محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٢، شمارهٔ ٤، زمستان ١٣٩٥، صفحهٔ ٨٢٢-٨٠٥

مدل سازی مناطق مستعد آلودگی نفتی در سواحل شهرستان بندرعباس با استفاده از مدل‌های ELECTRE-I و AHP

رسول مهدوی[1]*، محمد قاسمی[2]، مسعود بختیاری‌کیا[3]، ماریا محمدی‌زاده[4]

١ . استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

٢. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان

٣. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه هرمزگان

٤. استادیار، گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بندرعباس

تاریخ وصول مقاله: ١٣٩٥/٠٢/١٥ تاریخ پذیرش مقاله: ١٣٩٥/٨/٣٠

چکیده

محیط‌زیست ساحلی سیستم تکامل‌یافتهٔ طبیعی و دربرگیرندهٔ پیچیده‌ترین و غنی‌ترین اکوسیستم‌های مولد روی کرهٔ زمین است. این منطقه، ناحیه‌ای انتقالی و آسیب‌پذیر و آخرین پذیرندهٔ آلاینده‌های خشکی و دریاست و در معرض تجمع آلاینده‌ها و تهدیدات بالقوه آن قراردارد. در میان انواع آلوده‌کننده‌ها، نفت و انواع مختلف هیدروکربن‌های نفتی بین‌المللی از نظر سیاسی، اقتصادی و علمی اهمیت خاصی دارد. از آنجا که میزان حساسیت مناطق مختلف نوار ساحلی شهرستان بندرعباس به آلودگی‌های نفتی مشخص نیست، امکان برنامه‌ریزی برای محافظت از سواحل و اولویت‌بندی در این زمینه وجود ندارد. پردازش‌ها و تجزیه‌وتحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS را می‌توان به‌منزلهٔ فرایندی در نظر گرفت که داده‌های مکانی (نقشه‌ها) و مقادیر ارزیابی‌ها (اولویت‌ها و معیارهای تحلیلگران) را با هم ترکیب می‌کند. در این تحقیق ضمن شناسایی عوامل مؤثر بر تولید، انتشار و تجمع آلاینده‌های نفتی، معیارها در سه دستهٔ کلی معیارهای مربوط به فیزیک ساحل، معیارهای بیولوژیکی و معیارهای انسانی قرارگرفت. معیارهای بیولوژیکی با وزن ٠/٣۶٩ بیشترین وزن و معیارهای منابع انسانی و فیزیک ساحل به‌ترتیب با وزن ٠/٣٣۵ و ٠/٢٩٧ در اهمیت‌های بعدی بود. در مرحلهٔ بعد مدل‌های الکترهٔ I و AHP در تعیین مکان‌های حساس در برابر آلودگی نفتی بررسی شد. نتایج حاصل از شاخص‌های عددی نشان می‌دهد مناطقی در اطراف بندر شهید رجایی، اسکلهٔ شهید باهنر و قسمت‌هایی از سواحل شهر بندرعباس، حساسیت خیلی زیاد در برابر آلودگی نفتی دارد. همچنین، مناطق شرقی سواحل شهرستان بندرعباس که عمدتاً مناطق حفاظت‌شدهٔ حراست حساسیت‌های متوسط تا زیاد دارد. ایجاد سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری، تجهیز اسکله‌ها، پایانه‌های بارگیری و سکوهای ثابت و شناور به تجهیزات مورد نیاز آمادگی و مقابله با سوانح آلودگی نفتی، به‌خصوص در مناطق با حساسیت بیشتر، امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

کلیدواژه

آلودگی نفتی، تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، حساسیت سواحل، AHP، ELECTRE-I.

١. سرآغاز

کرانه‌های خلیج فارس ساحل نفتی- گازی، شیلاتی، تجاری و سکونتی محسوب می‌شود. در طول کرانه‌های خلیج فارس نقش ارتباطات و حمل‌ونقل دریایی ناشی از تجارت ملی و بین‌المللی، قانونی و غیرقانونی، فعالیت‌های ناشی از نفت و گاز و ماهی‌گیری و شیلات سه رویکرد اصلی

* نویسنده مسئول: Email: ra_mahdavi2000@yahoo.com

اقتصادی در این نوار ساحلی است. سواحل از مهم‌ترین مناطقی در جهان است که انسان در آن ساکن شده است و از منابع آن به‌شدت استفاده می‌کند. مناطق حساس ساحلی[1] نواحی واجد منابع حساس ساحلی- دریایی و یا وابسته به دریاست و این حساسیت به واسطهٔ تنوع زیستی؛ غنای جانداران؛ وجود گونه‌های در معرض خطر، آسیب‌پذیر و کمیاب؛ واقع‌شدن اجتماعات حیاتی در آستانهٔ تحمل اکولوژیکی[2]، حساسیت به آلاینده‌ها، کندی ترمیم محیط‌زیستی، آسیب‌های واردشده و مشکلات ناشی از پاکسازی از محیط آلاینده‌های محیطی ایجاد می‌شود (داور، ۱۳۸۶).

از آنجا که بیش از ۳۰ درصد کل مرزهای کشور را مرزهای ساحلی تشکیل می‌دهد (عظیمی، ۱۳۸۴)، شناسایی مناطق حساس دریایی سواحل ایران با هدف ساماندهی مناطق ساحلی و جلوگیری از تخریب آن و نیز جلوگیری از کاهش منابع طبیعی و تنوع زیستی در این مناطق حساس و پرارزش اهمیت بالایی دارد. لذا، اولین قدم برای کنترل و پاکسازی دقیق و سریع در هنگام آلودگی ناگهانی نفت، تعیین درجهٔ حساسیت مناطق ساحلی به آلودگی‌ها برای مدیریت بحران و به‌حداقل رساندن آسیب‌هاست که لازم است این مرحله با دقت و با استفاده از ابزارها و روش‌های مناسب صورت پذیرد. با به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ مکانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان نقش و اهمیت معیارهای گوناگون را لحاظ کرد. همچنین، سناریوهای متعددی را برای حساسیت مناطق ساحلی به آلودگی نفتی در نظر گرفت. این امر در اتخاذ تصمیم‌های صحیح مدیران و برنامه‌ریزان نقش مهمی دارد. این تحقیق با توجه به اهمیت مناطق ساحلی جنوب ایران از نظر اقتصادی، همین‌طور حفظ اکوسیستم سواحل خلیج فارس برنامه‌ریزی شده است. در این راستا مدل‌های ELECTRE-I و AHP به‌کار گرفته شده است.

مطالعات متعددی در زمینهٔ آلودگی سواحل انجام گرفته است که در ادامه برخی از آن‌ها ذکر می‌شود. سپهر و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی حساسیت محیط‌زیستی نوار ساحلی شهرستان تنکابن، پارامترهای فیزیک ساحل، منابع زیستی و منابع مورد کاربری انسان را در سواحل و زیستگاه‌های ساحلی در سه سطح حساسیت پایین، حساسیت متوسط و حساسیت بالا تعیین حساسیت کردند. وفایی و همکاران (۱۳۹۰) با ترکیب تکنیک‌های ارزیابی چندمعیاره و منطق فازی در محیط GIS، برای اولویت‌بندی حساسیت محیط‌زیستی به آلودگی در مناطق ساحلی استان مازندران مدل سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری را ارائه کردند. به‌منظور ایجاد مدل، نخست بر اساس نظرات کارشناسی، معیارهای مؤثر شناسایی و با جمع‌آوری داده‌ها و پردازش نقشه‌های اولیهٔ معیارها، نوار ساحلی بر اساس معیارهای انسانی، اکولوژیکی، هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی به‌فواصل مناسب تقسیم و لایهٔ اطلاعاتی مورد نظر تهیه شد. سپس، لایه‌های پردازش‌شده با به‌کارگیری روش‌های AHP و AHP فازی وزن‌دهی شد. در مرحلهٔ بعد با به‌کارگیری مدل‌های فازی، تلفیق لایه‌ها در GIS انجام می‌شود. در نهایت، نیز درجهٔ حساسیت هر منطقه به آلودگی نفتی مشخص و نقشهٔ کلی حساسیت تهیه شد. نتایج نشان داد که بیشتر مناطق ساحلی مازندران دارای حساسیت متوسط و مناطق نزدیک به بندر نوشهر و بندر فریدون‌کنار دارای حساسیت خیلی زیاد نسبت به آلودگی نفتی است.

دانه‌کار و شریفی‌پور (۱۳۸۴) حساسیت فیزیکی نوار ساحلی استان بوشهر نسبت به آلودگی نفتی را بر اساس شاخص حساسیت محیطی[3] بررسی کردند. در این مطالعه از داده‌های مربوط به سال ۲۰۰۴ سنجندهٔ پانکروماتیک[4] ماهوارهٔ IRS با قدرت تفکیک ۵/۸ متر، همچنین اطلاعات ماهوارهٔ لندست (ETM^+) با قدرت تفکیک ۳۰ متر استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد حدود ۹۹/۳ درصد از مساحت سواحل استان، در صورت بروز آلودگی نفتی، مواد سمی را در خود نگه می‌دارد و به‌راحتی پاک نمی‌شود. خدابخشی و جعفری (۱۳۸۹) طی بررسی کاربرد مدل

دسته‌بندی چندمعیارهٔ ELECTRE در تعیین آثار محیط‌زیستی نتیجه گرفتند که خروجی مدل ELECTRE تا حد زیادی با نتایج پیش‌بینی‌شده در ارزیابی طرح آثار محیط‌زیستی مطابقت دارد. دانه‌کار و بذل‌راد (۱۳۸۸) در تحقیق دیگری به‌منظور مدیریت بهتر سواحل استان هرمزگان، حساسیت محیط‌زیستی ناهمواری‌های ساحلی این استان را ارزیابی کردند. در این تحقیق به ارتباط بین ناهمواری‌های ساحلی، جنس سواحل و موجودات زنده پرداخته شد. به‌همین منظور، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و باتوجه به انواع طبقه‌های لندفرم ساحلی، لندفرم‌ها شناسایی اولیه شد. سپس، با بازدیدها و تجزیه‌وتحلیل‌های نهایی، لندفرم‌های ساحلی و جنس سواحل تعیین شد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق حاکی از آن است که در سواحل هرمزگان از غرب به شرق حساسیت محیط‌زیستی ناهمواری ساحلی کمتر می‌شود. بر این اساس، مناطقی که در آن اندازهٔ ذرات ریزتر است، همچنین امواج‌های طغیانی کمتری به‌وقوع می‌پیوندد، امکان به‌تله‌افتادن آلودگی بیشتر می‌شود و آن منطقه به آلودگی حساس‌تر است.

