

**مقاله علمی - پژوهشی:****مطالعه تولیدات خالص اولیه فیتوپلانکتون و همبستگی آن با مولفه‌های مربوطه در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (۱۳۹۷-۹۸)**

حسن نصرالله زاده ساروی<sup>\*</sup><sup>۱</sup>، آسیه مخلوق<sup>۱</sup>، فریبا واحدی<sup>۱</sup>، ابوالقاسم روحی<sup>۱</sup>، پریسا نوری<sup>۲</sup>

\*hnsaravi@gmail.com

۱- پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۲-دانش آموخته کارشناس ارشد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، نور، ایران

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۹

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۹

**چکیده**

تولیدات اولیه نقش مهم در چرخه زیستی از نظر ذخیره کربن داراست و شاخص کلیدی برای ارزیابی کارکرد اکوسیستم بشار می‌آید. هدف از مطالعه حاضر محاسبه تولیدات خالص اولیه و مولفه‌های آن در حوزه ایرانی دریای خزر در سال‌های ۱۳۹۷ (فصل پاییز و زمستان) و ۱۳۹۸ (فصل بهار و تابستان) می‌باشد. همچنین جهت تعزیز و تحلیل داده‌ها، برخی عوامل اکولوژیک موثر بر توزیع زمانی-مکانی تولیدات خالص اولیه مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، میانگین تولیدات خالص اولیه روزانه فیتوپلانکتون (DNPP) و مولفه‌های آن شامل غلظت کلروفیل-آ (Chl-a)، عمق لایه نوری ( $Z_{eu}$ )، طیف فعال فتوستز (PAR) و غلظت کربن ویژه ثبت شده ( $P_{opt}^B = NPP_{Chl-a}$ ) به ترتیب برابر  $45 \pm 6.5$  گرم کربن/مترمربع/روز،  $23 \pm 5.4$  mgC/mgChl-a.h و  $11 \pm 5.0$  Einstein/m<sup>2</sup>.day میزان  $8.4 \pm 2.2$  متر،  $1.5 \pm 0.5$  mg/m<sup>3</sup> در ناحیه مرکزی از دو ناحیه غربی و شرقی بالاتر بود که احتمالاً ناشی از نفوذ نور در معلق شدن رسوبات (میزان کدورت بالا) و کاهش شدت نفوذ نور در دو ناحیه شرقی و غربی بود. از نظر زمانی، تغییرات فصلی DNPP به ترتیب پاییز > تابستان > بهار > زمستان بود. افزایش قابل ملاحظه DNPP در فصل پاییز ( $p < 0.05$ ) در مقایسه با سایر فصول ناشی از افزایش غلظت کلروفیل-آ و بهینه بودن دمای سطحی آب برای ثبت کربن ویژه ( $P_{opt}^B$ ) می‌باشد. بر اساس آزمون‌های رگرسیون و مولفه اصلی تغییرات زمانی-مکانی DNPP به طور معنی داری تحت تاثیر دو متغیر Chl-a و  $P_{opt}^B$  بود. به طور کلی، در طبقه‌بندی سطح تروفیکی بر اساس تولیدات خالص اولیه، ۵۲ درصد از داده‌ها در سطح تروفیکی الیگومزتروف و مزوتروف (۴۹%) تا یوتروف (۴%) بوده و ۴۸ درصد داده‌ها در گروه الیگوتروف (۳%) در ناحیه شرقی) قرار داشتند.

