مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

تأثیر پرورش ماهی در قفس بر خصوصیات کیفی آب اطراف قفس‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در حوضه جنوبی دریای خزر: مناطق کیاشهر و عباس‌آباد

سودابه کاظمی صیقلی[۱]، علی بانی[۱و۲*]، بهروز حیدری[۱و۲*]، بهروز ابطحی[۳و۴]، مهدی قدرتی شجاعی[۵]

[۱] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت.

[۲] پژوهشکده حوضه آبی خزر، دانشگاه گیلان، رشت.

[۳] گروه زیست‌شناسی و زیست فناوری دریا و آبزیان، دانشکده علوم فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

[۴] پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران

[۵] گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت‌مدرس، نور، مازندران

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۹/۰۲/۱۰
اصلاح: ۹۹/۰۸/۰۹
پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۵

کلمات کلیدی:
پرورش ماهی
دریای خزر
قزل‌آلا
مواد آلی

چکیده

در این مطالعه تأثیرات زیست‌محیطی پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس بر پارامترهای مختلف فیزیکوشیمیایی آب در دو مزرعه آبزی‌پروری کیاشهر و عباس‌آباد مورد بررسی قرار گرفت. میزان فسفر کل (TP)، نیتروژن آلی کل (TKN)، نیترات (NO_3^-)، کربن آلی کل (TOC)، کلروفیل a، درصد اشباعیت اکسیژن و اکسیژن محلول آب در زیر، شرق و غرب قفس‌ها اندازه‌گیری شد. در پایان دوره‌ی پرورش غلظت TKN، TOC و کلروفیل a در محل قفس‌ها و ۵۰ متری شرقی و غربی قفس‌ها نسبت به ایستگاه شاهد و ایستگاه‌های دور از قفس افزایش معنی‌دار داشت ($P<0.05$). همچنین غلظت متغیرهای مذکور در هر دو مکان پرورشی در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره با افزایش معنی‌دار همراه بود ($P<0.05$). برخلاف سایر متغیرها، غلظت فسفر کل در انتهای دوره نسبت به ابتدا کاهش داشت و میزان آن در محل قفس‌ها در مقایسه با ایستگاه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P>0.05$). نتایج نشان داد، پرورش ماهی قزل‌آلا در قفس در حوضه‌ی جنوبی دریای خزر می‌تواند باعث افزایش معنادار در پارامترهای کیفیت آب تا شعاع ۵۰ متری قفس‌ها شود که نشانگر افزایش بار آلی آب اطراف قفس‌ها است. با توجه به روند رو به رشد پرورش ماهی در قفس در این منطقه، اتخاذ شیوه‌های مدیریتی صحیح شامل استفاده از غذای با کیفیت و ضریب تبدیل غذایی پایین، جهت کاهش اثرات منفی آن بر محیط دریا ضروری است.

مقدمــه

تقاضای جهانی برای آبزیان، به عنوان یک منبع غنی غذایی به سرعت رو به رشد است. از سال ۱۹۹۰ تاکنون میزان صید آبزیان رشد کمی داشته، درحالی‌که میزان رشد در صنعت آبزی‌پروری چشمگیر بوده است (FAO, 2018). در دهه‌های اخیر،

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: bheidari@guilan.ac.ir
bani@guilan.ac.ir

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

پرورش آبزیان در قفس در بسیاری از کشورهای دنیا رواج یافته و با توجه به مزایایی که دارد مورد توجه آبزی‌پروری قرارگرفته است. امروزه در ایران نیز پرورش ماهی در قفس به دلیل مزایای اقتصادی (از جمله عدم نیاز به تأمین زمین و منبع آب ورودی و همچنین تبادل و تصفیه دائمی آب بین محیط اطراف و قفس‌ها) در مقایسه با سایر روش‌های آبزی‌پروری، مورد توجه پرورش‌دهندگان و سازمان‌های اجرایی قرارگرفته و در آب‌های شمال و جنوب کشور انجام می‌شود.

پرورش ماهی در قفس با وجود جنبه‌های مثبت اقتصادی و کارآفرینی، تأثیرات اجتناب‌ناپذیری بر محیط اطراف خود دارد. از جمله تأثیرات آن می‌توان به تولید پساب، انتشار مواد غذایی مصرف نشده و مدفوع، تغییر در کیفیت آب و رسوب در اطراف قفس و در نتیجه تغییر در جوامع زیستی آب و رسوب اشاره کرد (Lacson *et al*., 2019; Lima *et al*., 2019). افزایش مواد آلی در ستون آب به عنوان یکی از گسترده‌ترین تأثیرات این نوع پرورش در نظر گرفته می‌شود که در نتیجه آن مقدار زیادی مواد آلی به طور مستقیم وارد آب می‌شود (Guo and Li, 2003; Karakassis *et al*., 2000). تغییر در کیفیت آب موجب تحریک تولیدات اولیه شده که متعاقباً می‌تواند جوامع گیاهی و جانوری محیط اطراف به ویژه بستر را تحت تأثیر قرار دهد (Borja *et al*., 2009; Huang *et al*., 2011; Lacson *et al*., 2019; Lima *et al*., 2019). مواد دفعی در مزارع آبزی‌پروری با توجه به مقدار، زمان آزادسازی در محیط، ظرفیت جذب (Assimilative capacity) و توانایی تصفیه توده آب، محیط اطراف را تحت تأثیر قرار می‌دهند که همه متأثر از شرایط هیدرودینامیک (عمق، سرعت و جهت جریان آب) محل قرارگیری مکان پرورش است (Navas *et al*., 2011)؛ به عبارت دیگر، میزان تولید سالانه، استراتژی‌های پرورشی و میزان پراکنش مواد دفعی از جمله عواملی هستند که می‌توانند بر میزان اثرات محیطی ناشی از مزارع پرورش آبزیان تأثیرگذار باشند (Aguado-Giménez and García-García, 2004; Borja *et al*., 2009).

تغییرات در خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب به عنوان اولین تأثیر آبزی‌پروری می‌تواند تا فواصل معینی نسبت به محل قرارگیری قفس‌ها وجود داشته باشد (Guo *et al*., 2009; Karakassis *et al*., 2000; Yucel-Gier *et al*., 2007). میزان انتشار مواد آلی دفعی از مکان‌های پرورشی با توجه به شرایط محیط و حوضه آبی محل قرارگیری قفس‌ها متفاوت است؛ به‌طوری‌که در دریاچه‌های کم‌عمق ممکن است محدود به محل قفس‌ها باشد (Domínguez *et al*., 2001; Guo *et al*., 2009) و یا در محیط‌های دریایی تا فاصله معینی نسبت به قفس‌ها امتداد یابد (Aguado-Giménez and García-García, 2004; Borja *et al*., 2009). ارزیابی ترکیبات آلی در ستون آب به صورت اندازه‌گیری‌های مستقیم (Guo *et al*., 2009; Guo and Li, 2003) و یا با استفاده از مدل‌ها (Mazón *et al*., 2007; Riera *et al*., 2017) انجام می‌شود. از این‌رو سنجش میزان مواد آلی می‌تواند جهت مدیریت پایدار آبزی‌پروری و رسیدن به زمان بهینه دوره پرورش و دوره احیای محیط مورد استفاده قرار گیرد (Guo *et al*., 2009; Price *et al*., 2015).