در تحقیق دیگری، نقشه‌های حساسیت محیطی به آلودگی نفتی در جزیرهٔ کاردوسوی ایالت سائوپالوی برزیل بررسی شد. اطلاعات مربوط به پارامترهای فیزیکی سواحل (سواحل صخره‌ای، ماسه‌ای، شیب بستر، جنس بستر و جزآن)، بیولوژیکی (گونه‌های مهم بیولوژیکی،گونه‌های آسیب‌پذیر و جزآن) و منابع آسیب‌پذیر اقتصادی- اجتماعی (مناطق ماهی‌گیری، مکان‌های توریستی، مکان‌های تجاری و جزآن) از منابع موجود جمع‌آوری و با کمک نرم‌افزار ArcGis9.1 نقشه‌های حساسیت این پارامترها به آلودگی نفتی تولید شد (Wieczorek et al., 2007). در تحقیق دیگری، آسیب‌پذیری سواحل آمازون در کشور برزیل به آلودگی نفتی بررسی شد. در این تحقیق، شاخص‌های فیزیکی و اجتماعی- اقتصادی برای این منظور در نظر گرفته شد. سپس، بر اساس روابط بین پارامترهای ذکرشده و با استفاده از نرم‌افزار GIS نقشه‌های مربوط به آسیب‌پذیری به‌دست آمد. سرانجام از این نقشه‌ها در اولویت‌بندی حساسیت مناطق ساحلی هنگام آلودگی نفتی استفاده شد (Andrade et al., 2010).

در بررسی سواحل غربی گرینلند برای تعیین مناطق حساس ساحلی نسبت به آلودگی‌های نفتی، نخست ساحل منطقهٔ مورد نظر بر اساس معیارهای انسانی، بیولوژیکی و فیزیکی تقسیم‌بندی شد. سپس ،هر کدام از معیارها با توجه به اهمیتشان وزن‌دهی و نقشه‌های آن با نرم‌افزار GIS تولید و پس از تلفیق تمامی نقشه‌ها، نقشهٔ کلی حساسیت منطقهٔ مورد نظر به ریزش‌های نفتی بر اساس اولویت حساسیت به ریزش نفتی تولید شد (Mosbech et al., 2000). ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از آلودگی‌های نفتی در سواحل Cantabria خلیج بیسکا (واقع در شمال اسپانیا) بر اساس شاخص‌های فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی نشان داد نخست، نواحی ساحلی بر اساس سواحل با جنس یکسان که در یک بخش قرارمی‌گیرند، به بخش‌هایی به طول ۲۰۰ متر تقسیم شد. سپس داده‌های فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی مربوط به هر بخش جمع‌آوری و بر اساس این داده‌ها سه شاخص متوسط فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی برای هر بخش تعریف و در ارزیابی آسیب‌پذیری منطقهٔ ساحلی، مقدار هر کدام از این شاخص‌ها محاسبه شد. در نهایت، نتایج به‌دست آمده از مرحلهٔ قبل با سه روش مختلف (بدترین حالت، میانگین و تلفیق سه شاخص) همراه با امتیازات آسیب‌پذیری مبتنی بر نقشه‌های ESI، با یکدیگر مقایسه شد و دقیق‌ترین روش ارائه شده است (Castanedo et al., 2009).

مدل الکتره در اواخر دههٔ ۱۹۸۰مطرح شد و یکی از بهترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است. اساس این مدل بر مبنای روابط غیررتبه‌ای است؛ یعنی، لزوماً به رتبه‌بندی تمام گزینه‌ها منتهی نمی‌شود، بلکه ممکن است گزینه‌هایی نیز حذف شود که در تصمیم‌گیری ارزش کمتری دارند (Yu, 1992). تمامی مراحل اجرای این روش

بر مبنای مجموعه‌ای هماهنگ و مجموعه‌ای ناهماهنگ پایه‌ریزی می‌شود که به‌این دلیل این روش معروف به آنالیز هماهنگی است. برای پیاده‌سازی این مدل در حالت تصویری و مکانی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد.

در مدل AHP، از مقایسهٔ بین معیارها به‌صورت دوتایی استفاده شده است و وزن‌های مربوط به هر معیار و زیرمعیارها به‌صورت نسبتی را به‌عنوان خروجی ایجاد می‌کند. در این روش، پس از ایجاد سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری به مقایسهٔ مؤلفه‌های هر سطح در قالب ماتریس پرداخته می‌شود. این کار از سطوح بالا به سطوح پایین است. این مدل در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.1 اجرا شد.

دلیل استفاده از دو مدل مذکور به‌صورت هم‌زمان این است که از طرفی نتایج دو مدل با هم قابل‌قیاس است، از طرف دیگر با مشخص‌شدن مناطق مشترک کلاس حساسیت به آلودگی نفتی در هر دو مدل دقت انجام کار نیز بیشتر و خروجی‌ها به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر می‌شود که همواره تحت تأثیر عوامل متغیر محیطی- انسانی است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. محدوده و قلمرو مورد پژوهش

شهرستان بندرعباس در شمال تنگهٔ هرمز قراردارد. وسعت آن۲۷۳۱۶ کیلومترمربع است. این شهرستان از سمت شمال به شهرستان حاجی‌آباد و از سمت شرق به شهرستان‌های میناب و رودان، از غرب به شهرستان بندر لنگه و از جنوب به خلیج فارس و جزیرهٔ قشم محدود است. بندرعباس اکنون بزرگ‌ترین بندر ایران است. درصد بسیار بالایی از ترانزیت کالا از طریق بنادر شهید رجایی و باهنر صورت می‌گیرد.

منطقهٔ مورد مطالعه در این تحقیق، سواحل شهرستان بندرعباس با ۱۴۰ کیلومتر طول خط ساحل با آب‌های شمالی خلیج فارس است. محدودهٔ مورد مطالعه با توجه به آخرین یافته‌های طرح مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی (ICZM)[5] تعیین شد که در سند سامان‌دهی سواحل کشور نیز تأیید شده است (طرح مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی کشور، ۱۳۸۵).

به‌دلیل شکنندگی و آسیب‌پذیری بالای منطقهٔ ساحلی مجاور با دریا از یک‌طرف، اکثر مخاطرات محیطی، انسانی (اجتماعی- اقتصادی) در ناحیهٔ تلاقی دریا با خشکی ایجاد می‌شود؛ از طرف دیگر، بیشتر آلودگی‌های نفتی (با منشأ دریایی یا خشکی) به‌دلیل ماهیت شناوربودن، احتمال تجمع آن در این منطقه بیشتر خواهد بود و این منطقه در معرض حساسیت بیشتری در برابر آلودگی‌های نفتی است. بر این اساس، منطقهٔ مورد مطالعه دربرگیرندهٔ بخشی از کرانه است که مرز جبههٔ خشکی آن (منتهی‌الیه پس‌کرانه) بر اساس بیشترین میزان پیش‌روی آب دریا در خشکی و بر اساس خط داغ آب تعیین می‌شود. این خط آن بخش از خشکی مجاور دریاست که در شرایط توفانی و امواج دریا تحت تأثیر مستقیم آب دریا قرارمی‌گیرد. بنابراین، دربرگیرندهٔ بخش‌های تحکیم‌نیافتهٔ کرانه است. محل استقرار تل‌ماسه‌ها و پوشش گیاهی خشکی یکی از نشانه‌های آن است. در واقع، این مرز خطی روی خشکی است که آب دریا در اثر شرایط توفانی یعنی خیزآب ناشی از باد[6]، خیزآب ناشی از موج[7]، خیزآب ناشی از تغییرات فشار و بالاروی موج[8] نسبت به تراز بالایی مد[9] به این منطقه می‌رسد. مرز دریایی منطقهٔ مورد مطالعاتی نیز با توجه به مطالعات یاد شده بر اساس موقعیت فعلی آب است که از متوسط میزان مقادیر جذر و مد حاصل شد و منطبق بر ناحیهٔ رسوب‌گذاری موازی با ساحل تعیین شده است. بنابراین، محدودهٔ وزن‌گذاری در ارزیابی حساسیت در این محدوده دربرگیرندهٔ ناحیهٔ کرانه‌ای مشتمل بر پس‌کرانه، پیش‌کرانه و آب‌های نزدیک ساحل است. در این مطالعه برای بررسی واحدهای تهدیدکنندهٔ بالقوه و بالفعل، به فعالیت‌های جاری در محدوده‌های تفکیک‌شدهٔ مجاور نیز توجه شده است، بنابراین بررسی کاربری اراضی در بخش

خشکی تا مرز دهستان‌های ساحلی ملاک عمل قرارگرفت. برخی ویژگی‌های منطقهٔ ساحلی شهرستان بندرعباس در مقیاس نقشهٔ ۱:۲۵۰۰۰ در جدول ۱ آمده است. شکل ۱ پهنهٔ خطر در طول سواحل شهرستان بندرعباس را نشان می‌دهد.

۲.۲. معیارهای مؤثر در تعیین حساسیت مناطق ساحلی به آلودگی نفتی

در صورت مطالعه و تحلیل مفید و کارآمد حساسیت مناطق ساحلی شهرستان بندرعباس به آلودگی نفتی، نیاز به بررسی منطقه به‌صورت میدانی و به‌کمک تصاویر و نقشه‌های موجود است تا بتوان تمامی یا اکثر معیارهای مؤثردر ایجاد آلودگی نفتی را شناسایی و اثر هر معیار را بررسی کرد. در تحقیق حاضر، ضمن بررسی و شناخت از وضع موجود منطقه، و نظرات کارشناسان متخصص در امر مدیریت نواحی ساحلی، همچنین با مروری بر مطالعات انجام‌گرفته، معیارها در سه دستهٔ کلی مطالعه شده است. معیارهای مربوط به لندفرم ساحل[10] جنس رسوبات و مواد متشکله در نوار ساحلی (ماسه‌ای و گلی- ماسه‌ای)، شیب، زلزله‌خیزی و روانگرایی[11]، تحت عنوان پارامترهای مربوط به فیزیک ساحل بررسی شده است. شاخص حساسیت فیزیکی، پتانسیل آثار ناشی از آلودگی نفتی را براساس ظرفیت خودپالایی هر قسمت از منطقهٔ ساحلی بیان می‌کند. این شاخص بر اساس دو پارامتر در معرض امواج بودن و شیب منطقهٔ ساحلی محاسبه می‌شود و میزان ماندگاری نفت در منطقهٔ ساحلی تا حدود زیادی به این دو پارامتر وابسته است (Castanedo, 2009).

