



بررسی همبستگی عامل های محیطی و جوامع پلانکتونی در تالاب فوق شور لیپار (شمال دریای عمان)

امیر قاضی لو^{۱*}، کمال الدین کر^۱، حمید ارشادی فر^۱، عماد کوچک نژاد^۱ و مهشید اولادی کلاریجانی^۲

^۱ ایستگاه پژوهش و فناوری اقیانوس شناسی و علوم جوی شهرستان چابهار، پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، چابهار، ایران
^۲ گروه زیست شناسی و زیست فناوری دریا و آبریان، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۷

قاضی لو، ا. ک. کر. ح. ارشادی فر. ع. کوچک نژاد و م. اولادی کلاریجانی. ۱۳۹۸. بررسی همبستگی عامل های محیطی و جوامع پلانکتونی در تالاب فوق شور لیپار (شمال دریای عمان). فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۴): ۱۰۷-۱۲۰.

سابقه و هدف: آب های فوق شور ۱ دارای خصوصیات ویژه ای هستند که آن ها را به مدل مناسبی برای مطالعات اکولوژیک مبدل کرده است. تالاب لیپار یک پهنه آبی فوق شور واقع در جنوب شرقی ایران (شمال دریای عمان) است که مطالعات اندکی روی آن صورت گرفته و بنابراین اطلاعات مربوط به ویژگی های زیستی و غیر زیستی آن بسیار محدود است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییر های زمانی ساختار اجتماعات پلانکتونی تالاب فوق شور لیپار و تاثیر عامل های محیطی بر این تغییر ها به انجام رسیده است.

مواد و روش ها: نمونه برداری های آب در سال ۱۳۹۶ و در سه فصل مانسون جنوب غربی، پس مانسون و پیش مانسون صورت پذیرفت. نمونه برداری آب بصورت سطحی و با استفاده از بطری های پلی اتیلنی جمع آوری شدند. بمنظور تراکم سنجی پلانکتونی ۵ نمونه آب جمع آوری شد و نمونه های پلانکتونی موجود پس از تثبیت توسط محلول لوگول و با استفاده از میکروسکوپ نوری شمارش شدند. بمنظور تعیین غلظت مواد مغذی نیز نمونه های ۲۵۰ میلی لیتری آب صاف شده و غلظت فسفات، سیلیکات و نترات آن ها با استفاده از روش اسپکتروفوتومتری اندازه گیری شدند. اندازه گیری ویژگی های فیزیوشیمیایی آب نیز در محل و با استفاده از سنجنده های قابل حمل صورت پذیرفت.

نتایج و بحث: اجتماعات پلانکتونی مشاهده شده در دوره مطالعه شامل 1890 *Fabrea salina* Henneguy از رده Heterotricha، 1905 *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco از رده Chlorophyceae، *Pseudo-nitzschia* sp. از رده Bacillariophyceae و *Spirulina* sp. از رده Cyanophyceae بود. الگوی تغییر های تراکم کل پلانکتون ها با حضور دو نقطه اوج تراکم در شهریورماه و آبان ماه مشخص شد و تفاوت در تراکم *Spirulina* sp. و *D. salina* بعنوان عامل های اصلی تغییر های زمانی ساختار اجتماعات پلانکتونی شناخته شد. اثر ۵ عامل شوری، غلظت اکسیژن، نیتريت، سیلیکات و فسفات محلول در آب بر تعیین ساختار اجتماعات پلانکتونی منطقه معنی دار بود.

نتیجه گیری: نتایج مطالعه حاضر بیانگر سطح به نسبت پایین مواد غذایی، تنوع زیستی کم و همچنین نوسانات شرایط محیطی است. نرخ بالای تبخیر آب، محدودیت در ورودی آب شیرین و همچنین ورودی آب توسط جزر و مد آب دریا و در نتیجه محدودیت مواد غذایی در دسترس می تواند از عامل های اصلی نقصان تولید های اولیه و تنوع زیستی پایین در این منطقه باشد. با توجه به افزایش فشار انسانی در اثر استحصال نمک از این تالاب، پایش هیدروبیولوژیک برای حفاظت بلندمدت از این تالاب ضروری بنظر می رسد.

واژه های کلیدی: تالاب لیپار (صورتی)، *Fabrea salina*، دریای عمان، *Dunaliella salina*، *Pseudo-nitzschia*، *Spirulina*.

*Corresponding Author: Email Address: amir.ghazilou@inio.ac.ir

مقدمه

آب‌های فوق شور به پهنه‌های آبی دارای شوری بیش از ۵۰ درصد اطلاق می‌گردد (Hammer, 1986). دریاچه‌ها و مصب‌های فوق شور بطور عموم حوضه‌های بسته‌ای با منشأ دریایی و یا قاره‌ای هستند، هرچند که می‌توانند منشأ انسان‌ساخت نیز داشته باشند (Boehrer and Schultze, 2008). این پهنه‌های آبی در تمام قاره‌ها یافت می‌شوند ولی عموماً در منطقه‌های بیابانی و نیمه بیابانی تشکیل می‌شوند (Shadrin, 2009). با توجه به نرخ بالای رسوب‌گذاری و تجمع مواد آلی، این توده‌های آبی از جایگاه ویژه-ای در کاهش اثر گازهای گلخانه‌ای برخوردار هستند (Last, 1993, Jellison et al., 1996, Shadrin, 2009).

مطالعه اجتماعات پلانکتونی آب‌های فوق شور از سابقه به نسبت طولانی برخوردار می‌باشد (Ruinen, 1938). این مطالعات بیشتر به بررسی ساختار اجتماعات یوکاریوتها و پروکاریوتها پرداخته‌اند و بطور عمده در حوضچه‌های تبخیر نمک صورت گرفته‌اند. بعنوان نمونه، مطالعه‌ی ساختار اجتماعات پلانکتونی حوضچه‌های تبخیری کشور تونس مؤید حضور گروه‌های مختلفی از پروکاریوتها و یوکاریوتها بود و تغییرهای گسترده‌ای در ساختار این اجتماعات در شوری بین ۱۵۰ تا ۳۵۰ واحد در هزار رؤیت شد (Elloumi et al., 2009). در حوضچه‌های تبخیری Atanasovsko در بلغارستان با بیشینه شوری ۵۴ واحد در هزار حضور حداکثر ۱۴ گونه فیتوپلانکتونی ثبت گردید (Gecheva et al., 2017) و در حوضچه‌های شهر Goa در هندوستان که میزان شوری آب به ۱۰۵ واحد در هزار می‌رسید، حداقل ۵ گونه میکروژنوپلانکتونی اجتماعات غالب پلانکتونی را به خود اختصاص می‌دادند (Mo-dassir and Ansari, 2011). برخی مطالعات دیگر نیز به بررسی مصب‌های ساحلی طبیعی پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای که به بررسی اجتماعات فیتوپلانکتونی آب‌های ساحلی اطراف قطر پرداخته است، اجتماعات فیتوپلانکتونی متنوعی (شامل بر حداقل ۱۲۵ گونه از دیاتومه‌ها، دوتاژکداران و جلبک‌های سبزآبی) شناسایی شدند (Quigg et al., 2013). در خورهای ساحلی جنوب آفریقا نیز تعداد ۱۶ جنس از مزه‌داران تولیدکننده و مصرف‌کننده مورد شناسایی قرار گرفتند. بیشینه شوری این خورها ۱۵۷ واحد در هزار اندازه‌گیری شد (Nche-Fambo et al., 2016).