بر اساس گزارش Islam (۲۰۰۵)، بررسی میزان تغییرات نیتروژن و فسفر به عنوان دو پارامتر کیفیت آب در محیط اطراف قفس‌ها نشان می‌دهد در ازای تولید هر تن ماهی، ۱۳۲/۵ کیلوگرم نیتروژن و ۲۵ کیلوگرم فسفر از طریق پساب حاصل از پرورش ماهی وارد محیط می‌شود که این میزان در ارتباط با مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان۱۲۴/۲-۴۷/۳ کیلوگرم نیتروژن و ۲۵/۶-۷/۵ کیلوگرم فسفر به ازای تولید یک تن از این گونه است. Yazdani و همکاران (۲۰۲۰) نیز با استفاده از روش غیرمستقیم میزان نیتروژن، فسفر و کربن آزاد شده به ازای تولید هر تن ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس در دریای خزر را به ترتیب ۷۳/۹۷۹، ۱۳/۸۹۳ و ۴۸۸/۳۵۳ کیلوگرم گزارش کردند. با توجه به این مطالعات و نتایج حاصل از مطالعات انجام شده روی جوامع پلانکتونی و بسترزی در برخی مزارع پرورش ماهی در حوضه‌ی جنوبی دریای خزر (Bagheri *et al*., 2016a,b; Bandpei *et al*., 2016; HaddadiMoghaddam *et al*., 2020) و همچنین به دلیل وجود ظرفیت بالای پرورش ماهی در قفس در سواحل ایرانی دریای خزر، انجام ارزیابی‌های محیطی در مناطق پرورشی ضرورت دارد. هدف اصلی این تحقیق بررسی تغییرات کیفیت آب در مناطق پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorynchus mykiss*) در قفس در حوضه جنوبی دریای خزر (منطقه‌ی عباس‌آباد و کیاشهر) است. بر این اساس میزان تغییرات مواد آلی آب محیط اطراف قفس‌ها در

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

ابتدا (آذر ماه) و انتهای دوره‌ی پرورشی (خرداد ماه) و همچنین میزان انتشار آن‌ها با توجه به جریان کلی غرب به شرق آب در دریای خزر مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه نمونه‌برداری

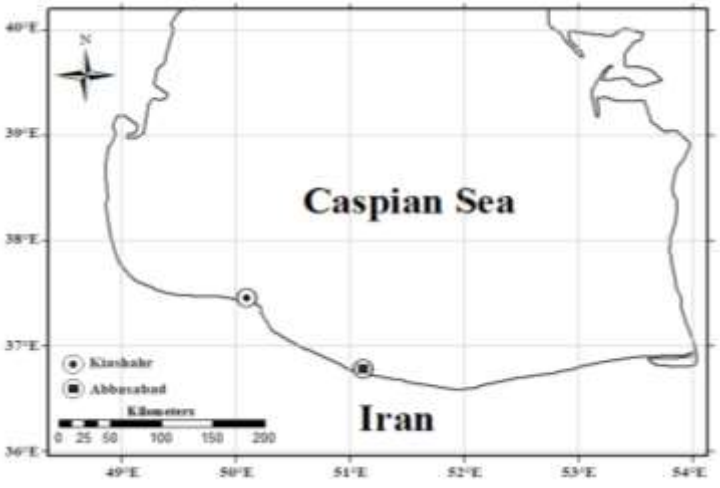
محل‌های نمونه‌برداری موردنظر، دو منطقه عباس‌آباد در استان مازندران (36o46’40.0”N و 51o7’27.6”E) و کیاشهر در استان گیلان (37°26’58.3”N و 50°6’15.0”E) بودند (شکل ۱) که هر دو مکان در فاصله دور از ساحل قرار داشتند. گونه پرورشی در قفس‌های بنا شده در این مناطق قزل‌آلای رنگین‌کمان و دوره‌ی پرورش با توجه به دمای آب از آذر تا خرداد بود. نمونه‌برداری‌ها در آذر ۱۳۹۶ و خرداد ۱۳۹۷ در ابتدا و پایان دوره‌ی پرورش انجام شد. در هر مکان تعداد ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری (با ۳ تکرار در هر ایستگاه) در فواصل مکانی مختلف نسبت به محل قفس‌ها (مرکز دسته‌ی قفس‌ها، فاصله‌ی ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ متری شرقی و غربی مکان‌های پرورش) و با توجه به جریان غالب غرب به شرق در جنوب خزر، ایستگاه شاهد در ۲۰۰۰ متر غربی قفس‌ها در نظر گرفته شد (برگرفته از Aguado-Giménez and García-García, 2004 با کمی تغییرات). در کیاشهر ۸ قفس و در عباس‌آباد ۵ قفس فعال (از ۸ قفس) وجود داشت. ویژگی‌های مزارع پرورشی مورد نمونه‌برداری به‌طور خلاصه در جدول ۱ آمده است. ماهیان پرورشی در هر دو مزرعه‌ی مورد مطالعه به صورت دستی و با استفاده از انواع غذاهای آماده تغذیه می‌شدند که حاوی ۴۲-۳۷ درصد پروتئین، ۱۹-۱۳ درصد چربی، ۱-۰/۶ درصد فسفر، ۱۴-۷ درصد خاکستر و ۴۵۰۰-۴۴۰۰ کیلوکالری انرژی قابل هضم بود. اندازه‌ی دانه‌های غذای مورد استفاده ۸-۶ میلی‌متر و میزان غذادهی به طور معمول ۲ الی ۳ بار در روز و با توجه به ضریب تبدیل غذایی (FCR) تخمین زده شده با در نظر گرفتن اندازه‌ی ماهی در طول دوره‌ی پرورش و دمای آب انجام می‌شد.

ثبت داده‌های میدانی

پارامترهایی ازجمله عمق، دما، شوری، pH، اکسیژن محلول (DO) و درصد اشباعیت اکسیژن (O_2%) توسط دستگاه Idronaut Ocean Seven 316 CTD در محل نمونه‌برداری به‌صورت پروفایل کامل ستون آب ثبت شدند.

نمونه‌برداری آب و سنجش‌های آزمایشگاهی

نمونه‌های آب با استفاده از بطری نمونه‌برداری Niskin از عمق ۱۰ متر برداشته شدند و در بطری‌های شستشو داده شده با اسید به همراه یخ به‌سرعت به آزمایشگاه منتقل و برای انجام اندازه‌گیری‌ها آماده شدند. پارامترهای کیفیت آب در این مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. تمامی آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های فاکتورهای ذکرشده با استفاده از روش‌های استاندارد American Public Health Association انجام شدند (APHA, 2005).



شکل ۱. مختصات جغرافیایی مزارع پرورشی نمونه‌برداری شده در کیاشهر (گیلان) و عباس‌آباد (مازندران)

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

جدول ۱. مشخصات مکان‌های مورد مطالعه در زمان نمونه‌برداری

موقعیت مکانی	مختصات جغرافیایی	فاصله از ساحل (km)	تعداد قفس‌ها	فاصله هر دو قفس (m)	عمق (m)	ارتفاع قفس (m)	قطر قفس (m)	برداشت (tons)	تعداد سال‌های فعالیت
کیاشهر (گیلان)	37°26’58.3”N 50°6’15.0”E	۶	۸	۴۴	۲۱	۸+۱*	۲۲	۱۶۰	۲
عباس‌آباد (مازندران)	36°46’40.0”N 51°7’27.6”E	۵	۸	۵۰	۳۰	۸+۱	۲۰	۱۰۰	۶

* ارتفاع قفس‌ها در هر سایت ۹ متر بود که ۸ متر در زیر آب و ۱ متر بالای آب قرار داشت.

جدول ۲. پارامترهای کیفیت آب بررسی شده در این مطالعه به همراه روش‌های استاندارد American Public Health Association.

پارامترها	نام اختصاری	روش استاندارد
کربن آلی کل (Total Organic Carbon)	TOC	روش احتراقی (B–5310)
اکسیژن‌خواهی شیمیایی (Chemical Oxygen Demand)	COD	هضم برگشتی باز (B-5220 Open Reflux Method)
اکیسژن‌خواهی بیوشیمیایی (Biochemical Oxygen Demand)	BOD	BOD سنج (D–5210)
فسفر کل (Total phosphorus)	TP	4500-P Stannous Chloride Method
نیتروژن آلی کل (Total Kjeldahl Nitrogen)	TKN	Macro-kjeldahl (4500-Norg)
نیترات	NO_3^-	بروسین (D-419 Brucine Colorimetric Method)
کلروفیل a	Chl-a	اسپکتروفتومتر
ذرات معلق کل (Total Suspended solids)	TSS	فیلتراسیون (تفاضل وزن خشک کاغذ فیلتر)

تجزیه و تحلیل آماری

بررسی توزیع نرمال تمامی داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk صورت گرفت. جهت مقایسه تغییرات پارامترهای محیطی در ابتدا و انتهای دوره‌ی پرورش در ایستگاه‌ها در هر کدام از مکان‌ها، از آزمون آماری Paired-Samples T-test و برای بررسی تفاوت بین دو مکان در هر زمان از نمونه‌برداری، از آزمون Independent-Samples T-test استفاده شد. آزمون آماری MDS (Multidimensional scaling) برای ارزیابی تغییرات مقادیر مواد مغذی و کلیه فاکتورهای محیطی اندازه‌گیری‌شده در هر دو زمان نمونه‌برداری در بین ایستگاه‌های مختلف و بین دو مکان به کار گرفته شد. همچنین برای مقایسه‌ی متغیرهای کیفیت آب در دو منطقه در هر دو زمان نمونه‌برادری و یافتن مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار، آزمون مؤلفه‌ی اصلی (PCA) انجام شد. تمامی آزمون‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 19 و Primer 6 انجام و سنجش معنی‌داری آماری در سطح ٪۹۵ در نظر گرفته شد.