لندفرم به تمامی شکل‌ها و فرم‌های هم‌جنسی گفته می‌شود که به‌طور ژنیتیکی و منحصر به فرد تحت تأثیر فرایندهای تراکمی یا فرسایشی عوامل جغرافیایی ایجاد می‌شود (Swaminathan, 2005). بر شکل‌گیری لندفرم‌های ساحلی گروهی از عوامل مورفولوژیکی تأثیر می‌گذارد. این عوامل شامل زمین‌شناسی است که الگوی رخنمون‌های سنگی را در سواحل کف دریا و خشکی کنار دریا تعیین می‌کند (برد و همکاران، ۱۳۹۲). لندفرم‌های شناسایی‌شده در منطقه شامل لندفرم‌های پهنه‌های جذرومدی، دریاکنار ماسه‌ای و خورهاست. در شهرستان بندرعباس غلبه با لندفرم ساحلی پهنهٔ جزرومدی است (دانه‌کار و همکاران، ۱۳۹۱). در این بین لندفرم پهنه‌های جذرومدی به‌دلیل تنوع زیستی بالا، امکان جذب آلودگی بیشتر و امکان دسترسی کمتر برای پاکسازی منطقه از آلودگی نفتی در کلاس حساسیت زیاد و لندفرم‌های خورها و دریاکنار ماسه‌ای به‌ترتیب در کلاس‌های حساسیت متوسط و کم قرارگرفت. شکل ۲ نقشهٔ کلاس حساسیت لندفرم‌ها را در سواحل شهرستان بندرعباس نشان می‌دهد.

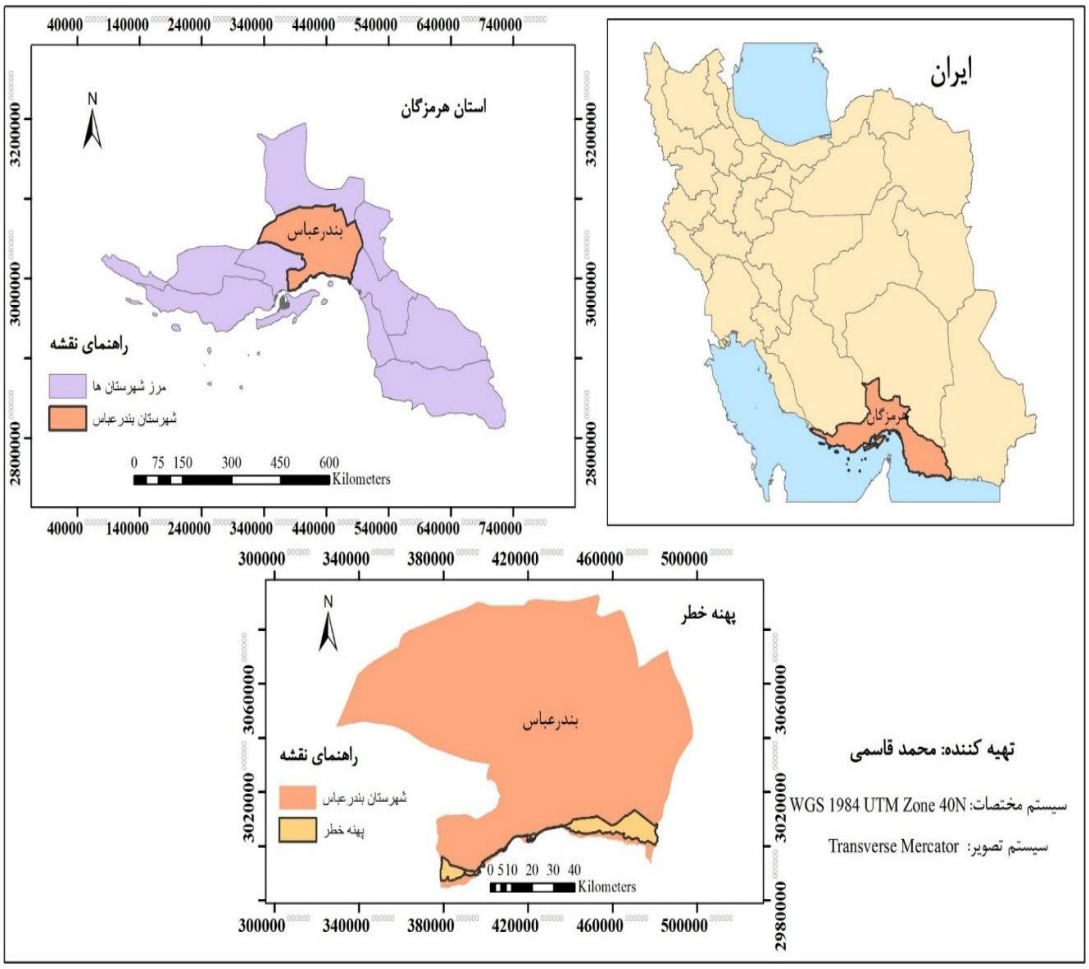
نفوذ نفت زمانی اتفاق می‌افتد که نفت موجود روی سطح به داخل رسوبات نفوذپذیر وارد شود. عمق نفوذپذیری را اندازهٔ دانه‌بندی بستر و طبقه‌بندی آن (تغییرات اندازهٔ دانه‌بندی در رسوب) کنترل می‌کند. بیشترین مقدار نفوذ برای رسوبات درشت (شن) و دارای یکنواخت‌ترین دانه‌بندی مورد انتظار است. رسوبات گلی کمترین میزان نفوذپذیری را داراست و تمایل زیادی به اشباع‌شدن با آب دارد. در نتیجه، نفوذ نفت در این نوع رسوب محدود می‌شود و در این نوع سواحل، مواد نفتی به‌صورت لکه‌های نفتی روی مناطق ساحلی و روی سطح آب دریا تجمع می‌یابد (NOAA, 2002). به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ جنس رسوب و مواد متشکلهٔ نوار ساحلی شهرستان بندرعباس، از تصاویر ماهواره‌ای IRS (۲۰۰۳، قدرت تفکیک ۶ متر) و Landsat گردآوری‌شده در مؤسسهٔ جهاد تحقیقات آب و انرژی استفاده شده است. در طول سواحل شهرستان بندرعباس رسوبات ماسه‌ای و گلی یافت می‌شد که به‌ترتیب در محدودهٔ حساسیت متوسط و زیاد قرارمی‌گیرد. شکل ۳ نقشه کلاس حساسیت جنس رسوبات و مواد متشکلهٔ سواحل شهرستان بندرعباس را نشان می‌دهد.

هر گاه ارتعاشات یا فشار آب درون تودهٔ خاک باعث

شود که تماس ذرات خاک با یکدیگر از دست برود، روانگرایی اتفاق می‌افتد. در نتیجه، رسوبات به مانند مایع رفتار می‌کند؛ در تحمل وزن ناتوان و روی شیب‌های بسیار ملایم روان می‌شود. در پهنهٔ خطر سواحل شهرستان بندرعباس روانگرایی با خطر کم و روانگرایی با خطر متوسط شناسایی شد. لازم به ذکر است هر چه میزان روانگرایی بیشتر باشد، به‌دلیل نفوذ بیشتر آب درون رسوبات، شست‌وشوی رسوبات از مواد آلایندهٔ نفتی بر اثر امواج دریا بیشتر می‌شود. در نتیجه حساسیت کمتری در برابر آلودگی نفتی دارد. شکل ۴ نقشهٔ کلاس حساسیت روانگرایی سواحل شهرستان بندرعباس را نشان می‌دهد.

جدول ۲. ویژگی منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه	طول جغرافیایی (درجه، دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه، دقیقه)	طول خط ساحلی (km)	مساحت (km^2)
سواحل شهرستان بندرعباس	از ۵۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴۸ دقیقه	از ۲۶ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۱۱ دقیقه	۱۴۰	۳۴۸



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

بیشترین اهمیت شیب در مناطق ساحلی تحت تأثیر امواج و اثر آن بر نحوهٔ شکستن و انعکاس موج است. مناطق جزرومدی با شیب تند معمولاً در معرض بالاآمدگی و شکستن ناگهانی امواج قراردارد. حتی انعکاس نیز در محلی اتفاق می‌افتد که پاکسازی طبیعی نفت در نوار ساحلی را افزایش می‌دهد. بنابراین، هر چه شیب بیشتر باشد، میزان ماندگاری نفت در ساحل کمتر است و آن ساحل حساسیت کمتری به آلودگی نفتی دارد (Wieczorek, 2007). نقشهٔ شیب سواحل شهرستان بندرعباس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱۰ متر سازمان نقشه‌برداری کشور و در محیط Arc GIS 10.1 ایجاد شد. بر این اساس، شیب منطقهٔ ساحلی در سه طبقهٔ ۰-۲ درصد (شیب‌های کم با حساسیت زیاد)، ۲-۴ درصد (شیب‌های متوسط با حساسیت متوسط) و بیش از ۴ درصد (شیب‌های زیاد با حساسیت کم) قرارگرفت. شکل ۵ نقشهٔ کلاس حساسیت شیب سواحل شهرستان بندرعباس را نشان می‌دهد.

