

## ارزیابی مزارع موجود آبی‌پروری دریایی استان مازندران بر مبنای معیارهای مکانی

الهام حق‌شناس<sup>۱</sup>، مهدی غلامعلی‌فرد<sup>۱\*</sup>، نعمت‌الله محمودی<sup>۲</sup>

۱- گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

### چکیده

### نوع مقاله

#### مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸

تاریخ چاپ الکترونیکی: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

\*نویسنده مسول:

[m.gholamalifard@modares.ac.ir](mailto:m.gholamalifard@modares.ac.ir)

با توجه به افزایش جمعیت جهانی تقاضا برای مصرف آبیان در جهان رو به افزایش است، بنابراین بهره‌گیری از روش‌های نوین مانند آبی‌پروری دریایی می‌تواند منبع مطمئنی برای تهیه و تأمین آبیان در جهان باشد. هدف از مطالعه‌ی حاضر آنالیز و تحلیل مکانی مزارع آبی‌پروری دریایی موجود در سواحل استان مازندران می‌باشد. در این مطالعه، سه دسته معیار (کیفیت آب، اقتصادی- اجتماعی و فیزیکی- محیطی) برای آنالیز و تحلیل مکانی مزارع آبی‌پروری موجود در سواحل مازندران در نظر گرفته شد که از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، بر اساس تعریف قانون تصمیم بهره‌گیری شده است و در پایان به تحلیل مزارع آبی‌پروری موجود (۹ مزرعه) با استفاده تابع Extract پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد، موقعیت مزارع حاضر می‌تواند به مناطق مطلوب‌تر با ریسک کمتر انتقال یابد. از بین مزارع موجود، مزرعه‌ی ۱ و ۲ واقع در سواحل جویبار و بابلسر، دارای مناسبترین وضعیت و بالاترین مقدار مطلوبی ت می‌باشند. همچنین نتایج وزن‌دهی بین سه گروه پارامترهای کیفیت آب، فیزیکی و اجتماعی-اقتصادی نشان می‌دهد؛ گروه کیفیت آب با توجه به اهمیت معیارهای دما، کدورت و کلروفیل در آبی‌پروری دریایی دارای وزن بیشتر نسبت به سایر گروه‌ها می‌باشد (۰/۴۰۳۴) و سپس به گروه فاکتورهای فیزیکی (۰/۳۸۰۸) نسبت به فاکتورهای اجتماعی (۰/۲۱۶۸) وزن بیشتری داده شده است. یافته‌های این تحقیق، توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی و نیز تصاویر ماهواره‌ای را در ارزیابی و مکانیابی آبی‌پروری دریایی نشان می‌دهد.

**کلید واژه‌ها:** آبی‌پروری دریایی، تحلیل مکانی از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل

سلسله مراتبی (AHP)، سواحل مازندران

### مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت جهانی تقاضا برای مصرف آبیان در جهان رو به افزایش است و صید جهانی آبیان به حدی رسیده که دیگر نمی‌توان به شیوه‌های کنونی، ذخایر دریاها را بیش از این برای تأمین غذا تحت فشار قرار داد. بنابراین بهره‌گیری از روش‌های نوین مانند آبی‌پروری دریایی می‌تواند منبع مطمئنی برای تهیه و تأمین آبیان و جایگزینی مناسبی برای روش‌های سنتی نظیر صید و ماهیگیری در جهان باشد [۱].

بر اساس گزارش منتشر شده فائو (FAO) در سال ۲۰۱۸، تولید آبزیان از دو منبع «صید» و «آبی‌پروردی» تأمین می‌شود که در هفت دهه اخیر به‌صورت مستمر افزایش داشته و از حدود ۲۰ میلیون تن در اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی، به مرز ۱۷۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۶ رسیده است که سهم تولیدات به روش صید معادل ۹۳/۴ میلیون تن و سهم آبی‌پروردی ۷۶/۶ میلیون تن می‌باشد. همچنین سرانه جهانی مصرف آبزیان از مقدار ۹/۹ کیلوگرم در دهه ۱۹۶۰، به بیش از ۲۰ کیلوگرم در سال ۲۰۱۶ رسیده است.<sup>[۳]</sup> این میزان در ایران و اغلب کشورهای خاورمیانه، آفریقا و آمریکای جنوبی کمتر از ۱۰ کیلوگرم در سال می‌باشد، در صورتی که کشورهای صنعتی دارای مصرفی معادل ۲۷/۴ کیلوگرم در سال هستند. در ایران بر اساس آخرین آمار تا پایان سال ۱۳۹۸ میزان تولیدات آبی‌پروردی ۵۲۶ هزار تن معادل ۴۱ درصد و ۷۵۹ هزار تن معادل ۵۹ درصد از طریق صید و صیادی از مجموع کل یک میلیون و ۲۸۵ هزار تن انواع ماهی، میگو و سایر آبزیان در کل کشور به ویژه در استان‌های ساحلی بوده است. این در حالی است که ایران از ظرفیت‌های مناسبی جهت رشد و توسعه‌ی آبی‌پروردی دریایی برخوردار است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به وجود سواحل گسترده با پتانسیل مناسب در شمال و جنوب کشور اشاره کرد. از طرفی پرورش ماهی در آب‌های شیرین داخلی کشور نیز دارای محدودیت بوده است چرا که ایران با متوسط بارندگی حدود ۲۴۰ میلی‌متر در سال، جزء کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌گردد.<sup>[۴]</sup>

آبی‌پروردی دریایی اگرچه دارای مزایا بسیار است ولی از طرف دیگر نیز دارای اثرات منفی محیط‌زیستی مخرب مانند کاهش کیفیت اکوسیستم‌های آبی و نیز تخریب ذخایر طبیعی خواهد بود.<sup>[۵]</sup> بنابراین با توجه به این محدودیت‌ها، برنامه‌ریزی دقیق و انتخاب مکان مناسب آبی‌پروردی در مرحله‌ی اول به منظور آبی‌پروردی پایدار راه حل مناسبی خواهد بود.<sup>[۶]</sup> مکان‌یابی مناسب مزارع پرورش آبزیان می‌تواند هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای ساخت مزارع و هزینه‌های بهره‌برداری را کاهش داده و همچنین آلودگی‌های محیط‌زیستی ناشی از مزارع را به حداقل رسانده و موجبات رشد وضعیت اقتصادی- اجتماعی را فراهم سازد.<sup>[۷]</sup> به همین منظور استفاده از ابزارها و مدل‌های مکانی مناسب به منظور انتخاب مکان مناسب جهت آبی‌پروردی دریایی امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

سواحل دریای خزر با ۸۷۳ کیلومتر و استان مازندران با ۴۸۷ کیلومتر طول نوار ساحلی جهت سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری‌های صنعت آبی‌پروردی مورد توجه سازمان شیلات ایران همچنین بخش خصوصی می‌باشد. در ایران، چند مطالعه (در قالب طرح‌های کلان ملی شیلاتی) در زمینه توان تولید و امکان سنجی آبی‌پروردی دریایی در خزر جنوبی انجام شده است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به مطالعات شرکت Refa (نروژ در سال ۱۳۸۳ و شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی در سال ۱۳۹۴) اشاره کرد که بر اساس نتایج آن اعلام گردیده است بخش مرکزی این سواحل (استان مازندران) از نظر توپوگرافی بستر و عمق از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. علاوه بر این، در مطالعه انجام شده توسط شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی نشان داده شده است که مناطقی که عمق ۳۰ تا ۵۰ متر و در فاصله ۵ تا ۷/۴ کیلومتری از ساحل قرار دارند، مناسب‌ترین مناطق به جهت آبی‌پروردی بوده و اولویت اول توسعه آبی‌پروردی است.<sup>[۸]</sup>

در همین راستا، هم‌اکنون ۹ مزرعه پرورش ماهی (۷۲ قفس) در مناطق جویبار(۱)، بابلسر(۱)، نوشهر(۲)، تنکابن (۴)، رامسر(۱) در سواحل این استان در عمق ۲۰-۳۰ متر به منظور پرورش ماهیان سردآبی (قزل‌آلای رنگین‌کمان) و گرم‌آبی (خاوباری و کپور دریایی) درحال بهره‌برداری است که در حال حاضر در اکثر این مزارع قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) پرورش داده می‌شود.<sup>[۸]</sup>

با توجه به گستردگی عوامل محیط‌زیستی و اکولوژیکی تأثیرگذار بر خزر جنوبی، به نظر می‌رسد در مطالعات اخیر به‌دلیل در نظر گرفتن تعداد محدودی از فاکتورها و مشاهدات کم مکانی و زمانی و همچنین استفاده از روش‌های ساده تحلیلی، ارزیابی مطلوبی از مکان‌های پرورش صورت نگرفته است. در نتیجه لازم است ابتدا کلیه فاکتورهای تأثیرگذار در نظر گرفته شود و سپس با استفاده از مدل‌های مکانی به تعیین سایت‌های مناسب پرداخته شود.

از تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی مکان‌یابی آبی‌پروردی دریایی می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط پریز<sup>[۹]</sup> و همکاران در سواحل جزیره‌ی Tenerife (یکی از مجموعه جزایر قناری در اسلند)، با استفاده از ابزار GIS و تشکیل پایگاه مکانی از متغیرهای مؤثر کیفیت آب به تعیین مکان مناسب جهت پرورش ماهی باس و سی‌باس در قفس‌های دریایی پرداخته‌اند. نتایج آنالیز حساسیت در این پروژه بیانگر آن بود که دو

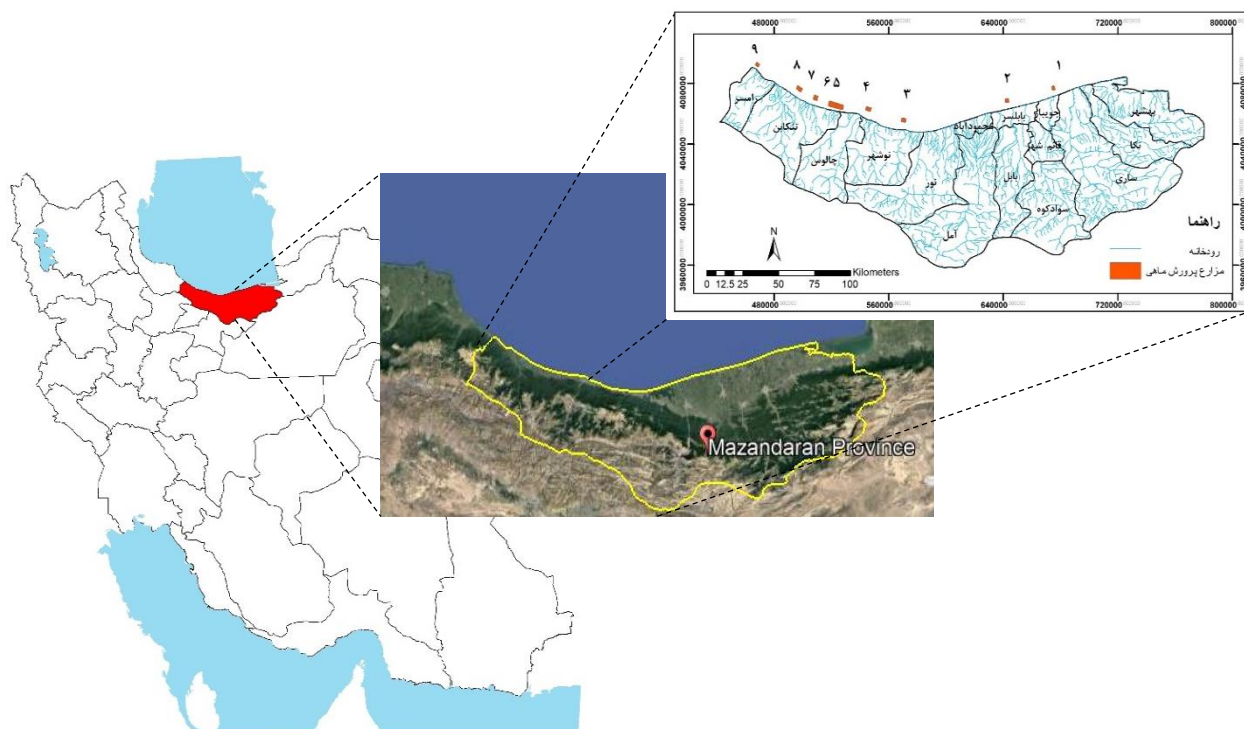
متغیر دما و شفافیت آب مؤثرترین عوامل در این مکان‌یابی هستند رادیارتا [۱۱، ۱۲] و همکاران با هدف تعیین مناطق مناسب جهت پرورش گوش‌ماهی در خلیج Funka در ژاپن انجام گرفت. این مطالعه در محیط GIS با استفاده از مدل ارزیابی چند متغیره (MCE) و رویه ترکیب خطی وزنی (WLC) انجام شده است و در پایان خروجی نهایی به منظور تایید نتایج حاصل از مدل با منطقه مورد مطالعه مقایسه شدند. فالکونر [۱۳] و همکاران در جزایر واقع در سواحل شمال غربی اسکاتلند که در این مطالعه فقط متغیرهای فیزیکی - محیطی (عمق، جنس بستر، ارتفاع موج، سرعت جریان آب) به منظور طراحی مهندسی نوع قفس با توجه به محدودیت‌ها و شرایط محیطی در نظر گرفته شده‌اند که ابزار مورد استفاده GIS و روش مورد استفاده WLC بوده است. داپتو [۱۴] و همکاران در مناطق دور از ساحل در دریای Ligurian ایتالیا، میکال [۱۵] و همکاران در مجمع‌الجزایر Azores (اطلس شمالی) و فالکونر [۱۶] و همکاران که به تعیین مناطق مناسب آبی‌پروری در آب شیرین دلتای Mekong در جنوب بریتانیا اشاره کرد. همچنین مطالعات انجام شده در این زمینه در داخل کشور، به غیر از دو مطالعه ذکر شده می‌توان به پژوهش انجام شده توسط هادی پور [۱۴] در منطقه ساحلی هرمزگان اشاره کرد. این مطالعه با در نظر گرفتن معیارهایی مانند پارامترهای آب و خاک، امکانات زیربنایی و وضعیت اقلیمی مناطق مناسب به منظور پرورش میگو در ساحل را شناسایی کردند که روش مورد استفاده در این تحقیق روش ترکیب خطی وزنی (WLC) است که نتایج حاصل نشان داد که مناطق بخش شرقی از مطلوبیت بیشتری به این منظور برخوردار است.

در مطالعه حاضر، سه دسته معیار (کیفیت آب، اقتصادی - اجتماعی و فیزیکی - محیطی) برای انتخاب محل مناسب به منظور آبی‌پروری دریایی در نظر گرفته شد. در ادامه با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System - GIS) و بر اساس تعریف قانون تصمیم [۱۶] به تحلیل مزارع آبی‌پروری موجود (۹ مزرعه) پرداخته می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه سواحل استان مازندران می‌باشد که بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است. طول نوار ساحلی دریای خزر ۸۷۳ کیلومتر (استان مازندران با ۴۸۷ کیلومتر) بدون هیچ خلیج و یا دماغه‌ای که برای قفس‌های پرورش پناهگاه تلقی شود. شکل ۱ سواحل استان مازندران و نیز موقعیت مزارع موجود آبی‌پروری دریایی در این استان را نشان می‌دهد. به منظور سهولت در بررسی و آنالیز نتایج در منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های Index سازمان نقشه برداری کشور استفاده می‌شود.



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه همراه با موقعیت مزارع آبی پروردی موجود

### تشکیل پایگاه داده‌های مکانی

در این مرحله بر اساس مطالعات گذشته و بررسی‌های مختلف، داده‌های مورد نیاز برای مکان‌یابی آبی پروردی دریایی شناسایی و در قالب ۱۸ پارامتر (۱۴ فاکتور و ۴ محدودیت) و در سه گروه اصلی به شرح زیر تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱. داده‌های مکانی مورد استفاده در تحقیق

