University of Hormozgan

Journal of Aquatic Ecology

ISSN Print: 2322-2751 ISSN Online: 2980-9355

Homepage: https://jae.hormozgan.ac.ir

Cage culture site selection in the surrounding water of Qeshm Island (the northern Persian Gulf)

Danial Ghaderi [1, 2] ✉, Elyas Soleimani Kahnuoj [3], Rahimeh Shamsaie [1], Maryam Rahbani [1], Iman Sourinejad [3]

1. Department of Atmospheric and Oceanographic Science, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2. Center Providing Consultation And Simulation Services For Coastal And Marine Environments (NPDS Company), Bandar Abbas, Iran

3. Department of Fisheries, Faculty of Marine Science and Technologies, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 7 May 2024
Accepted: 24 June 2024
Published online: 10 August 2024

✉ Corresponding Author:
danialghaderi1@gmail.com

Keywords:
Marine cage culture,
AHP,
Strait of Hormuz,
Fuzzy Logic,
Mike 21.

ABSTRACT

Given the increasing demand for proteinaceous food products, aquaculture production of fish is on the rise. Due to its attractiveness, marine cage culture has gained attention in the aquaculture industry and has become profitable. This study focuses on the hydrodynamic variables to determine suitable areas for establishing fish cage sites in the waters surrounding Qeshm Island. Hydrodynamic variables were estimated through one-year numerical modeling using Mike 21. By applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy logic to the variables, suitable areas in four sections were identified: east of Qeshm Channel, south of Hormuz Island - between Qeshm City and Larak Island - north of Larak, the coast from Ramchah to Hengam Island, and Dayerstan bay to Salakh. The results indicate that, in addition to the previously identified areas in similar studies, the northern part of Larak Island and the center of eastern Qeshm Channel are also suitable and could be options for expanding this industry in the future with the development of cage technology and infrastructure. Areas identified in previous studies, such as the coasts from Souza to Shibderaz and Dayerstan Bay, may face significant wave height threats in severe storm conditions. However, areas like Dargahan can be less risky regarding hydrodynamic conditions due to limited fetch exposure in weather conditions. It is beneficial to conduct studies on cage deployment for development and planning of the maritime economy. By incorporating water quality indicators alongside hydrodynamic variables, more accurate results can be obtained, thereby reducing investment risks in this industry.

CC BY NC

Publisher: University of Hormozgan

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Cage fish farming is a highly promising branch of aquaculture with significant global growth due to its efficient protein production and revenue potential (Araujo et al., 2022; Halwart et al., 2007). The rising demand for seafood necessitates aquaculture as traditional fishing methods are insufficient (Loka et al., 2016). Various studies have evaluated suitable sites for cage fish farming using different methodologies. Divu et al. (2023) analyzed the coasts of India based on environmental factors, while Chahinez et al. (2020) used the Analytical Hierarchy Process (AHP) for site evaluation in Algeria. Perez et al. (2005) highlighted the importance of GIS in the Canary Islands, and Chor et al. (2022) focused on hydrodynamics and environmental conditions in Malaysia. Mulanda Aura et al. (2021) emphasized GIS for lake sites, and Noory Balaneji (2020) identified potential sites around Qeshm Island. This study focuses on identifying suitable sites for cage fish farming around Qeshm Island by considering hydrodynamic and environmental variables. Using numerical modeling to estimate these variables, they were evaluated with fuzzy logic based on Ministry of Agriculture guidelines and the AHP method, providing valuable insights for future fisheries development and site planning.

Materials and Methods

The study area encompasses the waters around Qeshm Island in the northern Strait of Hormuz, which have been identified for their significant potential in cage fish farming. The research focused on evaluating suitable locations for fish farming cages by analyzing eight environmental and hydrodynamic variables. Environmental variables included depth, seabed slope, distance from the shoreline, distance from ports and fish unloading centers, proximity to roads and cities, and distance from environmentally sensitive shorelines. Hydrodynamic variables were wave height and surface current speed, calculated through numerical modeling using Mike 21. Numerical modeling with Mike 21 simulated hydrodynamic conditions for 2018, providing average annual wave heights and surface current speeds across the study area. Constraints, such as proximity to fishing grounds and unsuitable depth ranges (less than 10 m and more than 50 m), were identified and mapped.

The GIS platform was utilized to implement all variables spatially. Depth data were sourced from GEBCO and further refined with SonarChart information. The Fuzzy Analytical Hierarchy Process was employed to determine the weight of each variable, incorporating expert opinions from marine physicists and fisheries specialists. This process involved converting the variables into a comparable format using fuzzy logic, followed by pairwise comparisons to assign weights based on their relative importance.

The integration of weighted variables and constraints was performed using a linear combination, resulting in a suitability map for cage fish farming. This comprehensive methodology, combining environmental and hydrodynamic assessments with modeling and expert input, ensures the identification of optimal sites for cage fish farming around Qeshm Island, supporting future fisheries development and site management.

Results

The final analysis identified four areas as suitable for establishing fish farming cages: the eastern part of Qeshm Channel, the southern part of Hormuz Island, the coasts from Ramchah to Hengam Island, and Deyrestan Bay to Salakh. These areas were evaluated based on the

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

analysis of eight environmental and hydrodynamic variables. The most suitable areas include the eastern Qeshm Channel and the southern part of Hormuz Island, recognized for their appropriate depth, low wave height, and favorable current speed. Areas with suitable seabed slope, close proximity to the shore, and necessary infrastructure were also categorized as desirable. Regions with high depth, steep slopes, and high waves were deemed unsuitable.

Conclusion

This study employed eight environmental and hydrodynamic variables to identify suitable areas for cage fish farming around Qeshm Island. The findings reveal significant potential for expanding fish farming activities, supporting employment, and boosting fish production. Challenges such as wave height in storm conditions and the need for thorough water quality assessments are noted. Future studies should incorporate additional variables, like water quality indices, to enhance the precision of site selection and minimize risks. These insights can aid in the informed development and management of coastal and marine aquaculture.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

بوم‌شناسی آبزیان
شاپا چاپی: ۲۷۵۱-۲۳۲۲ شاپا الکترونیکی: ۹۳۵۵-۲۹۸۰
https://jae.hormozgan.ac.ir

به‌گزینی مکانی استقرار قفس‌های پرورش ماهی در آب‌های اطراف جزیره قشم (شمال خلیج فارس)

دانیال قادری[۱،۲]✉، الیاس سلیمانی کهنوج [۳]، رحیمه شمسایی[۱]، مریم راه‌بانی[۱]، ایمان سوری‌نژاد[۳]

۱. گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران
۲. مرکز ارائه دهنده خدمات مشاوره و شبیه‌سازی محیط‌های ساحلی و دریایی (شرکت نظاره پژوهان دریا ساحل)، بندر عباس، ایران
۳. گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰

✉ نویسنده مسئول:
danialghaderi1@gmail.com

کلیدواژه‌ها:
پرورش در قفس،
تحلیل سلسله‌مراتبی،
تنگه هرمز،
منطق فازی،
Mike 21.

چکیده

باتوجه به نیاز روزافزون جامعه انسانی به تولید غذاهای پروتئینی، تولید و پرورش آبزیان در حال افزایش است. پرورش ماهی در قفس موردتوجه صنعت آبزی‌پروری به عنوان یک فعالیت درآمدزا قرار گرفته است. در این مطالعه، نواحی مناسب استقرار سایت‌های پرورش ماهی در قفس در آب‌های اطراف جزیره قشم با تمرکز بر متغیرهای هیدرودینامیک با اجرای یک‌ساله مدل‌سازی عددی Mike 21 مورد بررسی قرار گرفته است. با اعمال تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و فازی‌سازی متغیرها، نواحی مناسب در چهار بخش شرق کانال قشم، جنوب جزیره هرمز – حدفاصل شهر قشم تا جزیره لارک – شمال لارک، سواحل رمچاه تا جزیره هنگام و خلیج دیرستان تا صلخ، شناسایی شد. نتایج حاکی از آن است که علاوه بر مناطق شناسایی شده در مطالعات مشابه، منطقه شمال جزیره لارک و سواحل میانی شرق کانال قشم نیز مستعد بوده و با توجه به توسعه فناوری قفس‌ها و توسعه زیرساخت‌ها در آینده می‌تواند گزینه‌ای جهت گسترش این صنعت باشد. مناطق مناسب شناسایی شده در مطالعات قبلی مانند سواحل سوزا تا شیب‌دراز و خلیج دیرستان، در شرایط حاد طوفانی با تهدید ارتفاع موج مواجه هستند درصورتی‌که مناطقی مانند درگهان در هر شرایط جوی به دلیل محدود بودن موجگاه، می‌تواند در سطح پایینی از ریسک شرایط هیدرودینامیک باشد. نتایج مطالعه حاضر می‌تواند برای برنامه‌های توسعه اقتصاد دریامحور مفید باشد و با افزودن متغیرهای دخیل در استقرار قفس‌ها مانند شاخص‌های کیفیت آب در کنار متغیرهای هیدرودینامیک، نتایج دقیق‌تری حاصل خواهد شد و درنتیجه موجب کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در این صنعت خواهد بود.

CC BY NC

ناشر: دانشگاه هرمزگان

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

مقدمه

پرورش ماهی در قفس امروزه به‌عنوان یکی از شاخه‌های آبزی‌پروری با پتانسیل بسیار بالا، موردتوجه است (Araujo *et al.*, 2022). این روش آبزی‌پروری به‌لحاظ تولید پروتئین و ارزآوری مناسب، در سطح جهانی از رشد و توسعه بسیار مطلوبی برخوردار است (Halwart *et al.*, 2007). با رشد و توسعه جوامع انسانی تقاضا در زمینه محصولات دریایی به‌شدت افزایش یافته است، از طرفی روش‌های سنتی مانند صید آبزیان از محیط طبیعی کافی نبوده و محصولات پرورشی در حال جایگزنی هستند (Loka *et al.*, 2016). بنابراین توجه به روش‌های پرورش آبزیان به یکی از محورهای اصلی صنعت آبزی‌پروری تبدیل شده است. در زمینه پرورش ماهی در قفس توجه به مسائل نیازسنجی، اقتصادی و همچنین مسائل دقیق فنی پرورش گونه ماهی، مسائل مدیریتی و توسعه پایدار نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. وجود ریسک‌های محیطی (کیفیت آب و زیرساخت‌ها) و ریسک‌های طبیعی محیط دریا/ساحل، از قبیل ارتفاع موج و سرعت جریان، همواره این صنعت را تهدید می‌نماید (Zhang *et al.*, 2024). نتیجه این ریسک‌ها موجب کاهش سرعت توسعه و گسترش این صنعت شده و گاهاً موجب توقف و ایجاد خسارت گردیده است (Zhang *et al.*, 2024). بنابراین امروزه مقوله جانمایی (به‌گزینی) و شناسایی محل‌های مناسب جهت استقرار مزارع پرورش ماهی در قفس، باتوجه به ماهیت محیط و سازه‌های دخیل در پرورش ماهی امری ناگزیر و ضروری است. مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است. Divu و همکاران (۲۰۲۳)، باتوجه‌به عوامل محیطی و کیفیت آب، تمام سواحل کشور هند را مورد تحلیل قرار دادند و مناطق مناسب را شناسایی کرده‌اند. در مطالعه دیگری Chahinez و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytical Hierarchy Process)، مکان‌های مستعد پرورش ماهی در قفس در خلیج سواحلیا (الجزایر) را مورد ارزیابی قرار دادند و اعتبارسنجی میدانی مناطق شناسایی شده را نیز انجام دادند. روش‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و توانایی این ابزار در شناسایی سایت‌های پرورش ماهی در جزایر قناری توسط Perez و همکاران (۲۰۰۵) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که بررسی شرایط محیطی آب در تعیین مناطق مناسب ضروری است. مطالعه دیگری که با تمرکز بر شرایط محیطی آب و عوامل هیدرودینامیک انجام شده است، مطالعه Chor و همکاران (۲۰۲۲) است که با تجزیه‌وتحلیل هیدرودینامیک، هواشناسی، کیفیت آب، کیفیت رسوب و ارزیابی ماکروبنتوز، مکان‌های مناسب در سواحل مالزی را شناسایی کردند. مطالعه جامع دیگری توسط Mulanda Aura و همکاران (۲۰۲۱)، با تاکید بر اصول GIS در شناسایی مکان‌های مناسب در دریاچه‌ها صورت گرفت و معیارها و استانداردهای لازم پرورش ماهی در قفس تشریح شد، هرچند که به متغیرهای هیدرودینامیک پرداخته نشده است. در یکی از محدود مطالعات در منطقه جزیره قشم که مورد هدف این مطالعه است، Noory Balaneji (۲۰۲۰) نشان داد که سواحل سوزا، شیب‌دراز، صلخ، مسن، نقاشه (خلیج دیرستان) و نمکدان (غرب صلخ) از پتانسیل مطلوبی جهت پرورش ماهی در قفس برخوردار هستند.

