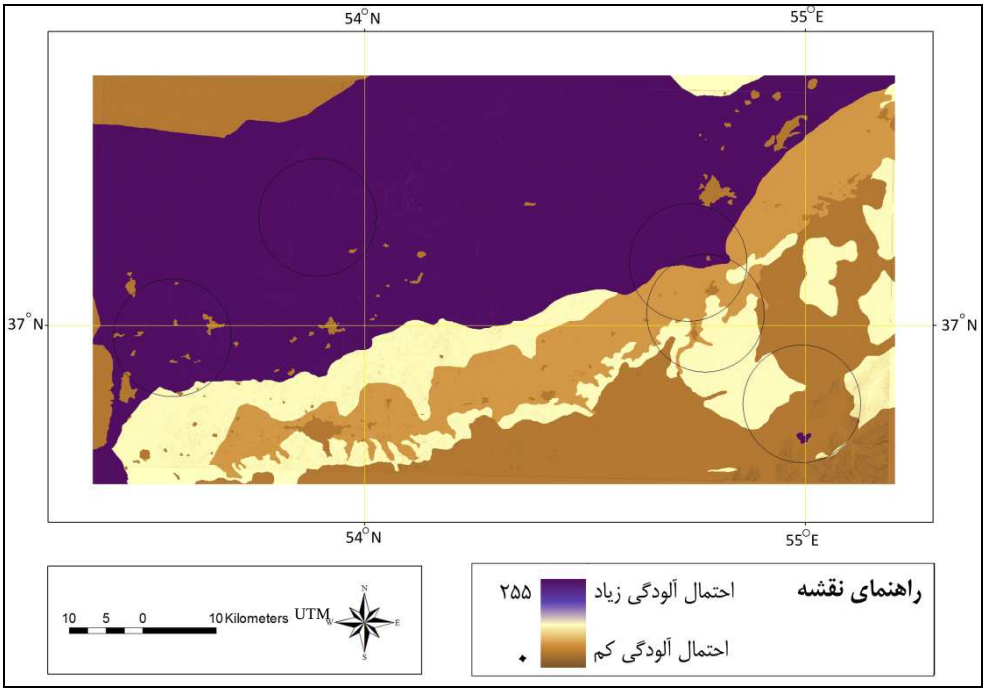
- آلودگی بو: نقشهٔ مدل‌سازی شده پراکنش بو در نرم‌افزار Aloha با استفاده از داده‌های سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شد. ورودی‌های نرم‌افزار به‌منظور بررسی میزان و نوع پراکنش آلودگی بو شامل میزان مادهٔ شیمیایی منتشرشده توسط کارخانه، سرعت و جهت باد غالب، ارتفاع از سطح دریا، میزان رطوبت و دمای هواست. درنهایت مدل

1. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
2. Multi Criteria Evaluation
3. Dem
4. Revised Universal Soil Loss Equation

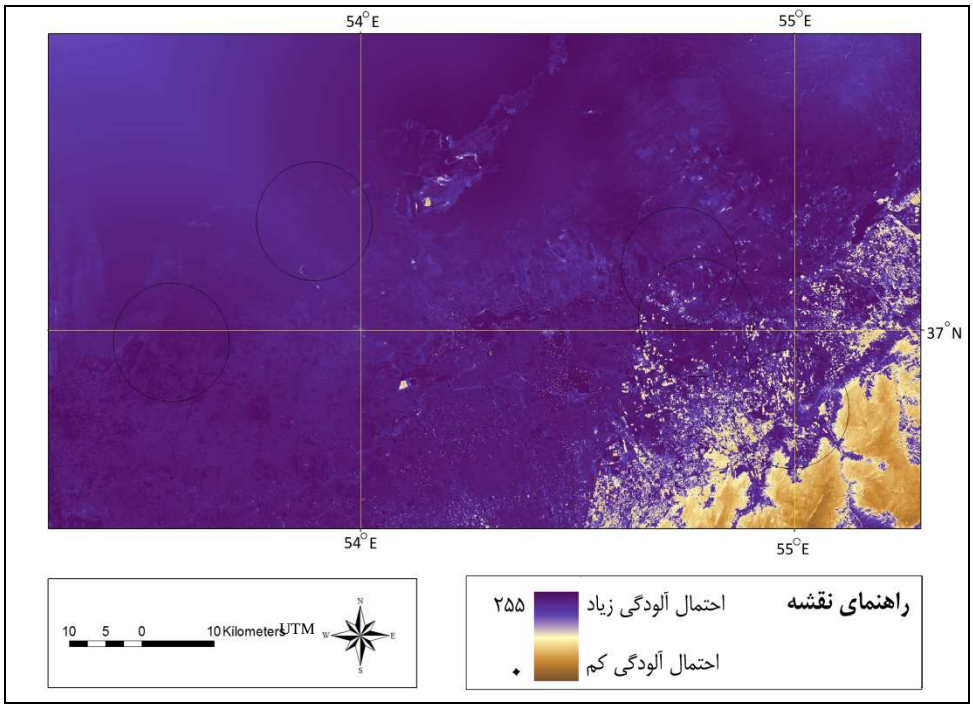
www.SID.ir

Archive of SID

Aloha میزان و نوع پراکنش آلودگی در هوا را تعیین می‌کند. سپس با ترکیب اطلاعات به‌دست‌آمده و پارامتر فاصلهٔ نقاط مسکونی در قالب MCE، نقشهٔ میزان پراکنش بوی منطقه به دست آمد (شکل ۵).



