2025, 1(3): 65-74

JAER

Journal of Animal Environmental Reaserch

Journal homepage: http://www.journalaer.com

Research Article

Simulation of the impact of nutrients caused by fish farming in cages Using the CORMIX numerical model technique

Omidreza Touni [1], Nooshin Sajjadi [1*], Farhad Moosakhani [2], Rooholah Mahmoudkhani [3]

[1] Department of Environment, Faculty of Marine Sciences and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2] Department of Veterinary Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
[3] Department of Environmental Health Engineering, Environmental Research Institute, Tehran Medical Sciences Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Key Words

Nitrogen concentration
Phosphorus concentration
Modeling
CORMIX model
Cage Culture

Abstract

Introduction: Besides its advantages, aquaculture in cages also has environmental effects. Cage farms can transfer relatively large loads of organic and nutritious substances to the environment. As a result, it seems necessary to investigate the quality consequences of water caused by fish farming in cages. Therefore, the use of modeling to predict and analyze the impact of pollutants on the aquatic ecosystem is very vital and provides the basis for predicting the fate of the ecosystem in the future. The purpose of the present study is to simulate the effect of pollutants coming out of fish breeding cages with an emphasis on the amount of nitrogen and phosphorus.

Materials & Methods: In the present study, according to the designs of fish breeding in cages in the sea, the cages were considered as 30 cages in two rows of 15 each, with each pair of cages placed parallel to each other. The exit of pollutants from the cages was assumed to be in the same direction. It should be noted that CORMIX models each pollutant separately. As a result, modeling was done for nitrogen and phosphorus variables separately. The modeling of the present study was done in four different seasonal scenarios for each of the nitrogen and phosphorus variables and the model was implemented for spring, summer, autumn and winter seasons.

Results: The results of this study showed that the concentration of nitrogen and phosphorus decreased drastically from the distance of 50 meters from the cage and this trend is similar in all four seasons. The amount of effluent dilution and decrease in the concentration of both nitrogen and phosphorus variables had a similar trend in all four seasons. Considering that the concentration of nitrogen and phosphorus, wind speed, temperature, speed and density of sea water and effluent from the cage were different variables in each season and other input data were constant, the concentrations decreased with a relatively similar percentage.

Discussion: The current study shows that the effect of fish farming in cages is limited to the area around the cage, but due to the closure of the Caspian Sea, with the increase in the number and capacity of fish farming projects in cages, there is a possibility of accumulation of nutrients and as a result, it is possible to ncrease the trend of trophies in the sea.

Article info

* Corresponding Author's email:
n_sajjadi@iau-tnb.ac.ir

Received: 24 September 2024
Reviewed: 30 October 2024
Revised: 31 December 2024
Accepted: 1 February 2025

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]

مقاله علمی - پژوهشی

شبیه‌سازی نیتروژن و فسفر ناشی از پرورش ماهی در قفس با استفاده از تکنیک مدل عددی CORMIX

امیدرضا تونی[۱]، نوشین سجادی[۱*]، فرهاد موسی‌خانی[۲]، روح‌الله محمودخانی[۳]

[۱] گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۲] گروه دامپزشکی، دانشکده دامپزشکی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
[۳] گروه مهندسی بهداشت محیط، پژوهشکده محیط زیست، واحد علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

کلمات کلیدی

غلظت نیتروژن
غلظت فسفر
مدل‌سازی
مدل کورمیکس
پرورش ماهی در قفس

چکیده

مقدمه: پرورش آبزیان در قفس در کنار مزایایی که دارد دارای اثرات زیست‌محیطی نیز می‌باشد. مزارع قفس می‌توانند بارهای نسبتاً زیادی از مواد آلی و مغذی را به محیط منتقل کنند. در نتیجه بررسی پیامدهای کیفی آب ناشی از پرورش ماهی در قفس لازم و ضروری به نظر می رسد. بنابراین استفاده از مدل‌سازی برای پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل تاثیر آلاینده‌ها بر اکوسیستم آبی بسیار حیاتی بوده و زمینه پیش‌بینی سرنوشت اکوسیستم در آینده را فراهم می‌آورد. هدف از مطالعه حاضر شبیه‌سازی تاثیر آلاینده‌های خروجی از قفس‌های پرورش ماهی با تاکید بر میزان نیتروژن و فسفر می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر با توجه به طرح‌های تیپ پرورش ماهی در قفس در دریا، قفس‌ها به‌صورت ۳۰ قفس در دو ردیف ۱۵ تائی در نظر گرفته شدند که هر زوج قفس به موازات یکدیگر قرار گرفته‌اند. خروجی آلاینده‌ها از قفس‌ها هم جهت فرض شد. لازم به‌ذکر است که CORMIX هر آلاینده را به‌صورت جداگانه مدل‌سازی می کند. در نتیجه مدل‌سازی برای متغیر نیتروژن و فسفر جداگانه انجام گرفت. مدل‌سازی مطالعه حاضر در چهار سناریو متفاوت فصلی برای هر یک از متغیرهای نیتروژن و فسفر انجام گرفت و مدل برای فصل‌های بهار، تابستان، پائیز و زمستان اجرا شد.

نتایج: نتایج این بررسی نشان داد میزان غلظت نیتروژن و فسفر از فاصله ۵۰ متری قفس به شدت کاهش یافته و این روند در هر چهار فصل مشابه می‌باشد. میزان رقیق شدگی پساب و کاهش غلظت هر دو متغیر نیتروژن و فسفر، در هر چهار فصل روند مشابهی داشت. با توجه به این‌که غلظت نیتروژن و فسفر، سرعت باد، دما، سرعت و چگالی آب دریا و پساب خروجی از قفس متغیرهای متفاوت در هر فصل بوده و سایر داده‌های ورودی شده ثابت بودند، غلظت‌ها با درصد نسبتاً مشابهی کاهش یافت.

بحث و نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تأثیر پرورش ماهی در قفس محدود به اطراف قفس می‌باشد لیکن با توجه به بسته بودن دریای خزر، با افزایش تعداد و ظرفیت طرح‌های پرورش ماهی در قفس امکان تجمع مواد مغذی وجود داشته و در نتیجه ممکن است روند تروفی در دریا افزایش یابد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
n_sajjadi@iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۳ مهر ۱۴۰۳
تاریخ داوری: ۹ آبان ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۱ دی ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳ بهمن ۱۴۰۳

[Downloaded from www.journaler.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]