نتایـج

تغییرات پروفایل دما، شوری، میزان اکسیژن محلول و درصد اشباعیت اکسیژن از سطح آب تا بستر در محل قفس‌های پرورش ماهی در مناطق مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، در ابتدای دوره‌ی پرورشی که هم‌زمان با فصل سرد بود (آذر ماه)، میزان این پارامترها از سطح تا بستر دریا در هر دو منطقه با تغییرات کمی همراه بود؛ این

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

در حالی است که میزان آن‌ها در انتهای دوره‌ی پرورش (خرداد ماه) در ستون آب دارای تغییرات شدیدتری بود. میزان شوری و همچنین اکسیژن محلول در هر دو منطقه پرورشی در خرداد ماه نسبت به آذر ماه کمتر بود.

میزان فاکتورهای کیفیت آب پیرامون قفس‌های پرورش ماهی مورد مطالعه در طول دوره‌ی چند ماهه‌ی فعالیت پرورشی در هر دو مکان کیاشهر و عباس‌آباد با افزایش نسبی همراه بود (شکل‌های ۳ و ۴)؛ به استثنای فسفر کل که میزان آن در پایان دوره نسبت به مرحله اول نمونه‌برداری کاهش داشت. با توجه به نتایج آزمون‌ها، در کیاشهر تمامی فاکتورهای محیطی به جز درصد اشباعیت اکسیژن در دو زمان ابتدا و انتهای دوره‌ی پرورشی تفاوت معنی‌دار نشان دادند ($P<۰/۰۵$). در عباس‌آباد نیز به غیر از فاکتورهای کلروفیل a و اکسیژن محلول، همه‌ی پارامترهای کیفیت آب، در دو زمان ابتدا و انتهای دوره‌ی پرورش ماهی تفاوت معنی‌داری داشتند ($P<۰/۰۵$).

در انتهای دوره‌ی پرورش در کیاشهر میزان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و کربن آلی کل در محل قفس‌ها و دو ایستگاه ۵۰ متری شرقی و غربی، نسبت به ایستگاه شاهد در ۲۰۰۰ متر غربی بیشتر بوده و دارای اختلاف معنی‌دار بودند ($P<۰/۰۵$). در عباس‌آباد هم مقادیر این دو فاکتور در محل قفس‌ها و دو ایستگاه ۵۰ متری شرقی و غربی، نسبت به ایستگاه شاهد بالاتر بوده و دارای اختلاف معنی‌دار بودند ($P<۰/۰۵$). همچنین میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی در هر دو مکان پرورشی تنها در ایستگاه قفس‌ها نسبت به ایستگاه شاهد افزایش معنی‌دار داشت ($P<۰/۰۵$).

در انتهای دوره‌ی پرورش در هر دو مزرعه پرورشی، مقادیر فسفر کل و ذرات معلق کل زیر قفس‌ها در مقایسه با ایستگاه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P>۰/۰۵$). نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری متغیرهای نیتروژن آلی کل و کلروفیل a در کیاشهر افزایش معنی‌دار این پارامترها را در ایستگاه قفس و ۵۰ متری شرقی نسبت به ایستگاه شاهد نمایان ساخت ($P<۰/۰۵$). در ایستگاه ۵۰ متری غربی میزان نیتروژن آلی کل نسبت به ایستگاه شاهد افزایش معنی‌دار داشت ($P<۰/۰۵$)؛ درحالی‌که مقدار کلروفیل a افزایش معنی‌داری در قیاس با ایستگاه کنترل نداشت ($P>۰/۰۵$). افزایش معنی‌دار در مقادیر این پارامترها در ایستگاه قفس و نزدیک به قفس (۵۰ متری شرقی و غربی) نسبت به ایستگاه شاهد در عباس‌آباد هم قابل مشاهده بود ($P<۰/۰۵$). همچنین تفاوت غلظت نیترات در بین ایستگاه‌های قفس و نزدیک به قفس و ایستگاه شاهد معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$).

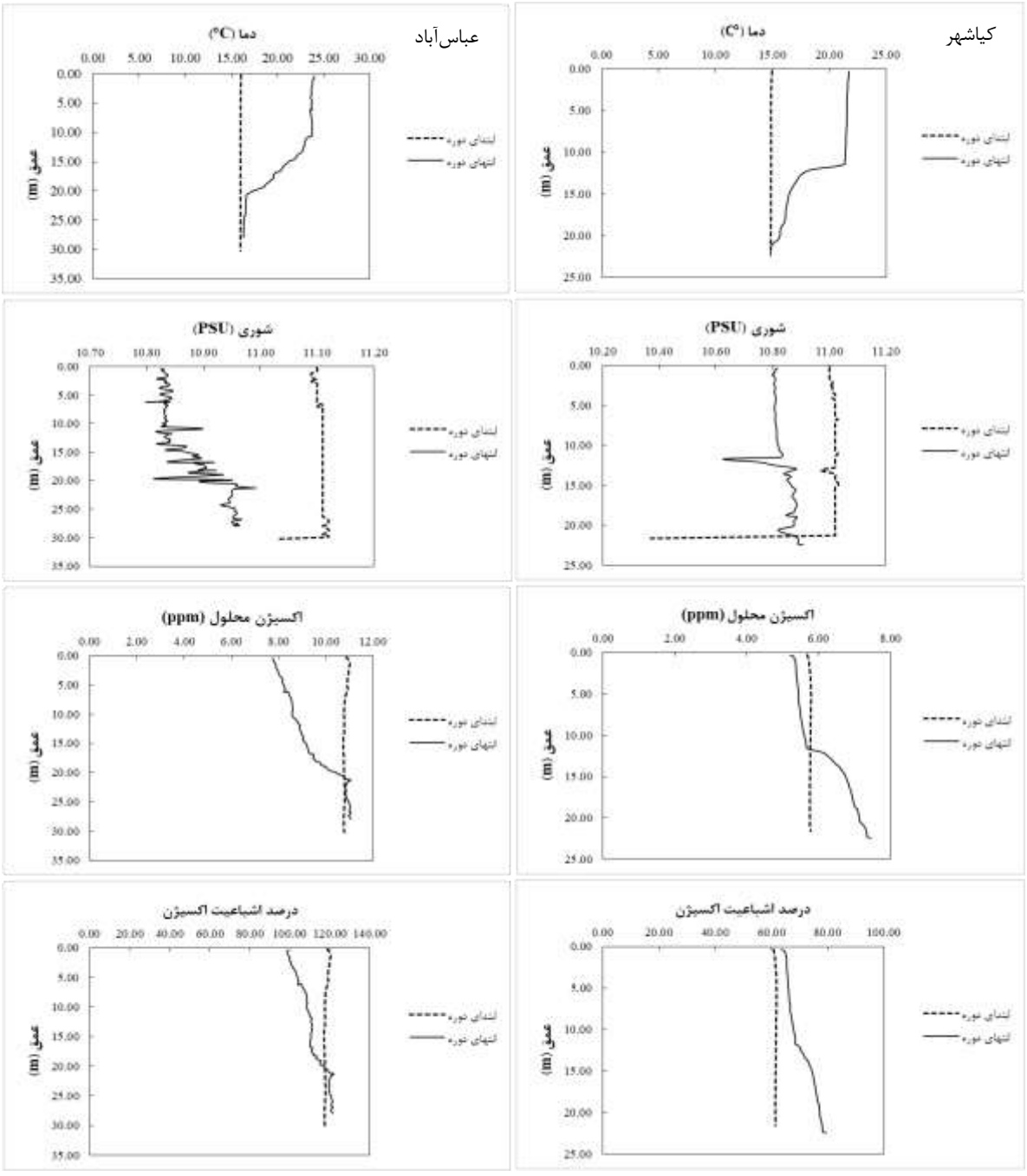
غلظت فاکتورهای اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، کربن آلی کل و ذرات معلق کل در ابتدای دوره‌ی پرورشی، در دو مکان مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار نداشتند ($P>۰/۰۵$)؛ در صورتی‌که این تفاوت در پایان دوره معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). همچنین مقادیر فسفر کل و اکسیژن‌خواهی شیمیایی در هر کدام از مرحله‌های ابتدا و انتهای دوره‌ی پرورشی در بین دو مکان کیاشهر و عباس‌آباد اختلاف معنی‌دار نشان ندادند ($P>۰/۰۵$). در ارتباط با میزان کلروفیل a، نیتروژن آلی کل، پروفایل شوری، دما، اکسیژن محلول و درصد اشباعیت اکسیژن هم در ابتدا و هم در انتهای دوره بین دو مکان کیاشهر و عباس‌آباد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). نیترات در ابتدای دوره در دو مکان تفاوت معنی‌دار داشت ($P<۰/۰۵$)؛ در صورتی‌که در پایان دوره اختلاف معنی‌دار نشان نداد ($P>۰/۰۵$).

