اقیانوس‌شناسی/ سال هفتم/ شماره ۲۸/ زمستان ۱۳۹۵/۱۰/۵۶-۴۷

مدلسازی مطلوبیت زیستگاه دلفین‌ها در محدوده آب‌های ساحلی – دریایی مکران با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt)

مینا شهپریان[1*]، سیما فاخران[2]، حسین مرادی[3]، محمودرضا همامی[4]، محمد شفیعی‌زاده[5]

۱ – دانشجوی کارشناسی ارشد تنوع زیستی و زیستگاه‌ها، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، پست الکترونیکی: mshahpariyan92@gmail.com

۲ – استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، پست الکترونیکی: fakheran@cc.iut.ac.ir

۳– استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، پست الکترونیکی: hossein.moradi@cc.iut.ac.ir

۴ – دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، پست الکترونیکی: mrhemami@cc.iut.ac.ir

۵– دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، پست الکترونیکی: shafiezadeh_m@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۸ ** نویسنده مسوول* *تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱*

چکیده

سواحل دریای مکران در جنوب ایران یکی از مناطقی با تنوع زیستی است که دارای زیستگاه های دریایی مهم برای بسیاری از پستانداران دریایی از جمله دلفین‌ها است. در این مطالعه مدلسازی مطلوبیت زیستگاه برای دلفین‌ها در منطقه مکران (سواحل شمالی دریای عمان) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل، متغیرهای فاصله از ساحل و دمای سطحی آب به عنوان مهمترین پارامترها در شناسایی مناطق مطلوب از جمله خلیج گواتر شناخته شدند. همچنین شاخص سطح زیر منحنی (AUC) معادل ۰/۸۴ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت و کارایی بالای مدل در شناسایی مطلوب‌ترین مناطق پراکنش است. نتایج به دست آمده می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد جهت برنامه‌ریزی حفاظتی بیشتر، از این گونه‌های ارزشمند دریایی باشد.

کلمات کلیدی: *مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt)، مطلوبیت زیستگاه، پستانداران دریایی، دلفین‌ها.*

۱. مقدمه

اقیانوس‌ها با وسعتی بیش از ۷۰ درصد سطح کره زمین، بخش مهمی از پیچیده ترین و غنی ترین بوم‌سامانه‌های جهان را در خود جای داده‌اند (میگونی، ۱۳۹۱). این بوم‌سامانه‌های وسیع علاوه بر زیستگاه، طیف گسترده‌ای از گیاهان و جانوران و بسیاری از منابع انرژی معدنی و غذایی بشر را تشکیل می‌دهند (مجنونیان، ۱۳۹۰). علاوه بر این مهره‌دارانی همچون پستانداران دریایی، لاک پشت‌های دریایی و کوسه‌ها بخش مهمی از تنوع زیستی آن را در بر می‌گیرند (Block et al., 2011). دریای مکران دارای بوم‌شناسی پیچیده‌ای است که رفت و آمد زیاد شناورها، تهدید جدی برای حیات پستانداران دریایی این منطقه از جمله نهنگ‌ها، گاوهای دریایی و دلفین‌ها محسوب می‌شود. از طرفی ارتباط با آب‌های آزاد، آب و هوای معتدل و مرطوب در فصل زمستان، تنوع بالای زیستگاه‌های دریایی، وجود خورهای متعدد در کنار رویش جنگل‌های حرا و برخی مناطق

ساحلی آن مهمترین زیستگاه برای انواع جانوران خشکی‌زی و آبزی و مکانی برای تخم ریزی انواع ماهیان و سایر آبزیان است.

در منطقه مورد مطالعه گونه‌های دریایی دارای گونه‌های با اهمیتی همچون گاو دریایی (*Dugong dugon*) و نهنگ باله‌پشتی *Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758) هستند که بر طبق لیست قرمز IUCN گونه‌ای، در معرض خطر انقراض می‌باشند. نهنگ آبی (*Balaenoptera musculus*) و دلفین گوژپشت *Sousa chinensis* (Osbeck, 1765) که طبق لیست قرمز IUCN جمعیت آن‌ها رو به کاهش است و در معرض تهدید می‌باشند. دلفین بینی بطری هندی *Tursiops aduncus* (Ehrenberg, 1833) و دلفین بینی بطری معمولی *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) در منطقه مورد مطالعه حضور دارند که با توجه به محدودیت نقاط در دسترس تنها گونه‌های مربوط به خانواده دلفین‌ها هستند که وارد مدل شدند.

از آنجا که زیستگاه پستانداران دریایی به ویژه دلفین‌ها در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی در معرض انواع تهدیدات و آشفتگی‌های انسانی قرار گرفته‌اند، و با توجه به این‌که تغییر شرایط و فرآیندهای اقیانوسی متاثر از تغییرات اقلیمی هستند، انتظار می‌رود که بوم‌سامانه‌های دریایی و جوامع زیستی به شدت تحت تاثیر این شرایط قرار گیرند (Palacios et al., 2013). همچنین درک الگوهای توزیع این گونه‌ها برای حفاظت از آنها نیز ضروری است. گروه اختصاصی آب بازان[1] در اتحادیه جهانی حفاظت از طبیعت[2]، ۸۷ گونه از آب بازان را مورد ارزیابی قرار دادند و ۲۰ گونه از پستانداران دریایی را در طبقه نزدیک به تهدید معرفی کردند (Breen et al., 2016). بنابراین به منظور اطمینان از حفاظت موثر از گونه‌های پستاندار دریایی به اطلاعات بیشتری در زمینه توزیع زمانی و مکانی آن‌ها نیازمندیم که مدلسازی زیستگاه می‌تواند در این زمینه کارایی لازم را داشته باشد.

مدلسازی مطلوبیت زیستگاه به عنوان ابزاری جهت تخمین زیستگاه مطلوب درون گستره‌ی وسیعی از مطالعات مربوط به تنوع زیستی و مدیریت در محیط خشکی و دریایی است. علاوه بر این که مدلسازی زیستگاه، دانش توزیع مکانی گونه-ها و ارتباط آنها را با متغیرهای محیطی افزایش می دهد (Praca et al., 2009)، می‌تواند کاربرد زیادی در جهت ارزیابی اثرات تصمیمات مدیریتی و یا مخاطرات محیط زیستی بر توزیع مکانی گونه‌ها داشته باشد. با وجود این که تعداد روش‌های در دسترس برای مدلسازی مطلوبیت زیستگاه در حال افزایش است (Guisan and Thuiller, 2005)، اما در میان این مدل‌ها تعداد زیادی از مطالعات نشان می‌دهد که مدل حداکثر آنتروپی[3] به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج قابل اتکایی تولید کرده است (Kramer-Schadt et al., 2013).