تغییرهای شوری بعنوان یکی از مانع‌های اصلی در حیات موجودات زنده ریز و درشت دریایی بشمار می‌آید و میزان انرژی مورد نیاز جهت تنظیم اسمزی از عامل‌های اصلی محدودکننده حیات جانداران در شوری‌های بالا می‌باشد (Oren, 2002, Forster et al., 2012). بر همین اساس، با افزایش شوری، تنوع گونه‌های اجتماعات جانداران کاهش می‌یابد و زنجیره‌های غذایی آن‌ها در این موارد کوتاه شده و یا از بین می‌روند (Pedrós-Alió et al., 2005, Pedrós-Alió, 2000). در نتیجه شاید بتوان حد و مرزهایی را برای جایگزینی گونه در شیو (Gradient) شوری معین نمود. بعنوان نمونه، Pedrós-Alió et al. (2000) شوری‌های ۲۵۰ و ۱۵۰، ۵۰ واحد در هزار را بعنوان حدود مرزهای جایگزینی یوکاریوتها مطرح نمودند و Filker et al. (2015) شوری ۱۲۰ واحد در هزار را بعنوان مرز بین گونه‌های مقاوم به شوری و نمکدوست (هالوفیل) مطرح نمودند. بنظر می‌رسد که موقعیت جغرافیایی توده آب مورد مطالعه، می‌تواند در تعیین این مرزها تأثیرگذار باشد (Filker et al., 2017).

از آنجایی که گروه‌های پلانکتونی از مهم‌ترین موجودات هر اکوسیستم آبی بشمار می‌روند و تأثیر بسزایی بر رژیم هیدروبیولوژیک سیستم‌های آبی دارند، شناخت و حفظ این جوامع برای بررسی وضعیت پهنه‌های آبی ضروری بنظر می‌رسد. در کشور ایران نیز مطالعاتی در زمینه اجتماعات پلانکتونی صورت گرفته است (Ebrahimi et al., 2016). ولی، بیشتر مطالعات مربوط به آب‌های فوق شور مربوط به دریاچه ارومیه، مهارلو و قم محدود می‌باشد (Nikookar et al., 2005, Manaffar and Ghorbani, 2015). در جدیدترین پژوهش در تالاب لیپار، کیست (Dunaliel-la salina در رسوبات اطراف آن مورد شناسایی قرار گرفت و با موفقیت کشت داده شد (Attaran Fariman et al., 2017). مطالعه حاضر با هدف بررسی رابطه میان عامل‌های محیطی و تغییرهای اجتماعات پلانکتونی تالاب فوق شور لیپار واقع در شمال دریای عمان صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تالاب لیپار در فاصله ۲۵ کیلومتری شرق خلیج چابهار قرار گرفته است. این تالاب به طول تقریبی ۵۰۰ متر و عرض تقریبی ۱۵۰

ترتیب با دقت 1 psu ، $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ و 0.1 و 0.1 واحد در میلیون مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. اندازه‌گیری شوری پس از رقیق نمودن (به میزان ۱۰ برابر و با استفاده از آب مقطر دوبار تقطیر) صورت پذیرفت. برای اندازه‌گیری غلظت مواد مغذی آب (نیترات، نیتریت، فسفات و سیلیکات) از اسپکتروفوتومتری استفاده شد (MOO-PAM, 1999).

تحلیل آماری

از روش آنالیز واریانس یک طرفه^۲ و پس‌آزمون Tukey بمنظور بررسی تأثیر زمان (ماه) بر تغییرات تراکم کل پلانکتونی و تراکم تک‌تک گونه‌ها استفاده شد. قبل از انجام هر آزمون، تبعیت باقیمانده‌های رگرسیون^۳ از توزیع نرمال و همچنین هموزن بودن و ردایی (واریانس) گروه‌ها برترتیب توسط آزمون Anderson-Darling و Levene's مورد سنجش قرار گرفت. نمودارهای مربوطه نیز توسط نرم‌افزار Excel رسم گردید. از آزمون Pearson Correlation نیز برای بررسی همبستگی کل بین تراکم گونه‌ها استفاده شد.

از روش آنالیز چندطرفه غیرپارامتریک^۴ برای بررسی اثر زمان بر ساختار اجتماعات پلانکتونی منطقه استفاده شد. بدین منظور ابتدا ماتریس مجذور تراکم فراوانی گونه‌ها وضع گردید و سپس سنجح عدم شباهت Bray-Curtis برای دوه‌دوی نمونه‌ها محاسبه شد. در نهایت PERMANOVA یک‌طرفه با تعداد ۴۹۹۹ جایگشت بر ماتریس عدم شباهت‌ها اعمال گردید. در وهله بعدی از روش SIM-PER برای تعیین گونه مسئول در تفاوت‌های دوه‌دویی دیده‌شده بین ماه‌ها استفاده شد و از روش دسته‌بندی غیرمتریک^۵ برای نمایش تفاوت ساختارها بین ماه‌ها استفاده شد. از آنالیز افزونگی^۶ نیز برای بررسی ارتباط خطی بین ساختار اجتماعات پلانکتونی و عامل‌های محیطی استفاده شد. بدین ترتیب، ابتدا داده‌های محیطی نرمال‌سازی شدند و سپس بهترین مدل با روش forward selection انتخاب گردید (Šmilauer and Lepš, 2014). تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS V19، Primer-e V6 و CANOCO V5 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

تراکم پلانکتونی

اجتماعات پلانکتونی مشاهده شده در دوره مطالعه شامل *Heterotrichea*، *Fabrea salina* Henneguy, 1890 از رده

متر در فاصله حدود ۱۰۰ متری از سواحل مکران قرار گرفته است و آب‌گیری آن تحت تأثیر جذر و مد و بارش‌های فصلی می‌باشد. رنگ این تالاب در بیشتر فصل‌های سال صورتی بوده و به همین دلیل به آن تالاب صورتی نیز اطلاق می‌گردد. استحصال نمک و توربسم از جمله فعالیت‌های انسانی حاشیه این تالاب می‌باشد.

