

برآورد شدت آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

چکیده

سواحل دریای کاسپین به دلیل شرایط خاص استراتژیک و داشتن اکوسیستم‌های ویژه حائز اهمیت فراوان است؛ اما در مهروموم‌های اخیر، افزایش جمعیت ساکن در این سواحل و شدت بهره‌برداری‌ها و آلودگی‌ها باعث گردیده تا با آسیب‌های فراوانی مواجه شوند. از این رو با توجه به حساسیت و ارزش بالای این سواحل، در این تحقیق آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی با روش‌های ارزیابی چند عامله بر پایه GIS (AHP و گامای فازی) در تابستان ۱۳۹۷ انجام گرفت. ۷ معیار و ۱۳ زیر معیار بر اساس روش دلفی انتخاب و اطلاعات مربوط به آن‌ها در محیط GIS وارد شد. وزن دهی به لایه‌ها به روش AHP انجام گرفت. استانداردسازی لایه‌ها به روش گامای فازی انجام و در نهایت لایه‌ها تلفیق گردیده و نقشه نهایی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی بر این اساس تهیه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که ۲۵ درصد از منطقه ساحلی انزلی (۲۲۹۱۹٫۶ هکتار) دارای آسیب‌پذیری اکولوژیک شدید و خیلی شدید، ۱۹۱۷۹/۹ هکتار دارای درجه آسیب‌پذیری متوسط و ۴۷۳۵۰/۹ هکتار دارای آسیب‌پذیری کم و یا بدون آسیب‌پذیری می‌باشد. همچنین خاک و کاربری اراضی بالاترین وزن را در تعیین مناطق با آسیب‌پذیری اکولوژیک داشته‌اند. نتایج این مطالعه کاربری روش‌های ارزیابی چند معیاره را در تعیین آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل تأیید نموده و نقشه نهایی به‌دست‌آمده می‌تواند راهنمایی برای تصمیم‌گیران به‌منظور مشخص‌سازی مناطق با حساسیت بالا در برنامه‌های نظارت و پایش مؤثر این مناطق مدنظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری اکولوژیک، گامای فازی، AHP، سواحل کاسپین.

منیره مراد پناه^۱

سید مسعود منوری^{۲*}

سید محمود شریعت^۳

اسماعیل قجری^۴

مهرداد خان محمدی^۵

۱. دانشجوی دکتری محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳. استاد، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۴. استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد صومعه‌سرا، دانشگاه گیلان، ایران.
۵. استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد صومعه‌سرا، دانشگاه گیلان، ایران.

*مسئول مکاتبات:

seyedmasoudmonavari@gmail.com

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۳۰۷۸۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۳

این مقاله پژوهشی و برگرفته از رساله دکتری

است.

مقدمه

پهنه آبی دریای کاسپین با مساحت ۳۷۱۰۰۰ کیلومترمربع به‌عنوان بزرگ‌ترین پیکره آبی محصور جهان با منابع عظیم انرژی، ویژگی‌های زیست بومی منحصر به فرد و شرایط ژئوپولیتیکی خاص و داشتن شرایط اجتماعی به علت تراکم جمعیت بالا در سواحل و گسترش مراکز مسکونی به‌ویژه در سواحل جنوبی در مجموع وضعیت خاصی را به وجود آورده است (Imani et al., 2013؛ کولایی و گودرزی، ۱۳۸۸). این اکوسیستم

ارزشمند دارای ۸۰۰ کیلومتر خط ساحلی در مجاورت ایران می‌باشد؛ اما فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری پرشتاب به‌خصوص در سنوات اخیر تخریب اکوسیستم طبیعی و آلودگی محیط‌زیست آن را به دنبال داشته است (Jafari, 2010). مناطق ساحلی کرانه کاسپین محدوده انواع کاربری‌ها و اکوسیستم‌ها شامل علفزارها، تالاب‌ها، زمین‌های کشاورزی، اراضی جنگلی، شیلات و فعالیت‌های بندری، گردشگری و یکی از پرتراکم‌ترین مناطق کشور ایران از نظر جمعیتی بشمار می‌رود (Ramezani Gourab and Foroughe, 2010).

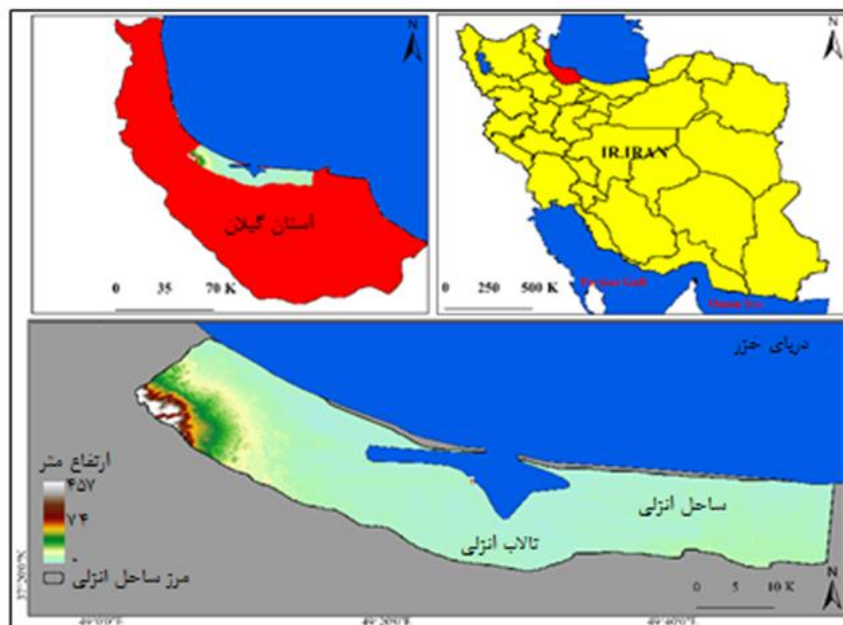
به‌طور کلی محیط‌زیست ساحلی، محیطی طبیعی و اکوتونی بین خشکی و دریا است که تحت تأثیر اثرات متقابل دو اکوسیستم قرار داشته و محل زندگی و تأمین معاش، تجارت، تغذیه، تفرج و توسعه درصد زیادی از انسان‌ها در جهان به شمار می‌رود (Craig and Ruhl, 2010; Ružić et al., 2019; رضانی و طالقانی، ۱۳۹۰). با این وجود نواحی ساحلی دریایی از لحاظ اکولوژیک از مناطق بسیار حیاتی و آسیب‌پذیر می‌باشند زیرا که تحت تأثیر انواع تنش‌ها قرار دارند (Sharifipour and Mahmodi, 2012; Mani Murali et al., 2013; Ružić et al., 2019). انواع آلاینده‌ها، افزایش جمعیت ساکن در سواحل، صنعتی شدن، گردشگری از عوامل مهم در فشار و شدت بهره‌برداری‌ها از این مناطق می‌باشد (خدادوست و همکاران، ۱۳۹۵; Dhiman et al., 2018). علاوه بر این، مخاطرات طبیعی مانند تغییرات اقلیمی، نوسانات سطح آب دریاها، فرسایش سواحل، طوفان‌ها و همراه با اثرات فعالیت‌های انسانی، تبعات مضاعف تخریبی را بر مناطق ساحلی تحمیل می‌کنند (Andalecio, 2010; Dhiman et al., 2018; Wu et al., 2018; Akumu et al., 2019; Craig and Ruhl, 2010; Tahri et al., 2017; Ružić et al., 2019; داور و همکاران، ۱۳۹۳; رضانی و طالقانی، ۱۳۹۰). به همین دلیل شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در سواحل به‌منظور اعمال سیستم مدیریتی متناسب و پایدار از راه‌حل‌های مؤثر برای مدیریت فجایع و پیشگیری از تخریب فزاینده این مناطق است (Zhang et al., 2019; Akumu et al., 2019; Doukakis, 2005; Sankari et al., 2015; al., 2017). پذیرفته‌شده‌ترین تعریف در مورد آسیب‌پذیری عبارت از درجه یا مقداری است که یک سیستم به‌وسیله آشفستگی‌ها در معرض تغییر/ استرس/ فشار یا تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد (Beroya-Eitner, 2016; دهشور و همکاران، ۱۳۹۳). به‌تبع آن آسیب‌پذیری اکولوژیک درجه‌ای است که سیستم به اختلالات و تنش‌های خارجی اعم از محیطی یا انسانی پاسخ می‌دهد و توانایی و ظرفیت سازگاری با آن‌ها (Wu et al., 2018; Sudha Rani et al., 2015). Liu و همکاران (۲۰۱۹) آسیب‌پذیری اکولوژیکی دریاچه Fuxian چین را بر اساس فناوری RS و GIS، روش AHP و داده‌های جمع‌آوری‌شده در سال‌های ۱۹۷۴، ۱۹۷۷، ۱۹۸۷، ۱۹۹۰، ۱۹۹۶، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ با هدف حفاظت از محیط‌زیست مورد بررسی قرار دادند. نتایج شاخص آسیب‌پذیری زیست‌محیطی سالانه نشان‌دهنده یک حالت گذار بین آسیب‌پذیری کم و آسیب‌پذیری متوسط با روند ثبات کلی در حوضه دریاچه از سال ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۵ در منطقه بوده است.