**لغات کلیدی:** پارامترهای محیطی، تولیدات خالص اولیه، فیتوپلانکتون، سواحل ایران، دریای خزر

<sup>\*</sup>نویسنده مسئول

**مقدمه**

جنوبی (طی سال‌های ۱۳۹۳-۹۶) را در محدوده ۲/۱۰-۰/۸۳ گرم کربن/مترمربع/روز گزارش نمود. روش‌ها و ابزارهای جدیدی برای تخمین و برآورد تولیدات اولیه به Westberry *et al.*, 2008 طور مداوم در حال ارائه می‌باشند (). در مقیاس‌های بزرگ (اکوسیستم‌های دریابی ۲۰۰۸). در اقیانوس‌ها، مناسب‌ترین روش برای تعیین تغییر زمانی-مکانی (NPP)<sup>۳</sup>، از طریق اندازه‌گیری ماهواره‌ای، همراه با مدل‌های تشخیصی NPP یکپارچه به عنوان تابعی از عمق لایه نوری، غلظت کلروفیل، تابش خورشید فتوسنتزی فعال (PAR)، کربن ویژه تثبیت شده و ساعت‌های روشناهی می‌باشد (Westberry *et al.*, 2008; Siegel *et al.*, 2013). با توجه به اهمیت تولیدات اولیه در ارزیابی کیفیت و کارکرد اکوسیستم، هدف مطالعه حاضر تعیین میزان تولیدات خالص اولیه روزانه و مولفه‌های آن در حوزه ایرانی دریای خزر طی سال‌های ۱۳۹۷ (فصل پاییز و زمستان) و ۱۳۹۸ (فصل بهار و تابستان) می‌باشد. همچنین پارامترهای موثر بر تولیدات خالص اولیه در نوار ساحلی این حوزه نیز بر اساس آزمون‌های آماری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

**مواد و روش‌ها**

نمونه‌برداری طی سال‌های ۱۳۹۷-۹۸ در حوزه جنوبی دریای خزر در امتداد هشت نیم خط<sup>۴</sup> آستارا، انزلی، سفیدرود، بابلسر، توسکاتوک (نوشهر)، رامسر، امیرآباد و بندر ترکمن (شکل ۱) انجام گرفت. جمع آوری نمونه‌های آب بوسیله دستگاه نسکین در لایه‌های سطحی در اعماق ۵، ۱۵ و ۳۰ متر انجام گردید. اندازه‌گیری پارامترهای مختلف (pH، نیتروژن و فسفر معنی، کلروفیل-آ و زی توده فیتوپلانکتون) بر اساس روش‌های استاندارد Sapozhnikov *et al.*, 1988; APHA (, 2005). محاسبه تولیدات خالص اولیه (NPP) با استفاده از مدل الگوریتم VGPM<sup>۵</sup> (Behrenfeld and Falkowsky, 1998; Ishizaka *et al.*, 2007) صورت گرفت.

