

Environmental impact assessment of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) cage culture in southern part of Caspian Sea (Case study: Kelar Abad city)

Ali Naghi Maghsoudlou^{*1}, Seyed Abbas Hosseini², Rasoul Ghorbani³,
Abdolazim Fazel⁴, Saeid Esmaeilpoor⁵

1. Corresponding Author, Ph.D. Student in Aquatics Production and Exploitation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: alinaghimaghsoudlou@gmail.com
2. Professor, Dept. of Aquatics Production and Exploitation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: seyedabbas_hosseini@yahoo.com
3. Professor, Dept. of Aquatics Production and Exploitation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rasulghorbani@gau.ac.ir
4. Research Assistant Prof., Golestan Inland Waters Research Center, Gorgan, Iran. E-mail: a.fazel58@gmail.com
5. Ph.D. Graduate in Aquatic Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: esmaeilpoorsaeid@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 03.06.2022
Revised: 06.03.2022
Accepted: 07.19.2022

Keywords:
Cage culture,
Dynamic Energy Budget
(DEB),
Iranian Matrix,
Aquaculture

ABSTRACT

The reduction of water resources in Iran and the increasing need for food and protein have increased the importance of fish farming in cages. However, cage culture, like other development projects, requires environmental assessments. The aim of this study was to evaluate the environmental effects of growing rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* culture in cages. In this research, in order to evaluate the effects of fish farming in cages, Iranian Matrix methods, Dynamic Energy Budget theory, and estimation of phosphorus and nitrogen levels caused by cages were used. Data analysis was performed using information related to the storage of rainbow trout in floating cages located in the southern part of the Caspian Sea. The results showed that according to estimating the amount of nitrogen and phosphorus output of the studied cages and their concentration at a depth of 25 meters sea level, the maximum fish farming capacity in the cage is about 100 tons of produced biomass. Evaluation of the average effects using the Iranian Leopold method also showed that cultivation of 100 tons of rainbow trout in sea cages has insignificant and weak destructive effects.

Cite this article: Maghsoudlou, Ali Naghi, Hosseini, Seyed Abbas, Ghorbani, Rasoul, Fazel, Abdolazim, Esmaeilpoor, Saeid. 2023. Environmental impact assessment of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) cage culture in southern part of Caspian Sea (Case study: Kelar Abad city). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 12 (2), 49-66.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/japu.2022.20018.1636

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی اثرات محیطی پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) در قفس‌های جنوب دریای خزر (مطالعه موردی؛ قفس‌های پرورش ماهی کلارآباد)

علینقی مقصدلو^{۱*}، سید عباس حسینی^۲، رسول قربانی^۳، عبدالعظیم فاضل^۴، سعید اسماعیل‌پور^۵

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: alinaghimagsoudlou@gmail.com
۲. استاد گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: seyedabbas_hosseini@yahoo.com
۳. استاد گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rasulghorbani@gau.ac.ir
۴. استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات آب‌های داخلی استان گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: a.fazel58@gmail.com
۵. دانش‌آموخته دکتری بوم‌شناسی آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: esmaeilpoorsaeid@yahoo.com

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|---|---|
| نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی | با کاهش منابع آبی در ایران و هم‌چنین نیاز روزافزون به مواد غذایی و پروتئین، پرورش ماهیان در قفس از اهمیت بالایی برخوردار شده است. با این حال، پرورش در قفس همانند سایر طرح‌های توسعه نیازمند ارزیابی‌های محیطی است. هدف از این پژوهش، بررسی اثرات محیطی ناشی از پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان <i>Oncorhynchus mykiss</i> در قفس در جنوب دریای خزر بود. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی اثرات پرورش ماهی در قفس از روش‌های ماتریس ایرانی، نظریه تخصیص انرژی پویا و هم‌چنین برآورد میزان فسفر و نیتروژن ناشی از قفس‌ها استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از اطلاعات مربوط به ذخیره‌سازی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس‌های شناور مستقر در آب‌های ساحلی شهر کلارآباد، واقع در بخش جنوبی دریای خزر انجام شد. نتایج نشان داد که با توجه به برآورد میزان نیتروژن و فسفر خروجی قفس‌های مورد مطالعه و غلظت آن‌ها در عمق ۲۵ متری از سطح دریا، حداکثر ظرفیت پرورش ماهی در قفس حدود ۱۰۰ تن بیوماس تولیدی می‌باشد. در بررسی میانگین اثرات با روش لئوپلد ایرانی نیز پرورش ۱۰۰ تن ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس‌های دریایی دارای اثرات تخریبی ناچیز و ضعیف است. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸ | |
| واژه‌های کلیدی: آبزی‌پروری، پرورش در قفس، تخصیص انرژی پویا (DEB)، ماتریس ایرانی | |

استاد: مقصدلو، علینقی، حسینی، سید عباس، قربانی، رسول، فاضل، عبدالعظیم، اسماعیل‌پور، سعید (۱۴۰۲). ارزیابی اثرات محیطی پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) در قفس‌های جنوب دریای خزر (مطالعه موردی؛ قفس‌های پرورش ماهی کلارآباد). نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۲ (۲)، ۴۹-۶۶.

DOI: 10.22069/japu.2022.20018.1636



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

با توجه به روند کاهش صید در دریاها، توسعه آبی‌پروری در آب‌های داخلی و دریاها به دلیل کمبود آب شیرین به‌طور روزافزون اهمیت پیدا می‌کند (۱). یکی از شیوه‌های نوین در این زمینه، استفاده بهینه از منابع آبی کشور به منظور پرورش ماهیان در قفس است (۲). پرورش ماهی در قفس به دلایل مختلف مانند وجود فن‌آوری لازم در کشور برای پرورش ماهیان در قفس، سهولت ساخت و نصب آن، امکان جابه‌جایی مزارع، نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه و ثابت کم‌تر نسبت به استخرهای مصنوعی و بازگشت سریع سرمایه و امکان ایجاد اشتغال برای بخش وسیعی از مردم می‌تواند نقش مهمی در افزایش تولید آبیان در سطح ملی داشته باشد (۳). پرورش ماهی در قفس نسبت به پرورش ماهی در استخر مزایای دیگری نیز دارد که از آن جمله می‌توان به بهبود ضریب تبدیل غذایی، پرورش و برداشت آسان ماهی و افزایش مدیریت بهداشتی اشاره کرد (۴). یکی از مهم‌ترین عوامل در پرورش ماهی در قفس استفاده از گونه مناسب به لحاظ سازگاری با شرایط زیستی منطقه و ارزش اقتصادی آن است. در شرایط کنونی، گونه اقتصادی و بومی پرورشی برای معرفی به قفس‌های شناور مستقر در منطقه جنوبی دریای خزر به دلیل شرایط و عوامل محیطی مانند عوامل فیزیکی‌وشیمیایی آب، نوع قفس و ویژگی‌های زیستی وجود ندارد. انتخاب گونه و ذخیره‌سازی به قابلیت دسترسی گونه و دمای آب مورد استفاده بستگی دارد. هم‌چنین تعداد ذخیره‌سازی در قفس به حجم قفس، نوع گونه مورد پرورش، اندازه قفس، تک‌گونه‌ای یا چندگونه‌ای بودن سیستم پرورش، غذایی و میزان غذای مورد مصرف، دوره تعویض یا تمیز کردن شبکه توری، پالایش و حفظ بهبود کیفیت آب و زمان صید بستگی دارد (۲).

