

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

انسیه نیکوبدل راد^{۱*}، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲ و امیر سعدالدین^۳
۱. دانش آموخته 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: ۱۳۹۲/۷/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳)

چکیده

تهیه 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 گزینه مکانی احداث کارخانه کمپوست در دو بخش شرقی و غربی استان گلستان است. جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از بازدیدهای میدانی و سامانه 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 شبکه بیزین شد. روش استفاده‌شده در شبکه بیزین بر پایه تئوری بیز استوار است. نتایج به‌دست‌آمده از شبکه 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، گزینه دو و در بخش غربی، گزینه 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 شبکه 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.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی آثار محیط زیستی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، شبکه بیزین، عدم قطعیت، کمپوست، نظریه‌های کارشناسی.

۱. مقدمه

تبادل، هماهنگی و نظم بین اجزای طبیعت از ملزومات محیط زیست است. چنانچه این تعادل بر اثر برخی شرایط دچار تغییر شود، آسیب به کلیه اجزا و ساختار موجودات زنده و انسان وارد خواهد شد. از نیم قرن گذشته فعالیت‌های مهم اقتصادی و صنعتی، به کارگیری فناوری پیشرفته همراه با رشد فزاینده جمعیت و نیز هماهنگ نبودن دولت‌های مختلف دنیا در استفاده بهینه از منابع طبیعی موجود موجب برهم خوردن تعادل محیط زیست شده است. در نتیجه، 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 لایه ازن، گرم شدن کره زمین، بالآمدن 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 عمده محیط زیستی جوامع انسانی است. این مشکل در مناطق شهری و پرجمعیت به علت کمبود زمین‌های مناسب برای دفن زباله‌ها سبب شده است که زمین‌های دفن در فواصل دور از شهر قرار گیرد و در نتیجه هزینه عملیات و نگهداری آن‌ها به‌طور چشمگیری افزایش یابد. این محدودیت‌ها موجب شده است که توجه بیشتری به مسئله بازیابی و بازیافت مواد خام معطوف شود. از جمله روش‌های بازیافت مواد جامد شهری می‌توان به تهیه 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 زباله استفاده شده قرار گیرد (Abduli, 2001).

محل‌های دفن زباله شهری را می‌توان در زمره

پروژه‌های عمرانی محسوب کرد که آثار کوتاه‌مدت و بلندمدت محیط زیستی دارد. ارزیابی آثار محیط زیستی به‌منزله یکی از ابزارهای مدیریت محیط زیست، از دهه 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 زباله شهری و محیط‌های پیرامونی آن‌ها، از دیرباز مورد توجه مردم و مسئولان بوده است. در دهه‌های اخیر، به‌ویژه پس از توسعه دانش مدیریت مواد زاید جامد، محل‌های دفن زباله 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 زباله شهری برای اطمینان‌یافتن از رعایت سیاست‌ها و خط‌مشی‌های تعیین‌شده در برنامه‌ها و فعالیت‌های طرح‌ها یا پروژه‌های یادشده در راستای ضوابط، معیارها، قوانین و مقررات محیط زیستی دولتی مطرح شده است. از این‌رو تهیه یک گزارش ارزیابی آثار شامل شناسایی کلیه آثار مهم طرح‌ها یا پروژه‌های پیشنهادی محل‌های دفن زباله شهری است که با ارائه 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، تجربه شخصی و ویژه به مکان و زمان بودن رنج می‌برد. چه‌بسا با استفاده از این روش‌ها دو ارزیاب با ذهنیت و تجربه شخصی مختلف

به سادگی 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 نظریه 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 دریاچه Tuusulanjarvi فنلاند را به کمک استفاده از قضاوت متخصصان در نظریه بیز ارزیابی کردند. در مطالعه اخیر روش شبکه بیزین استفاده شد که روشی سریع و دربرگیرنده نظریه‌های کارشناسی به صورت 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 به دست آمده 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 دریاچه Kanteleenjarvi جنوب فنلاند به دست آوردند. رویکرد دیگری که در ارزیابی آثار با استفاده از روش شبکه 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 رودخانه Hérault فرانسه به کمک شبکه بیزین به اثبات رساند. ارزیابی آثار محیط زیستی توسعه

در خصوص یک طرح توسعه به نتایج متفاوتی دست یابند (Salman Mahini & Momeni, 2008). به همین سبب اهمیت انجام مطالعات ارزیابی آثار با روش‌های نوین دوجندان 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 پیدا کردن علت وقوع مورد نظر است. بدیهی است که پاسخ به چنین سؤالاتی نیز بر مبنای احتمالات قبلی استوار است. به منظور حل چنین مسائلی از نظریه بیز استفاده می‌شود (Rezaei, 1998). در شبکه بیزین، نقاط، بدون پیکان ورودی به منزله 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. در حقیقت هر نقطه یک جدول تعریف شده دارد که تصریح‌کننده احتمال قطعی (پیشین) هر مرحله برای نقاط ورودی و احتمال شرطی برای نقاط میانی است که در نهایت به محاسبه احتمال نقاط خروجی می‌انجامد (Spiegelhalter *et al.*, 1993). الگوریتم محاسباتی مدل شبکه بیزین امکان به‌روز رسانی سریع احتمالات در سایه شواهد در دسترس را توسط انتخاب نقاط ورودی فراهم می‌کند. روش شبکه بیزین بر اساس یک مدل مفهومی با ایجاد یک چارچوب مشخص متشکل از متغیرها و روابط بین آن‌ها می‌تواند در نبود داده‌های ثبت شده یا مدل‌های آزمون شده، 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 نظریه 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 نظریه بیز شرایطی را فراهم می‌کند تا

دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه 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 گزینه پیشنهادی و در بخش غربی، دو گزینه پیشنهادی شده است که در شکل ۱ مکان جغرافیایی آن‌ها نشان داده شده است.