آب‌های دریایی، تحت تأثیر زلزله، زمین‌لغزش یا انفجار آتشفشانی، دچار اغتشاش می‌شود. چنین فرایندی موجب شکل‌گیری موج عظیمی از آب به ناحیهٔ ساحلی می‌شود؛ امواج بلندی که ارتفاع آن در ساحل به بیش از ۱۰ متر هم می‌رسد. این امر اگرچه به‌ندرت اتفاق می‌افتد، به‌دلیل انرژی زیاد حاصل از موج نقش بسزایی بر پخش و حرکت مواد نفتی ساحلی دارد (برد و همکاران، ۱۳۹۲). این لایه از لایهٔ مخاطرات تهیه دشه است که خروجی مطالعات مدیریت نوار ساحلی است. در محدودهٔ پهنهٔ خطر سواحل شهرستان بندرعباس از نظر میزان زلزله‌خیزی، مناطق دارای میزان زلزلهٔ کم و مناطق دارای زلزله‌خیزی زیاد شناسایی شد و در کلاس‌های حساسیت کم و متوسط قرار گرفت. شکل ۶ نقشهٔ کلاس حساسیت زلزله‌خیزی سواحل شهرستان بندرعباس را نشان می‌دهد.

در دستهٔ دوم، پارامترهای مربوط به منابع اقتصادی- اجتماعی (منابع انسانی) شامل اسکله‌ها و بنادر، واحدهای صنعتی، آبزی‌پروری و سکونتگاه‌های شهری و روستایی در نظر گرفته شد. کلاس حساسیت هر یک از معیارهای منابع انسانی (اجتماعی- اقتصادی) در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. کلاس حساسیت معیارهای مربوط به منابع اقتصادی- اجتماعی

ردیف	معیارهای منابع اقتصادی- اجتماعی	کلاس حساسیت
۱	پارک‌های ساحلی	حساسیت خیلی کم
۲	آبزی‌پروری و آب‌بندها	حساسیت کم
۳	واحدهای صنعتی	حساسیت متوسط
۴	سکونتگاه‌ها	حساسیت زیاد
۵	اسکله‌ها و بنادر	حساسیت خیلی زیاد

شکل ۷ نقشهٔ کلاس حساسیت معیارهای اقتصادی- اجتماعی سواحل شهرستان بندرعباس را نشان می‌دهد.

در دستهٔ سوم، پارامترهای مربوط به منابع بیولوژیکی قرار دارد که از دو جنبه بررسی و درجهٔ اهمیت هر منطقه تعیین شده است:

۱. بر اساس سابقهٔ حفاظت (مناطق حفاظت‌شده، جنگل‌های حرا، تالاب‌ها و جزآن)

۲. بر اساس توان اکولوژی در سواحل شهرستان بندرعباس با در نظر گرفتن معیارهای جغرافیای زیستی، بکربودن، بی‌همتایی، وابستگی، زیستگاه، آبزیان، پرندگان،

پستانداران دریایی، امکانات و زیرساخت‌های گردشگری در قالب پنج نوع کاربری (کشاورزی، شهری، صنعتی، توریسم و حفاظت).

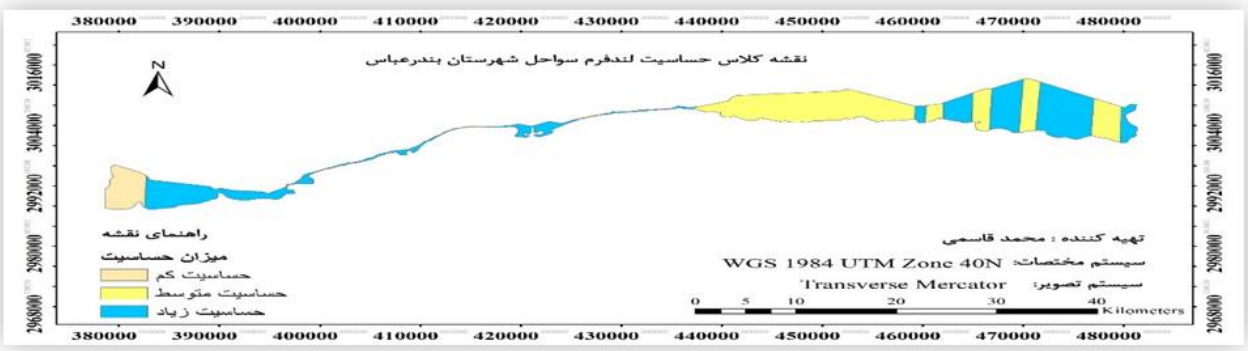
درجهٔ اهمیت و میزان حساس‌بودن هر یک از معیارها و زیرمعیارها در برابر آلودگی نفتی، در پنج درجه قرارگرفت (از حساسیت‌های خیلی کم تا خیلی زیاد) (شکل ۸ و ۹).

۳،۲. وزن‌دهی معیارها

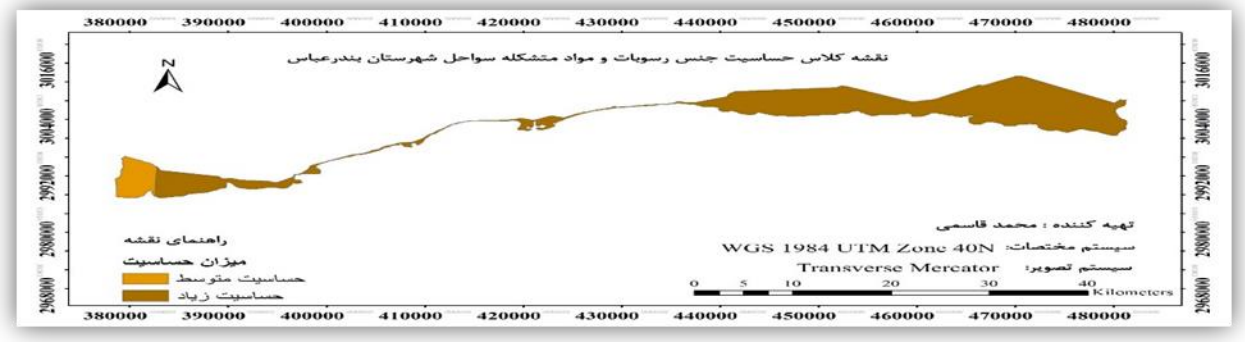
هدف از وزن‌دهی آن است که بتوان اهمیت هر معیار را نسبت به معیارهای دیگر بیان کرد. روش‌های متعددی برای وزن‌دهی نسبی و بیان اهمیت مشخصه‌ها نسبت به یکدیگر وجود دارد. این روش‌ها در سهولت استفاده، دقت، میزان درک تصمیم‌گیرندگان و داشتن مبنای نظری با هم تفاوت دارد. تصمیم‌گیرنده با در دسترس‌بودن نرم‌افزارهای مربوط و چگونگی تلفیق داده‌های آن با GIS روشی مناسب را انتخاب می‌کند. روش مقایسهٔ دوبه‌دو به‌دلیل داشتن مبنای نظری قوی، دقت بالا و سهولت استفاده، دارا بودن ارزش و اعتبار و درستی و دقت نتیجه، یکی از معتبرترین و پرکاربردترین روش‌هاست (Mousseau & Slowinski, 1999).

در تحقیق حاضر، وزن معیارها با توجه به میانگین نظر کارشناسان و متخصصان به روش دلفی تعیین شد. در این راستا، پرسشنامه‌ای طراحی شد و در اختیار چندین نفر قرارگرفت و پس از دادن توضیحات لازم، از آن‌ها خواسته شد به معیارها بر اساس بی‌اهمیت‌بودن تا اهمیت خیلی زیاد از صفر تا ۱۰۰ امتیاز دهند. سپس، ضمن غربالگری‌های انجام گرفته میانگین نظرهای آن‌ها وارد نرم‌افزار Expert choice شد و وزن نهایی پس از مقایسهٔ زوجی معیارها با روش AHP به‌دست آمد.

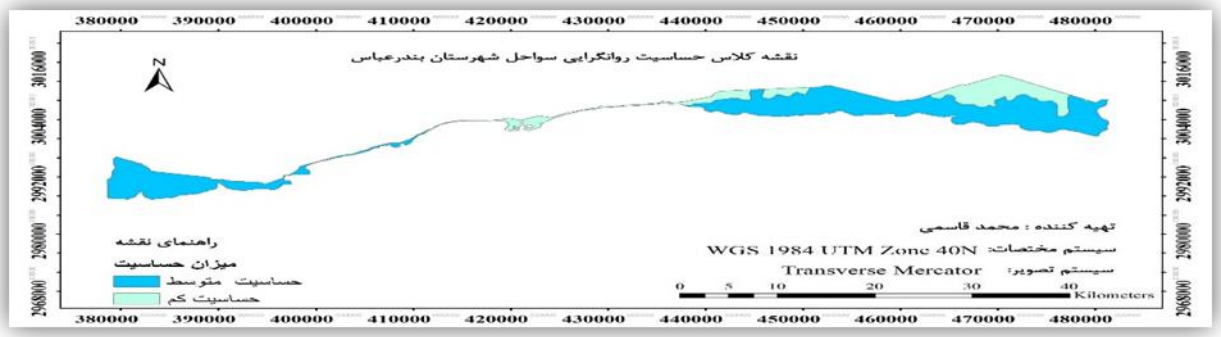
به‌منظور اجرای مدل AHP وزن معیارهای اصلی به‌همراه وزن هر یک از زیرمعیارها به‌طور جداگانه مورد نیاز است. در جدول ۳ تا ۵ ماتریس مقایسهٔ زوجی و اوزان محاسبه‌شدهٔ هر یک از معیارها آمده است. در جدول ۶ ماتریس مقایسهٔ زوجی بین معیارهای اصلی تشکیل شده است که همان‌طور که مشخص است معیار منابع بیولوژیکی با وزن ۰/۳۶۹ بیشترین وزن را به‌خود اختصاص داده است. شکل ۱۰ نمودار وزن نهایی معیارهای اصلی را نشان می‌دهد. در نهایت، ماتریس مقایسهٔ زوجی بین تمامی زیرمعیارها در جدول ۷ آمده است. ماتریس مقایسهٔ زوجی بین همهٔ زیرمعیارها و محاسبهٔ وزن نهایی هر یک از آن‌ها برای اجرا و تلفیق نقشه‌ها با مدل ELECTRE-I مورد نیاز است. در اینجا باید توجه داشت که مجموع تمامی اوزان نهایی محاسبه‌شده به روش AHP برابر ۱ است. نمودار وزن نهایی محاسبه‌شده به روش AHP در شکل ۱۱ آمده است.



