شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸
صفحات ۳۱۴-۲۹۷

تعیین دانه بندی، مواد آلی کل و جوامع باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب تحت تأثیر پرورش قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در قفس شناور در منطقه عباس‌آباد، حوضه جنوبی دریای خزر

عرفان کریمیان[1*]، محمد ذاکری[1]، سید محمدوحید فارابی[2]، مهسا حقی[1]، پریتا کوچنین[1]

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع‌طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.
۲- بخش آبزی‌پروری، پژوهشکده‌ی اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۱۰/۱۲

چکیده

این تحقیق با هدف تعیین دانه‌بندی بستر، مواد آلی کل و جوامع باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب تحت تأثیر فعالیت پرورش قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس در منطقه عباس‌آباد، حوضه جنوبی دریای خزر طراحی گردید. بدین منظور نمونه‌ی رسوب از فواصل ۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ متری از قفس‌های پرورش ماهی طی ۴ دوره شامل ماه دی (قبل از پرورش) و اسفند ۱۳۹۳ و ماه اردیبهشت (دوره پرورش) و ماه مرداد ۱۳۹۴ (بعد از دوره پرورش) جمع‌آوری شدند. تعیین دانه‌بندی بستر نشان داد که جنس بستر بیشتر از دانه‌های سیلت-رس ۹۱/۷ درصد و ماسه خیلی ریز ۶/۴۴ درصد تشکیل شده بود و ساختار آن تحت تأثیر فعالیت پرورش ماهی در قفس قرار نگرفت. میزان مواد آلی کل رسوب فقط در دوره‌های مختلف نمونه‌برداری تفاوت معنی‌دار داشت ($P<۰/۰۵$) به‌طوری‌که، بیشترین میزان آن همزمان با دوره‌ی پرورش مشاهده گردید در حالی‌که، اثر فاصله از مرکز قفس معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$). بیشترین فراوانی باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب در مردادماه گزارش شد ($P<۰/۰۵$)، اما بین ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید ($P>۰/۰۵$). به‌نظر می‌رسد فعالیت پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس در منطقه عباس‌آباد، به‌دلیل کوتاه بودن دوره پرورش و جریانات آبی قوی منطقه پیرامون مزرعه کوچک مقیاس اثر قابل ملاحظه‌ای روی عوامل مورد بررسی محیط اطراف قفس نداشت به‌طوری‌که، تغییرات مشاهده شده بیشتر با تغییرات فصلی مرتبط بود.

واژگان کلیدی: پرورش ماهی در قفس، قزل‌آلای رنگین‌کمان، مواد آلی کل، باکتری بی‌هوازی، رسوب، دریای خزر.

* نویسنده مسئول: عرفان کریمیان
Email: Erfankarimian88@gmail.com

Journal of Fisheries
Vol. 72, No. 3, Autumn 2019
pp. 297-314

Determination of sediment grading, Total Organic Matter and facultative anaerobic bacteria affected by rainbow trout culture in floating cage in the Abbas Abad area, southern basin of the Caspian Sea

E. Karimian[1*], M. Zakeri[1], S. M. Vahid Farabi[2], M. Haqi[1], P. Kochanian[1]

1. Department of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology.
2. Aquaculture Department, Caspian Sea Ecology Research Center.

Received: 31-Aug-2019 **Accepted: 01-Jan-2020**

Abstract

This study was designed to determine the sediment structure, Total Organic Matter (TOM) and facultative anaerobic bacteria communities of sediment affected by cage culture of rainbow trout in the coastal waters of Abbas Abad area (southern basin of the Caspian Sea). For this purpose, sediment samples were collected at distance of 5, 50, 100 and 1000 m from the cages in December 2014 (before the culture period), March and April (production period) and August 2015 (after the culture period). Determination of sediment grading showed that its structure was composed of silt-clay (91.7%) and very fine sand (6.44%) and the sediment structure was not affected by the cage culture. The Total Organic Matter was significantly different only between the sampling periods ($P<0.05$) so that the highest amount of Total Organic Matter (TOM) was observed during the production period whereas, it was not affected by the distance from the cages ($P<0.05$). It seems that the rainbow trout cage culture in the Abbas Abad region no remarkable effect on the factors studied in the vicinity of small scale fish cages due to the short duration of cage culture and strong water currents, so that observed changes were more associated with seasonal fluctuant.

Keywords: Cage culture, rainbow trout, Total Organic Matter, anaerobic bacteria, sediment, Caspian Sea.

Corresponding author: Erfan Karimian Email: Erfankarimian88@gmail.com

۱. مقدمه

در حال حاضر پرورش ماهی در قفس به عنوان سریع‌ترین مسیر در پاسخ به نیاز جهانی، بخصوص در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌گردد. به‌طور کلی، پرورش ماهی در آب‌های داخلی، معمول‌ترین روش پرورش ماهی در دنیاست که تولید آن بین سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۴ حدود ۶۵ درصد افزایش یافته است. در این میان پرورش در استخرهای خاکی بیشترین سهم را دارد اگرچه پرورش ماهی در قفس نیز در مکان‌های مناسب، در حال افزایش است (FAO, 2016). آبزی‌پروری در ایران نیز رشد نسبتاً سریعی داشته است به‌طوری‌که میزان تولید از ۳۲۱۹ تن در سال ۱۹۸۷ به ۳۲۰۰۰۰/۲ تن در سال ۲۰۱۴ رسیده است (FAO, 2016) و با توجه به پیشینه‌ی قابل قبول و پتانسیل‌های بالای آبزی‌پروری در ایران می‌توان به بهبود این صنعت در آینده نیز امیدوار بود.

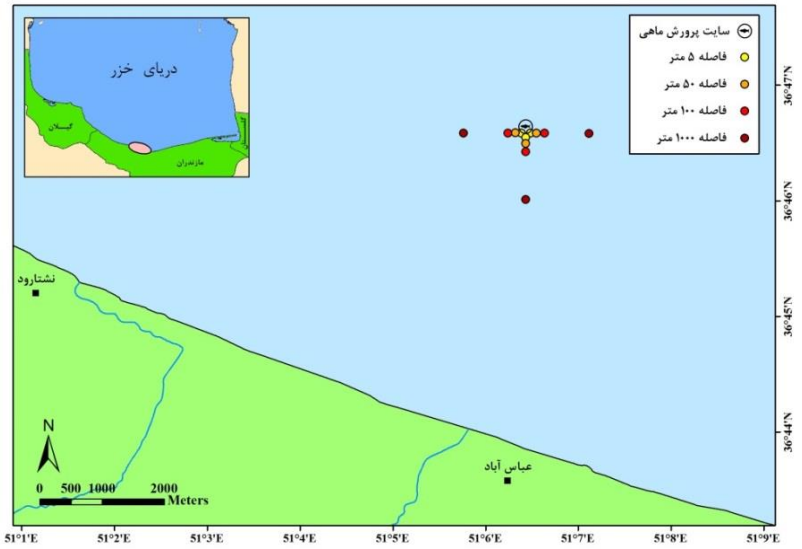
بیش از ۳۰٪ تولیدات اولیه در فلات قاره، شامل تولید مواد معدنی ناشی از تجزیه‌های باکتریایی (Nascimento *et al*., 2012) است که در زیر رسوبات وجود دارد (Canfield *et al*., 1993). جوامع میکروبی کفزی نقش بسیار مهمی را در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی دریایی ایفا می‌کنند (Louati *et al*., 2013; De Moraes *et al*., 2014) و به علت نقش اثبات شده‌ی جوامع باکتریایی رسوبات در بازچرخش مواد مغذی، عملکرد اکوسیستم و همچنین حساسیت زیاد به رسوب مواد به عنوان شاخصی از ردپای اثرات پرورش آبزیان در قفس (Bissett *et al*., 2007)، بسیار مفید خواهد بود که از چگونگی واکنش آن‌ها به افزایش مواد آلی آگاه شویم. پرورش در قفس دریاچه‌ای آزادماهیان به عنوان یک منبع مهم شناخته شده از ضایعات آلی و مواد مغذی‌هایی است که باعث افزایش سطوح مواد آلی و مغذی در ستون آب و در نتیجه‌ی افزایش رشد باکتری های اطراف قفس (Tamminen *et al*., 2011; De silva, 2012; Caruso, 2014) خواهد شد. به‌طور کلی نگرانی‌های عمومی در ارتباط با اثرات زیست‌محیطی پرورش در قفس آبزیان در هر دو اکوسیستم‌های آب شیرین و دریایی در تعدادی از گزارشات وجود دارد (Guo and Li, 2003; Yucel-Gier *et al*., 2007). تمامی این اثرات وجود خواهد داشت مگر این‌که تراکم ماهی پرورشی و شرایط مورفومتریک و هیدرولوژی، نقش کنترلی را با توجه به درجه تخریب این اثرات ایفا کنند (Grigorakis and Rigos, 2011; Plavan *et al*., 2012; Price and Morris, 2013).

در ایران مطالعاتی روی جنبه های مختلف پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و رژیم‌های غذایی این ماهی انجام شده است اما در ارتباط با اثرات پرورش در قفس این ماهی مطالعات بسیاری محدودی و در حد مطالعات ابتدایی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه Bagheri و همکاران (2016) اشاره نمود. برای بررسی بیشتر، دسترسی به دانش و درک کلی اکوسیستم‌های آبی به‌عنوان پیش‌شرطی مناسب جهت برآورد اثرات آبزی‌پروری در قفس و تعدیل این اثرات مورد نیاز است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف تعیین دانه‌بندی، مواد آلی کل و جوامع باکتری های بی‌هوازی اختیاری رسوب پیرامون پرورش قزل‌آلای رنگین‌کمان در قفس شناور منطقه عباس‌آباد در حوضه جنوبی دریای خزر صورت گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

این تحقیق در ساحل جنوبی دریای خزر در استان مازندران در منطقه‌ی عباس آباد، با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی، انجام گرفت.