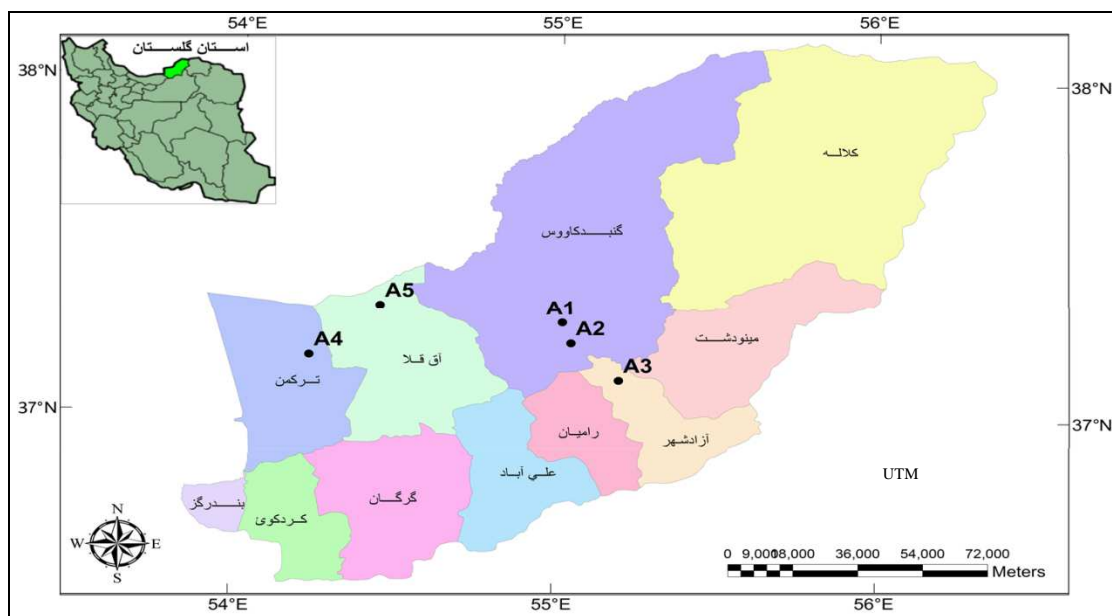
تعیین محدوده مطالعه و نیز حوزه جغرافیایی آثار محیط زیستی یکی از موارد مهم در کاهش هزینه‌ها، شناسایی دقیق پیامدها، جلوگیری از ابهامات و پیچیدگی‌های آتی و سهولت دسترسی به اطلاعات و داده‌های مورد نیاز است (Monavari, 2007). در این مطالعه، یک بافر ۸ کیلومتری در اطراف گزینه‌های مورد نظر به منظور جمع‌آوری اطلاعات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

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

این پژوهش در استان گلستان با هدف انتخاب دو گزینه شرقی و غربی احداث کارخانه 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 مقایسه نتایج بود.

۲. مواد و روش‌ها

مطالعه 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 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷



شکل ۱. A1 تا A5 نشان‌دهنده موقعیت مکانی گزینه‌های پیشنهادی احداث کارخانه کمپوست

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

اولین گام در مدل سازی شبکه بیزین، ترسیم نمودار تأثیر از عوامل علی و معلولی است. در این مطالعه با توجه به مرور منابع و مشاهده مستقیم وضعیت هر گزینه، نمودار تأثیر مدل ارزیابی آثار محیط زیستی احداث کارخانه کمپوست تهیه شد. گام بعدی با تبدیل نمودار تأثیر به شبکه بیزین اولیه در نرم افزار Netica صورت گرفت. در این مرحله برای هر گره (عامل) مجموعه ای از حالتها در نظر گرفته می شود. در پژوهش حاضر، تعیین حالتها برای هر گره براساس مرور منابع، نظرهای کارشناسی یا براساس توزیع فراوانی دادهها انجام گرفت. برای مثال حالت های 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 استخراج شده از نقشه های تهیه شده، به جدول های احتمال شرطی وارد شد. پس از تکمیل جدول های احتمال شرطی و وارد کردن دادهها به صورت دستی در مدل، شبکه بیزین تکمیل شد. بدین ترتیب احتمالات آلودگیها و تبعات محیط زیستی در گره های نهایی برای هر گزینه به دست آمد. آلودگی های ایجاد شده در احداث کارخانه کمپوست و محل دفن زباله های شهری اهمیت و وزن یکسانی ندارد، به همین دلیل با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۲ و وزن دهی زوجی به آلودگیها با استفاده از نظرهای

ابتدا در دو سطح منابع محیطی (بافت خاک، پوشش علفی، فاصله از مناطق حفاظت شده، فاصله از مناطق مسکونی، تراکم پوشش درختی، شیب، کاربری اراضی، طول آبراهه، فاصله از دریاچه، شبکه زهکش، عمق آب های زیرزمینی و فاصله از جاده) و فعالیت های پروژه (زهکشی، استفاده از علف کش، تسطیح زمین، ساخت جاده و حمل و نقل) اطلاعات در سطح گزینه های پیشنهادی با استفاده از مطالعات میدانی و داده های موجود جمع آوری و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی پیاده سازی شد. سپس، آثار نهایی پروژه احداث کارخانه کمپوست (آلودگی خاک، آلودگی صوتی، فرسایش خاک، آلودگی بو، آلودگی دید، بهداشت عمومی، کاهش تنوع زیستی، کاهش پوشش گیاهی، آلودگی آب های سطحی و آلودگی آب های زیرزمینی) با استفاده از اطلاعات به دست آمده، نقشه سازی شد. اطلاعات نقشه های تولید شده، در هر گزینه استخراج شد.

