

Optimal Site Selection for Aquaculture Using Spatial Analysis of Satellite Data (Case Study: Persian Gulf and Gulf of Oman)

Mardani, R.¹  | Farzaneh, S.¹  | Sam Khaniani, A.² 

1. Department of Surveying and Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

Corresponding Author E-mail: farzaneh@ut.ac.ir

(Received: 3 May 2025, Revised: 7 July 2025, Accepted: 18 Oct 2025, Published online: 16 Dec 2025)

Summary

Aquaculture has become a key strategy in meeting the growing global demand for animal protein, especially as natural fish stocks face overexploitation and ecological degradation. Among modern aquaculture methods, cage farming stands out for its cost-effectiveness, environmental sustainability, and potential to boost regional economies. In this context, the current study focuses on identifying optimal sites for the development of sea bass (*Lates calcarifer*) cage aquaculture in the southern coastal waters of Iran, particularly in the Persian Gulf and the Gulf of Oman. The study employs satellite remote sensing data, geospatial analysis, and spatial multi-criteria evaluation (SMCE) to propose a systematic approach for aquaculture site selection. To achieve this objective, data were collected from environmental and oceanographic multiple satellite and modeling sources, including MODIS (for temperature and dissolved oxygen), SMOS (for salinity), GEBCO (for bathymetric depth), and CMEMS (for variables such as chlorophyll concentration, pH, nitrate, phosphate, sea surface height, and wind speed). All data were obtained for the year 2024 and processed using the Kriging interpolation method to create continuous raster layers with a spatial resolution of one kilometer. The study identifies ten criteria, crucial for sea bass aquaculture: depth, water temperature and salinity, wind speed, sea surface height, chlorophyll-a concentration, pH, dissolved oxygen, nitrate, and phosphate levels. These variables were selected based on biological needs of sea bass and insights from prior studies. For each parameter, suitable ranges were defined—such as water depth between 20–50 meters, salinity between 8.8–39 ppt, and surface temperature between 13–28°C—ensuring conditions that support optimal growth and health of farmed fish. Each criterion was classified into three suitability levels (high, moderate, and low) and then standardized using a ranking method. The relative importance of each criterion was determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP), a well-established decision-making framework. Through pairwise comparisons and consistency checks (with a consistency ratio of 0.076), the study assigned the highest weight to depth (0.3342), followed by temperature (0.2061) and salinity (0.1216), while phosphate received the lowest weight (0.0277). Using a Weighted Linear Combination (WLC) approach, the standardized criteria layers were integrated to generate a final suitability map. The results were categorized into three classes—highly suitable, moderately suitable, and unsuitable—for sea bass cage farming. Spatial analysis revealed that 15 counties along the southern coast of Iran hold significant potential for sea bass cage aquaculture. Among them, Gachsaran, Bushehr, Tangestan, Ganaveh, Qeshm, Bandar Abbas, and Minab showed the highest suitability scores. To validate the model, the study compared the identified suitable zones with actual cage farming sites reported by Iran's Fisheries Organization and the species' recorded habitat range from the OBIS (Ocean Biodiversity Information System) database. The overlap between current farms and high-scoring zones confirmed the reliability of the methodology. Furthermore, areas with high suitability also aligned well with recorded sea bass presence in global biodiversity datasets. This research underscores the significant potential of remote sensing and geospatial analysis in aquaculture planning. By leveraging freely available satellite datasets and integrating them into a structured spatial decision-making framework, the study presents a replicable and scalable method for aquaculture site selection. The approach significantly reduces the need for time-consuming and costly field surveys, while also enabling wide-area assessments that account for environmental variability. In addition to environmental considerations, the study also highlights economic and operational benefits. The proposed locations support optimal growth conditions, reducing the risks of fish mortality, disease, or operational failure. Moreover, by identifying regions with low concentrations of pollutants (e.g., nitrate and phosphate) and stable physical conditions (e.g., low wind and wave height), the model aids in promoting sustainable aquaculture practices. In conclusion, the integration of satellite-based environmental data, spatial interpolation techniques, and multi-criteria decision-making tools offers a robust solution for site selection in marine aquaculture. Given the increasing global emphasis on food security, environmental sustainability, and efficient resource use, such methodologies can play a pivotal role in guiding policy and investment in the aquaculture sector—especially in coastal regions like southern Iran, where natural conditions are favorable for fish farming.

Keywords: Aquaculture, Satellite Data, Site Selection, Spatial Multi-Criteria Evaluation.

Cite this article: Mardani, R., Farzaneh, S., & Sam Khaniani, A. (2025). Optimal Site Selection for Aquaculture Using Spatial Analysis of Satellite Data (Case Study: Persian Gulf and Gulf of Oman). *Journal of the Earth and Space Physics*, 51(3), 517-529. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2025.393689.1007680>

E-mail: (1) reyhanemardaniiii@ut.ac.ir (2) ali.sam@nit.ac.ir



© Authors Retain the Copyright and Full Publishing Rights.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2025.393689.1007680>

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

انتخاب محل بهینه برای پرورش آبزیان با استفاده از تحلیل مکانی داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: خلیج فارس و دریای عمان)

ریحانه مردانی^۱ | سعید فرزانه^۱ | علی سام‌خانیانی^۲

۱. گروه ژئودزی و هیدروگرافی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: farzaneh@ut.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۴/۲/۱۳، بازنگری: ۱۴۰۴/۴/۱۶، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۷/۲۶، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۹/۲۵)

چکیده

امروزه بخش مهمی از منابع پروتئینی مصرفی از تولید آبزیان تأمین می‌شود. تولید آبزیان به روش‌های صید و پرورش انجام می‌شود که پرورش در قفس با توجه به مزایایی نظیر استفاده بهینه از منابع آب، توسعه اقتصادی و کمک به حفظ گونه‌ها مورد توجه متخصصان قرار گرفته است. این پژوهش با هدف انتخاب محل بهینه برای تأسیس قفس پرورش ماهی سی‌باس، به تحلیل مکانی و ارزیابی چندمعیاره داده‌های ماهواره‌ای در منطقه خلیج فارس و دریای عمان پرداخته است. داده‌های محیطی شامل عمق، سرعت باد، ارتفاع سطح آب، دما، شوری، غلظت کلروفیل آ، pH، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات از منابع معتبر ماهواره‌ای مانند MODIS، SMOS، GEBCO و CMEMS برای سال ۲۰۲۴ تهیه شدند. داده‌ها پس از هم‌مقیاس‌سازی زمانی، با روش درون‌یابی کریجینگ به نقشه‌های توزیع مکانی با وضوح یک کیلومتر تبدیل شدند. هر معیار بر اساس منابع علمی به سه سطح «بسیار مناسب»، «نسبتاً مناسب» و «نامناسب» طبقه‌بندی شد. وزن هر معیار با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و بر اساس مطالعات گذشته تعیین شد. سپس نقشه‌های رتبه‌بندی‌شده به روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) تلفیق و نقشه نهایی پهنه‌بندی تهیه شد. اعتبارسنجی نتایج با استفاده از داده‌های زیستگاه ماهی سی‌باس از پایگاه OBIS و موقعیت مزارع فعلی شیلات انجام شد که نشان داد تمام مزارع در مناطق با امتیاز بالا قرار دارند. در نهایت، ۱۵ شهرستان جنوبی ایران به‌عنوان مناطق دارای پتانسیل بالا شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: آبی‌پروری، ارزیابی چندمعیاره مکانی، داده‌های ماهواره‌ای، مکان‌یابی.