مقدمه

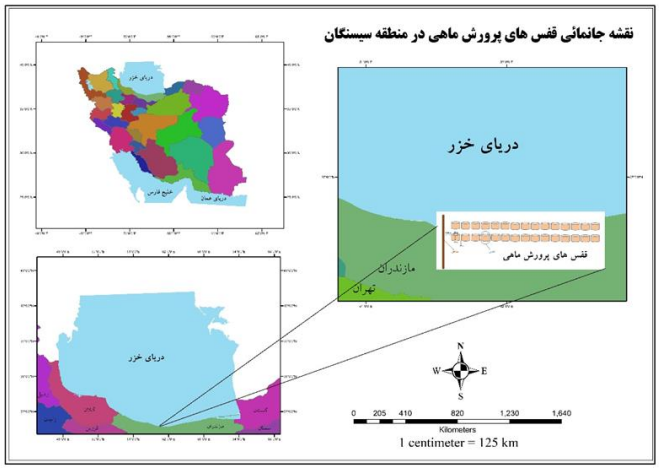
امروزه پرورش ماهی در قفس در اغلب کشورها توسعه یافته و جایگزین فعالیت‌های صیادی شده است. به‌عنوان نمونه در کشور چین در خلال سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ میلادی با حمایت دولت، بیش از ۳۰ هزار انواع شناور صیادی مختلف حذف شده و بیش از ۲۰۰،۰۰۰ نفر صیاد شاغل شناورهای خود را کنار گذاشته و به بخش پرورش ماهی (عمدتاً پرورش در قفس) روی آورده‌اند. در حال حاضر بیش از ۶۲ کشور در جهان در زمینه پرورش آبزیان در قفس مشغول به فعالیت هستند. این امر فشار بر منابع طبیعی را کاهش داده و موجب احیای آنان خواهد شد. پرورش آبزیان در قفس در کنار مزایایی که دارد، دارای اثرات محیط زیستی نیز می‌باشد (۱). یکی از این اثرات ورود آلاینده‌های ناشی از مواد غذایی خورده نشده و پسماند به‌جای مانده از قفس‌هاست. این پسماندها حاوی مواد مغذی بوده که افزایش آن‌ها می‌توانند به‌عنوان آلاینده موثر بر روند تغذیه‌گرایی اکوسیستم عمل نمایند. به‌طورکلی پسماندهای قفس شامل غذای خورده نشده، مدفوع و تلفات ماهی‌ها می‌باشند. این پسماندها منجر به افزایش غلظت مواد جامد معلق و مواد آلی محلول، کاهش سطح اکسیژن محلول در آب و ایجاد حالت بی‌هوازی، افزایش غلظت فسفات و نیترات و افزایش غلظت مواد سمی مثل آمونیاک شده و در نتیجه موجب کاهش غنای گونه‌ای و تنوع جوامع زیستی و ازدیاد موجودات مقاوم به آلودگی می‌گردند. تاکنون مطالعات متعددی درخصوص تاثیرات پرورش ماهی بر محیط‌های آبی انجام شده است (۲، ۳). مدیریت کیفیت آب نقش مهمی در سلامت انسان و اکوسیستم‌های آبی دارد. عدم درک مناسب از پیش‌بینی چگونگی پراکندگی و پخش آلاینده‌ها یک مانع عمده برای توسعه انواع استراتژی‌های مدیریتی برای حل بسیاری از مسائل مختلف کیفیت آب است. از آن جایی که آبزی‌پروری دریایی یک برنامه و طرح در حال توسعه می‌باشد، در نتیجه مدل‌سازی کیفیت آب و نحوه پراکنش آلاینده‌ها در آب به‌منظور ارزیابی اثرات آن لازم و ضروری می‌باشد. برای پیش‌روی به سمت توسعه پایدار محیط‌زیست، ابزارهایی برای ارزیابی خطرات زیست محیطی ناشی از آبزی‌پروری دریایی مورد نیاز است تا بتوان توسط آن ابزارها، سیاست‌ها و روش‌های علمی برای محافظت از اکوسیستم‌های دریایی در دستور کار قرار داد (۴). در این زمینه، مدل‌های عددی یکی از قوی‌ترین، کارآمدترین و مقرون به صرفه‌ترین ابزارها برای مدل‌سازی ورودی، توزیع و تخلیه آلاینده‌ها به جهت پیش‌بینی شرایط آتی می‌باشند. شبیه‌سازی‌های عددی با اعمال ضرایب انتشاری متفاوت برای هر ماده شیمیایی در آب دریا انجام می‌شود. مدل‌ها ابزارهای مهمی برای درک پویایی طبیعت و نیز بررسی ارتباط میان عناصر بیوفیزیکی و انسانی در اکوسیستم‌ها می‌باشند (۵) که به وسیله آن‌ها می‌توان تأثیر انواع فعالیت‌های انسانی بر اکوسیستم‌های دریایی و ساحلی را در سناریوهای مختلف برای مدیریت و تصمیم‌گیری بهتر در آینده ارزیابی و مدل‌سازی کرد (۶). نوار ساحلی در حوزه جنوبی دریای خزر خور، خلیج و دماغه ندارد و در واقع مکان امنی برای استقرار قفس‌های پرورش ماهیان دریایی وجود ندارد. درنتیجه قفس‌ها باید در فضای آزاد دریا از ساحل قرار گیرند (۷). شبیه‌سازی پراکندگی مواد مغذی منتشر شده از این قفس‌ها جهت کنترل آن لازم و ضروری است. در برنامه ششم توسعه شیلات ایران، توسعه شیلات و آبزیان در قفس مورد تاکید قرار گرفته است؛ به‌صورتی‌که در ماده ۳۱ این برنامه، دولت موظف شده است تا برای حصول به اهداف سیاست های اقتصاد مقاومتی در جهت تامین غذا و نیل به خودکفایی در محصولات زراعی، دامی و آبزی (دارای مزیت صادرات) به‌میزان ۹۵ درصد افزایش تولید کشاورزی در پایان اجرای این برنامه دست یابد (۸). براساس اطلاعات به‌دست آمده از شیلات استان مازندران تا سال ۱۳۹۶ حدود ۵۸ مجوز و هم‌چنین ۶۵ پرونده در دست اقدام جهت احداث مزارع پرورش ماهی در قفس در دریای خزر در محدوده سواحل مازندران وجود دارد. منطقه سی سنگان یکی از مناطق درنظر گرفته شده جهت احداث مزرعه پرورش ماهی در قفس می‌باشد. Rashidi Ebrahim Hesari و همکاران نیز انتشار فسفات منتشرشده از قفس‌های پرورش ماهی واقع در منطقه دریایی سی‌سنگان را شبیه‌سازی کرده‌اند (۹). Yazdani و همکاران، میزان نیتروژن و فسفر آزاد شده از قفس‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را در استان مازندران بررسی کردند (۱۰). هدف از مطالعه حاضر شبیه‌سازی تاثیر آلاینده‌های خروجی از قفس‌های پرورش ماهی با تاکید بر میزان نیتروژن و فسفر در هر فصل با استفاده از تکنیک مدل عددی CORMIX می‌باشد. مدل CORMIX به‌طور گسترده‌ای در ارزیابی اثرات محیط زیستی استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در سواحل دریاچه خزر در استان مازندران بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است. طول نوار ساحلی دریای خزر ۸۷۳ کیلومتر (استان مازندران با ۴۸۷ کیلومتر) بدون هیچ خلیج و یا دماغه‌ای که برای قفس‌های پرورش پناهگاه تلقی شود. شکل ۱ سواحل استان مازندران و نیز موقعیت سواحل سی‌سنگان در این استان را نشان می‌دهد. داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی کیفیت آب (جدول ۱) از اطلاعات موجود منطقه از پائیز ۱۳۹۷ الی تابستان ۱۳۹۸ جمع‌آوری و ساماندهی شدند (۸).