۱.۲. شبکه بیزین^۱

شبکه بیزین مدلی است که به صورت ترسیمی و احتمالاتی، ارتباطات بین متغیرها را نشان می دهد (Cain, 2001; Neopolitan, 2003). اصل یک شبکه بیزین ساختار ترسیمی است که نشان دهنده ارتباط بین متغیرها (Cain, 2001)، تسهیل کننده استفاده از نظرهای کارشناسی (Kuikka et al., 1999) و به کارگیری قانون احتمال بیز (رابطه ۱) برای محاسبات شبکه است. رویکرد بیزین در مقابل نظرهای کارشناسی و داده های تجربی انعطاف پذیر است و از هر دو مورد در صورت فقدان دادهها و اطلاعات در جدول های احتمالاتی استفاده می کند (Heckerman et al., 1994; Kuikka et al., 1999). تئوری بیز براساس رابطه ۱ محاسبه می شود.

$$P(A|B) = P(B|A)P(A) / P(B) \quad (1)$$

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

2. Analytic Hierarchy Process

1. Bayesian Network

صوتی، نقشه تراکم پوشش گیاهی، نقشه درجه زبری زمین و نقشه فاصله از مناطق مسکونی در قالب یک MCE با یکدیگر ترکیب شدند (شکل ۳). الف) نقشه تراکم پوشش گیاهی: در محیط نرم افزار ادریسی با استفاده از تصاویر لندست سال ۲۰۱۰، نقشه تراکم پوشش گیاهی تهیه شد؛ ب) نقشه درجه زبری زمین: در محیط نرم افزار ادریسی با استفاده از دستور Toposhape و نقشه مدل رقومی ارتفاع^۳، نقشه درجه زبری منطقه تهیه شد؛

ج) نقشه فاصله از مناطق مسکونی: با استفاده از دستور Distance در محیط نرم افزار ادریسی از نقشه مناطق مسکونی، نقشه فاصله تهیه شد؛ د) در نهایت با ترکیب نقشه های فوق در قالب یک MCE، نقشه های به دست آمده به منزله معیار معرفی شد.

- فرسایش خاک: به منظور تهیه نقشه فرسایش خاک از معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح شده (RUSLE^۴) استفاده شد (شکل ۴). معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح شده (رابطه ۲)، متوسط سالانه تلفات خاک را به صورت ترکیبی از شش فاکتور تخمین می زند که ساختار آن به صورت زیر است (Renard *et al.*, 1997):

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (2)$$

در رابطه فوق (R) نشان دهنده نیروی فرساینده باران، (K) فرسایش پذیری خاک، (LS) طول و درجه شیب، (C) پوشش گیاهی و (P) عملیات مدیریتی است.

- آلودگی بو: نقشه مدل سازی شده پراکنش بو در نرم افزار Aloha با استفاده از داده های سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شد. ورودی های نرم افزار به منظور بررسی میزان و نوع پراکنش آلودگی بو شامل میزان ماده شیمیایی منتشر شده توسط کارخانه، سرعت و جهت باد غالب، ارتفاع از سطح دریا، میزان رطوبت و دمای هواست. در نهایت مدل

پنج کارشناس، وزن هر یک از آلودگی ها تعیین شد. سپس خروجی شبکه بیزین برای هر یک از آلودگی ها نرمال سازی شد و با ضرب وزن به دست آمده از AHP در آن، گزینه برتر در قسمت شرقی و غربی به طور مجزا انتخاب شد. همچنین در این مطالعه از روش Topsis^۱ به منظور اولویت بندی بین گزینه های مکانی انتخاب برترین گزینه نیز استفاده شد. نرم افزارهای استفاده شده در این پژوهش شامل Arc GIS، Aloha، Idrisi، Netica و 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 پروژه مورد نظر تحت تأثیر فعالیت های انجام شده، قرار می گیرند. با توجه به منابع متعددی که در این زمینه وجود دارد و مطالعه ای که در همین مناطق با سایر روش های ارزیابی آثار صورت گرفته است، فعالیت های تأثیرگذار پروژه احداث کارخانه کمپوست (زهکش خاک، تسطیح زمین، حمل و نقل، استفاده از علف کش و ساخت جاده) بر روی منابع محیطی انتخاب شدند. نتایج نقشه سازی آلودگی های محیط زیستی یا همان آثار نهایی در ادامه می آید.

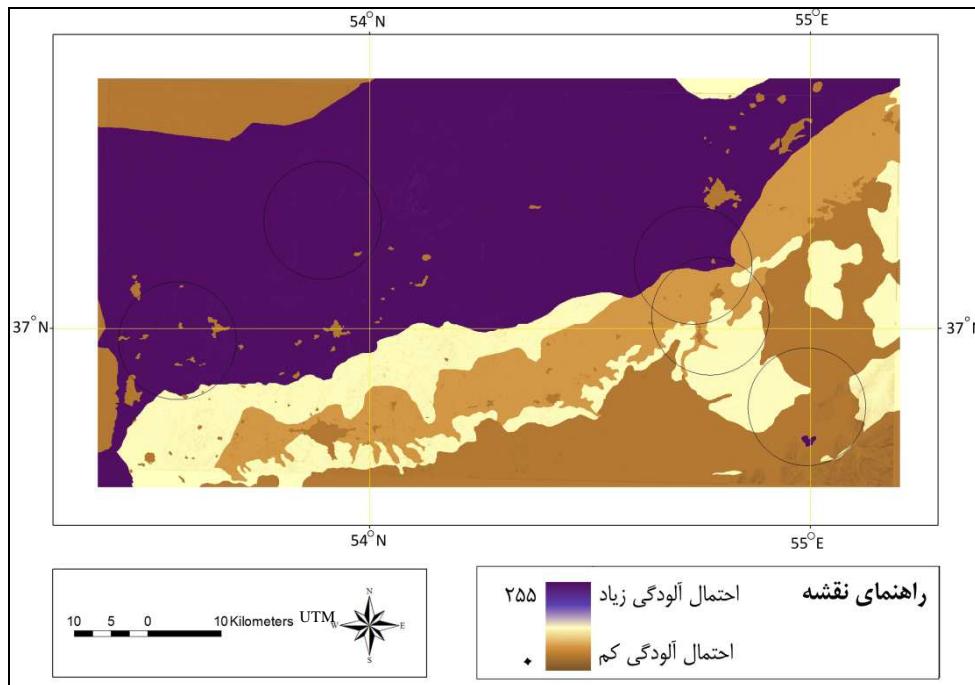
- آلودگی خاک: یکی از علل آلوده شدن خاکها نفوذپذیری زیاد آن هاست. نفوذپذیری خاک وابسته به بافت خاک و شیب منطقه است. به همین دلیل و با توجه به ماهیت پروژه احداث کارخانه و محل دفن زباله با بررسی میزان نفوذپذیری خاک (با تعیین ارتباط بین شیب منطقه و بافت خاک) و استفاده از دستور MCE^۲ در نرم افزار ادریسی، نقشه احتمال آلودگی خاک بر اساس میزان نفوذپذیری تهیه شد (شکل ۲).
- آلودگی صوتی: به منظور تهیه نقشه آلودگی