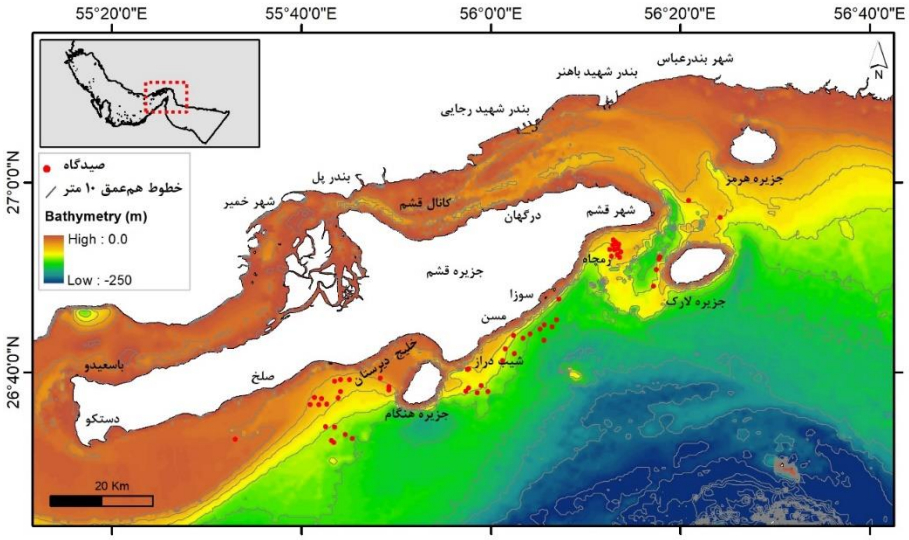
در این مطالعه با تمرکز بر آب‌های اطراف جزیره قشم و با درنظرگرفتن متغیرهای هیدرودینامیک و محیطی، مناطق مناسب استقرار سایت‌های پرورش ماهی در قفس شناسایی شده است. متغیرهای هیدرودینامیک با استفاده از مدل‌سازی عددی برآورد شده است. به‌کارگیری روش‌های عددی شناخت کاملی از محیط دریایی/ساحلی ارائه می‌دهد که امروزه در مطالعات و برنامه‌های مدیریتی مورد توجه است. متغیرهای محاسبه شده بر اساس دستورالعمل‌های ارائه شده جهاد کشاورزی، با منطق فازی ارزش‌گذاری شده و در نهایت به روش تحلیل سلسله‌مراتبی، مناطق مناسب تعیین گردیده است. مناطق مستعد شناسایی شده می‌تواند در توسعه برنامه‌های آتی شیلات و همچنین طرح‌های توسعه سایت‌های پرورش ماهی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل آب‌های اطراف جزیره قشم در شمال تنگه هرمز است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. بر اساس مطالعات انجام شده، در این محدوده مناطق جزیره قشم، هنگام و لارک به ترتیب دارای پتانسیل بالقوه تولید ۲۰، ۸ و ۱۰ هزار تن از طریق پرورش ماهی در قفس است (Adeli and Yousefi Siakalroudi, 2021). تا به امروز در

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

نواحی سواحل رمچاه و صلخ سایت‌های پرورش مستقر شده است و در حال فعالیت است. به شکل کلی پهنه جنوبی سواحل قشم، جزیره هرمز و لارک به عنوان نواحی مناسب آبزی‌پروری در نظر گرفته شده است. با این حال در این مطالعه، آب‌های اطراف جزیره قشم با تمرکز بر متغیرهای هیدرودینامیک مورد ارزیابی قرار گرفته تا جزئیات بیشتری از نواحی مستعد استقرار قفس‌های پرورش ماهی ارائه گردد. علاوه بر این، مناطق متعددی از سواحل جنوبی جزیره قشم همواره محل صیدگاه آبزیان به خصوص ماهیان سطح‌زی‌ریز است (شکل ۱ نقاط قرمز). سواحلی مانند رمچاه، سوزا، مسن، صلخ مهم‌ترین صیدگاه‌های ماهیان سطح‌زی‌ریز است (Soleimani, 2024). بنابراین می‌بایست این مسئله در ارزیابی مکان‌های مستعد نیز در نظر گرفته شود. علی‌رغم این که سواحل جنوبی قشم با توسعه صنعتی و استقرار صنایع همراه نبوده اما سواحل شمالی آن و در مجاورت کانال قشم، صنایع و بنادر مهم و بزرگی مستقر شده است. بزرگترین بندر تجاری ایران؛ بندر شهیدرجایی در کنار بنادر دیگری مثل بندر شهیدباهنر و مراکز صنعتی مانند نیروگاه سیکل ترکیبی و کشتی‌سازی، ازجمله این موارد است. بنابراین قابل انتظار است که چنین مراکز صنعتی تاثیرات به‌خصوصی بر محیط ساحلی و دریایی بگذارند، از طرفی در مرکز کانال قشم منطقه حفاظت شده خوران قشم قرار دارد که موجب افزایش حساسیت این منطقه است. بنابراین می‌توان بیان کرد که منطقه از نظر صنعتی و شیلاتی و همچنین گردشگری حائز اهمیت است. از نظر اقلیمی، این منطقه شرایط گرم و مرطوبی دارد. دمای تابستان تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و دمای زمستان به ندرت به زیر ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (Karimzadeh *et al.*, 2022). میزان شوری در آب‌های منطقه تحت تأثیر جریان‌های خلیج فارس و خلیج عمان است که منجر به تغییرات محلی می‌شود، به طور متوسط، شوری در حدود ۳۸ PSU است (Mahmoudov *et al.*, 2011; Khosravi *et al.*, 2018). اطلاعات عمق منطقه برگرفته از GEBCO در شکل ۱ نشان داده شده است (Weatherall *et al.*, 2019). محدوده کانال قشم کم عمق است و بیشینه آن در حدود ۱۵ تا ۲۰ متر است، سواحل جنوبی قشم در حد فاصل سوزا تا جنوب جزیره هنگام عمق‌های بیشینه مشاهده می‌شود و همچنین در حدفاصل جزیره لارک و دماغه جزیره قشم عمق در حدود ۵۰ متر است. در محدوده خلیج دیرستان تا انتهای غربی جزیره قشم منطقه فراساحل عمق کمتری دارد. شرایط عمق منطقه ساحلی/دریایی یکی از کلیدی‌ترین متغیرها در تعیین سایت مناسب پرورش ماهی در قفس است (Mulanda Aura *et al.*, 2021).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه، شمال تنگه هرمز و جزیره قشم

جهت بررسی و تحلیل محل‌های مناسب استقرار قفس‌های پرورش ماهی در آب‌های اطراف جزیره قشم، هشت متغیر محیطی و هیدرودینامیک به شکل یکپارچه در نظر گرفته شده است. تمامی متغیرها در بستر سامانه اطلاعات جغرافیایی پیاده‌سازی شده

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

است. در ادامه با نظرخواهی از متخصصین فیزیک دریا و شیلات و به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، وزن مناسب هریک از متغیرها مشخص و در نهایت جهت ارائه ارزیابی تمامی متغیرها با یکدیگر ادغام شده است.

متغیرهای عمق، شیب بستر، فاصله از ساحل، فاصله از بندر و مراکز تخلیه ماهی، فاصله از راه‌ها و شهرها و فاصله از سواحل حساس، به‌عنوان متغیرهای محیطی در این مطالعه استفاده شده است. بر اساس آیین‌نامه پرورش ماهی در قفس عمق‌های بین ۲۰ تا ۵۰ متر برای استقرار قفس‌ها مناسب است و در مواردی که مناطق ساحلی کم‌عمق‌تر است در صورت استفاده از فناوری‌های جدیدتر، عمق‌های کمتر از ۲۰ متر نیز مجاز در نظر گفته شده است. این عامل از نظر ساخت و اجرا از کلیدی‌ترین متغیرها است، به‌نحوی که اگر عمق زیاد باشد هزینه‌های غواصی و اتصال قفس به بستر به‌شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد. از طرفی اگر مناطق کم‌عمق باشد، باتوجه‌به ابعاد استاندارد قفس‌ها امکان استقرار آن‌ها فراهم نخواهد بود (Mulanda Aura *et al.*, 2021). جهت عمق‌سنجی منطقه از داده‌های GEBCO (Weatherall *et al.*, 2019) استفاده شده است و به‌منظور بهبود دقت در نواحی ساحلی از اطلاعات SonarChart (NAVIONICS 2023) جهت اصلاح داده‌ها استفاده شده است. نظر به اینکه در بازه عمقی مشخصی احداث قفس‌ها توجیه اقتصادی و فنی دارد و به اصطلاح عمق بهینه نامیده می‌شود (Mulanda Aura *et al.*, 2021)، در این مطالعه محدوده عمق کمتر از ۱۰ متر و بیشتر از ۵۰ متر به‌عنوان محدودیت در نظر گرفته شده است. عامل محدود کننده دیگری که در این مطالعه لحاظ شده است، صیدگاه‌های آبزیان است (Prema, 2013). فاصله دو کیلومتری از نقاط معمول صید آبزیان که توسط شناورهای متوسط و کوچک انجام می‌شود به‌عنوان محدودیت در لایه‌های اطلاعاتی اعمال شده است. در شکل ۱ نقاط قرمز رنگ محل صیدگاه آبزیان است که توسط صیادان منطقه در بازه زمانی سال ۱۴۰۲ مورد استفاده قرار گرفته است. متغیر شیب که مستقیماً از اطلاعات متغیر عمق حاصل شده نیز در این مطالعه در نظر گرفته شده است. هرچه تغییرات شیب در بستر آب کمتر باشد، شرایط مناسب‌تری جهت استقرار و اتصالات مورد نیاز قفس‌ها فراهم خواهد بود (Perez *et al.*, 2005). عامل دیگری که از جنبه اقتصادی و پایش قفس‌ها حائز اهمیت است، فاصله مزارع از خط ساحلی است. هرچه محل استقرار مزارع به ساحل نزدیک‌تر باشد، از نظر اقتصادی بهینه خواهد بود (Mulanda Aura *et al.*, 2021). وجود بنادر (اسکله) و یا محل‌های مناسب تخلیه ماهی جهت انتقال محصولات، انتقال مواد غذایی و رفت‌وآمد کارکنان برای سایت‌های پرورش ماهی در قفس بسیار حائز اهمیت است (Chu *et al.*, 2020). در امتداد سواحل جزیره قشم تمامی بنادر، اسکله‌ها و مکان‌های مناسب تخلیه ماهی (در ابعاد بزرگ و کوچک) شناسایی شده است و به‌عنوان نقاط مرکزی ترسیم فاصله در نظر گرفته شد. متغیر دیگری که در این مطالعه موردتوجه است، فاصله سایت‌های پرورش ماهی در قفس از راه‌ها و شهرها (روستاها) است. هرچه این مزارع به مسیرهای حمل‌ونقل نزدیک‌تر باشد از نظر اقتصادی یک امتیاز قابل توجه برای سایت پرورش ماهی خواهد بود. از طرفی نزدیک بودن به مراکز شهری و یا روستاها، بستر لازم جهت تدارکات و تأسیسات خشکی مزارع را فراهم می‌نماید (Chu *et al.*, 2020)، از طرفی شرایط به‌کارگیری نیروی کار را تسهیل می‌کند.