بیشتر مطالعاتی که تاکنون در مورد شناسایی مناطق حساس و آسیب‌پذیر سواحل انجام‌شده است بر اساس شاخص CVI (coastal vulnerability index) بوده است (Doukakis, 2005; Zhang et al., 2017; El-Shahat et al., 2020; Mani Murali et al., 2013; Sankari et al., 2015; Ružić et al., 2019; دهشور و همکاران، ۱۳۹۳). اما در این مطالعه تلاش بر آن بوده تا با توجه به دخیل بودن انواع پارامترهای اکولوژیکی و اقتصادی اجتماعی در ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل (Tahri et al., 2017; Mani Murali et al., 2013; et al., 2013)، روش‌های ارزیابی چند معیاره (multi criteria decision making) در محیط GIS به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سواحل کاسپین مورد تجربه قرار گیرد. روش‌های ارزیابی چند معیاره (MCDM) بر پایه GIS یک روش و ایده موردقبول جهانی برای کمک به تصمیم‌گیران و طراحان برای ارزیابی، طبقه‌بندی و انتخاب مناطق بر اساس سیستم ارزش‌گذاری معیارها و گزینه‌ها است (Dhiman et al., 2018; Andalecio, 2010; Tahri et al., 2017; Liu et al., 2019; خدادوست و همکاران، ۱۳۹۵). تاکنون مطالعات کمی از روش‌های ارزیابی چند معیاره بر پایه GIS به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری و ریسک سواحل استفاده نموده‌اند. ازجمله نقشه‌سازی آسیب‌پذیری فیزیکی زون ساحلی Languedoc-Roussillon در شمال غرب سواحل مدیترانه در فرانسه با استفاده از روش AHP مطالعه‌ای

است که توسط Cozannet و همکاران (۲۰۱۳) انجام شده است. Wu و همکاران (۲۰۱۸) نیز به منظور تعیین آسیب‌پذیری اکولوژیک دلتای رود زرد در چین از روش FAHP و ۲۱ شاخص اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری اکولوژیک نمودند. Dhiman و همکاران (۲۰۱۸) طبقه‌بندی منطقه ساحلی بمبئی در هند را بر اساس (GIS) همراه با چند معیار تصمیم‌گیری (MCDM) انجام دادند. اکوسیستم حاشیه کاسپین در ساحل انزلی به دلیل بهره‌برداری‌های بی‌رویه در طول مهر و موم‌ها با مشکلات و معضلات فراوانی روبرو بوده است. از این رو با توجه به قوانین موجود در رابطه با حفظ حریم زیست‌محیطی سواحل و در راستای حفاظت از این منطقه ساحلی در شمال کشور و با هدف حفظ سایر کارکردهای اقتصادی منطقه ما در این تحقیق بر آن شدیم تا با پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اکولوژیک مناطق ساحلی کاسپین در ساحل انزلی زمینه لازم را برای مدیریت و حفاظت هر چه بیشتر این سواحل ارزشمند فراهم کنیم. بدین منظور در این تحقیق از یک فرآیند نوین بر اساس به کارگیری روش دلفی (Delphi method)، روش گامای فازی (Gama Fuzzy) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy process) (AHP)، در سواحل کاسپین استفاده شد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این مطالعه سواحل شهرستان بندرانزلی انتخاب شده است. این محدوده مطالعاتی با مساحت حدود ۸۹۱۴۷/۵ کیلومتر مربع بین ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول جغرافیایی و در بخش ساحلی-جلگه‌ای در غرب استان گیلان در شمال ایران و در مجاورت دریاچه بزرگ کاسپین واقع شده است (شکل ۱). این شهر دارای بزرگ‌ترین بندر ایران در سواحل جنوبی دریای کاسپین (کاسپین) است و با جمعیتی معادل ۱۱۸,۵۶۴ نفر یکی از متراکم‌ترین شهرهای ایران از لحاظ تراکم جمعیت محسوب می‌شود. آب‌وهوای منطقه مطالعاتی مرطوب بوده و با رکورد ۱۸۹۲ میلی‌متر مجموع بارندگی سالانه پر باران‌ترین منطقه ایران است. متوسط درجه حرارت بین ۵/۳ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت نسبی در این منطقه در سال بین ۷۱ تا ۹۷ درصد در نوسان است. به خاطر موقعیت جغرافیایی شهر بندر انزلی و وجود بندرگاه بزرگ، این شهر قطب اقتصادی، شیلات و صنعت گردشگری در ایران محسوب می‌گردد (Ramezani Gourab and Foroughe, 2010).



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی.

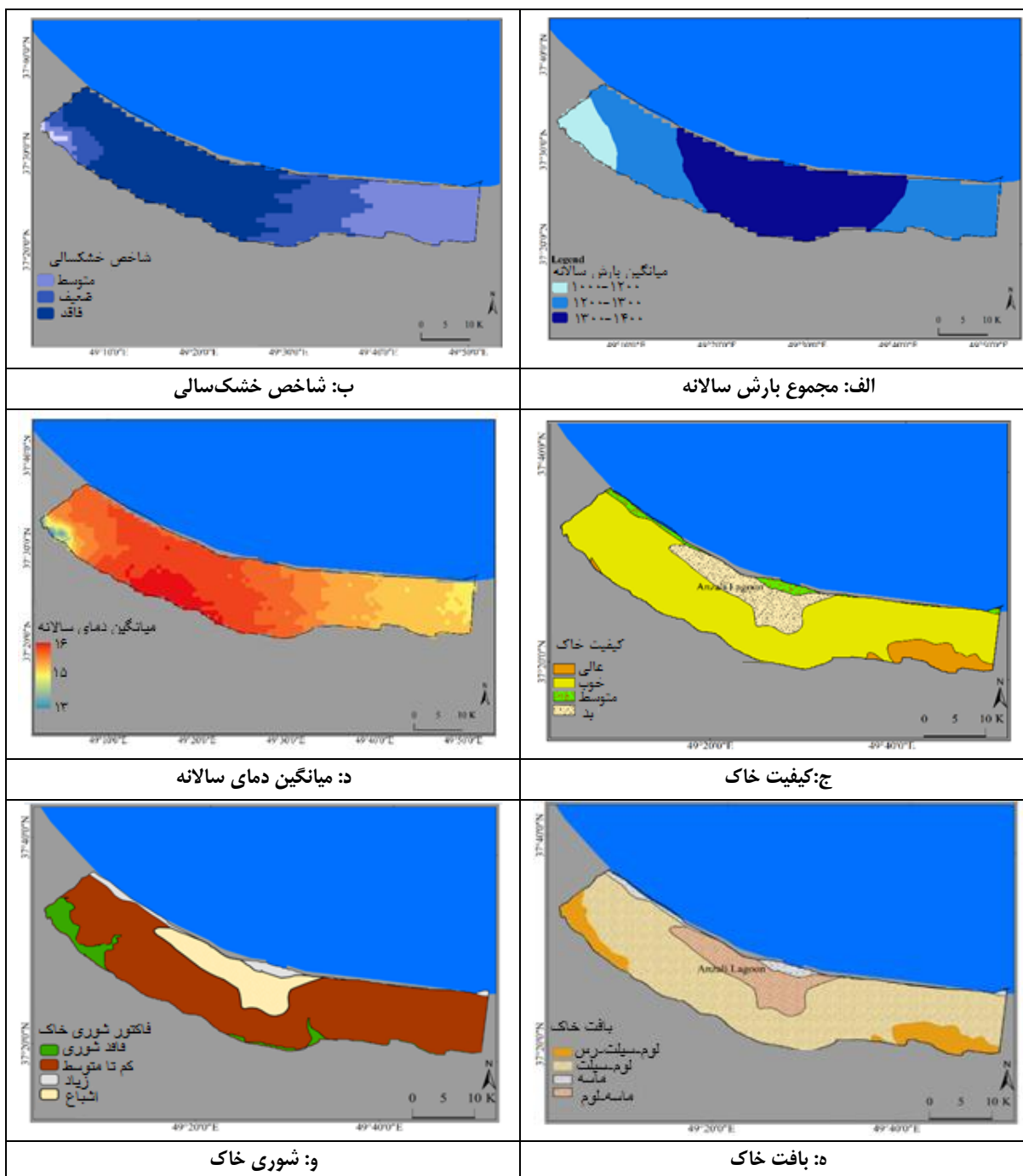
بخشی از محیط زیست طبیعی منطقه را دریا (۴۰ کیلومتر نوار ساحلی) که از چند جزیره و شبه جزیره تشکیل شده است و بخش مهم دیگر را اکوسیستم ارزشمند تالاب انزلی تشکیل می‌دهد. نوسانات سطح آب دریای کاسپین، گسترش روز افزون فعالیت‌های توسعه‌ای بدون لحاظ نمودن ملاحظات زیست‌محیطی در سواحل و تغییرات کاربری‌ها، کاهش تنوع زیستی، بهره‌برداری نادرست از منابع طبیعی، صید بی‌رویه، فرسایش نواحی ساحلی، لرزه‌خیزی بالای منطقه، استخراج و اکتشافات نفت بنادر و لنگرگاه‌ها، نبود سیستم مناسب تصفیه فاضلاب‌های خانگی، صنعتی، کشاورزی و فقدان زمین مناسب برای دفع پسماند و مواد زائد به دلیل بالا بودن سطح آب زیر زمینی از جمله مهم‌ترین نقاط ضعف و معضلات این پهنه ساحلی می‌باشند (Koolai and Goodarzi, 2009; لطفی و همکاران، ۱۳۹۵).