3. Dem
4. Revised Universal Soil Loss Equation

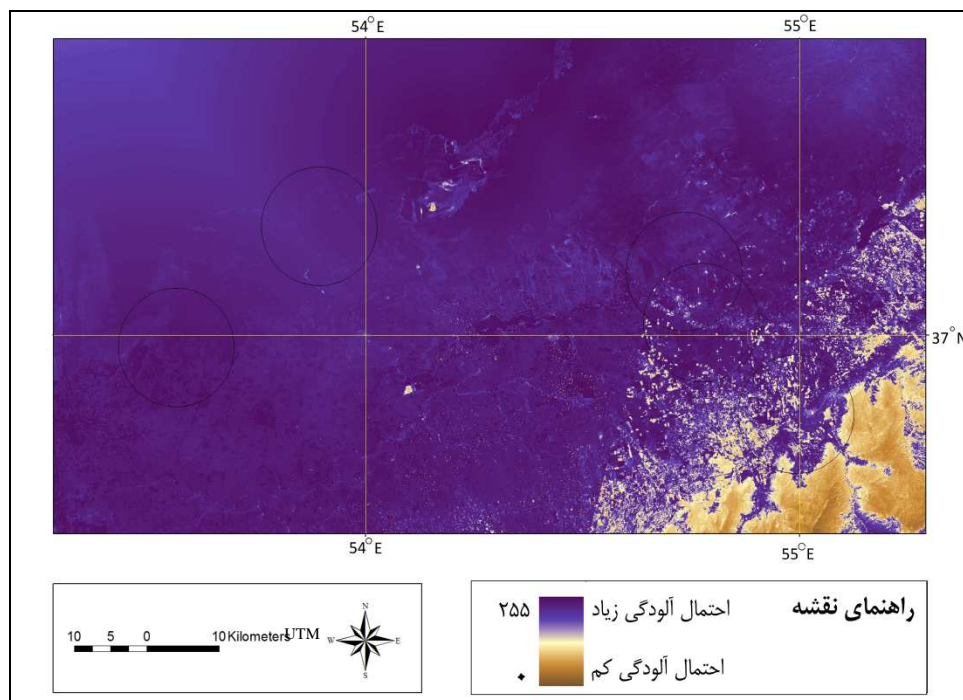
1. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
2. Multi Criteria Evaluation

پارامتر فاصله نقاط مسکونی در قالب MCE، نقشه میزان پراکنش بوی منطقه به دست آمد (شکل ۵).

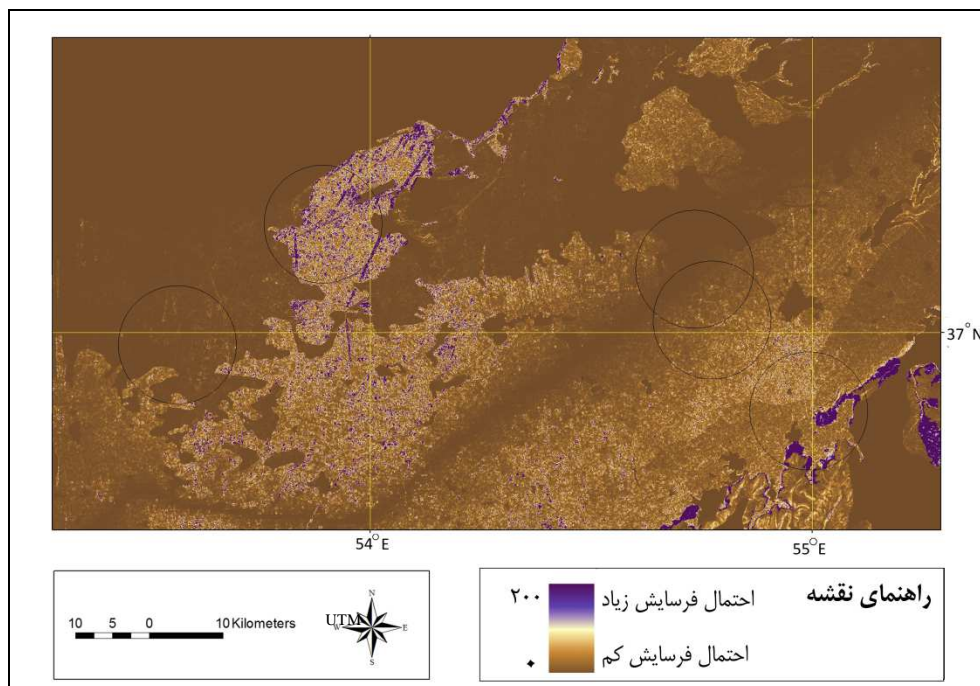
Aloha میزان و نوع پراکنش آلودگی در هوا را تعیین می‌کند. سپس با ترکیب اطلاعات به‌دست‌آمده و