۱. مقدمه

ظرفیت پایدار تولید را محدود می‌کند، بلکه منجر به کاهش ذخایر و تخریب زیستگاه‌های طبیعی می‌شود. در مقابل، آبی‌پروری به‌عنوان روشی پایدارتر، با دخالت انسان در فرایند پرورش، امکان افزایش تولید را فراهم می‌سازد (آروخو و همکاران، ۲۰۲۲). در این میان، پرورش در قفس به دلیل مزایایی نظیر کاهش هزینه‌ها، استفاده از محیط طبیعی، حفظ گونه‌ها و نقش در توسعه اقتصادی کشور در سال‌های اخیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (همت یار و همکاران، ۱۳۹۰؛ ایزدی و همکاران، ۱۳۹۵). یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت در آبی‌پروری، انتخاب مکان بهینه برای پرورش است. در

با افزایش جمعیت جهان و در پی آن افزایش تقاضا برای منابع پروتئینی، تولید آبزیان جایگاه ویژه‌ای در بسیاری از کشورها پیدا کرده است (عادلی، ۱۳۹۲؛ داپوتو و همکاران، ۲۰۱۵). پیش‌بینی سازمان خواربار و کشاورزی نشان می‌دهد که جمعیت ایران تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۹۳ میلیون نفر خواهد رسید و تولید فعلی آبزیان پاسخگوی این میزان تقاضا نخواهد بود. از این رو توسعه ظرفیت‌های آبی‌پروری در کشور ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد: فائو، ۲۰۲۴). تولید آبزیان به دو شیوه صید و پرورش انجام می‌گیرد. صید، به‌ویژه در صورت بهره‌برداری بی‌رویه، نه تنها

استناد: مردانی، ریحانه؛ فرزانه، سعید و سام‌خانیانی، علی (۱۴۰۴). انتخاب محل بهینه برای پرورش آبزیان با استفاده از تحلیل مکانی داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: خلیج فارس و دریای عمان). مجله فیزیک زمین و فضا، ۵۱(۳)، ۵۱۷-۵۲۹. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2025.393689.1007680>

رایانامه: (۱) reyhanemardaniiii@ut.ac.ir (۲) ali.sam@nit.ac.ir

راستای تأمین منابع پروتئینی، معیارهایی نظیر سرعت جریان سطحی، ارتفاع موج، شیب، عمق، فاصله از ساحل، بنادر، راه‌ها، شهرها و نوع ساحل را در جزیره قشم ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که چهار ناحیه از قشم برای پرورش در قفس مناسب هستند. آرمونو و همکاران (۲۰۱۸) نیز با فاکتورهایی نظیر دما و کلروفیل آ به تعیین موقعیت مناسب برای پرورش ماهی در خلیج پریجی پرداختند. نتایج نشان داد که ۲۳ درصد منطقه کاملاً و ۸۷ درصد منطقه نسبتاً مناسب برای پرورش است. پورپراتو و همکاران (۲۰۲۰) در دریای مدیترانه با در نظر گرفتن شاخص‌هایی مانند دما، ارتفاع امواج و معیارهای اقتصادی، همراه با محدودیت‌هایی نظیر نزدیکی به بنادر و مناطق نظامی، به شناسایی مکان‌های مناسب برای پرورش پرداختند. براساس نتایج، حدود ۶۰ درصد منطقه کاملاً مناسب برای ایجاد مزارع پرورش ماهی تشخیص داده شد. ایمان نهالا و همکاران (۲۰۲۲) با هدف توسعه آبی‌پروری در خلیج M'diq در مراکش، این منطقه را بر پایه شاخص‌های کیفیت آب مورد بررسی قرار دادند که عمده منطقه مناسب شناخته شد.

در مطالعه حاضر با تمرکز بر پرورش ماهی سی‌باس در منطقه خلیج فارس، از داده‌های سنجش از دوری از سنجنده MODIS، ماهواره SMOS و داده عمق بستر GEBCO و مدل CMEMS، با هدف کاهش هزینه‌های زمانی و مالی استفاده شده است. سی‌باس از باارزش‌ترین گونه‌های تجاری در دنیا با نام علمی *Lates Calcifer* است که اخیراً در مناطق مختلف خلیج فارس پرورش می‌یابد (عادلی و یوسفی سیاه‌کلودی، ۱۴۰۰). معیارهای محیطی با استناد به منابع علمی طبقه‌بندی و با روش سلسله‌مراتبی وزن‌دهی شدند. سپس با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار نقشه پهنه‌بندی تهیه شد. برای اعتبارسنجی نتایج، موقعیت قفس‌های فعال پرورش ماهی سی‌باس در جنوب ایران که از سازمان شیلات کشور دریافت شده است، مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، مقایسه‌ای با داده‌های حضور این گونه در منطقه، از طریق پایگاه اطلاعات تنوع زیستی آبزیان (OBIS) انجام شده است.

روش‌های سنتی، مکان‌یابی عمدتاً بر اساس تجربه محلی صورت می‌گرفت که در مقیاس وسیع و در شرایط تغییرات ناگهانی محیطی کارایی محدودی دارد (راسخی و همکاران، ۲۰۲۲). در مقابل، روش‌های نوین مکان‌یابی با اتکا به داده‌های ماهواره‌ای و پایش دقیق پارامترهای محیطی امکان انتخاب مکان‌های مناسب‌تر را فراهم می‌کنند. از جمله شاخص‌های کلیدی در این زمینه می‌توان به ویژگی‌های بستر دریا، شوری، کلروفیل آ، دمای سطح آب، pH، اکسیژن محلول و مواد مغذی همچون نیترات و فسفات اشاره کرد (سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد: فائو، ۲۰۲۴؛ پریم، ۲۰۱۳). هر یک از این پارامترها مستقیماً بر رشد، سلامت و بقاء آبزیان اثرگذار بوده و انحراف آنها از حدود بهینه می‌تواند موجب کاهش تولید و افزایش مرگ‌ومیر شود. روش‌های اندازه‌گیری این شاخص‌ها، مانند اکوساندر، اسپکتروفتومتری و نمونه‌برداری، علی‌رغم دقت نسبی، عموماً پرهزینه، زمان‌بر و نیازمند نیروی انسانی متخصص هستند (وولفل و همکاران، ۲۰۱۹؛ آمریتا، ۲۰۱۸؛ تای و همکاران، ۲۰۱۲؛ یو و همکاران، ۲۰۲۳). در این راستا، سنجش از دور با قابلیت پایش گسترده، کاهش هزینه‌ها با وضوح مکانی و زمانی متنوع، جایگزین مناسبی برای روش‌های مرسوم محسوب می‌شود (اکبری و همکاران، ۲۰۱۷). در دهه‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج از کشور با هدف مکان‌یابی بهینه برای پرورش آبزیان با رویکرد ارزیابی چندمعیاره مکانی صورت گرفته است. در ایران، فضیلت‌پور و همکاران (۱۳۹۶) با بهره‌گیری از داده‌های کیفیت آب، به تهیه نقشه مکان‌های مستعد صید ماهی در خلیج فارس پرداختند. منطقه مورد بررسی به پنج کلاس مختلف تقسیم شد و نتایج نشان داد که بخش زیادی از منطقه برای پرورش آبزیان مناسب است. سیدمرتضایی و همکاران (۱۳۹۹) سد سیمره در شهرستان بدره را از منظر شاخص‌هایی مانند دما، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی و pH بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که امکان پرورش کپورماهیان در نیمه اول و ماهیان سردآبی در نیمه دوم سال، در قفس وجود دارد. قادری و همکاران (۱۴۰۳) در