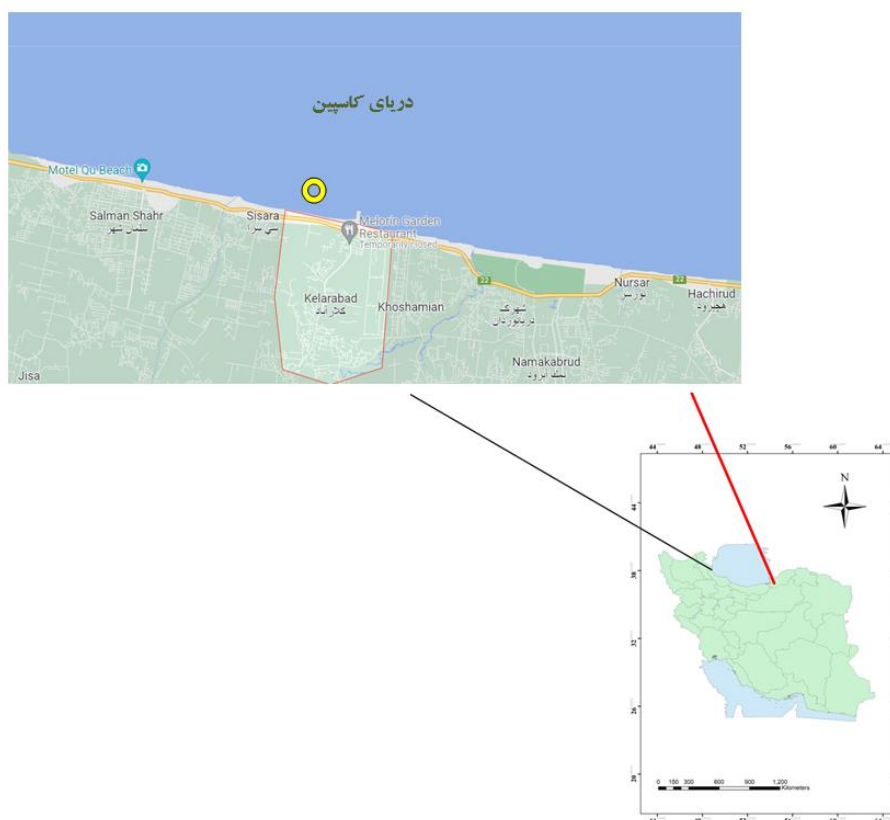
ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان *Oncorhynchus mykiss* از نوع ماهیان سردابی و از مهم‌ترین گونه‌های خانواده آزادماهیان محسوب می‌گردد. این ماهی بومی آمریکای شمالی است. این گونه در انتخاب غذا زیاد سخت‌گیر نیست و از سرعت رشد خوبی نیز برخوردار است. قزل‌آلای رنگین‌کمان در مقابل تغییرات درجه حرارت آب و اکسیژن محلول در آب به مانند سایر آزاد ماهیان زیاد حساس نیست. دمای مناسب آب برای پرورش آن بین ۱۲/۵-۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد است و در محدوده دمایی ۲۰-۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌خوبی رشد می‌کند. یکی دیگر از خصوصیات مهم این ماهی، سازش خوب آن با شرایط پرورش متراکم است و شرایط پرورش در محیط قفس را به‌خوبی تحمل می‌کند. تراکم ذخیره‌سازی این ماهی در قفس‌ها ۳۰ تا ۶۰ قطعه در هر مترمکعب بسته به وزن زمان برداشت، بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم است (۵). نگرانی اولیه در ارتباط با قفس‌های پرورش ماهی این است که ماهی در مقابل شرایط کیفی آب مانند شکوفایی جلبکی و غلظت پائین اکسیژن محلول آسیب‌پذیر می‌گردد (۶). آبی‌پروری در قفس به‌خصوص گونه‌های گوشت‌خوار اثرات گوناگونی بر روی کیفیت آب در زیست‌بوم‌های آبی در پی خواهد داشت (۷) که می‌تواند شرایط بوم‌شناختی، تنوع زیستی و عملکرد زیست‌بوم را تغییر دهد (۸). پساب حاصل از پرورش ماهی در قفس عمدتاً شامل، غذای خورده نشده، مواد دفعی و سایر ترکیبات اوره است که به صورت مستقیم وارد محیط پیرامون قفس شده و باعث به‌وجود آمدن مشکلات زیست‌محیطی مانند پرغذایی، تأخیر در رشد ماهی و تغییر در جوامع بنتوزی می‌گردد (۹). مطالعه اثرات پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس نشان داده است که بسیاری از عوامل فیزیکی و شیمیایی آب شامل ازت کل، فسفر کل، نیتريت و آمونیاک،

اثرات سوء پروژه‌های آبی‌پروری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش تلاش شد تا با استفاده از تلفیق روش‌های نوین و سنتی به برآورد اثرات محیطی مجتمع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس‌های مستقر در آب‌های ساحلی شهر کلارآباد در بخش جنوبی دریای خزر پردازیم.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و ویژگی‌های قفس‌ها: تجزیه و تحلیل اثر پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس در بخش جنوبی دریای خزر (استان مازندران، منطقه کلارآباد) به مدت ۵ ماه از دوره پرورش یعنی از اوائل دی ماه تا اوایل خردادماه ۱۳۹۳ انجام پذیرفت. شهر ساحلی کلارآباد در شهرستان عباس‌آباد و در غرب استان مازندران قرار دارد (شکل ۱). تعداد چهار قفس در هر مرکز در محدوده عمقی ۳۰ متری و در فاصله ۳۲۰۰ متری از ساحل در قفس‌های با قطر ۱۶ متر و با ذخیره‌سازی ماهیان پیش‌پروری قزل‌آلای رنگین‌کمان (حدود وزنی ۲۵۰-۲۰۰ گرم) با تعداد ۱۲۰۰۰ قطعه قرار داشتند. میزان برداشت نهایی از هر قفس با دامنه وزنی ۹۰۰-۷۰۰ گرم با زی‌توده انتهایی برداشت معادل حدود ۱۰ تن بوده است. غذادهی روزانه با غذای اکستروود مخصوص قزل‌آلای رنگین‌کمان به صورت دستی در دو نوبت در ساعات ۰۹:۰۰ صبح و ۱۶:۰۰ بعد از ظهر به اندازه ۳ درصد از وزن بدن ماهیان انجام شد. میزان ضریب تبدیل غذایی (FCR) با هدررفت غذا، حدود ۱/۲ در نظر گرفته شد.

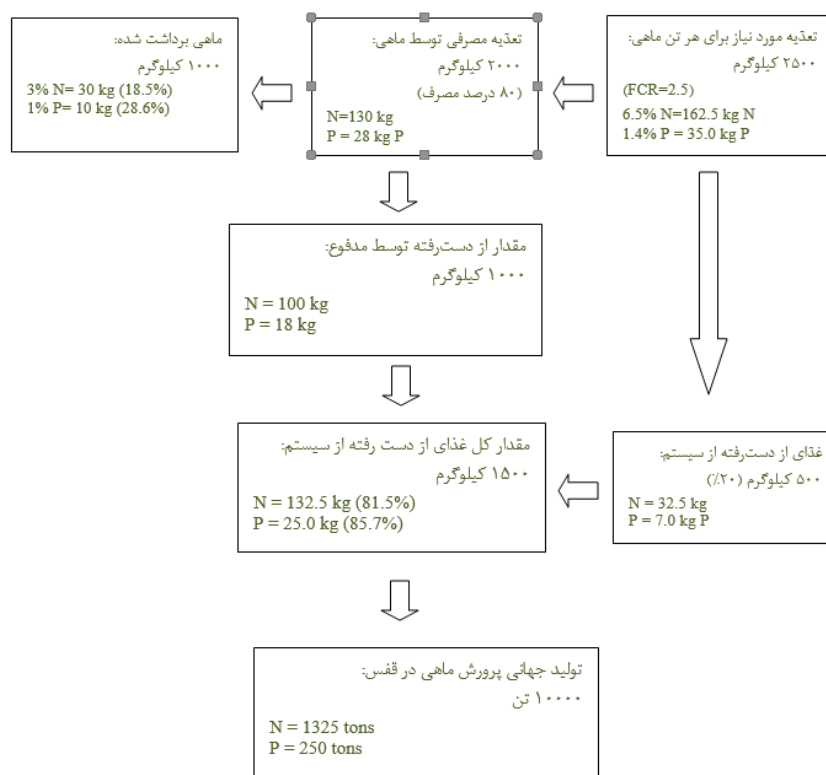
مصرف اکسیژن و کربن آلی تحت‌تأثیر ورود پسماندهای غذایی ناشی از پرورش ماهیان بوده‌اند (۱۰). مطالعات Diaz و همکاران (۲۰۰۱) روی تأثیرات محیطی پرورش ماهی قزل‌آلا در قفس در دریاچه آلیکورا آرژانتین، یک افزایش در غلظت مواد مغذی، فراوانی زی‌توده و تغییر در ترکیب گونه‌ای فیتوپلانکتونی به‌خصوص در پیرامون و مناطق بسیار نزدیک به قفس‌های پرورشی را نشان داد (۱۱). در پژوهشی دیگر، اثرات پرورش ماهی سالمون بر شیمی رسوبات پیرامون قفس در شرق ایسلند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه تأثیر ناچیز آبی‌پروری در قفس را نشان داد که عمق آب و سرعت متوسط جریان آب در منطقه مورد مطالعه از عوامل اصلی این مسأله عنوان شد (۱۲). هم‌چنین، در سال ۲۰۱۵ پژوهشی بر روی امکان پرورش ماهی در دریاچه ویکتوریا در تانزانیا انجام شد. پژوهش‌گران هیچ تغییر ثابت و چشمگیری در محیط اطراف قفس‌ها مشاهده نکردند و اعلام کردند که اجرای طرح پرورش در قفس در دریاچه ویکتوریا با اعمال سیاست‌های نظارتی مجاز است (۱۳). علاوه بر این، در پژوهش‌گرانی در سال ۲۰۲۱ به بررسی اثرات پرورش در قفس قزل‌آلای رنگین‌کمان بر روی جمعیت زئوپلانکتون و فیتوپلانکتون‌های اطراف قفس پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که پرورش در قفس، تأثیر چشمگیری بر جوامع پلانکتونی اطراف قفس‌ها دارد (۱۴). بدیهی است که پرورش ماهی، علی‌رغم اهمیت بسیار بالایش در تامین پروتئین و نیز اشتغال‌زایی، آثار منفی نیز برای محیط زیست به همراه دارد. بنابراین، اجرای طرح‌های ارزیابی اثرات محیط زیستی به منظور شناسایی خطرات و هم‌چنین کاهش



شکل ۱- محل استقرار قفس‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در منطقه مرکزی جنوب دریای خزر (استان مازندران).