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری‌ها از مرداد ۹۶ لغایت اسفند ۹۶ و در سه دوره مانسونی (مرداد، شهریور و مهر)، پس مانسونی (آبان تا بهمن) و پیش مانسونی (اسفند) به انجام رسید (Soleimanirad et al., 2013). تواتر نمونه‌برداری‌های هر دوره بصورت ماهانه بود و در هر نوبت نمونه‌برداری، تعداد ۵ نمونه آب یک لیتری بصورت تصادفی و از سطح تالاب (عمق کمتر از ۵۰ سانتی متر) جمع‌آوری شدند. سپس مقدار ۳ میلی لیتر محلول لوگول اسیدی جهت تثبیت یوکاریوت‌ها و پروکاریوت‌های پلانکتونی به هر نمونه آب اضافه شد (Soumia, 1978). در هر نوبت نمونه‌برداری، تعداد ۳ نمونه آب ۲۵۰ میلی لیتری نیز جهت سنجش غلظت مواد مغذی برداشت گردید. این نمونه‌ها با استفاده از پالایه سر سرنگی سلولز استات ۰/۴۵ میکرون (Germany® Minisart) صاف شده و تا رسیدن به آزمایشگاه در کیسه‌های حاوی آب یخ نگهداری شدند.

شناسایی و تراکم سنجی فیتوپلانکتونی و

زئوپلانکتونی

نمونه‌ها به مدت ۳ روز در تاریکی قرار داده شدند تا سلول‌ها ته‌نشین شوند. سپس آب رویی با استفاده از آب‌شویه (سیفون) تخلیه گردید تا حدود ۵۰ میلی لیتر از نمونه اصلی باقی ماند. شناسایی نمونه‌های زئوپلانکتونی و فیتوپلانکتونی بصورت همزمان و با استفاده از میکروسکوپ نوری و کلیدهای شناسایی معتبر صورت گرفت (Al-Kandari et al., 2009). بمنظور تراکم سنجی از روش حجمی و لام سدویک استفاده شد. در هر نمونه، تعداد سلول‌های موجود در ۱۰ میکرولیتر شمارش شده و سپس تعداد سلول در هر میلی لیتر آب محاسبه گردید.

سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب

سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب در محل نمونه‌برداری و با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری قابل حمل (WTW®) به انجام رسیدند. شوری، دمای آب و غلظت اکسیژن محلول در آب به

شدند، در صورتیکه حضور *F. salina* محدود به دوره پیش مانسون و مانسون بود (جدول ۱). *Pseudo-nitzschia* sp. نیز فقط در دوره پیش مانسون مشاهده گردید (جدول ۱). بر اساس نتایج ANOVA، تأثیر زمان بر تراکم کل پلانکتون‌ها

1905, Teodoresco *Dunaliella salina* (Dunal) از رده Chlorophyceae، *Pseudo-nitzschia* sp. از رده Bacillariophyceae و *Spirulina* sp. از رده Cyanophyceae و *Spirulina* sp. و *D. salina* در هر سه دوره مشاهده

جدول ۱- حضور (+) / عدم حضور (-) گونه‌های پلانکتونی در طول مدت مطالعه
Table 1. Presence (+)/absence (-) of plankton species during the study period

پیش مانسون Post-monsoon		پس مانسون Pre-monsoon			مانسون Monsoon			
اسفند March	بهمن February	دی January	آذر December	آبان November	مهر October	شهریور September	مرداد August	
+	-	-	-	-	-	+	+	<i>Fabrea salina</i>
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Dunaliella salina</i>
-	-	-	+	-	-	-	-	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Spirulina</i> sp.

الگوی تغییرهای ماهیانه تراکم *D. salina* نظیر تغییرهای ماهیانه تراکم کل پلانکتونی بود. در صورتیکه *F. salina* فقط در مرداد، شهریور و اسفندماه مشاهده گردید. نتایج آزمون همبستگی بین فراوانی گونه‌ها مؤید همبستگی مثبت معنی دار بین تراکم *Spirulina* sp. و *D. salina* و یا *F.*

معنی دار بود ($F_{7,23} = 7.23, p = 0.001$) و این اثر با حضور دو نقطه اوج تراکم در شهریور و آبان ماه مشخص می‌شد (شکل ۱). در بهمن ماه نیز تراکم فیتوپلانکتونی بطور معنی داری کمتر از دیگر ماهها بود. تأثیر زمان بر تراکم *D. salina* ($F_{7,23} = 8.6/5.8, p = 0.001$) و *F. salina* ($F_{7,23} = 11.3/8, p = 0.001$) نیز معنی دار بود.

جدول ۲- همبستگی بین تراکم گونه‌های پلانکتونی در طول مدت مطالعه
Table 2. Correlations among the density of species during the study period

<i>Spirulina</i> sp.	<i>D. salina</i>	<i>F. salina</i>		
0.50	0.01	1	Pearson correlation	<i>F. salina</i>
0.002	0.92	0.00001	<i>p</i> -value	
0.46	1	0.01	Pearson correlation	<i>D. salina</i>
0.005	0.00001	0.92	<i>p</i> -value	
-0.05	-0.12	-0.11	Pearson correlation	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.
0.77	0.48	0.49	<i>p</i> -value	

دوبه‌دوی ماهها معنی دار بود و بطور عموم تفاوت در تراکم *D. salina* و *Spirulina* sp. مسئول اصلی این تفاوتها بود (جدول ۳).