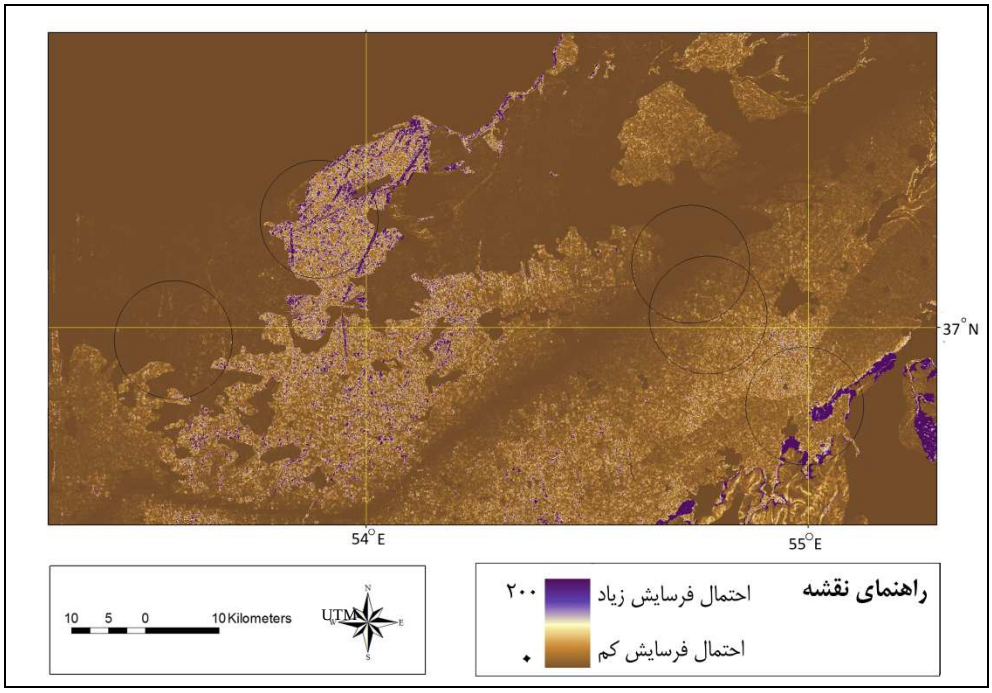
شکل ۲. نقشهٔ احتمال آلودگی خاک در پنج گزینهٔ پیشنهادی



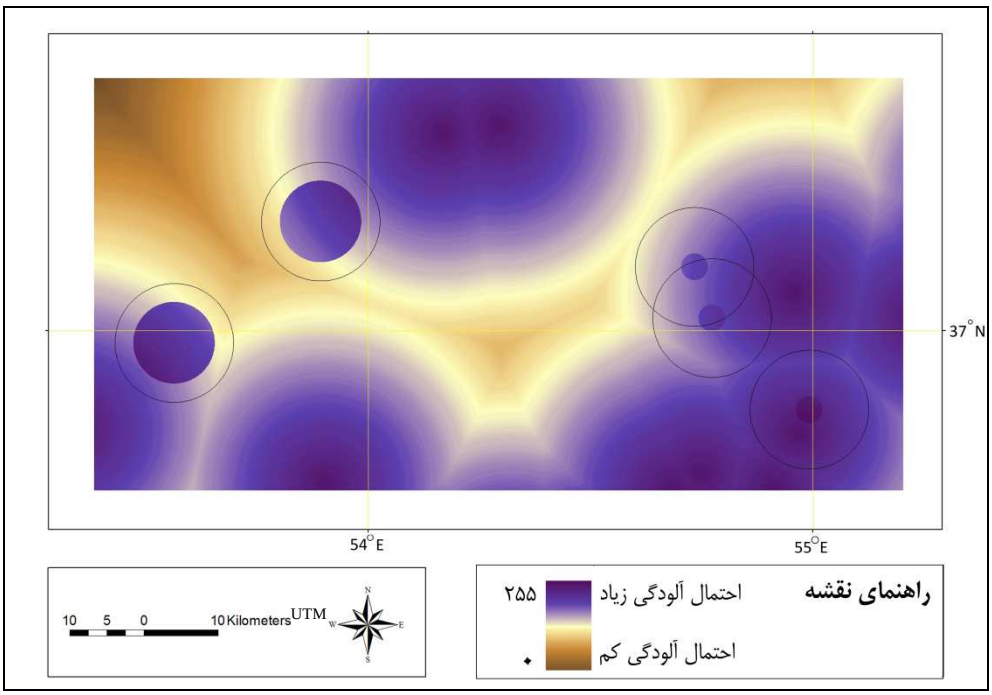
شکل ۳. نقشهٔ احتمال آلودگی صوتی در پنج گزینهٔ پیشنهادی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. نقشهٔ احتمال فرسایش‌پذیری خاک در پنج گزینهٔ پیشنهادی



شکل ۵. نقشهٔ احتمال آلودگی بو در پنج گزینهٔ پیشنهادی

- آلودگی دید: با استفاده از نقشهٔ نقاط مسکونی (حدود ۵۱ شهر و روستای دارای بیش از ۱۰۰ سکنه) و نقشهٔ DEM [1] در نرم‌افزار Idrisi،

1. Digital Elevation Model

www.SID.ir

Archive of SID

نقشهٔ میزان میدان دید منطقه تهیه شد (شکل ۶).