۲. منطقه مورد مطالعه

جمهوری اسلامی ایران با ۲۴۴۰ کیلومتر خط ساحلی و وجود مناطق مستعد برای آبریز پروری، از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان شیلات در منطقه به شمار می‌رود (چگینی ۲۰۰۹). دریای عمان بیش از ۱۸۰ هزار کیلومتر مربع وسعت دارد و عمق آن در بیشترین حالت به ۳۲۰۰ متر می‌رسد. مساحت خلیج فارس، سومین خلیج بزرگ جهان، به بیش از ۲۵۰ هزار کیلومتر مربع می‌رسد. همچنین عمق متوسط آن ۳۵ متر و در بیشترین حالت ۹۱ متر است (عوفی، ۱۳۹۴). با توجه به گزارشات دریافت شده از سازمان شیلات، در حال حاضر در جنوب ایران ۱۸ مزرعه پرورش ماهی سی‌باس در هنديجان، بوشهر، تنگستان، دیلم، کنگان، گناوه، چابهار، قشم، سیریک و بندرعباس وجود دارد. اولین مزرعه پرورش ماهی سی‌باس در منطقه گرزه بندرعباس از سال ۱۳۹۴ شروع به فعالیت کرده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

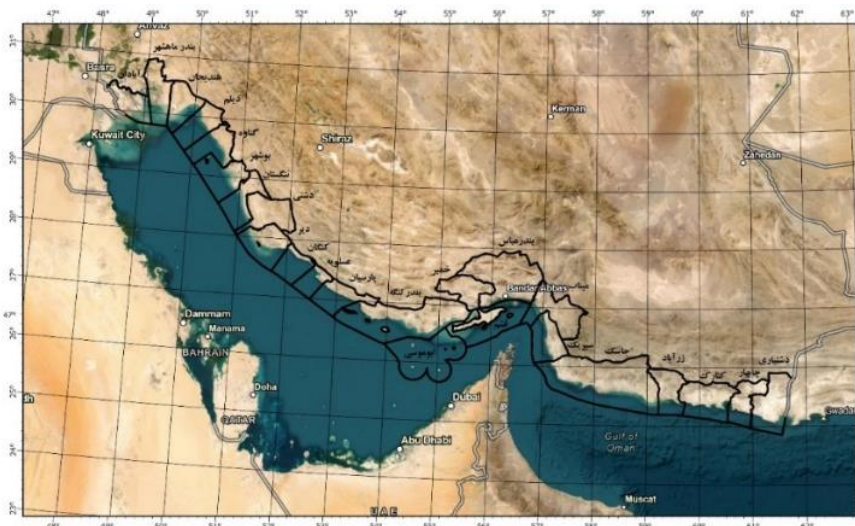
۳. داده‌ها و روش پژوهش

۳-۱. داده‌ها

تعیین محل مناسب برای ایجاد قفس پرورش آبزیان از این جهت اهمیت دارد که می‌تواند از زیان‌های مالی و زمانی بسیاری جلوگیری کند. تصمیم‌گیری در خصوص مکان‌یابی پرورش آبزیان نیازمند داده‌هایی مرتبط با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب است که بررسی

صحیح آنها این امکان را می‌دهد که تا حد ممکن مناسب‌ترین موقعیت برای ایجاد قفس انتخاب شود و در نتیجه بتوان بهترین بهره را از آنها گرفت (نهاد و همکاران ۲۰۲۲). از جمله شاخص‌های کلیدی مؤثر در این زمینه عمق بستر، دما، شوری، سرعت باد، ارتفاع سطح آب، غلظت کلروفیل آ، pH، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات می‌باشند.

داده عمق بستر از GEBCO با تفکیک مکانی ۱۵ کیلومتر، دما و غلظت کلروفیل آ از MODIS با وضوح ۴ کیلومتر و شوری از ماهواره SMOS با وضوح ۱۴ کیلومتر تهیه شد. سایر داده‌ها از مدل Global Ocean Physical Biogeochemical Analysis and Forecasting Product CMEMS تهیه شده است. این مدل‌ها از جمله محصولات CMEMS می‌باشند که با داده‌های ماهواره‌ای با وضوح مکانی ۱/۲ درجه تهیه شده‌اند. در جدول ۱ معیارها و منابع آنها مشخص شده است. تمامی داده‌های مورد استفاده مربوط به سال ۲۰۲۴ بوده و به صورت تصاویر ماهانه با وضوح مکانی متفاوت، با فرمت (nc) NetCDF گردآوری شدند. سپس در محیط ArcGIS Pro، از طریق فرایند درونیابی، به نقشه‌های رستری تبدیل شدند تا امکان تحلیل مکانی دقیق‌تری فراهم شود. به منظور یکسان‌سازی زمانی و مکانی، داده‌ها از طریق میانگین‌گیری بدون وزن بصورت سالانه و با بهره‌گیری از روش درونیابی کریجینگ با وضوح مکانی یک کیلومتر تولید شدند.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه - خلیج فارس و دریای عمان.

جدول ۱. معیارها و منبع دریافت آنها.

اکسیژن محلول	غلظت کلروفیل آ	شوری	دما	عمق	معیار
CMEMS	MODIS	SMOS	MODIS	GEBCO	منبع
فسفات	نیتрат	ارتفاع سطح آب	سرعت باد	pH	معیار
CMEMS	CMEMS	CMEMS	CMEMS	CMEMS	منبع

۲-۳. درون‌یابی کریجینگ

به منظور ارزیابی داده‌ها، نقشه‌های توزیع مکانی به کمک درون‌یابی کریجینگ تهیه شد. کریجینگ یکی از روش‌های درون‌یابی و برآورد زمین آماری است که بر پایه رگرسیون بنا شده است و بر اساس فاصله و همبستگی نقاط، وزن داده‌ها را محاسبه می‌کند. این روش به کمک نقاط نمونه‌برداری شده مقادیر را برای یک فضای پیوسته تخمین می‌زند. تفاوت کریجینگ با سایر روش‌ها در این است که در این روش از همبستگی مکانی استفاده می‌شود. به طور کلی برای تخمین یک محدوده، نزدیک‌ترین نقاط وزن بیشتری نسبت به سایر نقاط دارند. در روش کریجینگ هر نقطه به نحوی تخمین زده می‌شود که خطای آن کمترین مقدار باشد بنابراین روش بسیار دقیقی است. این روش به عنوان بهترین برآورد کننده خطی نااریب معرفی شده است. مراحل درون‌یابی کریجینگ معمولی عبارت است از، تعیین کوواریانس نمونه‌ها و تخمین فضا به کمک وزن حاصل از کوواریانس‌ها. در رابطه ۱، Z ، به $Z(x_i)$ و λ به ترتیب مقدار تخمین زده شده برای موقعیت x_0 ، مقدار نمونه‌برداری شده در موقعیت x_i و وزن نمونه در موقعیت x_i هستند (مرادی زاده و هادیان، ۱۴۰۲).