برای انجام این تحقیق، ۴ ایستگاه؛ ایستگاه اول در لبه‌ی قفس های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (۵ متری از قفس)، ایستگاه دوم در فاصله ۵۰ متری از قفس، ایستگاه سوم در فاصله ۱۰۰ متری و ایستگاه چهارم (شاهد) در فاصله ۱۰۰۰ متری از قفس در جهت وزش باد و جریان آب به سمت شرق، به سمت غرب و به سمت ساحل دریای خزر (در مجموع ۱۲ مکان) در نظر گرفته شد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت قفس و ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه- عباس‌آباد.

این پژوهش از دی‌ماه سال ۱۳۹۳ تا مردادماه ۱۳۹۴ در بخش آب‌های زیرسطحی ایستگاه‌های مذکور انجام شد. فعالیت پرورش، از ماهیانی با وزن پیش‌پرواری با میانگین ۲۰۰ گرم، شروع شد. میزان ذخیره سازی اولیه حداکثر ۵ تن به‌ازای هر قفس و بطور متوسط تعداد ذخیره سازی ۲۵۰۰۰ قطعه ماهی بود که ماهی های ذخیره شده طی ۴ ماه دوره‌ی پرورش به بیش از ۸۰۰ گرم ر سیدند. ۴ قفس پرور شی با قطر ۲۰ متر، ارتفاع تور ۸ متر (چشمه‌ی تور ۲۰ میلی‌متر) و تاج یک متر که در فاصله ۵ کیلومتری از ساحل و در عمق ۳۰ متری از سطح دریا مستقر شد. توانایی اسمی تولید هر قفس ۲۵ تن است ولی به‌دلیل احتمال کمترین احتساب خطرپذیری (عدم آگاهی پرورش‌دهندگان از اکولوژی محل استقرار قفس مان ند وجود طو فان ها و در نتی جه جلوگیری از خسارات احتمالی)، عملاً حداکثر ۱۵ تن از آن برداشت شد. غذادهی روزانه بصورت دستی در دو نوبت در ساعات ۰۹:۰۰ و ۱۶:۰۰ به اندازه ۳ درصد از وزن بدن ماهیان انجام شد. ترکیبات غذایی پلت‌ها شامل (۴۱درصد پروتئین، ۱۸در صد چربی، در صد کربوهیدرات، ۱۰در صد خاکستر، ۸ درصد رطوبت و ۳درصد فیبر) بود و میزان ضریب تبدیل غذایی بدون احتساب هدر رفت غذا ۱ به‌د ست آمد (میزان ف سفر و نیتروژن کل در غذا به‌ترتیب ۰/۶ و ۶/۵۶ درصد محاسبه شد). نمونه‌برداری‌های زیستی و غیر زیستی طی ۴ مرحله شامل قبل از ذخیره سازی در قفس (دی‌ماه ۱۳۹۳)، اواسط دوره پرورش (اسفندماه، با تراکم بیشتر)، اواخر دوره پرورش (اردیبهشت‌ماه، با تراکم کمتر) و سه ماه پس از اتمام دوره‌ی پرورش (مردادماه ۱۳۹۴) جهت بررسی اثرات زیست‌محیطی پرورش در قفس، صورت گرفت. لازم به‌ذکر ا ست که یکی از قفس‌ها به‌دلیل برخورد طوفان بسیار شدید در اسفندماه در هم شکست و به ساحل منتقل گردید و در نتیجه از میزان تراکم کل کاسته شد.

۱.۲. اندازه‌گیری مواد آلی کل در رسوب (TOM)

جهت نمونه‌برداری از مواد آلی موجود در رسوبات از نمونه‌بردار گرب استفاده شد که میزان ۲۰۰ گرم از ر سوبات بردا شت گردید. برای محا سبه مقدار در صد مواد آلی کل رسوب ابتدا بوته‌های چینی را با قرار دادن آن‌ها در آون به مدت ۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک کرده و سپس مقداری رسوب در داخل بوته‌ها قرار

داده و آن را وزن کردیم (A). سپس مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (B). پس از این مدت نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته (C) و در نهایت با استفاده از رابطه زیر میزان TOM محاسبه گردید (Holme and Mcintyre, 1984).

$$TOM = \frac{B - C}{A - B} \times 100$$

۲.۲. تعیین دانه‌بندی رسوب منطقه مورد مطالعه

جهت تعیین دانه‌بندی رسوبات، نمونه رسوب به‌وسیله گرب از هر ایستگاه برداشت شد. ابتدا بیش از ۱۰۰ گرم از نمونه رسوب در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. سپس ۱۰۰ گرم از رسوبات خشک شده را به‌مدت ۲۴ ساعت در ۲۵۰ سی‌سی آب و ۱۰ سی‌سی هگزا متافسفات سدیم (با غلظت ۶/۲۸ گرم در لیتر) قرار گرفت. پس از قرار دادن روی تکان‌دهنده الکتریکی به‌ترتیب از الک با چشمه ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵ و ۶۳ میکرون عبور داده و پس از خشک کردن در آون رسوب باقیمانده روی هر الک وزن شد (Holme and Mcintyre, 1984) و سپس سهم وزنی هرکدام از ذرات به‌صورت درصد بیان گردید.

۳.۲. تعیین باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب

برداشت نمونه از رسوبات توسط نمونه‌بردار گرب انجام گردید که به‌صورت استریل و بدون تماس دست در قوطی‌های پلاستیکی استریل قرار داده شد و سپس در کنار پودر یخ به آزمایشگاه میکروبیولوژی پژوهشکده‌ی اکولوژی دریای خزر منتقل گردید. پس از نمونه‌گیری از رسوب (در کمتر از ۵ تا ۶ ساعت) و تهیه رقت‌های متوالی (۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱) در سرم فیزیولوژی، ۱ میلی‌لیتر از نمونه‌های تهیه شده، روی محیط کشت به طور پورپلیت کشت داده شد. برای شمارش باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب از محیط کشت تریپتیک سوی آگار (TSA) استفاده شد. باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری بعد از ۴۸ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد شمارش شدند (Faddin and Jean, 2000).

قبل از تجزیه و تحلیل، داده‌ها از نظر نرمال بودن با استفاده از آزمون کولموگرف-اسمیرنوف و شاپیروویلک آزمون شدند. جهت تجزیه و تحلیل اثر زمان و ایستگاه به‌طور جداگانه روی دانه‌بندی، میزان مواد آلی کل و فراوانی جوامع باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب از آزمون واریانس یکطرفه و جهت مقایسه‌ی میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17 در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد.

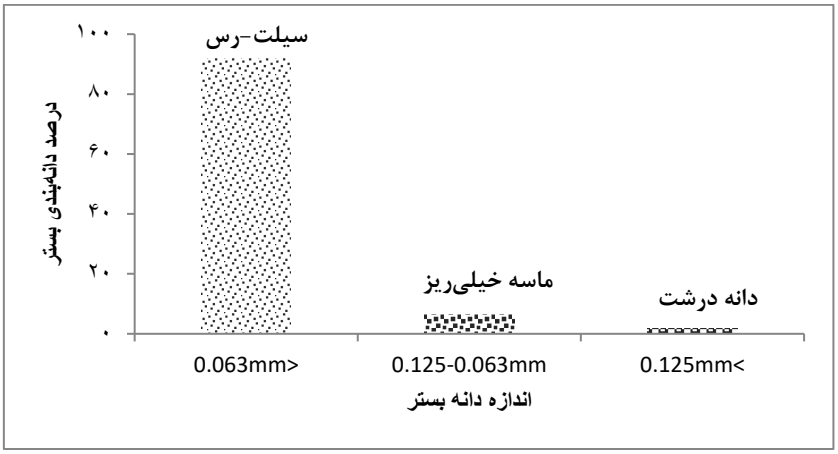
۳. نتایج

۱.۳. تعیین دانه‌بندی بستر منطقه‌ی مورد مطالعه

در تعیین دانه‌بندی بستر منطقه مطالعه شده در کل دوره، مشخص گردید که جنس بستر بیشتر از دانه‌های سیلت-رس (۹۱/۷ درصد) و ماسه خیلی ریز (۶/۴۴ درصد) تشکیل شده بود (نمودار شکل ۲) و سایر موارد سهم بسیار کمی (۱/۸۶ درصد) در تعیین جنس بستر داشتند (جدول ۱).

جدول ۱- دانه‌بندی بستر در منطقه‌ی عباس‌آباد (۱۳۹۳-۱۳۹۴).

اندازه دانه	میانگین (درصد)
گراویل (>۱mm)	۰/۳۳
ماسه درشت (۰/۱-۵ mm)	۰/۲۳
ماسه متوسط (۰/۰-۲۵/۵ mm)	۰/۲۸
ماسه ریز (۰/۰-۱۲۵/۲۵ mm)	۰/۹۹
ماسه خیلی ریز (۰/۰-۰۶۳/۱۲۵ mm)	۶/۴۴
سیلت-رس (<۰/۰۶۳ mm)	۹۱/۷



شکل ۲- نمودار دانه‌بندی بستر منطقه مورد مطالعه در کل دوره تحقیق.

۲.۳. تعیین دانه‌بندی ماسه‌ی خیلی ریز و سیلت-رس بستر منطقه‌ی مورد مطالعه

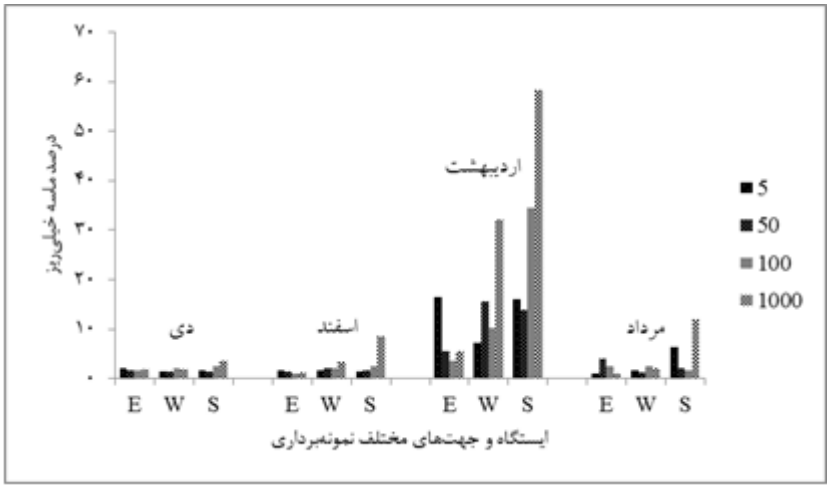
لازم به ذکر است که درصد ماسه خیلی‌ریز نیز طی دوره‌های مختلف در هر ایستگاه (بجز در ایستگاه ۱۰۰ متری) دارای اختلاف معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$) که بیشترین در صد آن (۳۲/۰۵ در صد) در ایستگاه ۱۰۰۰ متری در اردیبهشت‌ماه و کمترین در صد آن در ایستگاه ۵۰ متری و در دی‌ماه به‌دست آمد. به‌طور کلی کمترین درصد ماسه خیلی‌ریز در دی و اسفندماه وجود داشت و بیشترین آن در همه‌ی ایستگاه مربوط به دوره‌ی اردیبهشت‌ماه بود. این تغییرات در هیچ‌کدام از ایستگاه‌های مربوط به هر دوره معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$). تغییرات مربوط به درصد سیلت-رس تقریباً برعکس تغییرات درصد ماسه خیلی‌ریز بود (جدول ۲).