- بهداشت عمومی: برای کمّی‌سازی این پارامتر فاصله از مناطقی کـه انسـان حضـور دارد، در نظـر گرفته شد.

- کـاهش تنـوع زیسـتی: تنـوع زیسـتی رابطـهٔ مستقیمی با کـاربری‌هـای مختلـف در سـطح زمـین دارد. همچنین، وجود مناطق با پوشش گیاهی بالا در افزایش تنوع زیستی مؤثر است. به ایـن منظـور لایـهٔ پوشش گیاهی، منـاطق مسـکونی (دارای محـدودیت برای احـداث کارخانـهٔ کمپوسـت) و کـاربری زمـین استفاده شد (شکل ۷).

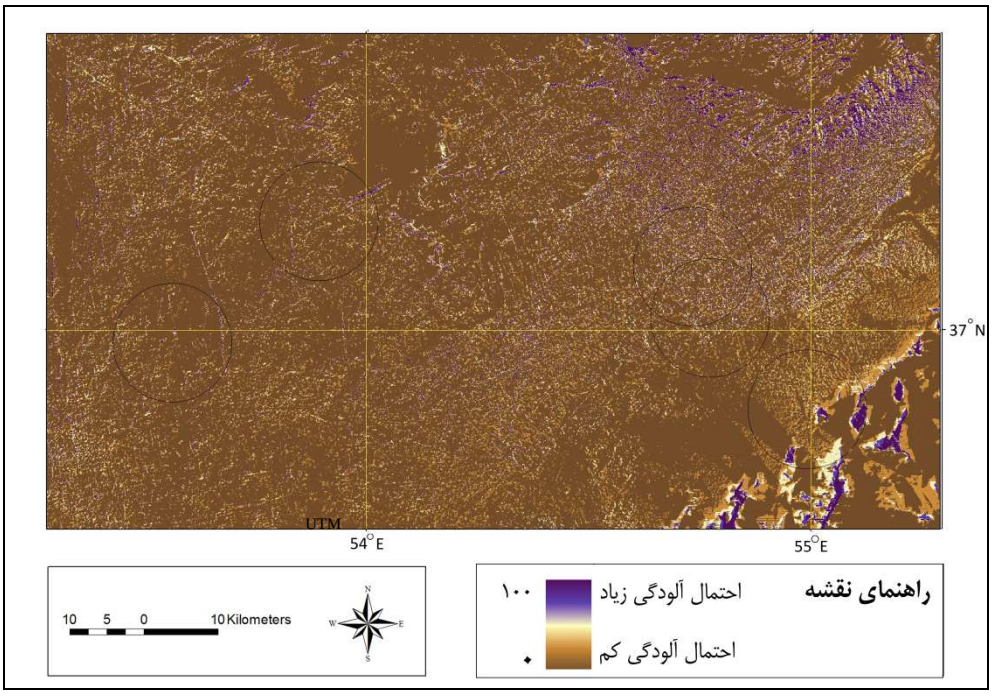
- کاهش پوشش گیاهی: برای نشـان‌دادن آثـار منفی پروژه بر روی پوشش گیاهی منطقه از نقشـهٔ تراکم پوشش گیاهی تهیه‌شده از تصاویر Landsat سال ۲۰۱۰، استفاده شد (شکل ۸).

- آلودگی آب‌های سطحی: با استفاده از میـزان فاصله از دریاچه، طول آبراهه‌ها در محـدودهٔ مـورد نظر و تهیهٔ نقشه درصد شبکهٔ زهکش در هـر یـک از گزینه‌ها، احتمال آلوده‌شدن آب‌های سـطحی در صورت اجرای پروژه در قالـب یـک MCE ارزیـابی شد (شکل ۹).

- آلودگی آب‌هـای زیرزمینـی: نقشـهٔ احتمـال آلوده‌شدن آب‌های زیرزمینی بـراسـاس دو عامـل، سـطح آب زیرزمینـی و میـزان نفوذپـذیری خـاک تعیین می‌شود (شکل ۱۰).

با توجه به روابـط علّـی و معلـولی بـین منـابع محیطی، فعالیت‌های پروژه و آلودگی‌هـای محـیط زیستی، شبکهٔ بیزین به‌صورت شکل ۱۱ به دسـت آمد و حالت‌های هر گره یا متغیـر در شـکل نشـان داده شد.