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]



شکل۱: نقشه جانمائی قفس‌های پرورش ماهی در ساحل سیسنگان

نوع قفس‌های مورداستفاده در اغلب مزارع پرورش ماهی استان مازندران پلی‌اتیلن مدور می‌باشد که به‌علت هزینه‌های نسبتاً پایین و استحکام خوب در برابر شرایط دریا از مزایای خاصی برخوردار هستند. حجم این قفس‌ها با توجه به دارا بودن قطر ۲۰ متر و ارتفاع ۹ مترحدوداً برابر با ۲۸۰۰-۳۰۰۰ مترمکعب است (۱۱). در مطالعه حاضر با توجه به طرح‌های تیپ پرورش ماهی در قفس در دریا، قفس‌ها به‌صورت ۳۰ قفس در دو ردیف ۱۵ تائی در امتداد خط ساحل در نظر گرفته شدند که هر زوج قفس به موازات یکدیگر قرار گرفته‌اند (شکل ۱). متغیرهای ورودی به این مدل عبارتند از: غلظت نیتروژن و فسفر خروجی از قفس، سرعت و چگالی جریان آب در قفس مطابق با سرعت جریان دریا، عمق میانگین، میانگین فاصله تخلیه، سرعت باد، سرعت جریان آب دریا، چگالی آب دریا، ضریب مانینگ، طول نزدیک‌ترین فاصله از قفس تا ساحل دریا، طول دورترین فاصله از قفس تا ساحل دریا، ارتفاع قفس، قطر قفس و تعداد قفس‌ها. براساس گزارش تدقیق مطالعات محیط زیستی در سال ۱۴۰۰، روش اندازه‌گیری فسفات معدنی برپایه تشکیل کمپلکس فسفومولیبدات آبی رنگ و روش اندازه‌گیری یون‌های نیتریت بر پایه تشکیل رنگدانه آزو پررنگ می‌باشد.

جدول۱: مقادیر پارامترهای ورودی در هر سناریو طراحی شده

پارامترهای ورودی					
پارامتر	واحد	بهار	تابستان	پائیز	زمستان
غلظت نیتروژن در روز	میلی‌گرم در لیتر	۳۴/۲	۲۲/۸	۵۷	۳۴/۲
غلظت فسفر در روز	میلی‌گرم در لیتر	۱/۳	۰/۹	۲/۱۵	۱/۳
سرعت حرکت پساب	متر بر ثانیه	۰/۴	۰/۲	۰/۳	۰/۵
چگالی	کیلوگرم بر مترمکعب	۱۰۰۹	۱۰۰۶	۱۰۰۸	۱۰۰۹
دما	°C	۱۱/۹	۲۲/۷	۱۶/۲	۱۱/۹
فاصله قفس تا سطح دریا (عمق میانگین)	متر	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
فاصله ناحیه تخلیه پساب تا سطح دریا	متر	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹
سرعت باد	نات	۵	۱	۳	۸/۵
سرعت حرکت آب دریا	متر بر ثانیه	۰/۴	۰/۲	۰/۳	۰/۵
چگالی	کیلوگرم بر مترمکعب	۱۰۰۸	۱۰۰۵	۱۰۰۷	۱۰۰۸
ضریب مانینگ یا ضریب زبری	-	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
قطر قفس	متر	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
تعداد قفس‌ها	-	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
طول کانال پخش‌کننده	متر	۴۴۰	۴۴۰	۴۴۰	۴۴۰
فاصله ابتدای اولین قفس از خط ساحلی	متر	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰
فاصله انتهای آخرین قفس از خط ساحلی	متر	۲۴۴۰	۲۴۴۰	۲۴۴۰	۲۴۴۰
طول دامنه مدل‌سازی	متر	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

برای اندازه‌گیری نیترات باید آن را به نیتریت احیا کرده و سپس به‌همان روش اندازه‌گیری نیتریت، اندازه‌گیری رنگ‌سنجی را انجام داد. برای احیای نیترات به نیتریت از ستون گرانولی کادمیم پوشیده شده با مس استفاده می‌شود. جهت اندازه‌گیری آمونیوم روش ویژه وجود دارد که براساس تشکیل ایندوفنول آبی رنگ به‌وسیله فنول و هیپوکلریت می‌باشد. برای تعیین نیتروژن کل در آب، از روش هضم قلیائی پرسولفات استفاده شد و برای تعیین فسفر کل در آب، از روش هضم اسیدی پرسولفات استفاده شد. شوری و چگالی توسط دستگاه

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]

CTDاندازه‌گیری شد. سرعت متوسط باد از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی استفاده شد (۸). لازم به ذکر است که کورمیکس هر آلاینده را به‌صورت جداگانه مدل‌سازی می‌کند. در نتیجه مدل‌سازی برای متغیر نیتروژن و فسفر جداگانه انجام گرفت، لیکن در هر سری اجرای مدل تنها داده ورودی متفاوت، غلظت این دو متغیر بود. پس از اجرای مدل، کورمیکس گزارشی از پیش‌بینی مدل درخصوص سرنوشت هر دو متغیر نیتروژن و فسفر تحت عنوان Prediction File ارائه داد. سپس با استفاده از ابزار corspy که در نرم‌افزار کورمیکس تعبیه شده است، خروجی آلودگی در ارتباط با مرزهای محدود، کف، سطح و ساحل جانبی به‌صورت یک تصویر سه بعدی نشان داده شد. با استفاده از ابزار corvue مدل به‌صورت سه بعدی شبیه‌سازی شد. مدل‌سازی مطالعه حاضر در چهار سناریو متفاوت فصلی برای هریک از متغیرهای نیتروژن و فسفر انجام گرفت. داده‌های مربوط به هر متغیر در هر فصل به‌طور جداگانه وارد مدل شد (جدول ۱) و یک خروجی سه بعدی و یک خروجی دو بعدی برای هر فصل استخراج شد.

نتایج

نتایج حاصل از مدل انتشار مواد مغذی در اطراف قفس‌ها در دریای خزر در مطالعه حاضر در جدول ۲ ارائه شده است. در ادامه نتایج مدل‌سازی نیتروژن و فسفر در فصول مختلف مشخص ارائه شده است. به‌طورکلی جهت انتشار و کاهش موادمغذی براساس جهت باد غالب منطقه خواهد بود. براساس گلباد سالانه، جهت باد غالب منطقه از سمت غرب، شمال‌غرب، شرق و شمال‌شرق می‌باشد.

