# بررسی عناصر مغذی (فسفر و نیتروژن) رسوبات در محدوده استقرار قفس‌های پرورش ماهی واقع در سواحل دریای مازندران (شهرستان کلارآباد)

**حسن نصراله زاده ساروی[1*]**
**عبداله نصراله تبار[2]**
**فریبا واحدی[3]**
**آسیه مخلوق[4]**
**نیما پورنگ[5]**

۱. دانشیار دکترای علوم زیستی، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۲و ۳. کارشناس ارشد شیمی، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۴. کارشناسی ارشد بیولوژی، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کارشناس ساری، ایران
۵. دانشیار محیطزیست، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

***مسئول مکاتبات:**
hnsaravi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴۵/۰۲/۲۲
**این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.**

## چکیده

این مطالعه به بررسی عناصر مغذی رسوبات در محدوده‌ی استقرار قفس‌های پرورش ماهی (قبل از ماهی دار کردن) واقع در سواحل دریای مازندران (کلارآباد) پرداخته است. نمونه‌برداری رسوبات سطحی از پائیز ۱۳۹۰ تا تابستان ۱۳۹۱ در سه ایستگاه صورت پذیرفت. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی (استخراج و عمل هضم) به روش استاندارد به‌وسیله دستگاه اسپکتروسکوپی اندازه‌گیری گردیدند. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر کمتر بودن فرم‌های معدنی فسفر بوده و میانگین سالانه سهم فسفر باقیمانده بیش از ۵۰ درصد ثبت گردید. در بین فرم‌های معدنی فسفر، درصد فسفر متصل به کلسیم به بیش از ۶۰ درصد رسید و سهم فسفر قابل‌دسترس کمتر از ۴۰ درصد ثبت گردید. همچنین فسفر متصل به آهن و فسفر جذب سطحی به ترتیب بیشترین و کمترین درصد را دارا بوده‌اند به‌طوری‌که میزان اشکال مختلف فسفر در رسوبات به ترتیب Res.-P >Ca-P>Fe-P>Al-P>Adsorbed-P ثبت گردید. سهم سالانه فرم ازت معدنی تقریباً دو برابر فرم آلی بوده و در بین فرم‌های معدنی ازت، درصد آمونیم تقریباً بیش از چهار برابر نیترات ثبت گردید. نتیجه اینکه، با توجه به شرایط دما، پتانسیل اکسیداسیون احیاء،pH و با در نظر گرفتن نسبت فرم‌های مختلف فسفر و ازت در رسوبات به آب عمقی می‌توان دریافت که انتقال فسفر و ازت معدنی از رسوب به ستون آبی بیشتر صورت می‌گیرد؛ بنابراین، با شروع فعالیت‌های پرورش ماهی در قفس، میزان فسفر و ازت در آب و رسوبات فزونی می‌یابد. متعاقب این امر احتمال وقوع شکوفایی جلبکی به دلیل بالا بودن فسفر و ازت رهاسازی شده به ستون آب از طریق این مزارع پرورش ماهی، افزایش خواهد یافت. شایسته است که استقرار قفس‌های پرورش ماهی در این منطقه با توجه به شرایط عناصر مغذی در رسوبات با رویکرد احتیاطی بیشتر و ابتدا به‌صورت پایلوت صورت پذیرد تا منجر به فاجعه زیست‌محیطی نشود.

**واژگان کلیدی:** عناصر مغذی رسوبات، قفس دریایی، سواحل مازندران، کلارآباد، ایران.

## مقدمه

پرورش ماهی در قفس در محیط‌های دریایی در سال‌های اخیر در کشورهای اروپای غربی، اسکاندیناوی، شمال آمریکا و همچنین در آب‌های آسیایی با شدت زیادی روبه گسترش می‌باشد (FAO, 1992). در کشور ایران پرورش ماهیان آب شیرین (باسابقه ۵۰ ساله) در استخرهای خاکی متداول بوده ولی پرورش ماهیان در دریا در قفس سابقه چندانی ندارد (Refa, 2002). نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر فاقد خور، خلیج و دماغه بوده و درواقع پناهگاهی برای استقرار قفس‌های پرورش ماهیان دریایی وجود ندارد درنتیجه قفس‌ها باید در فضای باز و آزاد دریا و دور



[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

از ساحل (Offshore) قرار گیرند (Refa, 2002). در پایش سایت‌های پرورش ماهی در قفس دریایی در نظر گرفتن کیفیت آب‌پایه (Baseline)، اجزای رسوب و پارامترهای زیستی بسیار بااهمیت می‌باشد (Beveridge, 1984; SEPA, 1997; Beveridge, 2004). درجاهایی که فعالیت پرورش ماهی در قفس انجام می‌شود فرآیند نوتریفیکاسیون اتفاق می‌افتد و اگر ادامه یابد به فرآیند یوتریفیکاسیون تبدیل می‌شود (Beveridge *et al*., 1997). بر اساس مطالعه Persson (1991)، مقادیر زیادی از مواد مغذی رهاسازی شده در پرورش ماهی در قفس با درصد بالایی (۸۰ درصد) قابل‌دسترس بیولوژیکی می‌باشد. طبق تحقیقات Holby و Hall (1991) در پرورش ماهی آزاد، سالانه ۵۴–۴۷ درصد فسفر و ۲۳ درصد نیتروژن (Hall *et al*., 1992) به‌صورت مواد معلق به رسوبات ته‌نشین می‌شوند.Wu (۱۹۹۵) دریافت که ۲۱ درصد نیتروژن و ۵۳ درصد فسفر موجود در غذا در پرورش ماهی در قفس در رسوبات ته‌نشین می‌شود.Penczak و همکاران (۱۹۸۲) گزارش کردندکه به ازای هر تن تولید ماهی ۳۰۰–۲۵۰ کیلوگرم مواد معلق حاصل از مدفوع ماهیان و غذای باقیمانده به محیط آزاد می‌گردد. همچنین عنوان نمودند که به ازای هر کیلو ماهی آزاد در قفس ۰/۰۲۳ کیلوگرم فسفر و ۰/۱۰ کیلوگرم نیتروژن به محیط آبی اطراف اضافه می‌شود. Axler و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که در رسوبات سیاه‌رنگی که در زیر قفس‌های آبزی‌پروری قرار دارند، میزان کربن و سطوح نیتروژن و فسفر آن‌ها افزایش‌یافته و سمی هستند. فسفر، نیتروژن و کربن موجود در رسوبات ته‌نشین شده حاصل از مواد دفعی و ضایعات غذایی می‌باشد. Wang و همکاران (۲۰۱۴) عنوان نمودند که فعالیت‌های آبزی‌پروری در قفس در مناطق غیر آلوده حجم بالایی از مواد مغذی، مواد معلق و آلی را در آب و رسوبات وارد می‌شود. غنی شدن مواد مغذی رسوبات در مجاورت قفس در جهان معمول بوده به‌طوری‌که در هنگ‌کنگ این میزان در رسوبات نسبت به سایت مرجع ۱۳/۲ برابر بیشتر بوده است. Price و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که با توجه به حجم بالای خروجی پرورش ماهی در قفس دریایی و جلوگیری از شکوفایی محتمل، بهتر است مقادیر مواد مغذی آب و رسوبات منطقه استقرار پایش گردد تا نقش مسائل اکولوژیکی حاصل از مزارع و قفس‌های پرورش ماهی مشخص گردد. بررسی داده‌های پایه در بیان وضعیت اثرات زیست‌محیطی پرورش ماهی دریایی اهمیت دارد (White, 2009)؛ بنابراین در این مطالعه به بررسی ۱- تغییرات عناصر مغذی (فرم‌های مختلف فسفر و ازت) در ایستگاه‌ها و فصول مختلف در رسوبات سطحی و ۲- مقایسه با مطالعات دیگران در محل‌های انتخاب‌شده برای پرورش ماهی در قفس قبل از ماهی‌دار شدن (سواحل مازندران–کلارآباد) خواهد پرداخت.

## مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری رسوبات سطحی از پائیز ۱۳۹۰ آغازشده و تا تابستان ۱۳۹۱ ادامه داشته است. تعداد ۳۶ نمونه رسوب سطحی در ۳ ایستگاه شامل ایستگاه اول در محل استقرار قفس، ایستگاه دوم در قسمت غربی به فاصله ۵۰۰ متر از قفس و ایستگاه سوم در قسمت شرقی به فاصله ۵۰ متر از قفس جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری رسوب از طریق نمونه‌بردار ون وین گرب (Van Ween) و به‌وسیله قایق انجام گردید.

موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری به همراه نام ایستگاه‌ها و فاصله در محل استقرار قفس دریایی سواحل مازندران–کلارآباد در جدول ۱ آورده شده است.

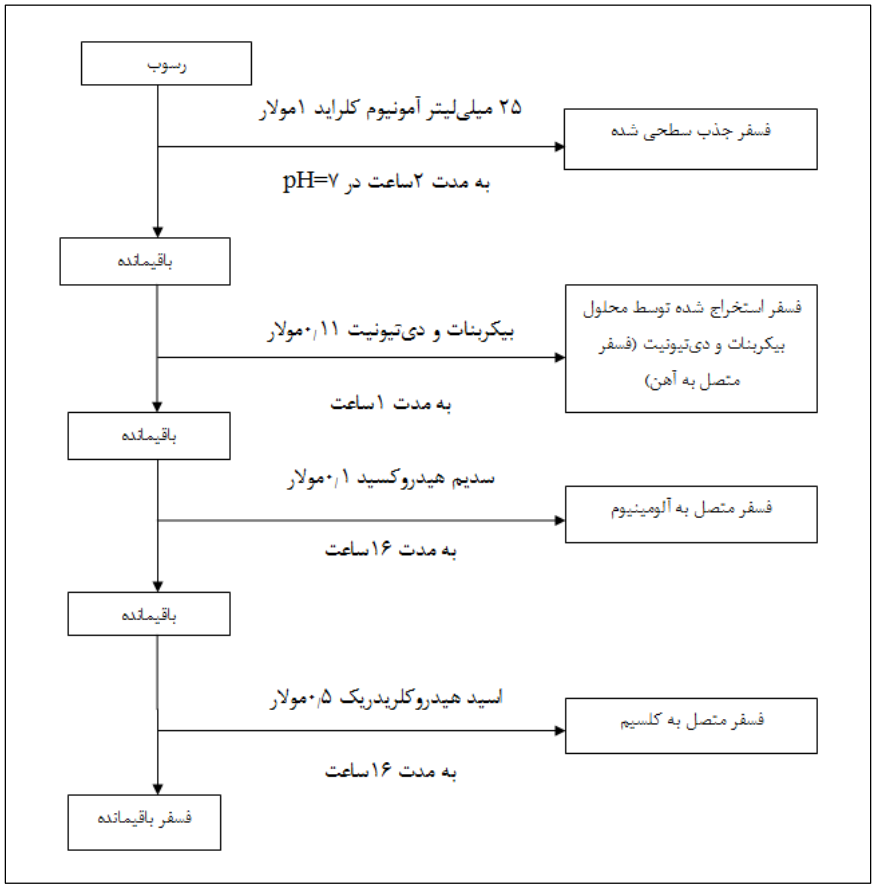


[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

**جدول ۱: موقعیت جغرافیایی، نام ایستگاه‌ها و عمق نمونه‌برداری رسوب در محل احتمالی استقرار قفس سواحل مازندران-کلارآباد.**

| شماره ایستگاه | ایستگاه | مختصات جغرافیایی | | عمق (متر) |
|---|---|---|---|---|
| | | E | N | |
| ۱ | استقرار قفس | ۵۱ ،۳۱،۱۵ | ۴۲،۴۲،۳۶ | ۲۰ |
| ۲ | ۵۰۰ متری بخش غربی | ۵۱ ،۱۴،۱۵ | ۴۲،۴۴،۳۶ | ۲۰ |
| ۳ | ۵۰ متری بخش شرقی | ۵۱ ،۳۲،۱۵ | ۴۲،۴۳،۳۶ | ۲۰ |

در این تحقیق از روش استخراج متوالی Psenner و همکارانش (۱۹۸۴) برای جداسازی انواع فسفر موجود در رسوب‌های دریای مازندران استفاده شد. در این روش امکان جداسازی پنج فرم مختلف فسفر (فسفر جذب سطحی، فسفر متصل به آهن، فسفر متصل به آلومینیم، فسفر متصل به کلسیم و فسفر باقیمانده) فراهم‌شده است.




**شکل ۱: نمودار روش استخراج متوالی فسفر در رسوبات (Psenner *et al*.,1984).**



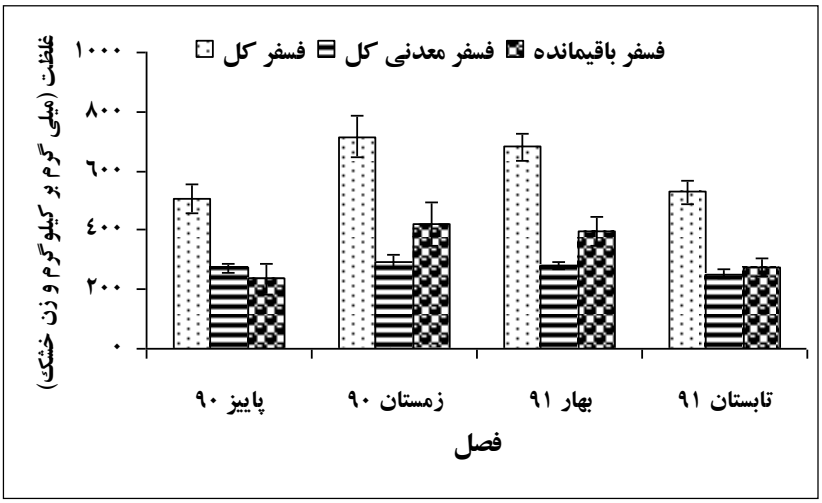
[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

۱۰ گرم از نمونه رسوب خشک‌شده به همراه ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و یک گرم کربنات کلسیم با همزن الکتریکی هم زده‌شده. (Hesse, 1971). سپس نمونه‌های صاف‌شده برای تعیین فرم‌های مختلف ازت از روش اسپکتروفتومتری استفاده گردید (Sapzhnikove *et al*., 1988; APHA, 2005).

در این مطالعه دو گروه از متغیرها یعنی متغیرهای مستقل (ایستگاه‌ها و فاصله‌ها) و متغیرهای وابسته (کلیه پارامترهای عناصر مغذی) در نظر گرفته شدند. داده‌ها را بر اساس فرایند رتبه‌بندی انتقال داده و سپس با آزمون شاپیرو–ویلک و رسم نمودار Q-Q نرمال بودن آن تأیید گردید (Siapatis *et al*., 2008). برای تجزیه‌وتحلیل آماری از آزمون‌های پارامتریک (ANOVA, T-test, Pearson correlation) استفاده گردید. ثبت اطلاعات و کلاسه‌بندی داده‌ها در نرم‌افزار ۲۰۰۳، ۲۰۱۰، Excel و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در برنامه‌های آماری SPSS نسخه ۱۱/۵ انجام گردید. غلظت فرم‌های مختلف فسفر و ازت برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک (mg/kg.dw) بیان گردید. در ضمن تمام میانگین‌ها به همراه خطای استاندارد (SE) آورده شده است.