بر اساس نتایج آنالیز MDS، بین کیاشهر و عباس‌آباد از نظر کیفیت آب داخل قفس‌ها و محیط اطراف تمایز وجود داشت (شکل ۵-الف). این تمایز در ابتدا و انتهای دوره پرورش در هر کدام از مکان‌های پرورشی قابل مشاهده بود (شکل ۵-ب). آزمون PCA نشان داد در عباس‌آباد دو مؤلفه‌ی اول مسئول ۶۱/۸ درصد واریانس کل پارامترها در بین نمونه‌ها بودند (شکل ۶-الف). مؤلفه اول (PC1) بیانگر ۳۵/۷ درصد و مؤلفه دوم (PC2) بیانگر ۲۶/۱ درصد بود. متغیرهای نیترات (۰/۵۲۴)، ذرات معلق کل (۰/۴۴۵)، فسفر کل (۰/۴۲۰-) و دما (۰/۳۴۷) به ترتیب دارای بیشترین وزن در مؤلفه اول بودند که نشان‌دهنده‌ی رابطه عکس فسفر کل با سه متغیر دیگر در طول زمان نمونه‌برداری است؛ بدین معنی که با افزایش سه متغیر دیگر، فسفر کل کاهش یافته است و برعکس. در مؤلفه دوم بیشترین وزن به ترتیب مربوط به نیتروژن آلی کل (۰/۴۶۱)، کربن آلی کل

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

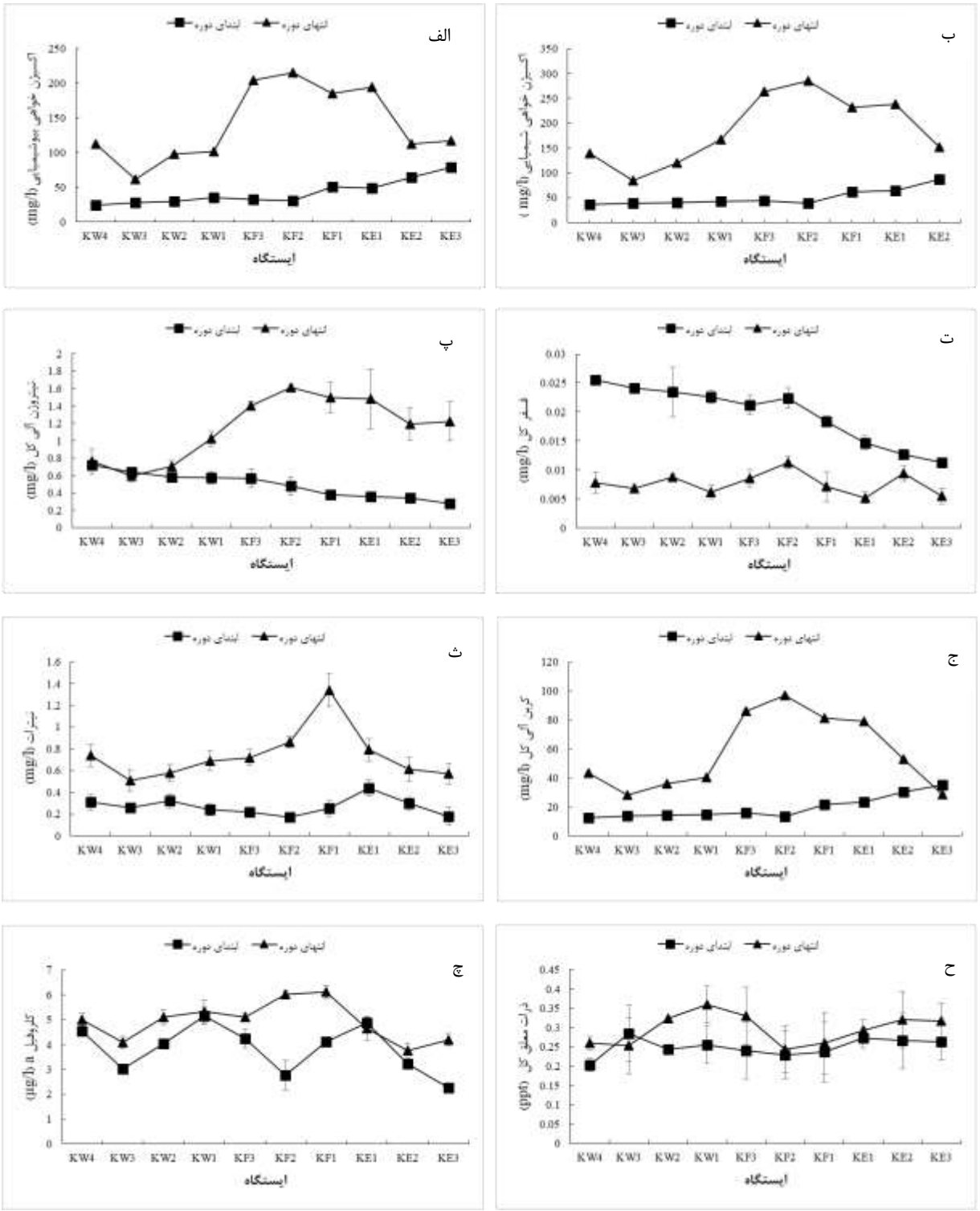
(۰/۴۱۰)، اکسیژن محلول (۰/۳۹۱) و شوری (۰/۳۸۹-) بودند که نمایانگر رابطه‌ی عکس شوری با سایر متغیرها در طول زمان نمونه‌برداری است. همچنین در کیاشهر دو مؤلفه‌ی اول مسئول ۶۷/۹ درصد واریانس کل پارامترها در بین نمونه‌ها بودند (شکل ۶-ب). مؤلفه اول (PC1) بیانگر ۵۱/۱ درصد و مؤلفه دوم (PC2) بیانگر ۱۶/۸ درصد بود. متغیرهای نیترات (۰/۴۳۷)، نیتروژن آلی کل (۰/۴۱۹)، کربن آلی کل (۰/۴۰۶) و فسفر کل (۰/۳۷۴-) به ترتیب دارای بیشترین وزن در مؤلفه اول بودند که نشان می‌دهد فسفر کل با سه متغیر دیگر رابطه‌ی عکس دارد. در مؤلفه دوم بیشترین وزن به ترتیب مربوط به اکسیژن محلول (۰/۶۱۷-)، ذرات معلق کل (۰/۴۲۶)، دما (۰/۳۸۵-) و کلروفیل a (۰/۳۶۲-) بود که بیانگر رابطه‌ی عکس میزان ذرات معلق با سایر پارامترها است. بر اساس نمودارهای به دست آمده از آزمون PCA، تفاوت واضحی بین زمان‌های اول و دوم نمونه‌برداری مشاهده می‌شود.



شکل ۲. تغییرات پروفایل دما، درصد اشباعیت اکسیژن، شوری و اکسیژن محلول در آب در محل قفس‌ها در مکان‌های پرورش ماهی کیاشهر (نمودارهای سمت راست) و عباس‌آباد (نمودارهای سمت راست) ابتدای دوره پرورش (خط چین) و انتهای دوره پرورش (خطوط ممتد).