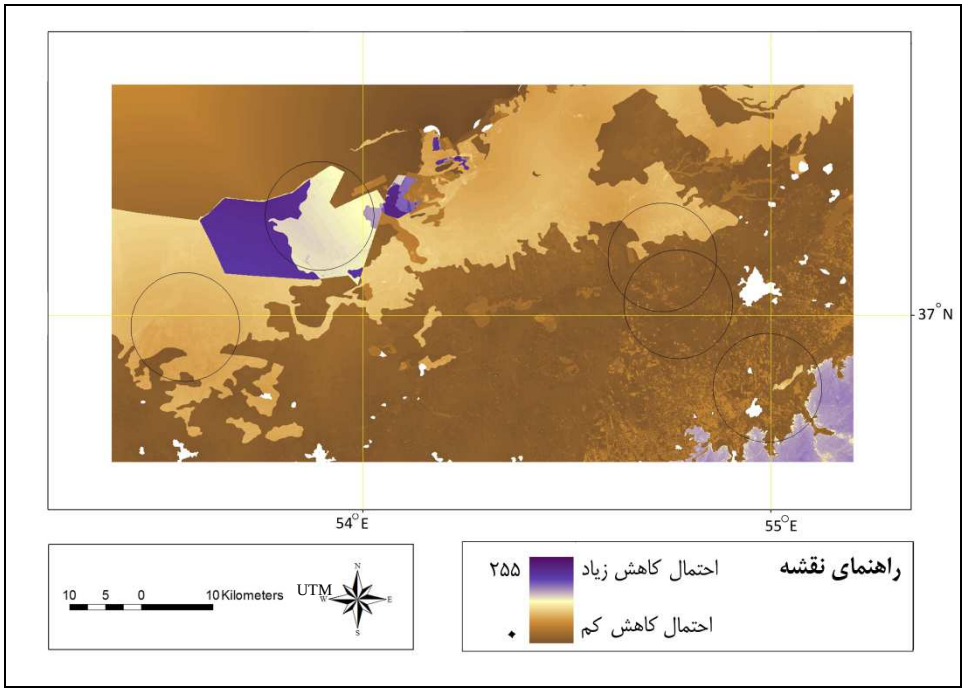
اطلاعاتی که از نقشـه‌هـای یادشـده اسـتخراج شد، پس از تهیـه بـه داخـل جـدول‌هـای شـرطی انتقال می‌یابد و در شبکهٔ هر یک از گزینه‌ها درصد احتمال آثار ظاهر می‌شود. همان گونـه کـه گفتـه شد، به‌علت یکسان‌نبودن اثر هر یک از آلودگی‌هـا، وزن‌دهی صـورت گرفـت. نتـایج نهـایی وزن‌دهـی آلـودگی‌هـای محـیط زیسـتی بـه روش AHP در جدول۱ نشان داده شده است.



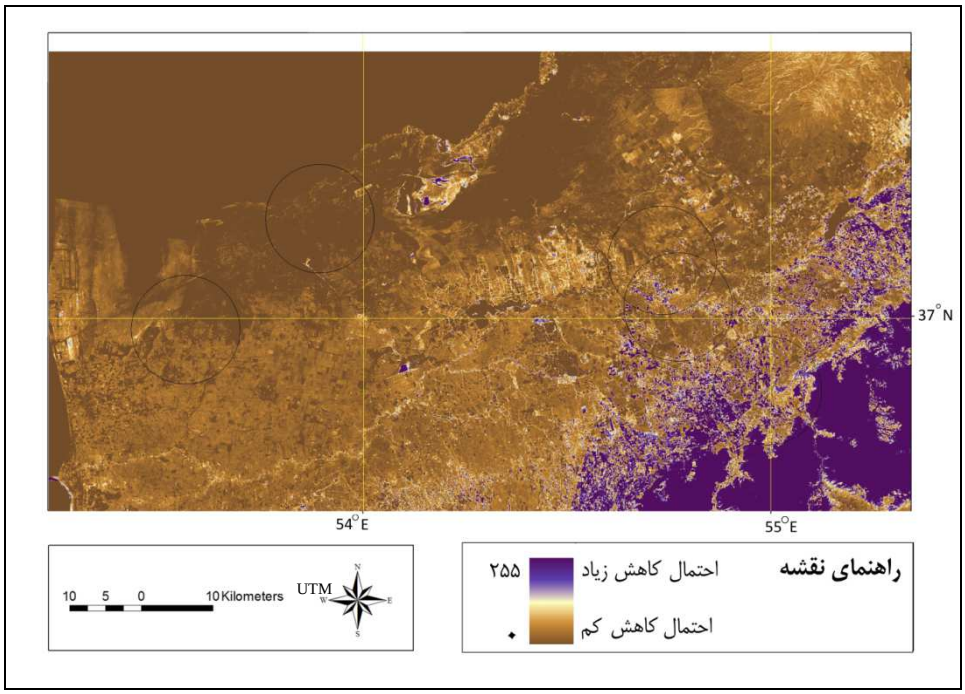
شکل ۶. نقشهٔ احتمال آلودگی دید در پنج گزینهٔ پیشنهادی

www.SID.ir

Archive of SID



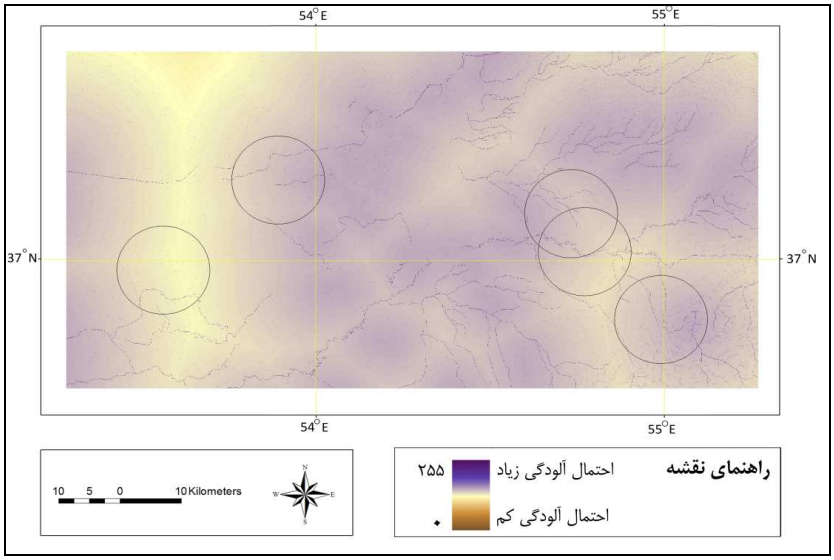
شکل ۷. نقشهٔ احتمال کاهش تنوع زیستی در پنج گزینهٔ پیشنهادی