## نتایج

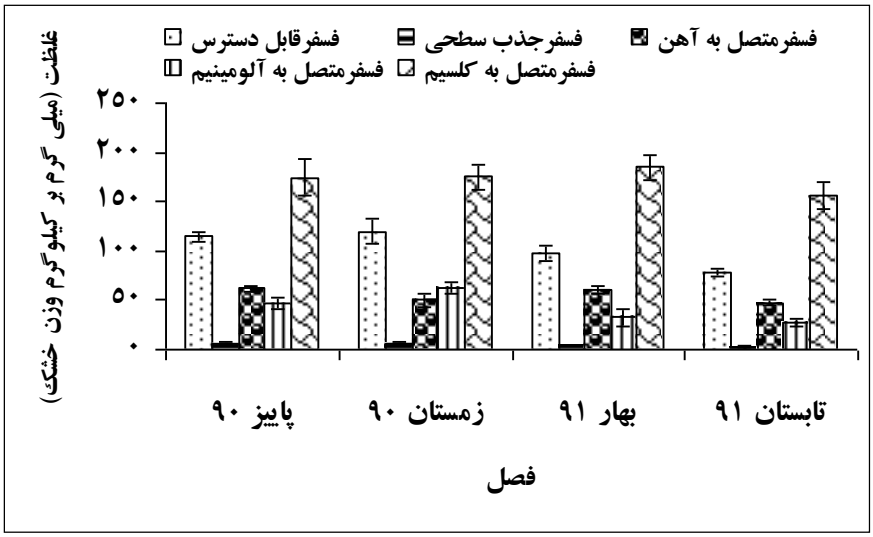
تغییرات فصلی فرم‌های مختلف فسفر رسوبات سطحی در محل احتمالی استقرار قفس سواحل کلارآباد– مازندران در شکل ۲ و ۳ نشان داده است. حداکثر غلظت فسفر کل (Total Phosphorous) (مجموع پنج فرم مختلف فسفر)، فسفر معدنی (Total Inorganic Phosphorous) و فسفر باقیمانده (Residue Phosphorous) در فصل زمستان ثبت گردید و میانگین فسفر کل به همراه فسفر باقیمانده در فصول مختلف معنی‌دار بوده است (ANOVA, P<۰/۰۵). حداکثر غلظت فسفر قابل‌دسترس (Available Phosphorous)، فسفر جذب سطحی (Adsorbed Phosphorous)، فسفر متصل به آلومینیم (Aluminum Phosphorous) در فصل زمستان مشاهده گردید اما حداکثر غلظت فسفر متصل به آهن (Iron Phosphorous) و فسفر متصل به کلسیم (Calcium Phosphorous) به ترتیب در فصول پاییز و بهار ثبت گردید. میانگین Available.-P، Adsorbed-P و Al-P در فصول مختلف معنی‌دار بوده است (ANOVA,P<۰/۰۵).




**شکل ۲: غلظت فسفر کل (TP)، فسفر معدنی کل (TIP) و فسفر باقیمانده (Res.-P) رسوبات (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) طی فصول مختلف در محل احتمالی استقرار قفس سواحل مازندران–کلارآباد (سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱).**



[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]




**شکل ۳: غلظت فسفر قابل‌دسترس (Available-P)، فسفر جذب سطحی (Adsorbed-P)، فسفر متصل به آهن (Fe-P)، فسفر متصل به آلومینیم (Al-P) و فسفر متصل به کلسیم (Ca-P) رسوبات (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) طی فصول مختلف در محل احتمالی استقرار قفس سواحل مازندران-کلارآباد (سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱).**

جدول ۲ درصد فرم‌های مختلف فسفر معدنی را نشان می‌دهد. نتایج این جدول بیانگر تغییرات متفاوت فرم‌های معدنی و آلی در فصول مختلف می‌باشد به‌طوری‌که سهم فرم فسفر باقیمانده که شامل فرم‌های آلی و غیرقابل تجزیه می‌باشد در دامنه ۱۳ تا ۷۳ درصد رسید و میانگین سالانه این فرم بیش از ۵۰ درصد مشاهده گردید. در بین فرم‌های معدنی فسفر در رسوبات، درصد فسفر متصل به کلسیم به بیش از ۶۰ درصد رسید و سهم فسفر قابل‌دسترس کمتر از ۴۰ درصد به دست آمد. همچنین ترتیب درصد فرم‌های مختلف معدنی فسفر برابر Ca-P>Fe-P>Al-P>Adsorbed-P بود.

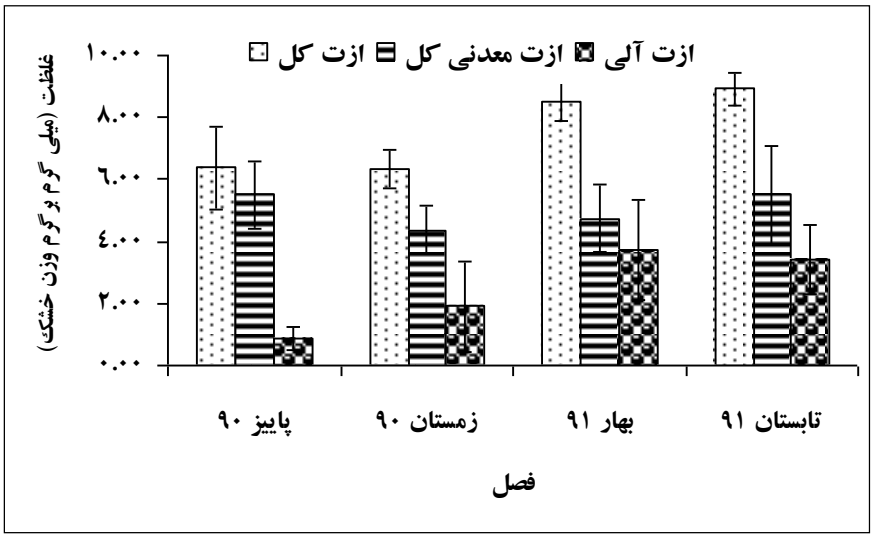
**جدول ۲: تغییرات درصد فرم‌های مختلف و میانگین سالانه فسفر در رسوبات در محل احتمالی استقرار قفس سواحل مازندران-کلارآباد (سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱).**

| | پاییز ۹۰ | زمستان ۹۰ | بهار ۹۱ | تابستان ۹۱ | سالانه (۹۱-۹۰) |
|---|---|---|---|---|---|
| فسفر معدنی کل (TIP%) | ۳۳-۷۰ | ۳۵-۶۱ | ۳۵-۸۷ | ۲۷-۶۳ | ۴۸±۲ |
| فسفر باقیمانده (Res.-P%) | ۳۰-۶۷ | ۳۹-۶۵ | ۱۳-۶۵ | ۳۷-۷۳ | ۵۲±۲ |
| فسفر متصل به کلسیم (Ca-P%) | ۴۹-۷۵ | ۵۱-۸۱ | ۴۴-۶۶ | ۴۹-۷۴ | ۶۲±۲ |
| فسفر جذب سطحی (Adsorbed-P%) | ۱/۳-۳/۴ | ۱/۶-۳/۵ | ۰/۹-۱/۵ | ۱/۰-۱/۹ | ۱/۹±۰/۱ |
| فسفر متصل به آهن (Fe-P%) | ۱۹-۲۵ | ۱۲-۳۷ | ۱۷-۳۲ | ۶-۲۱ | ۲۰±۱ |
| فسفر متصل به آلومینیم (Al-P%) | ۴-۳۰ | ۶-۲۲ | ۷-۲۷ | ۱۷-۲۸ | ۱۶±۱ |
| فسفر قابل‌دسترس (Available-P%) | ۲۵-۵۲ | ۱۹-۵۰ | ۳۴-۵۶ | ۲۶-۵۱ | ۳۸±۲ |