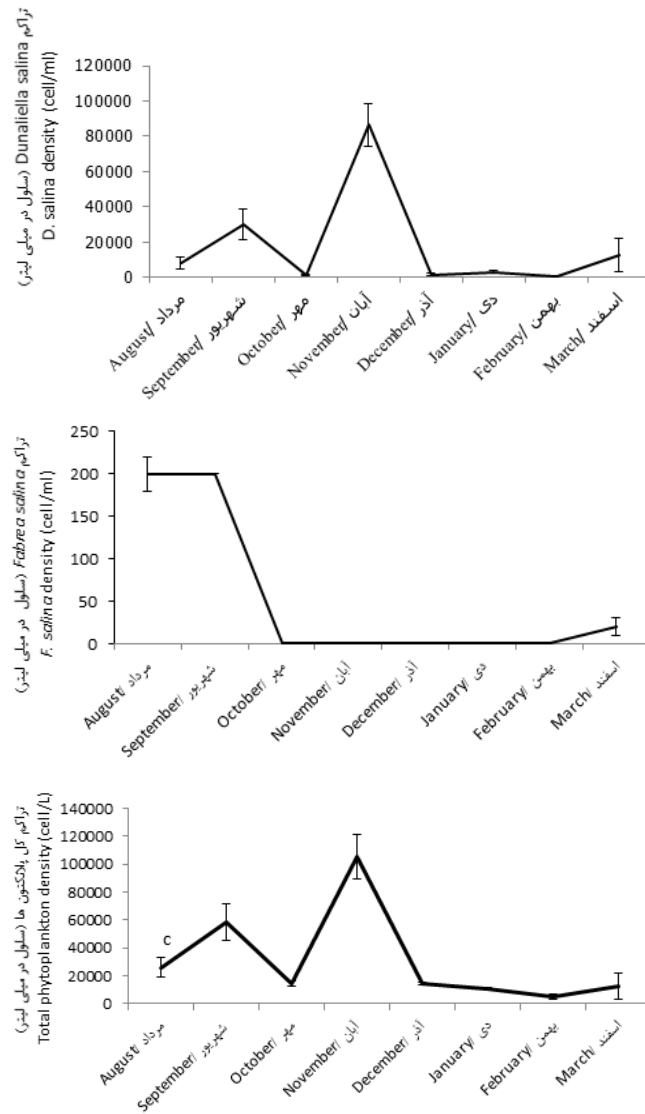
تغییرات زمانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب و غلظت مواد مغذی

در طول مدت مطالعه کمینه و بیشینه شوری بترتیب در شهریورماه ۹۶ (با شوری ۱۵۲/۵ psu) و آبان ۹۶ (با شوری ۳۴۰ psu) ثبت گردید (شکل ۳). میانگین شوری آب نیز در مدت مطالعه برابر

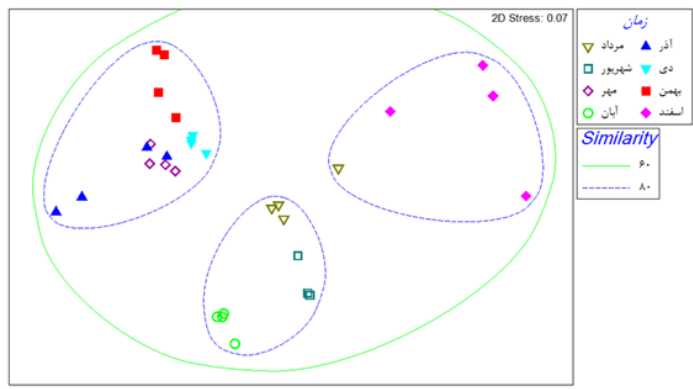
salina بود (جدول ۲).

تغییرهای زمانی اجتماعات پلانکتونی

در نمودارهای nMDS جدایی نسبی ساختار اجتماعات در ماههای مختلف تا حدودی مشهود بود (شکل ۲). نتایج PERMANOVA یک طرفه مؤید تأثیر معنی دار زمان بر تغییرات ساختار اجتماعات پلانکتونی بود ($F = \text{Pseudo} - 31/41, p_{\text{perm}} = 0.001$). تفاوت‌های ساختار اجتماعات اشاره شده در بیشتر موارد بین



شکل ۱- مقایسه ماهیانه تراکم کل پلانکتون‌ها، تراکم *Dunaliella salina* و تراکم *Fabrea salina*. حروف ناهمسان بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند. آنتنک: SD
Fig. 1- Monthly comparison of total plankton density, *Dunaliella salina*, and *Fabrea salina* density. Dissimilar letters indicate significant difference at $p < 0.05$ level. Error bar: SD



شکل ۲- نمودار دسته‌بندی غیر متریک (nMDS) ساختار اجتماعات پلانکتونی بیانگر جدایی نسبی ماه‌ها از همدیگر می‌باشد
Fig. 2- The nonmetric multidimensional scaling (nMDS) plot of plankton assemblages indicates moderate separation among months

جدول ۳- مقایسه دوبه دویی ساختار اجتماعات پلانکتونی منطقه و گونه مسئول اصلی در تفاوت مشاهده شده

Table 2. Pairwise comparison of plankton assemblage structures and the most responsible species for the observed differences

فراوانی در ماه ۲ Abundance in month2	فراوانی در ماه ۱ Abundance in month1	گونه مسئول Responsible species	$P_{(perm)}/P_{(MC)}$	t	ماه ۱ × ماه ۲ Month1 × Month2
1.15	2.84	<i>Dunaliella salina</i>	0.02	3.14	مرداد × مهر October × August
9.29	2.84	<i>Dunaliella salina</i>	0.029	4.44	مرداد × آبان November × August
1.30	2.84	<i>Dunaliella salina</i>	0.024	2.91	مرداد × آذر December × August
2.74	3.92	<i>Spirulina</i> sp.	0.032	2.58	مرداد × دی January × August
1.95	3.92	<i>Spirulina</i> sp.	0.02	4.30	مرداد × بهمن February × August
0.11	3.92	<i>Spirulina</i> sp.	0.02	3.69	مرداد × اسفند March × August
2.67	3.60	<i>Spirulina</i> sp.	0.026	5.32	مهر × دی January × October
1.95	3.60	<i>Spirulina</i> sp.	0.034	4.60	مهر × بهمن February × October
0.11	3.60	<i>Spirulina</i> sp.	0.022	8.27	مهر × اسفند March × October
1.30	9.29	<i>Dunaliella salina</i>	0.032	8.27	آبان × آذر December × November
0.89	9.29	<i>Dunaliella salina</i>	0.031	13.01	آبان × بهمن February × November
3.43	9.29	<i>Dunaliella salina</i>	0.04	7.80	آبان × اسفند March × November
2.67	3.35	<i>Spirulina</i> sp.	0.025	2.15	آذر × دی January × December
1.95	3.35	<i>Spirulina</i> sp.	0.028	3.77	آذر × بهمن February × December
0.11	3.35	<i>Spirulina</i> sp.	0.021	6.71	آذر × اسفند March × December
0.11	2.67	<i>Spirulina</i> sp.	0.027	5.67	دی × اسفند March × January
3.43	0.89	<i>Dunaliella salina</i>	0.023	6.83	بهمن × اسفند March × February