در گام اول این مطالعه به منظور بررسی و شناسایی معیارهای مؤثر در تعیین مناطق آسیب‌پذیر در سواحل انزلی با بررسی منابع داخلی و خارجی، گزارش‌های اکولوژیکی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و بررسی معضلات و مشاهدات میدانی، این معیارها در منطقه شناسایی شدند. بر این اساس و بر مبنای روش دلفی، اقدام به تهیه پرسشنامه‌هایی حاوی معیارهای انتخاب‌شده برای نظرسنجی از متخصصان گردید (Tahri et al., 2017; Chang et al., 2012; خدادوست و همکاران، ۱۳۹۵). با طراحی و توزیع پرسشنامه‌های مقایسه‌ای زوجی و نظرسنجی از خبرگان محیط‌زیست، اساتید دانشگاه و مهندسين و مدیران بخش‌های ساحلی، زیر معیارهای هر شاخص تعیین و با نمره دهی به آن‌ها از ۱ تا ۹ وزن دهی این معیارها و زیر معیارها انجام شد (Mani Murali et al., 2013; Cozannet et al., 2013). پس از جمع‌بندی مجموع نظرات کارشناسان ۷ معیار اصلی عوامل اقلیمی، پوشش گیاهی، منابع آب‌های زیرزمینی، خاک، توپوگرافی، کاربری اراضی و تعامل با دریا به همراه زیر معیارهای مربوطه انتخاب گردید که در جدول ۱ لیست شده است. همچنین منابع اطلاعاتی و روش‌های محاسباتی برخی از معیارها و زیر معیارهای مربوطه نیز در همان جدول (جدول ۱) آورده شده است. در ادامه پایگاه اطلاعاتی از همه معیارها بر اساس سیستم UTM بر پایه WGS 1984 زمین مرجع گردیده و به یک فرمت بر اساس مقیاس و رزولوشن مکانی مشترک (۳۰ × ۳۰ متر) در محیط GIS تبدیل گردیدند. نقشه پایه زیرمعیارها در شکل‌های ۲ تا ۴ آورده شده است.

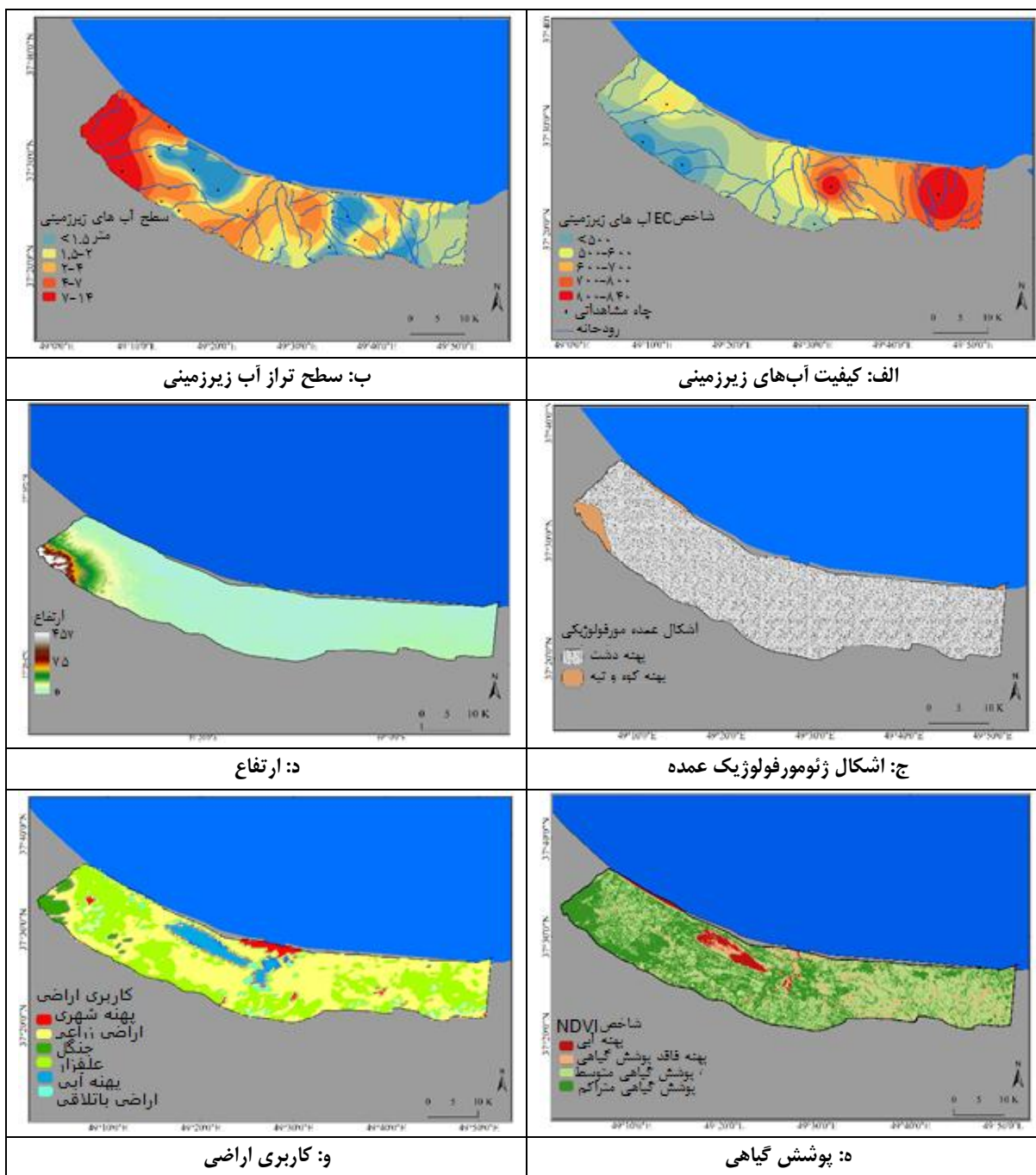
جدول ۱: معیارها و زیرمعیارهای انتخاب‌شده و منابع اطلاعاتی آن‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی.

زیر معیار	معیار	منبع	توابع، روش‌های محاسباتی و فرمول‌ها
خاک	بافت خاک	نقشه بافت خاک ایران	$Salinity\ Index = \left(\frac{Redband}{NIRband} \right) * 100$
	شوری خاک	تصاویر OLI لندست ۸ و EC نمونه‌برداری از خاک منطقه	
	کیفیت خاک	طبقه‌بندی موسسه آب‌و‌خاک ایران	
تعامل با دریا	شاخص فرسایش ساحلی	آشکارسازی جابجایی خط ساحلی با استفاده تصاویر لندست طی دوره ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸	تصویر OLI لندست ۸ برای می سال ۲۰۱۸، تصویر TM لندست ۵ برای می سال ۲۰۰۰
	سطح تراز آب	چاه‌های نمونه‌برداری	GIS در Ordinary Kriging Interpolation Model
زیرزمینی	زیرزمینی	چاه‌های نمونه‌برداری	GIS در Ordinary Kriging Interpolation Model
	کیفیت آب‌های زیرزمینی	چاه‌های نمونه‌برداری	GIS در Ordinary Kriging Interpolation Model
عوامل اقلیمی	میانگین دمای سالانه	ایستگاه‌های هواشناسی منطقه	GIS در Ordinary Kriging Interpolation Model
	مجموع بارش سالانه	ایستگاه‌های هواشناسی منطقه	GIS در Ordinary Kriging Interpolation Model
	شاخص خشک‌سالی	شاخص بارش استاندارد شده	شاخص SPI پیکسلی: $SPI = \left(\frac{Pi - \bar{P}}{SD} \right)$
توپوگرافی	ارتفاع	مدل ارتفاعی STRM-DEM	
	اشکال ژئومورفولوژیک عمده	نقشه ژئومورفولوژی سراسری ایران	
کاربری اراضی	پوشش اراضی	محصول MOD12Q1 سنجنده MODIS	
پوشش گیاهی	شاخص NDVI	Sentinel -2	$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right)$

برآورد شدت آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره / مرادپناه و همکاران



شکل ۲: نقشه پایه زیر معیارهای الف: مجموع بارش سالانه، ب: شاخص خشک‌سالی، ج: کیفیت خاک، د: میانگین دمای سالانه، ه: بافت خاک و: شوری خاک.