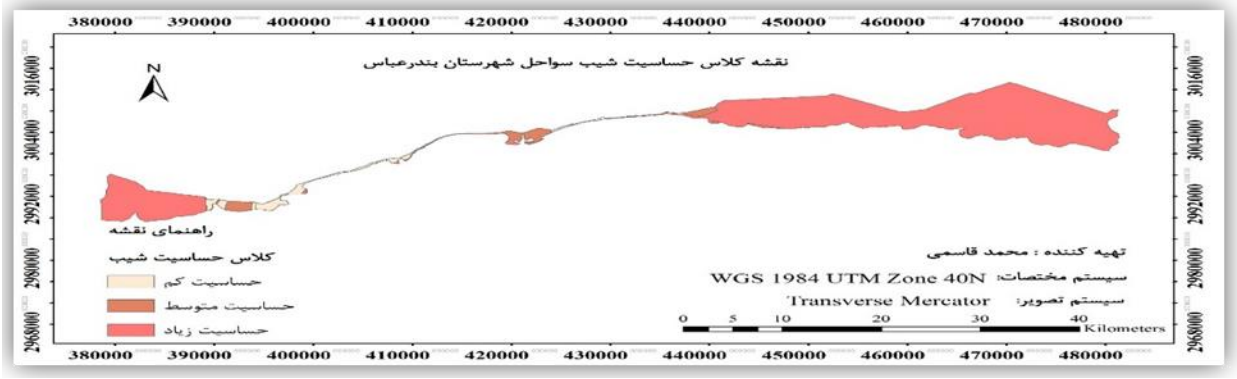
شکل ۲. نقشهٔ کلاس حساسیت لندفرم سواحل شهرستان بندرعباس



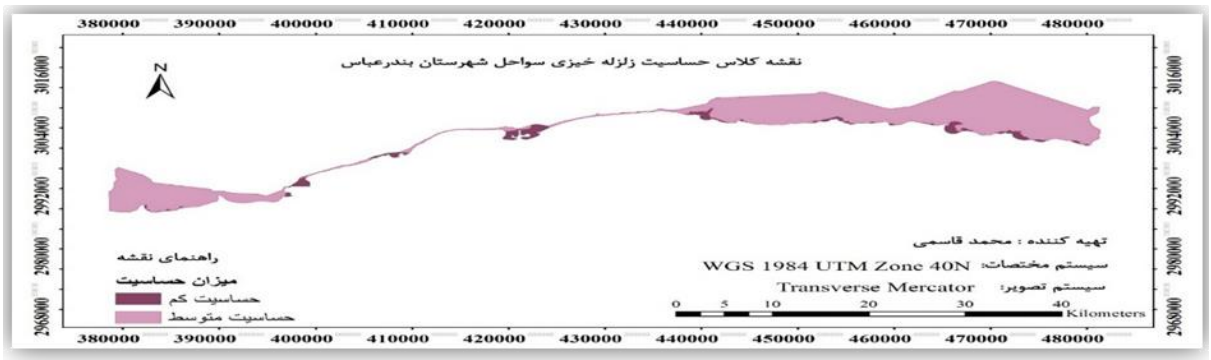
شکل ۳. نقشهٔ کلاس حساسیت جنس رسوبات سواحل شهرستان بندرعباس



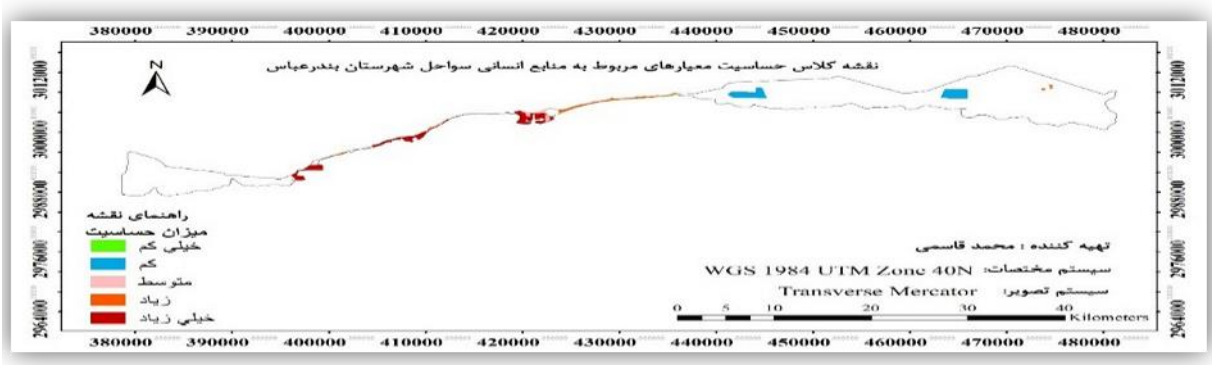
شکل ۱. نقشهٔ کلاس حساسیت روانگرایی سواحل شهرستان بندرعباس



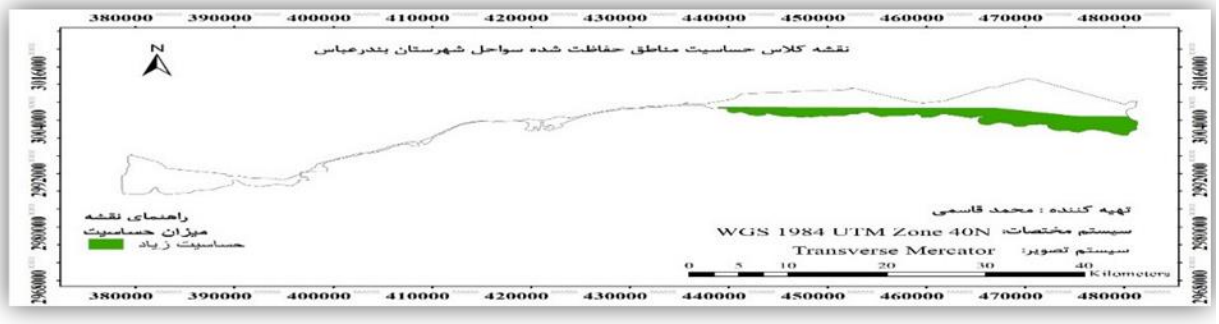
شکل ۵. نقشهٔ کلاس حساسیت شیب سواحل شهرستان بندرعباس



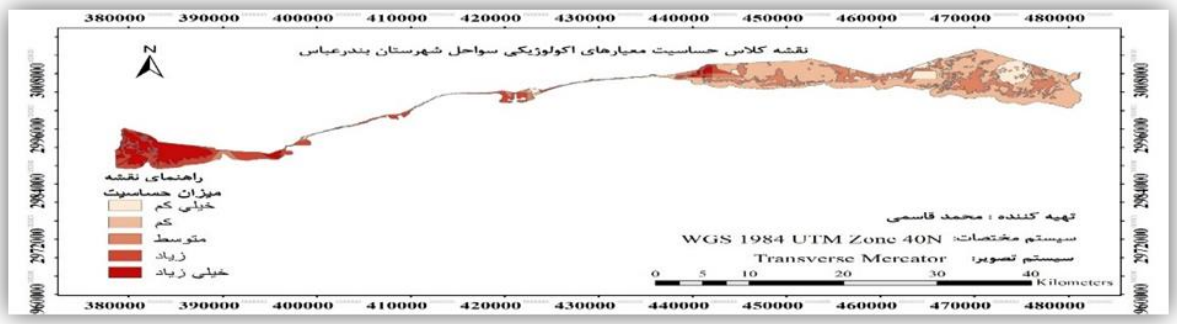
شکل ۶. نقشهٔ کلاس حساسیت زلزله‌خیزی سواحل شهرستان بندرعباس



شکل ۷. نقشهٔ کلاس حساسیت معیارهای اقتصادی- اجتماعی سواحل شهرستان بندرعباس



شکل ۸. نقشهٔ کلاس حساسیت مناطق حفاظت‌شدهٔ سواحل شهرستان بندرعباس



شکل ۲. نقشهٔ کلاس حساسیت معیارهای اکولوژیکی سواحل شهرستان بندرعباس

جدول ۳. ماتریس مقایسهٔ زوجی و تعیین وزن نهایی معیارهای فیزیک ساحل به‌روش AHP

معیارهای فیزیک ساحل	لندفرم	جنس رسوبات	شیب	زلزله‌خیزی	روانگرایی	محاسبهٔ وزن با AHP
لندفرم	۱	۰/۸۵	۰/۹۲	۱/۴	۱/۲۱	۰/۲۰۹
جنس رسوبات	۱/۱۷	۱	۱/۱۶	۱/۴۹	۱/۳۷	۰/۲۴۲
شیب	۱/۰۸	۰/۸۶	۱	۱/۴۱	۱/۳۶	۰/۲۲۲
زلزله‌خیزی	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۷۱	۱	۰/۸۳	۰/۱۵۳
روانگرایی	۰/۸۳	۰/۷۳	۰/۷۴	۱/۲	۱	۰/۱۷۴

جدول ۴. ماتریس مقایسهٔ زوجی و تعیین وزن نهایی معیارهای اقتصادی اجتماعی به‌روش AHP

معیارهای اقتصادی- اجتماعی	اسکله‌ها	سکونتگاه‌ها	واحدهای صنعتی	آبزی‌پروری	پارک‌های ساحلی	محاسبهٔ وزن با AHP
اسکله‌ها	۱	۱/۲۴	۱/۲۵	۱/۱۵	۱/۲۵	۰/۲۳۳
سکونتگاه‌ها	۰/۸۱	۱	۰/۸۸	۱/۳۹	۱/۱۸	۰/۲۰۵
واحدهای صنعتی	۰/۸	۱/۱۴	۱	۱/۱۹	۱/۱۶	۰/۲۰۸
آبزی‌پروری	۰/۸۷	۰/۷۲	۰/۸۴	۱	۱/۲۳	۰/۱۸۳
پارک‌های ساحلی	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۲	۱	۰/۱۷۱