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

۳-۳. ارزیابی چند معیاره مکانی

ارزیابی چند معیاره مکانی به تحلیل و ارزیابی گزینه‌ها در یک فضای مکانی به کمک روش‌های آماری می‌پردازد. با این روش تحلیل گر می‌تواند با بررسی نقاط قوت و ضعف گزینه‌ها در فضای مکانی، بهترین گزینه‌ها را در راستای اهداف مسئله انتخاب کند. ارزیابی چند معیاره مکانی را

می‌توان به عنوان فرایندی بر پایه روش سلسله‌مراتبی در نظر گرفت که داده‌های مکانی (ورودی) را به یک تصمیم (خروجی) تبدیل می‌کند. از جمله نقاط قوت این روش می‌توان به امکان ادغام و ارزیابی همزمان چندین معیار، منطق ذاتی، کاربردی و فراگیر بودن اشاره کرد (قادری و همکاران، ۱۴۰۳؛ مالچسکی ۱۹۹۹؛ آلکما ۲۰۱۹).

لازم است با توجه به نقش و اهمیت معیارهای فیزیکی (عمق، سرعت باد و ارتفاع سطح آب) و معیارهای کیفیت آب (دما، شوری، غلظت کلروفیل آ، pH، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات) در پرورش آبزیان در قفس، ارزش وزنی بر اساس نظر متخصص و یا بر اساس مقالات و منابع موجود تعیین شود (سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد: فائو، ۲۰۲۴). تعیین وزن و رتبه‌بندی معیارها از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا ممکن است معیاری که در واقع تأثیر چندانی بر نتیجه نهایی ندارد، به دلیل اختصاص وزن بالا، نقش پررنگ‌تری ایفا کرده و موجب بروز خطا در ارزیابی نهایی شود. از سوی دیگر، معیارهای با اهمیت اما دارای وزن پایین ممکن است در نتیجه نهایی نادیده گرفته شوند. بنابراین تحلیل گر به اشتباه گزینه‌هایی را انتخاب کند که لزوماً گزینه مطلوب نباشد. روش‌های متعددی برای تعیین وزن پارامترها در انواع تصمیم‌گیری چند معیاره وجود دارد که یکی از رایج‌ترین روش‌ها روش سلسله‌مراتبی است که توسط توماس ساعتی در سال ۱۹۷۰ ابداع شد. روش سلسله‌مراتبی ابزاری قدرتمند است که با توجه به دقت بالای آن، کاربردهای بسیاری در مدیریت پروژه‌ها و برنامه‌ریزی دارد. روش‌های ابداع شده توسط ساعتی به صورت ساختارهای سلسله‌مراتبی (رده‌ای)، یعنی تشکیل شده از ابعاد مختلف (زیرمعیارها) در سطوح

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۵)$$

ترکیب خطی وزن دار، به کمک وزن دهی معیارها، امکان ایجاد سناریوهای واقعی و قابل درک برای تصمیم گیرندگان را فراهم می کند. این روش از رابطه ۶ پیروی می کند که وزن معیارها و مقادیر آنها را برای هر سلول محاسبه و ترکیب می کند (w_j وزن معیار j ، x_{ij} مقدار معیار در سلول i ، A_i ترکیب خطی معیارها در سلول i) (دپوتو و همکاران، ۲۰۱۵).

$$A_i = \sum_{j=1}^k (w_j x_{ij}) \quad (۶)$$

۴. نتایج

روش کریجینگ که در بخش دوم توضیح داده شد، یکی از تکنیک های پیشرفته درون یابی است که برای تبدیل داده ها به نقشه های توزیع مکانی استفاده می شود. شکل ۲ نمایی از نقشه توزیع مکانی هر یک از معیارها با هدف نمایش تغییرات، تحلیل بصری و مقایسه بین مناطق مختلف به صورت رنگ بندی تدریجی نمایش داده شده اند. در تمام نقشه ها، رنگ های سرد نمایانگر مقادیر کمتر و رنگ های گرم نشان دهنده مقادیر بالاتر می باشند. نتایج تحلیل مکانی نقشه ها نشان می دهد که در مقایسه با دریای عمان، منطقه خلیج فارس دارای عمق و ارتفاع سطح آب کمتری است، اما شوری و سرعت باد در آن بیشتر می باشد. پراکندگی مکانی مقادیر نترات و pH در منطقه بیشتر است. با این حال، روند کلی نشان می دهد که در دریای عمان، مقدار نترات در حال افزایش و مقدار pH در حال کاهش است. میانگین سالانه دما در کل منطقه، در محدوده مقادیر میانی (حدود ۲۸ درجه) قرار دارد. بیشترین مقادیر غلظت کلروفیل آ، فسفات و اکسیژن محلول در بخش های شمال غربی منطقه مشاهده می شود، در حالی که در سایر نواحی این مقادیر نسبتاً کمتر هستند.

ضروری است که بازه های مطلوب هر معیار و امتیاز مرتبط با آنها بر اساس شرایط محیطی و نوع آبرزی مشخص شود. این مرحله می تواند با کمک نظر کارشناسان یا استفاده از

مختلف (معیارها) به صورت مقایسه های زوجی، به ارزیابی سطح اهمیت هر معیار به صورت کمی یا کیفی و در نتیجه تصمیم گیری دقیق تر کمک می کند (اصغری پور، ۱۳۹۲). اجزای سلسله مراتبی باید در سه سطح هدف، معیار و زیر معیار برای مسئله تعیین شوند. در این مطالعه، هدف استفاده از فرایند سلسله مراتبی، تصمیم گیری جهت انتخاب بهینه ترین موقعیت ها برای پرورش آبزیان در قفس در آب های جنوب ایران با استفاده از معیارهای فیزیکی و کیفیت آب می باشد.

روش سلسله مراتبی، روشی تحلیلی است که در آن اهمیت نسبی معیارها نسبت به یکدیگر بر اساس نظر متخصص و تجربه تعیین می شود. در این مقاله اهمیت نسبی هر معیار نسبت به سایر معیارها به کمک بررسی های صورت گرفته در سایر مقالات تعیین شده است. در فرایند سلسله مراتبی نسبت اهمیت معیارها به هم یا به عبارتی همان وزن نسبی پارامترها به صورت یک ماتریس مربعی متقارن تشکیل شده از وزن نسبی پارامترها (رابطه ۲) تعیین می شود (کازمیری راد و حقیقی، ۲۰۱۴؛ شی، ۲۰۱۷). در این ماتریس، C_{ij} بیانگر اهمیت نسبی معیار i نسبت به معیار j می باشد. در نهایت با محاسبه بردار ویژه ماتریس (رابطه ۳)، ماتریس وزن ها محاسبه می شود.

$$M = \begin{bmatrix} 1 & C_{12} & \dots & C_{1j} \\ C_{21} & 1 & \dots & C_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (۲)$$