جدول ۲- تعیین میانکین(میانگین ± انحراف معیار) درصد دانه‌بندی رسوب در ایستگاه و دوره‌های مختلف تحقیق.

دانه‌بندی	ایستگاه	زمان			
		دی	اسفند	اردیبهشت	مرداد
ماسه خیلی ریز	۵	۱/۶۸ ± ۰/۳۶ ^{B}	۱/۵۸ ± ۰/۱۶ ^{B}	۱۳/۲۸ ± ۵/۲ ^{A}	۳ ± ۲/۸۹ ^{B}
	۵۰	۱/۴۹ ± ۰/۱۴ ^{B}	۱/۶۹ ± ۰/۳ ^{B}	۱۱/۶۴ ± ۵/۴ ^{A}	۲/۴۲ ± ۱/۴۴ ^{B}
	۱۰۰	۲/۱ ± ۰/۴۶ ^{A}	۱/۸۸ ± ۰/۷۱ ^{A}	۱۶/۱ ± ۱۵/۸۴ ^{A}	۲/۱۴ ± ۰/۵ ^{A}
	۱۰۰۰	۲/۴۶ ± ۰/۹۸ ^{B}	۴/۴ ± ۳/۷۷ ^{B}	۳۲/۰۵ ± ۲۶/۴۲ ^{A}	۵/۰۹ ± ۵/۰۷ ^{B}
سیلت-رس	۵	۹۶/۸۵ ± ۰/۹۷ ^{A}	۹۷/۴۱ ± ۰/۰۸ ^{A}	۸۴/۵۶ ± ۶/۸۱ ^{B}	۹۵/۲۸ ± ۲/۸۲ ^{A}
	۵۰	۹۷/۲۴ ± ۰/۳۶ ^{A}	۹۷/۰۵ ± ۰/۳۷ ^{A}	۸۷/۱۸ ± ۵/۸۶ ^{B}	۹۵/۴۲ ± ۲/۶ ^{A}
	۱۰۰	۹۶/۷ ± ۰/۸۸ ^{A}	۹۵/۸۱ ± ۰/۹ ^{A}	۸۲/۹۲ ± ۱۷/۱۲ ^{A}	۹۵/۳ ± ۱/۱ ^{A}
	۱۰۰۰	۹۶/۱۸ ± ۰/۹ ^{A}	۹۴/۱ ± ۴/۵۸ ^{AB}	۶۵/۲۶ ± ۲۸/۴۸ ^{B}	۸۹/۹۸ ± ۱۰/۶۶ ^{AB}

- حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین دوره‌های مختلف تحقیق در سطح ۰/۰۵ است.

قابل توجه است که تعیین درصد دانه ماسه‌ی خیلی‌ریز نشان داد که میزان آن در اردیبهشت‌ماه در همه‌ی ایستگاه‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرد. در این افزایش روند نسبتاً منظمی مشاهده شد به‌طوری که، این افزایش در جهت های غرب و بخصوص جنوب در ایستگاه‌های دورتر از قفس بیشتر بود (نمودار شکل ۳).



شکل ۳- نمودار درصد تغییرات دانه‌ی ماسه خیلی ریز طی دوره مطالعه.

۳.۳. مواد آلی کل در رسوب (TOM)

تغییرات میزان TOM به گونه‌ای دارای روند منظمی بود چراکه بجز ایستگاه ۵ متری، سایر ایستگاه‌ها در دوره‌های مختلف (بجز مردادماه) معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$). در ایستگاه ۵ و ۵۰ متری بیشترین میزان TOM در اسفند و اردیبهشت‌ماه مشاهده گردید. در ایستگاه‌های دیگر نیز بالاترین میزان TOM در اسفندماه و سپس در دی و اردیبهشت‌ماه و کمترین آن هم در تمام دوره‌ها متعلق به مردادماه بود. اما تغییرات بین ایستگاهی مربوط به هر دوره (اثر فاصله از قفس) معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۳- میانکین(میانگین ± انحراف معیار) درصد مواد آلی کل در رسوب طی دوره تحقیق در ایستگاه و دوره‌های مختلف.

ایستگاه (متر)	زمان			
	دی	اسفند	اردیبهشت	مرداد
۵	۴/۸۹ ± ۰/۱۸^{B}	۶/۲۳ ± ۱/۰۵^{A}	۵/۶۲ ± ۰/۲۷^{AB}	۲/۰۸ ± ۰/۵۹^{C}
۵۰	۴/۶۸ ± ۰/۹۷^{A}	۶/۶۷ ± ۰/۹^{A}	۵/۶ ± ۱/۳۳^{A}	۲/۳ ± ۱/۱^{B}
۱۰۰	۵/۷۱ ± ۰/۰۷ ^{A}	۶/۴۷ ± ۰/۸۱^{A}	۵/۵۵ ± ۰/۵۲ ^{A}	۲/۴۱ ± ۱/۴ ^{B}
۱۰۰۰	۵/۷۸ ± ۱/۴۹ ^{A}	۵/۹۸ ± ۱/۵۳ ^{A}	۵/۷۱ ± ۰/۹۴ ^{A}	۲/۲ ± ۰/۶۹ ^{B}

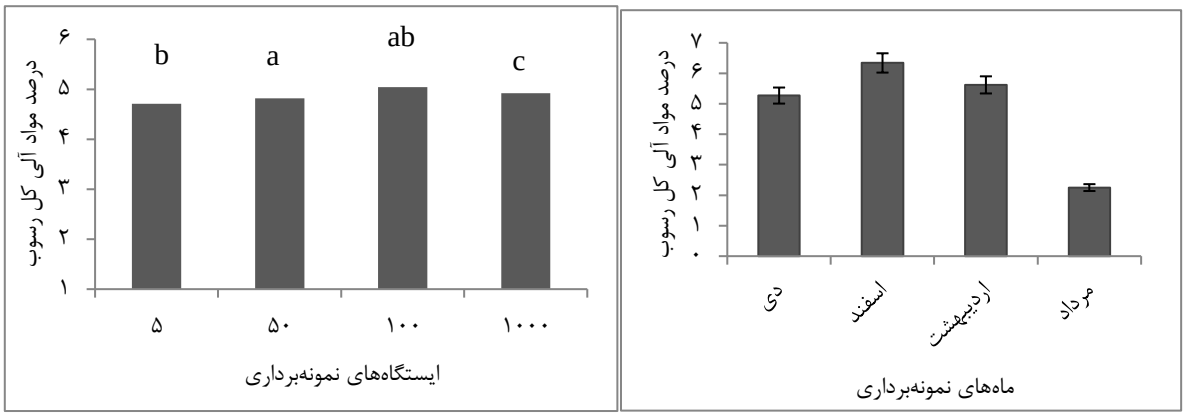
- حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین دوره‌های مختلف نمونه‌برداری در سطح ۰/۰۵ است.

۴.۳. تعیین میزان مواد آلی کل در رسوب طی دوره و ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری

در تعیین میزان مواد آلی کل رسوب مشخص گردید که بین دوره های مختلف تفاوت معنی‌دار در میزان این عامل وجود دارد ($P<۰/۰۵$). بیشترین میزان آن در اسفندماه و کمترین آن در مردادماه مشاهده گردید (شکل ۴). اما در تعیین میزان این عامل در ایستگاه‌های مختلف در کل تحقیق نشان داده شد که میزان آن بین ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌دار نداشت ($P>۰/۰۵$) و به عبارتی فاصله از قفس طی دوره‌ی پرورش بر میزان آن اثر قابل ملاحظه‌ای نداشت (نمودار های شکل ۴).

۵.۳. تعیین فراوانی باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب منطقه مورد مطالعه

در بررسی اثر پرورش ماهی در قفس، مشاهده گردید که هیچ‌کدام از اثرات فاصله از مرکز قفس و جهات مختلف روی فراوانی باکتری‌های اختیاری بی‌هوازی رسوب اثر معنی‌دار نداشتند (جدول ۴). به عبارتی، اثرات ناشی از پرورش قفس روی فراوانی جمعیت باکتری‌های بی‌هوازی رسوب تأثیر خاصی نداشت چرا که کمترین فراوانی آن در دوره‌های پرورش (اسفند و اردیبهشت‌ماه) و در ایستگاه‌های نزدیک به قفس مشاهده گردید.



شکل ۴- نمودار های میزان مواد آلی کل در رسوب طی دوره و ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه.

بیشترین فراوانی جمعیت باکتری های اختیاری بی‌هوازی در همه‌ی ایستگاه‌ها در مردادماه به‌دست آمد که با سایر دوره‌ها بجز در ایستگاه ۵ دارای تفاوت معنی‌دار بود. لازم به ذکر است که ایستگاه ۱۰۰۰ متری در اسفندماه دارای کمترین فراوانی (۱۵۳۳/۳۳) معنی‌دار نسبت به سایر دوره‌ها بود. بین ایستگاه‌های مختلف در هر دوره نیز تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۴).

جدول ۴- میانگین(میانگین ± انحراف معیار) فراوانی (cfu[1]/ml) باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب طی دوره تحقیق.