جدول ۲: تغییرات غلظت نیتروژن و فسفر با افزایش فاصله از مجموعه قفس‌ها

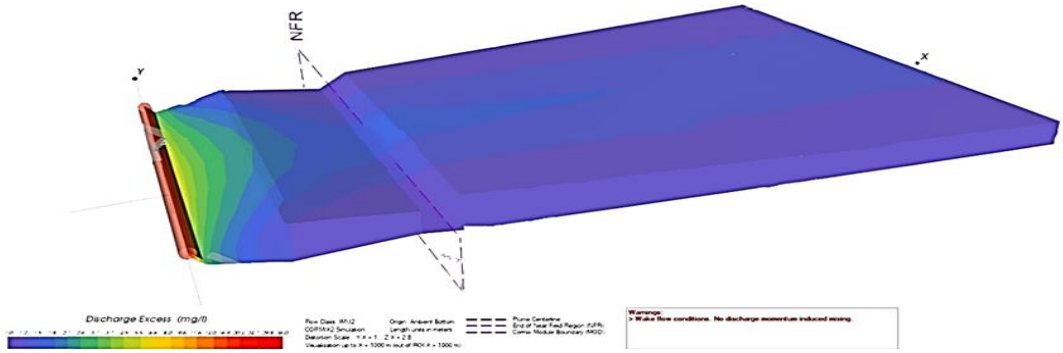
غلظت نیتروژن

	فاصله ۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۵۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۱۰۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۲۰۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۵۰۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۱۰۰۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)
فصل بهار	۳۴/۲	۲/۹	۲/۰۹	۱/۵۴	۱/۴۸	۱/۳۸
فصل تابستان	۲۲/۸	۱/۹۳	۱/۳۹	۱/۰۳	۰/۹۵	۰/۸۷
فصل پائیز	۵۷	۴/۸۲	۳/۴۸	۲/۵۷	۲/۴۳	۲/۲۶
فصل زمستان	۳۴/۲	۲/۹	۲/۰۹	۱/۵۴	۱/۴۹	۱/۴۱

غلظت فسفر

	فاصله ۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۵۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۱۰۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۲۰۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۵۰۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)	فاصله ۱۰۰۰ متر از قفس (میلی‌گرم بر لیتر)
فصل بهار	۱/۳	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۵۹	۰/۰۵۶	۰/۰۵۳
فصل تابستان	۰/۹	۰/۰۷۶	۰/۰۵۵	۰/۰۴۱	۰/۰۳۷	۰/۰۳۴
فصل پائیز	۲/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۰۹۷	۰/۰۹۱	۰/۰۸۵
فصل زمستان	۱/۳	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۵۹	۰/۰۵۶	۰/۰۵۳

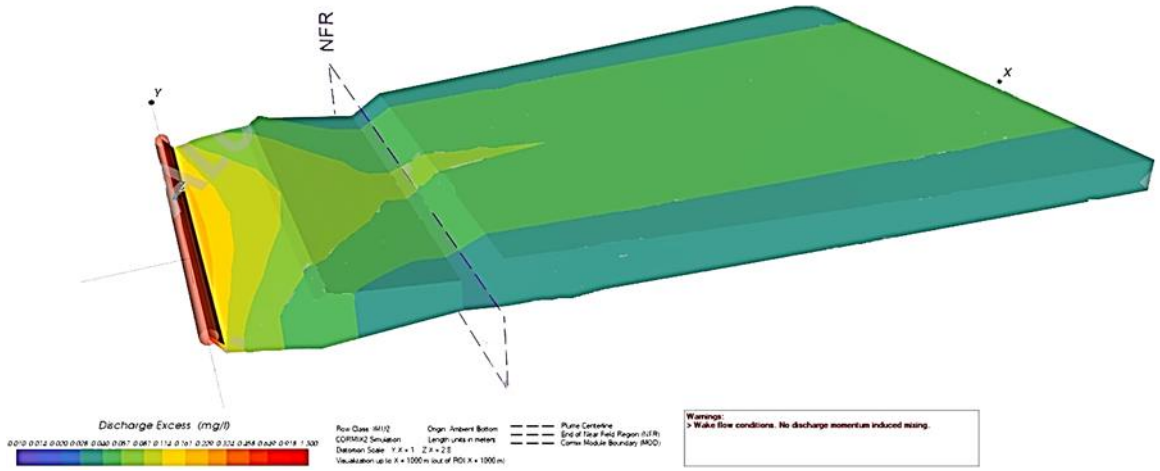
مدل‌سازی نیتروژن در فصل بهار: در شکل ۲ مدل سه بعدی شبیه‌سازی شده تغییرات غلظت نیتروژن در فصل بهار نشان داده شده است. غلظت نیتروژن در فاصله بسیار کمی از قفس به شدت کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله از قفس، کاهش غلظت نیتروژن با سرعت کم‌تری روی می‌دهد. عرض پلوم‌ها با افزایش فاصله از قفس کاهش می‌یابد و غلظت نیتروژن در عمق نسبت به سطح سریع‌تر کاهش می‌یابد. در مدل سه بعدی مشخص است که غلظت نیتروژن تا پیش از اتمام ناحیه میدان نزدیک در عمق به کم‌تر از ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر (حدود ۴٪ مقدار اولیه) کاهش می‌یابد.



شکل ۲: مدل سه بعدی روند تغییرات غلظت نیتروژن در فصل بهار

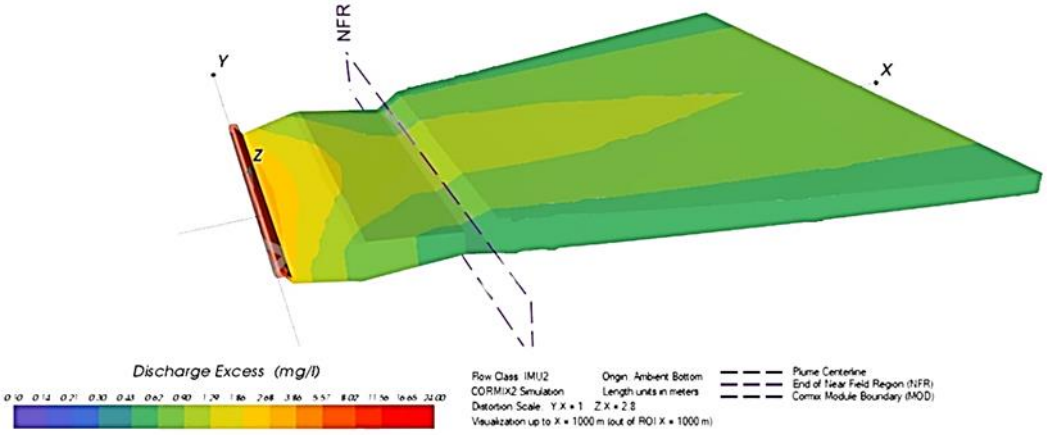
[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]
[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]

مدل‌سازی فسفر در فصل بهار: در شکل ۳ مدل سه بعدی شبیه‌سازی شده تغییرات غلظت فسفر در فصل بهار نشان داده شده است. غلظت فسفر در فاصله بسیار کمی از قفس به شدت کاهش می‌یابد و با افزایش فاصله از قفس این کاهش غلظت با سرعت کم‌تری روی می‌دهد. عرض پلوم‌ها با افزایش فاصله از قفس کاهش می‌یابد. کاهش غلظت فسفر در عمق نسبت به سطح سریع‌تر روی می‌دهد. غلظت فسفر در فاصله حدود ۵۰ متر از قفس در عمق به کم‌تر از ۰/۰۸ میلی‌گرم‌برلیتر (۶٪ مقدار اولیه) و درفاصله حدود ۱۰۰ متری به‌کم‌تر از ۰/۰۶ میلی‌گرم برلیتر(حدود ۴/۵٪ مقدار اولیه) و تا پیش از ناحیه‌میدان نزدیک به‌کم‌تر از ۰/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر(کم‌تر از ۴٪ مقدار اولیه) کاهش می‌یابد.