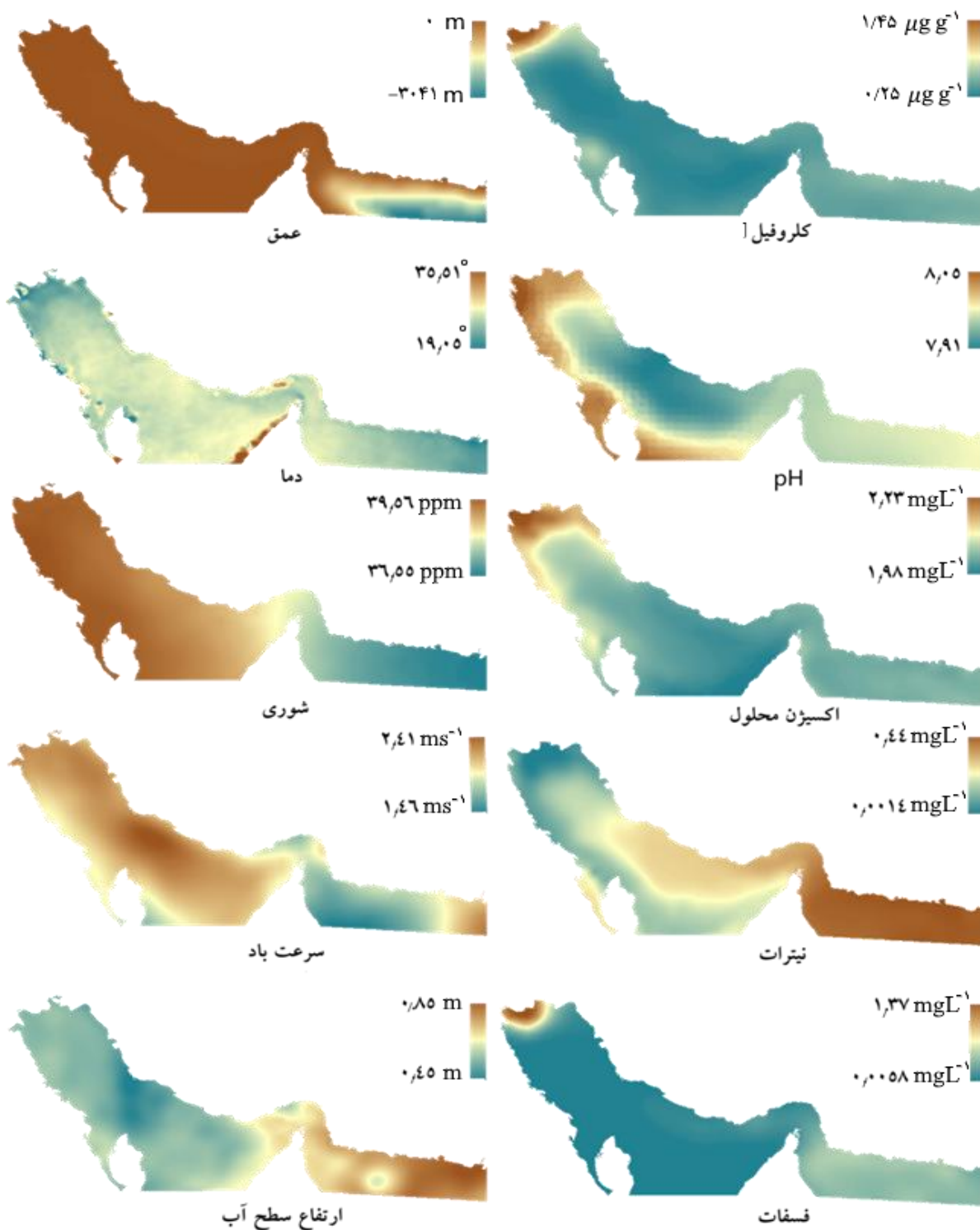
$$\lambda = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_i \end{bmatrix} \quad (۳)$$

برای حصول اطمینان از دقت مقایسه ها، شاخص سازگاری (رابطه ۴) و نرخ سازگاری (رابطه ۵) محاسبه می شود. شاخص سازگاری با مقادیر ویژه ماتریس مقایسات زوجی محاسبه می شود و مقدار شاخص تصادفی (RI) در نرخ سازگاری به صورت تجربی توسط ساعتی تعیین شده است و به تعداد معیارها بستگی دارد. اگر نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسه ها قابل قبول هستند (شی، ۲۰۱۷).

$$CI(A) = \frac{\lambda_{maz} - n}{n-1} \quad (۴)$$

است مقالاتی که به ماهی سی‌باص مربوط هستند مورد استفاده قرار گیرند؛ هرچند در برخی موارد، مقالات محدوده‌های کلی مناسب برای آبزیان را ارائه داده‌اند.

مقالات علمی انجام شود که در مطالعه حاضر، با بررسی مقالات علمی مرتبط تعیین شده و اطلاعات آنها به همراه منابع در جدول ۲ آورده شده است. همچنین تلاش شده



شکل ۲. نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای مختلف تهیه شده به روش کریجینگ.

جدول ۲. بازه مناسب معیارها برای پرورش ماهی سی‌باس.

پارامتر	بازه مناسب برای پرورش	امتیاز	واحد	منبع
عمق	بیشتر از ۵۰	۱	متر	(نهالا و همکاران، ۲۰۲۲؛ رامکومار و همکاران، ۲۰۱۴)
	کمتر از ۲۰	۲		
	۲۰ تا ۵۰	۳		
دما	کمتر از ۱۳ یا بیشتر از ۲۸	۲	درجه سلسیوس	(نهالا و همکاران، ۲۰۲۲؛ رامکومار و همکاران، ۲۰۱۴)
	۱۳ تا ۲۸	۳		
شوری	کمتر از ۸/۸ یا بیشتر از ۳۹	۲	یک در هزار	(نهالا و همکاران، ۲۰۲۲؛ رامکومار و همکاران، ۲۰۱۴)
	۸/۸ تا ۳۹	۳		
سرعت باد	بیشتر از ۸	۱	متر بر ثانیه	(دیلیپ کومار و همکاران، ۲۰۱۷)
	۵ تا ۸	۲		
	کمتر از ۵	۳		
ارتفاع سطح آب	بیشتر از ۳	۱	متر	(نهالا و همکاران، ۲۰۲۲)
	کمتر از ۳	۳		
غلظت کلروفیل آ	بیشتر از ۲	۱	میکروگرم در گرم	(نهالا و همکاران، ۲۰۲۲)
	کمتر از ۲	۳		
pH	کمتر از ۴ یا بیشتر از ۹/۵	۱	-	(نهالا و همکاران، ۲۰۲۲؛ اسکندری و همکاران، ۱۳۹۳)
	۴ تا ۶/۵ یا ۸/۵ تا ۹/۵	۲		
	۶/۵ تا ۸/۵	۳		
اکسیژن محلول	بیشتر از ۶	۱	میلی گرم در لیتر	(نهالا و همکاران، ۲۰۲۲؛ اسکندری و همکاران، ۱۳۹۳)
	۴ تا ۶	۲		
	کمتر از ۴	۳		
نیتрат	بیشتر از ۰/۱	۱	میلی گرم در لیتر	(نهالا و همکاران، ۲۰۲۲)
	کمتر از ۰/۱	۳		
فسفات	بیشتر از ۰/۰۱۵	۱	میلی گرم در لیتر	(نهالا و همکاران، ۲۰۲۲)
	کمتر از ۰/۰۱۵	۳		