به دلیل وجود جریانات و حرکت آزادانه مواد و ذرات موجود در سطح و ستون آب، سایت/قفس‌های پرورش ماهی همواره در معرض تهدید افزایش یا کاهش کنترل نشده مشخصات کیفیت آب است (Prema, 2013)، به‌ویژه در مناطق ساحلی و نزدیک‌تر به خط ساحلی این شرایط با حساسیت بیشتری دنبال می‌شود. محدوده مورد مطالعه از نظر نوع ساحل و توسعه آن، بسیار متنوع است و انواع سواحل مانند سواحل صخره‌ای و سواحل صنعتی تا سواحل دارای پوشش حرا وجود دارد (Ghaderi, 2024). هر یک از این انواع سواحل باتوجه به نوع آن و صنایع مستقر در آن از نظر زیست محیطی می‌تواند موجب ایجاد حساسیت بر سایت‌های پرورش آبزیان شود. در این مطالعه نوع سواحل و صنایع مستقر در آن (در فواصل ۱۰۰ متر) با پیمایش میدانی و تصاویر وضوح بالای ماهواره‌ای شناسایی شده است. باتوجه به پروتکل ارائه شده NOAA (Peterson 2019) شاخص حساسیت زیست محیطی (با امتیاز ۱ تا ۸) تعیین شده است. در این مطالعه فاصله از سواحلی که حساسیت زیست‌محیطی بالاتری دارند را به‌عنوان یک متغیر برای شناسایی محل مناسب استقرار قفس‌ها در نظر گرفته شده است. تمام متغیرهایی که نیاز به محاسبه فاصله دارند در محیط ArcMap و با استفاده از ابزار Euclidean Distance، برآورد شده‌اند.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

دو متغیر هیدرودینامیک شامل ارتفاع موج و جریان سطحی به روش مدل‌سازی عددی محاسبه و در این مطالعه لحاظ شده است. بدین منظور از مدل‌عددی Mike 21 استفاده شد (Group-DHI 2017b, 2017a). در بخش مدل‌سازی عددی به شکل همزمان دو مدول موج طیفی (SW) و هیدرودینامیک (HD) برای سال ۲۰۱۸ با گام زمانی ۶ ساعت اجرا گردید. اطلاعات حاصل به‌شکل میانگین سالانه ارتفاع موج و سرعت جریان سطحی در کل منطقه مورد هدف محاسبه و به عنوان متغیرهای مورد نیاز جانمایی محل مناسب استقرار قفس‌های پرورش ماهی، استفاده شد.

در مطالعات دریایی متعددی با استفاده از مدل‌عددی Mike 21 مشخصات هیدرودینامیک مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است، این ابزار توانایی مطلوبی جهت مدل‌سازی در محیط‌های ساحلی (کم‌عمق)، دور از ساحل (عمیق)، خلیج‌ها، مصب‌ها و رودخانه‌ها دارد (Divinsky *et al.*, 2017; Ghaderi and Rahbani 2023; Sayehbani and Ghaderi 2019). نخستین گام اجرای مدل ایجاد فایل شبکه‌بندی است که با ۴۴۴۶ گره و ۷۲۷۹ المان (در کل منطقه تنگه هرمز) ساخته شد. علاوه بر این، فایل شبکه‌بندی دارای داده‌های عمق و اطلاعات مرزها است. برای این اجرای مدل‌سازی دو مرز آبی در شرق و غرب و مرزهای خشکی در شمال، جنوب و جزایر پیاده‌سازی شد. مدول SW عمدتاً وابسته به اطلاعات باد منطقه است هرچند که عوامل دیگری مثل عمق و کشند نیز در آن نقش مهمی دارند. از این رو با استفاده از داده‌های باد پایگاه ECMWF، شرایط باد به شکل متغیر در زمان (۶ ساعت) و مکان (۰/۱۲۵ درجه) در محدوده مورد مطالعه اعمال شد. اطلاعات کشند منطقه نیز به شکل متغیر در زمان و مکان به مرز آبی وارد شد. داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدول HD از سرعت جریان سطحی داده‌های آلتیمتری (NOAA CoastWatch/OceanWatch 2019) استخراج شده و به شکل متغیر در زمان و مکان به دو مرز آبی شرقی و غربی داده شد. دیگر اطلاعات مهم معماری مدل‌سازی در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱. متغیرها و معماری مدل‌سازی عددی

#	متغیر/توابع	توضیحات	مدول
۱	حوزه زمانی	یک‌ساله، گام زمانی ۶ ساعت	دومین
۲	داده‌های عمق	GEBCO و NAVIONICS	دومین
۳	نیروی باد	داده‌های ECMWF با گام زمانی ۶ ساعت	SW, HD
۴	انتقال انرژی	برهم‌کنش موج چهارگانه	SW
۵	معادلات پایه	فرمولاسیون کاملاً طیفی	SW
۶	سفیدک رأس موج	cdis=8.5 and Delta=0.5	SW
۷	شکست موج	Gamma data 0.8 and Alpha=1	SW
۸	اصطکاک بستر	Nikuradse roughness =0.04	SW
۹	شرایط جریان	از ماژول HD	SW
۱۰	تراز آب	مدل جهانی کشند MIKE	HD
۱۱	لزجت گردابی	Smagorinsky formulation= 0.45	HD
۱۲	تشعشعات امواج	از ماژول SW	HD
۱۳	مقاومت بستر	Chezy number= 35	HD
۱۴	چگالی	باروتورپیک	HD
۱۵	تری خشکی	تری و خشکی استاندارد	HD
۱۶	پتانسیل کشند	اعمال شده در مرزها	HD
۱۷	نیروی کوریولیس	متغیر در دومین	SW, HD
۱۸	شرایط مرزی	دو مرز باز و یک مرز خشکی، اطلاعت موج و سرعت جریان در مرزهای باز	SW, HD

جهت کالیبره کردن از ضرایب شکست موج، اصطکاک بستر و سفیدک رأس موج برای مدول SW و ضرایب لزجت گردابی و مقاوت بستر برای مدول HD، استفاده شده است. این ضرایب با بررسی مطالعات مختلف در این زمینه مانند؛ Sayehbani و Ghaderi (۲۰۱۹)، Anton و همکاران (۲۰۱۹) و Pakhirehzan و همکاران (۲۰۱۸)، انتخاب شده‌اند. جهت ارائه ارزیابی از عملکرد نهایی مدلسازی ارتفاع و سرعت جریان سطحی، مقایسه‌ای بین نتایج مدل و داده‌های مدل اقیانوسی ECMWF (برای ارتفاع موج) و داده‌های CoastWatch/OceanWatch (برای سرعت جریان) انجام شده است. شاخص‌های آماری مقایسه شامل

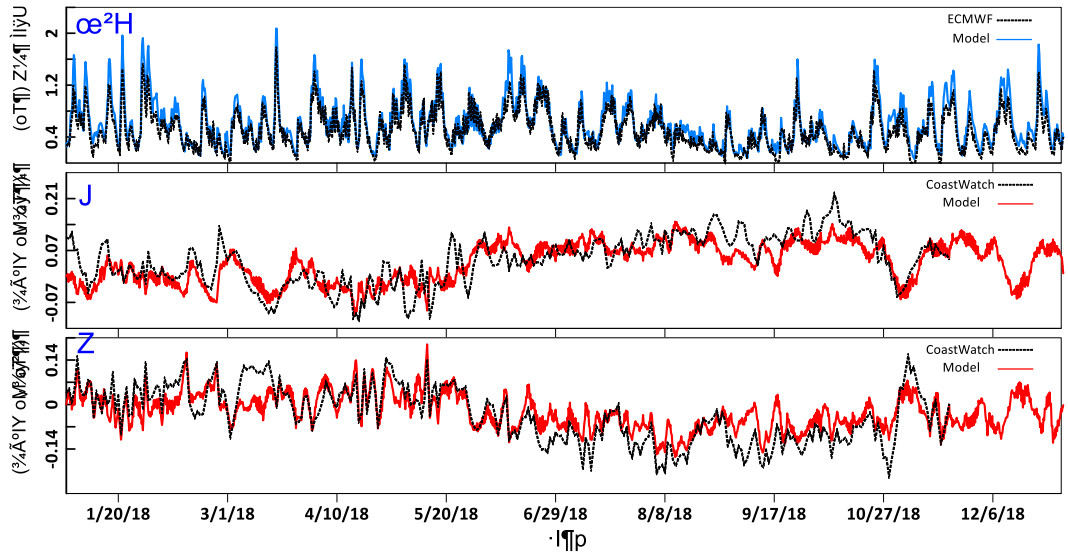
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

ضریب همبستگی (CC) (رابطه ۱) و میانگین مربع خطاها (RMSE) (رابطه ۲) است . هرچه مقدار CC به ۱ نزدیک‌تر باشد و مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد حاکی از عملکرد بهتر نتایج مدل نسبت به نتایج مبنا است (Ghaderi and Rahbani 2023).

$$CC = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x}_i)^2 (y_i - \bar{y}_i)^2}}$$ رابطه ۱

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum(y_i - x_i)^2}$$ رابطه ۲

در معادلات بالا، x_i داده‌های مبنا، $\bar{x}_i$ میانگین داده‌های مبنا، y_i داده‌های حاصل از مدلسازی عددی، $\bar{y}_i$ میانگین داده‌های حاصل از مدلسازی عددی و n تعداد داده‌ها است. میزان CC و RMSE خروجی ارتفاع موج به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۱۷ است و برای مشخصات سرعت موج در مولفه u به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۱۵ و برای مولفه v به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۱۶ است. شاخص‌های آماری نشان می‌دهد عملکرد مدل‌عددی در برآورد داده‌های هیدرودینامیک کاملاً مطلوب بوده است. در شکل ۲ نمودار سری زمانی سه متغیر ارتفاع موج و مولفه‌های سرعت جریان در مقایسه با داده‌های مبنا نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است، وضعیت بازتولید مشخصات هیدرودینامکی در منطقه مورد هدف مطلوب است.