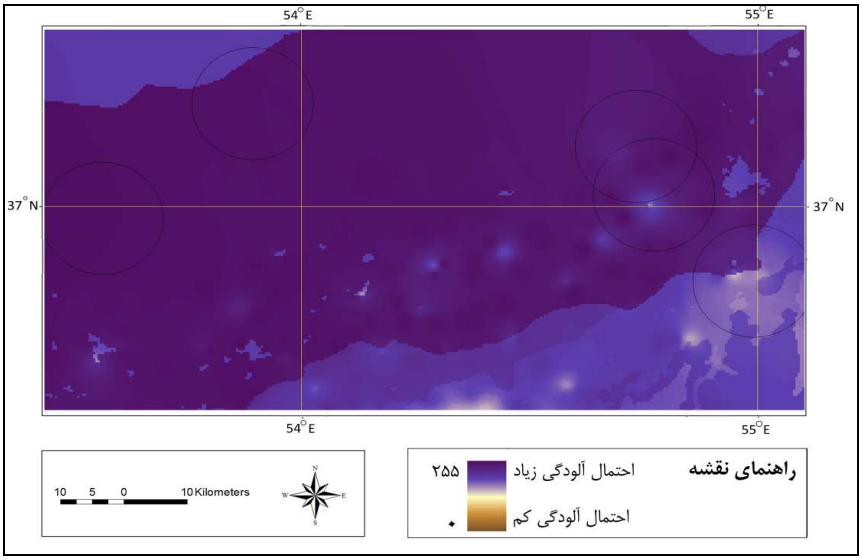
شکل ۸. نقشهٔ احتمال کاهش پوشش گیاهی در پنج گزینهٔ پیشنهادی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. نقشهٔ احتمال آلودگی آب سطحی در پنج گزینهٔ پیشنهادی



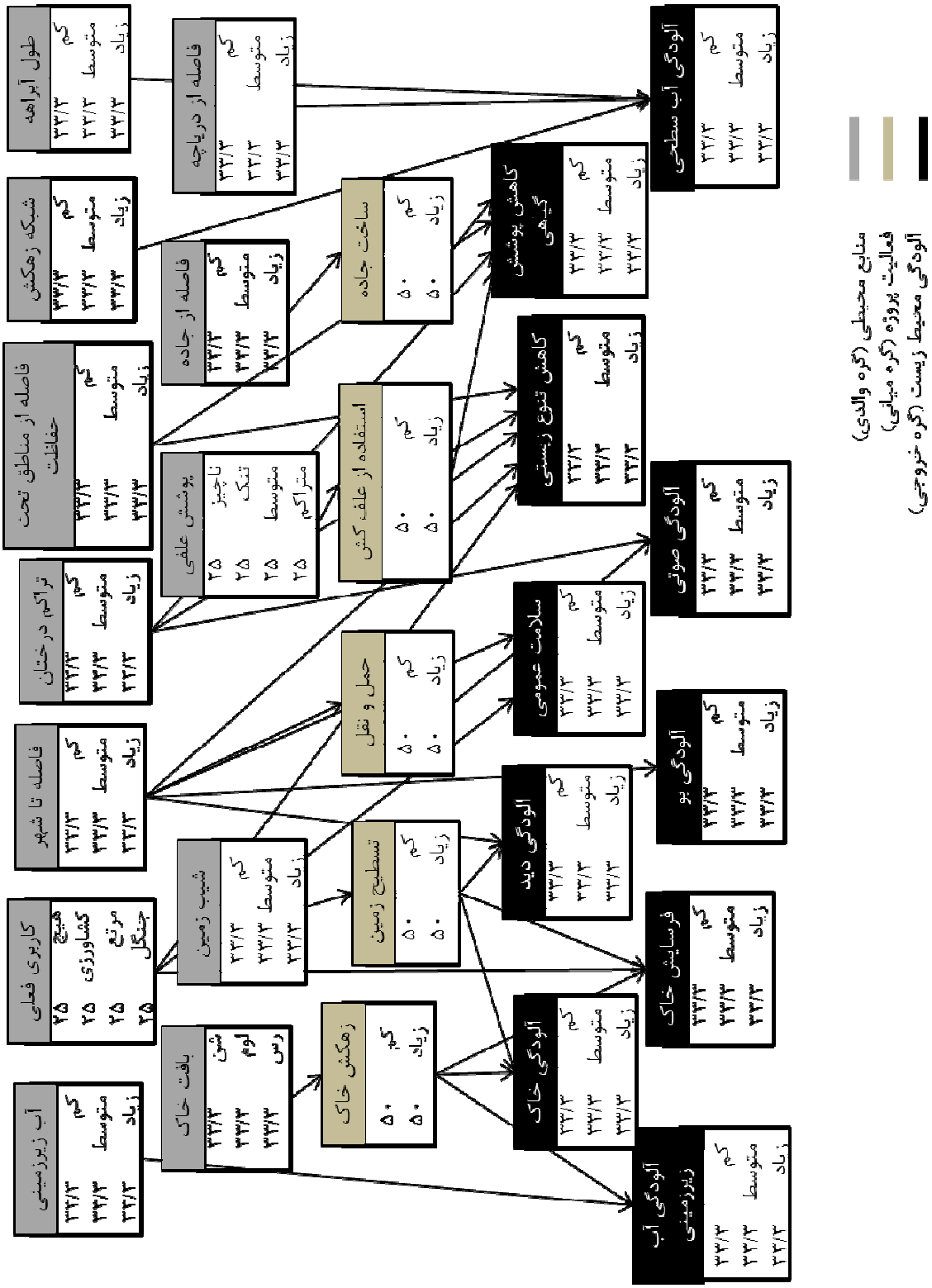
شکل ۱۰. نقشهٔ احتمال آلودگی آب زیرزمینی در پنج گزینهٔ پیشنهادی