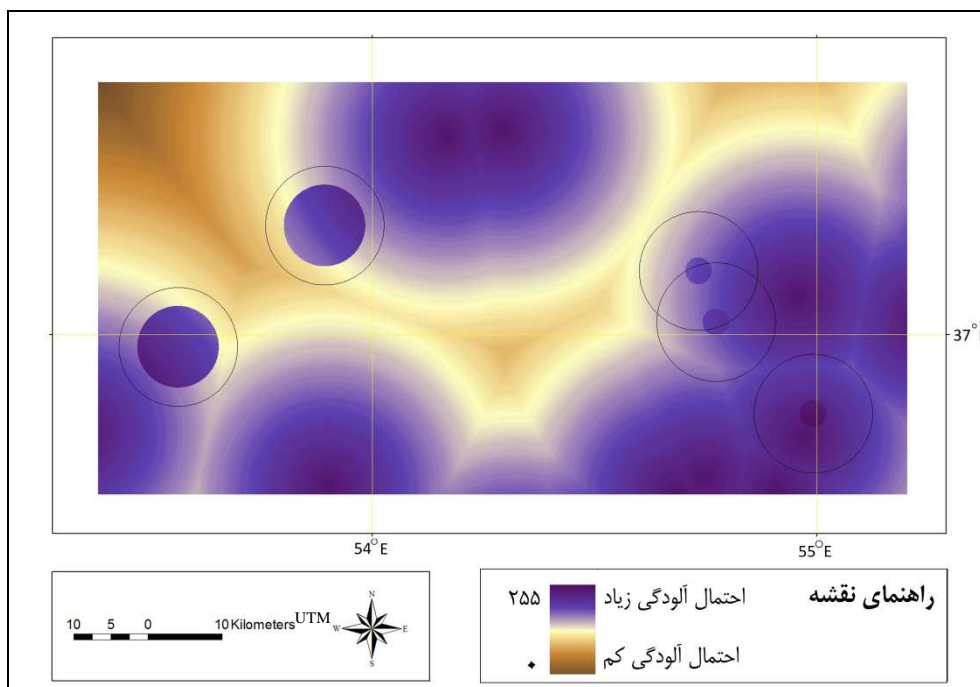
شکل ۲. نقشه احتمال آلودگی خاک در پنج گزینه پیشنهادی



شکل ۳. نقشه احتمال آلودگی صوتی در پنج گزینه پیشنهادی



شکل ۴. نقشه احتمال فرسایش پذیری خاک در پنج گزینه پیشنهادی



شکل ۵. نقشه احتمال آلودگی بو در پنج گزینه پیشنهادی

۱۰۰ سکنه) و نقشه DEM^۱ در نرم افزار Idrisi

- آلودگی دید: با استفاده از نقشه نقاط مسکونی (حدود ۵۱ شهر و روستای دارای بیش از

1. Digital Elevation Model

شد (شکل ۹).

- آلودگی آب‌های زیرزمینی: نقشه احتمال آلوده شدن آب‌های زیرزمینی براساس دو عامل، سطح آب زیرزمینی و میزان نفوذپذیری خاک تعیین می‌شود (شکل ۱۰).

با توجه به روابط علی و معلولی بین منابع محیطی، فعالیت‌های پروژه و آلودگی‌های محیط زیستی، شبکه بیزین به صورت شکل ۱۱ به دست آمد و حالت‌های هر گره یا متغیر در شکل نشان داده شد.

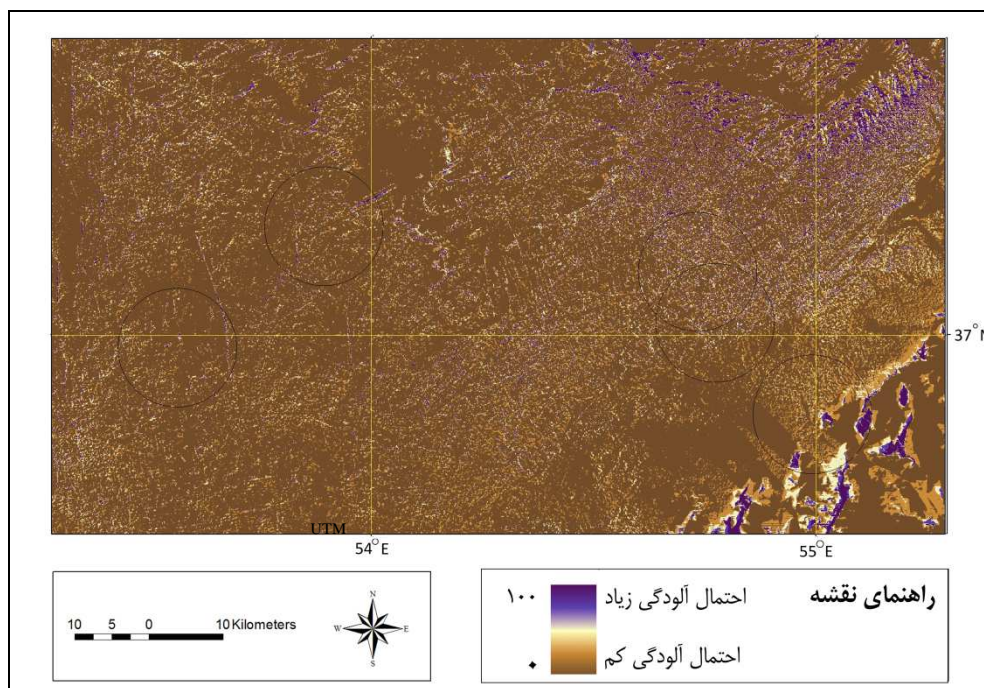
اطلاعاتی که از نقشه‌های یادشده استخراج شد، پس از تهیه به داخل جدول‌های شرطی انتقال می‌یابد و در شبکه هر یک از گزینه‌ها درصد احتمال آثار ظاهر می‌شود. همان گونه که گفته شد، به علت یکسان نبودن اثر هر یک از آلودگی‌ها، وزن‌دهی صورت گرفت. نتایج نهایی وزن‌دهی آلودگی‌های محیط زیستی به روش AHP در جدول ۱ نشان داده شده است.

نقشه میزان میدان دید منطقه تهیه شد (شکل ۶).
- بهداشت عمومی: برای کمی‌سازی این پارامتر فاصله از مناطقی که انسان حضور دارد، در نظر گرفته شد.