جدول ۵. ماتریس مقایسهٔ زوجی و تعیین وزن نهایی معیارهای بیولوژیکی ساحل به‌روش AHP

معیارهای منابع بیولوژیکی	حفاظتی	شهری	صنعتی	گردشگری	کشاورزی	محاسبهٔ وزن با AHP
حفاظتی	۱	۱/۳۸	۱/۶۳	۱/۴۱	۱/۷۲	۰/۲۷۴
شهری	۰/۷۲	۱	۱/۱۷	۱/۲۸	۱/۳۱	۰/۲۰۹
صنعتی	۰/۶۲	۰/۸۵	۱	۱/۳۱	۱/۲۷	۰/۱۹۱
گردشگری	۰/۷۰	۰/۷۸	۰/۷۶	۱	۱/۵۸	۰/۱۸۲
کشاورزی	۰/۵۸	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۶۳	۱	۰/۱۴۵

جدول ۶. ماتریس مقایسهٔ زوجی و وزن نهایی معیارهای اصلی به‌روش AHP

معیارها	فیزیک ساحل	اقتصادی-اجتماعی	بیولوژیکی	محاسبهٔ وزن با AHP
فیزیک ساحل	۱	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۲۹۷
اقتصادی-اجتماعی	۱/۲۱	۱	۰/۸۵	۰/۳۳۵
بیولوژیکی	۱/۱۶	۱/۱۸	۱	۰/۳۶۹

شکل ۱۰. نمودار وزن نهایی معیارهای اصلی

جدول ۷. ماتریس مقایسهٔ زوجی و تعیین وزن نهایی تمامی معیارها به‌روش AHP

معیارها	لندیوز	مناطق حفاظت‌شده	جنس رسوبات	توان اکولوژی	لندفرم	شیب	زلزله‌خیزی	روانگرایی	محاسبهٔ وزن با AHP
لندیوز	۱	۰/۹۲	۱/۰۶	۱/۲	۱/۱۶	۱/۱۴	۱/۴۵	۱/۱۷	۰/۱۴۰
مناطق حفاظت‌شده	۱/۰۹	۱	۱/۱۱	۱/۰۴	۱/۲۲	۱/۰۹	۱/۴۹	۱/۵۷	۰/۱۴۸
جنس رسوبات	۰/۹۴	۰/۹	۱	۱/۱۳	۱/۱۲	۱/۱۳	۱/۲۵	۱/۱۱	۰/۱۳۲
توان اکولوژی	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۸۸	۱	۱/۰۵	۰/۹۷	۱/۲۸	۱/۰۷	۰/۱۲۴
لندفرم	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۹۵	۱	۰/۹۱	۱/۲	۱/۰۷	۰/۱۱۹
شیب	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۸۸	۱/۰۳	۱/۰۹	۱	۱/۴۱	۱/۰۲	۰/۱۲۶
زلزله‌خیزی	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۸	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۷۱	۱	۰/۸۷	۰/۰۹۸
روانگرایی	۰/۸۵	۰/۶۴	۰/۹	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۸	۱/۱۴	۱	۰/۱۱۳

شکل ۱۱. نمودار وزن نهایی زیرمعیارها

۳. نتایج

به‌منظور پشتیبانی از تصمیم‌گیر و تعیین مجموعه‌ای از گزینه‌ها از مدل استفاده می‌شود. گزینه‌های مربوط به تصمیم‌گیری مکانی از طریق پردازش و تحلیل داده‌ها و اطلاعات ذخیره‌شده در سامانه مبتنی بر اطلاعات جغرافیایی به‌دست می‌آید. به‌طور کلی، این مرحله شامل ایجاد گزینه و فرموله‌کردن مدل است (مالچفسکی، ۱۹۹۹). در ادامه به ارائهٔ مدل AHP و ELECTRE-I در تعیین مکان‌های حساس در برابر آلودگی نفتی در سواحل شهرستان بندرعباس می‌پردازیم.

۱.۳. مدل AHP

برای تلفیق اطلاعات مکانی در GIS می‌توان از منطق فازی استفاده کرد، بدین‌صورت که کلاس‌ها و واحدهای مکانی موجود در هر یک از فاکتورها عناصر زیرمجموعه محسوب می‌شود و معیار عضویت آن در مجموعهٔ مطلوب میزان حساسیت یا نداشتن حساسیت است که با درجهٔ عضویت بین صفر تا یک مشخص می‌شود. هر کلاس یا واحد اطلاعاتی موجود در فاکتور درجهٔ عضویتی بین ۰ تا ۱ دارد که در هر فاکتور اهمیت و ارزش یک واحد مکانی نسبت به دیگر واحدها و یک فاکتور منفرد نسبت به دیگر واحدها را نشان می‌دهد. مقدار درجهٔ عضویت هر کلاس و واحد مکانی بر اساس نظرات کارشناسی تعیین می‌شود. سپس، با استفاده از عملکردهای فازی عملیات تلفیقی مورد نظر انجام می‌شود (Deng, 1999).

در این روش پس از ایجاد سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری، مؤلفه‌های هر سطح در قالب یک ماتریس مقایسه می‌شود، که این کار از سطوح بالا به سطوح پایین است. در مرحلهٔ

بعد، از طریق ادغام وزن‌های نسبی لایه‌های مختلف، که این امر از طریق ضرب‌های متوالی ماتریس وزن‌ها در هر سلسله‌مراتب انجام می‌شود و براساس الگوریتم weighted overlay، در محیط GIS لایه‌های وزن‌گذاری‌شده همپوشانی (روی‌هم‌گذاری) می‌شود تا مکان‌های با حساسیت مختلف (خیلی کم تا خیلی زیاد) شناسایی شود. شکل ۱۲ نقشهٔ کلاس حساسیت حاصل از اجرای مدل AHP را در سواحل شهرستان بندرعباس نشان می‌دهد. مناطق با حساسیت بیشتر در نقشه با رنگ تیره‌تر نشان داده شده است.

۲.۳. مدل الکتره

در این روش، گزینه‌ها به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه و گزینه‌های مسلط و ضعیف (غالب و مغلوب) شناسایی می‌شود. سپس، گزینه‌های ضعیف و مغلوب حذف می‌شود (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۱). اگر در مسئلهٔ تصمیم‌گیری چند معیاره n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش الکتره مراحل زیر انجام می‌گیرد.

گام نخست: نرمال‌سازی. در این مرحله ماتریس تصمیم‌گیری به ماتریسی بی‌مقیاس تبدیل می‌شود. روش‌های مختلفی به‌منظور بی‌مقیاس‌سازی وجود دارد، اما در روش الکتره معمولاً از رابطهٔ (۱) استفاده می‌شود.

(۱)

$$N_d = \left[r_{ij} \right], n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}^2}}$$

گام دوم: تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون. در این مرحله نقشهٔ رستری حاصل از نرمال‌سازی هر یک از لایه‌ها در ماتریس اوزان همان لایه ضرب می‌شود. گفتنی است در مدل الکترهٔ ماتریس مقایسهٔ زوجی تمامی زیرمعیارها نیاز هست بنابراین از جدول استفاده می‌شود.

$$V = N_D \times w_{n \times n} \qquad (۲)$$

که W ماتریس قطری وزن شاخص‌ها و تنها عناصر اصلی آن غیرصفر است و V ماتریس بی‌مقیاس وزنی است.

گام سوم: مشخص‌کردن مجموعهٔ هماهنگ و ناهماهنگ (موافق و مخالف). معیارهای مثبت در مدل الکتره معیارهایی است که افزایش آن سبب افزایش میزان حساسیت‌پذیری سواحل در برابر آلودگی نفتی می‌شود و معیارهای منفی برعکس است؛ یعنی، هر چه میزان آن کمتر باشد، حساسیت بیشتر می‌شود. در تحقیق حاضر، به‌دلیل اینکه معیارها براساس میزان اهمیت آن به روش مقایسهٔ زوجی وزن‌دهی شده است، تمامی لایه‌ها معیار مثبت در نظر گرفته می‌شود؛ یعنی، در تمامی لایه‌ها، افزایش مقادیر پیکسل‌ها در ماتریس ایجادشده نشان‌دهندهٔ افزایش میزان حساسیت است.

اگر معیار مورد نظر، دارای جنبه مثبت باشد،

$$S_{KL} = \{ j | r_{kj} \geq r_{Lj} \} \quad j = 1, \ldots, m \qquad (۳)$$

و اگر معیار مورد نظر دارای جنبه منفی باشد،

$$D_{KL} = \{ j | r_{kj} < r_{Lj} \} \quad j = 1, \ldots, m \qquad (۴)$$

ماتریس هماهنگ و ناهماهنگ بر اساس رابطهٔ ۳ و ۴ تعیین می‌شود. همان‌طور که گفتیم، در این مرحله پیکسل‌های نظیر دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه می‌شود. مطابق با رابطهٔ (۳) در پیکسل‌هایی که لایهٔ اول از لایهٔ دوم بزرگ‌تر یا مساوی باشد، وزن‌ها با یکدیگر جمع می‌شود و در طبقهٔ ماتریس هماهنگ قرارمی‌گیرد، در غیر این‌صورت در رابطهٔ (۴)، یعنی در طبقهٔ ماتریس ناهماهنگ، قرارمی‌گیرد.

گام چهارم: محاسبهٔ ماتریس هماهنگی (موافق). ماتریس هماهنگ ماتریسی مربعی است که قطر آن فاقد عنصر و سایر عناصر این ماتریس نیز از جمع اوزان شاخص‌های متعلق به مجموعهٔ موافق حاصل می‌شود.

$$I_{KL} = \sum W_j \qquad (۵)$$

گام پنجم: محاسبهٔ ماتریس ناهماهنگی (مخالف). ماتریس ناهماهنگ نیز ماتریسی مربعی است که قطر آن فاقد عنصر و سایر عناصر این ماتریس از ماتریس بی‌مقیاس‌شدهٔ موزون (V) به‌دست می‌آید.

(۶)

$$NI_{KL} = \frac{MAX\left| V_{kj} - V_{Lj} \right|_{j \in D_{K,L}}}{MAX\left| V_{kj} - V_{Lj} \right|_{j \in j}}$$

گام ششم: تعیین ماتریس هماهنگ مؤثر. برای استخراج ماتریس هماهنگ مؤثر، نخست باید حد آستانه‌ای را مشخص کرد. تعیین این حد آستانه بر اساس بررسی‌های کارشناسی و به‌کمک متخصصان و یا به روش دلفی انجام می‌گیرد. همچنین، یکی از روش‌های متعارف محاسبهٔ آن متوسط‌گیری از عناصر ماتریس هماهنگ به صورت زیر است.

