



فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸

۱۰۷-۱۲۰

بررسی همبستگی عامل‌های 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 زیست‌شناسی و زیست‌فناوری دریا و آبزیان، 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 عامل‌های محیطی و جوامع پلانکتونی در تالاب فوق شور لیپار (شمال دریای عمان). فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۴): ۱۰۷-۱۲۰.

سابقه و هدف: آب‌های فوق شور دارای خصوصیات ویژه‌ای هستند که آن‌ها 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 ویژگی‌های زیستی و غیر زیستی آن بسیار محدود است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرهای زمانی ساختار اجتماعات پلانکتونی تالاب فوق شور لیپار و تاثیر عامل‌های محیطی بر این تغییرها به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری‌های 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 بطری‌های پلی اتیلنی جمع آوری شدند. بمنظور تراکم سنجی پلانکتونی ۵ نمونه آب جمع آوری شد و نمونه‌های پلانکتونی موجود پس از تثبیت توسط محلول لوگول و با استفاده از میکروسکوپ نوری شمارش شدند. بمنظور تعیین غلظت مواد مغذی نیز نمونه‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری آب صاف شده و غلظت فسفات، سیلیکات و نیترات آن‌ها با استفاده از روش اسپکتروفوتومتری اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب نیز در محل و با استفاده از سنجنده‌های قابل حمل صورت پذیرفت.

نتایج و بحث: اجتماعات پلانکتونی مشاهده شده در دوره مطالعه شامل *Fabrea salina* Henneguy, 1890 از رده Heterotrichea، *Bacillariophyceae* از رده *Pseudo-nitzschia* sp.، *Chlorophyceae*، *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco, 1905 از رده *Cyanophyceae* بود. الگوی تغییرهای تراکم کل پلانکتون‌ها با حضور دو نقطه اوج تراکم در شهریورماه و آبان ماه مشخص شد و تفاوت در تراکم *D. salina* و *Spirulina* sp. بعنوان عامل‌های اصلی تغییرهای 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 معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر بیانگر سطح به نسبت پایین مواد غذایی، تنوع زیستی کم و همچنین نوسانات شرایط محیطی است. نرخ بالای تخییر آب، محدودیت در ورودی آب شیرین و همچنین ورودی آب توسط جزر و مد آب دریا و در نتیجه محدودیت مواد غذایی در دسترس می‌تواند از عامل‌های اصلی نقصان تولیدهای 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 می‌رسد.

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

مقدمه

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 گونه‌ای اجتماعات جانداران کاهش می‌یابد و زنجیره‌های غذایی آن‌ها در این موارد کوتاه شده و یا از بین می‌روند (Pedrós-Alió *et al.*, 2000; Pedrós-Alió, 2005). 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، ۱۵۰ و 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; Manaf-far and Ghorbani, 2015). در جدیدترین پژوهش در تالاب لیپار، کیست *Dunaliella salina* در رسوبات اطراف آن مورد شناسایی قرار گرفت و با موفقیت کشت داده شد (Attaran Fari-man *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.

آب‌های فوق شور^۱ 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 (Bohrer 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 ویژه‌ای 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 میکروژئوپلانکتونی اجتماعات غالب پلانکتونی را به خود اختصاص می‌دادند (Modassir 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

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

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

نمونه برداری

نمونه برداری‌ها 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 نمونه برداری‌های هر دوره بصورت ماهانه بود و در هر نوبت نمونه برداری، 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 نمونه برداری، 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 ته نشین 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 نمونه برداری و با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری قابل حمل (WTW®) به انجام رسیدند. شوری، دمای آب و غلظت اکسیژن محلول در آب به ترتیب با دقت ۰/۰۱ psu، ۰/۰۱ °C و ۰/۰۱ 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، نیتريت، 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 وردایی (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 سنججه 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 نرمال سازی شدند و سپس بهترین مدل با روش Forward selection انتخاب گردید (Šmilauer and Lepš, 2014). تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزارهای SPSS V19، Primer-e V6 و CANOCO V5 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

تراکم پلانکتونی

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

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

جدول ۱- حضور (+) / عدم حضور (-) گونه های 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.

شهریور و اسفندماه مشاهده گردید. نتایج آزمون همبستگی بین فراوانی گونه ها مؤید همبستگی مثبت معنی دار بین تراکم *Spirulina* sp. و *D. salina* و یا *F. salina* بود (جدول ۲).