<sup>۳</sup> Net Primary Production

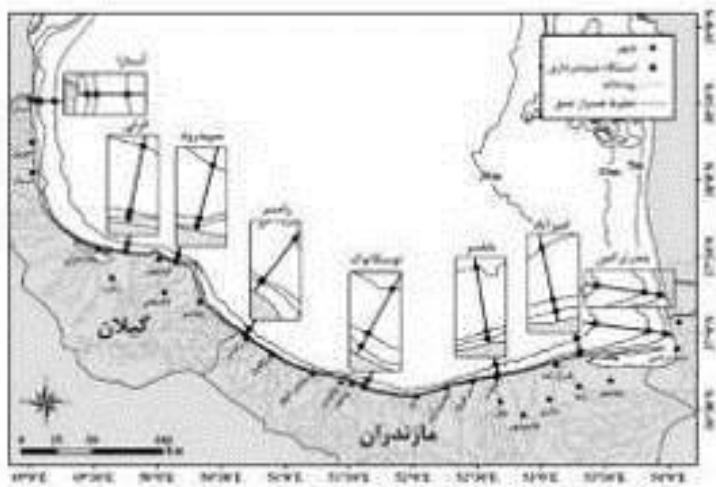
<sup>۴</sup> Transect

<sup>۵</sup> Vertical Generalized Production Model

تولیدات اولیه به تولید کربن آلی از طریق فرآیند فتوسنتز با استفاده از دی اکسید کربن اتمسفری یا آبی، موادمعدنی و نور خورشید اطلاق می‌شود (Platt *et al.*, 1990). تولیدات اولیه جهانی<sup>۱</sup> مجموع تولیدات در نواحی خشکی و دریا را دربرمی‌گیرد (Field *et al.*, 1998). در محیط‌های آبی، جلبک‌ها (ماکرو و میکرو) عامل اصلی تولیدات اولیه محسوب می‌شوند (Raven, 1996; Westberry *et al.*, 2008) اقیانوس‌ها به طور تقریبی ۹۴ درصد تولیدات اولیه در لایه نوری متعلق به میکروجلبک‌ها (فیتوپلانکتون) و ۶ درصد Rousseaux and Marbott (Gregg, 2014) مربوط به ماکروجلبک‌ها می‌باشد (). فیتوپلانکتون و شاخص کلروفیل که دارای نقش مهمی در اکوسیستم پلازیک می‌باشند، همواره تحت تاثیر عوامل زیستی و غیرزیستی قرار دارند. بنابراین، تخمین کلروفیل در تحقیقات اکولوژیک و فعالیت‌های اقتصادی از قبیل برآورد تولیدات در فعالیت‌های شیلاتی دریایی مهم می‌باشد (Mخلوق و همکاران، ۱۳۹۶). تولیدات خالص اولیه فیتوپلانکتونی دارای نقش مهمی در چرخه زیستی از نظر ذخیره کربن دارد و شاخص کلیدی برای ارزیابی کارکرد اکوسیستم دارد. مطالعات محدودی در مورد تولیدات خالص اولیه در حوزه ایرانی دریای خزر صورت گرفته است. تغییرات روزانه تولیدات خالص اولیه (DNPP)<sup>۲</sup> در خزر جنوبی در سال ۱۹۷۸ در فصل بهار (۱/۲۹، ۰/۸۶، ۰/۸۷) و ۰/۶۴، ۰/۶۰ گرم کربن/مترمربع/روز برآورد شد (شریعتی، ۱۳۷۸). رحیمی بشر و همکاران (۱۳۸۵) تولیدات اولیه و ثانویه پلازیک را در مصب رودخانه سفیدرود مورد ارزیابی قرار دادند. آنها میزان DNPP را ۰/۲۰۲ گرم کربن/مترمربع/روز برآورد نموده و تغییر فصل و میزان اشعه‌های نوری جذب شده در سطح را عامل مهم در توالی فیتوپلانکتون در قسمت‌های باز دریا بیان نمودند. نوری (۱۳۹۸) بر اساس داده‌های با سنجده VIIRS، تغییرات زمانی-مکانی تولیدات خالص اولیه فیتوپلانکتون در خزر

<sup>۱</sup> Global primary production

<sup>۲</sup> Daily Phytoplankton Net Primary Production



شکل ۱: ایستگاههای نمونه برداری به همراه نیم خطوط و اعمق مختلف در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (سال‌های ۱۳۹۷-۹۸)  
Figure 1: Sampling stations with different transects and depths in the coastal of the southern Caspian Sea (2018-2019)

روزانه یا میزان بهره‌وری فتوسنتر (DNPP) در محدوده ۰/۳۱-۰/۱۴ گرم کربن / مترمربع/ روز محاسبه گردید. همچنین میانگین PAR روزانه  $40/42 \pm 16/84$  Einstein/m<sup>2</sup>.day بود (جدول ۱). بر اساس آزمون آماری ANOVA میانگین غلظت کلروفیل-آ، تولیدات خالص اولیه و پارامترهای آن (جدول ۱) بین فصول مختلف اختلاف معنی دار نشان دادند ( $p < 0/05$ ), اما بین نواحی و نیم خطوط مختصه متفاوت فقط تولیدات خالص اولیه دارای اختلاف معنی دار بودند ( $p < 0/05$ ). همچنین اختلاف معنی دار پارامترهای طیف فعال در فرآیند فتوسنتر (PAR) و کربن ویژه ثبت شده ( $P_{\text{optic}}^B$ ) در بین اعماق مختلف مشاهده شد ( $p < 0/05$ ). تغییرات فصلی DNPP و برخی پارامترهای محیطی در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر در شکل ۲ نشان داده شده است. در فصول مختلف تغییرات DNPP و ازت نیتراتی روند یکسانی داشتند و خط روند آنها دریک راستا قرار گرفت که برخلاف روند فسفر معدنی بود. روند تغییرات pH و دمای آب یکنواخت نبود. با توجه به اینکه تغییرات pH بسیار جزئی بود، روند تغییرات DNPP با pH نیز بطيئی بود.