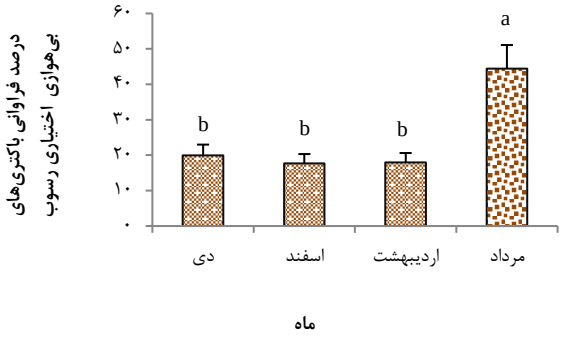
ایستگاه	زمان			
	دی (cfu/ml)	اسفند (cfu/ml)	اردیبهشت (cfu/ml)	مرداد (cfu/ml)
۵	۱۸۰۰ ± ۴۵۸/۲۵ ^{A}	۱۶۳۳/۳۳ ± ۴۵۰/۹۲ ^{A}	۱۵۱۶/۶۶ ± ۵۷۹/۵۱ ^{A}	۴۱۶۶/۶۶ ± ۲۷۵۳/۷۸ ^{A}
۵۰	۲۰۰۰ ± ۳۰۰ ^{B}	۱۹۳۳/۳۳ ± ۵۱۳/۱۶ ^{B}	۱۵۳۸/۳۳ ± ۵۸۳/۸ ^{B}	۳۵۶۶/۶۶ ± ۶۶۵/۸۳ ^{A}
۱۰۰	۱۷۶۶/۶۶ ± ۶۱۱/۰۱ ^{B}	۱۷۶۶/۶۶ ± ۲۳۰/۹۴ ^{B}	۱۹۰۰ ± ۲۰۰ ^{B}	۵۶۶۶/۶۶ ± ۳۲۰۰/۵۲ ^{A}
۱۰۰۰	۲۲۰۰ ± ۳۴۶/۴۱ ^{AB}	۱۵۳۳/۳۳ ± ۶۱۱/۰۱ ^{B}	۱۹۶۶/۶۶ ± ۱۵۲/۷۵ ^{AB}	۳۸۶۶/۶۶ ± ۲۳۲۴/۵ ^{A}

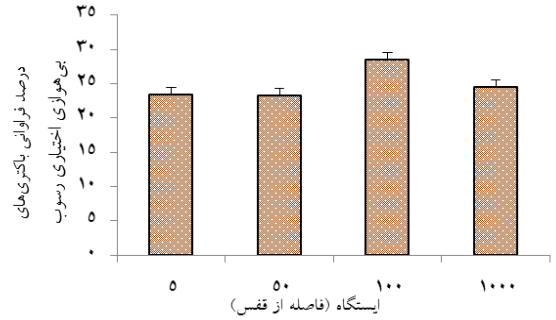
- حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

۶.۳. تعیین فراوانی باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب طی دوره و ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری

در تعیین میانگین درصد فراوانی باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب طی دوره‌های مختلف، بیشترین درصد فراوانی در مرداد ماه (۴۴٪/۴۲) وجود داشت که این اختلاف نسبت به سایر دوره‌ها معنی‌دار نیز بود (شکل ۵). همچنین بیشترین درصد میانگین فراوانی باکتری‌های

بی‌هوازی اختیاری در ایستگاه های مختلف مربوط به ایستگاه ۱۰۰ متری (۲۸٪/۵۵) بود و این میزان در سایر ایستگاه‌ها بسیار به هم نزدیک بود. لازم به ذکر است این تغییرات بین ایستگاه‌ها معنی‌دار نبود (نمودار های شکل ۵).[1]





شکل ۵- نمودار های درصد فراوانی باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب طی دوره و ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

۱.۴. دانه‌بندی بستر منطقه مورد مطالعه

پرورش در قفس معمولاً به‌دلیل مواد آلی سقوطی به شکل غذای مصرف نشده و مدفوع ماهی، دارای اثر اکولوژیکی روی محیط اطراف بخصوص منطقه‌ی بستر بوده است (Fernandez-Jover *et al.*, 2011; Black *et al.*, 2012). در تعیین دانه‌بندی بستر منطقه مطالعه شده، مشخص گردید که جنس بستر بیشتر از دانه‌های سیلت-رس (۹۱/۷ درصد) و ماسه خیلی ریز (۶/۴۴ درصد) تشکیل شده بود. سهم بالای دانه‌های سیلت-رس در تعیین دانه‌بندی رسوب در دیگر مطالعات انجام شده در اعماق با میانگین بیش از ۲۰ متر در حوضه‌ی جنوبی دریای خزر گزارش شده بودکه در بعضی از این مطالعات میزان آن بین ۹۴/۷۴-۷۲/۰۴ درصد بود. اما در مطالعه‌ای دیگر در اعماق ۲۰ و کمتر از آن، بیش از ۷۰ درصد دانه‌بندی را ذرات ماسه (بخصوص ماسه خیلی‌ریز) تشکیل داده بود (Provoost *et al.*, 2013) در حالی که، در مطالعه‌ی حاضر با عمق ۳۰ متر ذرات ماسه سهم کمی از بافت رسوب را تشکیل داد. ذرات رسوبی بزرگ‌تر مانند ماسه زودتر رسوب کرده و ذرات ریزتر مثل سیلت و رس دیرتر رسوب می‌کنند به همین دلیل دانه‌های ماسه‌ای در اعماق کم و دانه‌های رسی در اعماق بالاتر وجود دارند (Provoost *et al.*, 2013).

معمولاً تغییرات سالانه‌ی درصد ماسه در بعضی مطالعات در حوضه جنوبی دریای خزر گزارش شده است که به میزان ورودی رسوبات به دریای خزر و نرخ رسوب‌گذاری بستگی دارد. در تحقیق حاضر تعیین درصد دانه‌ی ماسه خیلی‌ریز نشان داد که میزان آن در اردیبهشت‌ماه در همه‌ی ایستگاه‌ها با روند نسبتاً منظمی افزایش معنی‌داری پیدا کرد که این افزایش در جهت‌های غرب و بخصوص جنوب در ایستگاه‌های دورتر از قفس معنی‌دارتر بود. با توجه به فاصله‌ی زیاد مناطق نمونه‌برداری از ساحل و احتمالاً تأثیر کم جریانات رودخانه‌ای در تغییر بافت رسوب ایستگاه‌های نمونه‌برداری، لذا به‌نظر می‌رسد که این تغییر توسط جریان‌های دریایی ایجاد شده است که پس از برخورد با ساحل و شستن بستر، همراه با ذرات رسوبی و از سمت غرب به شرق حرکت کرده‌اند. چراکه تمامی ایستگاه‌های جهت غرب بخصوص ایستگاه ۱۰۰۰ متری نسبت به

[1] Colony forming unit

ایستگاه‌های دورتر از قفس در سمت شرق، دارای درصد ماسه‌ی خیلی ریز بیشتری بود. همچنین، این افزایش در ایستگاه ۱۰۰۰ متری و حتی ایستگاه ۱۰۰ متری جنوب یعنی سمت ساحل، نسبت به سایر ایستگاه‌ها قابل ملاحظه بود و نشان می‌دهد که ذرات رسوبی بزرگ‌تر ناشی از جریان‌های دریایی در تحقیق حاضر، در مناطق نزدیک به ساحل زودتر رسوب کرده و در نتیجه دارای درصد ماسه‌ی بیشتری بودند.

تشکیل رسوب در زیر قفس‌های پرورش ماهی در اکوسیستم‌های دریایی معمولاً ۲۰-۲ برابر بیشتر از مناطق بدون پرورش گزارش شده است (Ye *et al*., 1991) در حالی که در بعضی در یا چه های آب‌شیرین میزان رسوب‌گذاری به ۲۰۰-۱۰۰ برابر بیشتر نسبت به گذشته بود (Phillips *et al*., 1985a). اما در مطالعه‌ی Comel و Whoriskey (۱۹۹۳)، بدون اثر افزایشی در مواد مغذی، کدورت و مواد آلی ناشی از اثر پرورش در قفس قزل‌آلای رنگین‌کمان، میزان رسوب‌گذاری زیر قفس‌های پرورشی ۵/۵ برابر بیشتر از سایر ایستگاه‌ها بود و اثرات فعالیت پرورش ماهی را کوتاه‌مدت و محدود در شرایط زیست‌محیطی دریاچه بیان نمودند. در مطالعه‌ی حاضر اگرچه نرخ رسوب‌گذاری اندازه‌گیری نشد اما تعیین درصد دانه‌بندی طی دوره با افزایش درصد دانه ماسه‌ی خیلی ریز ناشی از جریانات دریایی، نشان داد که بافت رسوب و تغییرات آن تحت تأثیر فعالیت پرورش ماهی در قفس نبود چراکه در بعضی مطالعات، افزایش درصد سیلت-رس رسوبات بر اثر رسوب‌گذاری در ایستگاه‌های تحت تأثیر فعالیت پرورش ماهی در قفس نشان داده شده است (Rosenthal *et al*., 1988) به‌طوری‌که، به دلیل نرخ پائین سرعت جریان آب (cm/s ۳/۴-۴/۳) میزان پراکندگی ضایعات ناشی از پرورش ماهی در قفس بسیار محدود گزارش گردید. در تحقیق حاضر افزایش ذرات سیلت-رس بخصوص ناشی از فعالیت پرورش ماهی در قفس طی دوره و ایستگاه‌های مختلف مشاهده نشد و حتی کاهش معنی‌دار آن در اردیبهشت‌ماه اتفاق افتاد.