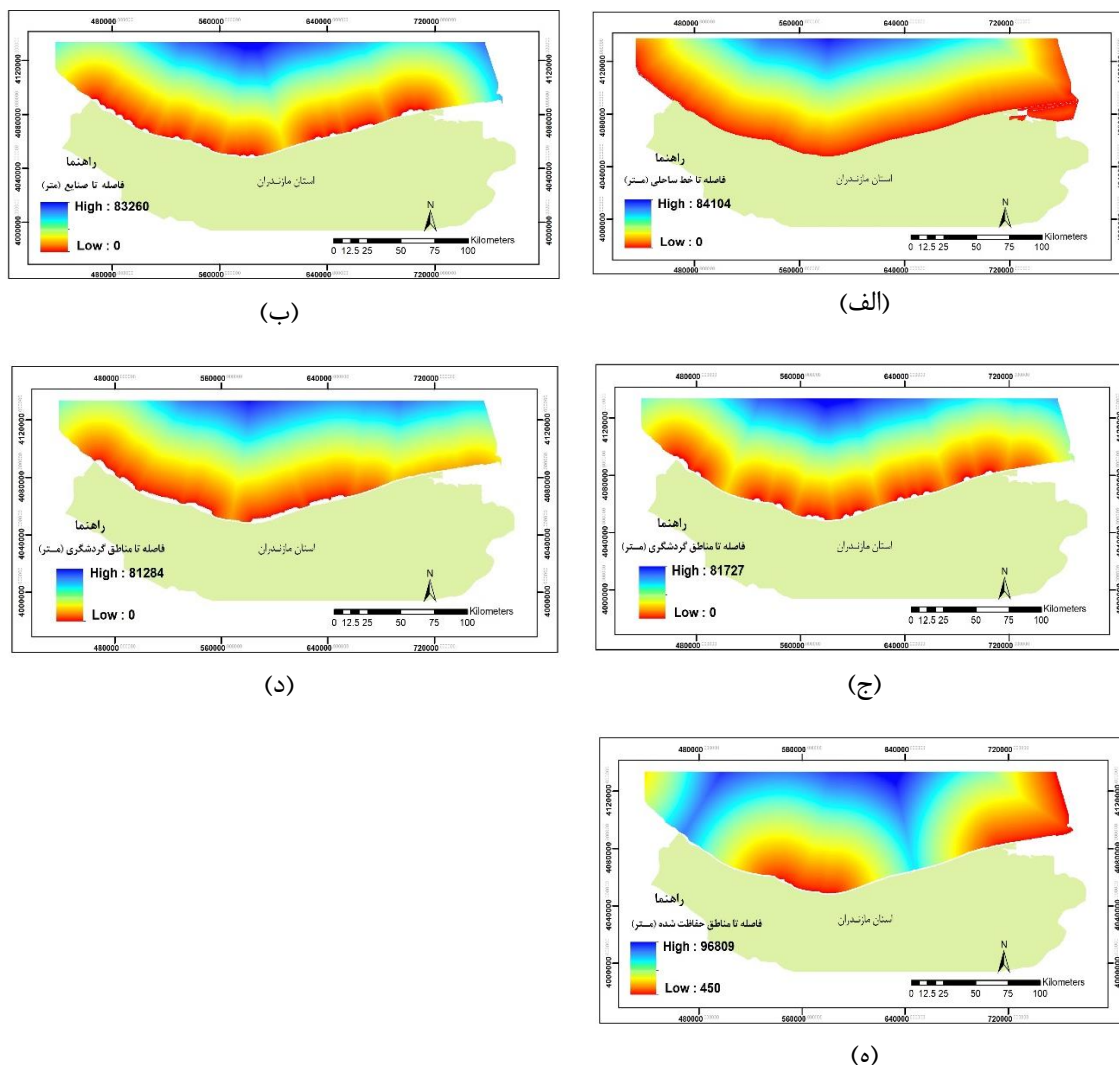
| منبع تهیه  | مقیاس            | نام معیار                      | گروه  |
|--|------------------|--------------------------------|---|
| ماهواره‌ی MODIS، سنجنده Aqua، آدرس سایت: <a href="http://oceancolor.gsfc.nasa.gov">http://oceancolor.gsfc.nasa.gov</a> | رزولیشن: ۴ km    | دما (حداکثر و حداقل)           | معیارهای کیفیت آب (Water Quality)               |
|  | رزولیشن: ۴ km    | کدورت                          |   |
|  | رزولیشن: ۴ km    | کلروفیل - آ                    |   |
| سازمان نقشه‌برداری   | ۱:۲۵۰۰۰          | عمق                            | معیارهای فیزیکی و محیطی (Physical-Enviremental) |
| سازمان بنادر و دریانوردی (مدل‌سازی امواج دریایی‌های ایران (ISWM)   | ۱:۲۵۰۰۰          | حداکثر ارتفاع موج              |   |
| (عمق / فاصله از ساحل) * ۱۰۰  | ۱:۲۵۰۰۰          | حداکثر سرعت باد                |   |
| مدل HYCOM، Kara و همکاران، ۲۰۱۰  | رزولیشن: ۳ km    | شیب بستر                       |   |
| سازمان نقشه برداری کشور<br>سازمان جغرافیایی وزارت دفاع<br>سازمان حفاظت محیط‌زیست<br>Google Earth 7.1.5.1557            | ۱:۲۵۰۰۰          | فاصله تا مناطق گردشگری         | معیارهای اقتصادی و اجتماعی (Social-Economic)    |
|  | ۱:۲۵۰۰۰          | فاصله تا صنایع                 |   |
|  | ۱:۲۵۰۰۰          | فاصله تا ساحل                  |   |
|  | ۱:۲۵۰۰۰          | فاصله تا شهر                   |   |
|  | ۱:۲۵۰۰۰          | فاصله تا مناطق حفاظت شده ساحلی |   |
| محدودیت‌ها (Constrain)   | ۱:۲۵۰۰۰          | محدوده‌ی بنادر                 | محدودیت‌ها (Constrain)                          |
|  | ۱:۲۵۰۰۰          | دهانه رودخانه‌های اصلی         |   |
|  | ۱:۲۵۰۰۰          | فاصله از خط ساحلی              |   |
| ۱:۲۵۰۰۰  | عمق ۲۰ تا ۵۰ متر |                                |   |

### پیش‌پردازش لایه‌های اطلاعاتی

در این مرحله عملیات پیش‌پردازش روی داده‌ها در محیط ترست (Terrset) نسخه‌ی ۱۸/۱۱ انجام گردید. تمامی لایه‌ها به صورت رستری و با مختصات (WGS-1984-UTM-Zone-39N) و اندازه پیکسل ۳۰ متر در محدوده‌ی سواحل استان مازندران تهیه شدند تا در مراحل بعدی به منظور مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گیرند. پیش‌پردازش داده‌ها که شامل زمین مرجع‌سازی (Geometric Correction) and Geocoding، ایجاد حریم (Buffer)، نقشه فاصله (Distance) و تهیه نقشه میانگین، ماکزیمم و مینیمم از سری تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ می‌باشد.

### پیش‌پردازش معیارهای اقتصادی-اجتماعی

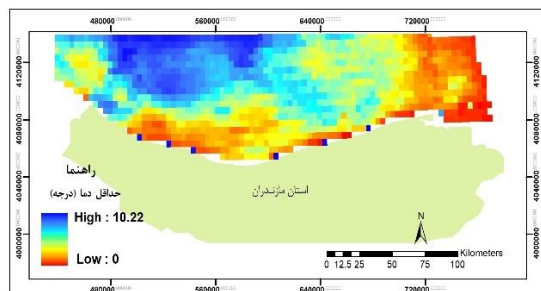
معیارهای در نظر گرفته شده در این گروه شامل: فاصله تا خط ساحلی، فاصله تا مراکز صنعتی، فاصله تا مناطق گردشگری، فاصله تا شهر و فاصله تا مناطق حفاظت شده می‌باشد که با استفاده از توابع فاصله پردازش شده است (شکل ۲).



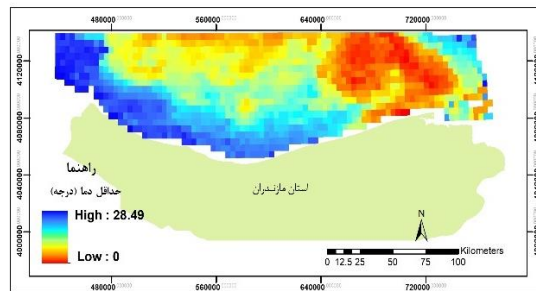
شکل ۲. بیش پردازش معیارهای اجتماعی-اقتصادی الف؛ فاصله تا خط ساحلی ب؛ فاصله تا مراکز صنعتی ج؛ فاصله تا مناطق گردشگری د؛ فاصله تا شهر ه؛ فاصله تا مناطق حفاظت شده

### پیش‌پردازش معیارهای کیفیت آب

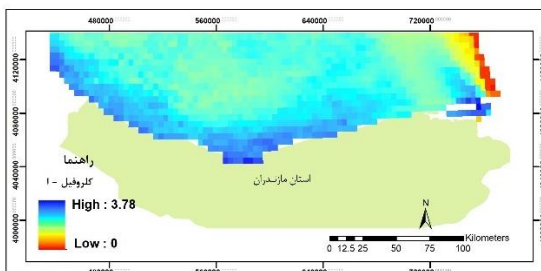
دما (SST: Ses Surface Water)، کدورت و کلروفیل، مهمترین عوامل تأثیرگذار در انتخاب مکان مناسب به منظور آبروی‌پروری دریایی در گروه کیفیت آب می‌باشند که هر سه از ماهواره‌های MODIS و سنجده Aqua با رزولوشن ۴ کیلومتر برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ به صورت ماهانه تهیه شد. در اکثر مطالعات بررسی شده تصاویر ماهواره به صورت میانگین ماهانه تهیه شده‌اند [۱۱، ۱۳، ۱۸]. اما در این مطالعه دما را به صورت تصویر حداقل و حداکثر دمای سطح آب در این بازه زمانی در نظر گرفته شده است همچنین مطالعات مختلف نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین انعکاس سنجش از دوری طول موج ۵۵۵ نانومتر (SST: Ses Surface Water) و مقدار کدورت وجود دارد [۷، ۱۱، ۱۹]. در این مطالعه از تصاویر مربوط به این طول موج استفاده شده است (شکل ۳).



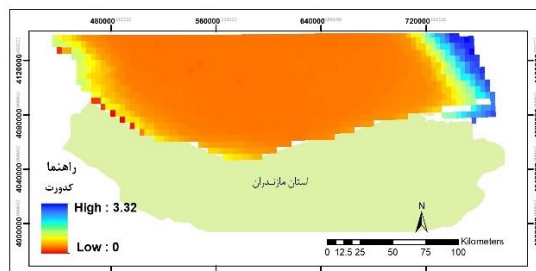
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳. پیش پردازش معیارهای کیفیت آب الف؛ حداکثر دما؛ ب؛ حداقل دما؛ ج؛ کدورت؛ د؛ کلروفیل-ا