شکل ۳: نقشه پایه زیر معیارهای الف: کیفیت آب‌های زیرزمینی، ب: سطح تراز آب‌های زیرزمینی، ج: اشکال ژئومورفولوژیک عمده، د: ارتفاع، ه: پوشش گیاهی و: کاربری اراضی.



شکل ۴: نقشه پایه زیر معیار شاخص فرسایش ساحلی.

به‌منظور وزن دهی به معیارهای مطالعه از روش AHP استفاده شد. روش AHP یکی از مشهورترین روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است (Tahri *et al.*, 2017) که اولین بار توسط توماس ال. ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید (Saaty, 1990). اساس این روش تصمیم‌گیری بر اساس مقایسات زوجی و ایجاد درخت سلسله مراتبی است (Cozannet *et al.*, 2013). به‌کارگیری این روش مستلزم گام‌های زیر است (Liu *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2012; Andalecio, 2010؛ مشیری، ۱۳۸۰):

مرحله اول: تعریف مسئله موردنظر و معرفی تمام اهداف حل مسئله و تعیین معیارهای مؤثر.

مرحله دوم: ایجاد ساختاربندی معیارها در یک فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی و تشکیل درخت تصمیم‌گیری.

مرحله سوم: تشکیل ماتریس مقایسات جفتی (Pair wise comparison matrix).

مرحله چهارم: استخراج ضرایب اهمیت ماتریس‌ها و وزن معیارها.

روش تعیین وزن معیارها مقایسه دو دویی است که بر اساس قضاوت ترجیحی با مقادیر ۱ تا ۹ و جدول ساعتی (Chang *et al.*, 2012; Saaty, 1990) ارائه می‌شود.

مرحله پنجم: آزمون سازگاری ماتریس مقایسات زوجی.

مرحله ششم: تعیین امتیاز یا اهمیت نسبی گزینه‌های تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی آن‌ها در رابطه با معیارها و هدف کلی بر اساس امتیازات به‌دست‌آمده (Dhiman *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2018; Andalecio, 2010).

پس‌ازآن اقدام به استانداردسازی این لایه‌ها با استفاده از تکنیک منطق فازی (Fuzzy Logic) گردید. در منطق فازی هر لایه در مقیاسی بین صفر و یک درجه‌بندی می‌شود که هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، مطلوبیت منطقه بر اساس معیار موردنظر افزایش خواهد یافت (Wu *et al.*, 2018).

(2018). به‌منظور طراحی و اجرای توابع عضویت فازی (Fuzzy Membership Function) جهت استانداردسازی لایه‌های معیار در این مطالعه از روش گامای فازی نقشه‌نمایی فازی شده هرکدام از معیارها در محیط GIS به دست آمد. فازی گاما بر اساس معادله زیر نقشه‌های حاصل از جمع جبری و ضرب جبری را با یکدیگر تلفیق می‌نماید (رابطه ۱). دامنه مقادیر توابع عضویت فازی استفاده‌شده برای معیارهای مطالعه در جدول ۲ آمده است که تعاریف این کلاسه‌ها بر اساس نظرات کارشناسان و مطالعات دیگران می‌باشد (Mani Murali et al., 2013):

$$\mu_{Combination} = (FuzzySum)^{\delta} * (Fuzzyproduct)^{1-\delta} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$\mu_{Combination}$ لایه‌ی گامای فازی

Fuzzyproduct ضرب لایه‌های فازی شده

Fuzzysum جمع جبری لایه‌های فازی شده

گاما در محدوده‌ی بین صفر تا یک انتخاب می‌شود.

جدول ۲: نوع و دامنه توابع عضویت فازی تعریف‌شده برای معیارها و غیرمعیارهای به‌کار رفته در مطالعه و منابع آن‌ها.

زیر معیار	نوع تابع عضویت	عدد تابع عضویت	منبع
بافت خاک	خطی	۰/۷	Qiao et al., 2013.
		۰/۶	Wu et al., 2018.
		۰/۶	Dhiman et al., 2018.
		۰/۴	El- Shahat et al., 2020.
شوری خاک	خطی	۰/۰	Qiao et al., 2013.
		۰/۱	Wu et al., 2018.
		۰/۵	
		۰/۸	
کیفیت خاک	خطی	۰/۰	Qiao et al., 2013.
		۰/۲	Wu et al., 2018.
		۰/۵	Dhiman et al., 2018.
		۰/۷	
کاربری اراضی	خطی	۰/۵	Qiao et al., 2013.
		۰/۴	Wu et al., 2018.
		۰/۰	Sudha Rani et al., 2015.
		۰/۰	Chang et al., 2012.
		۰/۳	Cozannet et al., 2013.
		۰/۲	Sankari et al., 2015.
		۰/۲	Dhiman et al., 2018.
		۰/۴	El- Shahat et al., 2020.
پوشش گیاهی (NDVI)	خطی	۰/۴	Ružić et al., 2019.
		۰/۴	Akumu et al., 2019
		۰/۸	Qiao et al., 2013.
		۰/۳	Wu et al., 2018.
		۰/۳	Dhiman et al., 2018.
		۰/۰	El- Shahat et al., 2020.
اشکال مورفولوژیک عمده	خطی	۰/۰	Ružić et al., 2019.
		۰/۰	Akumu et al., 2019
		۰/۱	Wu et al., 2018.
		۰/۲	Cozannet et al., 2013.
		۰/۲	Sankari et al., 2015.

منبع	عدد تابع عضویت	نوع تابع عضویت	زیر معیار
Tahri <i>et al.</i> , 2017.			
Wu <i>et al.</i> , 2018. Cozannet <i>et al.</i> , 2013.	۰/۴	خطی	۲< متر
	۰/۳		۲-۵ متر
	۰/۳		بیش از ۵ متر
Wu <i>et al.</i> , 2018. Chang <i>et al.</i> , 2012.	۰/۲	خطی	۶۰۰< میکروموس بر سانتیمتر
	۰/۵		۶۰۰-۸۰۰
	۰/۷		>۸۰۰
Qiao <i>et al.</i> , 2013. Dhiman <i>et al.</i> , 2018. Cozannet <i>et al.</i> , 2013. Tahri <i>et al.</i> , 2017. El- Shahat <i>et al.</i> , 2020. Ružić <i>et al.</i> , 2019.	۰/۳	خطی	<۱۰۰
	۰/۴		۱۰۰-۳۰۰
	۰/۵		<۳۰۰
Wu <i>et al.</i> , 2018. Sudha Rani <i>et al.</i> , 2015.	۰/۱	خطی	۱۰۰۰> میلی متر در سال
Wu <i>et al.</i> , 2018. Sudha Rani <i>et al.</i> , 2015. Akumu <i>et al.</i> , 2019	۰/۳	خطی	۱۳-۱۵,۱
	۰/۲		>۱۵,۱
Wu <i>et al.</i> , 2018.	۰/۰	خطی	فاقد خشک سالی
	۰/۱		ضعیف
	۰/۴		متوسط
Wu <i>et al.</i> , 2018. Sudha Rani <i>et al.</i> , 2015. Cozannet <i>et al.</i> , 2013. Dhiman <i>et al.</i> , 2018. El- Shahat <i>et al.</i> , 2020. Ružić <i>et al.</i> , 2019.	۰/۷	تابع small	منطقه جابجا شده
	۰/۲		جابجا نشده

سرانجام در مرحله تلفیق لایه‌ها به منظور دسترسی به مکان‌های آسیب‌پذیر بر اساس فرمول (رابطه ۲) نقشه نهایی ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل انزلی به دست آمد (Liu *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2018).

$EV = \sum_{i=1}^N W_i A_i$	رابطه ۲:
-----------------------------	----------

EV: درجه آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی، W_i : وزن معیار i ام، A_i : ارزش فازی معیار i ام که بر اساس تابع عضویت گاما در مرحله قبل به دست آمده است.