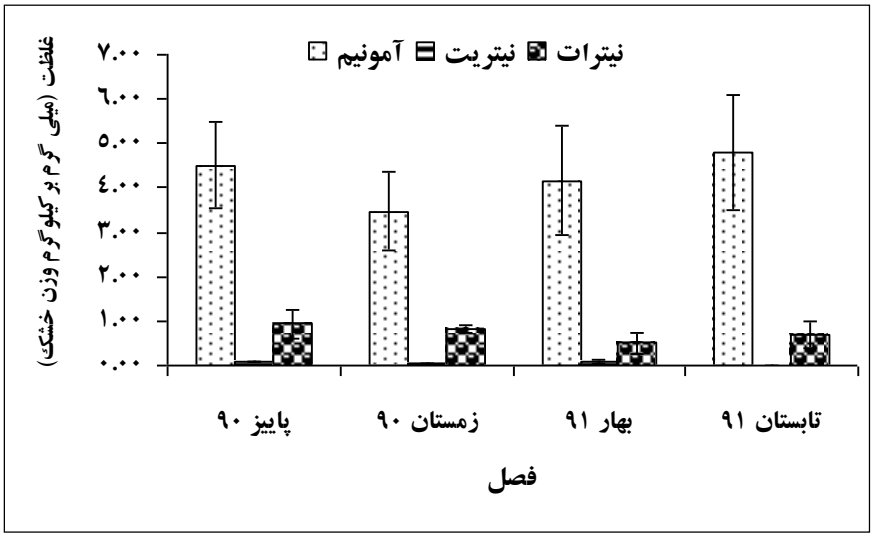


[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

تغییرات فصلی فرم‌های مختلف ازت رسوبات سطحی در محل احتمالی استقرار قفس سواحل کلارآباد- مازندران در شکل ۴ و ۵ نشان داده است. حداکثر غلظت ازت کل (TN)، ازت معدنی (TIN) در تابستان و ازت آلی (TON) در فصل بهار ثبت گردید و میانگین هر سه فرم ازت در فصول مختلف معنی‌دار نبوده است (ANOVA, P>۰/۰۵). حداکثر غلظت ازت آمونیمی (NH4) در فصل تابستان اما حداکثر ازت نیتریتی (NO2) و ازت نیتراتی (NO3) در فصل پاییز ثبت گردید و میانگین هر سه فرم ازت در فصول مختلف معنی‌دار نبوده است (ANOVA, P>۰/۰۵).




**شکل ٤: غلظت ازت کل (TN)، ازت معدنی (TIN) و ازت آلی (TON) رسوبات (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) طی فصول مختلف در محل احتمالی استقرار قفس سواحل مازندران-کلارآباد (سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱).**




**شکل ٥: غلظت آمونیم (NH4)، نیتریت (NO2) و نیترات (NO3) رسوبات (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) طی فصول مختلف در محل احتمالی استقرار قفس سواحل مازندران-کلارآباد (سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱).**



[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

جدول ۳ درصد فرم‌های مختلف ازت را در فصول مختلف و نیز سال نشان می‌دهد. نتایج این جدول بیانگر بالاتر بودن فرم‌های معدنی در فصول مختلف می‌باشد به‌طوری‌که سهم سالانه فرم معدنی ازت بیش از دو برابر فرم آلی می‌باشد. همچنین در میان فرم‌های مختلف ازت معدنی، ازت آمونیمی بیش از ۸۰ درصد را شامل شد و دو فرم ازت نیتریتی و نیتراتی کمتر از ۲۰ درصد بود.

**جدول ۳: تغییرات درصد فرم‌های مختلف و میانگین سالانه ازت رسوبات طی فصول مختلف در محل احتمالی استقرار قفس سواحل مازندران-کلارآباد (سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱).**

| | پاییز ۹۰ | زمستان ۹۰ | بهار ۹۱ | تابستان ۹۱ | سالانه (۹۱-۹۰) |
|---|---|---|---|---|---|
| ازت آلی (TON%) | ۸-۱۹ | ۶-۶۳ | ۱۶-۶۹ | ۱۲-۵۶ | ۳۰±۷ |
| ازت معدنی کل (TIN%) | ۸۱-۹۲ | ۳۷-۹۴ | ۳۱-۸۴ | ۴۴-۸۸ | ۷۰±۷ |
| ازت آمونیمی (NH4%) | ۷۵/۱۰-۹۰/۳۰ | ۶۱/۸۰-۸۴/۳۰ | ۶۰/۲۰-۹۵/۰۰ | ۸۵/۱۰-۹۱/۰۰ | ۸۲/۳۳±۳/۰۶ |
| ازت نیتریتی (NO2%) | ۰/۸۰-۲/۷۰ | ۱/۰۰-۱/۹۰ | ۱/۱۰-۲/۸۰ | ۰/۲۰-۰/۴۰ | ۱/۳۳±۰/۲۵ |
| ازت نیتراتی (NO3%) | ۷/۹۰-۲۴/۱۰ | ۱۴/۳۰-۳۶/۳۰ | ۳/۸۰-۳۳/۲۰ | ۸/۵۰-۱۴/۷۰ | ۱۶/۳۳±۳/۰۳ |

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میانگین سالانه فسفر کل، فسفر معدنی و فسفر باقیمانده بین سه ایستگاه بر اساس آزمون ANOVA اختلاف معنی‌داری وجود ندارد که این امر احتمالاً به دلیل فاصله نزدیک ایستگاه‌ها و تغییرات کم فرم‌های مختلف فسفر در رسوبات می‌باشد؛ اما بین میانگین فسفر کل و فسفر باقیمانده در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد (ANOVA, P<۰/۰۵). ازآنجایی‌که در حوزه جنوبی دریای خزر تغییرات فصلی به همراه تغییرات فعالیت‌های اکولوژیکی صورت می‌پذیرد بنابراین انتظار تغییرات معنی‌دار پارامترهای محیطی وجود دارد که با نتایج فوق مطابقت داشته است. همچنین حداکثر غلظت فسفر کل و فسفر باقیمانده در فصل زمستان ثبت‌شده است که احتمالاً به دلیل فعالیت اکولوژیکی از قبیل افزایش تراکم پلانکتون‌ها و شانه‌دار در فصل تابستان و پاییز و متعاقب آن ترسیب لاشه این موجودات و موکوس مترشحه از شانه‌دار به آب و رسوبات در فصل زمستان غلظت فرم‌های مختلف فسفر را افزایش داده است (روحی و همکاران، ۱۳۹۲ ,Nasrollahzadeh 2008;). غلظت فسفر قابل‌دسترس در رسوبات (مجموع سه فرم‌های فسفر جذب سطحی، آهن و آلومینیم) دارای درصد قابل‌ملاحظه‌ای بوده است (۳۸ درصد از فسفر کل). همچنین بر اساس این آزمون بین میانگین فسفر قابل‌دسترس در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری با حداکثر مقدار در فصل زمستان ثبت شد که احتمالاً همانند غلظت فسفر کل و فسفر باقیمانده به دلیل فعالیت اکولوژیکی بوده است.