شکل ۲. سری زمانی مقایسه داده‌های مدل‌سازی شده با داده‌های مبنا، الف) ارتفاع موج، ب) مولفه u سرعت جریان سطحی و ج) مولفه v سرعت جریان سطحی

جهت تصمیم‌گیری با درنظر گرفتن تمامی متغیرها به منظور ارزیابی مناطق مستعد استقرار سایت‌های پرورش ماهی در قفس از روش AHP به‌شکل فازی استفاده شده است. این روش در سه گام؛ فازی‌سازی، AHP جهت برآورد وزن‌ها و ادغام متغیرها، اجرا شد. از آنجایی که هریک از متغیرها بازه عددی و جنس متفاوت دارند، انجام عملیات ریاضی جهت ادغام منطقی نیست، بنابراین لازم است قبل از ادغام، متغیرها مقایسه‌پذیر شوند (Rahbani *et al.*, 2024). برای تحقق این نکته با استفاده از روش منطق فازی (Zadeh, 1996) تمامی متغیرها فازی شدند. باتوجه به ارزش و مفهومی که از متغیرها انتظار می‌رود، توابع مختلفی به‌کارگرفته شده است که مقادیر را در محدوده صفر و یک قرار می‌دهد. مقادیر عضویت نزدیک به یک به‌معنی ارزش بالاتر و مقادیر عضویت نزدیک به صفر به معنی کم‌ترین ارزش است. توابع فازی و شرایط هریک از متغیرها در جدول ۲ تشریح شده است.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

جدول ۲. توابع فازی‌ساز استفاده شده در هر متغیر

متغیر	تابع فازی	توضیحات
سرعت جریان سطحی	گوسین- میانه ۰/۰۷۵	مقادیر بالاتر، مقدار عضویت بالاتر
ارتفاع موج	خطی منفی	مقادیر کمتر، مقدار عضویت بالاتر
شیب	خطی منفی	مقادیر کمتر، مقدار عضویت بالاتر
عمق	گوسین- میانه ۲۰	فقط عمق ۱۵ تا ۵۰ متر و عمق ۲۰ متر با مقدار عضویت بالاتر
فاصله از ساحل	خطی منفی	مقادیر کمتر، مقدار عضویت بالاتر
فاصله از بندر و مراکز تخلیه ماهی	خطی منفی	مقادیر کمتر، مقدار عضویت بالاتر
فاصله از راه‌ها و شهرها	خطی منفی	مقادیر کمتر، مقدار عضویت بالاتر
حساسیت نوع ساحل	خطی منفی	مقادیر کمتر، مقدار عضویت بالاتر

در گام دوم انجام مراحل تصمیم‌گیری با روش AHP وزن‌های هر یک از متغیرها برآورد شد؛ ازآنجایی که هر متغیر می‌تواند اولویت متفاوتی در تصمیم و تحلیل نهایی داشته باشد، می‌بایست ابتدا وزن هر متغیر تعیین گردد. روش AHP یک رویکرد تحلیلی برای تصمیم‌گیری پیرامون موضوع هدف است، در شرایطی که با پیچیدگی و ابهام روبرو است (Nonis *et al.*, 2007). این روش توسط توماس ال‌ساعتی در دهه ۱۹۷۰ معرفی شد و از آن پس در مدیریت، مهندسی، اقتصاد، و حوزه‌های دیگر بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. تخمین ارزش‌های نسبی به‌روش مقایسه زوجی انجام شده است. در رابطه ۳ عملکرد کلی AHP مشخص است (Saaty 2008).

رابطه ۳

$$W_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}$$

W_{ij} نشان دهنده اهمیت نسبی متغیر i نسبت به متغیر j است. a_{ij} مقداری است که به‌عنوان ورودی توسط تصمیم‌گیرنده‌ها ارائه می‌شود و نشان دهنده ارزش نسبی متغیر i نسبت به متغیر j است. n نیز تعداد کل متغیرهای در نظرگرفته شده است.

باتوجه‌به مجموع نظرات متخصصین که شامل دو متخصص در زمینه فیزیک دریا و سه متخصص در زمینه شیلات بود، وزن و اولویت‌ها متغیرها تعیین گشت (جدول ۳). بنابراین متغیر ارتفاع موج، سرعت جریان سطحی و عمق به ترتیب با وزن‌های ۰/۴۴۷، ۰/۱۶۳ و ۰/۱۳۳ در اولویت‌های اول تا سوم قرار گرفت. دیگر اولویت‌ها به ترتیب شامل؛ شیب، فاصله از بندر و مراکز تخلیه ماهی، فاصله از ساحل، فاصله از راه‌ها و شهرها و فاصله از سواحل حساس است، که همگی وزن بسیار کوچکی در تصمیم‌گیری دارند.

جدول ۳. وزن استخراج شده متغیرهای مورد استفاده به روش AHP

متغیر	اولویت تعیین شده	وزن حاصل از AHP
ارتفاع موج	۱	۰/۴۴۷
سرعت جریان سطحی	۲	۰/۱۶۳
عمق	۳	۰/۱۳۳
شیب	۴	۰/۰۹۴
فاصله از بندر و مراکز تخلیه ماهی	۵	۰/۰۶۶
فاصله از ساحل	۶	۰/۰۳۶
فاصله از راه‌ها و شهرها	۷	۰/۰۳۵
فاصله از سواحل حساس	۸	۰/۰۲۶
نسبت سازگاری	**۰/۰۸۱**	

با پیمایش میدانی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در محدوده مورد مطالعه هشت نوع ساحل مختلف شناسایی (در نظر گرفته) شد. باتوجه به حساسیت احتمالی این نوع سواحل در بحث پرورش ماهی در قفس با توجه به نظرات کارشناسان و منابع در دسترس

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

به روش مقایسه زوجی، وزن هر یک از انواع سواحل استخراج شده است. در جدول ۴ میزان وزن و اولویت تعیین شده این زیرمتغیرها تشریح شده است. سواحل دارای پوشش حرا و یا آب‌شیرین‌کن در اولویت اول با وزن ۰/۴۳۹ شناسایی شده است. دیگر سواحل به ترتیب شامل سواحل ورودی آب، گلی، پهنه ماسه‌ای، شهری، اسکله و صنایع، ماسه‌ای و صخره‌ای است.

جدول ٤. وزن استخراج شده زیر متغیر سواحل حساس به روش AHP

متغیر	اولویت تعیین شده	وزن حاصل از AHP
حرا آب‌شیرین‌کن	۱	۰/۴۳۹
ورودی آب	۲	۰/۲۰۸
گلی	۳	۰/۱۳۹
پهنه ماسه‌ای	۴	۰/۱۱۲
شهری	۵	۰/۰۴۱
اسکله و صنایع	۶	۰/۰۲۲
ماسه‌ای	۷	۰/۰۲۲
صخره‌ای	۸	۰/۰۱۸
نسبت سازگاری	**۰/۰۹۷**	

مقایسه‌های زوجی مستلزم ارائه نسبت سازگاری است (Lin and Pussella 2017). نسبت سازگاری (CR) در AHP شاخصی جهت تعیین سازگاری قضاوت‌های انجام شده در طول مقایسه‌های زوجی است. این شاخص با تقسیم شاخص سازگاری (CI) بر شاخص تصادفی (RI) محاسبه می‌شود (رابطه ۴).

رابطه ۴
$$\mathrm{CR} = \frac{(\lambda max\ -\ n)}{\left((n-1)\times RI\right)}$$

λmax حداکثر مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی است، n تعداد عناصر موجود در ماتریس و RI شاخص تصادفی است که تابعی از n است که نشان دهنده سازگاری یک ماتریس تصادفی با اندازه ماتریس اصلی است. اگر CR بزرگتر از ۰/۱ باشد، قضاوت‌ها ناسازگار در نظر گرفته می‌شوند و باید تجدید نظر شوند. در این مطالعه CR مقایسه‌های زوجی متغیرها ۰/۰۸۱ و زیرمتغیر فاصله از سواحل حساس ۰/۰۹۷ بوده است.

در گام سوم جهت ادغام تمامی متغیرها برای تصمیم‌گیری و تعیین مناطق مناسب استقرار مزارع پرورش ماهی در قفس، از رابطه ۵ استفاده شده است. به‌منظور حذف مناطقی که شامل محدودیت استفاده است، لایه محدودیت (V_{limits}) تعریف شده است. در این مطالعه نواحی کم عمق (عمق کمتر از ۱۰ متر) و نواحی عمیق (عمق بیش از ۵۰ متر) و حد فاصله ۲ کیلومتری صیدگاه‌ها به‌عنوان لایه محدودیت (با ارزش عددی صفر) در نظر گرفته شده است. در انتها جهت تحلیل نهایی با عملکرد تابع خطی مثبت فازی شده است.

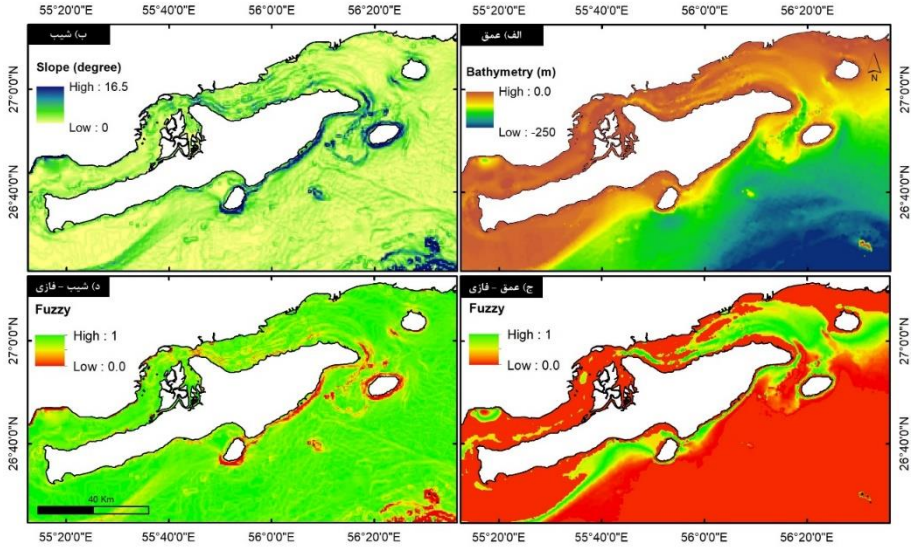
رابطه ۵
$$Overlay = (W_1V_1 + \cdots + W_nV_n)\ \times V_{limits}$$

W وزن‌های تعیین شده هر متغیر مطابق جدول ۳ است، V_n متغیرهای مورد استفاده و V_{limits} مجموع متغیرهای تعیین کننده محدودیت است.