نتایج

در این مطالعه پس از ورود لایه‌های اطلاعاتی مربوط به معیارها به محیط GIS، وزن معیارها بر اساس روش AHP به دست آمد که در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، وزن تعیین شده به این روش نشان می‌دهد که به ترتیب معیار خاک با وزن ۰/۲۷ بیشترین وزن، پس از آن کاربری اراضی (۰/۲۴)، آب‌های زیرزمینی (۰/۱۸) و پوشش گیاهی (۰/۱۵) بالاترین اهمیت را در بین پارامترهای مطرح در ارزیابی

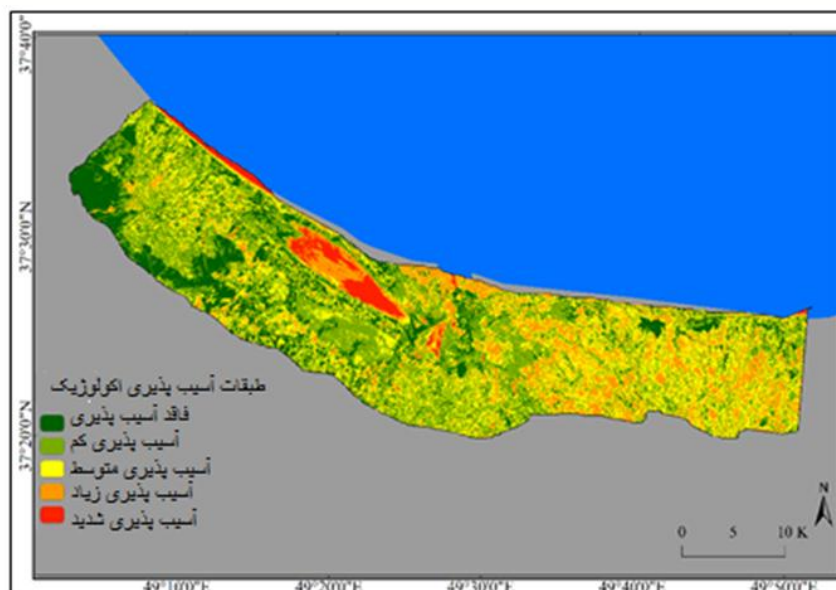
آسیب‌پذیری منطقه مطالعاتی داشته، درحالی‌که معیار توپوگرافی و شاخص فرسایش ساحلی و عوامل اقلیمی، کم‌ترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۳: وزن‌های به‌دست‌آمده از ماتریس مقایسه زوجی (در سواحل انزلی تابستان ۱۳۹۷).

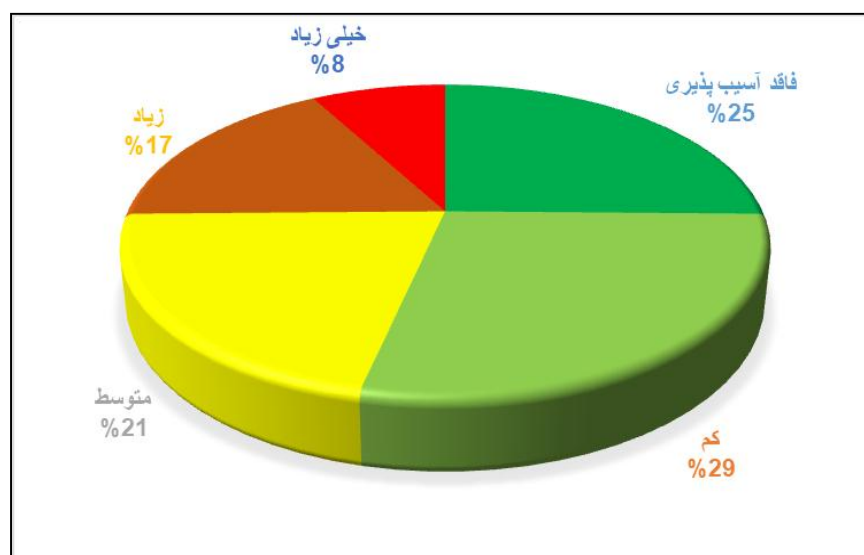
معیارهای اصلی	وزن بین عاملی	زیرمعیارها	وزن نسبی درون عاملی	وزن اثبات‌شده درون عاملی
خاک	۰/۲۷	بافت خاک	۰/۱۵	۰/۰۴۳
		شوری خاک	۰/۴۵	۰/۱۱۷
		کیفیت خاک	۰/۴	۰/۱
اثرات دریایی	۰/۰۴۲	شاخص فرسایش ساحلی	۱	۱
آب‌های زیرزمینی	۰/۱۸	سطح تراز آب زیرزمینی	۰/۵۷	۰/۰۱۰
		کیفیت آب‌های زیرزمینی	۰/۴۳	۰/۰۸
		میانگین دمای سالانه	۰/۳۵	۰/۰۱۷۵
عوامل اقلیمی	۰/۰۷	مجموع بارش سالانه	۰/۴۸	۰/۰۳۳۶
		شاخص خشک‌سالی	۰/۱۷	۰/۱۲
		ارتفاع	۰/۹۲	۰/۰۳۶۸
توپوگرافی	۰/۰۴	اشکال ژئومورفولوژیک عمده	۰/۰۸	۰/۰۰۳۲
کاربری اراضی	۰/۲۴	پوشش اراضی	۱	۱
پوشش گیاهی	۰/۱۵	شاخص NDVI	۱	۱

در مرحله بعد نقشه‌های فازی شده معیارهای تصمیم‌گیری در محیط GIS ایجاد شد. در مرحله نهایی، نقشه معیارها و وزن‌های به‌دست‌آمده از روش AHP بر اساس فرمول EVI و رابطه ۸ باهم تلفیق و نقشه نهایی مناطق با آسیب‌پذیری اکولوژیک در سواحل انزلی ایجاد شد. شکل ۵ پهنه‌بندی درجه آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی در منطقه مورد مطالعه که در ۴ طبقه، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری شدید و آسیب‌پذیری خیلی شدید طبقه‌بندی شده است را نشان می‌دهد. بر اساس شکل‌های ۵ و ۶ از کل منطقه مورد مطالعه ۲۲۶۱۶/۶ هکتار دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد (۲۵ درصد کل منطقه) و ۱۹۱۷۹/۹ هکتار (۲۱ درصد از منطقه) دارای درجه آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد. این در حالی است که ۲۴۸۴۸/۵ هکتار معادل ۲۸ درصد از سواحل انزلی دارای پتانسیل آسیب‌پذیری کم و ۲۵ درصد باقیمانده منطقه (۲۲۵۲/۴ هکتار) بدون پتانسیل آسیب‌پذیری تشخیص داده شده است.

برآورد شدت آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره / مرادپناه و همکاران



شکل ۵: نقشه نهایی ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی (تابستان ۱۳۹۷).



شکل ۶: مساحت و درصد هر کدام از طبقات آسیب‌پذیری اکولوژیک در سواحل انزلی (تابستان ۱۳۹۷).

برای بررسی و صحت سنجی طبقات آسیب‌پذیری اکولوژیک اقدام به نمونه‌برداری میدانی از دو معیار شوری خاک و پوشش گیاهی در هر کدام از طبقات آسیب‌پذیری اکولوژیک منطقه گردید. نتایج این اعتبارسنجی به صورت جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد دو شاخص مهم تأثیرگذار در تعیین آسیب‌پذیری اکولوژیک یعنی شاخص پوشش گیاهی NDVI و میزان شوری خاک برحسب دسی زیمنس بر متر در این نمونه‌های میدانی اندازه‌گیری شده است. نتایج این اعتبارسنجی میدانی صحت طبقات تعیین شده را آشکار نمود. به‌طوری‌که در طبقه بدون ریسک آسیب‌پذیری اکولوژیک نمونه‌های برداشته شده از خاک دارای EC پایین‌تر از ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بوده‌اند و شاخص پوشش

گیاهی بالاتر از ۰/۷ بوده است. درحالی‌که در طبقه با بیشترین میزان آسیب‌پذیری میزان EC خاک که نمایه شوری خاک است، بیشتر از ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده است و از لحاظ شاخص پوشش گیاهی نیز این طبقه فاقد پوشش گیاهی بوده است.

جدول ۴: ماتریس اعتبارسنجی میدانی طبقات آسیب‌پذیری اکولوژیکی بر اساس دو شاخص شوری خاک و NDVI (در سواحل انزلی تابستان ۱۳۹۷).

درجه آسیب‌پذیری	NDVI	شوری خاک
بدون آسیب‌پذیری	۰/۷ <	ds/m ۰/۷ >
آسیب‌پذیری کم	۰/۵	ds/m ۱/۷
آسیب‌پذیری متوسط	۰/۳	ds/m ۲/۳
آسیب‌پذیری شدید	۰/۲	ds/m ۳/۱
آسیب‌پذیری خیلی شدید	۰	ds/m ۳/۵ <

بحث و نتیجه‌گیری

بیشتر سواحل ایران از جمله سواحل جنوبی دریای کاسپین ناشناخته مانده است. طول نوار ساحلی دریای کاسپین محل تمرکز اکوسیستم‌های ارزشمند مانند مصب‌ها، تالاب‌ها، زیستگاه‌های مهم حیات وحش و ... است که نیازمند مدیریت خاص می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به وجود انواع آلاینده‌ها، فرسایش و سایر مشکلات ریزودرشتی که این سواحل با آن دست‌به‌گریبان است در کنار افزایش تدریجی جمعیت و توسعه روزافزون در منطقه، به‌منظور بهره‌وری و مدیریت پایدار و لزوم تعیین مناطق حساس، تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری اکولوژیک این سواحل که در این تحقیق به آن پرداخته شده است، می‌تواند راهبردی ارزشمند در مدیریت این منابع زیستی ارزشمند باشد. در این راستا در مطالعه حاضر بر اساس روش‌های ارزیابی چندمعیاره بر پایه GIS اقدام به پهنه‌بندی نقاط آسیب‌پذیر در سواحل انزلی در جنوب دریای کاسپین گردید.