تغییرهای زمانی اجتماعات پلانکتونی

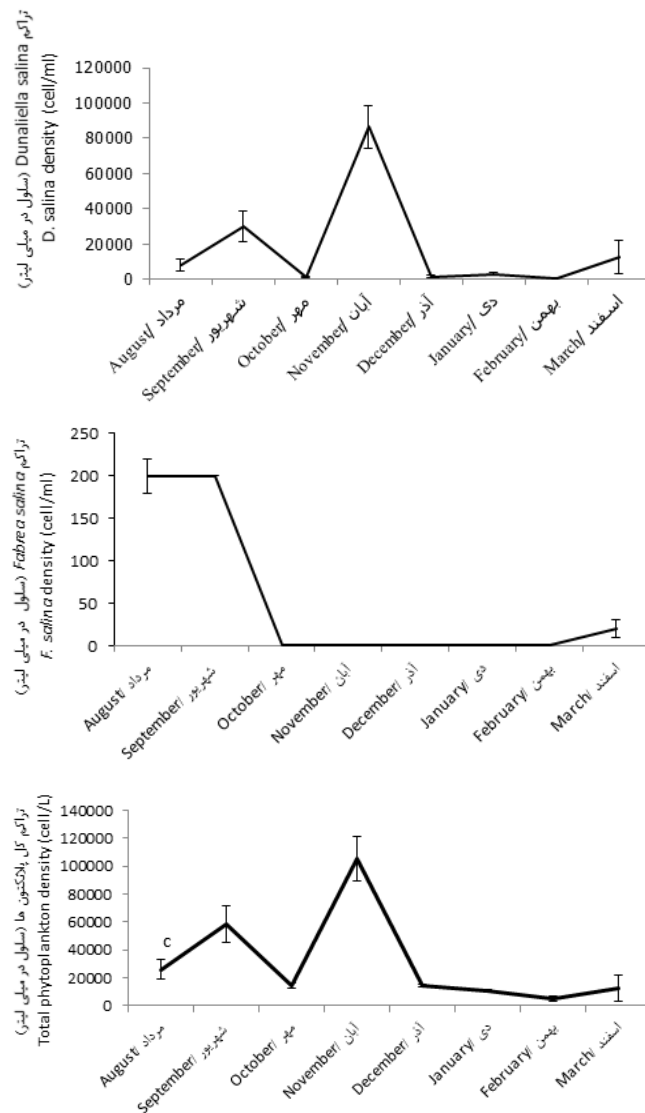
در نمودارهای nMDS جدایی نسبی ساختار اجتماعات در ماه های مختلف تا حدودی مشهود بود (شکل ۲). نتایج PERMANOVA یک طرفه مؤید تأثیر معنی دار زمان بر تغییرات اجتماعات پلانکتونی بود ($F = \text{Pseudo} - 31/41$, $p_{\text{pem}} = 0/001$). تفاوت های ساختار اجتماعات اشاره شده در بیشتر موارد بین دوه دوی ماه ها معنی دار بود و بطور عموم تفاوت در تراکم *D. salina* و *Spirulina* sp. و *na* (جدول ۳).

سه دوره مشاهده 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 پلانکتون ها معنی دار بود ($F = 7.23$, $p = 0/001$) و این اثر با حضور دو نقطه اوج تراکم در شهریور و آبان ماه مشخص می شد (شکل ۱). در بهمن ماه نیز تراکم فیتوپلانکتونی بطور معنی داری کمتر از دیگر ماهها بود. تأثیر زمان بر تراکم *D. salina* ($F = 86/58$, $p = 0/001$) و *F. salina* ($F = 11/38$, $p = 0/001$) نیز معنی دار بود. الگوی تغییرهای ماهیانه تراکم *D. salina* نظیر تغییرهای ماهیانه تراکم کل پلانکتونی بود. در صورتیکه *F. salina* فقط در مرداد،