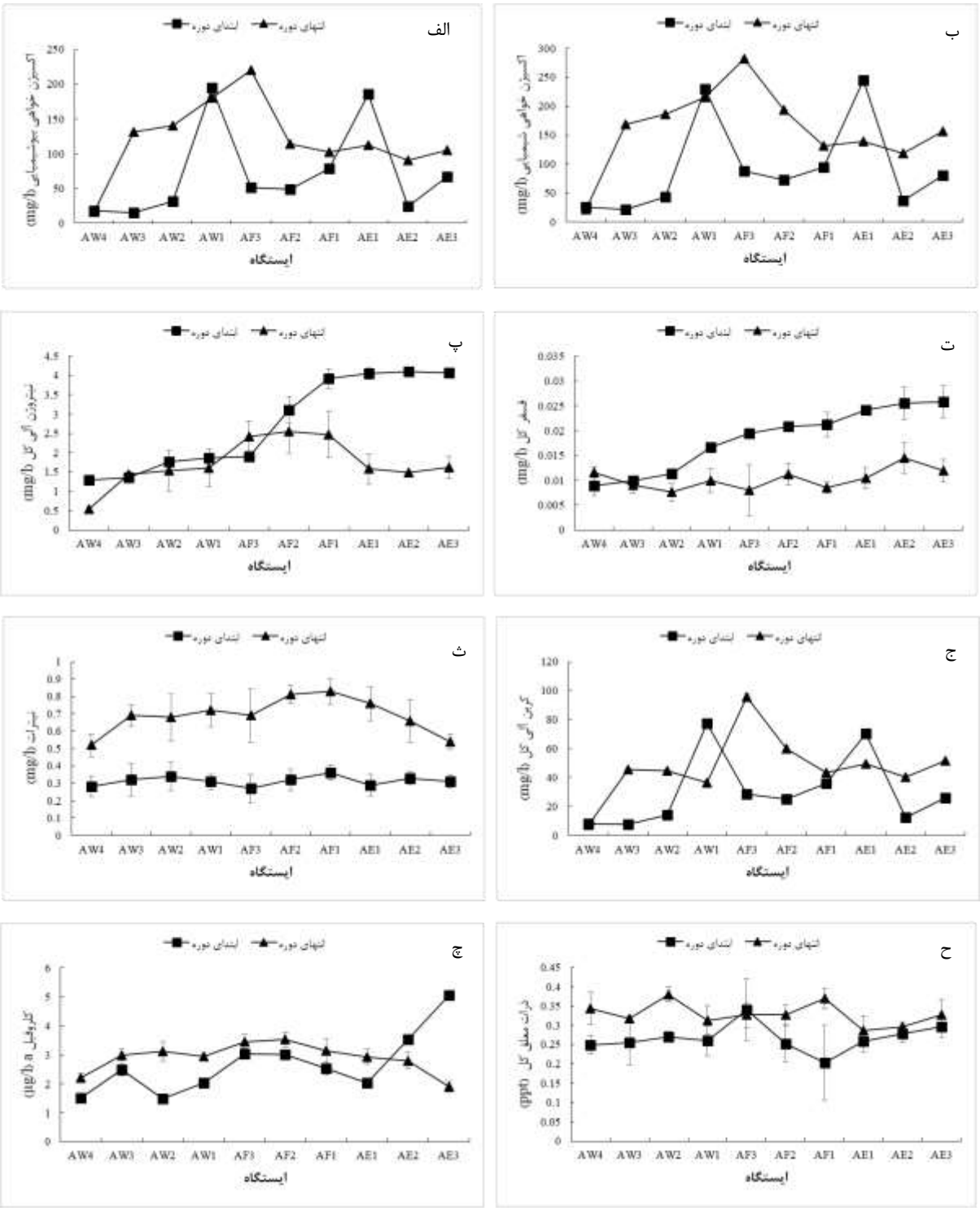
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]



شکل ۳. تغییرات میزان الف) اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، ب) اکسیژن‌خواهی شیمیایی، پ) نیتروژن آلی کل، ت) فسفر کل، ث) نیترات، ج) کربن آلی کل، چ) کلروفیل **a** و ح) ذرات معلق در طول دوره‌ی پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان در قفس در کیاشهر (مرحله **I** و II نمونه‌برداری)؛ ایستگاه‌ها: KW4: ۲۰۰۰ متر غربی، KW3: ۵۰۰ متر غربی، KW2: ۲۰۰ متر غربی، KW1: ۱۰۰ متر غربی، KF3: ۵۰ متر غربی، KF2: داخل دسته قفس‌ها، KF1: ۵۰ متر شرقی، KE1: ۱۰۰ متر شرقی، KE2: ۲۰۰ متر شرقی، KE3: ۵۰۰ متر شرقی.

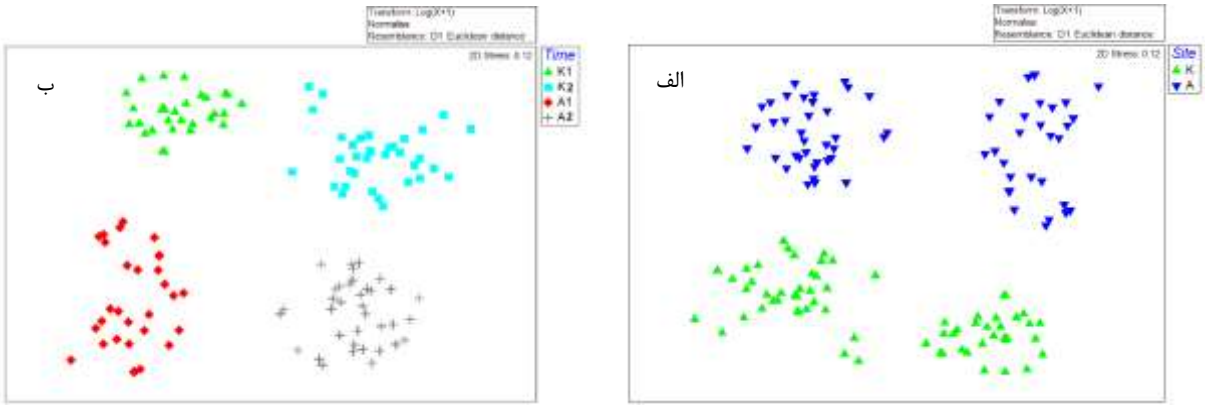
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]



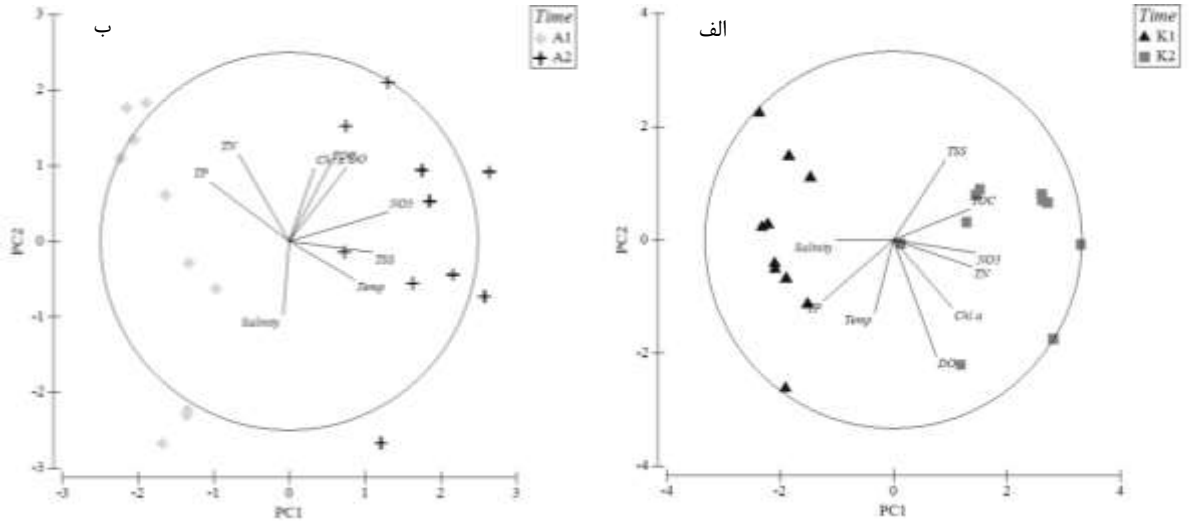
شکل ۴. تغییرات میزان الف) اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، ب) اکیسژن‌خواهی شیمیایی، پ) نیتروژن آلی کل، ت) فسفر کل، ث) نیترات، ج) کربن آلی کل، چ) کلروفیل **a** و ح) ذرات معلق در طول دوره‌ی پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان در قفس در عباس‌آباد؛ ایستگاه‌ها: AW4: ۲۰۰۰ متر غربی، AW3: ۵۰۰ متر غربی، AW2: ۲۰۰ متر غربی، AW1: ۱۰۰ متر غربی، AF3: ۵۰ متر غربی، AF2: داخل دسته قفس‌ها، AF1: ۵۰ متر شرقی، AE1: ۱۰۰ متر شرقی، AE2: ۲۰۰ متر شرقی، AE3: ۵۰۰ متر شرقی.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]



شکل ۵. آنالیز MDS که نمایانگر تمایز بین الف) دو مکان عباس‌آباد (A) و کیاشهر (K) در طول کل دوره‌ی پرورش و ب) دو زمان نمونه‌برداری (اول و پایان) در هر کدام از مکان‌های عباس‌آباد (K1 و K2) و کیاشهر (A1 و A2) است.