برای مثال برای بررسی توزیع مکانی کوسه *Cetorhinus maximus* در کانادا (Siders et al., 2013)، نهنگ قاتل (killer whales) و دلفین (*Feresa attenuata*) در نیوزلند (Torres et al., 2013)، دلفین بینی بطری معمولی (*Tursiops truncates*) در دریای مدیترانه (La Manna et al., 2016) و دلفین گوژپشت (*Sousa chinensis*) در خلیج بیبو در چین (Chen et al., 2016) از مدل مکسنت جهت مدلسازی مطلوبیت زیستگاه استفاده شده است. از جمله مطالعات انجام شده در ایران روی پستاندارن دریایی می‌توان به مطالعه Owfi و همکاران (۲۰۱۶) روی الگوی توزیع و تنوع پستانداران دریایی و همچنین مطالعه پورجمعه و همکاران (۲۰۱۴) روی توزیع و فراوانی گونه‌های بزرگ جثه دریایی اشاره نمود.

بر اساس مطالعات انجام شده در تعیین عوامل موثر بر پراکنش دلفین‌ها، در اکثر مطالعات متغیرهای محیطی همچون غلظت کلروفیل-a، دمای سطحی آب، کدورت، شوری، عمق آب، شیب بستر و فاصله از ساحل به عنوان پارامترهای موثر بر تعیین پراکنش دلفین‌ها در نظر گرفته شده‌اند (Tobeña et al., 2016; La Manna et al., 2016; Breen et al., 2016). در ایران اکثر مطالعات مدلسازی مطلوبیت، بر زیستگاه‌های خشکی متمرکز شده‌اند و تلاشی جهت انجام مدلسازی زیستگاه پستانداران دریایی انجام نشده است. لذا هدف از این مطالعه، مدلسازی مطلوبیت مناطق پراکنش دلفین‌ها با استفاده از الگوریتم حداکثر آنتروپی در منطقه ساحلی-دریایی مکران است و علاوه بر مشخص کردن زیستگاه‌های بالقوه مطلوب دریایی، مهم ترین عوامل فیزیکی موثر بر آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها نیز مشخص خواهند شد.

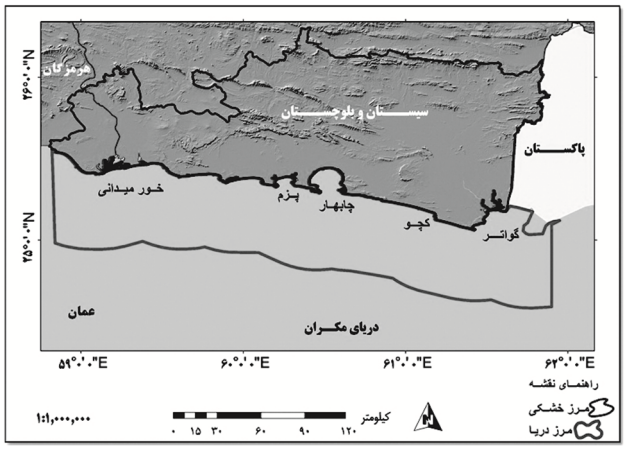
[1] Cetacean Species Group
[2] International Union for Conservation of Nature
[3] Maximum Entropy

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در پژوهش حاضر، سواحل استان سیستان و بلوچستان بود که نیمی از کرانه‌ی دریای مکران را به خود اختصاص داده است. در حال حاضر ساحل مکران از شمال به سراوان، از جنوب به دریای مکران، از شرق به کلات پاکستان و از غرب به بشاگرد محدود است (داور و همکاران، ۱۳۸۹). بر این اساس حد غربی منطقه تا خور میدانی و حد شرقی آن مرز ایران و پاکستان در خلیج گواتر است. بخش شرقی منطقه مورد مطالعه که خلیج گواتر را شامل می‌شود، منطقه‌ای بکر و توسعه نیافته است زیرا رودخانه باهو کلات، خور و خلیج گواتر تواما یکی از مناطق مهم ذخیره‌گاهی حایز اهمیت زیست محیطی را تشکیل می دهند. تالابی که منتهی الیه جنوبی منطقه حفاظت شده گاندو واقع شده است، یک ذخیره‌گاه ژنتیکی کم نظیر و مامن انبوهی از نباتات اغلب نادر گیاهی و جانوری را تشکیل داده است. علاوه براین می‌توان به حضور انواع پرندگان کنار آبزی و انواع پرستوهای دریایی و از پستانداران آبزی به انواع دلفین‌ها اشاره کرد.

در بوم‌سامانه‌های خشکی تعیین مناطق مطلوب زیستگاهی برای گونه‌ها چندان پیچیده نیست. زیرا با توجه به ثابت بودن محیط می‌توان از طریق پارامترهای مختلف، مناطقی با مطلوبیت بالا را تعیین کرد. اما در محیط‌های دریایی به دلیل اینکه بخش-های مختلف محیطی و انواع بوم‌سامانه‌ها و موجودات از طریق یک سیال در ارتباط مداوم با یکدیگر هستند، تعیین زیستگاه مطلوب چندان آسان نیست. از طرفی با توجه به اینکه آب بازان گونه‌هایی با تحرک بالا و در محیطی سیال هستند و مدت طولانی را در زیر آب می گذرانند، به همین علت مدلسازی و نقشه سازی زیستگاه آنها از طریق جمع آوری داده های مربوط به نقاط حضور می تواند دشوار باشد. مرز محدوده‌ی مطالعاتی در بخش بوم‌سامانه‌های خشکی بر اساس مرز حوضه‌های آبخیز در بلوچستان جنوبی به مساحت ۲,۲۳۴,۹۱۹ هکتار تعیین شد که در عرض جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۲۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۶۲ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی قرار گرفته است. محدوده مرز خشکی تا ۱۰۰ کیلومتری از خط کرانه ساحلی بسته شد. جهت تعیین مرز آبی، بسته به نیاز مطالعه و ساختار خط ساحلی در فاصله ۵۰ کیلومتری از ساحل ایران و تا عمق ۱۰۰ کیلومتری به عنوان محدوده مطالعاتی دریایی در نظر گرفته شد. مساحت این منطقه بالغ بر ۱,۶۹۸,۶۵۳ هکتار را شامل می‌شود. شکل ۱ محدوده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