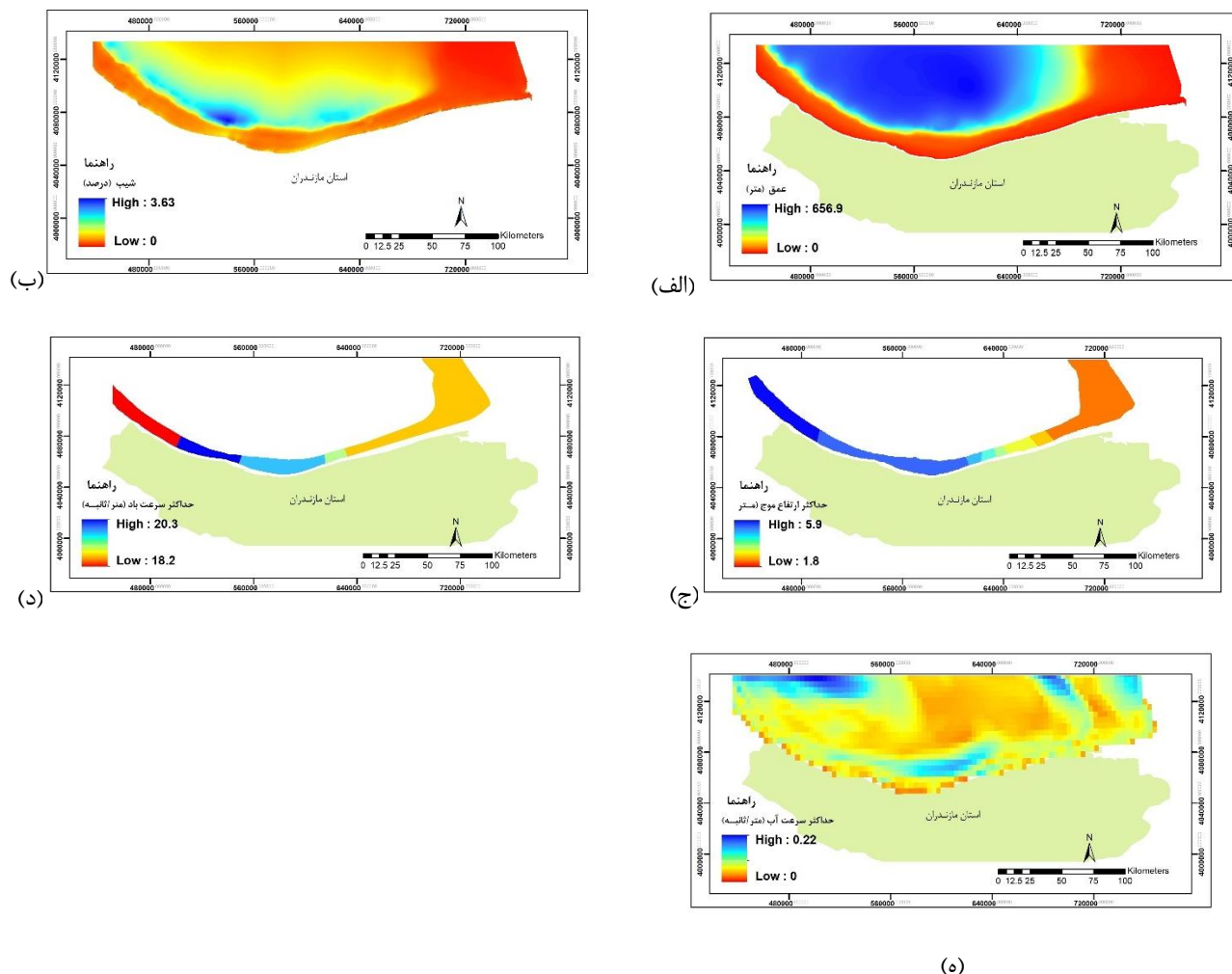
### پیش پردازش معیارهای فیزیکی - محیطی

عمق مناسب، شیب بستر، سرعت جریان، حداکثر ارتفاع موج و حداکثر سرعت باد از معیارهای مهم و تأثیرگذار در بخش فیزیکی و محیطی است. این گروه از معیارها در مکان استقرار قفس‌ها، ساختار آن‌ها و همچنین هزینه و مشکلات مهار کردن قفس‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور تهیه عمق، خطوط هیدروگرافی تهیه شده از سازمان نقشه برداری را با استفاده از نرم‌افزار GIS ۱۰/۰۲ توسط تابع Topo to raster به نقشه‌ی رستری تبدیل گردید و شیب بستر نیز از طریق تقسیم عمق بر فاصله ( $\times 100$ ) از ساحل تهیه گردید و نیز برای بررسی و تحلیل امواج و نیز حداکثر سرعت باد از اطلاعات پروژه‌ی مدل‌سازی امواج دریای‌های ایران (Iranian Sea Wave Modelling, ISWM) بهره گرفته شده است. این پروژه به مدل‌سازی و پیش‌بینی مشخصات امواج و تحلیل حدی سرعت باد در دریای خزر طی بازه زمانی ژانویه ۱۹۹۲ تا آگوست ۲۰۰۲ میلادی پرداخته است (مدل‌سازی امواج دریای‌های ایران، ۱۳۸۷). سرعت جریان به عنوان مهم‌ترین داده مورد نیاز، از طریق نتایج شبیه‌سازی جریان دریای خزر توسط مدل HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) تهیه گردید [۴]. (شکل ۴)

### تهیه نقشه‌های محدودیت

تصاویر تهیه شده در این بخش به دو طبقه صفر و یک (بولین) تقسیم بندی شده است. بر اساس قوانین اداره ایمنی و حفاظت دریایی ادارات بنادر و دریانوردی ایران، هر بندر دارای حریم دریایی به اندازه ۳ مایل دریایی (هر مایل دریایی معادل ۱۸۵۲ متر) برابر با ۵/۵ کیلومتر از محل موجشکن است که در این محدوده احداث هیچ سازه‌ای امکانپذیر نبوده و به شدت مورد حفاظت قرار می‌گیرد. رودخانه‌های متعددی در سواحل مازندران سرازیر می‌شوند. مقدار حجم آبی که توسط این رودخانه‌ها به دریای خزر می‌ریزد از عوامل محدودکننده در انتخاب محل مناسب برای استقرار قفس‌های پرورش ماهیان است. به همین علت بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری؛ ۱۹ رودخانه اصلی با بیشترین دبی و حجم آب انتخاب گردید. پس از انتخاب رودخانه‌های اصلی، موقعیت جغرافیایی دهانه هر رودخانه با گوگل ارث چک شد و سپس حریم ۵ کیلومتری آن‌ها به عنوان حریم محدود کننده با ارزش صفر جدا گردید. همچنین عمق مورد نظر برای قفس‌های دریایی در دریای خزر حداقل ۲۰ متر و حداکثر ۵۰ متر محاسبه گردید. لذا مساحت بین این دو خطوط هم عمق، به عنوان مناطق مناسب آبی‌پروردی دریایی، مورد تأیید قرار می‌گیرد. دسترسی به

سایت‌های آبرزی پروری یکی از عوامل مهم در موفقیت این صنعت است، در حالی که هیچ تعریف جهانی برای این فاصله در نظر گرفته نشده است با این حال فاصله ۳ تا ۲۰ کیلومتر به عنوان فاصله مناسب برای این منظور در نظر گرفته می‌شود [۲۱]. (شکل ۵)

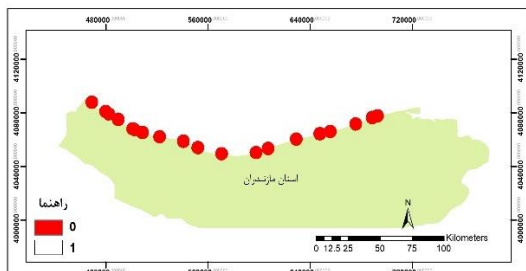


شکل ۴. پیش پردازش معیارها فیزیکی-محیطی الف؛ عمق ب؛ شیب بستر ج؛ حداکثر ارتفاع موج د؛ حداکثر سرعت باد ه؛ سرعت جریان آب

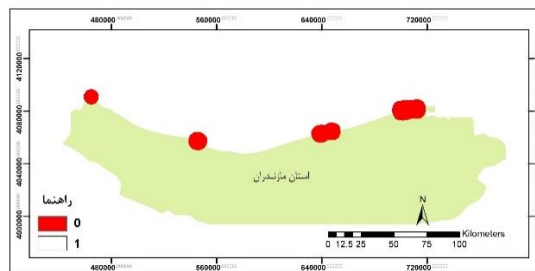
### استانداردسازی (نرمال سازی) فاکتورهای قانون تصمیم تحقیق

استانداردسازی (Fuzzy)، به منظور تبدیل واحدهای محاسباتی متفاوت فاکتورها به ارزش‌های قابل مقایسه انجام می‌شود. انتخاب توابع عضویت مورد نیاز برای استانداردسازی، به اطلاعات کاربر درباره چگونگی تغییر مطلوبیت برای هر فاکتور وابسته است. در این روش تمام فاکتورها در مقیاس پیوسته مطلوبیت استاندارد می‌شوند و امکان ترکیب تمام تصاویر مربوط به فاکتورها ممکن می‌شود [۲۲، ۲۳]. در این مطالعه استانداردسازی بر اساس میزان مطلوبیت فاکتورهای معرفی شده برای پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان انجام شده است. برای این کار از توابع عضویت فازی (استانداردسازی) در مقیاس بابت (۰ تا ۲۵۵) استفاده شد. عدد دارای بالاترین مطلوبیت و عدد صفر فاقد مطلوبیت می‌باشد و طیفی از این مقادیر بین این دو عدد قرار می‌گیرند که هر چه به ۲۵۵ نزدیکتر می‌شود، مطلوبیت افزایش می‌یابد [۲۴]. علاوه بر مسأله انتخاب مقیاس جهت تهیه

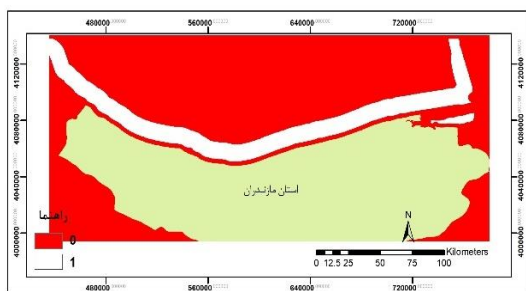
نقشه‌های فازی می‌بایست نوع تابع فازی را نیز مورد بررسی قرار داده و تابع مناسب‌تر را برای معیار مورد نظر انتخاب نمود. از توابع مشهور می‌توان به توابع سیگموئیدی (S شکل)، خطی (L شکل) و J شکل اشاره کرد<sup>[۱۷]</sup>. به‌منظور استانداردسازی فاکتورهای ذکر شده از توابع عضویت فازی اشاره شده در جدول ۲ استفاده شده است.