در مطالعه حاضر برای مدل مذکور، ورودی پارامترهای ساعت روشناهی<sup>۱</sup> و طیف فعال در فرآیند فتوسنتر VIIRS<sup>۲</sup> بر اساس داده‌های مستخرج از سنجنده (PAR) و پارامترهای غلظت کلروفیل-آ (بیانگر زی توده فیتوپلانکتون)، دمای سطحی آب و عمق نوری یعنی عمقی که حداقل نور کافی (۰/۱) برای فتوسنتر به آن می‌رسد ( $Z_{\text{eu}}$ )، بر اساس داده‌های میدانی صورت گرفت (جدول ۱).

آزمون پارامتریک (ANOVA) و در صورت لزوم آزمون تکمیلی دانکن، رگرسیون خطی و غیرخطی<sup>۳</sup>، رگرسیون گام به گام و آزمون مولفه اصلی (PCA)<sup>۴</sup> برای داده‌های نرمال شده (انتقال یافته داده از طریق لگاریتم ارتبه بندی) انجام گردید.

## نتایج

میانگین عمق لایه نوری ( $Z_{\text{eu}}$ ) در این منطقه از دریای خزر برابر  $8/9 \pm 5/1$  متر بدست آمد. میانگین غلظت کربن ویژه ثبت شده ( $P_{\text{optic}}^B = \text{NPP}_{\text{Chl-a}}$ ) برابر  $5/05 \pm 1/11$  mgC/mgChl-a.h

<sup>1</sup> Photoperiod

<sup>2</sup> Photosynthetically Active Radiation

<sup>3</sup> Regression

<sup>4</sup> Principal Component Analysis

جدول ۱: توصیف آماری تولیدات خالص اولیه و مولفه های آن در فصول، نیم خط ها، نواحی و اعمق مختلف در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (۱۳۹۷-۹۸)

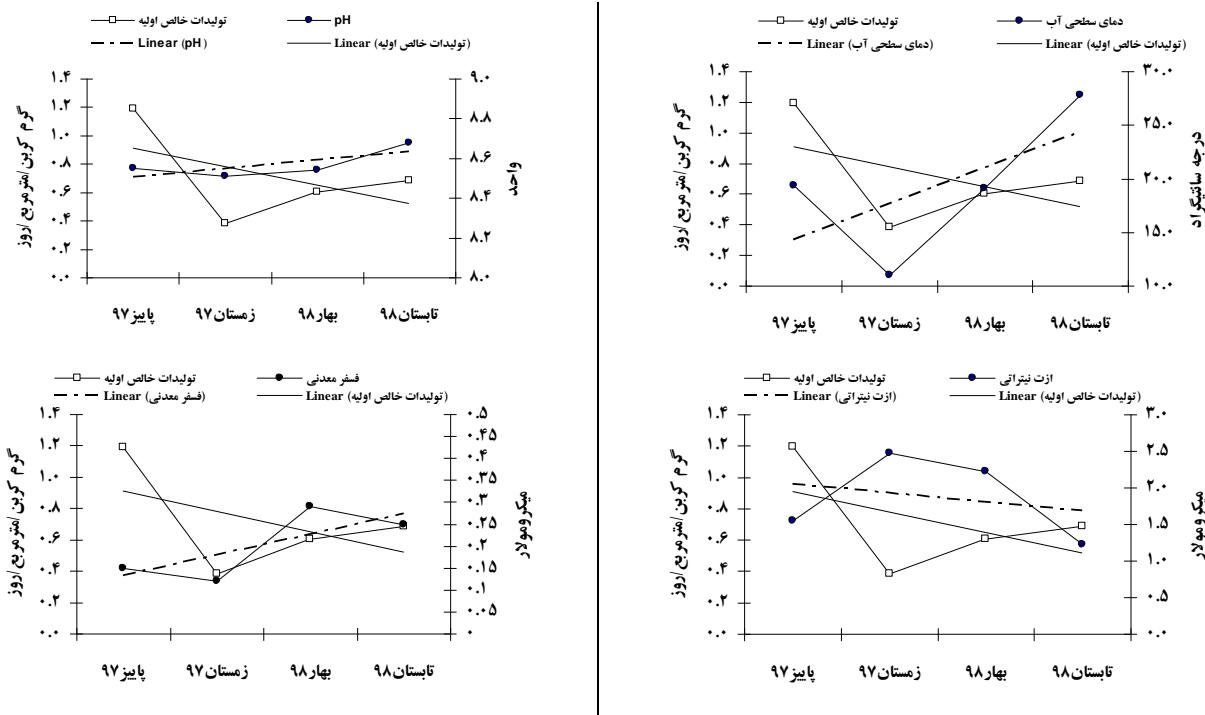
Table 1: Statistical description of net primary production and its components at different seasons, transects, regions and depths in the coastal of southern Caspian Sea (2018-2019)