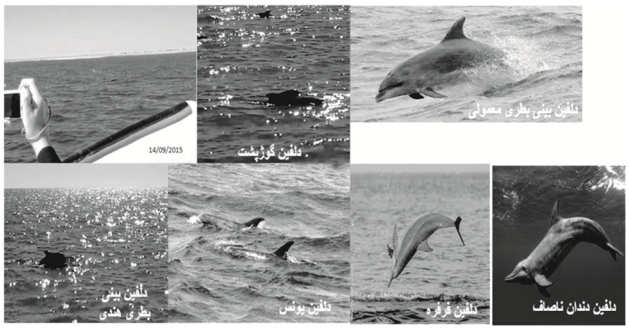


شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه

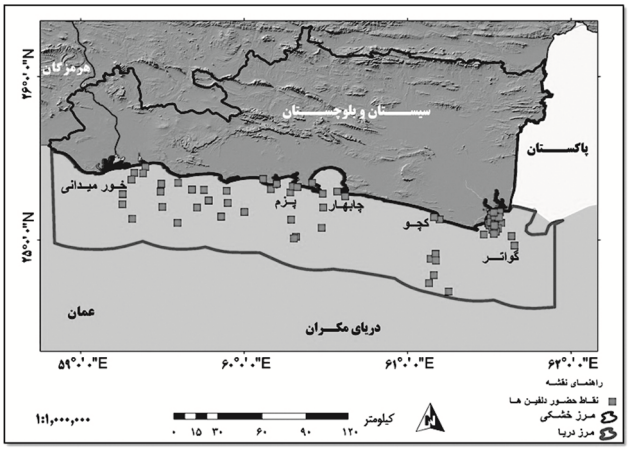
۲-۲ جمع‌آوری اطلاعات و نقاط حضور

با بررسی منابع قبلی و مرور مقالاتی که در مورد پستاندارن دریایی این منطقه انجام شده بود (Braulik et al., 2010)، چک لیستی به همراه عکس گونه‌ها و نقشه منطقه مورد مطالعه تهیه شد. با استفاده از عکس گونه هایی که احتمال حضور آنها در منطقه وجود داشت و همراه با توضیحاتی که در رابطه با خصوصیات هر یک از گونه‌ها، به جوامع محلی و به خصوص ماهیگیران و ملوانان ارایه شد، گونه‌ها توسط آنها شناسایی شدند و موقعیت حضور آنها روی نقشه منطقه علامت گذاری شد. سپس این نقاط در محیط نرم افزار ArcGis وارد گردید. علاوه بر این بازدیدهای صورت گرفته از مناطقی مانند خلیج گواتر در دی‌ماه سال ۱۳۹۴ و همچنین آذرماه سال ۱۳۹۵ نیز صحت کار را تایید کرد. همچین اداره حفاظت محیط زیست شهرستان چابهار و مرکز تحقیقات شیلات چابهار اطلاعاتی در رابطه با نقاط حضور این گونه‌ها در اختیار قرار دادند. به طور کلی ۱۰ گونه از خانواده دلفین‌ها در منطقه مورد مطالعه حضور داشت که به دلیل محدودیت داده مربوط به نقاط حضور آنها، فقط ۶ گونه از آنهایی که دارای اهمیت حفاظتی و بالاترین تعداد نقطه حضور بودند، مدلسازی شدند. گونه‌هایی از خانواده دلفین که وارد مدل شدند

شامل دلفین بینی بطری هندی، دلفین گوژپشت، دلفین بینی بطری معمولی، دلفین یونس، دلفین فرفره و دلفین دندان ناصاف بودند که به دلیل نزدیک بودن نواحی پراکنش آن‌ها به یکدیگر و همچنین وسعت زیاد منطقه، نقاط حضور تمام آنها با هم وارد مدل گردید (McClellan et al., 2014). داده های مورد نظر طی ماه های آبان تا بهمن سال ۹۵-۹۴ جمع آوری شدند. بر این اساس مجموع ۶۳ نقطه از حضور دلفین‌ها در محدوده مورد مطالعه به ثبت رسیدند. شکل ۲ تصاویر گونه‌های مدلسازی شده و شکل۳ موقعیت نقاط ثبت شده را نشان می‌دهند.



شکل ۲: تصاویر گونه‌های مورد مطالعه در منطقه



شکل ۳: موقعیت نقاط حضور دلفین‌ها در محدوده مورد مطالعه

۲-۳ *پارامترهای زیست محیطی*

بر اساس مرور منابع صورت گرفته در شناسایی عوامل موثر بر پراکنش دلفین‌ها، شش متغیر جهت مدلسازی مطلوبیت زیستگاه انتخاب شدند. این متغیرها شامل غلظت کلروفیل-a، کدورت، دمای سطحی آب، عمق آب، شیب بستر و فاصله از ساحل هستند. عوامل ذکر شده، از جمله فاکتورهای تاثیرگذار در انتخاب زیستگاه توسط دلفین‌ها هستند و پراکنش بسیاری از پستانداران دریایی تحت تاثیر این متغیرهای زیست محیطی است (La Manna et al., 2016; Chen et al., 2016).

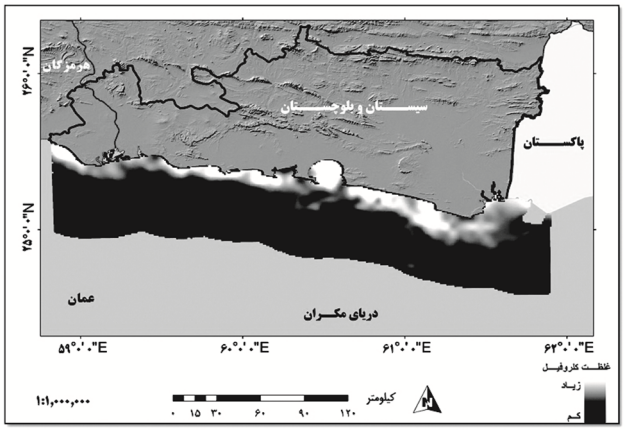
در سال‌های اخیر مطالعات زیادی جهت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مطالعه پارامترهای کیفی آب انجام شده است. نتایج این مطالعات حاکی از کارایی تصاویر ماهواره‌ای در این رابطه دارد که در این راستا می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. مباشری و همکاران (۱۳۸۹) شار تابشی در لایه سطحی آب (SST) را به روش سنجش از دور بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که امکان تخمین دمای آب با تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد. Chen و همکاران (۲۰۰۴) از تصاویر ماهواره SeaWifes و سنجنده AVHRR جهت طبقه‌بندی کیفی آب رودخانه Pearl استفاده کرده‌اند. Chang و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات پارامترهای کیفی آب از جمله کلروفیل-a، درجه حرارت و عمق آب را با استفاده از سنجش از دور مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس گزارش این محققین، مقرون به صرفه-ترین روش نظارت، بهبود مدیریتی محیط زیست و پیگیری چرخه مواد مغذی موجود در آب با استفاده از این روش است که در چهار دهه گذشته به طور مداوم به آن رجوع شده است.