جدول۱. مقادیر وزن‌های به‌دست‌آمده به روش AHP

آلودگی‌های محیط زیستی	وزن
آلودگی خاک	۰/۱۱۸۷
آلودگی صوتی	۰/۰۵۶۱
فرسایش خاک	۰/۰۲۲۴
آلودگی بو	۰/۰۵۱۸
آلودگی دید	۰/۰۴۷۴
بهداشت عمومی	۰/۰۹۰۳
کاهش تنوع زیستی	۰/۰۵۲۱
کاهش پوشش گیاهی	۰/۰۲۶
آلودگی آب سطحی	۰/۲۶۱۸
آلودگی آب زیرزمینی	۰/۲۷۳۵

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱. مدل شبکهٔ بیزین برای ارزیابی آثار احداث کارخانهٔ کمپوست در استان گلستان با حالت‌های هر متغیر

www.SID.ir

Archive of SID

سپس به‌منظور انتخاب برترین گزینه در بخش شرقی و غربی استان گلستان وزن هر یک از آلودگی‌ها در نتایج نهایی و نرمال‌شده ضرب شد. نتایج این بخش بیانگر آن است که در بخش شرقی استان گلستان، گزینهٔ دو به‌منزلهٔ برترین گزینهٔ پیشنهادی و در بخش غربی استان، گزینهٔ چهار به‌منزلهٔ برترین گزینه در ارزیابی آثار به روش شبکهٔ بیزین است (جدول۲).

در ادامه نیز با استفاده از روش Topsis گزینه‌های پیشنهادی در بخش شرقی و غربی استان اولویت‌بندی شدند. نتایج این بخش نیز مشابه روش قبلی، در بخش شرقی گزینهٔ دو و در بخش غربی گزین چهار را انتخاب کرد (جدول۳).

جدول ۲. اولویت‌بندی گزینه‌های احداث کارخانهٔ کمپوست در استان گلستان با روش تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ وزنی ساده

گزینه‌های پیشنهادی	نتایج
گزینهٔ یک	۰/۵۷
گزینهٔ دو	۰/۵۵
گزینهٔ سه	۰/۵۹
گزینهٔ چهار	۰/۷۶
گزینهٔ پنج	۰/۸۱

جدول ۳. اولویت‌بندی گزینه‌های احداث کارخانهٔ کمپوست در استان گلستان با روش Topsis

گزینه‌های پیشنهادی	Ci
گزینهٔ یک	۰/۱۴
گزینهٔ دو	۰/۶
گزینهٔ سه	۰/۴۴
گزینهٔ چهار	۰/۴۸
گزینهٔ پنج	۰/۳۲