نتایج حاصل از روش AHP به‌منظور وزن دهی به معیارها نشان داد که از بین ۷ معیار در نظر گرفته شده در این مطالعه، به ترتیب معیارهای خاک (با زیر معیارهای بافت، شوری و کیفیت)، کاربری اراضی، آب‌های زیرزمینی و پوشش گیاهی وزن‌ترین معیارها بوده‌اند. این نشان‌دهنده آن است که معیارهای یادشده مهم‌ترین نقش را در ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل منطقه داشته‌اند. نقشه نهایی آسیب‌پذیری اکولوژیک منطقه نیز بیشترین تطابق را با نقشه‌های این معیارها نشان می‌دهد. این در حالی است که بررسی‌های دو پژوهش Mani Murali و همکاران (۲۰۱۳) در ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل شرقی هند و Tahri و همکاران (۲۰۱۷) در پهنه‌بندی ریسک آسیب‌پذیری سواحل Mohammedia در مراکش با همان روش AHP، عامل‌های شیب، ژئومورفولوژی زمین، ارتفاع را به‌عنوان مهم‌ترین معیارها نشان داده است. مطالعه Dhiman و همکاران (۲۰۱۸) در طبقه‌بندی مناطق ساحلی شهری در بمبئی هند بیشترین وزن را لایه کاربری اراضی داشته است. ولی در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، مطالعه Wu و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی آسیب‌پذیری اکولوژیک دلتای رود زرد در چین معیارهای وضعیت خاک شامل شوری و کیفیت و آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی، بالاترین وزن را داشته‌اند. همچنین کمترین تأثیر را از میان معیارها عوامل اقلیمی، توپوگرافی داشته است. به‌دلیل وسعت کم منطقه مطالعه، اختلاف ارتفاع و شیب در منطقه کم بوده و درعین حال، قسمت عمده آن شامل جلگه ساحلی و تهنشست‌های رسوبی است؛ بنابراین دامنه اختلاف دمایی و بارش این سواحل نیز کم می‌باشد و این موضوع می‌تواند در وزن پایین به‌دست‌آمده این معیارها مؤثر باشد. عامل فرسایش خط ساحلی نیز به دلیل مساحت کم منطقه دارای وزن کمی در کل مطالعه بوده است. پارامتر خط ساحلی به دلیل عدم قطعیت یا عدم دقت در عوامل ارزیابی آن با عدم اطمینان همراه است (Tahri et al., 2017). Mani Murali و همکاران (۲۰۱۳) در توضیح

این امر بیان می‌دارند که تغییرات خط ساحلی فقط یک شاخص کلی از رفتار سواحل می‌باشد و نمی‌تواند برای پیش‌بینی روند آینده خط ساحلی بازمان مدنظر قرار گیرد.

نقشه خروجی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سواحل انزلی نشان می‌دهد که در کل پراکنش طبقات آسیب‌پذیری در منطقه نامنظم بوده است. عمده حضور مناطق با آسیب‌پذیری کمتر یا فاقد آسیب‌پذیری که در کل حدود ۵۳ درصد منطقه را در بر دارد بیشتر در منطقه جنگلی و علفزارها در قسمت‌های غربی و جنوب غربی می‌باشد؛ اما مناطق با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد که حدود یک‌چهارم مساحت منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده است به‌طور متمرکز بیشتر در قسمت‌های مربوط به پهنه‌های آبی منطقه، تالاب انزلی و منطقه حفاظت‌شده سیاه کشم و پناهگاه حیات‌وحش سرخانگل و خود محدوده شهر انزلی قرار دارد، در باقی مناطق به‌صورت پراکنده در قسمت‌های شمالی خط ساحلی و شرقی و جنوب شرقی که بیشترین محل حضور زمین‌های کشاورزی است، قرار گرفته که محل حضور روستاهای پراکنده و جمعیت زیاد در این مناطق می‌باشد. همچنین در یک نگاه کلی مناطق یادشده منطبق با مناطق باکیفیت خاک متوسط تا بد، شوری زیاد خاک، خاک ماسه‌ای تا ماسه لوم و بالاترین مقادیر EC آب‌های زیرزمینی به‌خصوص در محدوده تالاب و زمین‌های کشاورزی در قسمت‌های شرقی می‌باشد.

تاکنون مطالعات بسیار کمی در خصوص آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل با استفاده از روش‌های ارزیابی چندمعیاره بر پایه GIS انجام شده است. در تمام آن‌ها این روش، با توجه به ماهیت مسئله ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل که در آن هم‌زمان معیارهای مختلف اکولوژیک، فنی و اقتصادی اجتماعی دخیل می‌باشد، یک رویکرد مناسب در تصمیم‌گیری تلقی گردیده است (Wu et al., 2018؛ Tahri et al., 2017؛ Cozannet et al., 2013؛ Ružić et al., 2019؛ Dhiman et al., 2018). علاوه بر آن نقشه‌سازی آسیب‌پذیری سواحل بر اساس دو روش AHP و گامای فازی از کارآمدترین و پرکاربردترین و مقبول‌ترین این روش‌هاست (Andalecio, 2010؛ Mani Murali et al., 2013).

بررسی خدادوست و همکاران (۱۳۹۵)، به‌منظور تعیین اولویت خطرپذیری مناطق ساحلی به ریزش‌های نفتی با روش AHP و تحلیل شبکه‌ای (ANP) در سواحل بوشهر، روش تحلیل شبکه‌ای را با توجه به ساختار مسئله و همچنین ارزیابی‌های زمینی در مبحث حساسیت نوار ساحلی بوشهر، در تطابق بیشتری با واقعیت می‌داند. نتایج نشان داد که در کل ۳۷/۴ درصد منطقه دارای خطرپذیری زیاد و خیلی زیاد بوده و منطقه حفاظت‌شده پارک ملی دریایی نابیند در عسلویه جزو مناطق با خطرپذیری زیاد قرار گرفت. نقشه نهایی آسیب‌پذیری در سواحل شرقی هند در پژوهش Mani Murali و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که کل منطقه بین Muthiayet و Kirumampakhkum به همراه قسمت شمالی Kalapet مناطق با آسیب‌پذیری بالا بوده که ۵۰ درصد کل سواحل را شامل می‌شود. ۲۵ درصد از منطقه ساحلی بین قسمت‌های جنوبی Kalapet و Lawspet، منطقه با آسیب‌پذیری متوسط و ۲۵ درصد باقیمانده مناطق با آسیب‌پذیری کم بوده است. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که روش AHP به کار گرفته‌شده یک روش عینی برای تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری سواحل و راهنمایی برای جلوگیری از فجایع طبیعی ویران‌کننده و دخالت‌های مخرب انسانی می‌باشد. مطالعه آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل چین توسط Wu و همکاران (۲۰۱۸) با روش AHP و فازی نشان داد که برخلاف نتایج این پژوهش توزیع مکانی آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل دلتای رود زرد، منظم بوده به‌طوری‌که بافاصله از ساحل درجه آسیب‌پذیری کمتر شده است. مناطق با آسیب‌پذیری شدید بیشتر در قسمت‌های شمالی ساحل با مساحت ۲۲/۳ درصد، آسیب‌پذیری خیلی شدید (۱۸/۸ درصد)، مناطق با آسیب‌پذیری متوسط و کم با بیشترین مساحت (۴۹/۷۱ درصد) در مناطق پست و قسمت‌های میانی ساحل و مناطق بدون آسیب‌پذیری مساحتی حدود ۹/۱۹ درصد را تشکیل داده‌اند. نتایج کلی حاکی از مفید بودن ترکیب روش فازی و AHP در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل بوده است. پهنه‌بندی ریسک آسیب‌پذیری سواحل Mohammedia در مراکش با FAHP در سه طبقه ریسک آسیب‌پذیری نشان داد که مناطق با آسیب‌پذیری بالا در سواحل شرقی شامل شمال Munica و Sabletttes، مناطق با ریسک متوسط در قسمت‌های داخلی در سرتاسر خلیج Mohammedia و با مساحت ۷۵ درصد قرار گرفته و ۷ درصد این منطقه ساحلی با ریسک کم در غرب خلیج و بندر Mohammedia قرار دارد. درنهایت آن‌ها بیان می‌دارند که تعیین آسیب‌پذیری با روش GIS-FAHP به‌طور مؤثر در تصمیم‌گیری در مورد