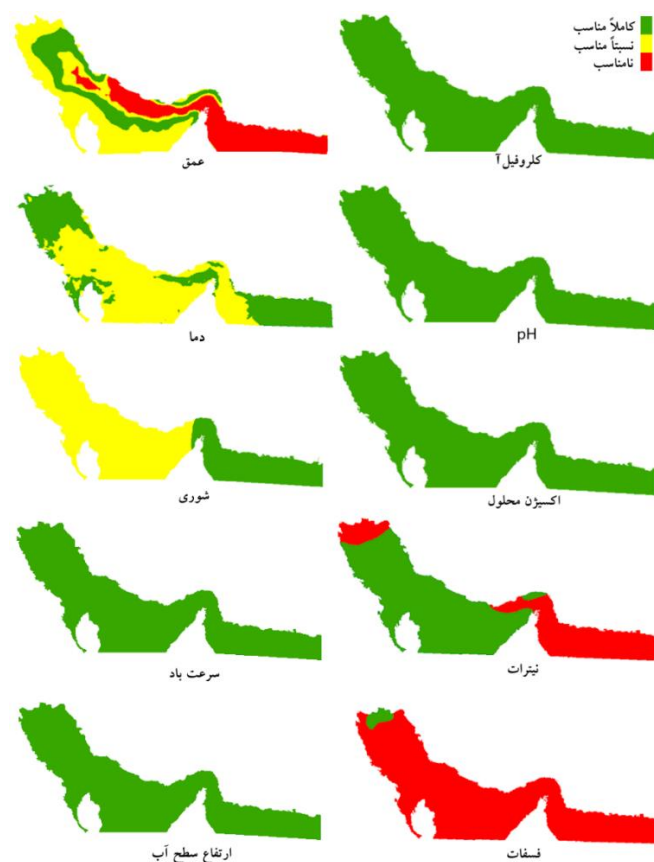
با توجه به ویژگی‌های متنوع معیارها، تحلیل آنها با ویژگی‌های مختلف امکان‌پذیر نیست. بنابراین استانداردسازی ضروری است تا معیارها بدون مقیاس شوند و تحلیل مکانی آسان‌تر صورت گیرد. در این مطالعه، فرایند استانداردسازی با استفاده از روش رتبه‌بندی انجام شده است. نقشه‌های رتبه‌بندی شده در شکل ۳، که از ترکیب نقشه‌های توزیع مکانی و اطلاعات جدول ۲ حاصل شده‌اند، نشان می‌دهند کلروفیل آ، pH، اکسیژن محلول، سرعت باد و ارتفاع سطح آب در سطح کل منطقه

مورد مطالعه در شرایط کاملاً مناسب قرار دارند. همچنین عمق در بخش‌های میانی و غربی منطقه کاملاً مناسب شناخته شده است. غلظت فسفات تنها در نواحی شمال غربی کاملاً مناسب ارزیابی شده و در سایر مناطق مقادیر آن نامناسب است. نقشه رتبه‌بندی نیترات نیز بیانگر وضعیت نامناسب در محدوده دریای عمان و شمال‌غربی خلیج فارس است، در حالی که در سایر نواحی مقادیر آن در محدوده کاملاً مناسب قرار دارند. شوری آب در دریای عمان شرایط کاملاً مناسبی دارد، اما در محدوده

(۱۳۹۳)، همت یار و همکاران (۱۳۹۰)، نهالا و همکاران (۲۰۲۲)، رادیارتا و همکاران (۲۰۰۸)، تعیین شد. نتایج این مقایسه‌ها در جدول ۳ نمایش داده شده و وزن‌های نهایی محاسبه شده با روش سلسله‌مراتبی، برای هر معیار در جدول ۴ ارائه شده‌اند. مقادیر شاخص سازگاری (۰/۱۱۴) و نرخ ناسازگاری (۰/۰۷۶) نشان می‌دهند که فرایند محاسبات با دقت و صحت انجام شده و وزن‌ها قابل اعتماد هستند.

خلیج فارس نسبتاً مناسب ارزیابی می‌شود. از نظر دمای سطح آب، نواحی غربی، شمال غربی و شرقی منطقه دارای مقادیر کاملاً مناسب هستند و در سایر نواحی مقادیر دما در محدوده نسبتاً مناسب قرار می‌گیرند.

به منظور تلفیق معیارها و تولید نقشه پهنه‌بندی، ابتدا اهمیت نسبی هر معیار از طریق مقایسه‌های زوجی با بررسی مطالعات پیشین از جمله حق‌شناس و همکاران (۱۴۰۰)، دانش لاری و فلاحی (۱۳۹۴)، اسکندری و همکاران



شکل ۳. نقشه‌های رتبه‌بندی شده معیارهای مربوط به پارامترهای بررسی شده.

جدول ۳. مقایسه زوجی معیارهای مربوط به پارامترهای بررسی شده.

	عمق	دما	شوری	سرعت باد	کلروفیل	ارتفاع سطح آب	فسفات	نیترات	اکسیژن محلول	اسیدیته
عمق	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲۵
دما	۳	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۳۳
شوری	۵	۳	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۲	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵
سرعت باد	۷	۵	۳	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲	۰/۳۳	۰/۵	۱
غلظت کلروفیل آ	۶	۴	۲	۲	۱	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲
ارتفاع سطح آب	۸	۶	۵	۴	۳	۱	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲
فسفات	۹	۷	۶	۵	۴	۳	۱	۰/۵	۱	۳
نیترات	۷	۶	۴	۳	۲	۲	۲	۱	۰/۵	۱
اکسیژن محلول	۵	۴	۳	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۰/۵
اسیدیته	۴	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۳۳	۱	۲	۱

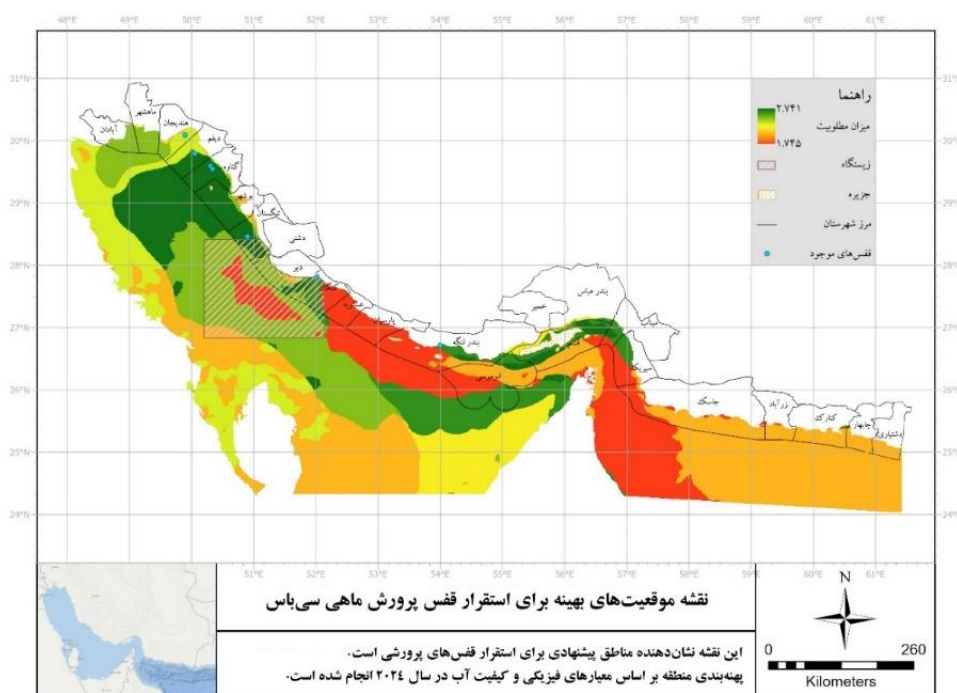
جدول ۴. وزن‌های محاسبه شده به روش سلسله‌مراتبی برای پارامترهای بررسی شده.

فسفات	نیتрат	ارتفاع سطح آب	اکسیژن محلول	غلظت کلروفل آ	اسیدیته	سرعت باد	شوری	دما	عمق	معیار
۰/۰۲۷۷	۰/۰۳۴۳	۰/۰۳۴۷	۰/۰۳۴۷	۰/۰۵۹۴	۰/۰۶۲۲	۰/۰۷۷۴	۰/۱۲۱۶	۰/۲۰۶۱	۰/۳۳۴۲	وزن

از سیریک و چابهار، به‌عنوان مناطق بسیار مناسب شناسایی شده‌اند.