۴. بحث و نتیجه‌گیری

یکی از اهداف این پژوهش بررسی کارایی روش شبکهٔ بیزین در ارزیابی آثار توسعه است. برای نیل به این هدف مکانی انتخاب شد که مطالعات دیگری با سایر روش‌های ارزیابی آثار در آن انجام شده باشد. Salman Mahini و Momeni (2008)، با استفاده از روش ماتریس ارزیابی سریع (RIAM)[1] به ارزیابی مجدد مناطق پیشنهادی دفن زباله و استقرار صنایع کمپوست در استان گلستان مبادرت ورزیدند. در این روش کلیهٔ عوامل محیط زیستی و اجتماعی بررسی‌شده در چهار طبقه شامل عوامل فیزیکی- شیمیایی (PC)، عوامل زیستی- بوم‌شناختی (BE)، عوامل اجتماعی- فرهنگی (SC)، عوامل اقتصادی- اجرایی (EO) جای می‌گیرند. در این پژوهش نتایج به‌دست‌آمده با نتایج ارزیابی کلی متفاوت بود. به این معنا که در ارزیابی سنتی برای بخش شرقی استان گلستان منطقهٔ ۳ و برای بخش غربی استان منطقهٔ ۴ پیشنهاد شد، اما در مطالعهٔ یادشده با روش سیستماتیک RIAM و با استفاده از همان عوامل و اطلاعات ارزیابی قبلی، برای بخش شرقی منطقهٔ ۱ و برای بخش غربی همان منطقهٔ ۴ پیشنهاد شد. Sarabi و همکاران (2010) ارزیابی آثار محیط زیستی گزینه‌های پیشنهادی احداث کارخانهٔ کمپوست و محل دفن زبالهٔ شهری در استان گلستان را با استفاده از ماتریس‌های ریاضی به روش فازی انجام داد. در این مطالعه سه گزینهٔ مکانی به محوریت شرقی و دو گزینهٔ مکانی به محوریت غربی استان وجود داشت. نتایج این مطالعه در سه بخش ارائه شد. نتایج حاصل از ماتریس ریاضی بدون دخالت فاکتور جبران در بخش شرقی، گزینهٔ یک و در بخش غربی، گزینهٔ چهار بود. نتایج حاصل از فازی‌سازی ماتریس ریاضی بدون دخالت فاکتور جبران در بخش شرقی، گزینهٔ سه و در بخش غربی، گزینهٔ چهار انتخاب شد. نتایج حاصل از فازی‌سازی ماتریس ریاضی با دخیل‌کردن فاکتور جبران در بخش شرقی، گزینهٔ دو و در بخش غربی، گزینهٔ چهار انتخاب شد. درنهایت در این مطالعه ماتریس ریاضی فازی‌سازی شده به همراه فاکتور جبران نتایج بهتری را ارائه کرد.

1. Rapid Impact Assessment matric

www.SID.ir

Archive of SID

به همین دلیل ارزیابی آثار احداث کارخانهٔ کمپوست و محل دفن زبالهٔ شهری در استان گلستان انتخاب شد. با توجه به هدف یادشده مطالعهٔ حاضر اطلاعات ورودی را هم‌تراز با اطلاعات مطالعات قبلی در نظر گرفت که قطعاً تغییر در اطلاعات و حتی روش تهیهٔ نقشه‌ها و مدل‌سازی پارامترها ممکن است سبب تغییر در نتایج به‌دست‌آمده باشد. در تعیین محدودهٔ مطالعاتی نیز از محدودهٔ مطالعات قبلی پیروی شد.

نتایج ارزیابی به روش سنتی ارزیابی آثار که توسط استانداری استان گلستان انجام شده است، در بخش شرقی، گزینهٔ سه و در بخش غربی، گزینهٔ چهار بیان شده است. مطالعهٔ حاضر در بخش شرقی نتایج ارزیابی آثار به روش سنتی را در بخش شرقی تأیید نکرده است ولی در بخش غربی به نتایج یکسانی دست یافت.

پژوهش حاضر در بخش شرقی نتایج مطالعهٔ Salman Mahini و Momeni (2008)، Sarabi و همکاران (2010) با روش ماتریس ریاضی بدون دخالت فاکتور جبران را تأیید نکرد ولی نتایج مطالعه با استفاده از روش فازی‌سازی ماتریس ریاضی با دخیل‌کردن فاکتور جبران را تأیید کرد. در بخش غربی تمامی روش‌ها به نتایج یکسانی دست یافتند.

در اغلب مطالعات انجام‌شده نتایج به‌دست‌آمده در بخش شرقی متفاوت است و تنها با روش فازی‌سازی ماتریس ریاضی با دخیل‌کردن فاکتور جبران همخوانی دارد. لازم به یادآوری است، در مطالعهٔ Sarabi و همکاران (2010) نتیجه به‌دست‌آمده بیانگر آن است که روش ماتریس ریاضی فازی‌سازی شده با دخیل‌کردن فاکتور جبران نتایج بهتری را ارئه می‌دهد. در نتیجه با توجه به موارد یادشده، روش شبکهٔ بیزین به نتایجی همسان با روش ماتریس ریاضی فازی‌شده با فاکتور جبران دست یافت. با اینکه در مطالعهٔ حاضر فاکتورهای جبرانی برای گزینه‌های پیشنهادی لحاظ نشده است، به نتایج یکسان با روش یادشده رسید. ذکر این نکته ضروری است که در ارزیابی آثار محیط زیستی به روش شبکهٔ بیزین امکان ورود متغیرهای جبرانی وجود دارد.

لازم به یادآوری است که به‌علت نزدیکی گزینهٔ پنج به تالاب‌های آلاگل، آلماگل و صوفی‌کم، در تمامی روش‌های بررسی‌شده گزینهٔ چهار در بخش غربی انتخاب شده است.

وسعت شبکهٔ بیزین باید به‌طور دقیق و محتاطانه مورد توجه قرار گیرد. در فرایند تعیین پارامترهای جدول احتمالات شرطی در مدل‌سازی بیزین به‌منظور اجتناب از تأکید بیش از حد بر روی نظرهای کارشناسی نامطمئن باید توجه خاص صورت گیرد. نقاط یا متغیرها در شبکهٔ بیزین باید قابل مشاهده، قابل سنجش و در صورت لزوم قابل دفاع باشد. ساختار مدل بر روی نتایج تحلیل حساسیت می‌تواند تأثیرگذار باشد. درنتیجه تأثیر غیرمستقیم بر روی تصمیم‌گیری و استراتژی تصمیم خواهد داشت (Marcot *et al.*, 2001).