در میان سه فرم فسفر قابل‌دسترس، فسفر جذب سطحی (Adsorbed-P) دارای کمترین درصد (۵ درصد) بوده است که علت آن را به مصرف مستقیم این فرم از فسفر قابل‌مبادله توسط موجودات زنده دریایی در نظر گرفت. غلظت Adsorbed-P به ترتیب در فصل زمستان (۶/۷۰±۰/۳۳) بیشترین و در تابستان کمترین میزان را داشت. بالا بودن غلظت Adsorbed-P در این فصل را می‌توان به شکوفایی شانه‌دار درشت سایز که در رسوبات ته‌نشین شده‌اند مرتبط دانست (روحی و همکاران، ۱۳۹۲). از آنجائی که در فصول بهار (۴/۳۳±۰/۳۳) و تابستان (۲/۷۶±۰/۲۶) افزایش تراکم جلبک‌ها آغاز می‌شود پس میزان بیشتری از این فسفر آزادشده و در اختیار آن‌ها قرار می‌گیرد و درنتیجه مقدار کمتری در رسوبات ته‌نشین می‌شود (Nasrollahzadeh, 2008). میزان انتشار Adsorbed-P، به غلظت فسفات ستون آبی و همچنین سایر شرایط زیست‌محیطی مانند دما و شوری آب بستگی دارد (Zhang and Huang, 2011). نتایج نشان داد که نسبت فسفر معدنی رسوبات دریای خزر به فسفر معدنی آب عمقی بسیار زیاد بوده است (نصراله زاده ساروی و همکاران، ۱۳۹۴) که بیانگر نفوذ فسفر معدنی از رسوبات به ستون آب است زیرا غلظت فسفر



[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

در رسوبات خیلی بیشتر از ستون آبی است که با قانون انتشار ترکیبات یعنی انتقال از محیطی با غلظت بیشتر به محیطی با غلظت کمتر مطابقت دارد. Zhang و Huang (2011) گزارش کردند در خلیج فلوریدا تبادل فسفر جذب سطحی (Adsorbed-P) با ستون آب (Sediment-water exchange of Phosphorous) با افزایش دما و کاهش شوری افزایش می‌یابد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که حداقل میانگین Adsorbed-P در فصل تابستان با حداکثر دما به‌دست‌آمده است که با نتایج فوق مشابه بوده است. شایان‌ذکر است در تابستان که شوری و دما افزایش نشان می‌دهد با توجه به اینکه شوری به‌غیراز نوار ساحلی دارای تغییراتی کمی می‌باشد بنابراین نقش دما علاوه بر عوامل دیگر مؤثرتر در جذب و رهاسازی Adsorbed-P بیشتر نمود پیدا می‌کند.

فسفر قابل‌دسترس غالباً به فرم‌های فسفر متصل به اکسیدهای منگنز (Al-P) با ۴۰ درصد و به میزان فسفر متصل به اکسیدهای آهن (Fe-P) با ۵۵ درصد در رسوبات مشاهده گردید. به‌طوری‌که میانگین سالانه Fe-P ده برابر Adsorbed -P و هشت برابر Al-P بوده است. آهن (III) به علت حالیت کم در محیط‌های آبی، عمدتاً به شکل ذره‌ای و کلوئیدی یافت می‌شود. در میان انواع مختلف ذرات طبیعی، آهن دارای قویی‌ترین ظرفیت جذب برای فسفات هستند (Lovley, 1991). درنتیجه، میزان اکسید و هیدروکسید آهن در رسوبات می‌تواند یک عامل مهم در تنظیم ظرفیت نگهداری فسفر در رسوبات تلقی گردد. درزمانی که پتانسیل احیایی از ۲۰۰ میلی ولت کمتر باشد میزان اکسیژن محلول کم بوده و شرایط وضعیت احیایی و تبدیل $Fe^{+3}$ ظرفیتی به $Fe^{+2}$ ظرفیتی و آزادسازی فسفر فراهم است (Chang and Jackson, 1957; Abel AbelShilla, *et al*., 2009). داده‌های اکسیژن محلول در فصول مختلف از اعماق موردبررسی در این مطالعه تغییرات زیادی را نشان نداده است (نصراله تبار و همکاران، در حال انتشار) بنابراین فاکتور کاهش اکسیژن به‌عنوان عامل رهاسازی Fe-P کمتر مطرح می‌باشد. مثبت بودن پتانسیل احیایی نشان‌دهنده حضور اکسیژن در رسوبات است (EAO, 1996). در رسوبات سطحی غیر آلوده میزان پتانسیل احیایی در محدوده ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی ولت می‌باشد (Winsby *et al*., 1996). منفی بودن پتانسیل احیایی رسوبات بیانگر غنی بودن مواد آلی، دانه‌بندی ریز سایز، کم بودن اکسیژن و غیر هوازی بودن آن‌ها می‌باشد (Winsby *et al*., 1996). در مطالعه نصراله زاده و همکاران (۱۳۹۴) میانگین پتانسیل احیایی رسوبات سطحی حوزه جنوبی دریای خزر در سال ۱۳۹۲ در محدوده‌ی (۷۴-) – (۶۴-) میلی ولت گزارش گردید. با توجه به اینکه این مقادیر خیلی کمتر از ۲۰۰ میلی ولت می‌باشد، نقش پررنگ این فاکتور در رهاسازی Fe-P در رسوبات دریای خزر آشکار می‌شود. همچنین در مطالعه Conley و همکاران (۲۰۰۲) در دریای بالتیک غلظت فسفر معدنی آب با میزان سطح بی‌هوازی رسوبات همبستگی مثبت نشان داد به‌طوری‌که در این شرایط در مقیاس وسیع Fe-P از رسوبات به ستون آب منتقل گردید که با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در دریای خزر نیز ممکن است رخ دهد. بنابراین انتقال Fe-P در رسوبات دریای خزر در منطقه استقرار قفس دریایی در این شرایط با سرعت بیشتری صورت خواهد گرفت که می‌تواند پتانسیل شکوفایی را در این اکوسیستم افزایش دهد.

غالباً میزان فسفر متصل به آلومینیوم (Al-P) تحت تأثیر pH محیط قرار دارد. زمانی که pH (۹-۸) بالاتر رود یون‌های هیدروکسید با رقابت با یون‌های فسفات جایگزین آن‌ها شده و درنتیجه فسفات از رسوبات آزاد می‌شود (Duan and Gregory, 2003). نتایج تحقیق نصراله زاده ساروی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که میزان pH در رسوبات از ۸/۰۶ در فصل پائیز تا ۸/۲۸ در فصل تابستان متغیر بود. در تحقیق حاضر نیز تغییرات میزان pH رسوبات در محدوده ۸/۰۱ و ۸/۵۵ بوده است؛ بنابراین، این فرم از فسفر نیز با توجه به بالا بودن pH دریای خزر می‌تواند به ستون آبی منتقل گردد. Pearson و Black (۲۰۰۱) عنوان نمودند که در مناطق زیرین استقرار قفس دریایی، وجود شرایط شدید بی‌هوازی امکان آزاد شدن گازهای مختلف از قبیل $CO_2$، $H_2S$ و $CH_4$ را افزایش می‌دهد و درنتیجه با آزاد شدن آن‌ها pH رسوبات افزایش می‌یابد؛ بنابراین، با افزایش میزان pH فرم Al-P با سرعت بیشتری به ستون آبی منتقل می‌گردد که می‌تواند پتانسیل شکوفایی را در این اکوسیستم افزایش دهد.