پارامترها و واحد های اندازه گیری	کلروفیل-آ (Chl-a) mg/m <sup>3</sup>	عمق نوری (Zeu) m	ساعت روشنایی (Photoperiod) Decimal hours	طیف فعال در فرآیند فتوسنتز (PAR)	کربن ویژه ثبیت شده در مدت یک روز (P <sup>B</sup> <sub>optic</sub> = NPP <sub>Chl-a</sub> ) mgC/mgChl-a.h	تولید خالص (DNPP) gC/m <sup>2</sup> .day
<b>فصل</b>						
۰/۲۰-۲/۳۱	۴/۶۶-۶/۶۲	۳/۸۷-۳۱/۰۳	۱۰/۰۴-۱۰/۴۱	۳/۸-۱۲/۶	۰/۷۱-۲۶/۳۱	۹۷ پاییز
۰/۱۴-۰/۶۱	۳/۵۸-۴/۵۸	۱۳/۴۰-۳۹/۷۹	۱۰/۳۲-۱۱/۱۴	۳/۶-۷/۵	۰/۹۲-۴/۰۶	۹۷ زمستان
۰/۲۳-۱/۰۳	۵/۶۸-۶/۶۳	۵۳/۱۰-۵۷/۳۷	۱۳/۳۹-۱۴/۱۲	۴/۸-۳۰/۰	۰/۴۱-۲/۷۲	۹۸ بهار
۰/۲۰-۱/۴۴	۳/۵۲-۵/۸۱	۵۳/۱۰-۵۷/۳۷	۱۳/۱۸-۱۳/۳۸	۲/۴-۲۱/۰	۰/۸۸-۳/۴۶	۹۸ تابستان
۰/۶۵±۰/۴۵	۵/۰۵±۱/۱۱	۴۰/۴۲±۱۶/۸۴	۱۲/۴۲±۱/۳۷	۸/۹±۵/۱	۲/۵۴±۳/۲۳	میانگین سالانه
<b>نیم خط ها</b>						
۰/۱۷-۱/۰۰	۳/۵۸-۶/۴۷	۲۲/۶۶-۵۵/۳۳	۱۰/۰۹-۱۴/۱۲	۳/۳۹-۳۰/۰	۰/۴۱-۲/۶۷	آستارا
۰/۴۰-۲/۳۱	۴/۰۲-۶/۶۰	۴/۱۵-۵۶/۹۹	۱۰/۰۴-۱۴/۰۵	۴/۲-۲۱/۰	۰/۷۶-۶/۹۸	ازلی
۰/۲۱-۱/۹۲	۳/۷۹-۶/۶۲	۳/۸۷-۵۴/۹۳	۱۰/۱۰-۱۴/۰۲	۳/۶-۱۵/۵	۰/۸۲-۲۶/۳۱	سفیدرود
۰/۳۸-۱/۴۴	۴/۲۵-۶/۶۰	۱۷/۵۰-۵۷/۰۶	۱۰/۳۳-۱۳/۴۷	۴/۵-۱۶/۵	۱/۳۶-۳/۳۱	رامسر
۰/۳۷-۱/۸۷	۳/۷۹-۶/۶۲	۱۸/۶۷-۵۶/۰۱	۱۰/۳۴-۱۳/۴۵	۳/۹-۱۵/۰	۱/۰۲-۳/۹۷	توسکاتونگ
۰/۳۲-۱/۰۳	۴/۲۴-۶/۴۹	۸/۴۸-۵۹/۱۱	۱۰/۴۰-۱۳/۳۴	۳/۹-۱۵/۰	۱/۳۴-۳/۶۹	پالیسرا
۰/۲۰-۱/۱۶	۳/۵۲-۶/۴۶	۱۹/۴۶-۵۷/۳۷	۱۰/۳۲-۱۳/۳۹	۲/۴-۹/۰۰	۰/۸۳-۳/۸۲	امیرآباد
۰/۱۴-۰/۷۱	۳/۷۹-۶/۶۳	۲۸/۲۰-۵۸/۹۱	۱۰/۳۳-۱۳/۴۲	۲/۴-۳۰/۰	۰/۷۱-۳/۴۶	بندرترکمن
<b>ناحیه ها</b>						
۰/۱۷-۲/۳۱	۳/۵۸-۶/۶۲	۳/۸۷-۵۶/۹۹	۱۰/۰۴-۱۴/۱۲	۳/۶-۳۰/۰	۰/۴۱-۲۶/۳۱	غربی
۰/۳۲-۱/۸۷	۳/۷۹-۶/۶۲	۸/۴۸-۵۹/۱۱	۱۰/۳۳-۱۳/۴۷	۳/۹-۱۶/۵	۱/۰۲-۳/۹۷	مرکزی
۰/۱۴-۰/۷۱	۳/۵۲-۶/۶۳	۱۹/۴۶-۵۸/۹۱	۱۰/۳۲-۱۳/۴۲	۲/۴-۱۰/۵	۰/۷۱-۳/۸۲	شرقی
<b>اعماق</b>						
۰/۲۰-۰/۶۷	۳/۷۹-۵/۸۱	۵۳/۱۰-۵۷/۳۱	۱۳/۱۸-۱۳/۳۷	۲/۸-۸/۴	۱/۴۸-۳/۴۶	۵ متر
۰/۱۴-۲/۳۱	۳/۵۲-۶/۶۳	۳/۸۷-۵۹/۰۹	۱۰/۰۴-۱۴/۱۲	۳/۰-۱۸/۰	۰/۴۱-۲۶/۳۱	۱۰ متر
۰/۱۷-۱/۲۴	۳/۵۲-۶/۶۲	۱۸/۳۷-۵۹/۱۱	۱۰/۳۲-۱۴/۱۲	۳/۶-۳۰/۰	۰/۵۹-۳/۵۷	۳۰ متر