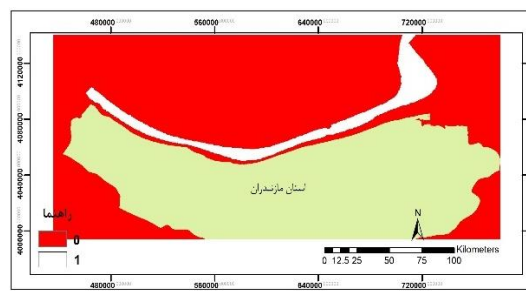
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۵. تصاویر محدودیت را به منظور آبی‌پروردی دریایی در سواحل استان مازندران. (الف) محدوده نامناسب بندر، (ب) محدوده نامناسب رودخانه‌ها، (ج) عمق مناسب ۲۰ تا ۵۰ متر، (د) محدوده مناسب فاصله تا ساحل (۳ تا ۲۰ کیلومتر)

### وزن‌دهی فاکتورها

وزن‌دهی معیارها در واقع همان تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های تأثیرگذار در یک فرایند تصمیم‌گیری است که می‌تواند به شیوه‌های مختلف صورت پذیرد<sup>[۱۳]</sup>. فرایند سلسله مراتبی تحلیلی (Analytical Hierarchy Process (AHP)) معمول‌ترین روش تحلیل تصمیم‌گیری‌ها می‌باشد و امکان استفاده مستقیم از نظر کارشناسان را فراهم می‌آورد. AHP با ساختاردهی مسائل در قالب سلسله مراتبی به حل آن‌ها می‌پردازد. این روش برای ارزش‌دهی، یا رتبه‌بندی یک دسته از گزینه‌ها استفاده می‌شود و بدین ترتیب انتخاب شایسته‌ترین گزینه‌ها ممکن می‌شود<sup>[۱۳]</sup>. از این روش وزن‌دهی معیارها در تحقیق حاضر، روش مقایسه‌های دو به دو (Comparisons Pairwise) می‌باشد. در این روش وزن‌دهی در یک مقیاس پیوسته شامل ۹ نقطه صورت می‌گیرد و هر کدام از این اعداد نشان‌دهنده‌ی یک درجه‌ی اهمیت هستند. به طوری که مقدار "۱"، نشان‌دهنده‌ی "اهمیت بسیار کم" و مقدار "۹" نشان‌دهنده‌ی "اهمیت بسیار زیاد" یک شاخص نسبت به شاخص دیگر است<sup>[۱۴]</sup>. جدول ۳ مقیاس درجه‌بندی پیوسته به منظور وزن‌دهی فاکتورها بر اساس روش AHP را نشان می‌دهد.



جدول ۲. نوع و شکل توابع فازی معیارهای مورد استفاده در این مطالعه

| فرمول تابع  | نقاط کنترل                       |       |      |       | نوع و شکل تابع عضویت فازی | معیار                  |
|---|----------------------------------|-------|------|-------|---------------------------|------------------------|
|   | a                                | b     | C    | D     |                           |                        |
| $X_i = \left(\frac{R_i - c}{d - c}\right) \times 255$ $+$ $X_i = 1 - \left(\frac{R_i - a}{b - a}\right) \times 255$ | خطی و متقارن                     |       |      |       |                           | حداکثر دما             |
|   | ۲۰                               | ۲۵    | ۲۵   | ۳۰    |                           |                        |
|   | خطی و متقارن                     |       |      |       |                           | حداقل دما              |
|   | ۶                                | ۱۰    | ۱۲   | ۱۵    |                           |                        |
| $X_i = 1 - \left(\frac{R_i - a}{b - a}\right) \times 255$   | خطی و به طور یکنواخت کاهشی       |       |      |       |                           | کدورت                  |
|   | ۰                                | ۰     | ۰/۱  | ۳/۵   |                           |                        |
| $\mu = \cos^2 \alpha \times 255$ $\alpha = \frac{(x - c)}{(d - c)} \times \frac{\pi}{2}$                            | سیگموئیدی و به طور یکنواخت کاهشی |       |      |       |                           | کلروفیل-آ              |
|   | ۰                                | ۰     | ۰    | ۱۰    |                           |                        |
|   | سیگموئیدی و به طور یکنواخت کاهشی |       |      |       |                           | حداکثر ارتفاع موج      |
|   | ۰                                | ۰     | ۰    | ۴     |                           |                        |
|   | سیگموئیدی و به طور یکنواخت کاهشی |       |      |       |                           | حداکثر سرعت باد        |
|   | ۰                                | ۰     | ۰    | ۲۷    |                           |                        |
|   | خطی و متقارن                     |       |      |       |                           | شیب بستر               |
|   | ۰                                | ۰/۵   | ۱    | ۱۰    |                           |                        |
|   | خطی و متقارن                     |       |      |       |                           | سرعت جریان             |
|   | ۰/۰۲                             | ۰/۱۵  | ۰/۲  | ۰/۳   |                           |                        |
|   | خطی و متقارن                     |       |      |       |                           | عمق                    |
|   | ۰                                | ۳۰    | ۵۰   | ۱۰۰   |                           |                        |
| $X_i = \left(\frac{R_i - c}{d - c}\right) \times 255$   | خطی و به طور یکنواخت افزایشی     |       |      |       |                           | فاصله تا صنایع         |
|   | ۰                                | ۱۲۰۰۰ | ۰    | ۰     |                           |                        |
|   | خطی و متقارن                     |       |      |       |                           | فاصله تا ساحل          |
|   | ۳۰۰۰                             | ۵۰۰۰  | ۷۵۰۰ | ۲۰۰۰۰ |                           |                        |
|   | خطی و به طور یکنواخت کاهشی       |       |      |       |                           | فاصله تا شهر           |
|   | ۰                                | ۰     | ۰    | ۴۵۰۰  |                           |                        |
|   | خطی و به طور یکنواخت افزایشی     |       |      |       |                           | مناطق حفاظت شده ساحلی  |
|   | ۰                                | ۵۰۰۰۰ | ۰    | ۰     |                           |                        |
|   | خطی و به طور یکنواخت افزایشی     |       |      |       |                           | فاصله تا مناطق توریستی |
|   | ۰                                | ۷۵۰۰  | ۰    | ۰     |                           |                        |

جدول ۳. مقیاس درجه بندی پیوسته به منظور وزن دهی فاکتورها بر اساس روش AHP

|                           |                  |                  |                 |                            |            |          |               |            |
|---------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------------------|------------|----------|---------------|------------|
| ۱/۹<br>(یک نهم)           | ۱/۷<br>(یک هفتم) | ۱/۵<br>(یک پنجم) | ۱/۳<br>(یک سوم) | ۱                          | ۳          | ۵        | ۷             | ۹          |
| Extremely                 | Very Strongly    | Strongly         | Moderately      | Equally                    | Moderately | Strongly | Very Strongly | Extremely  |
| فوق العاده                | خیلی قوی         | قوی              | بطور میانه      | مساوی                      | بطور میانه | قوی      | خیلی قوی      | فوق العاده |
| Less important اهمیت کمتر |                  |                  |                 | More important اهمیت بیشتر |            |          |               |            |

همچنین شاخص عددی نسبت پایداری یا سازگاری ((Consistency Ratio (CR))، برای بررسی استحکام (ناسازگاری) ماتریس مقایسه‌ی دو به دو استفاده می‌شود که پس از محاسبه آن، ماتریس‌هایی که نرخ CR آن‌ها بیشتر از حد قابل قبول باشد ( $CR \geq 0.1$ ) باید مورد ارزیابی مجدد قرار گیرد و در نهایت ماتریس‌هایی که دارای نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ شود، در روند تعیین وزن معیارها شرکت داده می‌شوند [۲۴].

جدول ۴. میانگین مقدار و عدد فازی ۱۴ فاکتور در هر ۹ مزرعه‌ی آبی‌پرویی موجود در سواحل مازندران