[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

در تحقیق حاضر نیز در میان انواع مختلف فسفر معدنی در رسوبات موردبررسی، فسفر متصل به کلسیم (Ca-P) و فسفر آلی (Org-P) بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. در دریای بالتیک مهم‌ترین فسفر موجود در رسوبات فسفر آتیژنیک متصل به کلسیم (Ca-P) و فسفر آلی (Org-P) هم در نزدیک به ساحل (Ruttenberg and Berner, 1993) و هم دور از ساحل (Slomp *et al*., 1996) بودند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. با توجه به اینکه استقرار قفس دریایی با افزایش فسفر (به‌خصوص فسفر آلی) در رسوبات آن منطقه همراه می‌گردد (EAO, 1996) لذا انتظار افزایش این فرم از فسفر در رسوبات منطقه کلارآباد بیشتر خواهد شد که درنهایت با تبدیل‌شدن به فرم معدنی و شرایط محیطی رسوبات به ستون آب منتقل خواهد گشت درنتیجه منجر به غنی شدن آب از مواد مغذی خواهد شد.

Samadi-Maybodi و همکارانش (۲۰۱۳) گزارش کردند که از میان چهار فرم معدنی فسفر، فرم P–authigenic با ۴۸-۸۳ درصد دارای بیشترین توزیع و غلظت بوده است و اشکال مختلف فسفر در دریای خزر به‌صورت P-authigenic>P–Fe>loosely bound-P>detrital-P بوده است. در مطالعه حاضر در میان اشکال مختلف فسفر معدنی، بیشترین غلظت به فرم Ca-P (۶۲ درصد) اختصاص داشته و اشکال مختلف فسفر معدنی در رسوبات به ترتیب Ca-P>Fe-P>Al-P>Adsorbed-P ثبت گردید. شاید بتوان اختلاف در ترتیب اشکال مختلف فسفر در این دو تحقیق را به روش استخراج پی‌درپی نسبت داد. Penn و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که بالا بودن این‌گونه از فسفر (Ca-P و یا P-authigenic) بیانگر آهکی بودن رسوبات است. ازآنجایی‌که بستر رسوبات دریای خزر آهکی می‌باشد (Kosarev, 2005) بنابراین بالا بودن غلظت Ca-P (در تحقیق حاضر) و یا P–authigenic (Samadi-Maybodi *et al*., 2013) در منطقه جنوبی دریای خزر سواحل ایران دور از انتظار نبودهاست. همچنین مطالعه Nasrollahzadeh Saravi و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که فراوانی نسبی فرم‌های مختلف فسفر معدنی نیز به‌این‌ترتیب Ca-P>Fe-P>Al-P>Adsorbed-P می‌باشد؛ بنابراین در این ناحیه میزان Ca-P با بیش از ۸۵ درصد (۴۰۰±۹۱۴ میکروگرم بر گرم بر وزن خشک رسوب) قابل‌ملاحظه بوده‌است؛ اما در تحقیق حاضر درصد فسفر معدنی به ۴۸ درصد رسید که کمتر از تحقیقات فوق بوده است و در بین فرم‌های معدنی فسفر در رسوبات درصد فسفر متصل به کلسیم بیش از ۶۰ درصد ثبت گردید.

مقایسه ترتیب فراوانی نسبی فرم‌های مختلف فسفر تحقیق حاضر با تحقیقات کارهای دیگران در سایر کشورهای جهان در جدول ۴ نشان داده شد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که در اکوسیستم‌های دریایی میزان غلظت Ca-P بالا می‌باشد اما در دریاچه‌های مختلف دیگر ترتیب فراوانی نسبی به‌هم‌خورده به‌طوری‌که فسفر آلی و همچنین Al-P دارای غلظت بیشتری نسبت به دیگر فرم‌های فسفر دارا می‌باشد. این اختلاف در فراوانی نسبی فرم‌های مختلف فسفر را می‌توان به نوع بستر رسوب، ورودی دریاچه‌ها، شرایط اقلیمی، شوری و سایر پارامترهای محیطی دیگر نسبت داد.

**جدول ٤: مقایسه ترتیب فراوانی نسبی فرم‌های مختلف فسفر تحقیق حاضر با تحقیقات کارهای دیگران در سایر کشورهای جهان.**



[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

| ردیف | فراوانی نسبی فسفر | مکان | روش استخراج | مرجع |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | Org-P>Ca-P> Al-P> Fe-P>Adsorbed-P | Beppu bay | Pesnner, 1984 | Yamada and Kayama, 1987 |
| ۲ | Ca-P>Org-P>Fe/Al-P>Adsorbed-P | Mediterranean Sea | Pesnner, 1984 | Khalil et al., 2007 |
| ۳ | Al-P>Ca-P> Fe-P>Adsorbed-P | Manzalah Lake | Pesnner, 1984 | Abdel-Satra and Gohar, 2009 |
| ۴ | Ca-P>Al-P>Fe-P>Adsorbed-P>Org-P | NE Mediterrenean Sea | Pesnner, 1984 | Aydin et al., 2009 |
| ۵ | Org-P>Ca-P>Al+Fe-P>Adsorbed-P | Koycegiz Lake | Pesnner, 1984 | Sahin et al., 2012 |
| ۶ | Org-P>Ca-P>Fe-P>Adsorbed-P>Al-P | Nansi Lake | Pesnner, 1984 | Zhang et al., 2014 |
| ۷ | P-authigenic>P–Fe>Adsorbed-P>Org-P>detrital-P | Caspian Sea | Ruttenberg, 1992 | Samadi-Maybodi et al., 2013 |
| ۸ | Ca-P>Org-P>Fe-P>Al-P>Adsorbed-P | Caspian Sea | Pesnner, 1984 | Nasrollahzadeh Saravi et al., 2015 |
| ۹ | Org-P>Ca-P>Fe-P>Al-P> Adsorbed-P | Caspian Sea | Pesnner, 1984 | تحقیق حاضر |

نتایج مربوط به فرم‌های مختلف ازت در رسوبات سطحی نشان داد که فرم آلی (دو برابر) بیش از فرم معدنی بوده است و همچنین در بین فرم‌های معدنی ازت آمونیمی تقریباً چهار برابر ازت نیتراتی بوده است. نتایج مطالعه نصراله زاده ساروی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که نسبت ازت معدنی رسوبات دریای خزر به ازت معدنی آب عمقی بسیار بوده است که بیانگر نفوذ ازت معدنی از رسوبات به ستون آب است زیرا غلظت ازت در رسوبات خیلی بیشتر از ستون آبی است و می‌توان دریافت که انتقال ازت معدنی نسبت به ازت آلی بیشتر صورت می‌گیرد و همچنین انتقال ازت آمونیمی نسبت به ازت نیتراتی بیشتر انجام می‌گردد زیرا دارای نسبت‌های بالایی می‌باشند.

نتایج تحقیقات EAO (۱۹۹۶) و Winsby و همکاران (۱۹۹۶) نشان داد که رهاسازی نیتروژن متصل به رسوبات به ستون آبی در شرایط هوازی قابل‌اغماض است و میزان آزادسازی آمونیم معدنی شده در رسوبات به ستون آبی در شرایط هوازی بسیار کم می‌باشد. همچنین Kemp و Boynton (۱۹۹۲) گزارش کردند، در رسوباتی که شرایط بی‌هوازی حاکم باشد سرعت فرآیند نیتریفیکاسیون کاهش قابل‌ملاحظه‌ای می‌یابد به‌طوری‌که در فرایند معدنی شدن ازت آلی درصد قابل‌ملاحظه‌ای به فرم آمونیم تبدیل خواهد شد. منفی بودن پتانسیل احیایی رسوبات بیانگر غنی بودن مواد آلی، دانه‌بندی ریز سایز، کم بودن اکسیژن و غیر هوازی بودن آن‌ها می‌باشد (Winsby *et al*., 1996). میانگین پتانسیل احیایی رسوبات سطحی در دریای خزر در سال ۱۳۹۲ در محدوده‌ی (۷۴-) – (۶۴-) میلی ولت بود (نصراله زاده و همکاران، ۱۳۹۴) که دلالت بر بی‌هوازی بودن رسوبات حوزه جنوبی دریای خزر دارد. در تحقیق حاضر نیز میانگین درصد آمونیم در رسوبات به بیش از ۸۰ درصد رسیده است و میانگین درصد فرم‌های اکسیده شده ازت (نیتریت و نیترات) کمتر از ۱۸ درصد بود که یافته‌های بالا را تأیید نمود. Sundback و McGathery (۲۰۰۵) مطرح کردند که در نواحی کم‌عمق تراکم مناسبی از میکرو جلبک‌های بنتوزی وجود دارند که از آمونیم رهاسازی شده از رسوبات استفاده می‌کنند به‌بیان‌دیگر از ورود آمونیم تولیدشده در رسوبات جلوگیری می‌کنند. در تحقیق حاضر با توجه به اینکه استقرار قفس در منطقه کلارآباد در عمق ۲۰ تا ۳۰ متر قرار خواهد گرفت و این عمق در لایه نوری قرارگرفته است (نصراله زاده ساروی و همکاران، ۱۳۹۱)، انتظار می‌رود که قسمت بیشتر آمونیم تولید در رسوبات توسط این میکروارگانیزم‌ها تجمع یابند و سهم کمتری به فیتوپلانکتون‌های پلاژیک برسد.