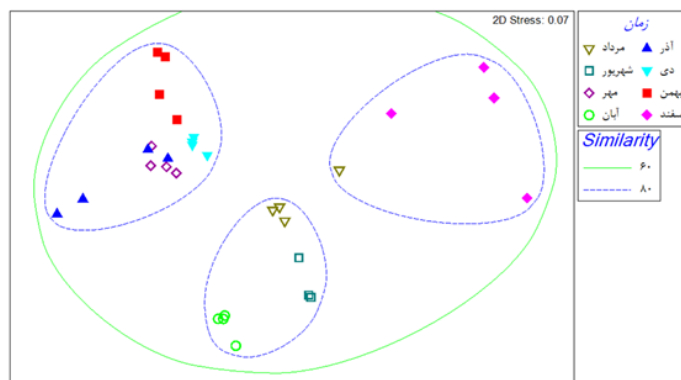
جدول ۲- همبستگی بین تراکم گونه های پلانکتونی در طول مدت مطالعه
Table 2. Correlations among the density of species during the study period

<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	



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 دوه‌دویی ساختار اجتماعات پلانکتونی منطقه و گونه مسئول اصلی در تفاوت مشاهده‌شده

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

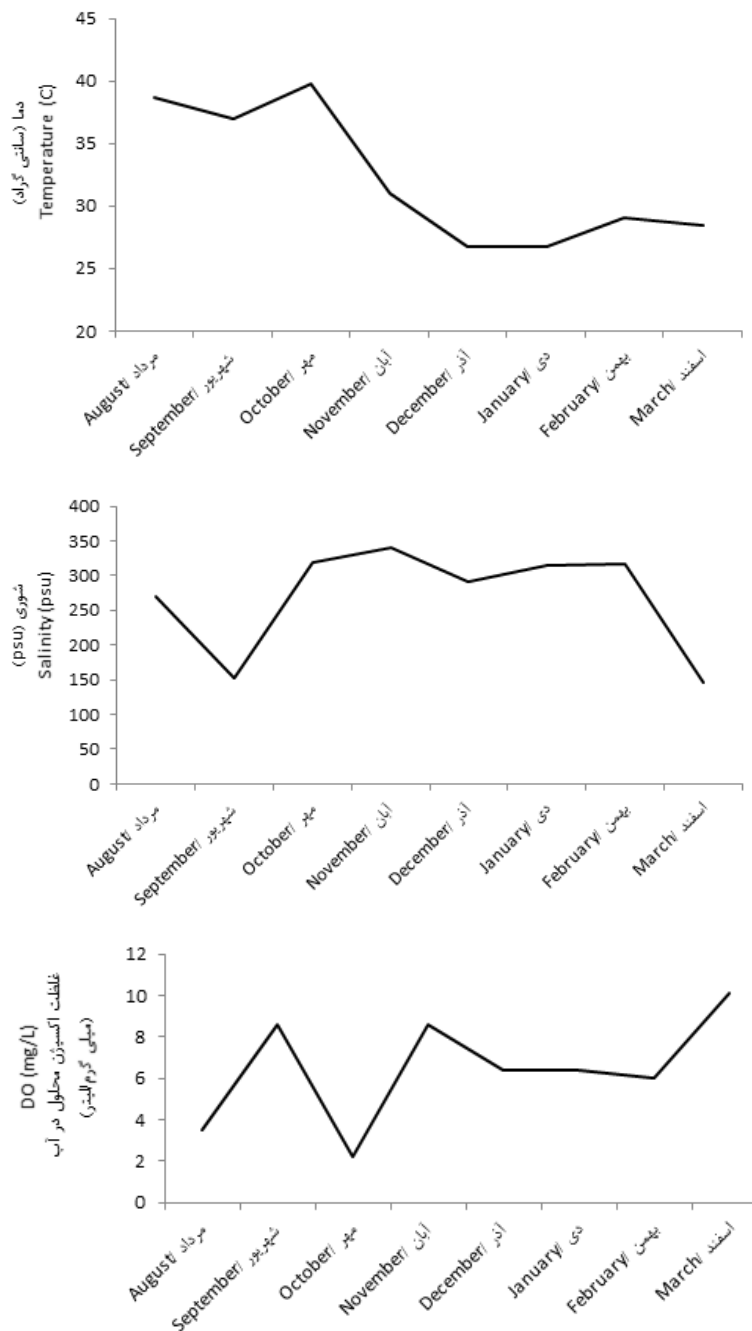
مهرماه در تغییر بود و میانگین آن به ۳۲/۱۸ درجه می‌رسید. از طرفی دیگر، کمینه میزان اکسیژن محلول در آب با مقدار ۲/۲ میلی‌گرم بر لیتر در مهرماه ۹۶ و بیشینه آن در اسفندماه همان سال (۱۰/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر) ثبت گردید و میانگین آن ۶/۴۸ میلی‌گرم بر لیتر برآورد گردید. تغییرهای زمانی شوری شامل بر دو کاهش شدید در شهریور و اسفندماه بود و نمودار تغییرات دمایی نیز مؤید بر کاهش مستمر دما از مهر تا دی