در این پژوهش نیز از تصاویر ماهواره‌ای ماهواره ترا و آکوا با سنجنده MODIS و همچنین از تارنمای NASA جهت استخراج پارامترهای ذکر شده استفاده شد (طرح جامع شناسایی منابع و پهنه‌بندی فضایی محیط زیست مکران، ۱۳۹۴). در این مطالعه پارامتر دمای سطحی آب (درجه سانتی‌گراد) به عنوان شاخصی از پدیده بالاروندگی است زیرا منجر به حرکت آب متراکم، خنک‌تر و سرشار از مواد مغذی، از عمق پایین‌تر به سطح اقیانوس‌ها می-شود و رشد و تولید فیتوپلانکتون‌ها را افزایش می‌دهد. پارامترهای کلروفیل-a (میلی‌گرم بر متر مکعب) و دمای سطحی آب برای ماه‌های آبان، آذر، دی و بهمن درنظر گرفته شدند. به دلیل اینکه نقاط مربوط به حضور دلفین ها در این ۴ ماه ثبت شده است، برای مدلسازی باید پارامترهای مربوط به همان ماه‌ها را در نظر گرفت و از آنجایی که نقاط مربوط به ۴ ماه باهم درنظر گرفته شده است باید از میانگین ۴ ماه دمای آب و کلروفیل نیز استفاده شود. جدول ۱ نتایج سنجش پارامترها را نشان می‌دهد. همچین لایه های مربوط به میانگین ۴ ماهه این دو متغیر در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده اند. شیب بستر (درصد) با استفاده از لایه عمق تهیه شد و به ۶ طبقه بر حسب درصد طبقه بندی شد و لایه فاصله از ساحل (متر) نیز از طریق فاصله اقلیدسی از خط

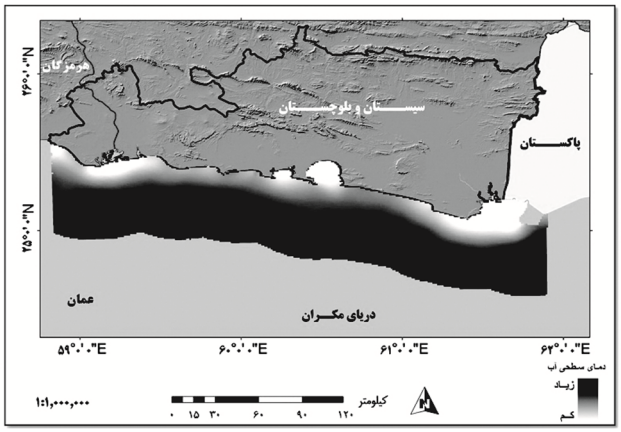
ساحلی منطقه در نرم افزار ArcGis ایجاد شد. همچنین لایه عمق (متر) نیز به ۱۰ کلاس طبقه بندی شد و وارد مدل گردید (طرح جامع شناسایی منابع و پهنه بندی فضایی محیط زیست مکران، ۱۳۹۴). به منظور کاهش اثرات نامطلوب ناشی از همبستگی میان متغیرها آنالیز مولفه اصلی (PCA) بین متغیرها انجام شد تا در صورت مشاهده همبستگی بالای ۰,۷۵ بین دو متغیر، یکی از آنها حذف شود. ماتریکس همبستگی آنالیز مولفه اصلی نشان داد که بین غلظت کلروفیل-a و کدورت ۰,۹۵ همبستگی وجود دارد که با این وجود متغیر کدورت حذف و در نهایت مدل با ۵ لایه محیطی اجرا شد.

جدول ۱: نتایج سنجش پارامترهای محیطی

متغیر	آبان‌ماه	آذرماه	دی‌ماه	بهمن‌ماه
غلظت کلروفیل-a (میلی‌گرم در متر مکعب)	۲/۹	۱/۵	۱/۱	۲/۴
متوسط دمای سطحی آب (درجه سانتی گراد)	۲۴ -۲۳/۶	۲۶/۲ -۲۵/۸	۲۳/۶ -۲۱/۳	۲۲/۷



شکل ۴: میانگین ۴ ماهه غلظت کلروفیل-a در محدوده مطالعاتی



شکل ۵: میانگین ۴ ماهه متوسط دمای سطحی آب در محدوده مطالعاتی

۲-۴ *اجرای مدل مطلوبیت زیستگاه*

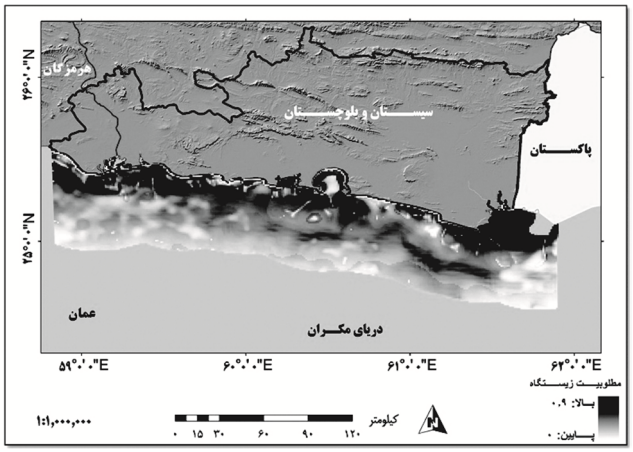
مدل حداکثر آنتروپی هم به صورت یک ابزار در نرم افزار TerrSet و هم به صورت جداگانه تحت نرم افزار MaxEnt قابل اجرا است که در این مطالعه از نرم افزار مکسنت نسخه،۳,۳,۳ جهت مدلسازی زیستگاه دلفین‌ها استفاده شد. بر اساس ۶۳ نقطه حضور ثبت شده و ۵ لایه محیطی شامل غلظت کلروفیل-a، دمای سطحی آب، فاصله از ساحل، شیب بستر و عمق، مدلسازی مطلوبیت زیستگاه برای دلفین‌ها انجام گرفت. فایل مربوط به نقاط با فرمت Csv وارد نرم افزار شد. همچنین پس از یکسان شدن سیستم مختصات لایه متغیرهای محیطی (UTM-41N) در نرم افزار ArcGis به فرمت Ascii تبدیل شد و وارد نرم افزار مکسنت گردید. مدل با ۱۰ بار تکرار، اجرا و کارایی مدل با استفاده از شاخص سطح زیر منحنی (AUC) سنجیده شد. همچنین آزمون جک نایف که از خروجی‌های مدل مکسنت است می‌تواند ضریب دقت را برای هریک از پارامترها باهم و به تنهایی نشان دهد که براساس نظرات کارشناسی، نتایج با اطمینان‌تر و باصحت بیشتر را ارایه می‌دهد. علاوه براین منحنی‌های پاسخ هر گونه در برابر متغیرهای زیست محیطی احتمال حضور گونه‌ها را در شرایط محیطی مختلف پارامترها توجیه خواهد کرد.