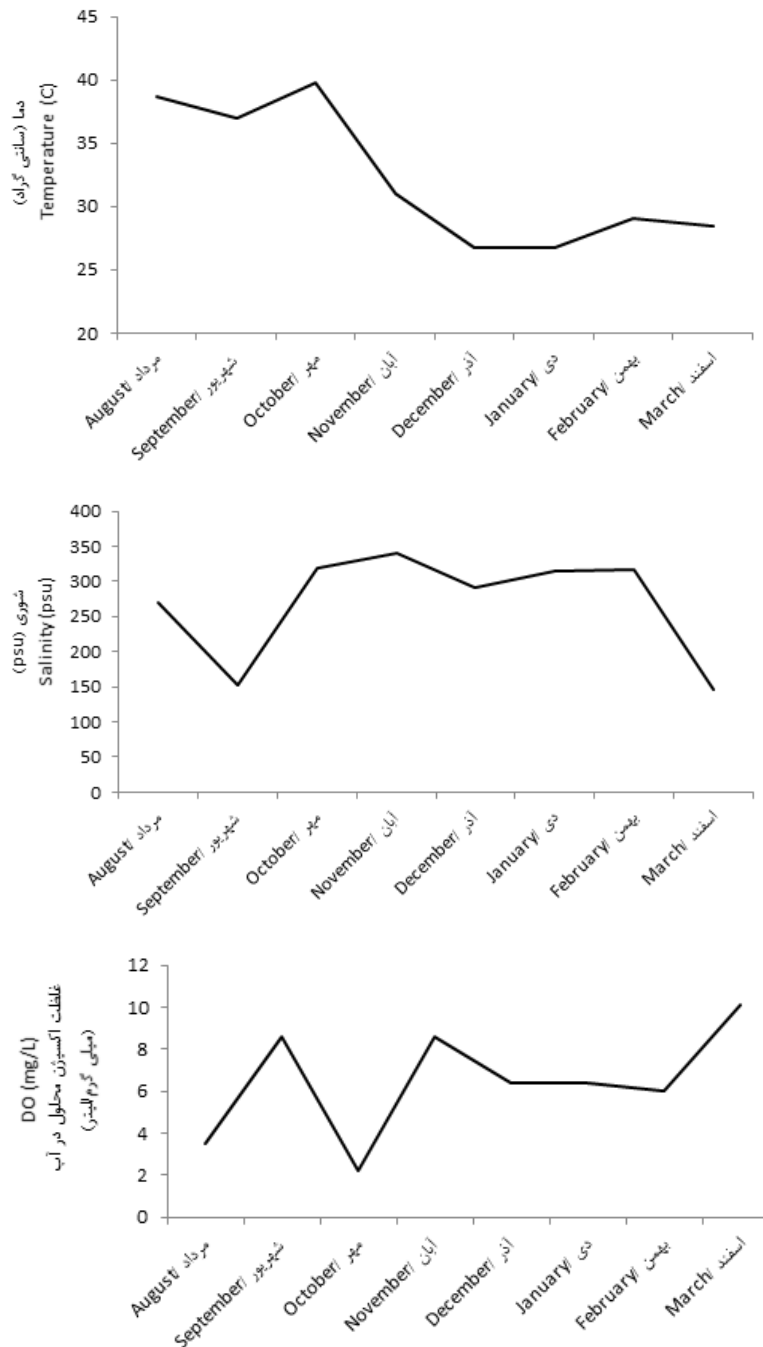
شهریور و اسفندماه بود و نمودار تغییرات دمایی نیز مؤید بر کاهش مستمر دما از مهر تا دی بود (شکل ۳). الگوی خاصی در مورد روند تغییرات غلظت اکسیژن محلول در آب مشاهده نشد (شکل ۳). بر اساس نتایج آزمون همبستگی پیرسون، همبستگی معنی داری بین غلظت اکسیژن و شوری ($r = -0.57, p < 0.01$) و همچنین بین غلظت اکسیژن و دما ($r = -0.52, p < 0.01$) وجود داشت ولی همبستگی بین دما و شوری معنی دار نبود.

با $268/87$ psu در همین مدت، دمای آب از $28/5$ درجه سانتی گراد در اسفندماه ۹۶ تا $39/8$ درجه در مهرماه در تغییر بود و میانگین آن به $32/18$ درجه می رسید. از طرفی دیگر، کمینه میزان اکسیژن محلول در آب با مقدار $2/2$ میلی گرم بر لیتر در مهرماه ۹۶ و بیشینه آن در اسفندماه همان سال ($10/13$ میلی گرم بر لیتر) ثبت گردید و میانگین آن $6/48$ میلی گرم بر لیتر برآورد گردید. تغییر های زمانی شوری شامل بر دو کاهش شدید در

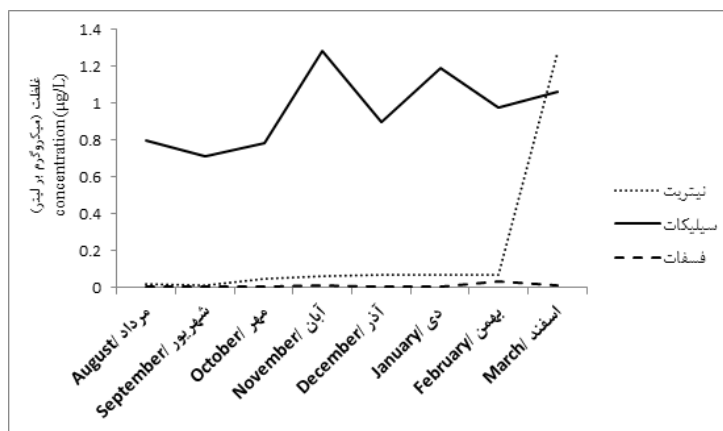
ارتباط ساختار اجتماعات پلانکتونی با ویژگی های فیزیکوشیمیایی آب و غلظت مواد مغذی

بر اساس نتایج RDA، اثر ۵ عامل شوری، غلظت اکسیژن، نیتريت، سیلیکات و فسفات محلول در آب بر تغییرات ساختار اجتماعات پلانکتونی منطقه معنی دار بود ($p < 0.05$) و این عامل ها تا ۶۶/۸۹ درصد از تغییر های ساختاری را توجیه می نمودند. بر همین اساس،

در طول مدت مطالعه، از میان سه یون فسفات، نیتريت و سیلیکات، یون سیلیکات با میانگین غلظت ۲/۳۱ میلی گرم بر لیتر دارای بیش ترین میانگین غلظت و یون فسفات با میانگین غلظت ۰/۳۶ میلی گرم بر لیتر دارای کم ترین میانگین غلظت بودند (شکل ۲). نکته دارای اهمیت اینکه در اسفندماه، غلظت هر سه یون افزایش قابل توجهی داشته اند.