تغییرات زمانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب و غلظت مواد مغذی

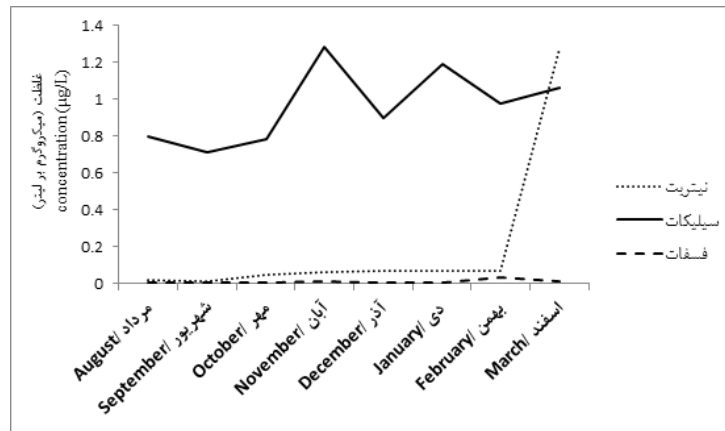
در طول مدت مطالعه کمینه و بیشینه شوری بترتیب در شهریورماه ۹۶ (با شوری ۱۵۲/۵ psu) و آبان ۹۶ (با شوری psu ۳۴۰) ثبت گردید (شکل ۳). میانگین شوری آب نیز در مدت مطالعه برابر با psu ۲۶۸ / ۸۷ بود. در همین مدت، دمای آب از ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد در اسفندماه ۹۶ تا ۳۹/۸ درجه در

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

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.



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

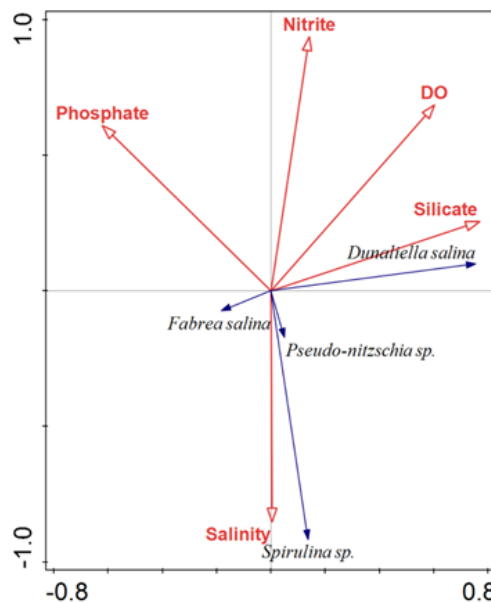


شکل ۴- تغییر های ماهیانه غلظت سیلیکات، فسفات و نیترات در تالاب لیپار
Fig. 4- Monthly variations in the concentrations of dissolved silicate, phosphate, and nitrate in Lipar Lagoon

در مطالعه حاضر، *D. salina* و *Spirulina sp.* بعنوان پلانکتون های غالب تالاب لیپار ثبت شدند. گونه فوق اشباع *D. salina* از تولیدکنندگان مهم در دریاچه های نمکی 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 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

ارتباط ساختار اجتماعات پلانکتونی با ویژگی های فیزیکی و شیمیایی 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، *F. salina* در ناحیه مثبت تأثیر پذیری از فسفات و شوری، *D. salina* در ناحیه مثبت تأثیر پذیری از غلظت سیلیکات و نیترات و اکسیژن محلول در آب و *Pseudo-nitzschia sp.* و *Spirulina sp.* در ناحیه مثبت تأثیر پذیری از شوری قرار داشتند (شکل ۴).