نتایج

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

شکل‌های ۳ و ۴ وضعیت برآورد متغیرهای محیطی و نتایج فازی شده آن را نشان می‌دهد. متغیر عمق که مهم‌ترین نقش در تعیین مناطق مستعد استقرار قفس‌های پرورش ماهی دارد در شکل ۳ الف نشان داده شده است؛ همانطور که نتایج نشان می‌دهد و باتوجه‌به الزامات تعیین شده، نواحی ساحلی/دریایی که عمقی بین ۱۵ تا ۵۰ متر دارند، با ارزش بالاتر و دیگر عمق‌ها با ارزش صفر (لایه محدودیت) در نظر گرفته شده است. همچنین عمق‌های ۲۰ متر به‌عنوان باارزش‌ترین حالت در نظر گرفته شده است. نواحی دریایی عمیق‌تر موجب تسهیل تبادل آب می‌گردد و همچنین از کاهش اکسیژن، تجمع غذای مصرف نشده، تجمع مواد مدفوع و زباله‌ها، بیماری و تجمع گازهای مضر (مانند سولفید هیدروژن، متان) ناشی از تجزیه مواد زائد، جلوگیری می‌کند. از طرفی باید به این مسئله اشاره کرد که در عمق‌های بیشتر از ۲۰ متر به دلیل وجود جریانات و ایجاد پتانسیل امواج برای قفس‌های کوچک بسیار نامناسب است (Beveridge 2008; Mulanda Aura *et al.*, 2021; Perez *et al.*, 2005). در چهار ناحیه گسترده منطقه مورد مطالعه شرایط ایده‌آلی وجود دارد که شامل جنوب جزیره هرمز، ناحیه باریک نزدیک ساحل مسن تا شیب‌دراز، ناحیه ساحلی خلیج دیرستان تا صلخ و ناحیه شمال شرقی جزیره قشم تا غرب جزیره هرمز، است (شکل ۳ ج).



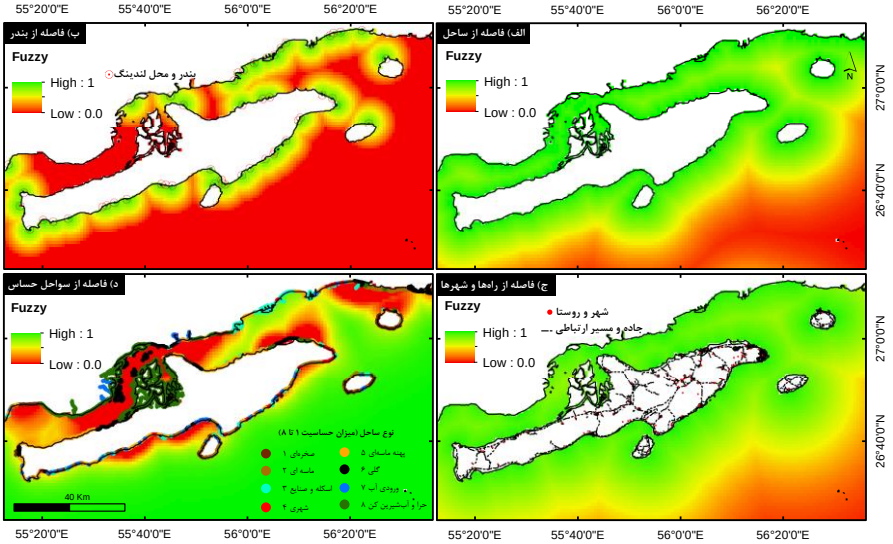
شکل ۳. متغیرهای الف) عمق و ب) شیب و نتایج فازی شده مربوط به ج) عمق و د) شیب

شکل ۳ ب وضعیت شیب بستر در منطقه را نشان می‌دهد. شیب ناحیه ساحلی/دریایی حداکثر ۱۶/۵ درجه است که مقادیر بیشینه معطوف به سواحل رمچاه تا جزیره هنگام، اطراف جزیره لارک و دماغه شرقی قشم است. دیگر نواحی دریایی از شیب کمتری برخوردار است مخصوصاً ناحیه ساحلی و فراساحل صلخ تا باسعیدو این‌چنین است. نواحی قرمزرنگ در شکل ۳ د مناطقی است که شیب قابل‌توجه دارند که در این مطالعه به‌عنوان مناطق نامناسب در نظر گرفته می‌شود. وجود تغییرات شدید عمق در بستر، اتصالات به بستر و عملیات اجرایی استقرار و پایش قفس‌ها را با مشکل مواجه می‌کند (Chu *et al.*, 2020; Divu *et al.*, 2023; Perez *et al.*, 2005). سواحل جنوبی جزیره هرمز، اطراف جزیره لارک و هنگام و سواحل جنوبی جزیره قشم، شیب‌های بالا (ارزش نزدیک به صفر) مشاهده می‌شود. مناطق ساحلی شمال جزیره قشم (کانال قشم) و مناطق ساحلی خلیج دیرستان تا غرب صلخ، از شیب بسیار مطلوبی برخوردار هستند (ارزش نزدیک به یک).

شکل ۴ الف وضعیت فازی متغیر فاصله از ساحل را نشان داده است. بی‌شک محل سایت‌های مزارع پرورش ماهی هرچه به خشکی (خط ساحلی) نزدیک‌تر باشد هزینه‌های متحمل بر این صنعت کاهش می‌یابد. کمینه بودن فاصله تا ساحل موجب بهبود عرضه محصولات و خدمات آن می‌شود (مانند، غذا، تجهیزات و سوخت)، همچنین مسیر انتقال محصولات به بازارها و یا مکان‌های نگهداری کوتاه‌تر خواهد بود (Ross *et al.*, 2011). بنابراین نواحی نزدیک به‌ساحل همواره با امتیاز بالاتر در نظر گرفته خواهد شد. در دسترس بودن اسکله، بندر و یا محل مناسب تخلیه ماهی، انتقال محصولات، تجهیزات و مواد مورد نیاز قفس‌ها را تسهیل

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

می‌کند و به‌عنوان زیرساخت مزارع پرورش ماهی در قفس اهمیت دارد. در مطالعه Perez و همکاران (۲۰۰۵) و Chahinez و همکاران (۲۰۲۰)، فاصله مزارع تا ساختارهای اسکله مانند به‌عنوان متغیر کلیدی در نظر گرفته شده است. در شکل ۴ ب اسکله‌ها، بنادر و موج‌شکن‌های موجود در خط ساحلی منطقه مشخص شده است. در سواحل شهر بندرعباس و سواحل جنوبی جزیره قشم تعداد قابل توجهی از انواع اسکله موجود است. جزایر هرمز، لارک و هنگام تنها یک اسکله بزرگ دارند، همچنین بخش ساحلی شمال غربی جزیره قشم نیز خالی از اسکله است. فاصله از راه‌های ارتباطی و شهر/روستا متغیر دیگری است که در این مطالعه لحاظ شده است. در مطالعه Chahinez و همکاران (۲۰۲۰)، نیز این متغیر در کنار متغیر فاصله از بنادر، در نظر گرفته شده است. در مطالعه ایشان، فاصله از بنادر وزن بالاتر و پس از آن فاصله از شهرها و راه‌های ارتباطی قرار دارد. در این مطالعه نیز متغیر فاصله از بنادر با وزن ۰/۰۶۶ در اولویت ۵ قرار گرفته و متغیر فاصله از راه‌های اصلی و مراکز شهری با وزن ۰/۰۳۵ در اولویت ۷ قرار دارد. شکل ۴ ج ارزش‌گذاری متغیر فاصله از راه‌های اصلی و مراکز شهری را نشان می‌دهد، عمده مناطق ساحلی در منطقه مورد مطالعه از امکانات راه‌های ارتباطی و مراکز شهری/روستایی برخوردار است، با این حال بخش شرقی سواحل جنوبی جزیره از زیرساخت‌های بهتری برخوردار است. فاصله از سواحلی که دارای حساسیت زیست‌محیطی هستند، موردی است که برای اولین بار در این مطالعه درنظر گرفته شده است. ازآنجایی‌که منطقه از نظر نوع ساحل بسیار متنوع و گاهاً دارای حساسیت است، این متغیر نیز در نظر گرفته شده است. در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه (کانال قشم)، بزرگ‌ترین زیستگاه جنگل حرا وجود دارد که طبیعتاً دارای سطوح بالای حساسیت زیست‌محیطی است (Ebrahimi-Sirizi and Riyahi-Bakhtiyari, 2013). ازطرفی در حدفاصل سواحل غربی شهر بندرعباس و سواحل شمال شرقی جزیره قشم، تأسیسات، بنادر و صنایع بزرگی مستقر است که موجب ایجاد حساسیت زیست‌محیطی خواهد شد؛ بنابراین ضروری است که مناطق استقرار قفس‌های پرورش ماهی به‌دور از این سواحل در نظر گرفته شود. در شکل ۴ د نتایج فازی این متغیر نشان داده شده است. نواحی جنوب شهر قشم تا ساحل شیب‌دراز یکی از محدوده‌هایی است که سواحل کمترین حساسیت دارند، درصورتی‌که سواحل شمالی جزیره هرمز، و اطراف سواحلی که پوشش حرا وجود دارد، بالاترین حساسیت زیست محیطی را دارند و جهت استقرار قفس‌های پرورش ماهی نامناسب در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۴. نتایج فازی شده متغیرها؛ الف) فاصله از ساحل، ب) فاصله از بندر و مراکز تخلیه ماهی، ج) فاصله از راه‌ها و شهرها و د) فاصله از سواحل حساس

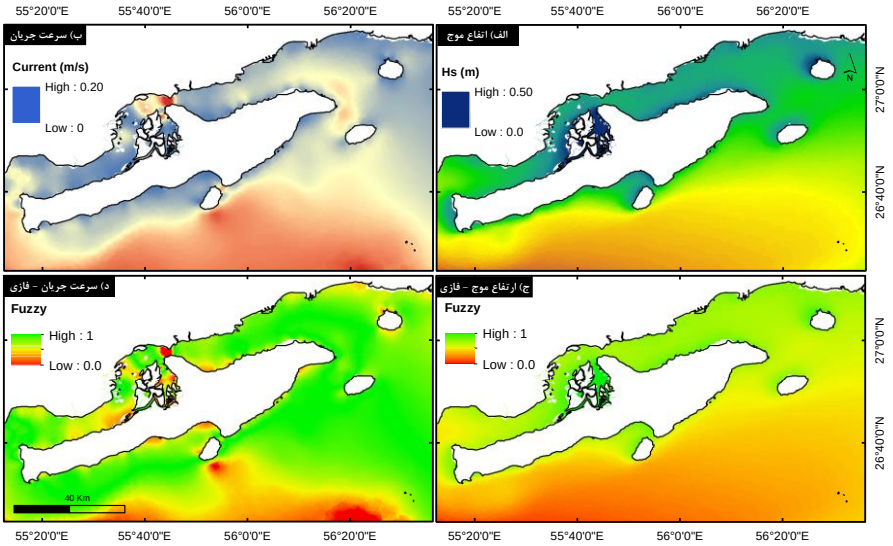
نتایج متغیرهای هیدرودینامیک در شکل ۵ که مربوط به میانگین سالانه ارتفاع موج و سرعت جریان سطحی است، نشان داده شده است. این دو متغیر با وزن‌های ۰/۴۴۷ و ۰/۱۶۳ در اولویت اول و دوم قرارگرفته است. و از مهم‌ترین عوامل در تعیین مناطق مستعد استقرار قفس‌های پرورش ماهی است. بالا بودن ارتفاع موج تاثیر مستقیمی بر سازه‌های قفس‌ها دارد و در شرایط حدی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