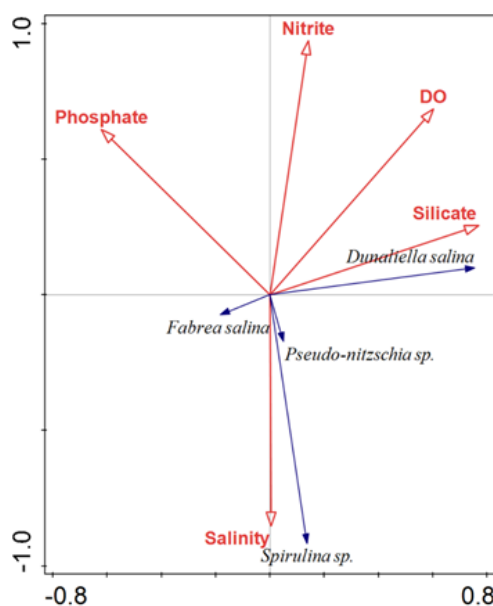
شکل ۳- نمودار روند تغییر های ماهیانه ویژگی های فیزیکوشیمیایی آب در تالاب لیپار
 Fig. 3- Plots of monthly trends in physicochemical properties of water in Lipar Lagoon



شکل ۴- تغییر های ماهیانه غلظت سیلیکات، فسفات و نیترات در تالاب لیپار
Fig. 4- Monthly variations in the concentrations of dissolved silicate, phosphate, and nitrate in Lipar Lagoon

از مهم ترین عامل های کنترل کننده رشد این گونه بشمار می روند. در مطالعه حاضر نیز، بیشینه فراوانی *D. salina* با بیشینه میزان شوری همزمان بود. اثر مثبت شوری بر فراوانی *D. salina* را شاید بتوان به کاهش فراوانی شکارچی این گونه، یعنی *F. salina* نسبت داد. نتایج مطالعات پیشین موید این امر می باشد که *F. salina* ب عنوان شکارچی اصلی *D. salina* در حوضچه های تبخیر نمک بشمار می آید و بطور میانگین می تواند ۲ الی ۷۹ درصد از توده زنده *D. salina* را در عرض یک ساعت مصرف نماید (Hong and Choi, 2015). با این حال شوری بالا به عنوان عامل محدود کننده رشد در *F. salina* بشمار می آید و در شوری های بالای ۱۵ واحد در هزار، نرخ رشد آن تا ۷۵٪ کاهش می باید (Post et al., 1983).

D. salina در ناحیه مثبت تأثیرپذیری از فسفات و شوری، *D. salina* در ناحیه مثبت تأثیرپذیری از غلظت سیلیکات و نیترات و اکسیژن محلول در آب و *Pseudo-nitzschia sp.* و *Spirulina sp.* در ناحیه مثبت تأثیرپذیری از شوری قرار داشتند (شکل ۴). در مطالعه حاضر، *D. salina* و *Spirulina sp.* بعنوان پلانکتون های غالب تالاب لیپار ثبت شدند. گونه *D. salina* از تولیدکنندگان مهم در دریاچه های نمکی فوق اشباع بشمار می رود. این گونه از جمله محدود یوکاریوت هایی می باشد که در دامنه های مختلف شوری (تا حد درجه اشباع) قادر به رشد هستند. این گونه پیش تر نیز از آب های ساحلی شمال دریای عمان گزارش شده است (Attaran Fariman et al., 2017). مواد غذایی، دما و شوری



شکل ۴- تغییر های ماهیانه غلظت سیلیکات، فسفات و نیترات در تالاب لیپار
Fig. 4- Monthly variations in the concentrations of dissolved silicate, phosphate, and nitrate in Lipar Lagoon

میزان بالای مواد مغذی در طول فصل مانسون بطور عموم منجر به افزایش فراوانی فیتوپلانکتون‌ها در دوره‌های پس مانسونی می‌شود (Choudhury and Pal, 2010). در مورد تالاب لیپار به نظر می‌رسد که تغییرهای محیط زیستی ناشی از مانسون فقط در مورد میزان شوری (کاهش تا ۱۵۰ psu) و اکسیژن محلول (افزایش تا حدود ۹ میلی‌گرم بر لیتر) قابل توجه می‌باشد. بر همین اساس، نتایج حاصل از گروه بندی تغییرات زمانی ساختار اجتماعات پلانکتونی منطقه در نمودارهای nMDS بر دوره‌های پیش مانسونی/مانسونی/پس مانسونی منطبق نبود.

نتیجه‌گیری

در مجموع، شاید بتوان تالاب لیپار را از آب‌های فوق شور نوع گاما (۲) بشمار آورد چرا که شوری آن بیش از ۱۴۰ psu بوده و زنجیره غذایی آن بسیار ساده می‌باشد (Por, 1980). مشخصه اصلی آب‌های فوق شور نوع گاما وجود زنجیره‌های کوتاه و غیر تثبیت شده تولید کننده‌ها-مصرف کننده‌ها می‌باشد. پایین بودن غنای گونه‌ای یکی از پاسخ‌های جمعیت پلانکتونی به شوری بالا می‌باشد. همچنین پایین بودن میزان مواد مغذی بطور میانگین نیز یکی از عامل‌های تاثیرگذار در پایین بودن تراکم و غنای گونه‌ای فیتوپلانکتونی و در نتیجه پایین بودن تولید اولیه است. پیشنهاد می‌شود با احداث کانال، افزون بر ایجاد تبادل آبی و بالا رفتن میزان نوترینت و تولید اولیه، بتوان از ایجاد بلوم‌های جلبکی نیز جلوگیری نمود. با توجه به افزایش فعالیت استحصال نمک از این تالاب، پایش هیدروبیولوژیک بمنظور بررسی اثرهای این فعالیت بر ساختار اجتماعات پلانکتونی منطقه و حفاظت از تنوع زیستی تالاب ضروری بنظر می‌رسد، چرا که بسیاری از این گونه‌ها دارای ویژگی‌های ارزشی هستند. از جمله آنها می‌توان به گونه *D. salina* اشاره نمود که منبع بتاکاروتن محسوب می‌شود و از آن در تولید تجاری این ماده ارزشمند استفاده می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

¹ Hypersaline

² One-way ANOVA

³ Residuals

⁴ PERMANOVA

⁵ nMDS

⁶ Redundancy Analysis (RDA)