شکل ۳: مدل سه بعدی روند تغییرات غلظت فسفر در فصل بهار

مدل‌سازی نیتروژن در فصل تابستان: در شکل۴ مدل سه بعدی شبیه‌سازی شده تغییرات غلظت نیتروژن در فصل تابستان نشان داده شده است. غلظت نیتروژن در فاصله بسیار کمی از قفس به‌شدت کاهش می‌یابد و با افزایش فاصله از قفس این کاهش غلظت با سرعت کم‌تری روی می‌دهد. عرض پلوم‌ها با افزایش فاصله از قفس کاهش می‌یابد. کاهش غلظت نیتروژن در عمق نسبت به سطح سریع‌تر روی می‌دهد. غلظت نیتروژن تا پیش از اتمام ناحیه‌میدان نزدیک در عمق به کم‌تر از ۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر (کم‌تر از ۳٪ مقدار اولیه) کاهش می‌یابد.



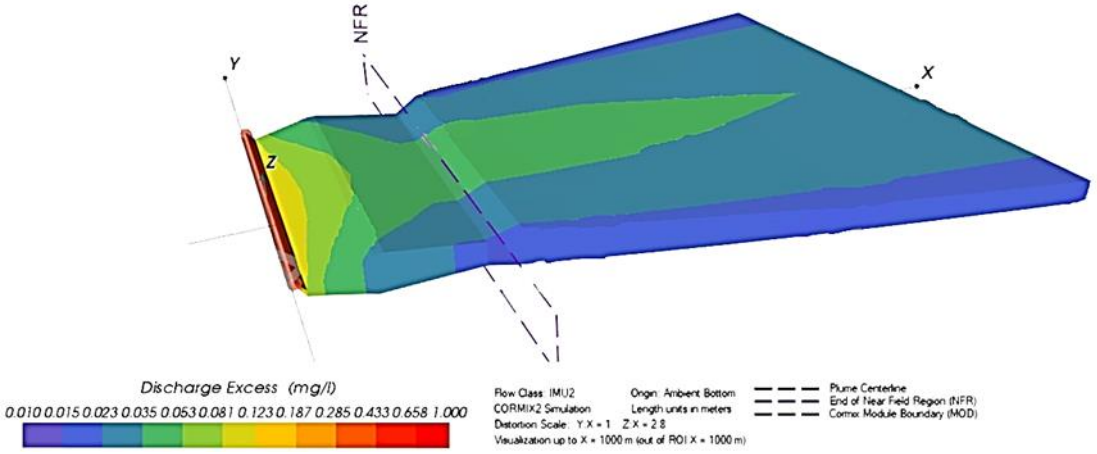
شکل ۴: مدل سه بعدی روند تغییرات غلظت نیتروژن در فصل تابستان

مدل‌سازی فسفر درفصل تابستان: درشکل ۵ مدل‌سه بعدی شبیه‌سازی شده تغییرات غلظت فسفر در فصل تابستان نشان داده شده است. غلظت‌فسفر در فاصله بسیارکمی از قفس به‌شدت کاهش می‌یابد و با افزایش‌فاصله از قفس این‌کاهش غلظت با سرعت‌کم‌تری

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

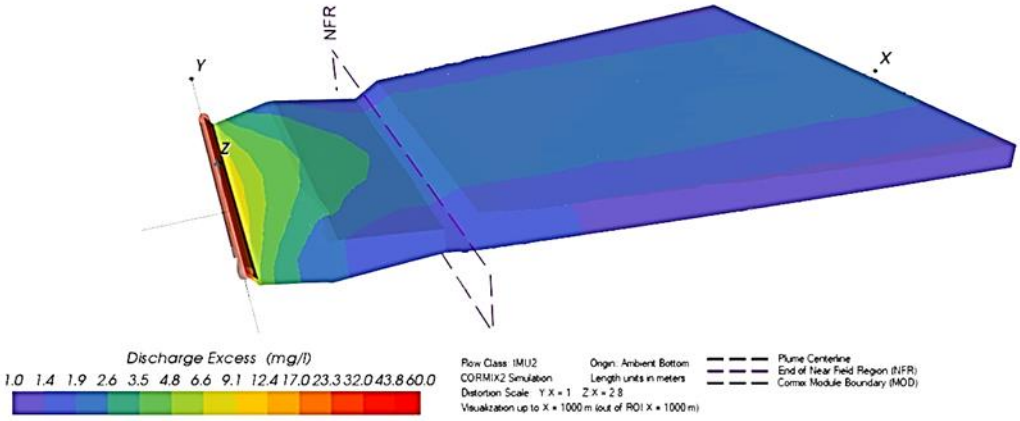
[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]

روی می‌دهد. عرض پلوم‌ها با افزایش فاصله از قفس کاهش می‌یابد. کاهش غلظت فسفر در عمق نسبت به سطح سریع‌تر روی می‌دهد. غلظت فسفر تا پیش از اتمام محدوده میدان نزدیک به‌کم‌تر از ۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر (حدود ۲٪ مقدار اولیه) کاهش می‌یابد.



شکل ۵: مدل سه بعدی روند تغییرات غلظت فسفر در فصل تابستان

مدل‌سازی نیتروژن در فصل پائیز: در شکل ۶ مدل سه بعدی شبیه‌سازی شده تغییرات غلظت نیتروژن در فصل پائیز نشان داده شده است. همان‌طورکه در شکل مشخص است غلظت نیتروژن در فاصله بسیار کمی از قفس به‌شدت کاهش می‌یابد و با افزایش فاصله از قفس این کاهش غلظت با سرعت کم‌تری روی می‌دهد. این غلظت تا پیش از ناحیه میدان نزدیک به کم‌تر از ۲/۶ میلی‌گرم (۴/۵٪ مقدار اولیه) بر لیتر می‌رسد. عرض پلوم‌ها با افزایش فاصله از قفس کاهش می‌یابد و غلظت نیتروژن در عمق نسبت به سطح سریع‌تر کاهش می‌یابد. غلظت نیتروژن تا پیش از اتمام ناحیه میدان نزدیک در عمق به کم‌تر از ۱/۹ (حدود ۳٪ مقدار اولیه) میلی‌گرم بر لیتر کاهش می‌یابد.