| نوع پارامتر | MaxT          | MinT | Bath | SSC | Chl-a | WH  | WS      | SIS  | CV  | DI   | DT  | DC    | DB   | DP  |      |
|-------------|---------------|------|------|-----|-------|-----|---------|------|-----|------|-----|-------|------|-----|------|
| مزرعه ۱     | مقدار پارامتر | ۲۵/۶ | ۹/۴  | ۲۰  | ۰/۵۰  | ۲/۷ | ۵/۹-۶/۴ | ۱۸/۵ | ۰/۳ | ۰/۱  | ۴/۳ | ۱۰/۱۰ | ۱۱/۶ | ۵/۲ | ۳۵/۱ |
|             | عدد فازی      | ۱۵۱  | ۲۰۰  | ۹۷  | ۱۷۲   | ۱۸۶ | ۱۴۰     | ۱۹۰  | ۲۲۱ | ۱۶۳  | ۱۱۰ | ۲۵۵   | ۱۸۹  | ۲۴۱ | ۲۰۳  |
| مزرعه ۲     | مقدار پارامتر | ۲۷/۱ | ۸/۳  | ۲۸  | ۰/۴۷  | ۲/۹ | ۵/۹-۶/۴ | ۲۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۱۱ | ۲/۹ | ۳/۸   | ۲/۵  | ۵/۵ | ۶۰/۶ |
|             | عدد فازی      | ۱۵۴  | ۱۶۱  | ۲۳۰ | ۱۸۰   | ۱۷۹ | ۱۴۰     | ۱۳۰  | ۲۳۸ | ۱۸۸  | ۷۴  | ۱۲۲   | ۲۴۰  | ۲۵۰ | ۲۵۵  |
| مزرعه ۳     | مقدار پارامتر | ۲۷/۰ | ۷/۶  | ۳۱  | ۰/۶۸  | ۳/۰ | ۲/۶     | ۱۹/۲ | ۰/۴ | ۰/۰۶ | ۶/۱ | ۳/۸   | ۱۳/۴ | ۶/۴ | ۷/۰  |
|             | عدد فازی      | ۱۶۵  | ۹۵   | ۲۴۸ | ۱۱۶   | ۱۷۶ | ۲۳۰     | ۱۸۵  | ۲۴۶ | ۸۵   | ۱۵۶ | ۱۲۳   | ۱۷۸  | ۲۴۶ | ۱۲   |
| مزرعه ۴     | مقدار پارامتر | ۲۷/۲ | ۷/۷  | ۴۴  | ۰/۵۴  | ۲/۷ | ۴/۸-۳/۵ | ۱۹/۲ | ۰/۸ | ۰/۰۷ | ۵/۵ | ۳/۳   | ۲/۹  | ۵/۵ | ۶/۶  |
|             | عدد فازی      | ۱۴۸  | ۱۰۱  | ۲۵۵ | ۱۶۱   | ۱۸۵ | ۱۹۰     | ۱۸۵  | ۱۶۶ | ۱۱۱  | ۱۴۱ | ۱۰۵   | ۲۳۸  | ۲۵۰ | ۱۰   |
| مزرعه ۵     | مقدار پارامتر | ۲۶/۱ | ۷/۵  | ۲۸  | ۰/۷۰  | ۲/۹ | ۵/۹-۶/۴ | ۱۹/۶ | ۰/۸ | ۰/۰۷ | ۱/۶ | ۱/۰   | ۰/۶  | ۳/۲ | ۱۴/۵ |
|             | عدد فازی      | ۱۹۲  | ۸۶   | ۲۰۱ | ۱۰۹   | ۱۸۱ | ۱۴۰     | ۱۵۰  | ۱۵۵ | ۱۱۲  | ۴۲  | ۳۲    | ۲۵۲  | ۵۵  | ۴۹   |
| مزرعه ۶     | مقدار پارامتر | ۲۷/۲ | ۷/۲  | ۲۶  | ۰/۶۹  | ۲/۷ | ۵/۹-۶/۴ | ۲۰/۱ | ۰/۷ | ۰/۰۷ | ۳/۱ | ۴/۹   | ۰/۸  | ۳/۶ | ۱۹/۴ |
|             | عدد فازی      | ۱۱۵  | ۸۴   | ۱۹۰ | ۱۱۴   | ۱۸۴ | ۱۴۰     | ۱۳۰  | ۱۸۶ | ۱۰۳  | ۷۹  | ۱۵۶   | ۲۵۱  | ۹۲  | ۸۳   |
| مزرعه ۷     | مقدار پارامتر | ۲۷/۲ | ۷/۴  | ۲۹  | ۰/۷۸  | ۲/۹ | ۵/۹-۶/۴ | ۲۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۰۹ | ۳/۱ | ۱۷/۲  | ۱/۹  | ۵/۱ | ۳۱/۸ |
|             | عدد فازی      | ۱۴۶  | ۷۱   | ۲۳۲ | ۸۷    | ۱۸۰ | ۱۴۰     | ۱۳۰  | ۲۲۳ | ۱۳۹  | ۸۰  | ۲۵۵   | ۲۴۳  | ۲۸۲ | ۱۸۰  |
| مزرعه ۸     | مقدار پارامتر | ۲۷/۰ | ۷/۸  | ۳۱  | ۰/۹۷  | ۲/۹ | ۵/۹-۶/۴ | ۲۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۰۹ | ۳/۴ | ۱۴/۰  | ۳/۳  | ۵/۸ | ۴۴/۵ |
|             | عدد فازی      | ۱۶۶  | ۱۱۲  | ۲۵۳ | ۳۸    | ۱۸۰ | ۱۴۰     | ۱۳۰  | ۲۳۳ | ۱۵۱  | ۸۷  | ۲۵۵   | ۲۳۲  | ۲۵۲ | ۲۴۷  |
| مزرعه ۹     | مقدار پارامتر | ۲۶/۶ | ۶/۷  | ۲۱  | ۰/۵۳  | ۳/۰ | ۵/۵     | ۱۸/۵ | ۰/۶ | ۰/۰۷ | ۰/۹ | ۰/۵   | ۰/۵  | ۳/۱ | ۷۵/۱ |
|             | عدد فازی      | ۱۹۰  | ۷۴   | ۱۱۳ | ۱۵۸   | ۱۷۷ | ۱۶۰     | ۱۹۰  | ۱۹۶ | ۱۱۳  | ۲۳  | ۱۷    | ۲۵۲  | ۳۲  | ۲۵۵  |

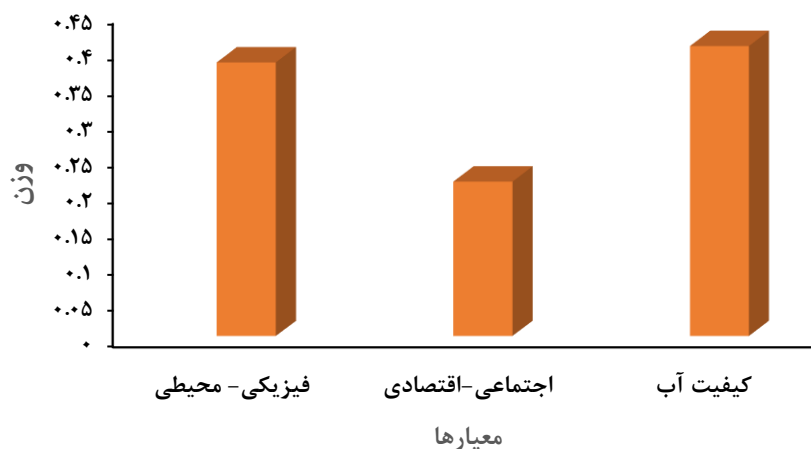
حداکثر دما (MaxT)، حداقل دما (MinT)، عمق (Bath)، کدورت (SSC)، کلروفیل (Chl-a)، ارتفاع موج (WH)، سرعت باد (WS)، شیب‌بستر (SIS)، سرعت جریان آب (CV)، فاصله تا صنایع (DI)، فاصله تا مناطق گردشگری (DT)، فاصله تا شهر (DC)، فاصله تا ساحل (DB)، فاصله تا مناطق حفاظت شده ساحلی (DP).

## نتایج و بحث

در ابتدا ۱۴ معیار مورد استفاده برای تحلیل وضعیت مزارع آبی‌پروری، استاندارد شدند. سپس با استفاده از تابع Extract میانگین مقدار هر پارامتر و نیز میزان مطلوبیت (عدد فازی) در هر ۹ مزرعه‌ی موجود محاسبه گردید. نتایج حاصل از این تابع در جدول ۴ نمایش داده شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده در جدول ۴ مزرعه‌ی شماره ۱ واقع در سواحل جویبار از نظر همه پارامترها در وضعیت مطلوبی قرار دارد و عدد فازی به جز در فاکتور عمق در بقیه بیش از ۱۰۰ می‌باشد که پیشنهاد می‌شود محل استقرار این مزرعه به فاصله دورتر از ساحل در عمق مناسب‌تر انتقال یابد.

مزرعه‌ی شماره ۲ واقع در سواحل بابلسر نیز از نظر همه فاکتورها دارای وضعیت مطلوب است ولی به دلیل نزدیکی به دو منطقه‌ی دفن زباله در فریدون‌کنار و بابلسر دارای مطلوبیت ۷۴ است که لازم از این مزرعه هم در فاصله‌ی دورتر از ساحل قرار گیرد. مزرعه‌ی شماره ۳ واقع در سواحل نوشهر است دارای پایین‌ترین مطلوبیت در فاکتور فاصله تا مناطق حفاظت شده است. این مزرعه در فاصله ۷ کیلومتری از منطقه‌ی حفاظت شده البرز قرار دارد. علاوه بر آن دو فاکتور سرعت و حداقل دما پایین‌تر از حد استاندارد تعیین شده است که به ترتیب برابر با ۰/۰۶ متر بر ثانیه و ۷/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و عدد مطلوبیت در آن‌ها به ترتیب برابر با ۸۵ و ۹۵ می‌باشد. بر اساس تصاویر محدودیت مزرعه‌ی شماره ۴ در محدوده بندر نوشهر با ارزش صفر و مزرعه ۹ در محدوده‌ی تعیین شده حفاظتی بندر رامسر قرار دارد که این محدوده در تصاویر محدودیت با ارزش صفر در نظر گرفته شده است. مزرعه‌ی شماره ۵، ۶ واقع در سواحل چالوس و تنکابن به دلیل قرار گرفتن در سواحل غربی از نظر فاکتور حداقل دما دارای مطلوبیت پایینی می‌باشد و نیز فاکتورهای اجتماعی-اقتصادی مانند فاصله تا مناطق حفاظت شده، فاصله تا ساحل و فاصله تا صنایع دارای مطلوبیت بسیار کمی می‌باشد ولی مزرعه شماره ۶ در وضعیت مناسبتری از لحاظ رعایت فاصله تا مناطق گردشگری دارد. مزرعه‌ی ۷ و ۸ در سواحل تنکابن هر دو از نظر همه‌ی پارامترها به جز کدورت و فاصله تا صنایع عدد مطلوبیت پایینی داشته و باید این مزارع به مناطقی با وضعیت بهتر از لحاظ این دو پارامتر انتقال یابد. مزرعه‌ی ۱ و ۲ دارای مناسبترین وضعیت و بالاترین مقدار مطلوبیت را نسبت به سایر مزارع دارند. سپس وزن‌دهی ۳ گروه معیارها با استفاده از روش سلسله مراتبی و برگرفته از مرور منابع انجام شده است. در جدول ۵ وزن هر گروه از معیارها و وزن هر زیرمعیار در هر گروه مشخص شده است. شکل ۶ و ۷ نمودارهای مربوط به وزن هر معیار و زیر معیار نشان داده شده است.