۳. نتایج و بحث

نقشه پیش بینی پراکنش دلفین‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. نقشه مطلوبیت به دست آمده، مطلوبیت زیستگاه را از ۰ تا ۱ بیان می‌کند. مناطقی با مطلوبیت بالا (ارزش ۱) که حداکثر احتمال حضور گونه‌ها را نشان می‌دهد به رنگ تیره و مناطقی که مطلوبیت پایین داشته‌اند (ارزش ۰) و احتمال حضور گونه‌ها در این مناطق ضعیف است، به رنگ روشن نشان داده شده است.

بر اساس نقشه به دست آمده، منطقه خلیج گواتر بزرگ‌ترین لکه زیستگاهی (نواحی تیره رنگ) و همچنین بالاترین حد مطلوبیت زیستگاه را با توجه به متغیرهای ذکر شده نشان می‌دهد. مناطقی از خلیج چابهار، کچو، پزم و خور میدانی نیز مطلوب نشان داده شده است و همان‌طور که در شکل مشخص است با فاصله از ساحل در نواحی عمیق مدل مطلوبیت متوسط را نشان داده است. اما باید در نظر داشت مناطقی که حضور دلفین‌ها در آنجا وجود نداشت به صورت لکه های تیره درآمده‌اند که می

تواند نشان‌دهنده پیش بینی مدل باشد. با توجه به پارامترهای تاثیرگذار در پراکنش این گونه‌ها، این مناطق نیز می‌تواند برای گونه‌ها به عنوان زیستگاه بالقوه، مطلوب در نظر گرفته شود و احتمال حضور در این مناطق نیز وجود خواهد داشت. ذکر این نکته حایز اهمیت است که این مدلسازی در زیستگاه سیال و در یک محیط آبی شناور صورت گرفته است.

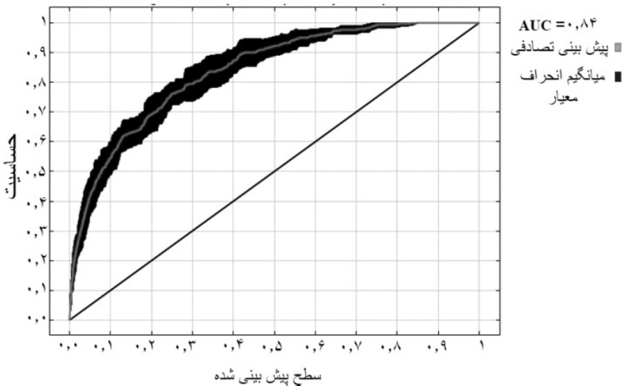


شکل ۶: نقشه مطلوبیت زیستگاه با استفاده از مدل MaxEnt

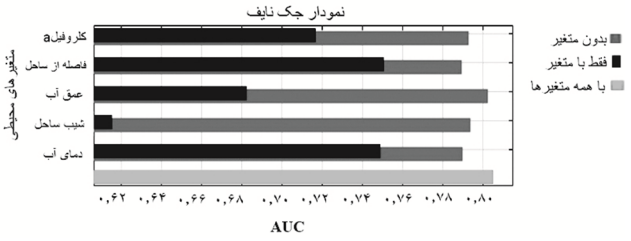
۳-۱ ارزیابی مدل

نتیجه حاصل از ارزیابی کارایی مدل با استفاده از شاخص AUC(۰,۸۴) نشان داد که مدل، کارایی و دقت بالایی در پیش بینی زیستگاه‌های مطلوب برای این گونه‌ها در منطقه مورد مطالعه دارد. شکل ۷ منحنی ROC و شاخص AUC را نشان می‌دهد. مقدار AUC به دست آمده با توجه به تفاوت محیط دریایی و سیال بودن آن نسبت به مطالعات مشابه در خشکی و دریا نتیجه مطلوبی را ارایه نموده است. AUC راهی است که از طریق آن می‌توان میزان دقت مدل را ارزیابی کرد، به طوریکه ۰,۵ کمترین میزانی است که AUC می‌تواند بگیرد و هرچه این مقدار به ۱ نزدیک تر باشد و فاصله خطوط قرمز و آبی (داده های آموزشی و داده های ارزیابی کننده) از خط سیاه بیشتر باشد، مدل بهتری ارایه شده است (مروتی و همکاران، ۱۳۹۳).

به منظور مشخص کردن اهمیت هریک از متغیرها در پراکنش گونه‌های مورد نظر در منطقه مطالعاتی، آزمون جک نایف در خروجی مدل مکسنت مورد استفاده قرار گرفت. نمودار جک نایف AUC برای مدل مطلوبیت زیستگاه خشکی و دریایی که به منظور نتیجه‌گیری کلی از اهمیت متغیرها به کار می رود (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵) در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طورکه در مقدمه اشاره شد، مدلسازی مطلوبیت زیستگاه دریایی در بسیاری از مناطق دریایی و برای بسیاری از پستانداران دریایی صورت گرفته است. اما در ایران تمرکز مدلسازی زیستگاه روی بوم‌سامانه‌های خشکی بوده است. از جمله مطالعه تندوران و همکاران (۱۳۹۴) روی ارزیابی مطلوبیت زیستگاه و وضعیت حفاظتی گونه به شدت در خطر انقراض سمندر لرستانی در استان‌های لرستان و خوزستان و مطالعه Owfi و همکاران (۲۰۱۶) روی الگوهای توزیع و تنوع پستانداران دریایی در منطقه عمان و خلیج فارس انجام شده است.