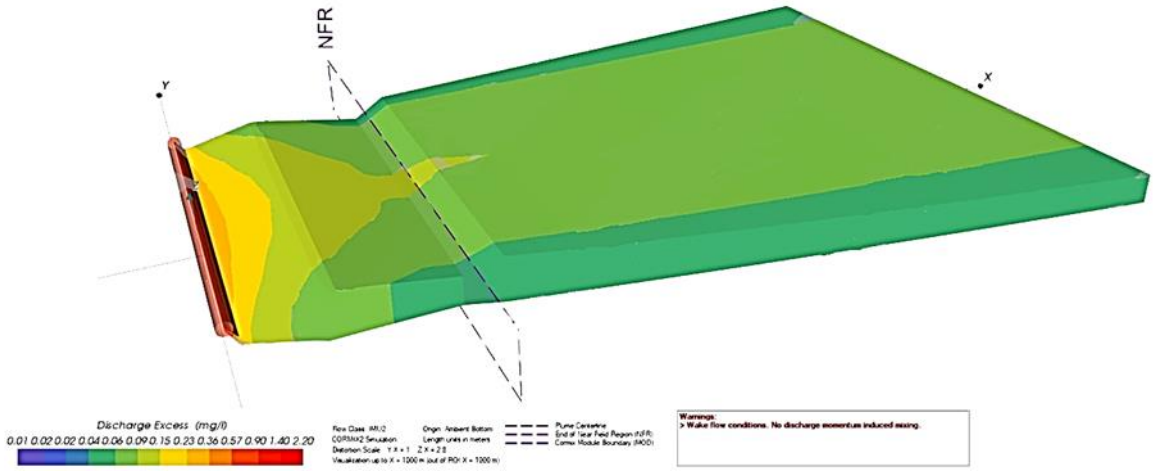


شکل ۶: مدل سه بعدی روند تغییرات غلظت نیتروژن در فصل پائیز

مدل‌سازی فسفر در فصل پائیز: در شکل ۷ مدل سه بعدی شبیه‌سازی شده تغییرات غلظت فسفر در فصل پائیز نشان داده شده است. غلظت فسفر در فاصله بسیار کمی از قفس به‌شدت کاهش می‌یابد و با افزایش فاصله از قفس این کاهش غلظت با سرعت کم‌تری روی می‌دهد. عرض پلوم‌ها با افزایش فاصله از قفس کاهش می‌یابد. کاهش غلظت فسفر در عمق نسبت به سطح سریع‌تر روی می‌دهد. غلظت فسفر تا پیش از اتمام محدوده میدان نزدیک به‌کم‌تر از ۰/۰۶ میلی‌گرم بر لیتر (کم‌تر از ۲/۸٪ از مقدار اولیه) کاهش می‌یابد.

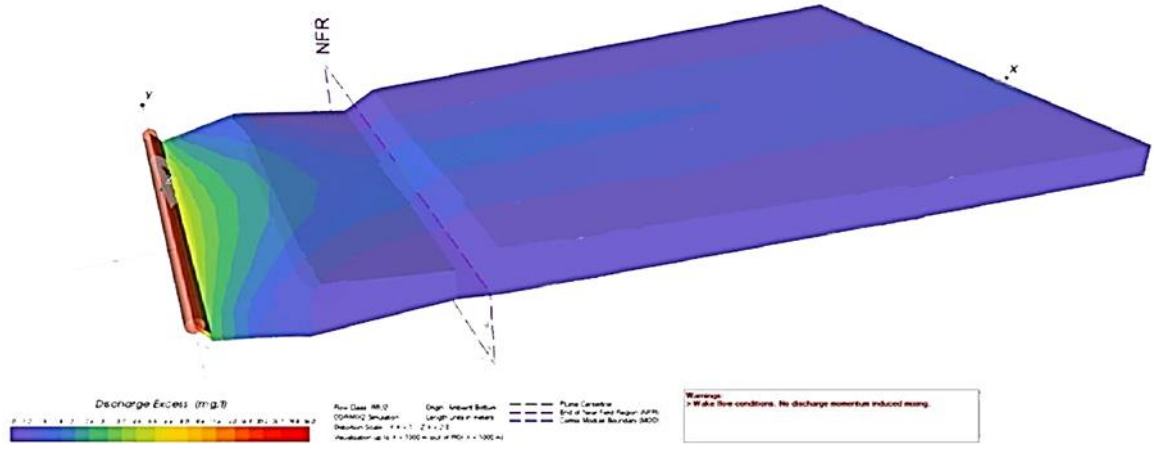
[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]



شکل ۷: مدل سه بعدی روند تغییرات غلظت فسفر در فصل پائیز

مدل‌سازی نیتروژن در فصل زمستان: در شکل ۸ مدل سه بعدی شبیه‌سازی شده تغییرات غلظت نیتروژن در فصل زمستان نشان داده شده است. غلظت نیتروژن در فاصله بسیار کمی از قفس به شدت کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله از قفس کاهش غلظت نیتروژن با سرعت کم‌تری روی می‌دهد. عرض پلوم‌ها با افزایش فاصله از قفس کاهش می یابد و غلظت نیتروژن در عمق نسبت به سطح سریع‌تر کاهش می‌یابد. غلظت نیتروژن تا فاصله حدود ۱۰۰ متری از قفس در عمق به کم‌تر از ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر (حدود ۴٪ مقدار اولیه) و تا پیش از اتمام ناحیه میدان نزدیک به کم‌تر از ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر (کم‌تر از ۳/۵ مقدار اولیه) کاهش می‌یابد.