(۷)

$$\bar{I} = \sum_{L=1}^{m}\sum_{k=1}^{m} I_{K,L} \Big/ m(m-1)$$

$$\begin{cases} H_{LK} = 1 & I_{kl} \geq \bar{I} \\ H_{LK} = 0 & I_{kl} < \bar{I} \end{cases}$$

گام هفتم: مشخص‌کردن ماتریس ناهماهنگ مؤثر. این ماتریس با G نمایش داده می‌شود. برای استخراج آن نیز از یک آستانه استفاده و به روش زیر محاسبه می‌شود.

(۸)

$$NI = \sum_{L=1}^{m}\sum_{k=1}^{m} NI_{K,l} \Big/ m(m-1)$$

$$\begin{cases} G_{lK} = 0 & \text{N} \quad J_{kl} > NI \\ G_{lK} = 1 & I \quad NI_{kl} \leq \end{cases}$$

عناصر ماتریس NI با حد آستانه‌ای NI مقایسه می‌شود. هر مؤلفه‌ای که کوچک‌تر یا مساوی آن باشد ۱ و گرنه مقدار ۰ به‌خود می‌گیرد.

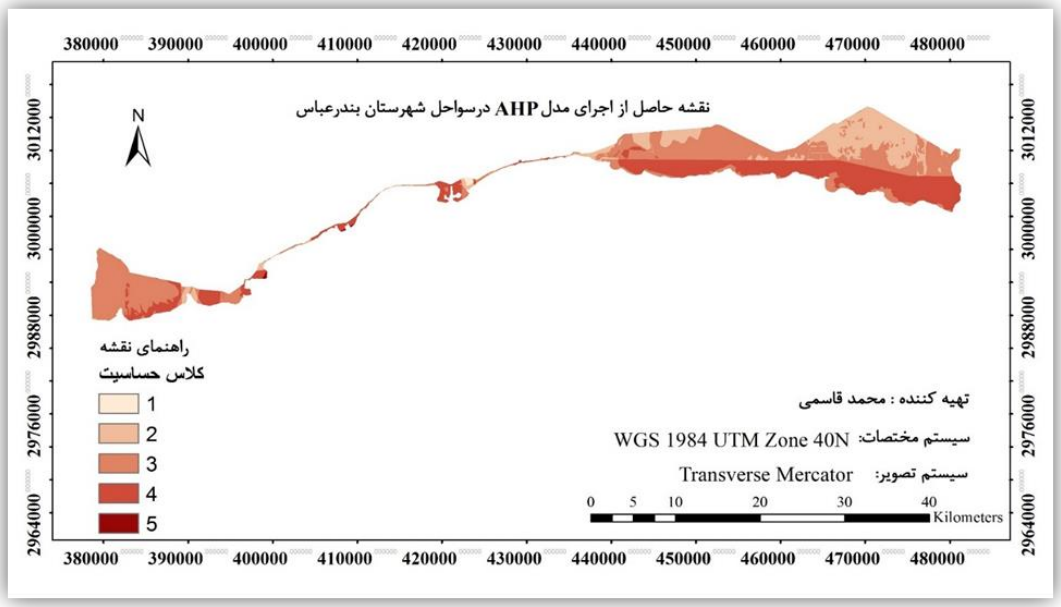
گام هشتم: مشخص‌کردن ماتریس کلی و مؤثر. این ماتریس به روش زیر به‌دست می‌آید.

$$F_{KL} = H_{KL} * G_{KL} \qquad (۹)$$

شرط اینکه A_k گزینه‌ای مؤثر باشد، عبارت است از:

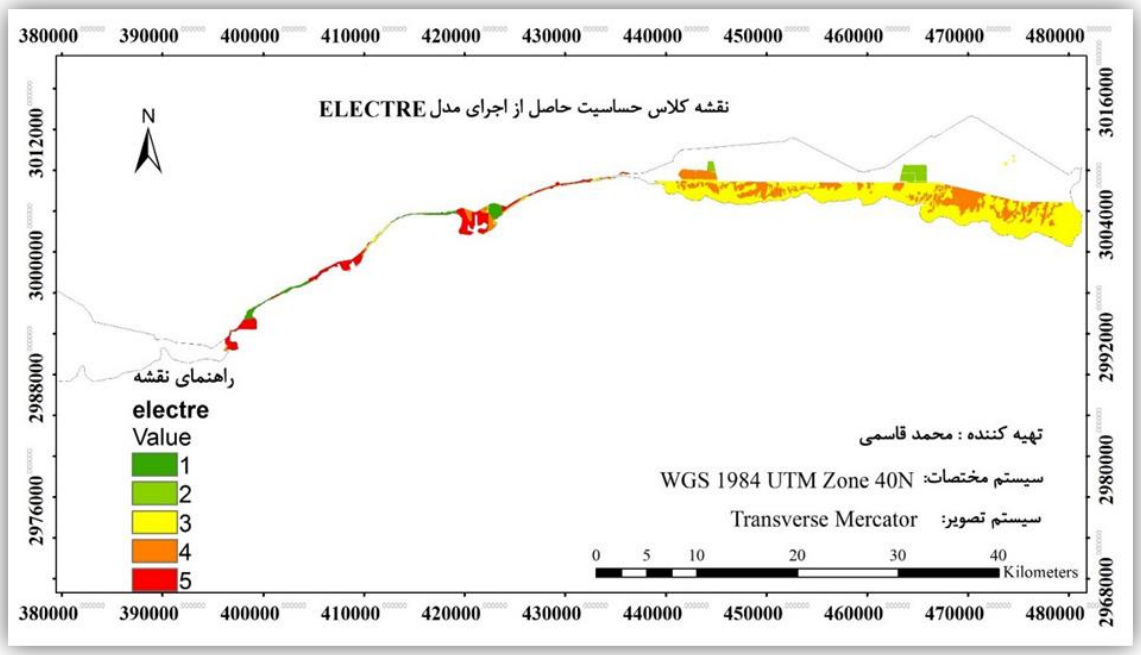
$$\begin{cases} F_{K,L} = 1 & \text{برای حداقل یک L} \\ F_{K,L} = 0 & \text{برای کلیه ی L ها} \end{cases}$$

اساس کار این روش بر مبنای روابط غیرترتبه‌ای است؛ بنابراین، جواب‌های به‌دست آمده به‌صورت مجموعه‌ای از رتبه‌ها خواهد بود. مدل‌سازی مسائل تصمیم‌گیری بر اساس این روش، همچنین با تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری انجام می‌شود.



شکل ۱۲. نقشهٔ حاصل از اجرای مدل AHP در سواحل شهرستان بندرعباس

مراحل اجرایی این مدل در محیط متلب کدنویسی شد. سپس، در محیط GIS طبقه‌بندی مجدد انجام گرفت. نقشهٔ به‌دست آمده حاصل از پیاده‌سازی این روش در تعیین مکان‌های حساس در برابر آلودگی نفتی در شکل ۱۳ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مکان‌های حساس در پنج طبقه (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد) قرارگرفت. طبقهٔ ۱ مناطق با حساسیت خیلی کم و طبقهٔ ۵ مناطق با حساسیت خیلی زیاد را نشان می‌دهد. نقشهٔ نهایی حاصل از اجرای مدل ELECTRE-I در سواحل شهرستان بندرعباس در شکل ۱۳ آمده است. در این نقشه مناطق ساحلی با رنگ قرمز نواحی ساحلی با حساسیت خیلی زیاد را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. نقشهٔ حاصل از اجرای مدل ELECTRE-I در سواحل شهرستان بندرعباس

۴. نتیجه‌گیری

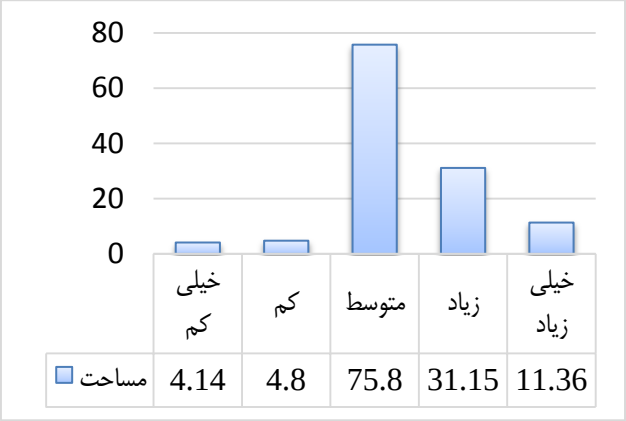
آنچه در ایران کمتر توجه شده است نقش و اهمیت آلاینده‌های مختلف و تأثیر آن‌ها بر اکوسیستم‌هاست. این مسئله هم از دیدگاه وضعیت حال و هم مسائل مربوط به پیشگیری و جلوگیری از تخریب و ایجاد خسارت به محیط‌های انسانی و جانوری در آینده، مطالعه می‌شود. در مورد اکوسیستم‌های ساحلی همان‌طور که گفتیم این مسئله اهمیت بیشتری دارد. از طرفی، آلاینده‌های نفتی به‌دلیل ماهیت ماندگاری طولانی، شناور بودن و آثار مخرب آن‌ها بر سلامت جانوری، انسانی و محیطی آثار مخرب و زیانباری به‌جای می‌گذارد؛ لذا، شناسایی مکان‌های حساس در برابر این نوع آلاینده‌ها ضمن اقدامات پیشگیرانه از آثار تخریبی به‌وجود آمده و احتمالی می‌کاهد.

در تحقیق حاضر، ضمن شناسایی معیارهای مؤثر در حساسیت سواحل، هشت معیار در سه دستهٔ کلی قرارگرفت. در مرحله بعد اهمیت هر معیار و زیرمعیار به روش مقایسهٔ زوجی مشخص شد؛ معیارهای بیولوژیکی با وزن ۰/۳۶۹ بیشترین وزن را داشت و معیارهای منابع انسانی و فیزیک ساحل به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۳۳۵ و ۰/۲۹۷ در اهمیت‌های بعدی قرارگرفت.