می‌تواند موجب تخریب قفس‌ها شود، همچنین مواج بودن، ماهیان را تحت فشار قرار می‌دهد (Pillay 1990; Ross *et al.*, 2011). در مطالعات Perez و همکاران (۲۰۰۵)، Chor و همکاران (۲۰۲۲) و Ross و همکاران (۲۰۱۱)، جهت جانمایی محل مناسب پرورش ماهی در قفس متغیر ارتفاع موج به‌عنوان متغیر کلیدی شرایط هیدرودینامیک در نظر گرفته شده است. ارتفاع موج بالاتر از ۰/۶ متر برای فعالیت‌های سازه‌ای بسیار نامناسب ذکر شده است، همچنین امواج بین ۰/۵ تا ۰/۶ متر نیز به‌عنوان نامناسب در نظر گرفته شده است. ارتفاع موج مناسب برای سازه‌های دریایی، در محدوده کمتر از ۰/۳۵ متر ذکر شده است (US Army 1984). در منطقه مورد مطالعه میانگین ارتفاع موج عمدتاً کمتر از ۰/۴ متر است، بنابراین در نگاه اول اکثر منطقه شرایط مطلوبی جهت استقرار سازه‌های فلزی مانند قفس‌های پرورش ماهی را دارد. با این حال در برخی از مناطق ارتفاع موج‌های کمتر نیز وجود دارد که برای استقرار قفس‌ها بسیار مناسب‌تر است. وجود موانعی مانند جزایر موجب کاهش ارتفاع موج است (Ghafari *et al.*, 2021)، بنابراین همانطور که در شکل ۵ الف مشخص است مناطق شمالی جزایر که کمترین ارتفاع موج را دارد می‌تواند بعنوان مناطق مستعدتر درنظر گرفته شود. علاوه براین کانال قشم نیز این شرایط را دارد و امواج با ارتفاع کم از ویژگی آن است. بخش ساحل جنوبی قشم در محدوده جنوب شهر قشم تا شیب‌دراز در معرض ورود امواج از مناطق فراساحل است در نتیجه ساحل با امواج مرتفع‌تر مواجه است، این شرایط در بخش صلخ و غرب آن حاکم است. بخش داخلی خلیج دیرستان نیز به دلیل وجود جزیره هنگام دارای ارتفاع موج کمینه است (شکل ۵ الف). منطبق بر همین شرایط در شکل ۵ ج مناطق با ارزش بالاتر توسط منطق فازی مشخص شده است.

جریان نیز پارامتر مهم دیگری در بررسی شرایط هیدرودینامیک است. زیرا برای جلوگیری از انباشته‌شدن زباله‌ها، اطمینان از تأمین اکسیژن کافی و تبادل آب ضروری است (Beveridge 2008). این متغیر نیز در این مطالعه اعمال شده است، نتایج شبیه‌سازی در شکل ۵ ب آمده است. سرعت جریان در مناطق میانی جزایر سرعت بالاتر دارند، مانند حد فاصل جزیره لارک و هرمز با جزیره قشم، جزیره هنگام و جزیره قشم و حد فاصل بندر پل و جزیره قشم که بیشینه سرعت جریان در آن رخ می‌دهد. منطقه میانی کانال قشم نیز سرعت جریان متوسط است و بخش خلیج دیرستان تا غرب صلخ نیز سرعت جریان کمینه است. بخش جنوبی جزیره لارک و بخش شرقی- غربی جزیره هرمز و همچنین بخش باسعیدو جزیره قشم سرعت جریان قابل توجه است. در ناحیه غربی جنگل‌های حرای قشم نیز سرعت جریان کمینه است اما در ناحیه مجاور بندر پل به دلیل باریک شدن حوضه آبی، بیشینه سرعت جریان حاکم است. سرعت جریان بالاتر برای سایت‌های پرورش ماهی یک امتیاز مطلوب محسوب می‌شود چرا که موجب جابجایی بهتر ذرات معلق است و در نتیجه کنترل و پایش شرایط پرورشی ماهیان را فراهم می‌کند. در مقابل اگر جریان در سطح پایینی باشد سایت‌های پرورش ماهی با مشکلات متعددی مواجه می‌شود (Prema, 2013). براساس ضوابط پرورش ماهی در قفس (Sharifian, 2020) سرعت جریان می‌بایست بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۰ متر بر ثانیه باشد. نتایج مدلسازی عددی در این مطالعه نشان می‌دهد که در تمامی منطقه مورد هدف سرعت جریان در سطح کمتراز ۰/۱۰ متر بر ثانیه است، تنها در نواحی فراساحل و بخش کوچکی از حدفاصل بندر پل تا بندر لافت سرعت بیشینه وجود دارد (شکل ۵ ب). با در نظر گرفتن تابع گوسین و میانه ۰/۰۷۵ مقادیر فازی این متغیر برآورد شده است که در شکل ۵ د مشخص است.

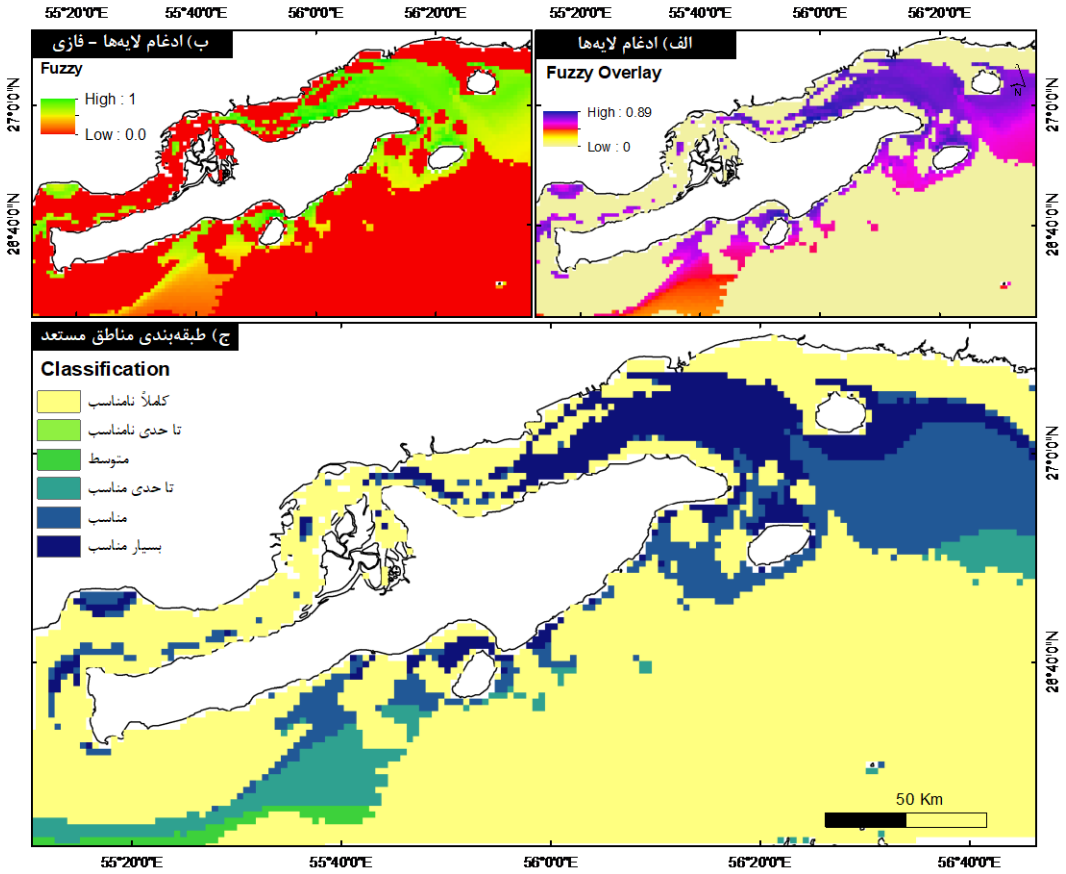
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]



شکل ۵. الف) متغیر میانگین سالانه ارتفاع موج، ب) متغیر میانگین سالانه سرعت جریان، ج) نتیجه فازی شده متغیر میانگین سالانه ارتفاع موج و د) سرعت جریان

در شکل ۶ نتیجه نهایی نواحی مناسب استقرار سایت‌های پرورش ماهی در قفس نشان داده شده است. این نتایج باتوجه به متغیرهای محیطی و متغیرهای هیدرودینامیک تعیین شده است. باتوجه به اعمال وزن متغیرها، ادغام لایه‌های اطلاعاتی بالاترین امتیاز ۰/۸۹ را حاصل کرده است (شکل ۶ الف). این نتیجه به‌این معنا است که هیچ ناحیه‌ای با امتیاز بیشینه در هر هشت متغیر شناسایی نشده است، با این حال مقادیر حاصل شده در وضعیت مطلوبی است. برای تحلیل دقیق‌تر و اعمال طبقه‌بندی، ابتدا نتایج حاصل فازی شده است (شکل ۶ ب) و سپس مقادیر صفر به عنوان طبقه کاملاً نامناسب، مقادیر کمتر ۰/۲ به‌عنوان تاحدی نامناسب، مقادیر ۰/۲ تا ۰/۴ به‌عنوان متوسط، مقادیر ۰/۴ تا ۰/۶ به‌عنوان تاحدی مناسب، مقادیر ۰/۶ تا ۰/۸ به‌عنوان مناسب و مقادیر بالاتر از ۰/۸ به‌عنوان بسیار مناسب، در نظر گرفته شده است. این طبقه‌بندی در شکل ۶ ج نشان داده شده است.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]



شکل ۶. الف) نتیجه ادغام لایه‌ها، ب) نتیجه فازی شده ادغام لایه‌ها و د) طبقه‌بندی مناطق مناسب پرورش ماهی در قفس

نتایج نهایی حاکی از این است که سواحل شهر بندرعباس تا جزیره هرمز، سواحل بندر شهید رجایی تا بندر پل، محدوده حرای قشم تا باسعیدو و صلخ تا دستکو، کاملاً نامناسب است. علاوه بر این محدوده ساحل سوزا تا شرق شیب‌دراز و بخش کوچکی از نزدیک ساحل و فراساحل صلخ نیز در طبقه کاملاً نامناسب تعیین شده است که به‌دلیل رعایت فاصله دو کیلومتری از صیدگاه‌های آبزیان است. به‌شکل کلی مناطق مستعد (با طبقات مختلف) در چهار بخش؛ الف، شرق کانال قشم، ب) جنوب جزیره هرمز، حدفاصل شهر قشم تا جزیره لارک و شمال لارک، ج) سواحل رمچاه تا جزیره هنگام و د) خلیج دیرستان تا صلخ، می‌توان خلاصه کرد. مناسب‌ترین منطقه تعیین شده محدوده شرقی کانال قشم، جنوب جزیره هرمز و شمال جزیره لارک است، این نواحی محدوده گسترده‌ای را شامل می‌شود. مناطق جنوبی فراساحل جزیره لارک و قشم به‌دلیل عمق بالا، افزایش ارتفاع موج و سرعت جریان کاملاً نامناسب است در حالی که در مناطق جنوبی فراساحل جزیره هرمز در طبقه مناسب قرار گرفته است. سواحل رمچاه نیز یکی از نواحی مناسب و تاحدی بسیار مناسب است همچنین سواحل شیب‌دراز نیز همین شرایط را دارد. در مورد محدوده مناسب شیب‌دراز باید به این مسئله توجه شود که با سواحل مناسب تخم‌گذاری لاک‌پشت‌ها مشترک است (Nasiri *et al*, 2022)، بنابراین نیازمند مدیریت دقیق است. محدوده قابل‌توجه دیگر که در طبقه بسیار مناسب قرار دارد، مرکز خلیج دیرستان است، در این ناحیه عمق و سرعت جریان مناسب است و از طرفی متغیر ارتفاع موج کمینه است. محدوده نزدیک ساحل و فراساحل صلخ بخش گسترده‌ای را در طبقه مناسب نشان می‌دهد. این مناطق امروزه به‌عنوان محل استقرار قفس‌های پرورش ماهی مورد استفاده قرار گرفته است. همانطور که در مطالعه Noory Balaneji (۲۰۲۰) مطرح شده است، اقدامات انجام شده در خصوص استقرار سیستم‌های قفس جهت پرورش ماهی هامورمعمولی با توجه به مدیریت علمی، در این منطقه موفقیت آمیز بوده است. در نزدیکی ناحیه باسعیدو نیز طبقه مناسب و بسیار مناسب تعیین شده که به‌دلیل عمق مناسب (در حدود ۱۷ متر) و شرایط مناسب هیدرودینامیک است. منطقه درگهان (شرق کانال قشم)، علی‌رغم کسب امتیازات بالا، در متغیرهای کیفیت آب و آلودگی‌های محیط دریایی می‌تواند در ریسک

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

بالا قرار داشته باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود با بررسی‌های تکمیلی و میدانی پتاسیل بسیار مناسب این محدوده مطالعه شود. علاوه بر این به دلیل عمق مناسب منطقه، لنگرگاه شناورهای تجاری است.