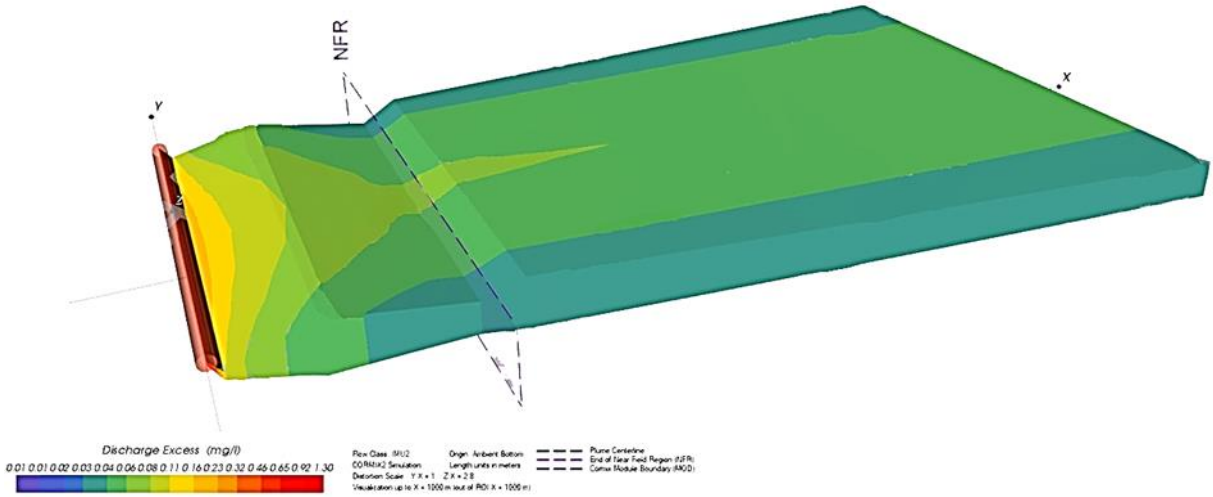


شکل ۸: مدل سه بعدی روند تغییرات غلظت نیتروژن در فصل زمستان

مدل‌سازی فسفر در فصل زمستان: شکل ۹ مدل سه بعدی شبیه‌سازی شده تغییرات غلظت فسفر در فصل زمستان نشان داده شده است. غلظت فسفر در فاصله بسیار کمی از قفس به‌شدت کاهش می‌یابد و با افزایش فاصله از قفس این کاهش غلظت با سرعت کم‌تری روی می‌دهد. عرض پلوم‌ها با افزایش فاصله از قفس کاهش می‌یابد. کاهش غلظت فسفر در عمق نسبت به سطح سریع‌تر روی می‌دهد. غلظت فسفر در فاصله حدود ۱۰۰ متری از قفس به کم‌تر از ۰/۰۶ میلی‌گرم بر لیتر (حدود ۴/۵٪ مقدار اولیه) و تا پیش از ناحیه میدان نزدیک به کم‌تر از ۰/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر (کم‌تر از ۳٪ مقدار اولیه) کاهش می‌یابد.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]



شکل ۹: مدل سه بعدی روند تغییرات غلظت فسفر در فصل زمستان

بحث

همان‌طورکه در جدول ۲ مشخص است غلظت نیتروژن و فسفر با افزایش فاصله از قفس‌ها کاهش چشمگیری می‌یابد به گونه‌ای که در مورد هر دو عنصر تا فواصل ۵۰ متری از مزرعه پرورش ماهی در قفس غلظت مواد مغذی (نوترینت‌ها) به کم‌تر از ۱۰٪ مقدار اولیه می‌رسد که این امر در مطالعات مشابه در سایر کشورها نیز مشاهده می‌گردد به گونه‌ای که بر اساس مطالعات انجام شده بیش‌ترین آثار کیفی قفس‌ها بر رسوبات زیرقفس و فواصل نزدیک اطراف آن محدود می‌گردد. نتایج مطالعه شبیه‌سازی انتشار فسفات که توسط Rashidi Ebrahim Hesari و همکاران انجام گرفت، نشان داد که الگوی انتشار فسفات متاثر از الگوی جریان‌های ناشی از باد می‌باشد (۹). در مطالعه حاضر نیز شبیه‌سازی با مدل کورمیکس نشان داد که جهت انتشار مواد مغذی در جهت جریان‌های ناشی از باد می‌باشد. هم‌چنین بر اساس مطالعه Rashidi Ebrahim Hesari و همکاران با گذشت ۸ ماه از شروع انتشار فسفات از چشمه آلودگی واقع در محل استقرار قفس‌ها، در راستاهای شرقی، غربی، جنوبی و شمالی به ترتیب در فواصل ۹/۱۰، ۵/۸، ۵/۹ و ۷/۵ کیلومتری از منبع آلاینده، غلظت فسفات به ۱۰٪ مقدار منبع می‌رسد. میزان انتشار مواد آلی از مکان‌های پرورش با توجه به شرایط محیطی و حوضه آبی که قفس‌ها در آن قرار دارند متفاوت است. به طوری که در دریاچه های کم عمق ممکن است به محل قفس‌ها محدود شود (۱۲) یا در محیط‌های دریایی ممکن است تا فاصله معینی از قفس‌ها گسترش یابد (۱۳، ۱۴). Guo و همکاران، تاثیر پرورش ماهی در قفس بر چرخه نیتروژن و فسفر در یک دریاچه کم‌عمق در چین را بررسی کردند. نتایج نشان داد که غلظت نیتروژن و فسفر در نزدیکی قفس بالا بود لیکن این نیتروژن و فسفر ناشی از پساب قفس در فاصله ۵۰ و ۱۰۰ متری از شرق قفس تغییر معنی‌داری در آب و رسوب ایجاد نکرد (۱۲). Karakassis و همکاران، عنوان کردند که هر چه قدر فعالیت مراکز پرورش افزایش یابد میزان مواد آلی وارد شده به محیط اطراف نیز افزایش می‌یابد و رسوبات زیر قفس فاقد شرایط زیستی مناسب می‌شوند. در مقابل جریان آب ممکن است این شرایط را بهبود بخشیده و ریسک را کاهش دهد (۱۵). در مناطقی با ظرفیت جذب بالاتر ریسک منطقه فاقد حیات کاهش می یابد و این اهمیت جانمائی را نشان می‌دهد (۱۶). Qi و همکاران، برای اولین بار، با ساخت مدل‌های بودجه N و P براساس اصل تعادل جرم، آزادسازی نیتروژن (N) و فسفر (P) از پرورش در قفس ماهی در خلیج دایا، جنوب چین را تخمین زدند (۱۷). مقدار سالانه N و P آزاد شده از قفس ماهی ۲۰۵.۶ تن نیتروژن و ۳۹.۲ تن فسفر شامل ۱۴۲.۷ تن نیتروژن معدنی محلول (DIN) و ۱۵.۱ تن فسفر معدنی محلول (DIP) بود. در میان منابع مغذی مورد تجزیه و تحلیل، سهم DIN و DIP از پرورش ماهی به‌ترتیب ۷.۰٪ و ۲.۷٪ بود. در پرورش ماهی، مواد مغذی محلول غنی‌تر از نیتروژن بودند، اما مواد مغذی ذرات غنی‌تر از فسفر بودند. نسبت نیتروژن و فسفر مشتق شده از قفس بالاتر از نسبت آب دریای ساحلی بود، که نشان می‌دهد پرورش در قفس ممکن است بر اشکال مواد مغذی محلی در اطراف مناطق کشاورزی نیز تأثیر بگذارد. Kazemi Seighali و همکاران، تاثیر پرورش ماهی در قفس بر خصوصیات کیفی آب اطراف قفس‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در حوضه جنوبی دریای خزر را بررسی کردند (۱۸). براساس نتایج این مطالعات غلظت نیتروژن در فاصله ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ متری از قفس در ایستگاه کیاسر به‌ترتیب ۲/۹، ۲/۳،

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]
[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]