بر خلاف *D. salina*، تغییرهای فصلی *Spirulina sp.* معنی‌دار نبود. با این حال، همبستگی مثبت و متوسطی بین تراکم *Spiruli-na sp.* و *D. salina* دیده شد. گونه *D. salina* قادر به تولید مقادیر قابل توجهی گلیسرول بوده و از این ماده برای تنظیم اسمزی در شرایط فوق شور استفاده می‌نماید (Ben-Amotz et al., 1982). از طرفی دیگر، این ماده بعنوان منبع مناسب کربن برای سوخت و ساز باکتری‌ها در آب‌های فوق شور بشمار می‌آید و افزایش غلظت آن در آب می‌تواند منجر به افزایش نرخ رشد باکتری‌ها شود (Morais et al., 2019). بر همین اساس، همبستگی مثبت بین تراکم *Spirulina sp.* و *D. salina* امری محتمل به نظر می‌رسد. از دیگر فیتوپلانکتون شناسایی شده در مطالعه حاضر *Pseudo-nitzschia* بود که پیش‌تر نیز از آب‌های ایرانی دریای عمان گزارش شده است (Maghsoudlou et al., 2015). این گونه یکی از عامل‌های ایجاد شکوفایی جلبکی در دریای عمان محسوب می‌شود (Al-Azri et al., 2015). در طول مدت مطالعه، *Pseudo-nitzschia* فقط در آذرماه (در موعدهای حداقلی) مشاهده گردید. افزایش بیش از حد دما می‌تواند از طریق کاهش غلظت کلروفیل و آسیب به غشاء کلروپلاست‌ها منجر به کاهش عملکرد فتوسنتزی در *Pseudo-nitzschia* بشود (El-Sabaawi and Harrison, 2006). در مطالعه حاضر *F. salina* بعنوان تنها گونه یوکاریوت دارای قابلیت مصرف کنندگی مورد شناسایی قرار گرفت. در طول مدت مطالعه، این گونه در مرداد/ شهریور و اسفند ماه و کمابیش همزمان با شکوفایی ثانویه *D. salina* مشاهده گردید. گونه *F. salina* را شاید بتوان بعنوان شکارچی راس هرم غذایی تالاب لیپار در نظر گرفت. با این حال، به نظر می‌رسد این موجود از فراوانی قابل توجهی در دریاچه لیپار برخوردار نمی‌باشد (در شرایط بهینه، فراوانی *F. salina* می‌تواند به ۹۰ فرد در هر میلی‌لیتر برسد (Pandey and Yeragi, 2004)). افزون بر شرایط محیطی صعب منطقه، شاید بتوان حضور دائمی *Spirulina sp.* را بعنوان عامل محدود کننده بقاء *F. salina* و *D. salina* در نظر گرفت چرا که سم‌ها و مواد آنتی‌بیوتیک مترشحه توسط باکتری‌های سبز آبی می‌توانند منجر به بروز تلفات گسترده در دیگر موجودات در محیط بسته شود (Carmichael et al., 1975). بطور معمول تالاب‌های ساحلی در منطقه‌های نیمه استوایی دارای گرادیان فصلی در ساختار جوامع پلانکتونی و همچنین فاکتورهای محیطی هستند. در این منطقه، اختلاط آب شور و شیرین پایین آمدن شوری و همچنین ورود

منابع

- Al-Azri, A.R., Al-Hashmi, K.A., Habsi, H.A., Al-Azri, N. and Al-Khusaibi, S., 2015. Abundance of harmful algal blooms in the coastal waters of Oman: 2006–2011. *Aquatic Ecosystem Health and Management*. 18(3), 269–281.
- Al-Kandari, M., Al-Yamani, F. and Al-Rifaie, K., 2009. *Marine Phytoplankton Atlas of Kuwait's Waters*. Kuwait Institute for Scientific Research, Safat, Kuwait.
- Attaran Fariman, G., Sadeghi, P. and Shirzaie, R., 2017. Isolation and molecular identification of *Dunaliella salina* (Chlorophyceae) cyst from sediments of the Lipar coast (Oman Sea). *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 26(4), 47–55.
- Ben-Amotz, A., Sussman, I. and Avron, M., 1982. Glycerol production by *Dunaliella*. *New Trends in Research and Utilization of Solar Energy through Biological Systems*. In: Mislin, H. and Bachofen, R. (Eds), Basel, Birkhäuser Basel, pp. 55–58.
- Boehrer, B. and Schultze, M., 2008. Stratification of lakes. *Reviews of Geophysics*. 46(2), 102–110.
- Carmichael, W., Biggs, D. and Gorham, P., 1975. Toxicology and pharmacological action of anabaena flos-aquae toxin. *Science*. 187(4176), 542–544.
- Choudhury, A.K. and Pal, R., 2010. Phytoplankton and nutrient dynamics of shallow coastal stations at Bay of Bengal, Eastern Indian coast. *Aquatic Ecology*. 44(1), 55–71.
- Ebrahimi, M., Zarshenas, G.A., Eslami, F., Akbarzadeh, G., Khodadadi, Jokar, K., Ayag, R. and Mokhaier, Z., 2016. Monitoring of algal bloom in coastal water of the Persian Gulf and Oman sea (Hormuzgan Province). *Tehran, Iranian Fisheries Science Research Institute*: 64.
- El-Sabaawi, R. and Harrison, P.J., 2006. Interactive effects of irradiance and temperature on the photosynthetic physiology of the pennate diatom *Pseudo-nitzschia granii* (Bacillariophyceae) from the northeast subarctic Pacific. *Journal of Phycology*. 42(4), 778–785.
- Elloumi, J., Carrias, J.F., Ayadi, H., Sime-Ngando, T. and Bouaïn, A., 2009. Communities structure of the planktonic halophiles in the solar saltern of Sfax, Tunisia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 81(1), 19–26.
- Filker, S., Forster, D., Weinisch, L., Mora-Ruiz, M., González, B., Fariás, M. E., Rosselló-Móra, R. and Stoeck, T., 2017. Transition boundaries for protistan species turnover in hypersaline waters of different biogeographic regions. *Environmental Microbiology*. 19(8), 3186–3200.
- Filker, S., Gimmler, A., Dunthorn, M., Mahé, F. and Stoeck, T., 2015. Deep sequencing uncovers protistan plankton diversity in the Portuguese Ria Formosa solar saltern ponds. *Extremophiles*. 19(2), 283–295.
- Forster, D., Behnke, A. and Stoeck, T., 2012. Meta-analyses of environmental sequence data identify anoxia and salinity as parameters shaping ciliate communities. *Systematics and Biodiversity*. 10(3), 277–288.
- Gecheva, G.M., Varadinova, E.D., Belkinova, D.S., Mihov, S.D., Gyuzelev, G.A. and Hristeva, Y.G., 2017. Ecological Status Assessment of a Hypersaline Lake: a Case Study of Atanasovsko Lake, Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*. 52, 145–151.
- Hammer, U. T., 1986. *Saline lake ecosystems of the world*, Springer Science and Business Media, Berlin, Germany.
- Hong, H. P. and Choi, J. K., 2015. Can the halophilic ciliate *Fabrea salina* be used as a bio-control of microalgae blooms in solar salterns? *Ocean Science Journal*. 50(3), 529–536.