۲.۴. مواد آلی کل در رسوب (TOM) منطقه مورد مطالعه

رسوبات زیر قفس‌های پرورش ماهی معمولاً غنی از مواد آلی ناشی از پلت‌های غذایی مورد مصرف در پرورش هستند (Comel and Whoriskey, 1993; MacIsaac and Stockner, 1995; Alpaslan and Pulatsü, 2008; Rebecca *et al*., 2009; Gonzalez-Silvera *et al*., 2015). اگرچه Ruiz و همکاران (۲۰۱۰)، نشان دادند که ضایعات ناشی از پرورش ماهی در قفس در دریا تا مناطق دورتر (کیلومترها) را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد اما گزارشات متعددی وجود دارد که نشان داده‌اند اثر آبزی‌پروری در قفس بر محیط بستر به صورت محلی بوده و بیشتر لبه‌ی قفس‌های پرورشی (Plavan *et al*., 2012) و تا فواصل نزدیک (۲۵-۵۰ متری) را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gowen *et al*., 1991; McGhie *et al*., 2000; Nash, 2001; Lampadariou *et al*., 2005; Neofitou *et al*., 2010) و بیشتر از این فواصل اثرات آبزی‌پروری قابل اغماض بود (Lampadariou *et al*., 2005; Papageorgiou *et al*., 2010; Russell *et al*., 2011; Kalantzi *et al*., 2013). در مطالعه‌ی حاضر تعیین میزان مواد آلی کل در رسوب دارای روند تغییرات نسبتاً منظمی بود به‌طوری‌که، بجز ایستگاه ۵ متری، در سایر ایستگاه‌ها طی دوره‌های مختلف (بجز مردادماه) اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید. از طرفی، میزان تغییرات در این عامل نیز بین ایستگاه‌های مختلف در هر دوره معنی‌دار نبود. بررسی میزان مواد آلی کل در دی‌ماه نشان داد که میزان آن در ایستگاه‌های ۵ و ۵۰ متری کمتر از ایستگاه‌های دورتر بودند. اما افزایش آن در اسفندماه همراه با فعالیت پرورش ماهی در قفس نسبت به دوره‌ی دی‌ماه بخصوص در ایستگاه‌های نزدیک به قفس به‌حدی بود که بیشتر از میزان آن در ایستگاه‌های دورتر بود به‌طوری‌که، اختلاف معنی‌دار در میزان مواد آلی کل طی دوره‌های مختلف فقط در ایستگاه ۵ متری مشاهده گردید که بیشترین آن در اسفندماه به‌دست آمد. اما میزان مواد آلی کل در اردیبهشت‌ماه نسبت به اسفندماه کاهش جزئی اما غیرمعنی‌دار را در تمامی ایستگاه‌ها نشان داد و

سپس کمترین آن هم در کل دوره در مردادماه مشاهده شد. در این تحقیق حتی بیشترین میانگین مواد آلی کل در ایستگاه‌های تحت تأثیر طی اسفندماه با میزان (۶/۶۷ درصد) بسیار کمتر از میزان آن در بعضی مطالعات در ایستگاه‌های تحت تأثیر (۲۰ در صد) و ایستگاه‌های شاهد (۱۸ در صد) بود (Macleod *et al*., 2004) که دلیل آن را نزدیکی منطقه مورد مطالعه به مصب و ورودی رودخانه‌ها همراه با مواد آلی ناشی از خشکی عنوان نمودند.

مطالعات بسیار زیادی به افزایش میزان مواد آلی کل در رسوب ناشی از اثرات پرورش ماهی در قفس اشاره کرده‌اند (Macleod *et al*., 2004; Nash *et al*., 2005; Braaten, 2007; Johnson *et al*., 2008; Rebecca *et al*., 2009; Holmer *et al*., 2010). در این تحقیق میزان مواد آلی کل تاحدودی نشان داد که با روند تغییرات منظمی تحت تأثیر نسبی فعالیت پرورش ماهی قرار گرفت به‌طوری‌که افزایش آن بخصوص طی دوره‌های پرورش به‌طور معنی‌دار بیشتر از مردادماه بود. اما به لحاظ تغییرات بین ایستگاهی در هر دوره در مطالعه‌ی حاضر همانند مطالعه‌ی اثر پرورش در قفس قزل‌آلای رنگین‌کمان در کانادا توسط Come1 و Whoriskey (۱۹۹۳) و مطالعه‌ی (Perez *et al*., 2002)، اختلاف معنی‌دار در میزان مواد آلی کل رسوب مشاهده نشد و بر خلاف بعضی مطالعات (Yokoyama *et al*., 2006) الگوی تغییرات نسبت به فاصله از قفس نامنظم بود. در مطالعه‌ی Perez و همکاران (۲۰۰۲) تغییرات جزئی در میزان مواد آلی رسوبات روند واضح‌تری نسبت به مطالعه‌ی حاضر داشت به‌طوری که، با فاصله از قفس‌های پرورش ماهی آزاد میزان آن کاهش یافت و در فاصله‌ی بین ۱۰۰-۵۰ متری به غلظت عادی برگشت در حالی که، در مطالعه‌ی Yokoyama و همکاران (۲۰۰۶)، اثرات آبزی‌پروری تا فاصله‌ی ۳۰۰ متری از قفس‌ها گسترش یافت.

نتایج مطالعه‌ی Domı´guez و همکاران (۲۰۰۱)، حاکی از آن بود که به‌دلیل میزان پرورش کم ماهی و همچنین میانگین سرعت جریان بالای آب (۶ cm/s)، تغییرات معنی‌دار در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات در سال اول مشاهده نگردید. در تحقیق حاضر نیز شاید به دلایل فوق و از جمله سرعت جریان بالای آب (میانگین بیش از ۱۰-۱۵ cm/s) روند تغییرات قابل ملاحظه و منظمی در میزان مواد آلی بخصوص در ارتباط با فاصله از قفس مشاهده نشد چراکه، معمولاً سرعت جریان ضعیف زیر قفس‌ها و تراکم بسیار بالای ماهی ممکن است باعث افزایش تجمع مواد آلی شوند (Price and Morris, 2013). بررسی‌های عملی نیز نقش کلیدی جریان‌های آبی در پراکندگی و معلق نمودن ذرات دفعی (بخصوص مدفوع ماهی و ذرات ریزتر از ضایعات غذایی) و کاهش اثرات را به‌خوبی به اثبات رسانده است (Karakassis *et al*., 2000; Yokoyama *et al*., 2004). به‌طوری‌که، در مطالعه‌ی جریان مواد مغذی و فرآیندهای اکوسیستم طی پرورش ماهی آزاد در قفس گزارش شد که میزان پیش‌بینی شده‌ی نیاز اکسیژنی جهت تجزیه‌ی مواد آلی، ۲۰۰ برابر بیشتر از میزان جذب اکسیژن اندازه‌گیری شده در سطح رسوبات زیر قفس‌ها بود که نشان می‌دهد بیشتر ضایعات ناشی از پرورش به مناطق دورتر (۲-۲۵ کیلومتر) پراکنده می‌گردد و مستقیماً زیر قفس‌ها تجمع نمی‌یابند (Strain and Hargrave, 2005).

لازم به ذکر است فراوانی بالای جمعیت فیتوپلانکتونی (به عنوان منبع اصلی مواد آلی دریای خزر) در اسفندماه ممکن است در افزایش مواد آلی مؤثر بوده باشد. در مطالعاتی بیان شده است که میزان مواد آلی در لایه‌ی سطحی رسوبات دارای تغییرات فصلی نیز است و این تغییرات فصلی با اثرات پرورش ماهی در میزان مواد آلی ادغام می‌گردد (Holmer and Krisensen, 1992). همچنین این احتمال وجود دارد که به‌هنگام اختلاط عمودی آب، مواد مغذی و سایر ترکیباتی که از قفس‌های پرورشی به رسوبات یا لایه‌های عمیق‌تر رسیدند دوباره به داخل ستون آبی برگشت داده شوند که این امر معمولاً با کاهش مواد آلی در رسوبات همراه بوده است (Beveridge, 2008; Gondwe *et al*., 2011; Venturoti *et al*., 2014)، بنابراین با توجه به اختلاط‌های عمودی آب بخصوص در اسفندماه و برگشت ترکیبات

موجود در رسوبات، به‌نظر می‌رسد که افزایش میزان مواد آلی در این دوره بیشتر از میزان اندازه‌گیری شده نیز باشد. همیشه بررسی روند تغییرات عوامل محیطی در اکوسیستم‌های طبیعی بخصوص تحت تأثیر اثرات انسانی، آسان نبوده و تفسیر آن در ارتباط با عوامل زیستی نیز می‌تواند بسیار پیچیده باشد. معمولاً در مناطق ساحلی، تولیدات فیتوپلانکتونی منبع اصلی ذخیره‌ی مواد آلی در بستر است (Smyth *et al*., 2010; Zhang *et al*., 2015) که برآورد شده بیش از ۲۵ درصد زی‌توده‌ی فیتوپلانکتونی به کف می‌رسد (Provoost *et al*., 2013) و با توجه به این‌که یکی از راه‌های اصلی ورود مواد آلی به دریای خزر از طریق ریزش فیتوپلانکتون‌ها ست و شاید بتوان که افزایش آن را در اسفندماه به‌دلیل حضور بیشترین در صد فراوانی فیتوپلانکتون‌ها و در نتیجه سقوط آن‌ها دانست. از طرفی دیگر، میزان مواد آلی به‌عنوان یک منبع غذایی جدید (Gonzalez-Silvera *et al*., 2015) یکی از مهم ترین عواملی است که در جوامع باکتریایی رسوبات تأثیر دارند و با توجه به افزایش فراوانی جوامع باکتریایی در واکنش سریع به افزایش مواد آلی در رسوبات (Smith *et al*., 2002)، انتظار می‌رود مواد آلی نیز به‌شدت کاهش پیدا کند. در تحقیق حاضر نیز افزایش معنی‌دار جمعیت باکتریایی می‌تواند یکی از دلایل کاهش معنی‌دار مواد آلی کل در مردادماه نسبت به سایر دوره‌ها باشد بخصوص ثابت شده است که تجزیه مواد آلی ناشی از آبزی‌پروری و در مقایسه با مواد آلی با منشأی دیگر، بسیار سریع‌تر در بستر اتفاق می‌افتد (Yokoyama *et al*., 2006) به‌طوری که، نشان داده شده است مصرف اکسیژن محلول ناشی از تجزیه‌ی مواد آلی در رسوبات، بعد از ۵ روز افزایش پیدا می‌کند (Strain and Hargrave, 2005). وجود جوامع باکتریایی و سایر جوامع کفزی می‌تواند سبب ایجاد رقابت شدیدی برای به‌دست آوردن مواد آلی و مغذی شود که شاید وجود این رقابت، کارایی بازگشت مواد آلی به چرخه‌ی غذایی را نیز افزایش دهد (Louati *et al*., 2012). آن‌چه در تحقیق حاضر مشاهده گردید افزایش معنی‌دار فراوانی بزرگ بی‌مهرگان کفزی و جوامع باکتریایی بود که در مردادماه مشاهده گردید که گواهی بر ادعای بالا نیز است و به‌نظر می‌رسد که این افزایش در جوامع کفزی شاید در پاسخ به افزایش مواد آلی بوده است که در نتیجه منجر به کاهش معنی‌دار آن نیز شد که به‌دلیل فراوانی پائین جمعیت فیتوپلانکتونی و در نتیجه کاهش مواد آلی سقوطی از سطح، کاهش آن جبران نگردید.