می‌باشد. این مدل برای برآورد سطح تقریبی N و P اضافه‌شده به محیط زیست برای هر تن ماهی تولیدشده، بر اساس فرضیات مختلف در مورد از دست دادن خوراک، مقدار FCR، میزان N و P خوراک و ماهی و پویایی‌های مختلف مواد مغذی در سیستم پرورش قفس در نظر گرفته شده است.

برآورد میزان نیتروژن و فسفر ناشی از قفس‌ها: یک مدل مفهومی ساده (شکل ۲) برای بودجه مقادیر مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) تخلیه شده از یک سیستم پرورش در قفس فرضی بر اساس هر تن ماهی تولید شده (FCR) ارائه شده است که در آن N در غذا معادل ۶/۵ درصد، P در غذا معادل ۱/۴ درصد، N در ماهی معادل ۳ درصد و P در ماهی معادل ۱ درصد



شکل ۲- مدل ساده و مفهومی برای بودجه توده نوترینت برای یک سیستم قفس فرضی به ازای هر تن ماهی تولید شده.

اجتماعی و فرهنگی" به روش بازدید میدانی و جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلف استفاده شد. در این مطالعه، دو گزینه پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس با ظرفیت تولید ۱۰۰ تن (گزینه اول)؛ تولید ۵۰۰ تن (گزینه دوم) با استفاده از روش ماتریس ایرانی مورد بررسی قرار گرفت. مزیت استفاده از روش ماتریس ایرانی یا ماتریس لئوپولد اصلاح‌شده این است که در صورت کم‌تجربه بودن ارزیاب و ارزش‌دهی نادرست یک پارامتر، به خاطر میانگین‌گیری از تمام پارامترها، آن اشتباه تا حدی تعدیل می‌شود و در روند کلی نتیجه‌گیری خللی ایجاد نمی‌کند (۱۶). در جدول ۱ ارزش‌های کمی در ماتریس ایرانی ارائه شده که برای اغلب ارزیابان قابل درک است (۱۷).

آن مقیاس مکانی که قادر به پراکنده‌سازی پساب است، تابعی از عوامل زیر می‌باشد: مساحت سطح مزرعه، سرعت ته‌نشینی غذای خورده‌نشده و مدفوع ماهیان، سرعت حرکت آب و عمق آب زیر مزرعه. این عوامل را با معادله $D=DV/v$ مرتبط شد؛ که در آن D فاصله افقی پسابی است که پراکنده می‌شود، d عمق آب، V سرعت جریان و v سرعت ته‌نشینی پساب. هم‌چنین، سرعت ته‌نشینی پلت‌های خوراک را از $0/09$ متر بر ثانیه تا $0/15$ متر بر ثانیه و پلت‌های مدفوع از $0/017$ تا $0/06$ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد (۱۵).

ارزیابی اثرات به روش ماتریس لئوپولد ایرانی: در این پژوهش از فرایند ارزیابی اثرات محیط زیستی (EIA) در ۳ دسته کلی شامل "محیط فیزیکی و شیمیایی"، "محیط بیولوژیکی" و "محیط اقتصادی،

جدول ۱- ارزش‌های کمی در ماتریس لئوپولد ایرانی (۱۷).

| اثرات منفی | | اثرات مثبت | |
|------------|------------------|------------|--------------------|
| ارزش | اثر | ارزش | اثر |
| -۵ | تخریب بسیار زیاد | ۵ | سودمندی بسیار زیاد |
| -۴ | تخریب زیاد | ۴ | سودمندی زیاد |
| -۳ | تخریب متوسط | ۳ | سودمندی متوسط |
| -۲ | تخریب کم | ۲ | سودمندی کم |
| -۱ | تخریب بسیار کم | ۱ | سودمندی بسیار کم |

زیستی است. برای هر یک از محیط‌های فیزیکی و شیمیایی، بیولوژیک و اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در هر یک از مراحل ساختمانی و بهره‌برداری برای هر یک از گزینه‌ها، رقمی به دست می‌آید که رهنمونی برای انتخاب گزینه مناسب خواهد بود (۱۹).

مدل تخصیص انرژی پویا (DEB): از تئوری و مدل DEB برای پیش‌بینی وضعیت رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان استفاده گردید. به طور کلی، این تئوری روند تغییرات رشد را بر مبنای فعالیت‌های انرژی‌تیک ماهیان توصیف می‌کند. در این تئوری، تخصیص انرژی از محل ذخیره به سوی اندام‌ها و بافت‌های مختلف بدن از قانده K پیروی می‌کند. در حقیقت، هر جاندار کسر ثابتی (K) از انرژی ذخیره را برای رشد و نگهداری از بدن گسیل می‌کند. آنچه که باقی می‌ماند (1-K) صرف هزینه‌های مربوط به بلوغ و تولیدمثل جاندار می‌شود (۲۰).

همانند بسیاری از نظریه‌های زیستی، نظریه DEB نیز به منظور سهولت در استفاده و کاربرد بیشتر به صورت مدل‌هایی طراحی شد. مدل استاندارد DEB یکی از مدل‌های محبوب برای نظریه تخصیص انرژی پویا است که قابلیت اجرا در دو نرم‌افزار متلب^۲ و اکتاو^۳ را دارد. روش‌ها متفاوتی برای اجرای این مدل

در این روش، فعالیت‌های پروژه شامل فاز عملیاتی با پارامترهای خاکریزی و خاکبرداری برای ایجاد کمپ کارگران، پاک‌تراشی برای ایجاد کمپ کارگران، تامین مواد اولیه و حمل آن به دریا، تامین برق و سوخت، نصب قفس‌ها در مناطق مورد نظر و در فاز بهره‌برداری شامل پارامترهای؛ استخدام کارگران، احداث تاسیسات بهداشتی برای کارگران، تردد خودروهای حمل خوراک و ماهی، زنگ‌زدگی مواد اولیه قفس‌ها، دفع مواد خوراکی اضافی به دریا و رهاسازی مدفوع حاصل از ماهیان به دریا هستند. این پارامترها در (۱) محیط فیزیکی شامل کیفیت هوا، آب‌های سطحی، آب‌های ساحلی، کیفیت ماسه سواحل، انتشار بوی نامطبوع و توپوگرافی و سیمای زمین؛ (۲) محیط زیستی شامل تنوع و تراکم گیاهی در خشکی و در آب و تنوع و تراکم جانوری در خشکی و آب، تخریب زیستگاه بستر و (۳) محیط اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی شامل ارزش زیباشناختی، جوامع انسانی منطقه، بهداشت عمومی، قیمت زمین‌های اطراف، ایجاد اشتغال، ایجاد درآمد، گردشگری، چشم‌انداز مناظر و طرح‌های توسعه آینده هستند (۱۷، ۱۸). با توجه به شدت اثر مثبت و منفی بودن آن عددی از دامنه -۵ تا +۵ به آن اختصاص داده می‌شود. مهم‌ترین مرحله در ارزیابی اثرات محیط زیستی یک پروژه به روش ماتریس، جمع‌بندی آثار مثبت و منفی پروژه بر حسب فاکتورهای محیط

1- Dynamic Energy Budget
2- MatLab
3- Octave

مدل پس از اجرا و تجزیه و تحلیل داده‌های وارد شده، پیش‌بینی‌هایی از وضعیت رشد و انرژی گونه مورد نظر ارائه می‌نماید. این پیش‌بینی‌ها در نهایت در قالب ۱۱ پارامتر، همانند آن چیزی که در جدول ۲ می‌بینید- ارائه می‌شود. هر یک از این پارامترها تعریف و دامنه‌ای دارند که در بخش نتایج به آن پرداخته شده است (۲۲، ۲۳).