ارزیابی آثار توسعه شامل توجه به واکنش‌های پیچیده میان اجزای محیط زیستی و اقتصادی‌ـ اجتماعی است. یک برنامهٔ موفق برای ارزیابی آثار نیازمند توجه به واکنش‌های پیچیده میان اجزاست. تخصیص زیرمجموعه‌های مختلف در زیرمدل‌های شبکهٔ بیزین کاربر را برای ارزیابی آثار متقابل مختلف توانا می‌سازد.

در صورت تغییر میزان برخی از فعالیت‌های پروژه، امکان به‌روز رسانی سریع اطلاعات در شبکه و به‌کارگیری بهترین تصمیم در شرایط جدید امکان‌پذیر است. روش شبکهٔ بیزین به‌سادگی قادر است پویایی فرایند ارزیابی آثار محیط زیستی را در تمامی مراحل انجام یک پروژه تضمین کند.

ارزیابی آثار نیازمند سازوکاری است تا از تأثیر ذهنیت فردی ارزیاب در تصمیم‌گیری تا حد امکان ممانعت به عمل آورد. با توجه به نکات یادشده، استفاده از روش شبکهٔ بیزین در پروژه‌های ارزیابی آثار توسعه در ایران گامی مهم و موثر در راستای به‌کارگیری از نظرهای کارشناسان است.

www.SID.ir

Archive of SID

REFERENCES

1. Abduli, M.A., 2001. Recycling and Disposal of Solid Waste; Codification Appropriate Methods of Disposal and Compost. Volume 3. Organization of city, 207 p. (in Persian)
2. Abduli, M.A., Rasapour, M. and Kamali, S.M., 2008. Composting: Design, Construction and Principles. 1st Ed. Tehran. Tehran University Publisher, 206 p. (in Persian)
3. Cain, J., 2001. Planning Improvements in Natural Resources Management. Center for Ecology and Hydrology, Crowmarsh Gifford, Wallingford, UK, 124 p.
4. Crome F. H. J, Thomas M. R. and Moore L. A., 1996. A novel Bayesian approach to assessing impact of rain forest logging. Ecological Applications, 6(4), P. 1104-1123.
5. Heckerman, D., Geiger, D. and Chickering, D.M., 1994. Learning Bayesian networks: the combination of knowledge and statistical data. In: Lopez, R. and Poole, D. (Ed.). Proceedings of the 10th conference of Uncertainty in Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, Calif. pp. 293-301.
6. Kuikka, S., Hilden, N., Gislason, H., Hansson, S., Sparholt, H. and Varis, O., 1999. Modeling environmentally driven uncertainties in Baltic cod (*Gadus morhua*) management by Bayesian influence diagrams. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 56, 629-641.
7. Lanini, S., 2006. Water management impact assessment using a Bayesian network model. 7th International Conference on Hydroinformatics. Nice, France.
8. Marcot, B.G., Holthausen, R.S., Raphael, M.G., Rowland, M.M. and Wisdom M.J., 2001. Using Bayesian belief networks to evaluate fish and wildlife population viability under land management alternatives from an environmental impact statement. Forest Ecology and Management 153, 29-42.
9. Monavari, M., 2007. The Standard of Landfill Environmental Impact Assessment. Sinesorkh Publisher, 152 p. (in Persian)
10. Neopolitan, R.E., 2003. Learning Bayesian Networks. Northeastern Illinois University, Chicago, Illinois, 693 p.
11. Neyshaburi, M. and Reyhanitabar, A., 2010. Interpretation of Soil Test Results. Tabriz University Publisher. (in Persian)
12. Noori J. and Neshat Sh., 1995. Guidance of Environment and Development. Conservation of Environment, Tehran, 120 p.
13. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA_Agriculture Handbook, No 703.
14. Rezaei, A., 1998. Concept of Probability and Statistics. Mashhad Publisher, 431 p. (in Persian)
15. Sadoddin, A., Letcher, R. A., Jakeman, A. J., Croke, B. and Newham, L. T. H., 2009. Bayesian network modeling for assessing the biophysical and socio-economic impacts of dryland salinity management. 18th World IMACS/ MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009.
16. Salman Mahini, A. and Momeni, A., 2008. Upgrade the methods of EIA in Iran. In: Proceedings of 9th Environmental impact assessment conference. pp. 78-85. (in Persian)
17. Sarabi, Z., Najafi, A. and Salman Mahini, A., 2010. Using matrics by fuzzy method in EIA of Landfill in Golestan province and choice the best alternative. MSc thesis. Environment group. Tarbiat Modares University. Noor, 137 p. (in Persian)
18. Spiegelhalter, D.J., Dawid, A.P., Lauritzen, S.L. and Cowell, R.G., 1993. Bayesian analysis in expert systems. Statistical Science 8, 219-283.
19. Taheri, S. and Ashrafzadeh, M., 2009. EIA of development the landfill in Shiraz. 12th National Conference of Environmental Health, Shahid Beheshti University, pp. 2518-2527. (in Persian)
20. Tattari S, Schultz T. and Kuussaari M., 2003. Use of belief network modeling to assess the impact of buffer zones on water protection and biodiversity. Agriculture, Ecosystems and Environment. 96, P 119-132.
21. Varis O., 1996. Bayesian decision analysis for environmental and resource management. Environmental Modeling and Software. 12, p. 177-185.

www.SID.ir