لازم به ذکر است که بعضی از ضایعات ته‌نشین شده در رسوبات بدون تجزیه برای همیشه دفن می‌گردند و به‌آسانی در دسترس موجودات زنده نیستند (McGhie *et al*., 2000) و یا با گذشت مدت طولانی در معرض تجزیه قرار می‌گیرند. برای مثال مطالعه‌ی Macleod و همکاران (۲۰۰۴)، نشان دادند که بعد از ۲۰ ماه سهم معنی‌داری از مواد آلی همچنان در رسوبات باقی ماند در حالی‌که دیگر ویژگی‌های شیمی و زیستی رسوب شرایط متعادل‌تری داشتند بنابراین آن‌ها معتقد بودند که بررسی میزان مواد آلی در مطالعات جهت تعیین نرخ بازگشت رسوبات شاخص ضعیفی بحساب می‌آید. به‌نظر می‌رسد تغییرات میزان مواد آلی کل تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که یکی از آن می‌تواند اثرات ناشی از پرورش فعالیت پرورش ماهی در قفس باشد و به نظر می‌رسد که این اثر در تحقیق حاضر نیز طی دوره‌های مختلف بیشتر تحت تأثیر عوامل فصلی نشان داده شد. مطالعه‌ی Yokoyama و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که روند فصلی در تعیین عوامل شیمیایی رسوب حاکم است و اثر آبزی‌پروری خیلی روشن نبود. به‌طورکلی، تمامی تفاوت‌ها در میزان اثرات ناشی از فعالیت پرورش ماهی در قفس و حدود تغییرات میزان مواد آلی کل رسوب به دو عامل پیشینه و شرایط اکولوژیک منطقه (خصوصیات فیزیکو شیمیایی و زیستی) و همچنین شرایط پرورشی (گونه‌ی پرورشی، میزان و روش‌های پرورش) بستگی دارد (Wu, 1995; Black, 2001). به هرحال، اطلاعات کمی به لحاظ ارتباط بین ورودی غذا و میزان مواد آلی رسوب وجود دارد اما محاسبه شده است سهم نسبی ضایعات غذایی (WF) در تشکیل مواد آلی رسوب با ۲۹درصد،

بیشتر از سهم مواد دفعی (FM) با ۱۲درصد بوده و میزان غذادهی نیز می‌تواند در میزان تولید مواد آلی در رسوبات نقش بسزایی داشته باشد (Yokoyama *et al.*, 2009). در تحقیق حاضر نیز افزایش معنی‌دار درصد مواد آلی در اسفند و اردیبهشت‌ماه نسبت به دوره‌های قبل و بعد از فعالیت پرورش ماهی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی اثرات میزان غذادهی باشد به‌طوری‌که در اردیبهشت‌ماه با کاهش تراکم کل (به دلیل حذف یک قفس طی طوفان اسفندماه) و در نتیجه کاهش غذادهی، کاهش غیر معنی‌دار در میزان مواد آلی (بجز ایستگاه ۵ متری) تاحدودی نشان داده شد.

جدا از مطالعه‌ی اثرات مواد آلی رهاسازی شده در ستون آب، توانایی محیط برای برگشت به حالت اولیه بعد از پایان دوره پرورش نیز بررسی شده است. معمولاً فرآیند روند بازگشت سریع گزارش شده است اگرچه این بازگشت در بعضی مطالعات حتی بعد از گذشت چندین ماه به‌طور کامل اتفاق نیفتاده بود (Karakassis *et al.*, 2000; Pereira *et al.*, 2004; Sanz-Lazaro *et al.*, 2011). در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد که میزان مواد آلی کل قبل از شروع دوره‌ی پرورش در صد پائینی داشت اما افزایش غیرمعنی‌دار آن (بجز در ایستگاه ۵) طی دوره‌ی پرورش و سپس کاهش معنی‌دار نسبت به دیگر دوره‌ها در ۳ ماه بعد از دوره‌ی پرورش اتفاق افتاد هرچند که به‌نظر می‌رسد این کاهش بیشتر تحت تأثیر عوامل زیستی مانند مصرف توسط جوامع کفزی مورد مطالعه و درصد فراوانی پائین جمعیت فیتوپلانکتونی و تا حدودی ناشی از اثرات جزئی فعالیت پرورش ماهی با تراکم پائین بود.

۳.۴. باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب منطقه مورد مطالعه

بیشتر گزارش‌ها، اثر آبزی‌پروری در قفس را بر جوامع کفزی در رسوبات دانه‌ریز بررسی کرده‌اند (La Rosa *et al.*, 2002; Holmer *et al.*, 2008). در خصوص جوامع میکروبی کفزی، نشان داده شد که باکتری و کل جوامع میکروبی در رسوبات تحت تأثیر، به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابند به‌طوری‌که، در مناطق تحت تأثیر پرورش ماهی در قفس و در نتیجه‌ی افزایش مواد آلی، جوامع باکتریایی بیش از ۳ برابر افزایش پیدا کردند (Danovaro *et al.*, 2003). در این تحقیق نتایج حاصل از بررسی تغییرات فراوانی باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری رسوب در منطقه مورد مطالعه نشان داد که اثر ناشی از پرورش قفس روی فراوانی جمعیت باکتری‌های بی‌هوازی رسوب قابل ملاحظه نبود و حتی کمترین فراوانی آن معمولاً در دوره‌های پرورش (اسفند و اردیبهشت‌ماه) و در ایستگاه‌های نزدیک به قفس مشاهده گردید. این در حالی است که بررسی‌های ویدیویی در مطالعه‌ی Macleod و همکاران (۲۰۰۴)، نشان داد که فراوانی باکتری‌های بی‌هوازی رسوب در نزدیک قفس تا فاصله‌ی ۱۰ متری بین ۱-۰/۵ ماه بعد از فعالیت پرورش ماهی افزایش یافته بود به‌طوری‌که این افزایش در نزدیکی قفس‌ها همراه با شرایط بی‌هوازی تا ۱۲ ماه ادامه داشت. اما در این تحقیق افزایش معنی‌دار جمعیت باکتریایی ۳ ماه بعد از دوره‌ی پرورش و همراه با کاهش مواد آلی کل در رسوبات مشاهده گردید. به‌دنبال غنی‌شدن رسوبات از مواد آلی، مصرف اکسیژن (Cook *et al.*, 2007)، تولید گاز سولفید و ایجاد شرایط بی‌هوازی در رسوبات سواحل دریاها، پدیده‌ای معمول است که به‌دلیل تجزیه‌ی مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها اتفاق می‌افتد (Louati *et al.*, 2013; De Moraes *et al.*, 2014). بنابراین می‌توان گفت که باکتری‌ها در پاسخ به این تحریکات، بسیار سریع شروع به مصرف مواد آلی ناپایدار در سطح رسوبات می‌کنند. در این تحقیق اگرچه افزایش معنی‌دار تولید مواد آلی کل رسوب (TOM) در اسفندماه و سپس اردیبهشت‌ماه بخصوص در ایستگاه‌های نزدیک به قفس به‌دست آمد اما به‌نظر می‌رسد که با توجه به عدم تأثیر فعالیت پرورش ماهی روی جمعیت باکتریایی، افزایش میزان مواد آلی احتمالاً ناشی از پرورش ماهی (به‌دلیل ظرفیت پائین و جریان مناسب آبی) به‌حدی نبوده است که سبب ایجاد شرایط بی‌هوازی در رسوب و در نتیجه افزایش جمعیت باکتری‌ها در زمان پرورش گردد به‌طوری‌که، بررسی اثرات پرورش ماهی قزل‌آلای

رنگین‌کمان بر جوامع باکتریایی نشان‌دهنده‌ی تغییر معنی‌دار شرایط کیفی آب بود در حالی‌که، تغییری در فراوانی باکتری‌ها مشاهده نشد (Findlay *et al*., 2009).