طراحی شده است. در سال‌های اخیر، روش Covariation یا کوواریاسیون به‌منظور برآورد پارامترهای مدل استاندارد DEB به خوبی توسعه یافته است. این روش بر اساس کوچک‌سازی هم‌زمان مجموع وزن انحراف مربع بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده عمل می‌نماید (۲۱). به این صورت که پژوهش‌گران و دانشمندان، داده‌های واقعی و مشاهده‌شده خود را در این مدل وارد می‌کنند و

جدول ۲- پارامترهای اولیه DEB که به وسیله روش Covariation برای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان برآورد شد.

| تعریف | نماد | واحد | تعریف | نماد | واحد |
|-------------------------------------|--------------|--------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| زوم فاکتور | z | - | هزینه ویژه برای ساختار بدن | $[E_G]$ | $J cm^{-3}$ |
| ماکزیم نرخ ویژه جذب در واحد سطح | $\{p_{Am}\}$ | $J cm^{-2} d^{-1}$ | اندازه در زمان تولد | E_H^b | J |
| ماکزیم تراکم ذخیره انرژی | $[E_m]$ | $J cm^{-3}$ | اندازه در زمان بلوغ | E_H^p | J |
| هدایت انرژی | θ | $cm d^{-1}$ | شتاب افزایش سن Weibull | \dot{h}_a | d^{-2} |
| اختصاص انرژی برای فرایندهای سوماتیک | κ | - | ضریب شکلی | δ_m | - |
| نگهداری از بدن بر مبنای حجم بدن | $[p_M]$ | $J cm^{-3} d^{-1}$ | | | |

نتایج

برآورد نیتروژن و فسفر ناشی از پرورش قزل‌آلا در قفس: نتایج به‌دست آمده از پرورش ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس در بخش مرکزی جنوب دریای خزر در منطقه کلارآباد (استان مازندران) در سال ۱۳۹۳، در طول بیش از ۵ ماه دوره پرورش (از اوایل دی‌ماه تا اوایل خردادماه) به شرح زیر بود (جدول ۳). بر اساس جدول ۳، با در نظر گرفتن درصد بازماندگی ۹۸ درصد در طول دوره پرورش ماهی، وزن نهایی برداشت حدود ۹۰۰ گرم در پایان دوره و ضریب تبدیل غذایی ۱/۲، در کل ۹/۷۶ تن ماهی صید و حدود ۱۱/۷۱ تن غذا مصرف گردید. در این پژوهش مطابق با منابع موجود، میزان غذای خورده نشده به‌طور متوسط ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. بنابراین در پایان دوره پرورش می‌توان انتظار داشت

که میزان کل نیتروژن و فسفر (غیر آلی) به‌ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۱۶۴ تن و کل نیتروژن و فسفر رها شده به محیط ۰/۴۷ و ۰/۰۶۶ به ازای هر قفس ورودی به دریا باشد (جدول ۴). با در نظر گرفتن سرعت جریان آب معادل ۰/۰۳-۰/۰۲ متر بر ثانیه؛ سرعت ته‌نشینی پلت معادل ۰/۱۵-۰/۰۳ متر بر ثانیه (در این پژوهش، ۰/۱) و سرعت ته‌نشینی مدفوع ۰/۰۶-۰/۰۱۷ (در این پژوهش، ۰/۰۴)، میزان غلظت رها شده نیتروژن و فسفر به محیط در هر قفس با تراکم ۱۲۰۰۰ و با در نظر گرفتن عمق ترموکلاین ۲۵ متر نتایج به‌شرح زیر محاسبه گردید. با بزرگ‌تر شدن وزن متوسط ماهیان و افزایش بیوماس در طول زمان در قفس، غلظت رها شده نیتروژن و فسفر به محیط افزایش می‌یابد (جدول‌های ۴ و ۵).

ارزیابی اثرات محیطی پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان ... / علی‌نقی مقصودلو و همکاران

جدول ۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورش یافته در قفس در کلارآباد (۹۴-۱۳۹۳).

| خرداد | اردیبهشت | فروردین | اسفند | بهمن | دی | خصوصیت / ماه |
|----------|----------|---------|---------|--------|--------|--|
| ۱۰۸۴۷/۰۵ | ۱۱۰۶۸/۴ | ۱۱۲۹۴/۳ | ۱۱۵۲۴/۸ | ۱۱۷۶۰ | ۱۲۰۰۰ | تعداد ماهی ذخیره‌سازی شده |
| ۹۸ | ۹۸ | ۹۸ | ۹۸ | ۹۸ | ۱۰۰ | درصد بازماندگی |
| ۰/۹ | ۰/۷۸ | ۰/۶۷ | ۰/۴۶ | ۰/۳۱ | ۰/۲ | وزن متوسط ماهی (کیلوگرم) |
| ۹/۷۶ | ۸/۶۳ | ۷/۵۷ | ۵/۳ | ۳/۶۵ | ۲/۴ | بیوماس (تن) |
| ۱۱/۷۱ | ۱۰/۳۶ | ۹/۰۸ | ۶/۳۶ | ۴/۳۷ | ۲/۸۸ | غذای مصرفی (FCR = ۱/۲) |
| ۰/۷۶ | ۰/۶۷ | ۰/۵۹ | ۰/۴۱ | ۰/۲۸ | ۰/۱۹ | میزان کل نیتروژن غذا (تن) |
| ۰/۱۶۴ | ۰/۱۴۵ | ۰/۱۲۷ | ۰/۰۸۹ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۴ | میزان کل فسفر غذا (تن) |
| ۱/۱۷۱ | ۱/۰۳۶ | ۰/۹۰۸ | ۰/۶۳۶ | ۰/۴۳۷ | ۰/۲۸۸ | میزان غذای خورده نشده (تن) = ۱۰٪ |
| ۰/۰۷۶ | ۰/۰۶۷ | ۰/۰۵۹ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۲۸۴ | ۰/۰۱۸۷ | میزان نیتروژن خورده نشده (تن) |
| ۰/۰۱۶۴ | ۰/۰۱۴۵ | ۰/۰۱۲۷ | ۰/۰۰۸۹ | ۰/۰۰۶۱ | ۰/۰۰۴ | میزان فسفر خورده نشده (تن) |
| ۱۰/۵۴ | ۹/۳۲ | ۸/۱۷ | ۵/۷۲ | ۲/۹۴ | ۲/۵۹ | میزان غذای مصرفی توسط ماهی (۹۰ درصد) |
| ۰/۶۸۵ | ۰/۶۰۶ | ۰/۵۳۱ | ۰/۳۷۲ | ۰/۲۵۶ | ۰/۱۶۸ | میزان کل نیتروژن غذای خورده شده (تن) |
| ۰/۱۴۸ | ۰/۱۳۱ | ۰/۱۱۴ | ۰/۰۸ | ۰/۰۵۵ | ۰/۰۳۶ | میزان کل فسفر غذای خورده شده (تن) |
| ۹/۷۶ | ۸/۶۳ | ۷/۵۷ | ۵/۳ | ۳/۶۵ | ۲/۴ | بیوماس ماهی تولیدی (تن) |
| ۰/۲۹۳ | ۰/۲۵۹ | ۰/۲۲۷ | ۰/۱۵۹ | ۰/۱۰۹ | ۰/۰۷۲ | نیتروژن گوشت ماهی (تن) |
| ۰/۰۹۸ | ۰/۰۸۶ | ۰/۰۷۶ | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۳۶ | ۰/۰۲۴ | فسفر گوشت ماهی (تن) |
| ۰/۷۸۱ | ۰/۶۹۱ | ۰/۶۰۵ | ۰/۴۲۴ | ۰/۲۹۲ | ۰/۱۹۲ | غذای هدر رفته (تن) |
| ۰/۳۹۲ | ۰/۳۴۷ | ۰/۳۰۴ | ۰/۲۱۳ | ۰/۱۴۷ | ۰/۰۹۶ | نیتروژن دفع شده مدفوع و ادرار (تن) |
| ۰/۰۵ | ۰/۰۴۴۲ | ۰/۰۳۸۷ | ۰/۰۲۷۱ | ۰/۰۱۸۷ | ۰/۰۱۲۳ | فسفر دفع شده مدفوع و ادرار (تن) |
| ۰/۴۶۹ | ۰/۴۱۴ | ۰/۳۶۳ | ۰/۲۵۴ | ۰/۱۷۵ | ۰/۱۱۵ | کل نیتروژن رها شده به محیط از ۱ قفس (تن) |
| ۰/۰۶۶۴ | ۰/۰۵۸۷ | ۰/۰۵۱۵ | ۰/۰۳۶ | ۰/۰۲۴۸ | ۰/۰۱۶ | کل فسفر رها شده به محیط از ۱ قفس (تن) |
| ۱/۸۷ | ۱/۶۶ | ۱/۴۵ | ۱/۰۱۸ | ۰/۷ | ۰/۴۶ | کل نیتروژن رها شده به محیط از ۴ قفس (تن) |
| ۰/۲۶۶ | ۰/۲۳۵ | ۰/۲۰۶ | ۰/۱۴۴ | ۰/۰۹۹ | ۰/۰۶۵ | کل فسفر رها شده به محیط از ۴ قفس (تن) |

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، دوره ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