شکل ۶. آزمون مؤلفه‌ی اصلی (PCA) جهت مقایسه‌ی بین متغیرهای کیفیت آب شامل دما (Temp)، شوری (Salinity)، اکسیژن محلول (DO)، نیتروژن آلی کل (TKN)، فسفر کل (TP)، کربن آلی کل (TOC)، ذرات معلق کل (TSS) و کلروفیل a (Chl a) در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری از مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا در الف) عباس‌آباد (A1 و A2) و ب) کیاشهر (K1 و K2) در حوضه جنوبی دریای خزر.

بحث

بر اساس نتایج به دست آمده، فعالیت پرورش ماهی در قفس در هر دو مکان پرورشی مورد مطالعه با تغییرات معنی‌داری در میزان برخی از پارامترهای کیفیت آب در محل قفس‌ها و ایستگاه‌های ۵۰ متری اطراف آن‌ها همراه بود که نمایانگر افزایش مواد آلی در طول دوره‌ی پرورش است. ارزیابی کیفیت آب در محل قفس‌ها و اطراف آن‌ها به عنوان اولین سطح از تغییرات و منشأ سطوح بعدی تغییرات زیست‌محیطی (اعم از آب و رسوب)، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مزارع پرورش ماهی در قفس، به عنوان منابع تولید پسماندهای حاوی مواد آلی در حوضه‌های آبی شناخته می‌شوند که بیشتر آن ناشی از ورود حجم بالای غذای خورده نشده و فضولات حاوی غذای هضم نشده و پسماندهای متابولیکی محلول در آب همچون آمونیاک و اوره است (Pittenger *et al*., 2007; Price *et al*., 2013; Price *et al*., 2015; Riera *et al*., 2017). در واقع تولید مواد آلی از طریق مزارع پرورش که دارای تراکم بالایی از آبزیان هستند، بیشتر از محیط طبیعی است (Pittenger *et al*., 2007)؛ در نتیجه افزایش مواد آلی در ستون آب محل قفس‌ها و اطراف آن‌ها قابل مشاهده خواهد بود. با توجه به مطالعات انجام شده در ارتباط

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

با کیفیت آب اطراف مزارع پرورش ماهی، افزایش مواد آلی دارای اثرات مستقیمی روی کیفیت آب است که این تغییرات در میزان ترکیبات نیتروژنی، فسفری و کربن آلی (به عنوان عوامل محدودکننده‌ی تولیدات اولیه) به صورت ثانویه می‌تواند روی تولیدات اولیه در ستون آب (از جمله شکل‌گیری بلوم‌های جلبکی) تأثیرگذار باشد (Jiang *et al*., 2012; Price *et al*., 2015; Wu *et al*., 2017).

در مطالعه‌ی حاضر با استفاده از آنالیز آماری MDS تمایز بین پارامترهای کیفیت آب در هر دو مکان پرورشی مورد مطالعه، در ابتدا و انتهای دوره قابل مشاهده بود. بر اساس آزمون PCA، الگوی تمایز بین زمان‌های نمونه‌برداری در کیاشهر مرتبط با افزایش غلظت نیترات و نیتروژن آلی کل در انتهای دوره پرورش بود. در مکان پرورشی عباس‌آباد، نیترات و میزان ذرات معلق کل به عنوان متغیرهای مؤثر در ایجاد تمایز بین دو زمان نمونه‌برداری شناخته شدند. از این رو می‌توان فعالیت پرورشی را به عنوان عاملی مؤثر در ایجاد تغییرات در انتهای دوره پرورش دانست.

مقایسه‌ی آماری نتایج در هر دو مکان کیاشهر و عباس‌آباد نشان داد غلظت نیتروژن آلی کل و نیترات در محل قفس‌ها و ۵۰ متری اطراف قفس‌ها در پایان دوره‌ی پرورش نسبت به ابتدای دوره افزایش معنی‌دار داشته است؛ همچنین مقایسه‌ی آماری میزان نیتروژن آلی کل در ایستگاه‌های مذکور در پایان دوره نسبت به ایستگاه شاهد و ایستگاه‌های دور از قفس در هر دو مکان مورد مطالعه افزایش معنی‌دار داشته است که با نتایج مطالعات قبلی در نقاط دیگر دنیا مطابقت دارد (Guo *et al*., 2009; Price and Morris, 2013; Price *et al*., 2015). در بسیاری از مطالعات روی کیفیت آب مزارع پرورش ماهی در قفس در مناطق دریایی مختلف که دارای گونه‌های متفاوت با استراتژی‌های پرورشی مختلف بودند، مقدار نیتروژن آزاد شده از این مزارع قابل توجه بوده است؛ به طوری که تا ۹۵ درصد میزان نیتروژن اطراف قفس می‌تواند ناشی از غذای مصرفی باشد که به صورت پسماند و یا مواد ترشحی از گونه‌های پرورشی وارد محیط شده است (Price *et al*., 2015). Bouwman و همکاران در سال ۲۰۱۳ نشان دادند ۶۴ درصد از نیتروژن غذای مصرفی مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به صورت محلول و یا به صورت مستقیم از طریق ذرات پسماند وارد آب اطراف قفس‌ها می‌شود (Bouwman *et al*., 2013). بررسی‌ها نشان می‌دهد در ازای تولید هر تن از این گونه پرورشی ۱۲۴/۲-۴۷/۳ کیلوگرم نیتروژن تولید شده و وارد محیط اطراف می‌شود (Islam, 2005; Yazdani *et al*., 2020)؛ بنابراین وجود اختلاف معنی‌دار بین میزان ترکیبات نیتروژنی در پایان دوره پرورش نسبت به ابتدای دوره و همچنین در ایستگاه زیر قفس‌ها و فواصل ۵۰ متری نسبت به ایستگاه شاهد و حتی ایستگاه‌های دور از قفس‌ها نشان از تأثیر فعالیت پرورشی در این افزایش دارد.

میزان فسفر کل در انتهای دوره‌ی پرورش در تمامی ایستگاه‌ها در هر دو مکان نمونه‌برداری نسبت به ابتدای دوره کاهش داشت که می‌تواند ناشی از تغییرات فصلی باشد (Nasrollahzadeh *et al*., 2008). با توجه به ارتباط مستقیم بین جمعیت فیتوپلانکتون‌ها و میزان فسفر در محیط‌های دریایی و نقش این پارامتر در تولیدات اولیه، به نظر می‌رسد به دلیل بالا رفتن دمای آب و به دنبال آن شکوفایی فیتوپلانکتون‌ها در فصل بهار، میزان مصرف فسفر توسط این موجودات نسبت به زمستان افزایش خواهد یافت؛ از این‌رو می‌توان شاهد کاهش میزان فسفر کل در این فصل نسبت به ابتدای دوره پرورش در فصل سرد بود (Dolman and Wiedner, 2014; Xu *et al*., 2010). همچنین در پایان دوره پرورش در هر دو مکان مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری بین میزان فسفر کل در محل قفس‌ها و ایستگاه‌های نزدیک به قفس‌ها با ایستگاه‌های دور از قفس و ایستگاه شاهد مشاهده نشد. این عدم تفاوت در میزان فسفر کل آب اطراف قفس با شرایط طبیعی می‌تواند به دلیل پایین بودن درصد فسفر (۱-۰/۶) در ترکیب غذای ماهیان قزل‌آلای پرورشی در هر دو مکان مورد بررسی باشد. در مطالعات انجام شده در حوزه جنوبی دریای خزر، افزایش جمعیت فیتوپلانکتون‌ها در محیط اطراف قفس‌ها گزارش شده است (Bagheri *et al*. 2016a; Bandpei *et al*., 2016). قانون حداقل یا لیبیگ (Liebig's law of the minimum) بیان می‌کند با افزایش مصرف فسفر توسط فیتوپلانکتون‌ها در فصل بهار و درنتیجه کاهش میزان فسفر در محیط، این ماده مغذی به‌عنوان یک عامل محدودکننده در تولیدات اولیه مطرح است؛ از این‌رو فسفر اضافی که از قفس وارد ستون آب می‌شود توسط فیتوپلانکتون‌ها مصرف می‌شود