شکل ۶. وزن محاسبه شده معیارهای اصلی

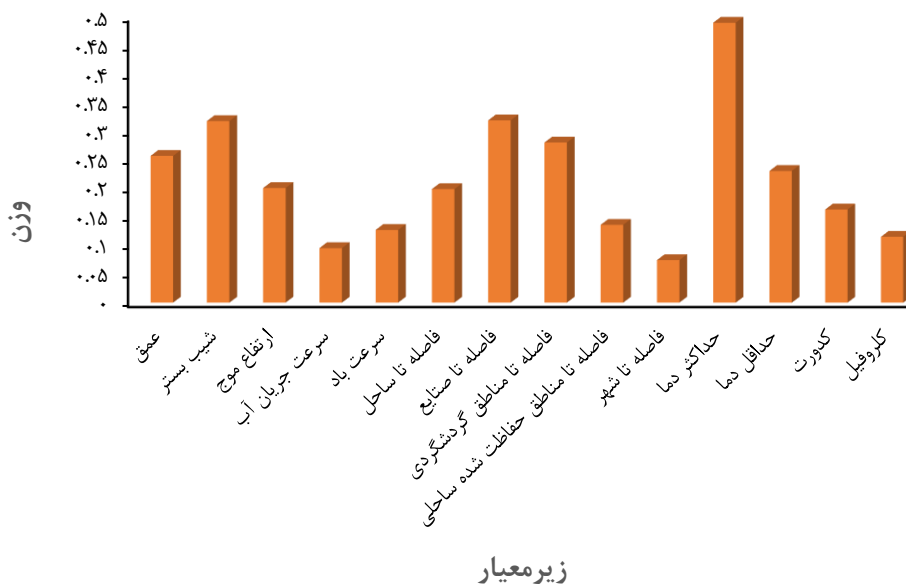
جدول ۵. ماتریس مقایسه زوجی وزن زیر معیارها در هر گروه از معیارهای تحقیق

حداکثر دما (MaxT)، حداقل دما (MinT)، عمق (Bath)، کدورت (SSC)، کلروفیل (Chl-a)، ارتفاع موج (WH)، سرعت باد (WS)، شیب-بستر (SIS)، سرعت جریان آب (CV)، فاصله تا صنایع (DI)، فاصله تا مناطق گردشگری (DT)، فاصله تا شهر (DC)، فاصله تا ساحل (DB)، فاصله تا مناطق حفاظت شده ساحلی (DP).

| Weight: 0.3808                           |        |       |      |      |      | Weight: 0.2158                              |         |      |      |      |      |      |                 |
|--|--------|-------|------|------|------|---|---------|------|------|------|------|------|-----------------|
| ماتریس زوجی برای معیارهای فیزیکی - محیطی |        |       |      |      |      | ماتریس زوجی برای معیارهای اجتماعی - اقتصادی |         |      |      |      |      |      |                 |
| معیارها                                  | (Bath) | (SIS) | (WH) | (CV) | (WS) | Weight Criteria                             | معیارها | (DB) | (DP) | (DI) | (DT) | (DC) | Weight Criteria |
| (Bath)                                   | 1      |       |      |      |      | 0.2575                                      | (DB)    | 1    |      |      |      |      | 0.1992          |
| (SIS)                                    | 2      | 1     |      |      |      | 0.3183                                      | (DI)    | 1/2  | 1    |      |      |      | 0.3195          |
| (WH)                                     | 1/2    | 1/2   | 1    |      |      | 0.2011                                      | (DT)    | 1/2  | 1    | 1    |      |      | 0.2808          |
| (CV)                                     | 1/3    | 1/2   | 1/2  | 1    |      | 0.0956                                      | (DP)    | 1/3  | 1/2  | 1/2  | 1    |      | 0.1365          |
| (WS)                                     | 1/3    | 1/2   | 1/3  | 1/2  | 1    | 0.1275                                      | (DC)    | 1/3  | 1/3  | 1/3  | 1/3  | 1    | 0.0746          |
|  |        |       |      |      |      | CR= 0.03                                    |         |      |      |      |      |      | CR= 0.02        |

| Weight: 0.4034                     |        |        |       |         | وزن نهایی هر معیار |         |        |       |        |
|------------------------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------|---------|--------|-------|--------|
| ماتریس زوجی برای معیارهای کیفیت آب |        |        |       |         |                    |         |        |       |        |
| معیارها                            | (MaxT) | (MinT) | (SSC) | (Chl-a) | Weight Criteria    |         |        |       |        |
| (MaxT)                             | 1      |        |       |         | 0.4901             | (MaxT)  | 0.1977 | (SIS) | 0.0461 |
| (MinT)                             | 1/3    | 1      |       |         | 0.2310             | (MinT)  | 0.0931 | (CV)  | 0.0364 |
| (SSC)                              | 1/3    | 1/2    | 1     |         | 0.1634             | (Chl-a) | 0.0980 | (DI)  | 0.0689 |
| (Chl-a)                            | 1/3    | 1/2    | 1/2   | 1       | 0.1155             | (Bath)  | 0.0465 | (DT)  | 0.0605 |
|                                    |        |        |       |         | CR= 0.04           | (SSC)   | 0.0659 | (DC)  | 0.0160 |
|                                    |        |        |       |         |                    | (WH)    | 0.0765 | (DB)  | 0.0429 |
|                                    |        |        |       |         |                    | (WS)    | 0.0485 | (DP)  | 0.0294 |



شکل ۷. وزن محاسبه شده زیر معیارها

وزن دهی در این مطالعه بر اساس مرور منابع انجام شده است. بر اساس جدول ۵ و شکل ۶ و ۷ در بین فاکتورهای کیفیت آب بیشترین وزن به ترتیب به دما (حداقل و حداکثر)، کدورت و کلروفیل با مقادیر (۰/۴۹، ۰/۲۳، ۰/۱۶ و ۰/۱۱) اختصاص یافته است. مطالعات مختلفی از جمله مطالعه‌ی پریز و همکاران [۱۰]، رادیارتار و همکاران [۱۱، ۷] نیز بالاترین وزن را در بین فاکتورهای محیطی به دمای آب اختصاص داده‌اند. در بین فاکتورهای اجتماعی- اقتصادی بیشتر مقادیر وزن را به ترتیب به فاکتورهای فاصله تا مناطق صنعتی، فاصله تا مناطق توریستی، فاصله تا ساحل، فاصله تا مناطق حفاظت شده‌ی ساحلی و مناطق شهری با مقدار (۰/۳۱، ۰/۲۸، ۰/۱۹، ۰/۱۳، ۰/۰۷) داده شده است [۱۱، ۵، ۱۱، ۱۲]. در بین فاکتورهای فیزیکی بیشترین وزن فاکتور به ترتیب به شیب بستر، عمق، ارتفاع موج، سرعت باد و سرعت جریان آب (۰/۳۱، ۰/۲۵، ۰/۲۰، ۰/۱۲ و ۰/۰۹) اختصاص یافته است [۵].

همانطور که در شکل ۷ مشخص است، بین سه گروه پارامترهای (کیفیت آب، فیزیکی و اجتماعی-اقتصادی) نیز وزن دهی صورت گرفته است. در این وزن دهی گروه کیفیت آب با توجه به اهمیت معیارهای دما، کدورت و کلروفیل در ارزی‌پروری دریایی دارای وزن بیشتر نسبت به سایر گروه‌ها می‌باشد (۰/۳۴) و سپس به گروه فاکتورهای فیزیکی (۰/۳۸۰۸) نسبت به فاکتورهای اجتماعی (۰/۲۱۶۸) وزن بیشتری داده شده است. این نتیجه با مطالعه‌ی رادیارتار و همکاران [۱۱، ۷] که منظور مکان‌یابی مناطق مناسب به منظور پرورش نرم‌تنان از جمله صدف انجام گرفته است تا حدودی برای برخی از پارامترها مطابقت دارد. در این مطالعه وزن معیارهای بیوفیزیکی دما، کلروفیل، کدورت و عمق به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۱ و وزن معیارهای اجتماعی- زیرساختی فاصله تا شهر، فاصله تا اسکله و فاصله تا تسهیلات به ترتیب برابر با ۰/۴۶، ۰/۳۱ و ۰/۲۳ می‌باشد. در مطالعه‌ی [۱۱] تنها چهار معیار به منظور مکان‌یابی مناطق مناسب ارزی‌پروری دریایی در نظر گرفته شد که بیشترین وزن به ترتیب به فاکتور دما (۰/۴۶)، کدورت (۰/۲۸)، عمق (۰/۱۶) و شیب (۰/۱) اختصاص یافته است که با مطالعه‌ی حاضر مطابقت دارد. در مطالعه‌ی لیو و همکاران [۱۲] که در جنوب Hakkaido (ژاپن) انجام شد فاکتورهای محیط‌زیستی مانند دما و کدورت به ترتیب وزن ۰/۴۲ و ۰/۲۶ و بعد از آن به فاکتورهای فیزیکی آب مانند عمق و شیب وزن کمتری (۰/۱۶ و ۰/۱۰) اختصاص یافت و سپس کمترین وزن به معیارهای اجتماعی- زیرساختی مانند فاصله تا شهر و فاصله تا بندر داده شد. همچنین در مطالعه‌ی میکِل و همکاران [۱۳] از دو گروه معیارهای در نظر گرفته شده بیشتر وزن به گروه فاکتورهای فیزیکی (عمق و ارتفاع موج) و کمترین وزن به گروه معیارهای اجتماعی- زیرساختی داده شده است. در مطالعه‌ی فالكونر و همکاران [۱۴] بیشترین وزن به گروه معیارهای کیفی آب (۰/۳۸۹۹)، پس از آن معیارهای فیزیکی (۰/۱۵۲۴) و در نهایت کمترین وزن به معیارهای اجتماعی مانند فاصله تا شهر و فاصله تا جاده (۰/۰۶۷۹) اختصاص یافته است. معیارها به منظور ارزی‌پروری دریایی در مطالعات مختلف با توجه به نوع گونه مورد پرورش و نیز ویژگی منطقه مورد مطالعه متفاوت می‌باشد اما در مجموع مرور مطالعات نشان می‌دهد که معیارهای کیفی آب و پس از آن معیارهای فیزیکی نسبت به سایر فاکتورها از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

## نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق، توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی و نیز تصاویر ماهواره‌ای را در مکان‌یابی ارزی‌پروری دریایی نشان می‌دهد. معیارهای در نظر گرفته شده در این مطالعه به سه گروه، کیفیت آب، فیزیکی- محیطی و اجتماعی- اقتصادی تقسیم بندی شده که تلاش شده است تمامی معیارهای تأثیرگذار برای این منظور در نظر گرفته شود. بررسی وضعیت مزارع ارزی‌پروری موجود در سواحل مازندران بر این اساس نشان می‌دهد که مزرعه‌ی ۱ و ۲ واقع در سواحل جویبار و بابلسر، دارای مناسبترین وضعیت و بالاترین مقدار مطلوبیت می‌باشند.

**تشکر و قدردانی:** نگارش حاضر بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد گروه محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس می باشد (کد ایران داک ۱۲۴۲۳۳۳) که بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی از دانشگاه تربیت مدرس، اداره کل شیلات مازندران و همچنین جناب آقای مهندس جعفری که نهایت همکاری‌های لازم جهت پیشبرد تحقیق را مبذول داشتند، ابراز می‌گردد.

**تاییدیه‌های اخلاقی:** موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

**تعارض منافع:** هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان این مقاله وجود ندارد.

**سهم نویسندگان در مقاله:** الهام حق شناس (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی/نگارنده مقدمه/تحلیگر/نگارنده بحث (۵۰٪)؛ مهدی غلامعلی فرد (نویسنده دوم)، روش شناس/پژوهشگر اصلی (۳۰٪)، نعمت محمودی (نویسنده سوم)، روش شناس/پژوهشگر کمکی (۲۰٪).

**منابع مالی:** پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد انجام شده است.

## منابع

- 1- Beveridge MC. Cage aquaculture. John Wiley & Sons; 2008 Apr 15. <https://doi.org/10.1002/9781118394380.ch55>
- 2- Micael J, Costa AC, Aguiar P, Medeiros A, Calado H. Geographic information system in a multi-criteria tool for mariculture site selection. Coastal Management. 2015 Jan 2;43(1):52-66. <https://doi.org/10.1080/08920753.2014.985178>
- 3- Stankus A. State of world aquaculture 2020 and regional reviews: FAO webinar series. FAO Aquaculture Newsletter. 2021 May 1(63):17-8.
- 4- Haghshenas E, Gholamalifard M, Mahmoudi N. Applied introduction of ecosystem service modeling of marine aquaculture: Approach for estimation of production and net present value (NPV).
- 5- Dapuzeto G, Massa F, Costa S, Cimoli L, Olivari E, Chiantore M, Federici B, Povero P. A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea, Italy. Ocean & Coastal Management. 2015 Nov 1;116:64-77. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.030>
- 6- Mokhtari A, Chizari M, Salehi H. Perceptions of Iranian fisheries experts toward sustainable aquaculture. 2006. 87-97.
- 7- Radiarta IN, Saitoh SI, Yasui H. Aquaculture site selection for Japanese kelp (*Laminaria japonica*) in southern Hokkaido, Japan, using satellite remote sensing and GIS-based models. ICES Journal of Marine Science. 2011 Mar 1;68(4):773-80. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsq163>
- 8- Study of the main framework of aquaculture development in sea cages in Iran. Report of Rifa-Norway Company, Translation: Research Unit of Saz Abapardazan Consulting Engineering Company, Publishing Unit of Saz Abab Pardazan Consulting Engineering Company. 2004; Volume 1 and Volume II.
- 9- Pérez OM, Ross LG, Telfer TC, del Campo Barquin LM. Water quality requirements for marine fish cage site selection in Tenerife (Canary Islands): predictive modelling and analysis using GIS. Aquaculture. 2003 Jun 30;224(1-4):51-68. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00274-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00274-0)
- 10- Perez OM, Telfer TC, Ross LG. Geographical information systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. Aquaculture Research. 2005 Jul;36(10):946-61. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01282.x>
- 11- Radiarta IN, Saitoh SI, Miyazono A. GIS-based multi-criteria evaluation models for identifying suitable sites for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. Aquaculture. 2008 Nov 1;284(1-4):127-35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.048>
- 12- Falconer L, Hunter DC, Scott PC, Telfer TC, Ross LG. Using physical environmental parameters and cage engineering design within GIS-based site suitability models for marine aquaculture. Aquaculture Environment Interactions. 2013 Oct 31;4(3):223-37. <https://doi.org/10.3354/aei00084>

13. Falconer L, Telfer TC, Ross LG. Investigation of a novel approach for aquaculture site selection. *Journal of environmental management*. 2016 Oct 1;181:791-804. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.018>
14. Hadipour A, Vafaie F, Hadipour, V. Land suitability evaluation for brackish water aquaculture development in coastal area of Hormozgan, Iran. *Aquaculture international*. 2015; 23.1: 329-343.
15. Eastman, J. R. 2015. "TerrSet Manual." TerrSet Version 15. 18, 1-390. <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/Terrset-Manual.pdf>.
16. Sandoval M, Parada C, Torres R. Proposal of an integrated system for forecasting Harmful Algal Blooms (HAB) in Chile. *Latin american journal of aquatic research*. 2018;46(2):424-51.17- Lau, Winnie wy. Beyond carbon: conceptualizing payments for ecosystem services in blue forests on carbon and other marine and coastal ecosystem services. *Ocean & Coastal Management*. 2013; 83: 5-14. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1704304>
- 18- Kara AB, Wallcraft AJ, Metzger EJ, Gunduz M. Impacts of freshwater on the seasonal variations of surface salinity and circulation in the Caspian Sea. *Continental Shelf Research*. 2010 Jun 15;30(10-11):1211-25. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.03.011>
- 19- Eastman JR. IDRISI guide to GIS and image processing. Accessed in IDRISI Selva. 2001;17:354.
- 20- Eastman JR. IDRISI help system. Accessed in IDRISI Selva. 2012;17.
- 21- Mahini AS, Gholamalifard M. Siting MSW landfills with a weighted linear combination methodology in a GIS environment. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 2006 Sep;3(4):435-45.
- 22- Liu Y, Saitoh SI, Radiarta IN, Isada T, Hirawake T, Mizuta H, Yasui H. Improvement of an aquaculture site-selection model for Japanese kelp (*Saccharina japonica*) in southern Hokkaido, Japan: an application for the impacts of climate events. *ICES Journal of Marine Science*. 2013 Nov 1;70(7):1460-70. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst108>.
- 23- Makhdom, Majid et al. Environmental Assessment and Planning with Geographic Information Systems, Tehran, Tehran University Press. (in Persian). 2001.
- 24- Saaty RW. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling*. 1987 Jan 1;9(3-5):161-76.

## Evaluation of Current Marine Aquaculture Sites of Mazandaran Province based on Spatial Criteria

Elham Haghshenas <sup>1</sup>, Mehdi Gholamalifard<sup>1\*</sup>, Nemat Mahmoudi <sup>2</sup>

1- Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, PO Box 46414-356, Noor, Mazandaran, Iran

2- Department of Aquaculture, Faculty of Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

### ABSTRACT

Fish consumption is increasing due to the global population growth. Therefore, taking advantage of new methods such as marine aquaculture can be a reliable source for the production of fish in the world. The purpose of this study is the spatial analysis of marine aquaculture farms in the coasts of Mazandaran province. In this study, three categories of criteria (water quality, economic-social and physical-environmental) were considered for spatial analysis of aquaculture farms in the coasts of Mazandaran, which are based on the Geographic Information System (GIS) and hierarchical analysis process (AHP), is used according to the definition of the decision law, and at the end, the existing aquaculture farms (9 farms) are analyzed using the Extract function. The results show that the location of the present farms can be transferred to more favorable areas with less risk. Among the existing farms, farms 1 and 2, located on the coasts of Joibar and Babolsar, have the most suitable condition and the highest amount of desirability. Also, the results of weighting between the three groups of water quality parameters show physical and socio-economic; Due to the importance of temperature, turbidity and chlorophyll criteria in marine aquaculture, water quality group has more weight than other groups (0.4034) and then the group of physical factors (0.3808) than social factors. (0.2168) more weight is given. The findings of this study show the ability of GIS as well as satellite imagery to locate and evaluate marine aquaculture.

**KEYWORDS:** Marine aquaculture, spatial analysis, Geographic Information System (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Mazandaran Coast

### ARTICLE TYPE

Original Research

### ARTICLE HISTORY

Received: 19  
February 2021

Accepted: 25 June  
2021

ePublished: 23  
August 2021

\* Corresponding Author:

Email address: m.gholamalifard@modares.ac.ir

Tel: +(98) 44998107

© Published by Tarbiat Modares University

eISSN:2476-6887 pISSN:2322-5513