جدول ۴- غلظت رها شده نیتروژن (میکروگرم بر لیتر) به محیط در قفس با تراکم ۱۲۰۰۰ عدد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان.

| شعاع | تعداد قفس | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد |
|------|-----------|--------|--------|---------|---------|----------|---------|
| | ۴ | ۷۸/۲۷ | ۱۱۸/۸۹ | ۱۷۲/۸۹ | ۲۴۶/۷۸ | ۲۸۱/۵۵ | ۳۱۸/۳۶ |
| ۵۰ | ۱۰ | ۱۹۵/۶۷ | ۲۹۷/۲۲ | ۴۳۲/۲۲ | ۶۱۶/۹۴ | ۷۰۳/۸۷ | ۷۹۵/۹۱ |
| | ۲۸ | ۵۴۷/۸۷ | ۸۳۲/۲۲ | ۱۲۱۰/۲۱ | ۱۷۲۷/۴۴ | ۱۹۷۰/۸۳ | ۲۲۲۸/۵۵ |
| | ۴ | ۱۹/۵۷ | ۲۹/۷۲ | ۴۳/۲۲ | ۶۱/۶۹ | ۷۰/۳۹ | ۷۹/۵۹ |
| ۱۰۰ | ۱۰ | ۴۸/۹۲ | ۷۴/۳۱ | ۱۰۸/۰۵ | ۱۵۴/۲۴ | ۱۷۵/۹۷ | ۱۹۸/۹۸ |
| | ۲۸ | ۱۳۶/۹۷ | ۲۰۸/۰۵ | ۳۰۲/۵۵ | ۴۳۱/۸۶ | ۴۹۲/۷۱ | ۵۵۷/۱۴ |
| | ۴ | ۴/۸۹ | ۷/۴۳ | ۱۰/۸۱ | ۱۵/۴۲ | ۱۷/۶ | ۱۹/۹ |
| ۲۰۰ | ۱۰ | ۱۲/۲۳ | ۱۸/۵۸ | ۲۷ | ۳۸/۵۶ | ۴۳/۹۹ | ۴۹/۷۴ |
| | ۲۸ | ۳۴/۲۴ | ۵۲ | ۷۵/۶۴ | ۱۰۷/۹۶ | ۱۲۳/۱۸ | ۱۳۹/۲۸ |
| | ۴ | ۰/۱۹۶ | ۰/۲۹۷ | ۰/۴۳۲ | ۰/۶۱۷ | ۰/۷۰۴ | ۰/۷۹۶ |
| ۱۰۰۰ | ۱۰ | ۰/۴۸۹ | ۰/۷۴۳ | ۱/۰۸۱ | ۱/۵۴۲ | ۱/۷۶ | ۱/۹۹ |
| | ۲۸ | ۱/۳۷ | ۲/۰۸ | ۳/۰۳ | ۴/۳۲ | ۴/۹۳ | ۵/۵۷ |

جدول ۵- غلظت رها شده فسفر معدنی به محیط (میکروگرم بر لیتر) در تراکم ۱۲۰۰۰ عدد ماهی در پرورش ماهی قزل‌آلا در قفس.

| شعاع | تعداد قفس | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد |
|------|-----------|-------|-------|--------|---------|----------|--------|
| | ۴ | ۱۱/۰۹ | ۱۶/۸۴ | ۲۴/۴۹ | ۳۴/۹۶ | ۳۹/۸۹ | ۴۵/۱ |
| ۵۰ | ۱۰ | ۲۷/۷۲ | ۴۲/۱۱ | ۶۱/۲۳ | ۸۷/۴ | ۹۹/۷۱ | ۱۱۲/۷۵ |
| | ۲۸ | ۷۷/۶۲ | ۱۱۷/۹ | ۱۷۱/۴۵ | ۲۴۴/۷۲ | ۲۷۹/۲ | ۳۱۵/۷۱ |
| | ۴ | ۲/۷۷ | ۴/۲۱ | ۶/۱۲ | ۸/۷۴ | ۹/۹۷ | ۱۱/۲۸ |
| ۱۰۰ | ۱۰ | ۶/۹۳ | ۱۰/۵۳ | ۱۵/۳۱ | ۲۱/۸۵ | ۲۴/۹۳ | ۲۸/۱۹ |
| | ۲۸ | ۱۹/۴ | ۲۹/۴۷ | ۴۲/۸۶ | ۶۱/۱۸ | ۶۹/۸ | ۷۸/۹۳ |
| | ۴ | ۰/۶۹ | ۱/۰۵ | ۱/۵۳ | ۲/۱۸ | ۲/۴۹ | ۲/۸۱ |
| ۲۰۰ | ۱۰ | ۱/۸۳ | ۲/۶۳ | ۳/۸۳ | ۵/۴۶ | ۶/۲۳ | ۷/۰۴ |
| | ۲۸ | ۴/۸۵ | ۷/۳۷ | ۱۰/۷۱ | ۱۵/۳ | ۱۷/۴۵ | ۱۹/۷۳ |
| | ۴ | ۰/۰۲۸ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۸۷ | ۰/۱ | ۰/۱۱۳ |
| ۱۰۰۰ | ۱۰ | ۰/۰۶۹ | ۰/۱۰۵ | ۰/۱۵۳ | ۰/۲۱۹ | ۰/۲۴۹ | ۰/۲۸۲ |
| | ۲۸ | ۰/۱۹۴ | ۰/۲۹۵ | ۰/۴۲۹ | ۰/۶۱۲ | ۰/۶۹۸ | ۰/۷۸۹ |

رنگین‌کمان در قفس نشان داد که رده‌بندی اثرات در محیط‌های فیزیکی - شیمیایی دارای تخریب ضعیف؛ اما در محیط بیولوژیکی بیانگر اثرات تخریبی متوسط و در محیط اقتصادی و اجتماعی دارای اثرات تخریبی ناچیز است. هم‌چنین به تفکیک فازهای اجرایی در فاز ساختمانی نتایجی به مانند گزینه اول نشان داد با این تفاوت که در این گزینه شدت اثرات منفی بیش‌تر از گزینه یک بود و هم‌چنین آثار مثبت پروژه بر محیط اقتصادی اجتماعی بیش‌تر بود.

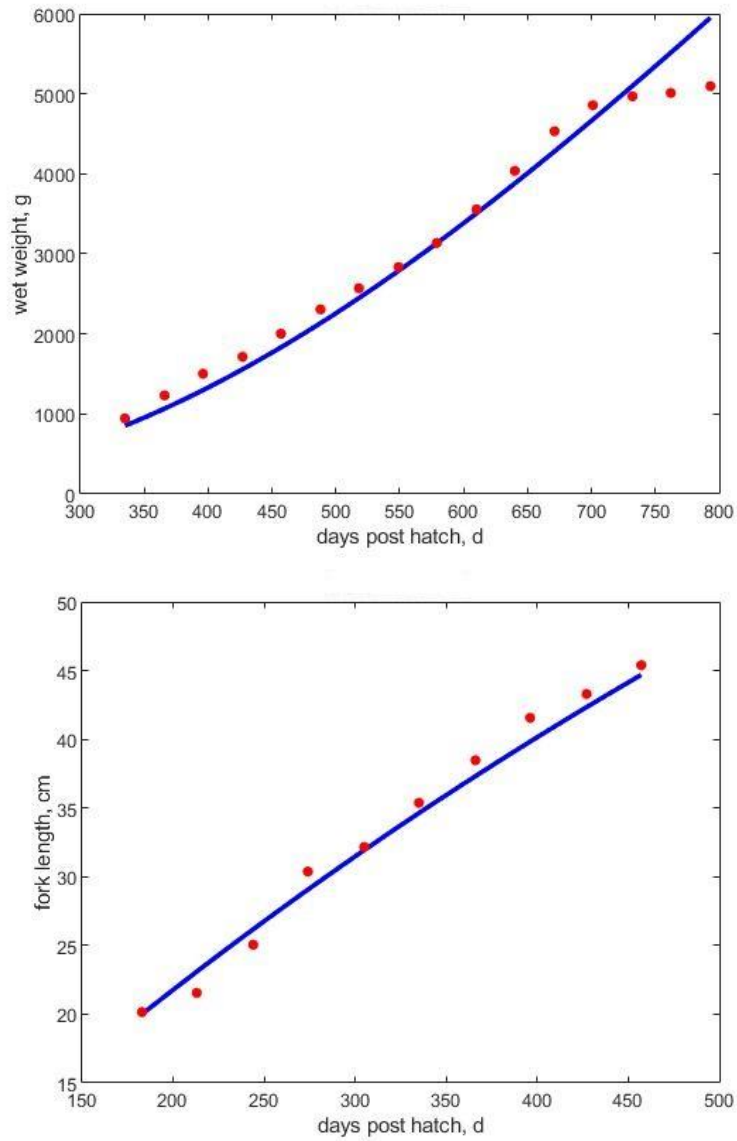
مدل تخصیص انرژی پویا (DEB): وضعیت رشد طولی و رشد وزنی قزل‌آلای رنگین‌کمان در روزهای پس از تفریح در شکل ۳ نشان داده شده که از طریق اجرای مدل استاندارد DEB به‌دست آمد.