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

(Dolman and Wiedner, 2014; Xu *et al*., 2010). در بررسی‌های انجام‌شده در زمینه‌ی تغییرات کیفیت در ستون آب اطراف قفس‌های ماهیان سالمون در نقاط مختلفی ازجمله شمال غرب اقیانوس آرام (Nash, 2001)، شیلی (Soto and Norambuena, 2004) و نیوفاوندلند کانادا (Tlusty and Robin, 2005)، تغییرات و افزایش معنی‌داری در غلظت ترکیبات فسفری در مقایسه با ایستگاه‌های شاهد مشاهده نشده است که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

کربن آلی کل نیز به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مهم و دخیل در تولیدات اولیه ازجمله ترکیبات آلی است که در سنجش کیفیت ستون آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jiang *et al*., 2012; Price *et al*., 2015). افزایش این متغیر در محیط می‌تواند منجر به یوتروفیکاسیون و در نتیجه تغییر در تنوع جوامع زیستی در ستون آب و بستر شود؛ از این رو می‌تواند به عنوان شاخصی برای سلامت اکوسیستم اطراف قفس‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Kalantzi and Karakassis, 2006). بر اساس نتایج این مطالعه، غلظت کربن آلی کل در آب محل قفس‌ها و در دو ایستگاه ۵۰ متری در هر دو مکان پرورشی نسبت به ابتدای دوره افزایش داشته است. همچنین میزان این متغیر در ایستگاه‌های مذکور در مقایسه با ایستگاه شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بود. این افزایش نشان‌دهنده تأثیر حجم بالای ماهیان پرورشی در محل قرارگیری قفس‌ها و ورود این ماده آلی از طریق پسماند غذایی مزارع مورد مطالعه به آب اطراف است. از این‌رو با بالا رفتن غلظت این ماده آلی در آب، افزایش جمعیت فیتوپلانکتون‌ها و به دنبال آن تغییر در دیگر سطوح زنجیره غذایی دور از انتظار نخواهد بود. این یافته با نتایج پژوهش Jiang و همکاران (۲۰۱۲) که روی سه مزرعه‌ی پرورش ماهی در قفس در چین انجام شده است، مطابقت دارد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این مزارع به‌عنوان منابع تولید کربن آلی هستند.

میزان کلروفیل a در هر دو مکان عباس‌آباد و کیاشهر در پایان دوره پرورش نسبت به ابتدای دوره‌ی پرورش دارای افزایش بود که این افزایش در محل قفس‌ها و اطراف آن‌ها نسبت به ایستگاه شاهد معنی‌دار بود. با توجه به مطالعات انجام شده روی جوامع فیتوپلاکتونی اطراف مزارع پرورش ماهی در حوضه‌ی جنوبی دریای خزر، افزایش جمعیت فیتوپلانکتونی در محل قفس‌ها و فواصل ۵۰ متری اطراف قفس‌ها قابل مشاهده است (Bagheri *et al*., 2016a; Bandpei *et al*., 2016). در واقع به دلیل فعالیت پرورشی و افزایش مواد آلی در این محل‌ها و به دنبال آن افزایش جمعیت فیتوپلانکتون‌ها، میزان کلروفیل a نیز بالا خواهد رفت. از سوی دیگر تغییرات فصلی و در نتیجه‌ی آن افزایش جمعیت فیتوپلانکتونی در فصل بهار، می‌تواند موجب افزایش میزان کلروفیل a در محیط شود.

اکسیژن‌خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی به عنوان دو پارامتر مهم دیگر جهت سنجش مواد آلی آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نمایان ساخت میزان این دو متغیر در هر دو مکان مورد نظر در خرداد ماه نسبت به ابتدای دوره افزایش معنی‌دار داشته است. بالاتر بودن میزان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در ایستگاه‌های زیر قفس و ۵۰ متری شرقی و غربی و همچنین بالا بودن میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی در ایستگاه زیر قفس نسبت به ایستگاه شاهد و سایر ایستگاه‌های دور از قفس‌ها در هر دو مکان پرورشی افزایش بار آلی آب اطراف قفس‌ها را تأیید می‌کند که ناشی از حجم بالای ماهیان پرورشی و عمل غذادهی است.

مقایسه‌ی نتایج دو منطقه عباس‌آباد و کیاشهر تمایز بین این دو منطقه را نشان داد که نتایج آزمون MDS تأییدی بر وجود این تمایز است. این تمایز بیشتر متأثر از پارامترهای مرتبط با شرایط طبیعی و محیطی از جمله دما، شوری، میزان و اکسیژن محلول است. همچنین در انتهای دوره‌ی پرورش میزان متغیرهایی چون اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، کربن آلی کل و کلروفیل a در ایستگاه قفس و ۵۰ متری در کیاشهر نسبت به عباس‌آباد به طور معنی‌داری بیشتر بود که ممکن است به دلیل بالاتر بودن حجم تولید ماهی در کیاشهر باشد. این در حالی است که مقادیر نیتروژن آلی کل و ذرات معلق کل در انتهای دوره‌ی پرورش در عباس‌آباد نسبت به کیاشهر به طور معنی‌داری بالاتر بود و میزان نیترات در این زمان بین دو مکان پرورشی تفاوت معناداری نداشت. وجود چنین اختلافی ممکن است به دلیل تعداد دفعات غذادهی بیشتر و یا استفاده از غذای با کیفیت پایین‌تر در عباس‌آباد باشد.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

شرایط پرورشی و نوع مدیریت آن، عامل اصلی و مؤثر بر میزان اثرات محیطی ناشی از پرورش آبزیان در قفس است. غذادهی اصولی همراه با محاسبات دقیق باعث کاهش پسماند غذا شده و دامنه‌ی افزایش مواد آلی در ستون آب را محدود می‌کند؛ از آنجایی که میزان غذادهی به ماهیان پرورشی با توجه به ضریب تبدیل غذایی تخمین زده شده متغیر است، این ضریب می‌تواند به عنوان یکی از عوامل تعیین‌کننده در میزان پسماند غذایی و فضولات ورودی از مزارع پرورشی به محیط اطراف قفس‌ها باشد. Varol در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۹ نشان داد میزان فاکتورهای کیفیت آب به‌استثنای DO و اکسیژن‌خواهی شیمیایی در ایستگاه‌های مختلف (۰ تا ۱۰۰ متر) در اطراف قفس‌های پرورش ماهی قزل‌آلا و همچنین در بین مزارع پرورشی مختلف در منطقه‌ی Keban مشابه بود. او دلایل این عدم تفاوت معنی‌دار را ضریب تبدیل غذایی پایین، استفاده از غذاهای باکیفیت در مزارع مورد بررسی، بالا بودن نرخ رقیق‌سازی و یا تصفیه (dilution rates) و کوتاه بودن دوره تصفیه آب در آن حوضه آبی بیان کرد (Varol, 2019). همچنین در مطالعاتی که در مناطق جغرافیایی مختلف با استراتژی‌های پرورشی متفاوت صورت گرفته است، مشخص شده که با به‌کارگیری شیوه‌های مدیریتی مدرن، مواد مغذی ستون آب در محدوده‌ی اطراف قفس‌ها از حد نرمال تجاوز نمی‌کند (Price and Morris, 2013; Price *et al*., 2015).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد پرورش ماهی در قفس می‌تواند باعث افزایش معنادار در میزان برخی از پارامترهای کیفیت آب در محل قفس‌ها و اطراف آن شود که این موضوع نمایانگر فرآیند افزایش مواد آلی آب در راستای فعالیت پرورشی است. البته در این مطالعه این افزایش تنها تا شعاع ۵۰ متری قفس‌ها قابل مشاهده بود که با بالا رفتن میزان تولید ماهی در این مزارع ممکن است به شعاع پراکنش مواد آلی اضافه شود. همچنین عدم تفاوت معنی‌دار بین ایستگاه‌های شرقی و غربی نشان از عدم تأثیر جریان آبی غالب غرب به شرق در جنوب دریای خزر دارد، درصورتی‌که جریانات آبی محلی ممکن است موجب کوتاه شدن زمان تصفیه آب و محدود شدن افزایش بار مواد آلی به محل قفس‌ها شوند. با این وجود، با توجه به روند رو به رشد این صنعت در حوضه‌ی جنوبی دریای خزر و شرایط منحصربه‌فرد این دریا، برای کاهش تأثیرات منفی این نوع از آبزی‌پروری به‌کارگیری شیوه‌های مدیریتی مدرن و مناسب با شرایط زیست‌محیطی در دریای خزر از جمله استفاده از غذای با کیفیت و ضریب تبدیل غذایی پایین و توجه به فاصله قفس‌ها و صدور مجوز بهره‌برداری بر اساس ظرفیت تحمل (Carrying Capacity) منطقه لازم و ضروری است. همچنین بررسی و پایش مزارع پرورش ماهی طی چند سال متوالی و دسترسی به داده‌های جامع‌تر و استفاده از مدل‌های آماری می‌تواند به پیش‌بینی بهتر شرایط بهینه‌ی پرورش و در نتیجه به حداقل رساندن تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از این نوع صنعت کمک کند.