بحث

بر اساس مطالعات جانمایی جامع انجام شده، نواحی فراساحل جنوب جزیره هرمز، اطراف جزیره لارک، سواحل جنوبی جزیره قشم، تحت عنوان مناطق مناسب آبزی‌پروری تعیین شده است (Adeli and Yousefi Siakalroudi, 2021). از طرفی آخرین گزارشات مجوزهای صادر شده نشان می‌دهد که در محدوده قشم، تعداد ۷ مرکز با ظرفیت بیش از ۳ هزار تن در مرحله بهره‌برداری شیلات صنعتی است و تعداد ۲۹ مرکز با ظرفیت بیش از ۴۳ هزار تن در مرحله تأسیس شیلات صنعتی است. پیش‌بینی‌های اشتغال از فعالیت پرورش ماهی در قفس با ظرفیت بیش از ۷۰ هزار تن در حدود ۱۶۰۰ نفر به شکل مستقیم و به بیش از ۳ هزار نفر به شکل غیرمستقیم است. محدوده قشم فعال‌ترین بخش فعال در زمینه پرورش ماهی در قفس استان هرمزگان است و به‌نظر می‌رسد حرکت و توسعه در این فعالیت شیلاتی–صنعتی نتایج مطلوبی در زمینه اشتغال و تولید آبزیان داشته باشد. در مطالعه Noory Balaneji (۲۰۲۰) نیز به ترتیب مناطق؛ سوزا، شیب‌دراز و صلخ به‌عنوان اولویت اول و مناطق؛ مسن، نقاشه (خلیج دیرستان) و نمکدان (غرب صلخ) به‌عنوان اولویت دوم شناسایی شده است. براساس گزارش‌ها امروزه مجوزهای صادر شده عمدتاً در فاصله ۱۰ تا ۲۰ کیلومتری از خط ساحلی است و در عمق ۲۰ تا ۲۵ متری قرار دارد. دو مرکز با ظرفیت اسمی حدود ۵ هزار تن و ۱۲–۲۰ قفس در منطقه صلخ و یک مرکز در محدوده رمچاه با ظرفیت اسمی ۵۰۰ تن در جنوب جزیره قشم در حال فعالیت می‌باشد. هر سه مرکز فعال محدوده آب‌های اطراف جزیره قشم بر اساس نتایج این مطالعه در طبقه مناسب و بسیار مناسب قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق قابل استفاده را می‌توان به بخش‌های جنوب جزیره هرمز، شمال جزیره لارک و خلیج دیرستان گسترش داد. ناحیه بسیار مناسب دیگری که در این مطالعه تعیین شده است، بخش شرقی کانال قشم است. این محدوده دارای عمق مناسب است از طرفی شرایط هیدرودینامیک آن بسیار مطلوب است؛ به‌نحوی که سرعت جریان کافی جهت تبادل آب در قفس‌ها وجود دارد و از طرفی ارتفاع موج بسیار کم است. به‌دلیل محدود بوده موجگاه حتی در شرایط طوفانی، امواج با ارتفاع موج بسیار بالا ایجاد نمی‌شود (Loria *et al.*, 2021). برخلاف این نکته در سواحل جنوبی جزیره قشم به‌دلیل گسترده بوده موجگاه احتمال رخ دادن ارتفاع موج بسیار بالا وجود دارد. در شرایط طوفانی که جهت وزش باد به اندازه کافی (از نظر زمانی) از سمت جنوب غربی ادامه یابد، می‌تواند نواحی صلخ و خلیج دیرستان را تحت تاثیر قرار دهد و در صورتی که جهت باد از سمت جنوب–جنوب غربی باشد نواحی رمچاه تا شیب‌دراز را متاثر می‌کند. بنابراین از دیدگاه فیزیک دریا می‌توان این مسئله را مطرح کرد که احتمال رخداد ارتفاع موج بالا در سواحل جنوب جزیره قشم وجود دارد، در صورتی که در سواحل شمالی جزیره قشم (شرق کانال قشم) احتمال رخداد ارتفاع موج بالا بسیار کم‌تر است. متغیر بسیار مهم سرعت جریان که در این مطالعه در اولویت دوم قرار دارد، عامل بسیار کلیدی در فعالیت سایت‌های پرورش ماهی در قفس است به نحوی که تبادل کافی آب از قفس‌ها هم برای مهیا کردن اکسیژن مناسب و هم برای حذف متابولیت‌های زائد، ضروری است (Prema, 2013). از طرفی بیشینه بودن سرعت جریان فشار دینامیکی اضافی را بر سازه قفس وارد می‌کند که می‌تواند موجب آسیب و تخریب آن شود، همچنین حجم قابل استفاده قفس را به دلیل تغییر شکل تور کاهش می‌دهد و ممکن است بر رفتار ماهی تأثیر منفی بگذارد (Prema, 2013). در این مطالعه محدودیت سرعت جریان ۰/۰۵ تا ۰/۱ متر بر ثانیه باتوجه به منابع در نظر گرفته شده است، اما باید اشاره کرد سرعت جریان مناسب به عوامل مختلف از جمله نوع ماهی در حال پرورش و زیرساخت قفس بستگی دارد. برای مثال جهت پرورش ماهی قزل آلا در منطقه اسکاتلند سرعت جریان ۰/۰۵ تا ۰/۱ متر بر ثانیه مناسب تولید ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ تن و سرعت‌های ۰/۱ تا ۰/۲ متر بر ثانیه مناسب تولید ۰ تا ۵۰۰ تن است و در سرعت‌های بالاتر از ۰/۲ متر بر ثانیه تولید کاملاً با مشکل مواجه می‌شود (Cardia *et al.*, 2017). لازم به ذکر است که در کنار این شرایط رفتار سازه و اتصالات قفس نیز باید در نظر گرفته شود. به طور خلاصه، سرعت جریان مناسب برای پرورش در قفس بسته به گونه خاصی که پرورش داده می‌شود و مکان کاملاً متفاوت است و مستلزم مطالعات ویژه همان

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

گونه است. در کنار متغیرهای مورد استفاده در این مطالعه توجه به متغیرهای کیفی آب (مانند دما، شوری، اکسیژن محلول و pH) می‌تواند مناطق مستعد را با دقت بهتری شناسایی کند. با این حال تهیه و آماده‌سازی چنین داده‌هایی در کل پهنه مورد مطالعه با محدودیت همراه است (Fang *et al.*, 2023). با انجام مدل‌سازی پارامترهای کیفی آب، مانند به‌کارگیری مدول ECO Lab می‌توان تاحدودی این مسئله را پوشش داد (Xu *et al.*, 2023)، اما اعتبارسنجی نتایج و اعمال شرایط مرزی مدل، مستلزم اندازه‌گیری‌های جامع میدانی خواهد بود (Ejigu, 2021). بنابراین افزایش هزینه و افزایش زمان را به‌دنبال خواهد داشت. پیشنهاد می‌شود جهت مرتفع نمودن این مسئله در مطالعات آتی، سنجش متغیرهای کیفی آب به‌شکل محدود اما با پوشش زمانی کامل در نقاط شناسایی شده انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از هشت متغیر محیطی و هیدرودینامیک، مناطق مناسب پرورش ماهی در قفس در محدوده آب‌های اطراف جزیره قشم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مناطق مستعد در چهار بخش (الف) شرق کانال قشم، (ب) جنوب جزیره هرمز حدفاصل شهر قشم تا جزیره لارک و شمال لارک، (ج) سواحل رمچاه تا جزیره هنگام و (د) خلیج دیرستان تا صلخ شناسایی شد. علاوه به مناطق شناسایی شده در مطالعات پیشین که شامل سواحل سوزا، مسن، شیب‌دراز، خلیج دیرستان و صلخ است، نتایج این مطالعه نشان داد نواحی ساحلی شمال جزیره لارک و بخش درگهان جزیره قشم از پتانسیل بسیار خوبی برخوردار است. هرچند که در منطقه شمال جزیره لارک مشکل عدم توسعه و در سواحل میانی شرق کانال قشم (درگهان) مشکل وجود لنگرگاه شناورها، آلودگی احتمالی صنایع و بستر گلی مطرح است، اما می‌تواند به‌عنوان محلی مناسب در برنامه‌های توسعه‌ای آینده باشد. منطقه خلیج دیرستان و سواحل سوزا تا شیب‌دراز علی‌رغم مناسب‌بودن، در صورت بروز طوفان و شرایط حدی، مستعد افزایش ارتفاع موج است. مخصوصاً منطقه خلیج دیرستان؛ در حالتی که باد غالب از سمت جنوب غربی با مدت‌زمان طولانی ایجاد شود، افزایش ارتفاع موج به شکل قابل‌توجهی رخ خواهد داد که می‌تواند سازه قفس‌های پرورش ماهی را تهدید کند. برعکس این شرایط در محدوده سواحل میانی شرق کانال قشم، امکان افزایش ارتفاع موج حتی در شرایط طوفانی آن‌چنان زیاد نیست (به دلیل محدود بودن موجگاه). نتایج این مطالعه و مطالعات مشابه جهت تصمیم‌گیری و مدیریت توسعه سواحل و مناطق دریایی می‌تواند کارآمد باشد. با گسترش‌دادن متغیرهای دخیل در مسئله پرورش ماهی (مانند شاخص‌های کیفیت آب)، مناطق مستعد دقیق‌تر و با ریسک خطر پایین‌تر انتخاب خواهد شد.

سپاسگزاری

از آقای مهندس علیرضا راضی به دلیل ارائه گزارش‌های تخصصی و مشاوره در بخش پرورش ماهی در قفس کمال تشکر به عمل می‌آید.

References:

Adeli, A., Yousefi Siakalroudi, S., 2021. Evaluation of Sea bass culture in Iranian marine cages. *Fisheries Science and Technology,10, 8*. Dor: 20.1001.1.23225513.1400.10.4.4.0 (in Persian)

Anton, I.A., Rusu, L., Anton, C., Anton, Rusu, Anton, 2019. Nearshore wave dynamics at Mangalia beach simulated by spectral models. *Journal of Marine Science and Engineering, 7, 206*. DOI: 10.3390/jmse7070206

Araujo, G.S., Silva, J.W.A. da, Cotas, J., Pereira, L., 2022. Fish Farming Techniques: Current Situation and Trends. *Journal of Marine Science and Engineering 10, 1598*. DOI: 10.3390/jmse10111598

Beveridge, M.C.M., 2008. Cage aquaculture. *John Wiley & Sons*.