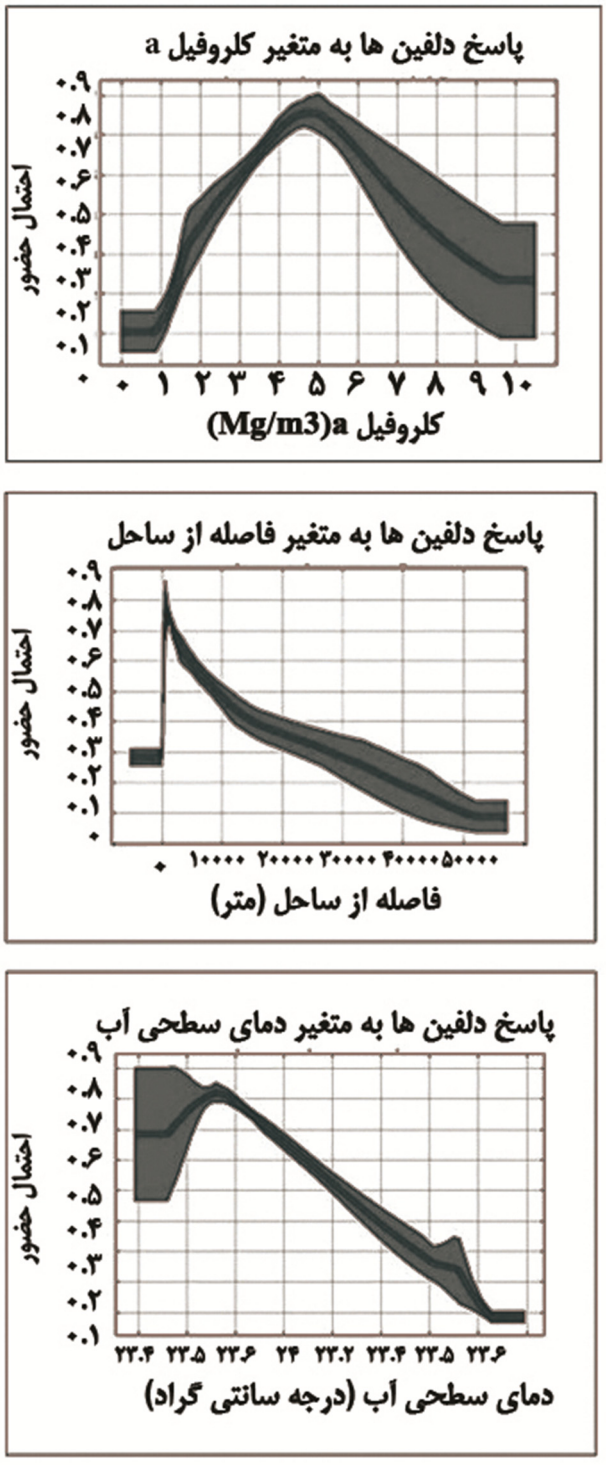
شکل ۷: منحنی ROC و مقدار AUC مدل



شکل ۸: نمودار آزمون جک نایف

در بسیاری از مطالعات مشابه در زمینه مدلسازی زیستگاه آب بازان و به ویژه دلفین‌ها، به منظور تعیین اهمیت نسبی هر یک از متغیرها از آزمون جک نایف که خروجی مدل می‌باشد، استفاده شده است (Torres et al., 2013 و La Manna et al., 2016) زیرا این آزمون یک نتیجه‌گیری کلی را با دقت بیشتر ارایه می‌کند. با توجه به شکل ۸ می‌توان استنباط کرد که به ترتیب پارامترهای فاصله از ساحل، دمای سطحی آب و کلروفیل–a بالاترین دقت (AUC) را دارا می‌باشند و مهمترین پارامترها در تعیین پراکنش دلفین‌ها تعیین شده‌اند. از دیگر خروجی‌های مدل MaxEnt

می‌توان به منحنی‌های احتمال حضور گونه در برابر تغییر هر یک از پارامترهای محیطی اشاره کرد. شکل ۹ نشان دهنده تغییرات حضور دلفین‌ها با توجه به تغییرات مهمترین پارامترهای تاثیرگذار از جمله فاصله از ساحل، دمای سطحی آب و غلظت کلروفیل-a است.



شکل ۹: منحنی های پاسخ گونه به متغیرها

منحنی‌های پاسخ، پیش بینی‌های منطقی را نسبت به تغییر احتمال حضور گونه در برابر مهمترین متغیرهای محیطی نشان می¬دهند. همان‌طور که از منحنی پاسخ گونه در برابر فاصله از ساحل مشخص است با افزایش فاصله از ساحل احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد و بالاترین حضور گونه‌ها را تا فاصله ۱۰۰۰۰متری از ساحل شاهد هستیم و احتمال حضور تا فاصله ۵۰۰۰۰ متری سریعا کاهش پیدا می‌کند زیرا این گونه‌ها، گونه-های ساحلی هستند و بیشتر در فاصله های نزدیک ساحل دیده می‌شوند. همچنین La Manna و همکاران (۲۰۱۶) و Chen و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعات خود متغیر فاصله از ساحل و همجنین فاصله از جزایر را مهمترین پارامتر در پیش بینی توزیع دلفین بینی بطری معمولی و دلفین گوژپشت با استفاده از مدل مکسنت معرفی کرده‌اند. نمودار پاسخ گونه در برابر تغییرات دمای سطحی آب نیز نشان می‌دهد که حضور گونه‌ها در دمای پایین و آب های سرد بیشتر است و با افزایش دمای آب حضور کاهش می‌یابد. چرا که دلفین‌ها در مناطقی که پدیده فراجوشی اتفاق می‌افتد و منجر به انتقال آب سرد و مواد مغذی از عمق دریا به سطح می‌شود، بیشتر دیده می‌شوند. بر اساس یک شبکه غذایی زمانی که با وقوع پدیده فراجوشی آب سرد از اعماق دریا به سطح آب می‌آید به دنبال آن حضور فیتوپلانکتون‌ها افزایش می‌یابد که منجر به بالارفتن تولید، غلظت کلروفیل-a (نمودار احتمال حضور در برابر تغییرات غلظت کلروفیل) و حضور ساردین ماهی‌ها می‌شود و از آنجا که ساردین‌ها طعمه دلفین‌ها هستند شاهد افزایش حضور دلفین‌ها در این‌گونه مناطق خواهیم بود. همانطور که از نمودارها و آزمون جک نایف مشخص است پارامترهای عمق و شیب بستر از اهمیت کمتری برای پیش بینی توزیع برخوردارند. به طور کلی می‌توان گفت زیستگاه مطلوب دلفین‌ها طبق پیش بینی مدل، نزدیک ساحل با دمای سطحی پایین و بالا بودن غلظت کلروفیل و طعمه است. دلفین ها و به طور عمده دلفین‌های گوژپشت، بینی بطری هندی و بینی بطری معمولی مناطق نزدیک ساحل را انتخاب می کنند که در این مطالعه می توان به سواحل خلیج گواتر تا بریس، خلیج چابهار تا پزم و همچنین خور میدانی اشاره کرد که بالاترین نقاط حضور و همچنین مطلوبیت زیستگاه را در این مناطق شاهد بودیم. سایر مطالعات انجام شده در رابطه با ترجیحات زیستگاهی پستانداران دریایی از جمله دلفین ها نشان داده است که این گونه‌ها بیشتر اطراف آب های ساحلی کم

عمق را به عنوان زیستگاه دایم یا زمستان گذر انتخاب می کنند (Chen et al., 2007; Chen et al., 2010).