مقدار زوم فاکتور (به عنوان برآیندی از طول بیشینه) در این گونه که معادل $4/522$ بود، و هم‌چنین پارامتر بیشینه نرخ ویژه جذب در واحد سطح $\{p_{Am}\}$ که معادل 2511 ژول (بیانگر ذخیره انرژی بالا و میزان افزایش وزن مناسب) و نیز مقدار فاکتور جذب ویژه $\{p_{Am}\}$ که در مقایسه با سایر ماهیان در یک حد مناسب قرار داشت، نشان‌دهنده این امر بود که قزل‌آلای رنگین‌کمان دارای قابلیت خوبی برای جذب انرژی (در قالب غذا) است و گزینه مناسبی برای پرورش خواهد بود.

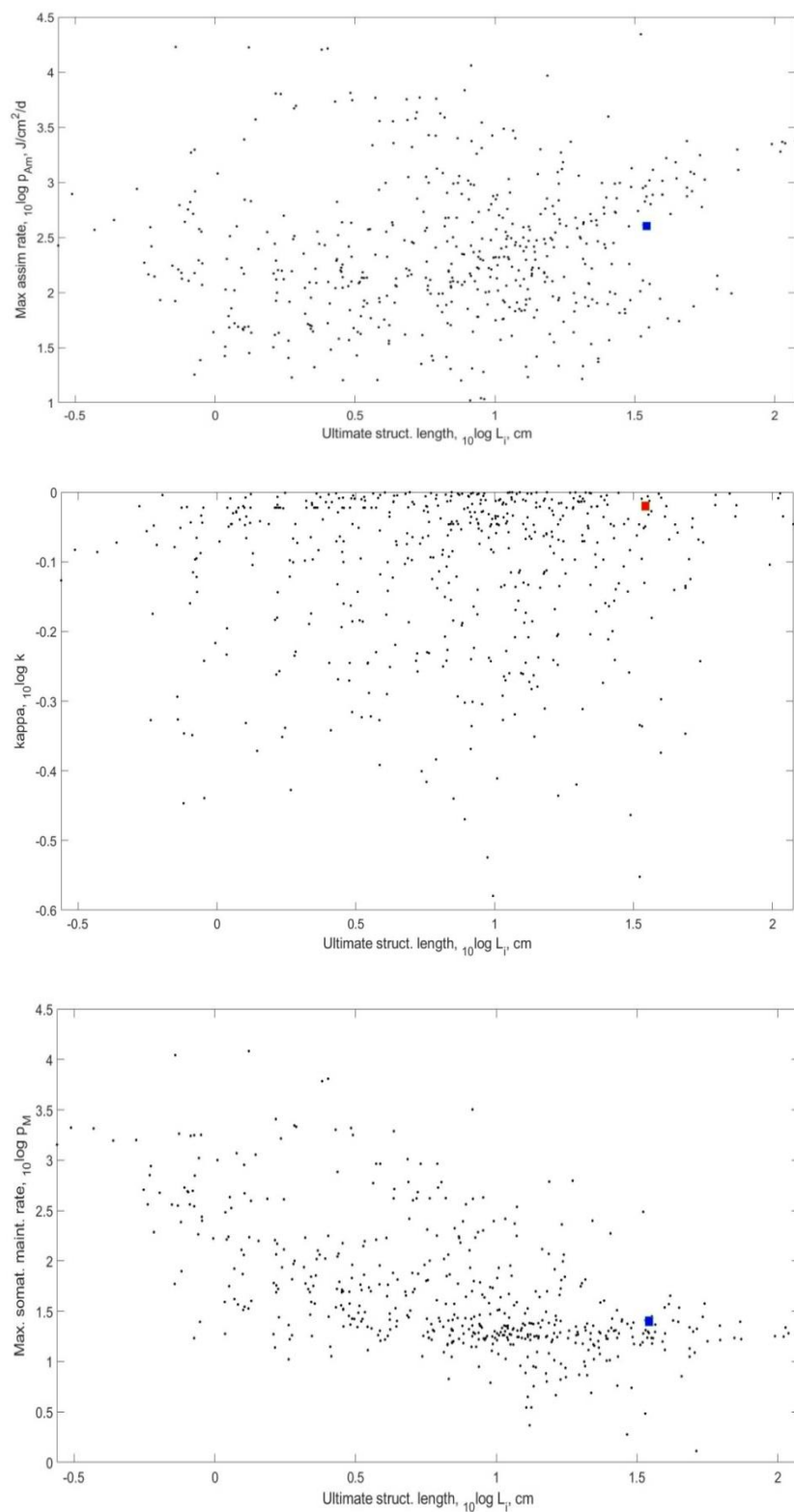
ارزیابی اثرات به روش ماتریس ایرانی: در مطالعه ارزیابی اثرات برای هر یک از مراحل ساختمانی و بهره‌برداری و هم‌چنین برای محیط‌های فیزیکی - شیمیایی، بیولوژیکی و نیز اقتصادی - اجتماعی، در فرآیند امتیازدهی، در هر دو مرحله ساختمانی و بهره‌برداری، اثرات مثبت و منفی همه فعالیت‌ها بر اجزای محیط زیست در نظر گرفته شد. میزان میانگین اثرات منفی، حاصل برآیند اثرات مثبت و منفی ارزیابی هر گزینه است. در ادامه به جزئیات این نظرسنجی خواهیم پرداخت و داده‌ها در قالب جدول و نمودار ارائه خواهد شد؛

گزینه ۱: بررسی و تحلیل داده‌های به دست آمده از روش ماتریس لئوپولد اصلاح‌شده در مورد گزینه شماره ۱ یعنی تولید ۱۰۰ تن ماهی قزل‌آلا در قفس در سواحل دریای خزر بدین شکل بود که اجرای این گزینه به تفکیک محیط‌ها نشان داد در محیط فیزیکی - شیمیایی و محیط بیولوژیکی دارای اثرات تخریبی ضعیف و محیط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی دارای اثرات تخریبی ناچیز بود. از این رو، با توجه به مطالب فوق گزینه ۱ دارای کم‌ترین اثرات سوء بر محیط زیست می‌باشد و نسبت به سایر گزینه در اولویت قرار دارد.

گزینه ۲: بررسی میانگین رده‌بندی اثرات در گزینه شماره دو یعنی پرورش ۵۰۰ تن ماهی قزل‌آلای



شکل ۳- رشد طولی و رشد وزنی (وزن تر) ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در روزهای پس از تفریح.



شکل ۴- مقایسه فاکتورهای DEB در ماهی قزل‌آلا (مربع رنگی) با سایر ماهیان.

انرژی اختصاص داده شده برای رشد سوماتیک یا ضریب کاپا (K) در ماهی قزل‌آلا ۰/۶۱۹۲ به دست آمد که در حد متوسط قرار دارد. میزان نگهداری از بدن بر مبنای حجم بدن $[pM]$ در ماهی قزل‌آلا ۳۴۳/۹ به دست آمد که در مقایسه با سایر ماهیان در حد متعادلی قرار دارد. هدایت انرژی یا θ برای ماهی قزل‌آلا ۰/۳۲۴۵ به دست آمد که از میزان معمول آن بیش‌تر است. شتاب افزایش سن Weibull (\dot{h}_a) در حد نرمالی قرار دارد و از این رو این گونه طول عمر مناسبی داشته و احتمال زنده ماندن آن‌ها در زمان تولد و یا بلوغ در حد مطلوبی خواهد بود. بنابراین، این گونه می‌تواند شرایط اسارات (در شکل‌های گوناگون) را تحمل نماید و از این رو گونه مناسبی برای آبی‌پروری خواهد بود. پارامتر بعدی، اندازه در زمان بلوغ یا E_H^p در ماهی قزل‌آلا ۳۸۸۱۰۰۰ به دست آمد که به نسبت عدد بزرگی است. این پارامتر در ماهی قزل‌آلا نسبت به سایر ماهیان عدد بزرگ‌تری دارد که نشان از اندازه بزرگ‌تر این گونه نسبت به سایر ماهیانی که تاکنون مدل شده‌اند، در زمان بلوغ است. اندازه بزرگ‌تر در زمان بلوغ، خود عاملی است که باعث حفظ گونه‌ها در شرایط نامساعد خواهد بود. شکل ۴ به بررسی پارامترهای DEB به دست آمده برای قزل‌آلای رنگین‌کمان و مقایسه آن با سایر ماهیان پرداخته است.