Cardia, F., Ciattaglia, A., Corner, R.A., 2017. Guidelines and criteria on technical and environmental aspects of cage aquaculture site selection in the Kingdom of Saudi Arabia. Rome, Italy, Food and Agriculture

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

Organization of the United Nations and Ministry of Environment, *Water and Agriculture in the Kingdom of Saudi Arabia, 55pp*. DOI: 10.25607/OBP-1548

Chahinez, L., Abderrahim, H., El Islem, B.N., 2020. Site selection for finfish cage farming using spatial multi-criteria evaluation and their validation at field in the Bay of Souahlia (Algeria). *Aquaculture International 28, 2419–2436*. DOI: 10.1007/s10499-020-00598-x

Chor, W.-K., Lai, T.-Y., Mathews, M.M., Chiffings, T., Cheng, C.-W., Andin, V.C., Lai, K.-S., Loh, J.-Y., 2022. Spatial Analysis for Mariculture Site Selection: A Case Study of Kukup Aquaculture Zones in the Peninsula of Malaysia. *Frontiers in Marine Science 9*. DOI: 10.3389/fmars.2022.888662

Chu, Y.I., Wang, C.M., Park, J.C., Lader, P.F., 2020. Review of cage and containment tank designs for offshore fish farming. *Aquaculture 519, 734928*. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.734928

Divinsky, B. V, Kuklev, S.B., Zatsepin, A.G., 2017. Numerical simulation of an intensive upwelling event in the northeastern part of the Black Sea at the IO RAS hydrophysical testing site. *Oceanology 57, 615–620*. DOI: doi.org/10.1134/S0001437017040038

Divu, D., Mojjada, S.K., Muktha, M., Abdul Azeez, P., Mayur S. Tade, Aarsha Subramanian, Jai Shree, C. Anulekshmi, P. P. Suresh Babu, A. Anuraj, Prathibha Rohit, Shubhadeep Ghosh, Sekar Megarajan, Ranjan, R., N. Rajesh, Ambarish P. Gop, P. S. Swathi Lekshmi, A. K. Abdul Nazar, B. Johnson, G. Tamilmani, K. K. Anikuttan, C. Kalidas, Gyanaranjan Dash, Rajesh Kumar Pradhan, K. Mohammed Koya, Boby Ignatius, V. V. R. Suresh, A. Gopalakrishnan, 2023. Mapping of potential sea-cage farming sites throughspatial modelling: Preliminary operative suggestionsto aid sustainable mariculture expansion in *India. Indian Journal of Fisheries 70*. DOI: 10.21077/ijf.2023.70.4.132866-01

Ebrahimi-Sirizi, Z., Riyahi-Bakhtiyari, A., 2013. Petroleum pollution in mangrove forests sediments from Qeshm Island and Khamir Port—Persian Gulf, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment 185, 4019–4032*. DOI: 10.1007/s10661-012-2846-z

Ejigu, M.T., 2021. Overview of water quality modeling. *Cogent Engineering 8*. DOI: 10.1080/23311916.2021.1891711

Fang, X., Hu, J., Sharma, S., 2023. Water Quality Modeling and Monitoring. *Water 15, 3216*. DOI: 10.3390/w15183216

Ghaderi, D., 2024. Mapping the shoreline risk assessment of oil spill in the eastern region of Qeshm channel. *Marine Pollution Bulletin. 206, 116714*. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116714

Ghaderi, D., Rahbani, M., 2023. Simultaneous employment of hydrodynamical simulation and RS imageries for analyzing the influence of an anthropogenic construction on shoreline transformation. *Journal of Hydraulic Structures 9, 14–31*. DOI: 10.22055/jhs.2023.44699.1262

Ghafari, A., Tavakoli, M.R., Nili-Ahmadabadi, M., Teimouri, K., Kim, K.C., 2021. Investigation of interaction between solitary wave and two submerged rectangular obstacles. *Ocean Engineering 237, 109659*. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.109659

Group-DHI, 2017a. MIKE 21 Spectral Wave Module, Scientific Documentation. Hørsholm, Denmark: DHI Water Environment Health.

Group-DHI, 2017b. MIKE 21 Flow Model: Hydrodynamic Module User Guide. DHI Water & Environment: Brisbane, Australia.

Halwart, M., Soto, D., Arthur, J.R., 2007. Cage aquaculture: regional reviews and global overview.

Karimzadeh, S., Kamran, K.V., Mahdavifard, M., 2022. A multisensor satellite image classification for the detection of mangrove forests in Qeshm Island (Southern Iran). *Applied Geomatics 15, 177–188*. DOI: 10.1007/s12518-022-00475-7

Khosravi, M., Siadatmousavi, S.M., Vennell, R., Chegini, V., 2018. The transverse dynamics of flow in a tidal channel within a greater strait. *Ocean Dynamics 68, 239–254*. DOI: 10.1007/s10236-017-1127-3

Lin, L., Pussella, P., 2017. Assessment of vulnerability for coastal erosion with GIS and AHP techniques case study: Southern coastline of Sri Lanka. *Natural Resource Modeling 30, e12146*. DOI: 10.1111/nrm.12146

Loka, J., Philipose, K.K., Vaidya, N.G., Sonali, S.M., Dube, P., 2016. Variations in growth rates of cage cultured Asian seabass Lates calcarifer (Bloch, 1790) and cobia Rachycentron canadum (Linnaeus, 1766) in relation to environmental quality of marine farm at Karwar, *India. Indian Journal of Fisheries 61, 140–145*. DOI: 10.21077/ijf.2016.63.3.57352-22

Loria, E., O'Brien, A., Zavorotny, V., Zuffada, C., 2021. Towards Wind Vector and Wave Height Retrievals Over Inland Waters Using CYGNSS. *Earth and Space Science 8*. DOI: 10.1029/2020EA001506

Mahmoudov, M., Chegini, V., Montazeri Namin, M., 2011. Three-dimensional simulation of Qeshm channel currents. *Journal of the Persian Gulf 2*, 0.

Mulanda Aura, C., Musa, S., Nyamweya, C.S., Ogari, Z., Njiru, J.M., Hamilton, S.E., May, L., 2021. A GIS-based approach for delineating suitable areas for cage fish culture in a lake. Lakes & Reservoirs: Science, *Policy and Management for Sustainable Use 26*. DOI: 10.1111/lre.12357

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

Nasiri, Z., Gholamalifard, M., Ghasempouri, S.M., 2022. Effects of Temperature Changes on Nesting Success of Hawksbill Sea Turtles in the Persian Gulf Islands. *ECOPERSIA 10*.

NAVIONICS, 2023. Navionics ChartViewer. Navionics ChartViewer. URL https://webapp.navionics.com/?lang=en#boating (accessed 3.25.24).

NOAA CoastWatch/OceanWatch, 2019. Sea level Anomaly and Geostrophic Currents, multi-mission, global,optimal interpolation, gridded | NOAA CoastWatch & OceanWatch. URL https://coastwatch.noaa.gov/cw/satellite-data-products/sea-surface-height/sea-level-anomaly-and-geostrophic-currents-multi-mission-global-optimal-interpolation-gridded.html (accessed 8.18.20).

Nonis, C.N., Varghese, K., Suresh, K.S., 2007. Investigation of an AHP based multi criteria weighting scheme for GIS routing of cross country pipeline projects, in: *24th International Symposium on Automation & Robotics in Construction, Madras (India)*. pp. 397–403.

Noory Balaneji, 2020. Site selection for the establishment of Orange-spotted Grouper (Epinephelus coioides) marine cages in inshore waters of southern Qeshm Island based on SWOT management analysis model and GIS. *University of Hormozgan*. (in Persian)

Pakhirehzan, M., Rahbani, M., Malakooti, H., 2018. Numerical Study of Winter Shamal Wind Forcing on the Surface Current and Wave Field in Bushehr's Offshore Using MIKE21. *International Journal of coastal and offshore engineering 2, 57–65*. DOI: 10.29252/ijcoe.2.2.57

Perez, O.M., Telfer, T.C., Ross, L.G., 2005. Geographical information systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquaculture Research 36, 946–961*. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2005.01282.x

Peterson, J., 2019. Environmental sensitivity index guidelines: Version 4.0. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 52.

Pillay, T.V.R., 1990. Aquaculture: principles and practices. Fishing news books.

Prema, D., 2013. Site selection and water quality in mariculture.

Rahbani, M., Salari, Z., Shamsaie, R., Ghaderi, D., 2024. Sensitivity classification of Bandar Lengeh County shoreline to waves using fuzzy-gamma logic method . *Iranian journal of Marine technology*, 10(4), 96-107. DOI: 10.22034/ijmt.2023.544054.1807

Ross, L.G., Falconer, L.L., Campos Mendoza, A., Martinez Palacios, C.A., 2011. Spatial modelling for freshwater cage location in the Presa Adolfo Mateos Lopez (El Infiernillo), Michoacán, México. *Aquaculture Research 42, 797–807*. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2010.02689.x

Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences 1, 83–98*. DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590

Sayehbani, M., Ghaderi, D., 2019. Numerical Modeling of Wave and Current Patterns of Beris Port in East of Chabahar-Iran. *International Journal of coastal and offshore engineering, 3, 21–29*. DOI: 10.22034/ijcoe.2019.149314

Sharifian, M., 2020. Marine cage culture rules. *Iranian Fisheries Science Research Institute*. (in Persian)

Soleimani, E., 2024. Estimation of catch per unit of effort (CPUE) and effects of some environmental parameters on catch rate of the small pelagic fish caught by double purse seiner boats in the Qeshm Island's fishing grounds. *University of Hormozgan*. (in Persian)

US Army, 1984. SHORE PROTECTION MANUAL. US Army Engineer Waterways Experiment Station. *Coastal Engineering Research Center*. US Government Printing Office.

Weatherall, P.A., Sandwell, D.T., Arndt, J.E., Bringensparr, C., Dorschel, B., Ferrini, V., Giulivi, C.F., Hehemann, L., Jakobsson, M., Johnson, P., Ketter, T., Lamarche, G., Mackay, K., Martin, T. V, Mayer, L.A., Mohammad, R., Nitsche, F.O., Snaith, H., Steinmetz, T., 2019. GEBCO Bathymetric Compilation Group. The GEBCO_2019 Grid - a continuous terrain model of the global oceans and land. Published Data Library (PDL). DOI: 10.5285/836F016A-33BE-6DDC-E053-6C86ABC0788E

Xu, C., Ren, Z., Huang, S., Li, J., Zi, Y., Hu, X., 2023. Simulation Study on the Impact of Water Flow Regulation Based on the MIKE 21 Model in a River Water Environment. *Sustainability 15, 10313*. DOI: 10.3390/su151310313

Zadeh, L.A., 1996. FUZZY SETS. pp. 394–432. DOI: 10.1142/9789814261302_0021

Zhang, M., Wang, X., Liu, C., Cui, J., Tian, Y., Xu, X., 2024. Analysis of aquaculture safety in marine cage culture area of Maniao bay under the effect of typhoon. *Applied Ocean Research 144, 103902*. DOI: 10.1016/j.apor.2024.103902

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]