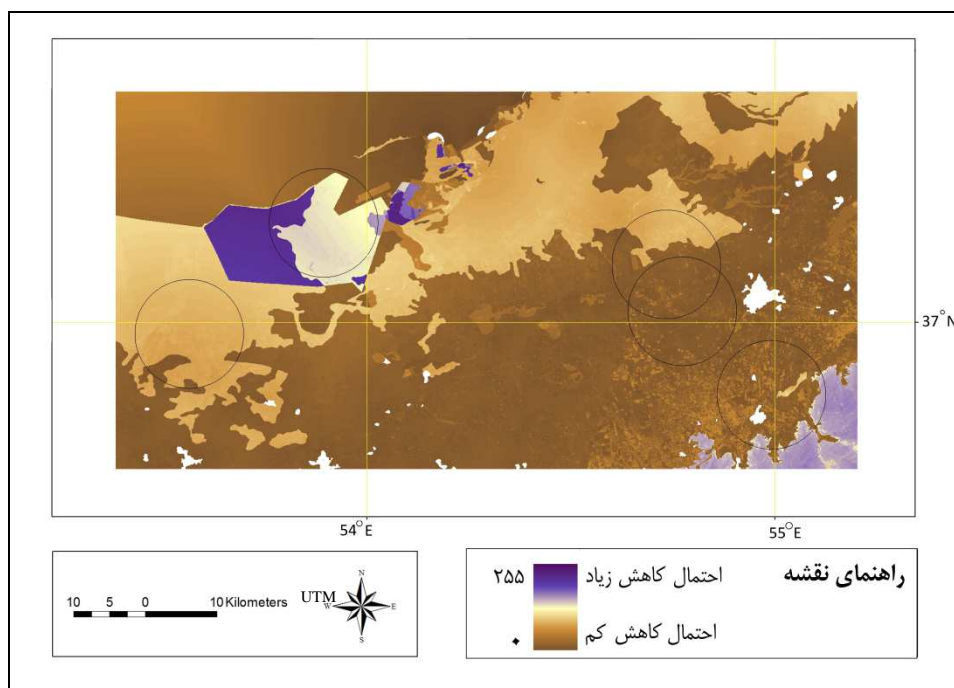
- کاهش تنوع زیستی: تنوع زیستی رابطه مستقیمی با کاربری‌های مختلف در سطح زمین دارد. همچنین، وجود مناطق با پوشش گیاهی بالا در افزایش تنوع زیستی مؤثر است. به این منظور لایه پوشش گیاهی، مناطق مسکونی (دارای محدودیت برای احداث کارخانه کمپوست) و کاربری زمین استفاده شد (شکل ۷).

- کاهش پوشش گیاهی: برای نشان دادن آثار منفی پروژه بر روی پوشش گیاهی منطقه از نقشه تراکم پوشش گیاهی تهیه شده از تصاویر Landsat سال ۲۰۱۰، استفاده شد (شکل ۸).

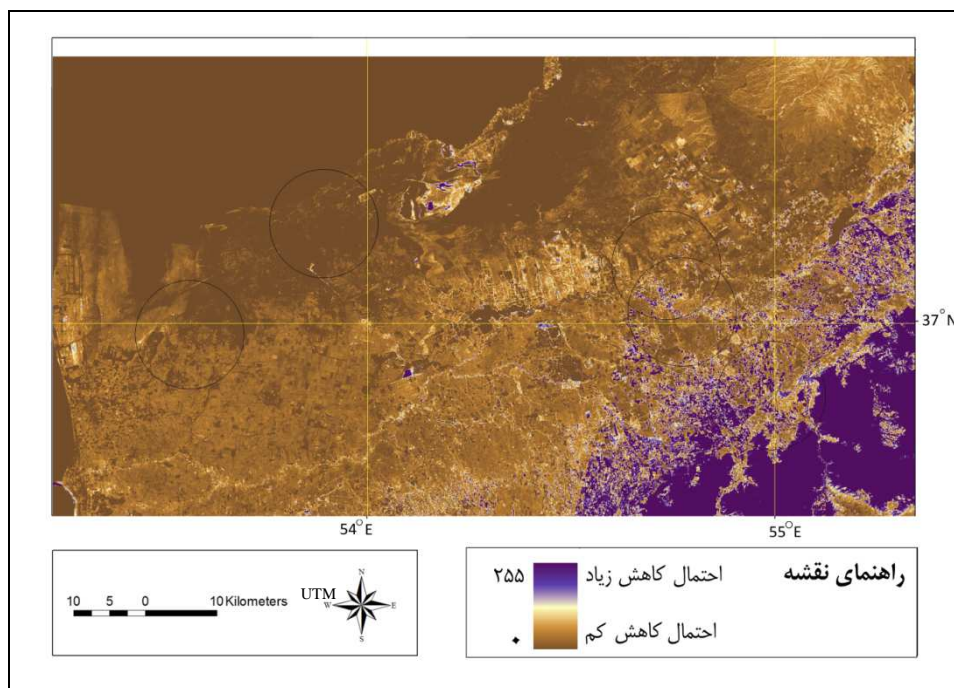
- آلودگی آب‌های سطحی: با استفاده از میزان فاصله از دریاچه، طول آبراهه‌ها در محدوده مورد نظر و تهیه نقشه درصد شبکه زهکش در هر یک از گزینه‌ها، احتمال آلوده شدن آب‌های سطحی در صورت اجرای پروژه در قالب یک MCE ارزیابی



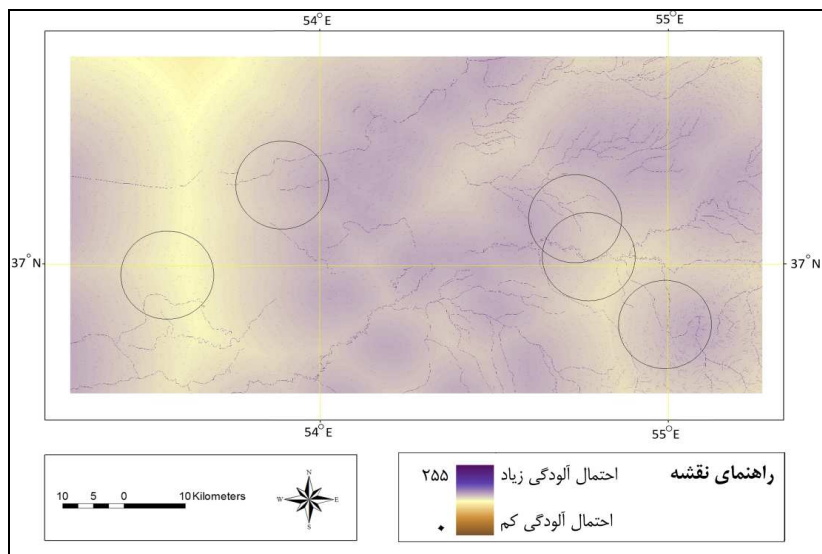
شکل ۶. نقشه احتمال آلودگی دید در پنج گزینه پیشنهادی