در این مطالعه، تغییر جمعیت باکتری‌های بی‌هوازی رسوب، بین ایستگاه‌های مختلف در هر دوره‌ی نمونه‌برداری معنی‌دار نبود اما تغییرات طی دوره‌های مختلف نشان داد که بیشترین فراوانی جمعیت باکتری‌های بی‌هوازی در همه‌ی ایستگاه‌ها در مردادماه مشاهده گردید که با سایر دوره‌ها (بجز در ایستگاه ۵) دارای تفاوت معنی‌دار بود. لازم به ذکر است که این افزایش جمعیت باکتریایی در مردادماه با کاهش معنی‌دار مواد آلی کل نسبت به سایر دوره‌ها نیز همراه بود. میزان مواد آلی یکی از مهم‌ترین عواملی است که در جوامع باکتریایی رسوبات تأثیر دارند (Bissette *et al*., 2007) به‌طوری که Gonzalez-Silvera و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ی مصرف مواد آلی (به‌عنوان یک منبع غذایی جدید) ناشی از پرورش ماهی در قفس در سواحل دریای مدیترانه توسط جوامع چسپنده (جلبک، هیدر، بالانوس و صدف) نشان دادند که موجودات چسپنده به عنوان بی‌مهرگان بزرگ و یا جوامع کفزی می‌توانند مواد آلی سقوطی را جذب کرده و سپس عامل افزایش فراوانی و ظهور آن‌ها گردد که این نتیجه در بعضی مطالعات دیگر نشان داده شده است (Turchini *et al*., 2010; Fernandez-Jover *et al*., 2011). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که جوامع میکروبی در رسوبات بعد از دریافت مواد آلی، سریعاً رشد کرده (Rusch *et al*., 2003) به طوری‌که در مطالعه‌ی De Moraes و همکاران (۲۰۱۴)، مصرف مواد آلی ذره‌ای وارد شده به رسوبات (بخصوص کلروفیل آ) بسیار سریع و طی ۴۸ ساعت اتفاق افتاد و در مطالعاتی دیگر، مصرف عمده‌ی مواد آلی ذره‌ای، شش هفته (Kristensen and Holmer, 2001) و یا مواد آلی محلول ناشی از پلانکتون‌ها با نیمه‌عمری از ۱۰ تا ۱۶ ساعت گزارش گردید (Chipman *et al*., 2010). با توجه به افزایش فراوانی جوامع باکتریایی در واکنش سریع به افزایش مواد آلی در رسوبات (Smith *et al*., 2002)، انتظار می‌رود مواد آلی نیز به‌شدت کاهش پیدا کند به‌طوری که در تحقیق حاضر نیز افزایش معنی‌دار جمعیت باکتریایی می‌تواند یکی از دلایل کاهش معنی‌دار مواد آلی کل در مردادماه نسبت به سایر دوره‌ها باشد، بخصوص ثابت شده است که تجزیه مواد آلی ناشی از آبزی‌پروری و در مقایسه با سایر مواد آلی ناشی از منابع دیگر، می‌تواند بسیار سریع‌تر در بستر اتفاق می‌افتد (Yokoyama *et al*., 2006). در مجموع، این امکان وجود دارد که ورود مواد آلی با هر منشأی منجر به افزایش معنی‌دار باکتری‌های رسوب بوده که متعاقب آن کاهش معنی‌دار در میزان مواد آلی نیز مشاهده گردید. به‌طوری‌که، Silvera و همکاران (۲۰۱۵) معتقد بودند که جذب ضایعات غذایی توسط بزرگ بی‌مهرگان می‌تواند بسیار سودمند باشد چراکه، با کاهش تجمع ضایعات و مصرف توسط باکتری‌ها، در نتیجه از تشکیل مناطق بی‌هوازی جلوگیری می‌کنند. یکی دیگر از عوامل مؤثر در جوامع باکتریایی رسوبات، سایر جوامع کفزی مانند نماتدا و پرتاران (Louati *et al*., 2013) است به‌طوری‌که، عمل معدنی شدن مواد آلی توسط باکتری‌ها با وجود دیگر جوامع کفزی تقویت می گردد (Rysgaard *et al*., 2000). آن‌چه در تحقیق حاضر مشاهده گردید افزایش معنی‌دار فراوانی بزرگ بی‌مهرگان کفزی (بخصوص پرتاران با بیش از ۹۹٪) و جوامع باکتریایی بود که در مردادماه مشاهده گردید که می‌تواند گواهی بر ادعای بالا باشد. به‌طور کلی، با در نظر داشتن این‌که ساختار و ترکیب گونه‌ای جوامع کفزی تحت کنترل عوامل محیطی و فیزیکوشیمیایی مانند اندازه ذرات رسوب، تابش خورشید، میزان مواد آلی، دما و شوری هستند (First and Hollibaugh, 2010) و با توجه به تأثیر ناچیز پرورش ماهی، ممکن است عواملی دیگر در افزایش جوامع باکتریایی بخصوص در مرداد ماه نقش داشته باشد.

اما باید بیان نمود با این احتمال که تجمع مواد آلی، به‌دلیل ماهیت تجمعی آن ناشی از اثرات پرورش ماهی بوده باشد، بنابراین افزایش فراوانی جمعیت باکتری‌های بی‌هوازی رسوب را می‌توان به عنوان شاخصی از اثرات آبزی‌پروری

تلقی نمود که اثبات آن، تحقیقات بیشـــتری را بخصـــوص از طریق مطالعه‌ی سایر خصوصیات فیزیکوشیمیایی رسوب و بررسی‌های ویدئویی جهت تشخیص ظاهر رسوبات می‌طلبد. طی سال‌های گذشته، تغییرات در فراوانی و جوامع باکتریایی نیز به‌عنوان ابزاری جهت بررســـی اثرات پرورش ماهی در قفس مورد استفاده قرار گرفته بود (Bissett *et al*., 2007)، چراکه بعضی محقیقن اثرات معنی‌دار آبزی‌پروری در افزایش فراوانی بـاکتری‌هـا و تغییر ســـاختـار جمعیتی آن (Sarah *et al*., 2009) و یا افزایش سـه برابری فراوانی آن در رسوب زیر قفس‌های پرورشی (Bissett *et al*., 2006) را گزارش نموده‌اند. همچنین بررســـی‌های ویدیویی در مطالعات مختلف (Crawford *et al*., 2001; Macleod *et al*., 2004) نشان داد که ظاهر شدن پوششی باکتریایی از جنس *Beggiatoa* (باکتری‌هایی که تحت شرایط بی‌هوازی و در رسوبات غنی از سولفید هیدروژن زیست می‌کنند) در رســـوبات زیر قفس‌های بین ۱-۰/۵ ماه بعد از فعالیت پرورش در قفس، رســـوبات ســـیاه و حباب‌های گاز همگی می‌توانند شاخصی مناسب از رسوبات تحت تأثیر فعالیت پرورش ماهی در قفس باشـــند در حالی‌که، قبل از فعالیت پرورش هیچ نمونه‌ای از باکتری‌های *Beggiatoa* spp یافت نشـــده بود. همه‌ی محققین بالا معتقد بودند که جوامع باکتریایی رســـوبات می‌توانند به‌عنوان شـــاخص مفیدی از اختلالات مواد آلی در محیط‌هـای پرورش آبزیـان مورد استفاده قرار گیرد.

References

Farabi, S.M.V., 2010. Hydrology, Hydrobiology and Environmental pollutants in southern basin of the Caspian Sea. Iranian Fisheries Science Research Institute. *Caspian Institute of Ecology* 87 p.

Tavoli, M., Eslami, M., Mahdavi. S.M., 2010. Macrobenthos Spatial and temporal distribution pattern of southern basin of the Caspian Sea. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 4, 147-152.

Tavoli, M., Seifabadi, S.J., Nejatkhah Manavi, P., 2016. Survey on Ecological and biological of the benthic population of Chalus coast. *Oceanography* 26, 43-54.

Midose, P.S., Campbell, J,I., 1988. Basic of Marine Science. Traslation by Valiallahi. Iranian Fisheries Science Research Institute. 155-160.

Alpaslan, A., Pulatsü, S., 2008. The Effect of Rainbow Trout (OncorhynchusmykissWalbaum, 1792) Cage Culture on Sediment Quality in Kesikköprü Reservoir, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 8, 65-70.

APHA (American Public Health Association)., 2005. Standard Methods for The Examination of water and wastewater, 21th ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1550 p.

Bagheri, S., Mirzajani, A., Sabkara, J., 2016. Preliminary studies on the impact of fish cage culture rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) on zooplankton structure in the southwestern Caspian Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 15 (3), 1202-1213.

Beveridge, M.C.M., 2004. Cage aquaculture. Oxford: Fishing News Books, 131 p.

Beveridge, M.C.M., 2008. Cage Aquaculture (3rd edn). John Wiley e Sons, Oxford, 380 p.

Bissett, A., Burke, C., Cook, P. L. M. and Bowman, J. P., 2007. Bacterial community shifts in organically perturbed sediments. *Environmental Microbiology* 9, 46-60.

Black, K.D., 2001. Environmental impacts of aquaculture. Sheffield Academic Press and CRC Press, Sheffield.

Black, K.D., Calder, L.A., Nikell, T.D., Sayer, M.D.J., Orr, H., Brand, T., Cook, E.J., Magill, S.H., Katz, T., Eden, N., Jones, K.J., Tsapakis, M., Angel, D., 2012. Chlorophyll, lipid profiles and bioturbation in sediments around a fish cage farm in the Gulf of Eilat, Israel. *Aquaculture* 317-327.

Braaten, B., 2007. Cage culture and environmental impacts. Bergheim, editor. Aquacultural Engineering and Environment. Research Signpost, Kerala, India. 49-91.

Canfield, D.E., Thamdrup, B., Hansen, J.W., 1993a. The anaerobic degradation of organic matter in Danish coastal sediments: Fe reduction, Mn reduction and sulfate reduction. Geochim. Cosmochim. *Acta* 57, 2563-2570.

Caruso, G., 2014. Effects of aquaculture activities on microbial assemblages. *Oceanography* 2, 107 p.

Chipman, L., Podgorski, D., Green, S., Kostka, J., Cooper, W., Huettel, M., 2010. Decomposition of plankton-derived dissolved organic matter in permeable coastal sediments. *Limnology and Oceanography* 55 (2), 867-871.

Cornell, G.E., Whoriskey, F.G., 1993. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediment of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture* 109, 101-117.

Cook, P.L.M., Veuger, B., Böer, S., Middelburg, J.J., 2007. Effect of nutrient availability on carbon and nitrogen incorporation and flows through benthic algae and bacteria in nearshore sandy sediment. *Aquatic Microbial Ecology* 49, 165-180.

Crawford, C.M., Mitchell, I.M., Macleod, C.K.A., 2001. Video assessment of environmental impacts of salmon farms. *ICES Journal of Marine Science* 59, 433-463.

De Moraes, P.C., Franco, D.C., Pellizari, V.H., Gomes Sumida, P.Y., 2014. Effect of plankton-derived organic matter on the microbial community of coastal marine sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 461, 257-266.

De Silva, S., 2012. Aquaculture: a newly emergent food production sector and perspectives of its impacts on biodiversity and conservation. *Biodiversation Conservation* 21, 3187-3220.

Domı´guez, L.M., Calero, G.L., Martı´n, J.M.V., 2001. A comparative study of sediments under a marine cage farm at Gran Canaria Island (Spain). Preliminary results. *Aquaculture* 192, 225-231.

FAO, 2016. The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Contributing to food security and nutrition for all. 200 p.