تشکر و قدردانی

از پژوهشکده حوضه آبی خزر دانشگاه گیلان بابت حمایت این مطالعه در قالب طرح پژوهشی قدردانی به عمل می‌آید. همچنین از حمایت‌های لجستیک پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی جهت انجام مراحل نمونه‌برداری نهایت تشکر را داریم.

منابـع

Aguado-Giménez, F., García-García, B. 2004. Assessment of some chemical parameters in marine sediments exposed to offshore cage fish farming influence: A pilot study. Aquaculture. 242(1-4): 283-295.

Bagheri, S., Makaremi, M., Mirzajani, A., Khodaparast, H. 2016a. The impact of fish cage culture rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on phytoplankton abundance in the southern Caspian Sea. In Proceeding of national conference on the marine fish culture and Sustainable development fish cage culture, Research Centre of Aquaculture, Ahvaz-Iran. 696: 15-25. (in Persian)

Bandpei, A., Nasrolahzadeh, H., Rahmati, R., Khodaparast, N., Keihansani, A. 2016. Examining the Effects of Fish Cage Culture on Phytoplankton and Zooplankton Communities in the Southern Coast of the Caspian Sea (Mazandaran Waters–Kelarabad). American Journal of Life Science Researches. 4(2): 104-117.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

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., 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. Aquaculture. 293(3-4): 231-240.

Bouwman, L., Beusen, A., Glibert, P.M., Overbeek, C., Pawlowski, M., Herrera, J., Mulsow, S., Yu, R., Zhou, M. 2013. Mariculture: Significant and expanding cause of coastal nutrient enrichment. Environmental Research Letters. 8(4): 044026 (5pp).

Dolman, A.M., Wiedner, C. 2014. Predicting phytoplankton biomass and estimating critical N: P ratios with piecewise models that conform to Liebig's law of the minimum. Freshwater Biology. 60(4): 686-697.

Domínguez, L.M., López Calero, G., Vergara Martín, J.M., Robaina Robaina, L. 2001. A comparative study of sediments under a marine cage farm at Gran Canaria Island (Spain). Preliminary results. Aquaculture. 192(2-4): 225-231.

FAO. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

American Public Health Association, Federation, W.E. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.

Guo, L., Li, Z. 2003. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. Aquaculture. 226(1-4): 201-212.

Guo, L., Li, Z., Xie, P., Ni, L. 2009. Assessment effects of cage culture on nitrogen and phosphorus dynamics in relation to fallowing in a shallow lake in China. Aquaculture International. 17(3): 229-241.

HaddadiMoghaddam, K., Soltani, M., Kamali, A., Abdolhay, H.A. 2020. The impact assessment of cage culture of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) on benthic communities using biological indicators in the South Caspian Sea, Iran. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 19(4): 2142-2158.

Huang, Y.C.A., Hsieh, H.J., Huang, S.C., Meng, P.J., Chen, Y.S., Keshavmurthy, S., Nozawa, Y., Chen, C.A. 2011. Nutrient enrichment caused by marine cage culture and its influence on subtropical coral communities in turbid waters. Marine Ecology Progress Series. 423: 83-93.

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. Marine Pollution Bulletin. 50(1): 48-61.

Jiang, Z.B., Chen, Q.Z., Zeng, J.N., Liao, Y.B., Shou, L., Liu, J. 2012. Phytoplankton community distribution in relation to environmental parameters in three aquaculture systems in a Chinese subtropical eutrophic bay. Marine Ecology Progress Series. 446: 73-89.

Kalantzi, I., Karakassis, I. 2006. Benthic impacts of fish farming: Meta-analysis of community and geochemical data. Marine Pollution Bulletin. 52(5): 484-493.

Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E., Papadopoulou, K.N., Plaiti, W. 2000. Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. ICES Journal of Marine Science. 57(5): 1462-1471.

Lacson, A.Z., Piló, D., Pereira, F., Carvalho, A.N., Cúrdia, J., Caetano, M., Drago, T., Santos, M.N., Gaspar, M.B. 2019. A multimetric approach to evaluate offshore mussel aquaculture effects on the taxonomical and functional diversity of macrobenthic communities. Marine Environmental Research. 151: 104774.

Lima, L.S., Pinto, T.K., de CS Brandão, B., Santos, W., Hamilton, S., Domingues, E.C., Klein, A.P., Schettini, C.A., Poersch, L.H., Cavalli, R.O. 2019. Impact of cage farming of cobia (*Rachycentron canadum*) on the benthic macrofauna in a tropical region. Aquaculture. 512: 734314.

Mazón, M.J., Piedecausa, M.A., Hernández, M.D., García García, B. 2007. Evaluation of environmental nitrogen and phosphorus contributions as a result of intensive on growing of common octopus (*Octopus vulgaris*). Aquaculture. 266(1-4): 226-235.

Nash, C.E. 2001. The net-pen salmon farming Industry in the Pacific Northwest. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum, NMFS-NWFSC-49: 125 p.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]

Nasrollahzadeh, H.S., Din, Z.B., Foong, S.Y., Makhlough, A. 2008. Spatial and temporal distribution of macronutrients and phytoplankton before and after the invasion of the ctenophore, *Mnemiopsis leidyi*, in the Southern Caspian Sea. Chemistry and Ecology. 24(4): 37-41.

Navas, J.M., Telfer, T.C., Ross, L.G. 2011. Application of 3D hydrodynamic and particle tracking models for better environmental management of finfish culture. Continental Shelf Research. 31(6): 675-684.

Pittenger, R., Anderson, B., Benetti, D., Dayton, P., Dewey, B., Goldburg, R., Rieser, A., Sher, A., Sturgulewski, A. 2007. Sustainable marine aquaculture: fulfilling the promise; managing the risks. Report of the Marine Aquaculture Task Force. 128 p.

Price, C.S., Morris, J.A. 2013. Marine cage culture and the environment: Twenty-first century science informing a sustainable industry. Marine Finfish Aquaculture and the Environment. 156.

Price, C., Black, K.D., Hargrave, B.T., Morris, J.A. 2015. Marine cage culture and the environment: Effects on water quality and primary production. Aquaculture Environment Interactions. 6(2): 151-174.

Riera, R., Pérez, Ó, Cromey, C., Rodríguez, M., Ramos, E., Álvarez, O., Domínguez, J., Monterroso, Ó, Tuya, F. 2017. MACAROMOD: A tool to model particulate waste dispersion and benthic impact from offshore sea-cage aquaculture in the Macaronesian region. Ecological Modelling. 361: 122-134.

Soto, D., Norambuena, F. 2004. Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large-scale mensurative experiment. Journal of Applied Ichthyology. 20(6): 493-501.

Tlusty, M.F., Robin, A.P.M. 2005. Reconciling Aquaculture's Influence on the Water Column and Benthos of an Estuarine Fjord – a Case Study from Bay d'Espoir, Newfoundland. Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture. 5(July): 115-128.

Varol, M. 2019. Impacts of cage fish farms in a large reservoir on water and sediment chemistry. Environmental Pollution. 252: 1448-1454.

Wu, M.L., Wang, Y.S., Wang, Y.T., Yin, J.P., Dong, J., De, Jiang, Z.Y., Sun, F.L. 2017. Scenarios of nutrient alterations and responses of phytoplankton in a changing Daya Bay, South China Sea. Journal of Marine Systems. 165: 1-12.

Xu, H., Paerl, H.W., Qin, B., Zhu, G., Gaoa, G. 2010. Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China. Limnology and Oceanography. 55(1): 420-432.

Yazdani, S., Rafiee, H., Ramezani, M. 2020. Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Carbon Loadings from Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Marine Cage Farms in Mazandaran Province. Journal of Natural Environment. 73(1): 185-195. (in Persian)

Yucel-Gier, G., Kucuksezgin, F., Kocak, F. 2007. Effects of fish farming on nutrients and benthic community structure in the Eastern Aegean (Turkey). Aquaculture Research. 38: 256-267.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1400.11.1.1.4]