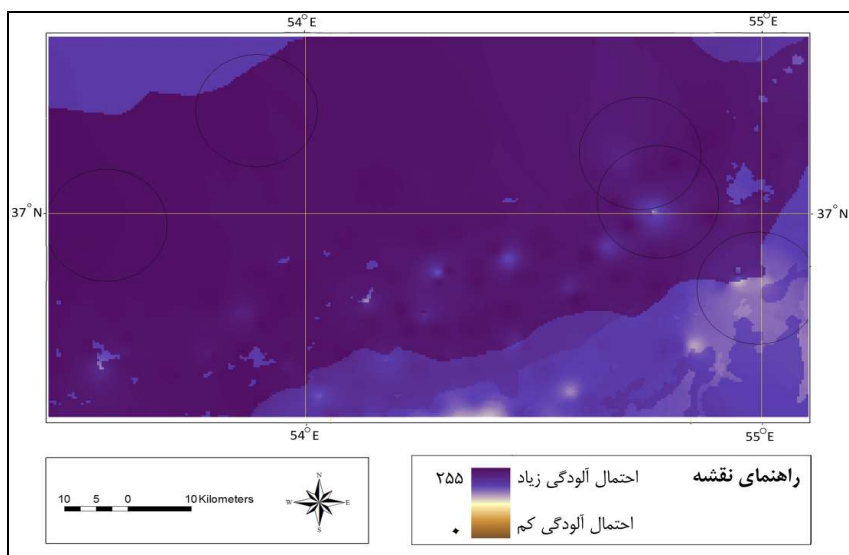
شکل ۷. نقشه احتمال کاهش تنوع زیستی در پنج گزینه پیشنهادی



شکل ۸. نقشه احتمال کاهش پوشش گیاهی در پنج گزینه پیشنهادی



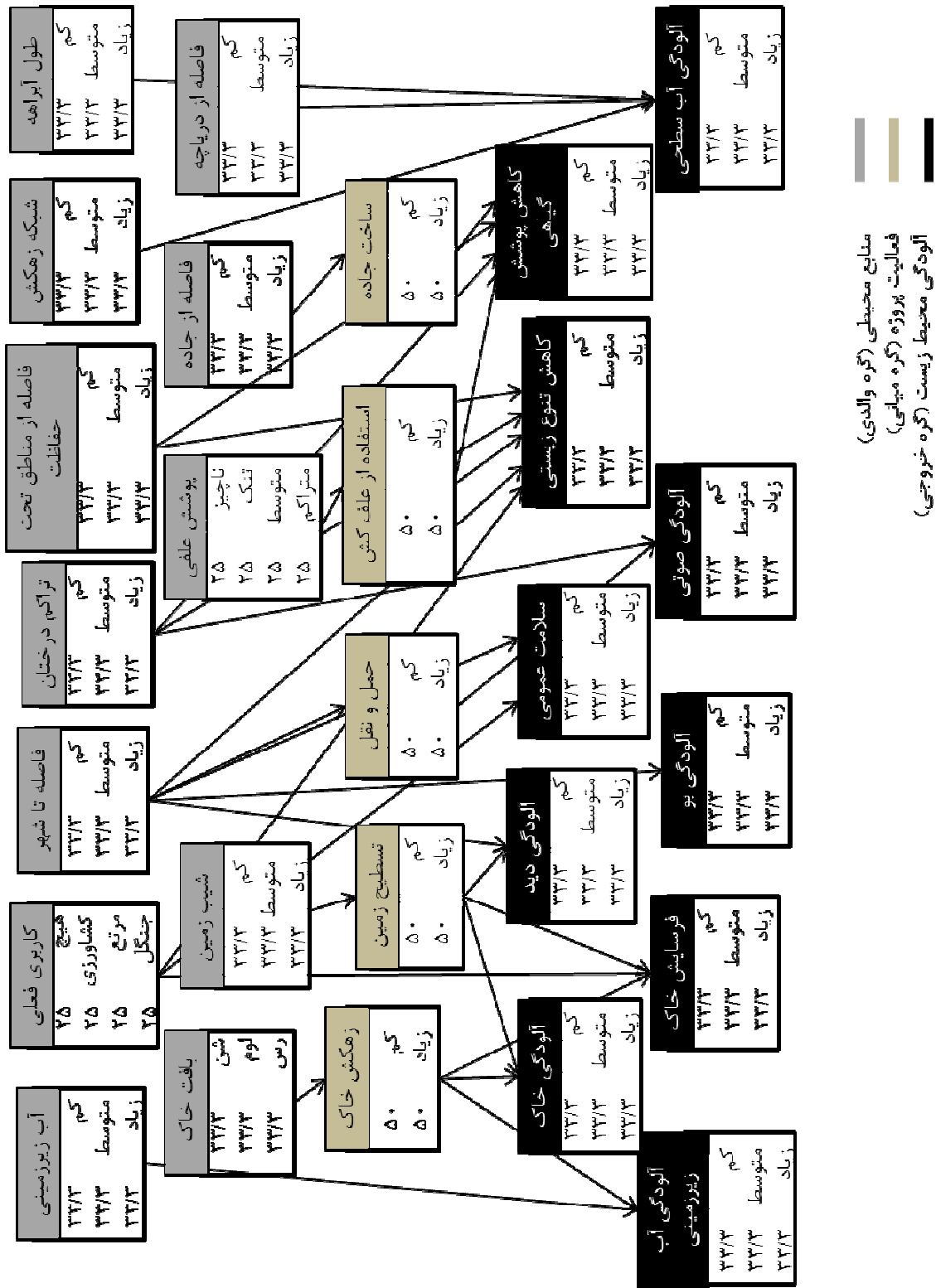
شکل ۹. نقشه احتمال آلودگی آب سطحی در پنج گزینه پیشنهادی