۱/۸ و ۱/۹ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت فسفر در همین فواصل به‌ترتیب ۰/۰۲، ۰/۰۱۵، ۰/۰۱۳ و ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. این نتایج مربوط به خرداد ماه بوده است. نتایج این بررسی به نتایج مطالعه حاضر بسیار نزدیک بوده و غلظت نیتروژن و فسفر در هر دو مطالعه با دامنه نسبتاً مشابهی با افزایش فاصله از قفس کاهش می یابد. در نتیجه مطالعات حاضر تأثیر پرورش ماهی در قفس در حوضه جنوبی دریای خزر را به‌درستی نشان داده و آن را محدود به اطراف قفس می‌داند. نکته کلیدی در این بحث بسته بودن دریای خزر است که با توسعه و افزایش تعداد و ظرفیت طرح‌های پرورش ماهی در قفس امکان تجمع مواد مغذی وجود داشته و در نتیجه ممکن است روند تروفی در دریا را افزایش دهد. بر اساس مطالعه Yazdani و همکاران، به ازای هر تن ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تولید شده در قفس‌های پرورش ماهی به طور میانگین ۷۳/۹۸ کیلوگرم نیتروژن ۱۳/۸۹ کیلوگرم فسفر به محیط آزاد می‌شود (۱۰). بر اساس یافته‌ها ضعف دانش فنی قفس‌داران به خصوص در انتخاب زمان مناسب شروع و پایان دوره و مدیریت تغذیه میزان آلاینده‌های آزاد شده به محیط را افزایش می‌دهد. در نتیجه برهم خوردن تعادل اکوسیستم صرف وجود مزارع پرورش ماهی در منطقه نخواهد بود. با مدیریت صحیح در خصوص تعداد و ظرفیت پرورش، زمان و میزان غذادهی می‌توان تاثیرات منفی صنعت آبزی‌پروری در قفس را کاهش داد.

منابع

1. **Dapueto, G., Massa, F., Costa, S., Cimoli, L., Olivari, E., Chiantore, M., Federici, B. and Povero, P., 2015.** A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea, Italy. Ocean Coast. Manag. 116: 64-77. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.030
2. **Faeed, M., babaei, H. and Khodaparast, H., 2021.** Evaluation of lake water based on Iran Water Quality Index of Surface Water (IRWQISC) for sustainable development (Ardabil's Neor Lake). Journal of Animal Environment. 13(1): 483-488. (In Persian) doi: 10.22034/aej.2021. 134992
3. **Radfar, F., Safaie, M., Gorgin, S., Agah, H. and Rafiee, G., 2020;** The impact of environmental variables on the amount of fouling in fish cage farms in the region Ayush of Khorramabad. Journal of Animal Environment. 12(3): 371-380. doi: 10.22034/aej.2020.120443 (In Persian)
4. **Price, C., Black, K., Hargrave, B.T. and Jr, J., 2015.** Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production. Aquac. Environ. Interact. 6: 151-174. doi:10.3354/aei00122.
5. **Guerry, A.D., Ruckelshaus, M.H., Arkema, K.K., Bernhardt, J.R., Guannel, G., Kim, C.K., Marsik, M., Papenfus, M., Toft, J.E., Verutes, G., Wood, S.A., Beck, M., Chan, F., Chan, K.M.A., Gelfenbaum, G., Gold, B.D., Halpern, B.S., Labiosa, W.B., Lester, S.E., Levin, P.S., McField, M., Pinsky, M.L., Plummer, M., Polasky, S., Ruggiero, P., Sutherland, D.A., Tallis, H., Day, A. and Spencer, J., 2012.** Modeling benefits from nature: Using ecosystem services to inform coastal and marine spatial planning. Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag. 8: 107-121. doi: 10.1080/21513732.2011.647835
6. **Boyd, J. and Banzhaf, S., 2007.** What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecol. Econ. 63: 616-626. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.01.002.
7. **Refa Holding A.S. 2002.** Main frame study for sea cage culture development in Iran (Executive report to the Iran Fisheries Organization). Refa Holding AS, Oslo.
8. **Iranian Fisheries Organization. 2021.** Scrutiny of environmental studies of the fish breeding plan in cages and Monitoring of a sample farm in the Caspian Sea.
9. **Rashidi Ebrahim Hesari, A., Bazregar, N. and farjami, H., 2020.** Numerical Simulation of Phosphate's Diffusion released by Fish Culture Cages Located in the Sisangan Marine Basin in the Southern Caspian Sea TT. 9(1): 1-11. Dor: 20.1001.1.23225513.1398.9.1.2.1
10. **Yazdani, S., Rafiei, H. and Ramezani, M., 2019.** Evaluating the amount of nitrogen, phosphorus and carbon released to the ecosystem due to Rainbow trout breeding in cages (*Oncorhynchus mykiss*). Sea located in Mazandaran province. Nat. Environ. Nat. Resour. Iran. 73(1): 185-197. (In Persian) doi: 10.22059/jne.2020.282030.1731
11. **Iranian Fisheries Organization. 2016.** Specialized technical rules and regulations of marine zones for applicants of caged fish farms. (In Persian)
12. **Guo, L., Li, Z., Xie, P. and Ni, L., 2009.** Assessment effects of cage culture on nitrogen and phosphorus dynamics in relation to fallowing in a shallow lake in China. Aquac. Int. 17: 229-241. doi:10.1007/s10499-008.9195-5.
13. **Aguado, G. and García, G., 2004.** Assessment of some chemical parameters in marine sediments exposed to offshore cage fish farming influence: a pilot study. Aquaculture. 242: 283-295. doi: 10.1016/j.aquaculture.2004.08.035.
14. **Borja, Á., Rodríguez, J.G., Black, K., Bodoy, A., Emblow, C., Fernandes, T.F., Forte, J., Karakassis, I., Muxika, I., Nickell, T.D., Papageorgiou, N., Pranovi, F., Sevastou, K., Tomassetti, P. and Angel, D., 2009.** Assessing the suitability of a range of benthic indices in the evaluation of environmental impact of fin and shellfish aquaculture located in sites across Europe.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]

Aquaculture. 293. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.04. 037.

15. **Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E., Papadopoulou, K.N. and Plaiti, W., 2000.** Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas, in: ICES Journal of Marine Science. 57: 1462–1471. doi: 10.1006/jmsc.2000.0925.

16. **Shakour, M., 2003.** Impact of cage culture on sediment chemistry: A case study in Mjoifjordur. United Nations Univ Fish Training Program.

17. **Qi, Z., Shi, R., Yu, Z., Han, T., Li, C., Xu, Shumin, Xu, Shannan, Liang, Q., Yu, W., Lin, H. and Huang, H., 2019.** Nutrient release from fish cage aquaculture and mitigation strategies in Daya Bay, southern China. Mar. Pollut. Bull. 146: 399-407. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019. 06.079.

18. **Kazemi Seighali, S., Bani, A., Heydari, B., Abtahi, B. and Gudari Shojaei, M., 2021.** The effect of fish farming in cages on the quality characteristics of water around rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) breeding cages in the southern basin of the Caspian Sea: Kiashahr and Abbasabad regions. J. Aquat. Ecol. 11(1): 1-14. (In Persian) dor: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.65]