Faddin, Mc., Jean, F., 2000. Biochemical Tests for Identification of Medical Bacteria, 7nd Ed., Baltimore, Williams and Wilkins.

Fernandez-Jover, D., Arechavala-Lopez, P., Martinez-Rubio, L., Tocher, D.R., BayleSempere, J. T., Lopez-Jimenez, J. A., Martinez-Lopez, F. J., Sanchez-Jerez, P., 2011. Monitoring the influence of marine aquaculture on wild fish communities: benefits and limitations of fatty acid profiles. Aquaculture Environment Interactions 2, 39-47.

Findlay, D.L., Podemski, C.L., Susan, E., Kasian, M., 2009. Aquaculture impacts on the algal and bacterial communities in a small boreal forest lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66 (11), 1936-1948.

First, M.R., Hollibaugh, J.T., 2010. Environmental factors shaping microbial community structure in salt marsh sediments. *Marine Ecology-Progress Series* 399, 15-26.

Gonzalez-Silvera, D., Izquierdo-Gomez, D., Fernandez-Gonzalez, V., Martínez-López, F.J., López- Jiménez, J.A., Sanchez-Jerez, P., 2015. Mediterranean fouling communities assimilate the organic matter derived from coastal fish farms as a new trophic resource. *Marine Pollution Bulletin* 91, 45-53.

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.

Gowen, R.J., Weston, D.P., Ernik, A., 1991. Aquaculture and the benthic environment: a review. In: C. B. Cowey and Cho C. Y. (Edition), Nutritional Strtegics and Aquaculture Waste. Proceedings of the First International Symposium on Guelph, Ontario, Canada, 187-249.

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, 201-212.

Holme, N.A., Mcintyre, A., 1984. Methods for study marine benthos IBP. Hand book.No.16. Second edition.Oxford, 387 p.

Holmer, M., Hansen, P.K., Joseph, I.K. Borg, A., Schembri., P.J., 2008. Monitoring of Environmental Impacts of Marine Aquaculture. Aquaculture in the Ecosystem, Chapter, 2: 47-85.

Kalantzi, I., Shimmield, T.M., Pergantis, S.A., Papageorgiou, N., Black, K.D., Karakassis, I., 2013. Heavy metals, trace elements and sediment geochemistry at four Mediterranean fish farms. *Science of the Total Environment* 444, 128-137.

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. *Journal du Conseil* 57, 1462-1471.

Kristensen, E., Holmer, M., 2001. Decomposition of plant materials in marine sediment exposed to different electron accepters (O2, NO3- and SO42-), with emphasis on substrate origin, degradation Kinetics, and the role of bioturbation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65, 419-433.

Lampadariou, N., Karakassis, I., Teraschke, S., Arlt, G., 2005. Changes in the benthic meiofaunal assemblages in the vicinity of fish farms in the eastern Mediterranean. *Vie et Milieu* 55, 61-69.

La Rosa, T., Mirto, S., Favaloro, E., Savona, B., Sara, G., Danovaro, R., Mazzola, A., 2002. Impact on the water column biogeochemistry of a Mediterranean mussel and fish farm. *Water Research* 36, 713-721.

Louati, H., Sail, O.B., Soltani, A., Got, P., Mahmoudi, E., Cravo-Laureau, C., Duran, R., Aissa, P., Pringault, O., 2013. The roles of biological interactions and pollutant contamination in shaping microbial benthic community structure. *Chemosphere* 93, 2535-2546.

Macleod, C.K., Crawford, M., Moltschaniwsky, A., 2004. Assessment of long term change in sediment condition after organic enrichment: defining recovery. *Marine Pollution Bulletin* 49, 79-88.

MacIsaac, E.A., Stockner, J.G., 1995. The environmental effects of Lake Pen reared Atlantic salmon smolts. Burnaby, Science Council of British Columbia.

McGhie, T.K., Crawford, C.M., Mitchell, I.M., 2000. The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. *Aquaculture* 187, 351-366.

Nascimento, F.J.A., Naslund, J., Elmgren, R., 2012. Meiofauna enhances organic matter mineralization in soft sediment ecosystems. Limnol. *Oceanogr*aphy 57, 338-346.

Nash, C.E., editor., 2001. The net-pen salmon farming industry in the Pacific Northwest. U.S. Dept. of Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-NWFSC-46.

Nash, C.E., Burbridge, P.R, Volkman, J.K., 2005. Guidelines for ecological risk assessment of marine fish aquaculture. U.S. Department of Commerce. NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-71.

Neofitou, N., Vafidis, D., Klaoudatos. S., 2010. Spatial and temporal effects of fish farming on benthic community structure in a semi-enclosed gulf of the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Environment Interactions* 1, 95-105.

Papageorgiou, N., Kalantzi, I., Karakassis, I., 2010. Effects of fish farming on the biological and geochemical properties of muddy and sandy sediments in the Mediterranean Sea. *Marine Environment Research* 69 (5), 326-336.

Pereira, P.M.F., Black, K.D., McLusky, D.S., Nickell, T.D., 2004. Recovery of sediments after cessation of marine fish farm production. *Aquaculture* 235, 315-330.

Pérez, O.M., Telfer, T.C., Beveridge, M.C.M., Ross, L.G., 2002. Geographical Information Systems (GIS) as a simple tool to aid modelling of particulate waste distribution at marine fish cage sites. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54, 761-768.

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 of Fish Biology* 27, 123-137.

Price, C.S., Morris, J.A., 2013. Marine Cage Culture and the Environment. Center for Coastal Fisheries and Habitat Research, 158 p.

Provoost, P., Braeckman, U., Van Gansbeke, D., Moodley, L., Soetaert, K., Middelburg, J.J., Vanaverbeke, J., 2013. Modelling benthic oxygen consumption and benthic–pelagic coupling at a shallow station in the southern North Sea. Estuarine Coastal and Shelf Science 120, 1-11.

Rebecca, C., Rooney, R., Cheryl, L., Podemski, C.L., 2009. Effects of an experimental rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farm on invertebrate community composition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 66(11), 1949-1964.

Rosenthal, H., Weston, D.P., Gowen, R.J., Black, E., 1988. Report of the ad hoc study group on environmental impact of mariculture. International Council for exploration of the Seas (ICES) Cooperative Research Report, 154. 81 p.

Ruiz, J.M., Marco-Mindez, C., Sanchez-Lizaso, J.L., 2010. Remote influence of offshore fish farm waste on Mediterranean seagrass (Posidonia oceanica) meadows. *Marine Environmental Research* 69, 118-126.

Rusch, A., Huettel, M., Reimers, C.E., Taghon, G.L., Fuller, C.M., 2003. Activity and distribution of bacterial populations in Middle Atlantic Bight shelf sands. *Microbial Ecology* 44, 89-100.

Russell, M., Robinson, C.D., Walsham, P., Webster, L., Moffat, C.F., 2011. Persistent organic pollutants and trace metals in sediments close to Scottish marine fish farms. *Aquaculture* 319(2), 262–271.

Rysgaard, S., Christensen, P.B., Sorensen, M.V., Funch, P., Berg, P., 2000. Marine meiofauna, carbon and nitrogen mineralization in sandy and soft sediments of Disko Bay, West Greenland. *Aquatic Microbial Ecology* 21, 59-71.

Sanz-Lázaro, C., Belando, M.D., Marín-Guirao, L., Navarrete-Mier, F., Marín, A., 2011. Relationship between sedimentation rates and benthic impact on Maërl beds derived from fish farming in the Mediterranean. *Marine Environmental Research* 71, 22-30.

Sarah, A.C., Bourne, D.G., Trott, L.A., McKinno, D.A., 2009. Sediment microbial community analysis: Establishing impacts of aquaculture on a tropical mangrove ecosystem. *Aquaculture* 297, 91-98.

Smith, J.r., Baldwin, K.L., Karl, D.M., Boetius, A., 2002. Benthic community responses to pulses in pelagic food supply: North Pacific Subtropical Gyre. *Deep-Sea Research* I 49, 971-990.

Smyth, T.J., Fishwick, J.R., Al-Moosawi, L., Cummings, D.G., Harris, C., Kitidis, V., Rees, A., Martinez-Vicente, V., Woodward, E.M.S., 2010. A broad spatio-temporal view of the Western English Channel observatory. *Journal of Plankton Research* 32 (5), 585-601.

Strain, P., Hargrave, B., 2005. Salmon aquaculture, nutrient fluxes and ecosystem processes in southwestern New Brunswick. 29-57 in B.T. Hargrave, editor. Environmental effects of marine finfish aquaculture. Handbook of Environmental Chemistry, Volume 5M. SpringerVerlag, Berlin.

Tamminen, M., Karkman, A., Corander, J., Paulin, L., Virta, M., 2011. Differences in bacterial community composition in Baltic Sea sediment in response to fish farming. *Aquaculture* 313, 5-23.

Turchini, G.M., Ng, W.K., Tocher, D.R., 2010. Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds. CRC Press, Boca Raton, FL.

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, Espirito Santo, Brazil). *Aquaculture Research* 42(2), 1-15.

Wu, Q., Chen, K., Gao, G., Fan, C., Ji, J., Sui, G., Zhou, W., 1995. Effects of pen fish culture on water environment and their countermeasure. *Journal of Fisheries Chin ./Shuichan Xuebao*, 19 (4). 343-350. (In Chinese with English abstract).

Ye, L. X., Ritz, A.D., Fenton., Leswis, M.E., 1991. Tracing the influence on sediments of organic by intensively fed rainbow trout (Salmo gairdneri Rich.). *Aquaculture* 69, 263-270.

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.

Yokoyama, H., Inoue, M., Abo, K., 2004. Estimation of the assimilative capacity of fish-farm environments based on the current velocity measured by plaster balls. *Aquaculture* 240, 233-247.

Yokoyama, H., Abo, K., Ishihi, Y., 2006. Quantifying aquaculture-derived organic matter in the sediment in and around a coastal fish farm using stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Aquaculture* 254, 411-425.

Zhang, Q., Warwick, R.M., McNeill, C.L., Widdicombe, C.E., Sheehan, A., Widdicombe, S., 2015. An unusually large phytoplankton spring bloom drives rapid changes in benthic diversity and ecosystem function. *Progress in Oceanography* 137(2), 2-12.