شکل ۱۰. نقشه احتمال آلودگی آب زیرزمینی در پنج گزینه پیشنهادی

جدول ۱. مقادیر وزن‌های به‌دست‌آمده به روش AHP

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



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

شده باشد. Salman Mahini و Momeni (2008)، با استفاده از روش ماتریس ارزیابی سریع (RIAM)^۱ به ارزیابی مجدد مناطق پیشنهادی دفن زباله و استقرار صنایع کمپوست در استان گلستان مبادرت ورزیدند. در این روش کلیه عوامل محیط زیستی و اجتماعی بررسی شده 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 منطقه ۳ و برای بخش غربی استان منطقه ۴ پیشنهاد شد، اما در مطالعه یادشده با روش سیستماتیک RIAM و با استفاده از همان عوامل و اطلاعات ارزیابی قبلی، برای بخش شرقی منطقه ۱ و برای بخش غربی همان منطقه ۴ پیشنهاد شد. Sarabi و همکاران (2010) ارزیابی آثار محیط زیستی گزینه‌های پیشنهادی احداث کارخانه کمپوست و محل دفن زباله شهری در استان گلستان را با استفاده از ماتریس‌های ریاضی به روش فازی انجام داد. در این مطالعه سه گزینه مکانی به محوریت شرقی و دو گزینه 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، گزینه یک و در بخش غربی، گزینه چهار بود. نتایج حاصل از فازی‌سازی ماتریس ریاضی بدون دخالت فاکتور جبران در بخش شرقی، گزینه سه و در بخش غربی، گزینه چهار انتخاب شد. نتایج حاصل از فازی‌سازی ماتریس ریاضی با دخیل کردن فاکتور جبران در بخش شرقی، گزینه دو و در بخش غربی، گزینه چهار انتخاب شد. در نهایت در این مطالعه ماتریس ریاضی فازی‌سازی شده به همراه فاکتور جبران نتایج بهتری را ارائه کرد.

سپس به‌منظور انتخاب برترین گزینه در بخش شرقی و غربی استان گلستان وزن هر یک از آلودگی‌ها در نتایج نهایی و نرمال شده ضرب شد. نتایج این بخش بیانگر آن است که در بخش شرقی استان گلستان، گزینه دو به‌منزله برترین گزینه پیشنهادی و در بخش غربی استان، گزینه چهار به‌منزله برترین گزینه در ارزیابی آثار به روش شبکه بیزین است (جدول ۲).

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 گزینه دو و در بخش غربی گزینه چهار را انتخاب کرد (جدول ۳).

جدول ۲. اولویت‌بندی گزینه‌های احداث کارخانه کمپوست در استان گلستان با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره وزنی ساده

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

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

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

۴. بحث و نتیجه‌گیری

یکی از اهداف این پژوهش بررسی کارایی روش شبکه 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

ورود متغیرهای جبرانی وجود دارد.

لازم به یادآوری است که به علت نزدیکی گزینه پنج به تالاب‌های آلاگل، آلماگل و صوفی کم، در تمامی روش‌های بررسی شده گزینه چهار در بخش غربی انتخاب شده است.

وسعت شبکه بیزین باید به طور دقیق و محتاطانه مورد توجه قرار گیرد. در فرایند تعیین پارامترهای جدول احتمالات شرطی در مدل‌سازی بیزین به منظور اجتناب از تأکید بیش از حد بر روی نظرهای کارشناسی نامطمئن باید توجه خاص صورت گیرد. نقاط یا متغیرها در شبکه بیزین باید قابل مشاهده، قابل سنجش و در صورت لزوم قابل دفاع باشد. ساختار مدل بر روی نتایج تحلیل حساسیت می‌تواند تأثیرگذار باشد. در نتیجه 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 اقتصادی-اجتماعی است. یک برنامه موفق برای ارزیابی آثار نیازمند توجه به واکنش‌های پیچیده میان اجزاست. تخصیص زیرمجموعه‌های مختلف در زیرمدل‌های شبکه بیزین کاربر را برای ارزیابی آثار متقابل مختلف توانا می‌سازد.

در صورت تغییر میزان برخی از فعالیت‌های پروژه، امکان به روز رسانی سریع اطلاعات در شبکه و به کارگیری بهترین تصمیم در شرایط جدید امکان پذیر است. روش شبکه بیزین به سادگی 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 شبکه بیزین در پروژه‌های ارزیابی آثار توسعه در ایران گامی مهم و موثر در راستای به کارگیری از نظرهای کارشناسان است.

به همین دلیل ارزیابی آثار احداث کارخانه کمپوست و محل دفن زباله شهری در استان گلستان انتخاب شد. با توجه به هدف یادشده مطالعه حاضر اطلاعات ورودی را هم‌تراز با اطلاعات مطالعات قبلی در نظر گرفت که قطعاً تغییر در اطلاعات و حتی روش تهیه نقشه‌ها و مدل‌سازی پارامترها ممکن است سبب تغییر در نتایج به دست آمده باشد. در تعیین محدوده مطالعاتی نیز از محدوده مطالعات قبلی پیروی شد. نتایج ارزیابی به روش سنتی ارزیابی آثار که توسط استانداری استان گلستان انجام شده است، در بخش شرقی، گزینه سه و در بخش غربی، گزینه چهار بیان شده است. مطالعه 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 مطالعه همکاران (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 فازی-ماتریس ریاضی با دخیل کردن فاکتور جبران را تأیید کرد. در بخش غربی تمامی روش‌ها به نتایج یکسانی دست یافتند.

در اغلب مطالعات انجام شده نتایج به دست آمده در بخش شرقی متفاوت است و تنها با روش فازی-ماتریس ریاضی با دخیل کردن فاکتور جبران همخوانی دارد. لازم به یادآوری است، در مطالعه Sarabi و همکاران (2010) نتیجه به دست آمده بیانگر آن است که روش ماتریس ریاضی فازی-سازی شده با دخیل کردن فاکتور جبران نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. در نتیجه با توجه به موارد یادشده، روش شبکه بیزین به نتایجی همسان با روش ماتریس ریاضی فازی شده با فاکتور جبران دست یافت. با اینکه در مطالعه 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 شبکه بیزین امکان

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 matrices 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.