ASI (۱۹۹۹) گزارش کرد که میزان نیتروژنی که از پرورش ماهی در قفس دریایی به محیط اطراف وارد می‌شوند در محدوده ۷۲ تا ۷۹ درصد بوده‌است. Shakouri (۲۰۰۳) عنوان نمودند که در مزارع ماهی آزاد آتلانتیک در قفس دریایی ۵۴ درصد از کل میزان جذب نیتروژن به محیط اطراف آزاد و خارج می‌شوند همچنین از این میزان رهاسازی شده ۸۲ درصد آن در آب محلول می‌باشند؛ بنابراین با فعالیت آبزی‌پروری در دریای خزر علاوه بر منابع داخلی به منابع خارجی مواد مغذی اضافه خواهد شد. به‌بیان‌دیگر با شروع فعالیت‌های پرورش ماهی در قفس میزان ازت در آب و رسوبات فزونی می‌یابد به‌طوری‌که از طریق این مزارع با توجه بالا بودن ازت محلول رهاسازی شده و بی‌هوازی بودن رسوبات و انتقال آمونیم به ستون آب با افزایش تراکم فیتوپلانکون احتمال وقوع شکوفایی را افزایش خواهد داد.



[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

میزان غلظت ازت در فرم‌های مختلف نسبت به فسفر در رسوبات بسیار کمتر می‌باشد زیرا ۸۲ درصد از ازت رهاسازی شده از موجودات به محیط در آب محلول می‌باشد و سهم کمتری در رسوبات ته‌نشین می‌شوند (Shakouri, 2003). تحقیق حاضر نیز چنین نتایجی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که میانگین فسفر کل و ازت کل در رسوبات به ترتیب برابر ۵۲±۶۰۸ و ۰/۵۱±۷/۵۳ میکروگرم برگرم وزن خشک بدست‌آمد و میزان فسفر کل تقریباً ۷۶ برابر بیش از ازت کل ثبت گردید.

## منابع


**روحی، ا.، اسلامی، ف.، نصراله زاده ساروی، ح.، مکرمی، ع.، رستمیان، م. ت.، کیهانی ثانی، ع. ر.، نصراله تبار، ع.، زاهدی، آ.، رازقیان، غ.ر.، خداپرست، ن.، کاردر رستمی، م.، الیاسی، ف. و محمد پورمند، ت. م.، ۱۳۹۲.** بررسی بیوماس و فراوانی شانه‌دار در منطقه جنوبی دریای خزر (سال ۱۳۸۹). موسسه تحقیقات شیلات ایران. ۵۶ ص.

**نصراله تبار، ع.، نجف پور، ش.، نگارستان، ح.، نصراله زاده ساروی، ح.، افرایی، م. ع.، پور غلام، ر.، واحدی، ف.، رامین، م.، اسلامی، ف.، فارابی، س. م. و.، علومی، ی.، یونسی پور، ح.، مخلوق، آ.، میر کمالی، تهاهی، ف.، سلیمانی رودی، ع.، کاردر، م.، ابراهیم‌زاده، م. و رازقیان، غ. ر، ۱۳۹۵.** بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب در محدوده استقرار قفس‌های پرورش ماهی (قبل از ماهی دار کردن) واقع در حوزه جنوبی دریای خزر (سواحل مازندران-کلارآباد) (سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰). موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور. (در حال انتشار)

**نصراله زاده ساروی، ح.، نجف پور، ش.، یونسی پور، ح.، علومی، ی.، واحدی، ف.، نصراله تبار، ع.، الیاسی، ف. پ.، نوروزیان، م.، دلیناد، غ. ح.، مکرمی، ع.، مخلوق، آ.، گل‌آقایی، م.، کاردر، م. ر. ۱۳۹۱.** بررسی خصوصیات فیزیکو شیمیایی آب در منطقه جنوبی دریای خزر (سال ۱۳۸۸). موسسه تحقیقات شیلات ایران.۱۱۴ص.

**نصراله زاده ساروی، ح.، افرایی، م. ع.، روحی، ه.، واحدی، ف.، نصراله تبار، ع.، علومی، ی.، یونسی پور، ح.، مخلوق، آ.، خداپرست، ن.، یعقوب زاده، ز.، رامین، م.، ابراهیم زاده، م.، رازقیان، غ. ر. و طهماسبی، م.، ۱۳۹٤.** پایش مواد مغذی رسوبات بر پدیده شکوفایی جلبکی در منطقه حوزه جنوبی دریای خزر (سال ۱۳۹۲). موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور. (در حال انتشار)

**Abdel-Satra, A. and Gohar, M. E., 2009.** Nutrient status and phosphorus speciation of Manzalah Lake sediment, Egypt. Thalassia Salentina, 32: 3-16.

**Abel Shilla, D., Asaeda, T. and Kalibbala, M., 2009.** Phosphorus speciation in Myall Lake sediment, NSW, Australia. Wetlands Ecology and Management, 17:85–91.

**APHA, 2005.** Standard Methods for the Examination of water and waste water. American Public Health Association. Centennial edition, Washington, USA. 1113 p.

**ASI (Aquatic Science Inc), 1999**. Literature review of the environmental impacts of caged aquaculture, ASI project E9708. G.B.A. Foundation. 22p.

**Axler, R., Owen, C., Ameel, J., Ruzycki, E. and Henneck, J., 1994.** Water quality issues associated with aquaculture: A case study in Minnesota Mine pit lakes. Lake Reservoir Management, 9:53-63.

**Aydina, I., Aydina, F., Saydutb, A. and Hamamci, C., 2009.** A sequential extraction to determine the distribution of phosphorus in the seawater and marine surface sediment. Journal of Hazardous Materials, 168: 664–669.

**Beveridge, M. C. M., 2004.** Cage Aquaculture. Blackwell Publishing. Third Edition.361p.

**Beveridge, M. C. M., 1984.** Cage and Pen fish farming. FAO publishing.131p.

**Beveridge, M. C. M., Phillips, M. J. and Macintosh, D. J., 1997.** Aquaculture and the environment: the supply of and demand for environmental goods and services by Asian aquaculture and the implications for sustainability. Aquaculture Research, 28:797–807.

**Chang, S. C. and Jackson, M. L., 1957.** Fractionation of soil phosphorus. Soil Science, 84:133–144.

**Conley, D. J., Humborg, C., Rahm, L., Savchuk, O. and Wulff, F., 2002.** Hypoxia in the Baltic Sea and basin scale changes in phosphorus biogeochemistry. Environmental Science and Technolog y, 36: 5315-5320.