اعتبارسنجی نتایج این پژوهش با استفاده از موقعیت فعلی قفس‌های ماهی سی‌باس (اطلاعات سازمان شیلات ایران) و همچنین نقشه حضور این ماهی در پایگاه اطلاعات تنوع زیستی آبریان انجام گرفته است. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، قفس‌های فعلی در مناطقی با امتیازات بالا قرار دارند که نشان‌دهنده دقت مطلوب و اطمینان‌بخشی در تلفیق داده‌های ماهواره‌ای است. تلفیق داده‌های ماهواره‌ای در این مطالعه، به‌صورت ترکیب خطی وزن‌دار انجام شده است. علاوه بر این، تطابق کامل نتایج با محدوده‌های زیستگاه ماهی سی‌باس در پایگاه اطلاعات تنوع زیستی آبریان، صحت یافته‌ها را تأیید می‌کند.

نقشه حاصل از تلفیق وزن‌دار معیارها در شکل ۴، نشان‌دهنده مناطق مستعد پرورش ماهی سی‌باس در قفس است. امتیازات این مناطق در بازه ۱/۷۴۵ تا ۲/۷۴۱ قرار گرفته و براساس آن، محدوده ۴۸ تا ۵۰ درجه طول شرقی شامل سواحل آبادان، ماهشهر، هندیجان و بخشی از دیر به‌عنوان مکان‌های مناسب برای استقرار قفس‌ها شناسایی شده‌اند. سواحل شهرستان دیلم نیز به‌صورت دو بخش ارزیابی شده‌اند که نیمی از آنها مناسب و نیمه دیگر بسیار مناسب تشخیص داده شده‌اند. همچنین، در محدوده ۵۰ تا ۵۲ درجه طول شرقی، سواحل گناوه، بوشهر، تنگستان، دشتی و بخش‌هایی از دیر و کنگان و در محدوده ۵۴ تا ۶۱ درجه طول شرقی، بخش‌هایی از شهرستان‌های بندرلنگه، ابوموسی، بندرعباس، قشم، میناب و بخش‌هایی



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی بهینه‌ترین مناطق برای پرورش ماهی سی‌باس.

۵. بحث و نتیجه گیری

پیشرفت های چشمگیر در سنجش از دور، انقلابی در دقت و وضوح داده های مکانی و زمانی ایجاد کرده و تحلیل های مکانی با اهداف مدیریتی و برنامه ریزی را کارآمدتر و اقتصادی تر کرده است. یکی از موارد برجسته استفاده از این داده ها، مکان یابی بهینه برای پرورش آبزیان در قفس است، که به دلیل ظرفیت بالای آب های جنوبی ایران، به ویژه خلیج فارس، به خوبی مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، ده معیار محیطی شامل عمق، دما، شوری، سرعت باد، ارتفاع سطح دریا، غلظت کلروفیل آ، pH، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات به عنوان عوامل مؤثر انتخاب شدند و وزن دهی آنها به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت. برای هر معیار داده های ماهواره ای سال ۲۰۲۴ گردآوری و با استفاده از درون یابی کریجینگ به نقشه های توزیع مکانی تبدیل شدند. پس از درون یابی مکانی، در محیط ArcGIS Pro با استفاده از مدل ترکیب خطی وزن دار ادغام شدند. بررسی وزن معیارها نشان داد که عمق با وزن ۰/۳۳۴۲ بیشترین اهمیت را در تعیین مناطق مناسب برای پرورش سی باس دارد، در حالی که فسفات با وزن ۰/۰۲۷۷ کمترین اثر را دارد. نقشه حاصل از ترکیب وزن دار معیارها، بر پایه وزن های استخراج شده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، توانست به خوبی نواحی مستعد پرورش ماهی سی باس در قفس را مشخص کند. تحلیل نتایج نهایی نشان داد که امتیازهای اختصاص یافته به مناطق مختلف در بازه ۱/۷۴۵ تا ۲/۷۴۱ قرار دارند و تفاوت معناداری میان بخش های غربی و شرقی سواحل جنوبی ایران مشاهده می شود. سواحل آبادان، ماهشهر، هندیجان، دیلم، گناوه، بوشهر، تنگستان، دشتی، دیر و بخش کوچکی از چابهار بیشترین امتیازها را به دست آورده و به عنوان مناطق مناسب برای استقرار قفس شناسایی شدند. همچنین امکان استقرار قفس در بخش هایی از سواحل کنگان، بندر لنگه، ابوموسی، قشم، بندرعباس، میناب و سیریک وجود دارد. در مقابل، مناطق ساحلی عسلویه، پارسیان، جاسک، زرآباد، کنارک،

چابهار و دشتیاری کمترین امتیاز را دریافت کردند و در طبقه نواحی نامناسب قرار گرفتند. به منظور ارزیابی جامع تر، مراحل تحلیل شامل ترکیب خطی وزن دار و تولید نقشه های پهنه بندی، به صورت مجزا برای هر یک از ۱۲ ماه سال نیز تکرار شد. تحلیل این نقشه های ماهانه نشان داد که مناطقی که در نقشه نهایی سالانه به عنوان «مناطق مناسب» شناخته شده بودند، در تمامی ماه های سال نیز دارای امتیازهای بالا بوده اند که این ویژگی می تواند نقش مهمی در تصمیم گیری و برنامه ریزی پایدار ایفا کند. از نکات برجسته اعتبارسنجی این پژوهش، هم پوشانی بالای نتایج با محل های کنونی استقرار قفس های ماهی سی باس بر اساس داده های سازمان شیلات ایران و پایگاه اطلاعات تنوع زیستی آبزیان است. این موضوع نشان دهنده دقت و قابلیت اطمینان بالای مدل خطی ارائه شده است و می تواند مبنای تصمیم گیری های آتی برای افزایش تولید این ماهی ارزشمند در منطقه باشد.

مراجع

- اسکندری، غ.؛ کوچک نژاد، ع. و جهانی، ن. (۱۳۹۳). انتخاب مکان مناسب برای توسعه پرورش ماهی دریایی در قفس در سواحل شمال غربی خلیج فارس (ایران-خوزستان). *فصلنامه محیط زیست جانوری*، ۶(۳)، ۹-۲۱.
- اصغری پور، م. ج. (۱۳۹۲). *تصمیم گیری های چند معیاره* (چاپ ۱۸، ۴۱۲ ص.). تهران: دانشگاه تهران.
- ایزدی، ع.؛ سیدی قمی، م. ک. و حقیقی، س. (۱۳۹۵). گونه های ماهیان دریایی قابل پرورش در قفس در کشور. تهران: وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج؛ سازمان شیلات ایران. ۴۰ ص.
- حق شناس، ا.؛ محمودی، ن. و غلامعلی فرد، م. (۱۴۰۰). ارزیابی مزارع موجود آبی پروری دریایی استان مازندران بر مبنای معیارهای مکانی. *مجله علوم و فنون*