- Jellison, R., Anderson, R.F., Melack, J.M. and Heil, D., 1996. Organic matter accumulation in sediments of hypersaline Mono Lake during a period of changing salinity. *Limnology and Oceanography*. 41(7), 1539-1544.
- Lašt, W.M., 1993. Rates of sediment deposition in a hypersaline lake in the northern Great Plains, western Canada. *International Journal of Salt Lake Research*. 2(1), 47-52.
- Maghsoudlou, A., Momtazi, F. and Aghajanpour, F., 2015. Spatial Pattern of Phytoplankton Communities from Iranian Waters of the Gulf of Oman in Pre-Monsoon Period. *Journal of the Persian Gulf (Marine Science)*. 6(21), 65-77.
- Manaffar, R. and Ghorbani, S., 2015. Algal bloom in northwest Urmia Lake (bari station). *Journal of Molecular and Cellular Research*. 28(1): 35-39.
- Modassir, Y. and Ansari, A., 2011. Plankton community of the hypersaline salterns of Goa, India. *Biology Forum, Citeseer*.
- MOOPAM, 1999. Manual of oceanographic observations and pollutant analysis methods. ROPME, Kuwait. pp: 1: 20.
- Morais, E.G. d., Druzian, J.I., Nunes, I.L., Morais, M.G. d. and Costa, J.A.V., 2019. Glycerol increases growth, protein production and alters the fatty acids profile of *Spirulina (Arthrospira) sp.* *Process Biochemistry*. 76, 40-45.
- Nche-Fambo, F.A., Tirok, K. and Scharler, U.M., 2016. Hypersaline conditions cause distinct ciliate community structure in a South African estuarine lake system. *Journal of Plankton Research* 38(4), 878-887.
- Nikookar, K., Moradshahi, A. and Hosseini, L., 2005. Physiological responses of *Dunaliella salina* and *Dunaliella tertiolecta* to copper toxicity. *Biomolecular Engineering*. 22(4), 141-146.
- Oren, A., 2002. Diversity of halophilic microorganisms: Environments, phylogeny, physiology, and applications. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 28(1), 56-63.
- Pandey, B.D. and Yeragi, S.G., 2004. Preliminary and mass culture experiments on a heterotrichous ciliate, *Fabrea salina*. *Aquaculture*. 232(1), 241-254.
- Pedros-Alió, C., 2005. Diversity of Microbial Communities: The Case of Solar Salterns. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Pedros-Alió, C., Calderón-Paz, J.I., MacLean, M.H., Medina, G., Marrasé, C., Gasol, J.M. and Guixa-Boixereu, N., 2000. The microbial food web along salinity gradients. *FEMS Microbiology Ecology*. 32(2), 143-155.
- Por, F.D., 1980. A Classification of Hypersaline Waters, Based on Trophic Criteria. *Marine Ecology*. 1(2), 121-131.
- Pošt, F.J., Borowitzka, L.J., Borowitzka, M.A., Mackay, B. and Moulton, T., 1983. The protozoa of a Western Australian hypersaline lagoon. *Hydrobiologia*. 105(1), 95-113.
- Quigg, A., Al-Ansi, M., N. Al-Din, N., Wei, C.L., C. Nunnally, C.I., Al-Ansari S., Rowe, G.T., Soliman, Y., Al-Maslmani, I., Mahmoud, I., Youssef, N. and Abdel-Moati, M.A., 2013. Phytoplankton along the coastal shelf of an oligotrophic hypersaline environment in a semi-enclosed marginal sea: Qatar (Persian Gulf). *Continental Shelf Research*. 60, 1-16.
- Ruinen, J., 1938. Notizen über Salzflagellaten. II. Über die Verbreitung der Salzflagellaten. *Arch Protistenkd*. 90, 210-258.
- Shadrin, N., 2009. The Crimean hypersaline lakes: towards development of scientific basis of integrated sustainable management. *Proceedings of 13th World Lake Conference, Wuhan, China*.

Šmilauer, P. and Lepš, J., 2014. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5, Cambridge university press, Cambridge.

Soleimanirad, A., Keshavarz, M., Bahreman, M., Kamrani, E. and Vazirizade, A., 2013. The effect of summer monsoon on macrobenthic's community structure in Jask

creek (Gulf of Oman). Journal of Aquatic Ecology. 3(1), 50-39.

Soumia, A., 1978. Phytoplankton manual, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, USA.





Environmental correlates of plankton assemblages in a hypersaline lagoon (Lipar Lagoon, northern Gulf of Oman)

Amir Ghazilou^{1*}, Kamalodin Kor¹, Hamid Ershadifar¹, Emad Kouchaknejad¹ and Mahshid Oladi²

¹ Gulf of Oman and Indian Ocean Oceanography Center (Chabahar), Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), Chabahar, Iran

² Department of Aquatic Biology and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran

Received: 2019.04.23 Accepted: 2019.09.18

Ghazilou, A., Kor, K., Ershadifar, H., Ershadifar, E. and Oladi, M., 2020. Environmental correlates of plankton assemblages in a hypersaline lagoon (Lipar Lagoon, northern Gulf of Oman). *Environmental Sciences*. 17(4), 107-120.

Introduction: Hypersaline ecosystems provide excellent conditions for ecological studies of aquatic ecosystems. Lipar Lagoon is an understudied hypersaline lagoon located in southeasternmost Iran (northern Gulf of Oman). Knowledge about the biotic and abiotic characteristics of this hypersaline water system is limited. This research thus investigated the plankton community composition and abundance, and also its variability under variable environmental conditions over one year.

Material and methods: Monthly (five replicates each month) water samplings were performed from 2017 to 2018, during pre-monsoon, monsoon, and post-monsoon seasons. Physicochemical properties of water were measured at the site using a portable multi-meter, while other parameters such as silicate, nitrate, and phosphate were analyzed by spectrophotometry. For plankton identification and density measurements, each sample was fixed by adding 3ml of acidic Lugol's solution, and transferred to the laboratory for further analysis.

Results and discussion: The plankton community observed during the study period included *Fabrea salina*, *Dunaliella salina*, *Pseudo-nitzschia sp.*, and *Spirulina sp.* Temporal variations in plankton abundance were evident, mostly in September and November, most of which occurred due to the difference in the abundance of *D. salina* and *F. salina*. The impact of environmental parameters including salinity and the concentration of dissolved oxygen, nitrite, silicate, and phosphate on the community structure of planktons was significant.

Conclusion: The combination of high salinity, high evaporation rate, low freshwater input, and consequently, low nutrient levels may be the main factors behind the low biodiversity in the lagoon. Being under pronounced anthropogenic pressure due to salt extraction activities, it is evident that further hydrobiological monitoring is crucial for the long-term

*Corresponding Author: *Email Address:* amir.ghazilou@inio.ac.ir

preservation of the lagoon.

Keywords: Lipar lagoon, Gulf of Oman, Dunaliella salina, Pseudo-nitzschia, Spirulina, Fabrea salina.