مناطق درخطر، کمک‌کننده بوده است (Tahri et al., 2017). نتایج مطالعه Dhiman و همکاران (۲۰۱۸) در طبقه‌بندی منطقه ساحلی بمبئی و استخراج شاخص منطقه ساحلی (CAI) در هند را بر اساس یک رویکرد GIS-AHP و شاخص‌های زمین‌شناسی، خاک، ارتفاع، شیب، NDVI، تغییرات خط ساحلی و کاربری اراضی، نشان داد که طبقه‌بندی CAI بر اساس این روش امکان‌پذیر است و امکان یک تصمیم‌گیری بهتر برای مسئولان توسعه و برنامه‌ریزی برای طبقه‌بندی مناطق ساحلی را فراهم می‌کند. Liu و همکاران (۲۰۱۹) آسیب‌پذیری اکولوژیکی دریاچه Fuxian چین را بر اساس فناوری RS و GIS، روش AHP و داده‌های جمع‌آوری‌شده در سال‌های ۱۹۷۴، ۱۹۷۷، ۱۹۸۷، ۱۹۹۰، ۱۹۹۶، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ با هدف حفاظت از محیط‌زیست مورد بررسی قرار دادند. نتایج شاخص آسیب‌پذیری زیست‌محیطی سالانه نشان‌دهنده یک حالت گذار بین آسیب‌پذیری کم و آسیب‌پذیری متوسط با روند ثبات کلی در حوضه دریاچه از سال ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۵ در منطقه بوده است. مزیت روش AHP آن است که این روش با توجه به سادگی، انعطاف‌پذیری، پردازش سریع داده‌ها، همچنین تبدیل دیدگاه کارشناسانه به اعداد و ارقام، استفاده از طیف وسیعی از داده‌های کمی و کیفی به‌طور هم‌زمان و قابلیت ادغام آن‌ها، توانایی تبدیل اطلاعات کمی به کیفی و نیز توانایی بررسی سازگاری در قضاوت‌ها می‌تواند در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل کاربرد مطلوبی داشته باشد (Mani Murali et al., 2013; Dhiman et al., 2018; Cozannet et al., 2013; Andalecio, 2010; Tahri et al., 2017). روش گامای فازی به‌کار رفته نیز با تعریف توابع عضویت فازی، درجه‌بندی آسیب‌پذیری مناطق بر اساس معیارها را انعطاف‌پذیرتر نموده و بر اساس کمک به کمی‌سازی ارزیابی نتایج، ساخت نقشه‌ای با جزئیات مکانی بیشتر را ممکن می‌سازد (Wu et al., 2018).

این‌درحالی است که موفقیت شاخص CVI در ارزیابی آسیب‌پذیری ساحلی و تهیه نقشه آن در منطقه‌ای دارای شرایط زمین‌شناسی پیچیده در جزیره Krk، شمال شرقی دریای آدریاتیک در جنوب کرواسی بر اساس معیارهای اساس زمین‌شناسی، شیب ساحلی، عرض ساحل و ارتفاع موج و کاربری اراضی، با تأکید بر اهمیت عامل زمین‌شناسی نشان داده است که این روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل صخره‌ای محلی مناسب است (Ružić et al., 2019). El-Shahat و همکاران (۲۰۲۰) آسیب‌پذیری سواحل آفریقا را با این شاخص و بر اساس پارامترهای فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی مربوط به این سواحل بررسی نمودند. نتایج نشان داد که ۴۰ درصد سواحل آفریقا در معرض خطر متوسط تا بسیار زیاد هستند. دو پژوهش یادشده شاخص CVI را روشی انعطاف‌پذیر و یک ابزار پشتیبانی‌قدرتمند در تصمیم‌گیری در مورد وضعیت سواحل محسوب می‌گردند. Akumu و همکاران (۲۰۱۸)، برای بررسی الگوی توزیع تالاب‌های داخلی و میزان آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر اختلالات طبیعی و انسانی از جمله تغییرات آب و هوایی (افزایش دما) و فعالیت‌های انسانی در اطراف رودخانه Tennessee در آمریکا از GIS و تصاویر سری زمانی ماهواره لندست ۸ و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و نزدیک‌ترین همسایه استفاده نمودند. از متغیرهای جاده‌ها، پوشش زمین/کاربری اراضی (مناطق توسعه‌یافته و کشاورزی) و داده‌های اقلیمی (دما) برای پیش‌بینی انواع تالاب‌های بالقوه آسیب‌پذیر استفاده شد. الگوی توزیع مکانی خوشه‌ای در بین کلیه تالاب‌های سرزمینی با درجه متنوع مشاهده شد. همچنین حدود ۱۳ درصد مناطق تالابی آب‌های آزاد، ۱۱ درصد از مناطق تالابی جنگلی و ۷ درصد تالاب‌های در حال ظهور به‌طور بالقوه در معرض خطرترین عوامل استرس‌زای انسانی و طبیعی قرار دارند.

به دلیل مطالعات کم انجام‌شده در زمینه پژوهش حاضر بر اساس روش‌های ارزیابی چند معیاره، اشکالات ذاتی و کلی در انتخاب معیارهای مؤثر و اختلاف‌نظر در رتبه‌بندی این معیارها در مناطق مختلف وجود دارد. در انتخاب معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل بهترین کار آن است که بر اساس بازدهی‌های میدانی و نظرات خبرگان زیست‌محیطی و مهندسی سواحل برای هر منطقه به‌صورت خاص تعیین گردد. بر این اساس پیشنهاد می‌گردد علاوه بر معیارهای به‌کار گرفته‌شده، پارامترهای اقتصادی-اجتماعی مانند فاصله از جاده، مناطق توریستی و جمعیت در کنار پارامترهای فیزیکی در تعیین مناطق آسیب‌پذیر در سواحل مورد استفاده قرار گیرد. این امر باعث افزایش دقت نتایج گردیده و نقشه نهایی مناطق با خطر بالا با شفافیت بیشتری مشخص می‌شود (Ružić et al., 2019; Mani Murali et al., 2013) (تقویت مقاومت به سیل با ایجاد سیل‌بند در مناطق با آسیب‌پذیری بالا، ایجاد سیستم‌های زهکشی به‌منظور از بین بردن نمک و املاح در آب‌های زیرزمینی مناطق تحت

کشت، همچنین اصلاح و یا تدوین قوانین و استانداردهای مدیریت سواحل به‌منظور جلوگیری از ساخت‌وسازهای بی‌رویه در سواحل پیشنهاد می‌گردد تا توسعه پایدار و چندمنظوره این سواحل ارزشمند در سال‌های آتی تضمین گردد. این مطالعه یک روش کاراً با ابزار GIS و MCDM برای تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری سواحل ارائه داده است. نقشه خطر آسیب‌پذیری سواحل ساخته شده علاوه بر آن که می‌تواند با شناسایی مناطق پرخطر به مدیران و تصمیم‌گیران برای اتخاذ استراتژی مناسب در به حداقل رساندن خطرات تهدیدکننده سواحل و زیستگاه‌های حساس موجود در این منطقه، کاهش تلفات، آلودگی‌ها و خسارات به هنگام بروز فجایع کمک کند، می‌تواند راهنمایی برای انتخاب محل تأسیسات جدید یا انتخاب مناطق گردشگری باشد.

اکوسیستم‌های ساحلی، در بسیاری از نقاط دنیا با تهدیدهایی از قبیل فعالیت‌های تجاری، صنعتی، حوادث طبیعی و ... در مناطق ساحلی مواجه هستند که معمولاً اثرات نامطلوب بر محیط‌زیست می‌گذارند. به همین دلیل ضرورت دارد که این سیستم‌های طبیعی و گران‌بها با توجه به ترانه‌ای زیست‌محیطی و اکولوژیکی و به خاطر نسل‌های کنونی و آینده مدیریت و حفاظت شوند؛ بنابراین به‌منظور اعمال مدیریت یکپارچه جهت حفاظت این مناطق اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری اکولوژیک این مناطق در سواحل انزلی واقع در جنوب دریای کاسپین گردید. پس از نهایی‌سازی معیارهای هدف بر اساس روش دلفی، انتخاب مهم‌ترین معیارها بر اساس روش AHP و استانداردسازی لایه‌های معیار بر اساس روش گامای فازی، نقشه نهایی ارزیابی درجه آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل انزلی با ۵ کلاس طبقه‌بندی، در محیط GIS ساخته شد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده ۲۵ درصد از سطح منطقه ساحلی یادشده بدون درجه آسیب‌پذیری، به ترتیب ۸ و ۱۷ درصد از منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد بوده است که بیشتر در مناطق اطراف تالاب انزلی و مناطق حفاظت‌شده مجاور آن و منطقه ساحلی مجاور دریا قرار دارد. بیشترین مساحت را مناطق با آسیب‌پذیری کم (۲۴۸۴۸/۵ هکتار) اشغال نموده است. تنوع درجات آسیب‌پذیری در منطقه و پراکنش ناهمگون مکانی آن کاملاً مشهود است. در بیشتر نقاط بافاصله از خط ساحلی ریسک آسیب‌پذیری کاهش نشان می‌دهد. توزیع مکانی طبقات آسیب‌پذیری اکولوژیک با شرایط طبیعی منطقه به لحاظ فاکتورهای طبیعی آب، خاک و پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطبق است که بر اساس روش AHP، این عوامل تأثیرگذارترین پارامترها با بالاترین وزن بوده‌اند.