- شیلات، ۱۰(۴)، ۵۱۰-۴۹۵.
- دانش لاری، س. م. ع. و فلاحی، غ. (۱۳۹۴). استفاده از فن آوری GIS در تعیین مناطق مستعد توسعه آبریز پروری (مطالعه موردی: سواحل استان هرمزگان). کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، تهران، ایران.
- سید مرتضایی، س. ر.؛ هوشمند، ح.؛ آهنگرزاده، م. و نیلساز، م. (۱۳۹۹). امکان سنجی پرورش ماهی در قفس در سد سیمره (استان ایلام). *مجله آبریان دریای خزر*، ۵۹-۶۹.
- عادل، ا. (۱۳۹۲). مصرف آبریان در ایران و جهان. *پژوهش های علوم و فنون دریایی*، ۸(۲)، ۳۵-۴۶.
- عادل، ا. و یوسفی سیاهکلودی، س. (۱۴۰۰). ارزیابی پرورش ماهی سی‌باس در قفس های دریایی ایران. *علوم و فنون شیلات*، ۱۰(۴)، ۵۱۱-۵۲۳.
- عوفی، ف. (۱۳۹۴). بررسی گونه شناسی و بازنگری رده بندی ماهیان آب های ایرانی خلیج فارس بر اساس الگوی انتشار جغرافیایی و تنوع زیستگاهی با بکارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، *رساله Environmental Science*, 135(1), Article 012023.
- Chegini, Vahid & Kebriaie, A. & Vafaie, Fereidoon & Soltanpour, Mohsen & Sharifi, Arash. (2009). Shorelines Management Plan of I R of Iran .
- Daputo, G., Massa, F., Costa, S., Cimoli, L., Olivari, E., Chiantore, M., Federici, B., & Povero, P. (2015). A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea, Italy. *Ocean & Coastal Management*, 116, 64-77 .
- Dilip Kumar Jha., Rajaprabhu, G., Kirubakaran, R., Sendhil Kumar, R., Dharani, G., Das, A., Gopinath, G., & Santhanakumar, J. (2017). Estimation of potential zones for offshore mariculture in the Indian Sea using geographical information system as a management tool. *Journal of Coastal Conservation*, 21(6), 893-906.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). Guidelines and criteria on technical and environmental aspects of cage
- دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی.
- فضیلت پور، ز.؛ رنگرن، ک.؛ اسکندری، غ. و صابری، ع. (۱۳۹۶). تعیین مناطق بالقوه صید ماهی در خلیج فارس، با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *فصلنامه سنجش از دور و GIS/ایران*، ۹(۱)، ۳۷-۴۸.
- قادر، د.؛ سلیمانی کهنوج، ا.؛ شمسانی، ر.؛ راهبانی، م. و سوری نژاد، ا. (۱۴۰۳). انتخاب مکان مکان پروری قفس در آب های اطراف جزیره قشم (خلیج فارس شمالی). *فصلنامه بوم شناسی آبریان*، ۱۴(۲)، ۲۷-۴۲.
- مرادی زاده، م. و هادیان، ا. (۱۴۰۲). مدل سازی توزیع غلظت آلاینده های NO₂ و O₃ با وضوح مکانی مناسب از طریق تلفیق داده های زمینی و ماهواره ای. *مجله سنجش از دور و GIS/ایران*، ۱۶(۲)، ۸۵-۱۰۴.
- همت یار، ع.؛ اسدی، ع. و کلانتری، خ. (۱۳۹۰). ارزیابی توان منابع آب زیرزمینی شهرستان سردشت برای پرورش ماهی قزل آلا رنگین کمان، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و رهیافت تصمیم گیری چندمعیاره. *فصلنامه پژوهش های روستایی*، ۶(۱)، ۳۰-۱.
- Akbari, E., Alavipanah, S., Jeihooni, M., Hajeb, M., Haase, D., & Alavipanah, S. (2017). A review of ocean/sea subsurface water temperature studies from remote sensing and non-remote sensing methods. *Water*, 9(12), 936 .
- Alkema, D., Boerboom, L. G. J., Ferlisi, S., & Cascini, L. (2019). Spatial multi-criteria evaluation. University of Twente. Retrieved from University of Twente repository
- Amrita, C. (2018). Analysing the water quality parameters from traditional to modern methods in aquaculture. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 7(5), 1954-1961 .
- Araujo, G. S., Silva, J. W. A. D., Cotas, J., & Pereira, L. (2022). Fish Farming Techniques: Current Situation and Trends. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1598.
- Armono, H. D., Mahaputra, B. G., & Zikra, M. (2018). The usage of geographical information system in the selection of floating cages location for aquaculture at Prigi Bay, Trenggalek Regency, East Java. *Earth and*

- aquaculture site selection in the Kingdom of Saudi Arabia. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). The state of world fisheries and aquaculture 2020.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). Aquaculture growth potential in Iran (Islamic Republic of). FAO .
- Kazemi Rad, L., & Haghyghy, M. (2014). Integrated Analytical Hierarchy Process (AHP) and GIS for land use suitability analysis. *World Applied Sciences Journal*, 32(4), 587–594.
- Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis (1st ed., 392 pp.). New York: John Wiley & Sons.
- Nhhala, I., Abdeljallil, B., Nhala, H., & Hs, H. (2022). Site selection for fish farming using integrated GIS-spatial multi-criteria evaluation and carrying capacity approaches: Case study of M'diq Bay, Morocco. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 26(4), 807–841 .
- Porporato, E. M. D., Bertoldi, W., Gristina, M., Tomei, P., Perez-Ruzafa, A., Ruffo, S., Suryan, W., & Vetrano, V. (2020). Site suitability for marine finfish aquaculture in the central Mediterranean Sea: A spatial multi-criteria evaluation. *Frontiers in Marine Science*, 6, Article 772 .
- Prema, D. (2013). Site selection and water quality in mariculture. Central Marine Fisheries Research Institute (CMFRI), Cochin, India, 35–40
- Radiarta, I. N., Saitoh, S.-I., & Miyazono, A. (2008). GIS-based multi-criteria evaluation models for identifying suitable sites for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Aquaculture*, 284(1–4), 127–135.
- Ramkumar, S., P. A. Khandagale, Sujith, S. K. (2014). Site and species selection in sea cage aquaculture.
- Rasekhi, S., Sharifian, A., Shahraki, M., & Silvano, R. A. M. (2022). Indigenous fishers' knowledge on fish behavior, fishing practices and climatic conditions in a conservation priority coastal ecosystem in the Caspian Sea. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 33(9), 629–648.
- Shih, Y.-C. (2017). Integrated GIS and AHP for marine aquaculture site selection in Penghu Cove in Taiwan. *Journal of Coastal Zone Management*, 20(1), Article 438 .
- Tai, H., Yang, Y., Liu, S., & Li, D. (2012). A review of measurement methods of dissolved oxygen in water. In D. Li & Y. Chen (Eds.), *Computer and Computing Technologies in Agriculture V* (pp. 569–576). Springer .
- Wöfl, A.-C., Snaith, H., Amirebrahimi, S., Devey, C. W., Dorschel, B., Ferrini, V., Huvenne, V. A. I., Jakobsson, M., Jencks, J., Johnston, G., Lamarche, G., Mayer, L., Millar, D., Pedersen, T. H., Picard, K., Reitz, A., Schmitt, T., Visbeck, M., Weatherall, P., & Wigley, R. (2019). Seafloor mapping – the challenge of a truly global ocean bathymetry. *Frontiers in Marine Science*, 6, Article 283.
- Yu, S., Bai, Y., He, X., Gong, F., & Li, T. (2023). A new merged dataset of global ocean chlorophyll-a concentration for better trend detection. *Frontiers in Marine Science*, 10.