استفادهٔ توأم از مدل ELECTRE-I و AHP به‌منظور دقت بیشتر و مشخص‌شدن محدوده‌های با همپوشانی

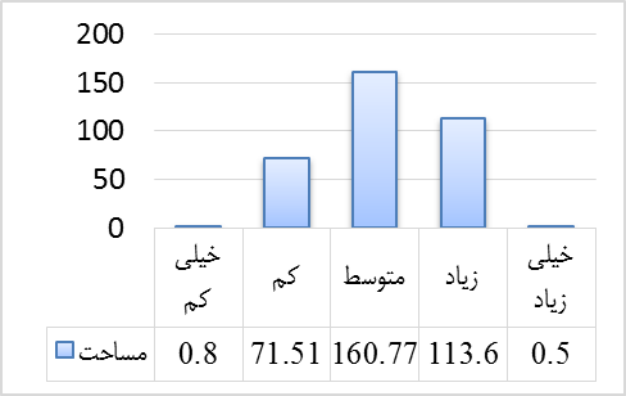
مشترک در هر دو مدل است، لذا در هر دو مدل بیشترین سطح سواحل شهرستان بندرعباس را سواحل با حساسیت متوسط (کلاس حساسیت ۳) نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۱۴، نتایج حاصل از کلاس‌های حساسیت در بین مقادیر کلاس‌بندی‌شدهٔ مدل الکترهٔ I نشان می‌دهد که به‌ترتیب بیشترین فراوانی، حدود ۷۶ کیلومتر مربع از سواحل شهرستان دارای حساسیت متوسط، ۳۲ کیلومتر مربع حساسیت زیاد و حدود ۱۲ کیلومتر مربع حساسیت خیلی زیاد دارد.



شکل ۱۴. نمودار مساحت هر یک از کلاس‌های حساسیت در مدل ELECTRE-I

نتایج حاصل از کلاس‌های حساسیت در بین مقادیر کلاس‌بندی‌شدهٔ مدل AHP نشان می‌دهد که به‌ترتیب حدود۱۶۰کیلومتر مربع از سواحل شهرستان دارای حساسیت متوسط، ۱۱۳ کیلومتر مربع حساسیت زیاد و حدود ۷۱ کیلومتر مربع دارای حساسیت کم است. نتایج حاصل از کلاس‌های حساسیت در بین مقادیر کلاس‌بندی‌شدهٔ مدل AHP در شکل ۱۵ آمده است.



شکل ۱۵. نمودار مساحت هر یک از کلاس‌های حساسیت در مدل AHP

نتایج حاصل از شاخص‌های عددی و تجزیه‌وتحلیل نقشه‌ها نشان می‌دهد مناطقی در اطراف بندر شهید رجایی، اسکلهٔ شهید باهنر و قسمت‌هایی از سواحل شهر بندرعباس، حساسیت خیلی زیاد در برابر آلودگی نفتی

دارد. همچنین، مناطق شرقی سواحل شهرستان بندرعباس که عمدتاً مناطق حفاظت‌شدهٔ حراست حساسیت‌های متوسط تا زیاد دارد.

۵. پیشنهادها

– مدل‌های مذکور در تحقیق حاضر را می‌توان با مدل‌های دیگر نظیر PROMETE و ORESTE مقایسه و نتایج را با یکدیگر مقایسه کرد.

– با توجه به اهمیت و موقعیت استراتژیکی دریای خزر، مدل‌های مذکور در سواحل دریای خزر مطالعه شود. همچنین، از این مدل‌ها برای شناسایی مناطق حساس در برابر آلودگی نفتی در طول تمامی سواحل استان هرمزگان استفاده شود.

– ایجاد سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری، تجهیز اسکله‌ها و پایانه‌های بارگیری و تخلیهٔ مواد نفتی و سکوهای ثابت و شناور به تجهیزات مورد نیاز آمادگی و مقابله با سوانح آلودگی نفتی امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

– می‌توان از معیارهای مؤثر بیشتری استفاده کرد که در این تحقیق احیاناً نادیده گرفته شده است؛ معیارهایی همچون در معرض امواج بودن، در معرض ورود آب‌های حوزهٔ آبریز بودن، قابلیت پاکسازی طبیعی یا مصنوعی، همچنین نوع نفت ریزش یافته و فاصلهٔ منبع ریزش نفت از ساحل.

– با توجه به اجرایی‌شدن طرح مدیریت یکپارچهٔ مناطق ساحلی در مقیاس ۱/۵۰۰۰ معروف به طرح تدقیق سواحل، طی سال‌های آتی، پیشنهاد می‌شود مدل‌های مطرح‌شده در تحقیق حاضر را با توجه به نتایج این طرح بازبینی کرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامهٔ محمد قاسمی با عنوان «تحلیل مکانی حساسیت سواحل به آلودگی نفتی با استفاده از مدل الکتره (مطالعهٔ موردی: سواحل شهرستان بندرعباس)» است که با راهنمایی دکتر رسول مهدوی و مشاوران دکتر مسعود بختیاری‌کیا و دکتر ماریا محمدی‌زاده در دانشگاه هرمزگان در اسفند ۱۳۹۴ به انجام رسیده است. بدین‌وسیله مراتب سپاس خود را از استاد راهنما و مشاوران اعلام می‌دارد. همچنین، از سازمان بنادر و دریانوردی به‌دلیل در اختیار گذاشتن برخی نقشه‌ها و لایه‌های ورودی طرح مدیریت یکپارچهٔ مناطق ساحلی کمال تشکر را داریم.

یادداشت‌ها

1. sensitivity of coastal zone
2. echological thresholds
3. environmental sensitivity index
4. panchromatic
5. irregular coastal zone management
6. wind set-up
7. wave set-up
8. run-up
9. MHHW
10. coastal landform
11. liquefaction

منابع

آذر، ع.، رجب‌زاده، ع. ۱۳۸۱. تصمیم‌گیری کاربردی (رویکردMADM)، نشر نگاه دانش.

برد، ا.، یمانی، م.، محمدنژاد، و. ۱۳۹۲. ژئومورفولوژی ساحلی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

خدابخشی، ب.، جعفری، ح. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد مدل دسته‌بندی چندمعیارهٔ ELECTRE-TRI در تعیین اهمیت آثار محیط‌زیستی، پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱، شمارهٔ ۲.

دانه‌کار، ا.، بذل‌راد، ا. ۱۳۸۸. حساسیت زیست‌محیطی ناهمواری‌های ساحلی استان هرمزگان، دومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست، زمستان، تهران.

دانه‌کار، ا.، شریفی‌پور، ر. ۱۳۸۴. ارزیابی حساسیت فیزیکی نوار ساحلی استان بوشهر بر اساس شاخص حساسیت زیست‌محیطی، مجلهٔ علوم طبیعی، شمارهٔ ۷، ص ۴۵-۵۲.

داور، ل. ۱۳۸۶. مقایسهٔ کارایی دو روش NOAA و IMO برای شناسایی مناطق حساس محیط‌زیستی در سواحل استان سیستان و بلوچستان، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ص ۱۴۳-۱۸۰.

سپهر، م.، فهیمی، ف.، جمالزاده، ح.، فاطمی، م. ۱۳۹۱. تعیین حساسیت زیست‌محیطی نوار ساحلی شهرستان تنکابن بر اساس شاخص حساسیت زیست‌محیطی (ESI)، مجلهٔ علمی- پژوهشی زیست‌شناسی دریا، بهار، سال ۴، شماره ۱۳، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.

طرح مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی کشور. ۱۳۸۵. مطالعات مدیریت نوار ساحلی (SMP)، سازمان بنادر و دریانوردی، مهندسین مشاور مآب، جهاد تحقیقات آب و انرژی.

عظیمی، ن. ۱۳۸۴. کاربری مطلوب اراضی ساحلی در طرح مدیریت یکپارچهٔ مناطق ساحلی کشور (ICZM)، مجلهٔ بندر و دریا، تیر و مرداد ۱۳۸۴، ص ۴۶-۵۷.

مالچفسکی، ی. ۱۳۹۲. سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاره، ترجمهٔ اکبر پرهیزکار و عطا غفاری گیلانده، تهران، انتشارات سمت.

وفایی، ف.، هادی‌پور، و.، هادی‌پور، ا. ۱۳۹۰. ارائهٔ مدل فازی به‌منظور تعیین حساسیت مناطق ساحلی به آلودگی نفتی، ششمین کنگرهٔ ملی مهندسی عمران، اردیبهشت.

Andrade, M.de, Szlafsztein CF, Souza - Filho PW, Araújo Ados R, Gomes MK. 2010. A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: A case study using GIS and remote sensing, Journal of Environmental Management, 91, pp. 1972-1980.

Castanedo, S., Juanes, A., Medina, R., Puente, A., Fernandez, F., Olabarrieta, M., Pombo, C. 2009. Oil spill vulnerability assessment integrating physical, biological and socio-economical aspects: Application to the Cantabrian coast (Bay of Biscay, Apain), Journal of Environmental Management, 91, pp. 149-159.

Deng, H. 1999. Multicriteria analysis with fuzzy pair wise comparisons, International Journal of Approximate Reasoning, 21: 215–231.

Mosbech, A., Stjernholm, M., Boertmann, D., Nymand, J., Merkel, F., Myrup, M., Myrup, H., Myrup, D., Potter, S. 2000. Environmental Oil Spil Sensitivity Atlas for the West Greenland Coastal Zone Internet-version, June, Ministry of Environment and Energy, Danish Energy Agency.

Mousseau, V., Slowinski, R. 1998. Inferring an ELECTRE TRI model from assignment examples, Journal of Global Optimization, 12: 157-174.

NOAA. 2002. Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 3.0. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 11, Hazardous Materials Response Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Deparment of Commerce, Seattle, Washington.

Swaminathan, M.S. 2005. Report of the committee to review the coastal regulation zone notification 1991, Ministry of Environment and Forest, New Delhi.

Wieczorek, A. Dias-Brito, D., Carvalho Milanelli, J. 2007. Mapping oil spill environmental sensitivity in Cardoso Island State Park and surroundings areas. Sa~o Paulo, Brazil, Jounal of Ocean & Coastal Management, 50, pp. 872-876.

Yu, W. 1992. ELECTRE TRI: aspects méthodologiques et manuels d'utilisation. Document du Lamsade, Vol. 74. Université Paris- Dauphine.