[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

**Duan, J. and Gregory, J., 2003.** Coagulation by hydrolyzing metal salts. Advances in Colloid and Interface Science, 102-103:482-492.

**EAO (Environmental Assessment Office of the British Colombia, Canada), 1996.** The salmon aquaculture review, final report. http://www.interafish.com/laws-and-regulations/report_bc 14.11.2003. pp 51-62.

**FAO., 1992.** Aquaculture Production, 1984-1990. Fisheries Circular No. 815, Rome.206p.

**Hall, P. O. J., Holby, O., Kollberg, S. and Samuelsson, M. O., 1992.** Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. Marine Ecology Progress Series, 89:81–91.

**Hesse, P. R., 1971.** A Text Book of Soil Chemical Analysis. John Nurray Williams Clowes and sons Ltd. London. 520p.

**Holby, O. and 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.

**Kemp, W. M. and Boynton, W. R., 1992.** Benthic-Pelagic interactions: Nutrient and oxygen dynamics. In: Oxygen Dynamics in the Chesapeake Bay, DE Smith M Leffler and G Mackiernan (Eds). Maryland Sea Grant Publication, College Park, M.D, USA. pp. 149-209.

**Khalil, M. KH., Radwan, A. M. and El-Moselhy, KH. M., 2007.** Distribution of phosphorus fractions and some of heavy metals in surface sediments of Burullus Lagoon and adjacent Mediterranean Sea. Egyptian Journal of Aquatic Research, 33(1):277-289.

**Kosarev, A., 2005.** Physico-Geographical conditions of the Caspian Sea. Handbook of Environmental Chemistry, 5:5–31.

**Lovley, D. R., 1991.** Dissimilatory Fe(iii) and Mn(iv) reduction. Microbiology Review, 55:259-287.

**Nasrollahzadeh, H. S., 2008.** Ecological modeling on nutrient distribution and phytoplankton diversity in the southern of the Caspian Sea. Doctoral dissertation, University Science Malaysia. 245 p.

**Nasrollahzadeh Saravi, H., Pourariya, A., Nowrozi, B., 2015**. Phosphorus forms of the surface sediment in the Iranian coast of the Southern Caspian Sea. Caspian Journal of Environmental Sciences, 13(2):141-151.

**Pearson, T. H. and Black, K. D., 2001.** In Black. K.D.,ed. Environmental impact of aquaculture. Sheffield Academic Press, UK. pp. 1-30.

**Penczak, T., Galicka, W., Molinski, M., Kusto, E. and Zalewski, M., 1982.**The enrichment of a mesotrophic lake by carbon, phosphorus and nitrogen from the cage aquaculture of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Journal of Applied Ecology, 19:371–93.

**Penn, M. R., Auer, M. T., Doerr, S. M., Driscoll, C. T., Brooks, C. M. and Effler S. W., 2000.** Seasonality in phosphorus release rates from the sediments of a hypereutrophic lake under a matrix of pH and redox conditions. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57(5):1033-1041.

**Price, C., Black, K. D., Hargrave, B. T, James, A. and Morris, Jr., 2015.** Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production. Aquaculture Environment Interactions, 6:151–174.

**Psenner, R., Puesko, R. and Sager, M., 1984.** Die fractionier ungorganischer und anorganischer phosphor verbin dungen von sedimenten-versucheinere iner definition okologisch wich tiger fractionen. Archive für Hydrobiologie, 10:115–155.

**Refa Holding AS., 2002.** Main Frame Study for Sea Cage Culture Development in Iran.Executive Report to the Iran Fisheries Organization.

**Ruttenberg, K. C. and Berner, R. A., 1993.** Authigenic apatite formation and burial in sediments from non-upwelling continental margins. Geochimica et Cosmochimica Acta, 57:991-1007.

**Şahin, Y., Demirak, A. and Keskin, F., 2012.** Phosphorus Fractions and Its Potential Release in the Sediments of Koycegiz Lake, Turkey. Lakes, Reservoirs and Ponds, 6(2):139-153.

**Samadi-Maybodi, A., Taheri Saffar, H., Khodadoust, S., Nasrollahzadeh Saravi, H. and Najafpour, S., 2013**. Study on different forms and phosphorus distribution in the coastal surface sediments of Southern Caspian Sea by using UV–Vis spectrophotometery. Spectrochimca Acta. 113:67–71.



[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

**Sapozhnikov, V. N., Agativa, A. E., Arjanova, N. V., Nalitova, E. A., Mardosova, N. V., Zobarowij, V. L. and Bandarikov, E. A., 1988.** Methods of hydrochemical analysis of the major nutrients. VNIRO publisher: Moscow, Russia. 301p.

**SEPA, 1997.** Total phosphorus water quality standards for Scottish freshwater lochs. Scottish environmental Protection Agency, Policy 16. Dingwall Scotland. 18p.

**Shakouri, M., 2003.** Impact of Cage Culture on Sediment Chemistry A Case Study in Mjoifjordur. The United Nation University, Final Project. 44p.

**Siapatis, A., Giannoulaki, M., Valavanis, V., Palialexis, A., Schismenou, E., Machias, A. and Somarakis, S., 2008.** Modelling potential habitat of the invasive ctenophore Mnemiopsisleidyi in Aegean Sea. Hydrobiology, 612:281–295.

**Slomp, C. P., Epping, E. H. G., Helder, W. and Van Raaphorst, W., 1996.** A key role for iron-bound phosphorus in authigenic apatite formation in North Atlantic continental platform sediments. Journal of Marine Research, 54:1179-1205.

**Sundback, K. and McGlathery, K., 2005.** Interactions between benthic macroalgal and microalgal mats. In: Interactions between Macro- and Microorganisms in Marine Sediments, ed. E. Kristensen, R. R. Haeseand J. E. Kostka, American Geophysical Union, Washington DC. 22p.

**Wang, H. S., Chen Z. J., Cheng Z., Du J., Man Y. B., Leung H. M., Giesy J. P., Wong C. K. C. and Wong, M.H., 2014.** Aquaculture-derived enrichment of Hexa Chloro Cyclo Hexanes (HCHs) and dichloro diphenyl trichloro ethanes (DDTs) in coastal sediments of Hong Kong and adjacent mainland China. Science of the Total Environment, 466–467:214–220.

**White, P.G., 2009.** EIA and monitoring for clusters of small-scale cage farms in Bolinao Bay, FAO fisheries and aquaculture technical reports, No. 527. Rome. pp 537-542.

**Winsby, M., Sander, B., Archibald, D., Daykin, M., Nix, P., Taylor, F. J. R. and Mundy, D., 1996.**The environmental effects of salmon net-cage culture in British Colombia. Ministry of Environment, Lands and Parks, Environmental Protection Dept. Industrial Waste/Hazardous Contaminants Branch, Victoria, BC. Canada. 46p.

**Wu, R. S. S., 1995.** The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. Marine Pollution Bulletin, 31(4-42):159-166.

**Yamada, H. and Kayama, M., 1987.**Distribution and dissultion of several forms of phosphorus in coastal marine sediments. Ocean ologia Acta, 10(3): 311-321.

**Zhang, J. Z., and Huang X. L., 2011.** Effect of Temperature and Salinity on Phosphate Sorption on Marine Sediments. Environmental Science and Technology, 45: 6831-6837.

**Zhang, L., Wang, L., Yin, K., Lü, Y., Yang, Y. and Huang, X., 2014**. Spatial and seasonal variations of nutrients in sediment profiles and their sediment-water fluxes in the Pearl River estuary, Southern China. Journal of Earth Science, 25(1):197–206.

[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]

[ Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-25 ]