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

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 می رسد این موجود از فراوانی قابل توجهی در دریاچه لیپار برخوردار نمی باشد (در شرایط بهینه، فراوانی *F. salina* می تواند به ۹۰ فرد در هر میلی لیتر 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 سم ها و مواد آنتی بیوتیک مترشحه توسط باکتری های سبز آبی می توانند منجر به بروز تلفات گسترده در دیگر موجودات در محیط بسته شود (Carmichael et al., 1975). بطور معمول تالاب های ساحلی در منطقه های نیمه استوایی دارای گردیدان فصلی در ساختار جوامع پلانکتونی و همچنین فاکتورهای محیطی هستند. در این منطقه ها، اختلاط آب شور و شیرین پایین آمدن شوری و همچنین ورود میزان بالای مواد مغذی در طول فصل مانسون بطور عموم منجر به افزایش فراوانی فیتوپلانکتون هادر دوره های پس مانسونی می شود (Choudhury and Pal, 2010). در مورد تالاب لیپار به نظر می رسد که تغییرهای محیط زیستی ناشی از مانسون فقط در مورد میزان شوری (کاهش تا ۱۵۰ psu) و اکسیژن محلول (افزایش تا حدود ۹ میلی گرم بر لیتر) قابل توجه می باشد. بر همین اساس، نتایج حاصل از گروه بندی تغییرات زمانی ساختار اجتماعات پلانکتونی منطقه در نمودارهای nMDS بر دوره های پیش مانسونی/مانسونی/پس مانسونی منطبق نبود.

نتیجه گیری

در مجموع، شاید بتوان تالاب لیپار را از آب های فوق شور نوع گاما (۲) بشمار آورد چرا که شوری آن بیش از ۱۴۰ psu بوده و زنجیره غذایی آن بسیار ساده می باشد (Por, 1980). مشخصه اصلی آب های فوق شور نوع گاما وجود زنجیره های کوتاه و غیر تثبیت شده تولید کننده ها - مصرف کننده ها می باشد. پایین بودن غنای گونه ای یکی از پاسخ های جمعیت پلانکتونی به شوری بالا می باشد. همچنین پایین بودن میزان مواد مغذی بطور میانگین نیز یکی از عامل های تاثیرگذار در پایین بودن تراکم و غنای گونه ای فیتوپلانکتونی و در نتیجه پایین بودن تولید اولیه است. پیشنهاد می شود با احداث کانال، افزون بر

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* بعنوان 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 بعنوان 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 یابد (Post et al., 1983).

برخلاف *D. salina*، تغییرهای فصلی *Spirulina* sp. معنی دار نبود. با این حال، همبستگی مثبت و متوسطی بین تراکم *Spirulina* 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 می نماید (Ben-Amotz et al., 1982). از طرفی دیگر، این ماده بعنوان منبع مناسب کربن برای سوخت و ساز باکتری ها در آب های فوق شور بشمار می آید و افزایش غلظت آن در آب می تواند منجر به افزایش نرخ رشد باکتری ها شود (Morais et al., 2019). بر همین اساس، همبستگی مثبت بین تراکم *D. salina* و *Spirulina* sp. امری محتمل به نظر می رسد.

از دیگر فیتوپلانکتون شناسایی شده در مطالعه حاضر *Pseudo-nitzschia* بود که پیش تر نیز از آب های ایرانی دریای عمان گزارش شده است (Maghsoudlou et al., 2015). این گونه یکی از عامل های ایجاد شکوفایی جلبکی در دریای عمان محسوب می شود (Al-Azri et al., 2015). در طول مدت مطالعه، *Pseudo-nitzschia* فقط در آذرماه (در موعد دمای حداقلی) مشاهده گردید. افزایش بیش از حد دما می تواند از طریق کاهش غلظت کلروفیل و آسیب به غشاء کلروپلاست ها 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

تجاری این ماده ارزشمند استفاده می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

¹Hypersaline

²One-way ANOVA

³Residuals

⁴PERMANOVA

⁵nMDS

⁶Redundancy Analysis (RDA)

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 با ارزشی هستند. از جمله آن‌ها می‌توان به گونه *D. salina* اشاره نمود که منبع بتاکاروتن محسوب می‌شود و از آن در تولید

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., Farías, 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.
- Last, 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 Aghajanjpour, 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.
- Pedrós-Alió, C., 2005. Diversity of Microbial Communities: The Case of Solar Salterns. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Pedrós-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.

Post, 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., Bahremand, 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 Sciences Vol.17/ No.4 /winter 2020

107-120

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., Kouchaknejad, 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 nutri-

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

ent 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 preservation of the lagoon.

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