توزیع و پراکنش دلفین‌ها مانند سایر آب بازان غالبا نتیجه‌ای از تلاش برای به دست آوردن طعمه است (Davis et al., 2002). مطالعات انجام شده روی عادات تغذیه‌ای دلفین گوژپشت نشان داده است که بالای ۲۰ نوع از ماهی‌های کم عمق زی در مصب‌ها و خلیج های پر تولید پیدا شده اند (Barros et al., 2004, Barros et al., 1991). این می‌تواند دلیلی باشد که چرا دلفین‌ها از جمله دلفین گوژپشت، مصب‌ها و خلیج‌ها را به عنوان زیستگاه ترجیح می دهند. به عنوان یک نتیجه می‌توان استنباط کرد که زیستگاه مطلوب به طور عمده می‌تواند در بخش شرقی منطقه و در محدوده خلیج گواتر باشد. همچنین ذکر این نکته حایز اهمیت است که لکه‌های شناسایی شده از توزیع گونه‌ها همگی دارای اهمیت حفاظت هستند. برای گونه‌های دریایی که مهاجر یا دارای تحرک و پویایی بالایی هستند، شبکه های مناطق حفاظت شده دریایی (MPAs) می‌توانند کارایی بیشتری در حفاظت از این زیستگاه های حساس داسته باشند (Evans, 2008).

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه بر اساس نقاط حضور دلفین‌ها و لایه های محیطی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم حداکثر آنتروپی در مدل MaxEnt ، توزیع و پراکنش دلفین‌ها و زیستگاه-های بالقوه مطلوب توسط مدل شناسایی شدند. بر اساس نتایج مدل مطلوبیت و همچین نمودار مربوط به آزمون جک نایف (شکل ۸) که بیانگر درجه نسبی اهمیت هر یک از پارامترها است، برای گروه دلفین‌ها در منطقه ساحلی –دریایی مکران متغیرهای فاصله از ساحل، دمای سطحی آب و غلظت کلروفیل- a به ترتیب به عنوان مهمترین متغیرهای پیش‌بینی کننده مطلوبیت زیستگاه دلفین‌ها تعیین شدند. علاوه بر این در پژوهش حاضر زیستگاه‌های بالقوه مطلوب برای گونه‌هایی از دلفین‌ها شناسایی و معرفی شدند. با توجه به اینکه مدلسازی مطلوبیت زیستگاه پستانداران دریایی برای اولین بار در ایران و در منطقه ساحلی – دریایی مکران برای دلفین‌ها انجام شده است، این مطالعه می‌تواند یک گام رو به جلو برای درک الگوهای توزیع مکانی و استفاده از زیستگاه پستانداران دریایی فراهم کند. همین‌طور با توجه به وجود محدودیت در محیط‌های دریایی و کمبود اطلاعات کافی، این گونه مطالعات مبتنی بر مدلسازی برای گروهی از گونه‌ها می-تواند به عنوان ابزاری مفید در جهت انجام اقدامات حفاظتی موثر و کارا در زمینه برنامه‌ریزی حفاظت مورد توجه قرار گیرد.

۵. سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری معاونت محترم واحد محیط زیست دریایی سازمان حفاظت محیط زیست و تامین مالی پروژه به شماره ۱۲۱/۹۴ مورخ ۱۳۹۴/۲/۷ سپاسگزاری می‌گردد.همچنین از همکاری اداره کل سازمان حفاظت محیط زیست سیستان و بلوچستان به ویژه اداره محیط زیست چابهار قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

تندوران، م.؛ فاخران، س.؛ پورمنافی، س.؛ سن، ج.، ۱۳۹۴. ارزیابی مطلوبیت زیستگاه و وضعیت حفاظتی گونه به شدت در خطر انقراض سمندر لرستانی در استان‌های لرستان و خوزستان. مجله بوم شناسی کاربردی، شماره ۱۷، سال ۵، صفحات ۱۹-۱۱.

داور، ل.؛ دانه کار، ا.؛ ریاضی، ب.؛ ماهینی، ع.ر.؛ نعمیمی، ب.، ۱۳۸۹. مقایسه کارایی دو روش IMO و NOAA برای شناسایی مناطق حساس محیط زیستی در سواحل سیستان و بلوچستان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱، دوره ۱۲، صفحات ۱۳۶-۱۱۳.

رنجبر، ن.؛ همامی، م.ر.؛ ترکش، م.؛ شاهقلیان، ج.، ۱۳۹۵. ارزیابی فصلی مطلوبیت زیستگاه بز وحشی در مناطق کوهستانی پارک ملی کلاه قاضی استان اصفهان به روش حداکثر آنتروپی. مجله بوم شناسی کاربردی. شماره ۱۶، سال ۵، صفحات۸۱-۶۹.

سازمان حفاظت محیط زیست.، ۱۳۹۴. طرح جامع شناسایی منابع و پهنه‌بندی فضایی محیط زیست منطقه ساحلی دریای مکران. گزارش تعیین مرز بیولوژیکی محیط‌زیست دریایی با استفاده از پارامترهای کلروفیل a، کدورت و دمای سطحی آب. دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحات ۶۵-۳۴.

مباشری، م.؛ مباشری، الف.، ۱۳۸۹. بررسی تحلیلی شار تابشی در پوسته سطحی آب با هدف کاربرد در سنجش از دور SST . نشریه اقیانوس شناسی، سال ۱، شماره ۱، صفحات ۴۴-۳۳.

مروتی، م.؛ کرمی، م.؛ کابلی، م.؛ روستا، ز.؛ شرکائی، م.، ۱۳۹۳. مدلسازی مطلوبیت زیستگاه قوچ و میش مهمترین طعمه یوزپلنگ

آسیایی با استفاده از حداکثر آنتروپی در پناهگاه حیات وحش دره انجیر در یزد. مجله محیط زیست جانوری، شماره ۴، سال ۶، صفحات ۱۴۹-۱۳۵.