بحث و نتیجه‌گیری

پرورش ماهیان در قفس‌های دریایی به دلیل نیاز به حداقل امکانات، عمدتاً در نوار ساحلی صورت می‌گیرد، اما این مناطق به شدت تحت تأثیر خشکی قرار دارند و مشکلات زیادی برای پرورش دهندگان ایجاد می‌کند (۲۴). از طرفی فعالیت‌های آبی‌پروری در مناطق ساحلی نیز اثرات نامطلوبی روی منطقه به جا می‌گذارد. بنابراین در کشورهای مختلف مقررات

سخت‌گیرانه‌ای را برای این مناطق جهت جلوگیری از خسران زیست‌محیطی وضع می‌نمایند. در سال‌های اخیر برای کاهش اثرات نامطلوب آبی‌پروری در قفس در دریا، پرورش‌دهندگان ماهی را به مناطق دور از ساحل سوق می‌دهند (۲۵). در این صنعت، فعالیت‌های مربوط به تغذیه، خوراک ماهیان و انتشار N و P به دلیل متابولیسم ماهیان، عواملی هستند که بیش‌ترین سهم را بر محیط زیست اطراف قفس‌ها دارند. ایجاد پروتکل‌های مناسب برای تغذیه ماهی قزل‌آلا (برنامه جیره بندی بهینه، تعداد دفعات غذایی و زمان عرضه غذا) و همچنین توزیع متمرکز و خودکار غذا می‌تواند به کاهش آثار محیط زیستی در مقیاس محلی و جهانی کمک نماید. این اقدامات نه تنها آثار محیطی صنعت آبی‌پروری را بهبود می‌بخشد بلکه به کاهش هزینه‌های تولید نیز کمک می‌کند (۲۶).

در مطالعه Gortlach-Lira (۲۰۰۳) افزایش معنی‌دار غلظت فسفر کل فقط در داخل قفس مشاهده شد و تغییرات آن به فاصله ۵۰ متری محدود بود (۲۷). باید توجه داشت که افزایش مواد مغذی در محیط پیرامون قفس‌های پرورش ماهی همیشه ناشی از فعالیت آبی‌پروری نبوده، بلکه می‌تواند تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکی منطقه مانند شرایط تعویض آب و پویایی بستر و یا در نتیجه یوتریفیکاسیون محلی صورت گیرد (۲۸، ۲۹). به طوری که این احتمال وجود دارد که به هنگام شکست لایه بندی حرارتی، مواد مغذی و سایر ترکیباتی که از قفس‌های پرورشی به رسوبات یا لایه‌های عمیق‌تر رسیدند و دوباره به داخل ستون آبی برگشت داده شوند (۳۰، ۳۱).

معمولاً در آبی‌پروری دریایی به‌خصوص پرورش ماهی، انتظار می‌رود که ضایعات مشخصی را با سهم زیادی از نیتروژن و فسفر رها شده به شکل محلول به ستون آبی وارد نماید (۳۲). به ترتیب ۸۰ درصد و

کند، زیرا بعضی از ضایعات ته‌نشین شده در رسوبات بدون تجزیه برای همیشه دفن می‌گردند و یا با گذشت مدت طولانی در معرض تجزیه قرار می‌گیرند (۳۹). به طوری که برخی پژوهش‌گران معتقد بودند که اگرچه میزان رهاسازی مواد مغذی خارج از زیست‌بوم در بعضی مناطق کاهش یافته است، اما ادامه رهاسازی آن از رسوبات بستر می‌تواند یک مشکل جدی به حساب آید (۴۰). بنابراین لازم است که مطالعات فیزیکوشیمیایی پیرامون پرورش ماهی در قفس در منطقه جنوب دریای خزر علاوه بر مطالعات دوره‌ای و مستمر، روی مواد مغذی رسوبات نیز صورت گیرد.

هم‌چنین با توجه به میانگین غلظت فسفر معدنی گزارش شده از دریای خزر، معادل حدود ۳۵ میکروگرم بر لیتر، حداکثر غلظت افزایشی ۱۰ درصدی در یک فاصله ۲۰۰ متری از قفس، به‌طور متوسط حدود ۳/۵ میکروگرم بر لیتر، بنظر می‌رسد اکوسیستم با توان حداکثر ۱۰۰ تن در یک مجتمع با میزان حدود ۳/۸ میکروگرم بر لیتر را داشته باشد. با این‌حال، باید توجه داشت که بقیه ترکیبات به دلیل پرورش ماهی در قفس در رسوبات نهشته شده که عملاً در زمان فراچاهندگی دوباره در چرخه قرار می‌گیرد. هم‌چنین، بررسی میانگین رده‌بندی اثرات در گزینه شماره یک، یعنی پرورش ۱۰۰ تن ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس‌های دریایی با حفظ فاصله هر مزرعه در هر منطقه نشان داد این روش دارای اثرات تخریبی ناچیز و ضعیف است که بیانگر حداکثر ظرفیت تولید ۱۰۰ تن در هر مجتمع پرورش قفس در دریای خزر با حفظ فاصله حداقل ۵۰۰ متری از مجتمع دیگر است (۴۱).

مطالعه حاضر تلاشی در راستای تلفیق روش‌های سنتی و مدل‌های جدید برای ارزیابی اثرات پرورش ماهی بود. پرورش ماهیان در قفس‌ها در بخش‌های ساحلی از راهکارهای مورد توجه سیاست‌گذاران در

۷۸ درصد رها شدن نیتروژن به محیط به شکل محلول بوده است که عمده نیتروژن رها شده به محیط به‌راحتی در دسترس فیتوپلانکتون است. هم‌چنین باید توجه داشت که ۶۴ درصد، ۶۶ درصد، ۵۷ درصد و ۳۸ درصد (۱۰، ۳۳، ۳۴) از کل فسفر رها شده به محیط در رسوب تجمع یافته است. شواهد نشان داد که فسفر محلول از منابع آلی می‌تواند در شکل‌گیری شکوفایی فیتوپلانکتون سمی تأثیر بگذارد (۳۵). این پارامترها در زیست‌بوم آبی سبب تغییرات عمده‌ای در زنجیره و شبکه غذایی منطقه می‌گردند. در پژوهشی گزارش گردید که فسفر کل با میزان کم‌تر از ۱۰۰ میکروگرم در لیتر اختلالی در زیست‌بوم ایجاد نخواهد کرد (۲۶). به‌هرحال، یکی از دلایل اصلی بروز شکوفایی جلبکی، افزایش و تغییر بالا در مقادیر نیتروژن و فسفر آب است. میزان غلظت نیتروژن کل مورد نیاز جهت شکوفایی جلبکی ۵۰۰ میکروگرم در لیتر است. در سیستم‌های دریاچه‌ای فلوریدا این آستانه ۷۰۰ میکروگرم در لیتر و در موارد محدود بین ۱۱۰۰-۱۰۰۰ میکروگرم در لیتر به‌عنوان یک حد بالاتر توصیه شده است (۳۶). سطوح نیتروژن کل برای رشد جلبک‌های مفید در مقابل جلبک‌های مزاحم (۰/۵-۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر) است (۳۷). میزان فسفر کل در هر دو سایت کلارآباد و عباس‌آباد کم‌تر از ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر در دوره نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد (۳۸). به‌هرحال، در صورت افزایش ناگهانی فسفر به‌واسطه ریزش سیلاب به محدوده پرورش ماهی، احتمال تغییر در تروفیکی منطقه وجود خواهد داشت. بنابراین توصیه می‌گردد محل استقرار قفس‌ها در فاصله‌های دور از ساحل و ورودی رودخانه‌ها قرار گیرد.

پژوهش‌ها نشان داد که نرخ رهاسازی میزان فسفر در رسوبات زیر قفس‌های پرورش ماهی طی سال‌های متممادی پرورش، می‌تواند تا ده‌ها برابر افزایش پیدا

پرورشی، نشت آلودگی‌های شیمیایی به محیط و هم‌چنین رسوب مواد غذایی و غیره از مهم‌ترین مواردی است که محیط اطراف قفس‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مطالعه، با بررسی همه جوانب و با استفاده از روش‌های مورد اعتماد، اطلاعات مناسب و گسترده‌ای را در اختیار پژوهش‌گران و سیاست‌گذاران قرار می‌دهد.