در نهایت نتایج این مطالعه، کاربری روش‌های ارزیابی چند معیاره را در ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیک سواحل تأیید نموده و نقشه پهنه‌بندی به‌دست‌آمده می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای تصمیم‌گیران در شناسایی و اولویت‌بندی مناطق حفاظتی باشد تا بر اساس آن نیازهای مهندسی طراحی و بودجه‌ها تنظیم گردد؛ بنابراین لازم است ساخت‌وسازهای مصنوعی در زمین‌های با درجه آسیب‌پذیری بالا به‌خصوص در قسمت‌های شمالی در مجاورت دریا و اطراف تالاب کاهش‌یافته، از ویلاسازی در این مناطق اجتناب گردد تا ضمن جلوگیری از تخریب این مناطق انسان‌ساخت به خاطر سیل و فجایع طبیعی، از آلودگی دریا و بخش ساحلی نیز جلوگیری شود. در انتها، مشاهده و پایش سواحل و بررسی پویایی مکانی-زمانی آسیب‌پذیری اکولوژیک منطقه با داده‌های زمانی- مکانی به‌منظور مطالعات عمقی‌تر ویژگی‌های زیست‌محیطی منطقه به همراه انتخاب و اضافه-سازی شاخص‌های مناسب‌تر و تداوم در جمع‌آوری داده‌ها پیشنهاد می‌گردد. بررسی‌های اکولوژیک نظیر آنچه در این پژوهش انجام شد می‌تواند برای اصلاح و یا تدوین قوانین و استانداردهای مدیریت سواحل به کار گرفته شود.

منابع

- خدادوست، ح.، وفایی، ف. و هادی پور، و.، ۱۳۹۵. تعیین اولویت‌ها و تولید نقشه خطرپذیری مناطق ساحلی به ریزش‌های نفتی با مقایسه روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای - مطالعه موردی سواحل استان بوشهر، نشریه مهندسی دریا، شماره ۱۲، صفحات ۶۸-۵۷.
- داور، ل.، عزیزی جلیلیان، م.، رفیعی، ر. و دانه‌کار، ا.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری نوار ساحلی استان سیستان و بلوچستان بر اساس کانون‌های تهدیدکننده، محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، شماره ۶۷، صفحات ۳۰۰-۲۸۹.

دهشور، ط.، دانه‌کار، ا.، منوری، م.، ریاضی، ب. و خیرخواه زرکش، م.، ۱۳۹۳. تحلیلی بر روش‌های سنجش آسیب‌پذیری در محیط‌زیست ساحلی، فصلنامه انسان و محیط‌زیست، شماره ۲۸، صفحات ۴۲-۶۲.

رمضانی، ب. و طالقانی، م.، ۱۳۹۰. رویکرد به مدیریت یکپارچه محیطی در سازمان‌دهی سواحل کشور (فرصت‌ها، چالش‌ها و راهکارها)، مجله سپهر، شماره ۲۴، صفحات ۹۰-۹۴.

کولایی، ا. و گودرزی، م.، ۱۳۸۸. تهدیدهای زیست‌محیطی دریای مازندران و نقش کنوانسیون تهران در مقابله با آن، مجله علوم محیطی، شماره ۷، صفحات ۹۴-۶۹.

لطفی، ح.، منفرد، ه.، نصری، ف. و امیری، ب.، ۱۳۹۵. نقش مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی (ICZM) در ارتقای امنیت ملی جمهوری اسلامی ایران، فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، شماره ۷، صفحات ۳۲-۱۷.

مشیری، ا.، ۱۳۸۰. مدل تعدیل‌شده AHP برای نظرسنجی و تصمیم‌گیری‌های گروهی، مجله دانش مدیریت، شماره ۱۴، صفحات ۹۲-۶۳.

Akumu, C. E., Henry, J., Gala, T., Dennis, S., Reddy, C., Tegegne, F., Haile, S. and Archer, R. S., 2018. Inland wetlands mapping and vulnerability assessment using an integrated geographic information system and remote sensing techniques. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 4(4): 387-400.

Andalecio, M. N., 2010. Multi-criteria decision models for management of tropical coastal fisheries, A review. *Agron. Sustain, Dev.* 30: 557-580.

Beroya-Eitner, M. A., 2016. Ecological vulnerability indicators. *Ecological indicators*, 60: 329-334.

Chang, H. K., Liou, J. C. and Chen, W. W., 2012. Protection priority in the coastal environment using a hybrid ahp-topsis method on the Miaoli coast, Taiwan, *Journal of Coastal Research*, 28(2): 369-374.

Cozannet, G. L., Garcin, M., Bulteau, T., Mirgon, C., Yates, M. L., Méndez, M., Baills, A., Idier, D. and Oliveros, C., 2013. An AHP-derived method for mapping the physical vulnerability of coastal areas at regional scales, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5): 1209-1227.

Craig, R. K. and Ruhl, J. B., 2010. Governing for sustainable coasts: complexity, climate change, and coastal ecosystem protection, *Sustainability*, 2(5): 1361-1388.

Dhiman, R., Kalbar, P. and Inamdar, A. B., 2018. GIS coupled multiple criteria decision making approach for classifying urban coastal areas in India. *Habitat International*, 71: 125-134.

Doukakis, E., 2005. Coastal vulnerability and risk parameters, *European Water*, 11(12): 3-7.

El-Shahat, S., El-Zafarany, A. M., Abou El Seoud, T. and Ghoniem, S. A., 2020. Vulnerability assessment of African coasts to sea level rise using GIS and remote sensing. *Environment, Development and Sustainability*, 1-19.

Jafari, N., 2010. Review of pollution sources and controls in Caspian Sea region. *Journal of Ecology and the Natural Environment*. 2(2): 025-029.

Liu, G., Wang, J., Li, S., Li, J. and Duan, P., 2019. Dynamic evaluation of ecological vulnerability in a lake watershed based on rs and gis technology. *Pol. J. Environ. Stud*, 28(3): 1785-1798.

Mani Murali, R., Ankita, M., Amrita, S. and Vethamony, P., 2013. Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India, using the analytical hierarchical process, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(12): 3291-3311.

Qiao, Z., Yang, X., Liu, J. and Xu, X., 2013. Ecological vulnerability assessment integrating the spatial analysis technology with algorithms: a case of the wood-grass ecotone of northeast China, In *Abstract and Applied Analysis*, Vol. 2013, Hindawi, 8pp.

Ramezani Gourab, B. and Foroughe, P., 2010. Climatic potential of sport tourism in Anzali-Rezvanshahr coastal belt, South-west of Caspian Sea, Iran. *Caspian J. Env. Sci.* 8(1): 73-78.

Ružić, I., Dugonjić Jovančević, S., Benac, Č. and Krvavica, N., 2019. Assessment of the Coastal Vulnerability Index in an area of complex geological conditions on the Krk Island, Northeast Adriatic Sea. *Geosciences*, 9(5): 219. 17pp.

Saaty, T. L., 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process? *European journal of operational research*, 48(1): 9-26.

- Sankari, T. S., Chandramouli, A. R., Gokul, K., Surya, S. M. and Saravanavel, J., 2015.** Coastal Vulnerability Mapping Using Geospatial Technologies in Cuddalore-Pichavaram Coastal Tract, Tamil Nadu, India, *Aquatic Procedia*, 4: 412-418.
- Sharifipour, R. and Mahmodi, B., 2012.** Presentation of Coastal Environmental Management Plan by using SWOT/AHP methods, *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 16 (1): 157-163.
- Sudha Rani, N. N. V. S., Satyanarayana, A. N. V. and Bhaskaran, P. K., 2015.** Coastal vulnerability assessment studies over India: a review, *Natural Hazards*, 77(1): 405-428.
- Tahri, M., Maanan, M., Maanan, M., Bouksim, H. and Hakdaoui, M., 2017.** Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process multi-criteria and automatic computation to analyse coastal vulnerability, *Progress in Physical Geography*, 41(3): 268-285.
- Wu, C., Liu, G., Huang, C., Liu, Q. and Guan, X., 2018.** Ecological vulnerability assessment based on fuzzy analytical method and analytic hierarchy process in yellow river delta, *International journal of environmental research and public health*, 15(5), 855, 14pp.
- Zhang, J., Sun, J., Ma, B. and Du, W., 2017.** Assessing the ecological vulnerability of the upper reaches of the Minjiang River, *Plos one*, 12(7), p.e0181825, 16pp.