میگونی، ح.، ۱۳۹۱. فرآیند شناسایی و انتخاب مناطق حفاظت شده ساحلی- دریایی از طریق وزن گذاری معیارهای IUCN. مجله محیط زیست و توسعه، شماره ۶، سال سوم، صفحات ۱۷-۷.

مجنونیان، ه.، ۱۳۹۰. راهنمای انتخاب و تهیه طرح های مدیریت مناطق حفاظت شده ساحلی-دریایی. چاپ اول، نشر معارف، صفحات ۵۸-۳۲.

Block, B.A.; Jonsen, I.; Jorgensen, S.; Winship, A.; Shaffer, S.A.; Bograd, S.; Hazen, E.; Foley, D.; Breed, G.; Harrison, A.L., 2011. Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean. Journal of Nature, 475: 86-90.

Barros, N.; Cockcroft, V.G., 1991. Prey of humpback dolphins (*Sousa plumbea*) stranded in eastern Cape Province, South Africa. Journal of Aquatic Mammals, 17: 134-146.

Barros, N.B.; Jefferson, T.A.; Parsons, E.C.M., 2004. Feeding habits of Indo-Pacific Humpback Dolphins (*Sousa chinensis*) stranded in Hong Kong. Journal of Aquatic Mammals, 30: 179-188.

Breen, P.; Brown, S.; Reid, D.; Rogan, E., 2016. Modelling cetacean distribution and mapping overlap with fisheries in the northeast Atlantic. Journal of Ocean and Coastal Management, 134: 140-149.

Braulik, G.; Ranjbar, S.h.; Owfi, F.; Aminrad, T.; Dakhteh, M.; Kamrani, E.; Mohsenzadeh, F., 2010. Marine mammal records from Iran. Journal of Cetacean Resource Manage, 11(1): 49-63.

Chang, N.; Imen, S.; Vannah, B., 2015. Remote sensing for monitoring surface water quality status and ecosystem state in relation to the nutrient cycle: A 40-year perspective. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 45: 101-166.

Chen, B.; Zhai, F.; XU, X., 2007. A preliminary analysis on the habitat selection of Chinese white dolphins (*Sousa chinensis*) in Xiamen waters, China, 27(1): 92-95.

Chen, T.; Hung, S.K.; Qiu, Y.S.; Jia, X.P.; Jefferson, T.A., 2010. Distribution, abundance and 346 individual movements of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary, China. Journal of Mammalia, 74: 117-125.

Chen, B.; Xu, X.; Jefferson, T.A.; Olson, P.A.; Qin, Q.; Zhang, H.; He, L.; Yang, G., 2016. Five-Conservation status of the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) in the Northern Beibu Gulf, China. Advances in Marine Biology, 73: 119-139.

Chen, X.L.; Li, Y.S.; Liu, Z.G.; Yin, K.D.; Li, Z.L.; Wai, W.H.B.; King, W.H., 2004. Integration of multi-source data for water quality classification in the Pearl River Korean. Journal of Remote Sensing, 23: 161-169.

Davis, R.W.; Ortega-Ortiz, J.G.; Ribic, C.A.; Evans, W.E.; Biggs, D.C.; Ressler, P.H.; Cady, R.B.; Leben, R.R.; Mullin, K.D.; Würsig, B., 2002. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 49: 121-142.

Evans, P.G.; 2008. Selection criteria for marine protected areas for cetaceans. Proceedings of the workshop European Cetacean Society's 21 st Annual Conference San Sebastian, Spain, 106P.

Guisan, A.; Thuiller, W., 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Ecology Letters, 8: 993-1009.

Kramer-Schadt, S.j.; Niedballa, J.D.; Pilgrim, B.; Schröder, J.; Lindenborn, V.; Reinfelder, M.; Stillfried, I.; Heckmann, A.K.; Scharf, D.M.; Augeri, S.M.; Cheyne, A.J.; Hearn, J.; Ross, D.W.; Macdonald, J.; Mathai, J.; Eaton,A.J.; Marshall, G.; Semiadi, R.; Rustam, H.; Bernard, R.; Alfred, H.; Samejima, J.W.; Duckworth, C.; Breitenmoser- Wuersten, J.L.; Belant, H.; Hofer, A., 2013 . The importance of correcting for sampling bias in Maxent species distribution models.

Modelling the habitat suitability of cetaceans: example of the sperm whale in the northwestern Mediterranean Sea. Deep-Sea Research I, 648-657.

Pourjomeh, F.; Hakim Elahi, M; Rezai, H.; Amini, N., 2014. The distribution and abundance of macrobenthic invertebrates in the Hormozgan province, the Persian Gulf. Journal of the Persian Gulf (Marine Science), 25-32PP.

Siders, Z.A.; Westgate, A.J.; Johnston, D.W.; Murison, L.D.; Koopman, H.N., 2013. Seasonal variation in the spatial distribution of basking sharks (*Cetorhinus maximus*) in the lower bay of Fundy, Canada. Plos One, 8(12): e82074.

Torres, L.; Compton, T.; Fromant, A., 2013. Habitat models of southern right whales, Hector's Dolphin, and killer whales in New Zealand, Marine Ecology, 43-48.

Tobeña, M.; Prieto, R.; Machete, M.; Silva, M.A., 2016. Modeling the potential distribution and richness of Cetaceans in the Azores from fisheries observer program data. Journal of Frontiers in Marine Science, 3: 202.

Diversity and Distributions, 19: 1366-1379.

La Manna, G.; Ronchetti, F.; Sara, G., 2016. Predicting common bottlenose dolphin habitat preference to dynamically adapt management measures from a marine spatial planning perspective. Ocean and Coastal Management, 317-327PP.

McClellan, C.M.; Brereton, T.; Dell Amico, F.; Johns, D.G.; Cucknell, A.C., 2014. Understanding the distribution of marine megafauna in the english channel region: Identifying key habitats for conservation within the Busiest Seaway on Earth. PLoS ONE, 9(2): e89720.

Owfi, F.; Braulik, G.T.; Rabbaniha, M., 2016. Species diversity and distribution pattern of marine mammals of the Persian Gulf and Gulf of Oman - Iranian Waters. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 15: 927-944.

Palacios, D.M.; Baumgartner, M.F.; Laidre, K.L.; Gregr, E.J., 2013. Beyond correlation: integrating environmentally and behaviourally mediated processes in models of marine mammal distributions. Endangered Species Research, 22: 191-203.

Praca, E.; Gannier, A.; Das, K.; Laran, S., 2009.