کشورهایی با کمبود منابع آبی است. کشور ایران، به‌عنوان یک کشور گرم و خشک، نیز با بحران آب روبرو است و بنابراین منطقی است که از سیستم پرورس در قفس استقبال نماید. اما با توجه به حساسیت بالای پرورش ماهیان در محیط‌های دریایی، ارزیابی اثرات محیطی این طرح‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. خطر تهاجم بیولوژیک گونه‌ها

منابع

1. FAO (Food and Agriculture Organization), (2016). The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome, Italy. 204p.
2. Shamseddini, S., & Jazayeri, S. (2012). Economic study of rainbow trout culture in cages (case study: Bidkan Dam). The 2nd national conference on cold-water fish farming development. Shahrekord, Iran. [In Persian]
3. Reza Nejad, R., Rafiei, G., & Bahramian, M. (2012). Cultivation of rainbow trout in a cage to increase the national production of aquatic animals. The 2nd national conference on cold-water fish farming development. Shahrekord, Iran. [In Persian]
4. Rowland, S. J., & Allan, G. L. (2006). Development of techniques and evaluation of the potential of cage culture of silver perch for cotton farms. 13th Australian Cotton Conference, Pp: 661-668.
5. Masser, M. (1988). What is Cage Culture? Southern Regional Aquaculture Center, Publication No. 160p.
6. Podemski, C. L., & Blanchfield, P. J. (2006). Overview of the environmental impacts of Canadian freshwater aquaculture. A Scientific Review of the Potential Environmental Effects of Aquaculture in Aquatic Ecosystems-5: Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. Ontario, Department of Fisheries and Oceans Canada.
7. Gale, P. (1999). Addressing Concerns for Water Quality Impacts from Large-Scale Great Lakes Aquaculture. Roundtable Discussion Habitat Advisory Board of the Great Lakes Fishery Commission and Great Lakes Water Quality Board of the International Joint Commission. Toronto, Ontario Ministry of the Environment, Canada.
8. Loya, Y. (2007). How to influence environmental decision makers? The case of Eilat (Red Sea) coral reefs. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 73, 35-53.
9. Yücel-Gier, G., Küçüksezgin, F., & Koçak, F. (2007). Effects of fish farming on nutrients and benthic community structure in the Eastern Aegean (Turkey). *Aquaculture Research*, 38 (3), 256-267.
10. Phillips, M. J., Beveridge, M. C. M., & Ross, L. G. (1985). The environmental impact of salmonids Cage culture on Inland fisheries: present status and future trends. *Journal Fish Biology*, 27, 123-137.
11. Diaz, M. M., Temporetti, P. F., & Pedrozo, F. L. (2001). Response of phytoplankton to enrichment from cage fish farm waste in Alicura Reservoir (Patagonia, Argentina). *Lakes Reservoirs. Research and Management*, 6, 151-158.
12. Shakouri, M. (2003). Impact of cage culture on sediment chemistry. A case study in Mjoifjordur (Doctoral dissertation, Dissertation (SHILAT). Tehran, Iran.
13. Kashindye, B. B., Nishda, P., Kayanda, R., Ngupula, G. W., Mashafi, C. A., & Ezekiel, C. N. (2015). Environmental impacts of cage culture in Lake Victoria: the case of Shirati Bay-Sota, Tanzania. *SpringerPlus*. 4 (1), 475.

14. Imanpour Namin, J., Safarbidi, K., Allaf Noveiriam, H., & Amini, K. (2021). Effects of cage culture of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* on phytoplankton and zooplankton communities (Case study: Golestan Reservoir 1, Gorgan, Iran). *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 20, 1-20.
15. Gowen, R. J., & Bradbury, N. B. (1987). The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*. 25, 563-575.
16. Valizadeh, S., & Shekari, Z. (2015). Evaluation of Iranian Leopold Matrix application in the Environmental Impact Assessment (EIA) of solid waste management options in Birjand city. *Iranian Journal of Health & Environ*. 8 (2), 249-262. [In Persian]
17. Makhdoum, M. (2008). Four points in evaluating the effects of development. *Journal of Environment and Development*, 2 (3), 9-12. [In Persian]
18. Alborzimanesh, M. (2011). A critique on common methods of summarizing and drawing conclusions from environmental impact assessment matrices. *Journal of Environment and Development*, 2 (3), 45-52. [In Persian]
19. Piri, H. (2011). Environmental Impact Assessment of the construction of Chah-Nime Dam in Zabul. *Town and Country Planning*, 3 (5), 145-163. [In Persian]
20. Esmailpour-Poodeh, S., & Van der Meer, J. (2021). An Introduction to Dynamic Energy Budget (DEB) Theory (1); Philosophy and Concepts. *Basin Science Letter*, 3, 195-203. [In Persian]
21. Lika, K., Kearney, M.R., Freitas, V., van der Veer, H. W., van der Meer, J., Wijsman, J. W. M., Pecquerie, L., & Kooijman, S. A. L. M. (2011). The "covariation method" for estimating the parameters of the standard Dynamic Energy Budget model I: Philosophy and approach. *Journal of Sea Research*. 66, 270-277.
22. Marques, G. M., Augustine, S., Lika, K., Pecquerie, L., Domingos, T., & Kooijman, S. (2018). The AmP project: Comparing species on the basis of dynamic energy budget parameters. *Journal of Plos Computational Biology*. 14 (5), 1-23.
23. Van der Meer, J. (2006). An introduction to Dynamic Energy Budget (DEB) models with special emphasis on parameter estimation. *Journal of Sea Research*. 56, 85-102.
24. Miki, K., Sano, M., & Bailly, D. (1992). The role and problems of coastal fish culture in Japan. *Oceanography*, 18, 385-395.
25. Esmailpour-Poodeh, S., Ghorbani, R., Salmanmahiny, A., Rezaei, H., & Kamyab, H. (2019). PhD Thesis: Environmental Impact Assessment of Suitable Sites for Sturgeon Farming in the Coasts of the Caspian Sea (Case Study: Golestan Province Coastal Area). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 106p. [In Persian]
26. Islam, M. S. (2005). Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Mar. Pollut. Bull.* 50, 48-61.
27. Gorlach-Lira, K., Pacheco, C., Carvalho, L. C. T., Melo Júnior, H. N., & Crispim, M. C. (2013). The influence of fish culture in floating net cages on microbial indicators of water quality. *Brazilian Journal of Biology*, 73 (3), 457-463.
28. Ola, H., & Hall, O. J. (1994). Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. III. Silicon. *Aquaculture*, 120, 305-318.
29. Hakanson, L. (1986). Environmental impact of fish cage farms. In: *Aquaculture - an Industry for the Future*. The Royal Swed. Acad. Eng. Sci., Stockholm, IVA Report, 308, 179-199.
30. Venturoti, G. P., Veronez, A. C., Salla, R. V., & Gomes, L. C. (2014). Phosphorus, total ammonia nitrogen and chlorophyll a from fish cages in a tropical lake (Lake Palminhas, Espírito Santo, Brazil). *Aquaculture Research*, 47 (2), 409-423.

31. Gondwe, M. J. S., Guildford, S. J., & Hecky, R. E. (2011). Carbon, nitrogen and phosphorus loadings from tilapia fish cages in Lake Malawi and factors influencing their magnitude. *Journal of Great Lakes Research*, 37, 93-101.
32. Tiziana, L. R., Simone, M., Eugenia, F., Benedetto, S., Gianluca, S., Roberto, D., & Antonio, M. (2002). Impact on the water column biogeochemistry of a Mediterranean mussel and fish farm. *Water Research*, 36, 713-721.
33. Stigebrandt, A. (1986). Modellberäkningar av en fiskodlings miljöbelastning. Report O-86004. Norwegian Institute of Water Research, Oslo. 28p.
34. Holby, O., & Hall, P. O. J. (1991). Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Marine Ecology Progress Series*, 70, 263-272.
35. Kato, S., Hirobe, H., & Maegawo, T. (1985). On the essential sea water parameters to discriminate between red tide and non red tide by discriminate analysis. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 51, 7-12.
36. Florida Department of Environmental Protection. (2003). Development of Florida Lake Nutrient Criteria: Summary and Synthesis. Tallahassee, USA.
37. ANZECC & ARMCANZ. (2000). Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. National Water Quality Management Strategy Paper No 4. Canberra, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand.
38. Farabi, S. M. V., Sharif Rouhani, M., Matinfar, A., Abdolhay, H., Negarestan, H., Pourang, N., Pourgholam, R., Fazli, H., Afraei, M., Nasrollah Zadeh, H., Behmanesh, S., Mohseni, M., Azari, A., Daryanabard, G., Najafpour, S., & Abedian, A. (2017). A comprehensive study of the southern Caspian Sea ecosystem with aim of establishing marine cage fish culture and aquaculture development. *Iranian Fisheries Science Institute*. 140p. [In Persian]
39. Kelly, L. A. (1992). Dissolved reactive phosphorus release from sediments beneath a freshwater cage aquaculture development in West Scotland. *Hydrobiologia*. 235/236, 567-572.
40. Meyer-Reil, L. A., & Koster, M. (2000). Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities. *Marine Pollution Bulletin*, 41 (1-6), 255-263.
41. Farabi, S. M. V. (2014). A comprehensive study on the southern part of the Caspian Sea with the aim of establishing cages and developing marine aquaculture (first phase). *Iran Fisheries Organization*. 318p. [In Persian]