همبستگی ( $R^2$ ) به ترتیب برابر ۰/۷۳ و ۰/۵۳ بود. همچنان که در شکل ۴، (p<0.05)، اما همبستگی بین غلظت کلروفیل-آ (Chl-a) و کربن ویژه ثبیت شده ( $P_{\text{optic}}^B = \text{NPP}_{\text{Chl-a}}$ ) خطی نبود و از معادله درجه دوم تعیت نمود ( $\text{Chl-a} = 0.2a + 0.02a + 0.033\text{Chl-a}$ ) ضریب همبستگی (R) و مجدد ضریب همبستگی ( $R^2$ ) به ترتیب برابر ۰/۲۹ و ۰/۱۰ بود. (شکل ۴، p<0.05).

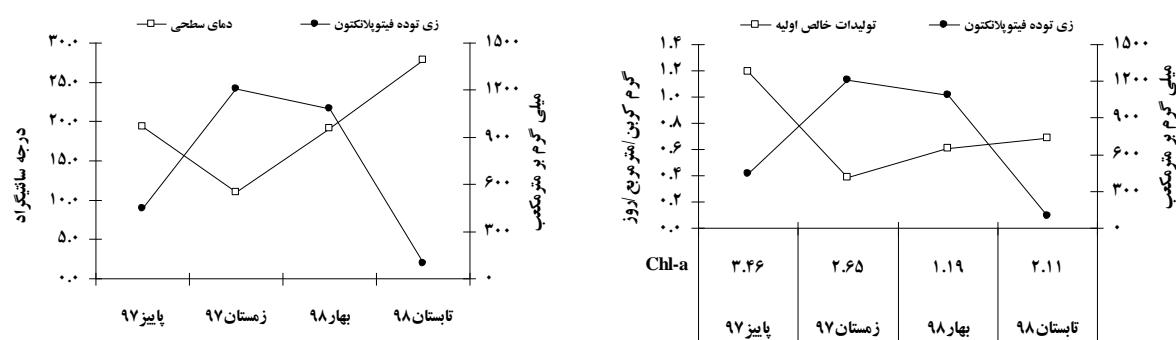
در منطقه مورد مطالعه، حداقل و حداقل غلظت کلروفیل-آ به ترتیب در فصول پاییز و بهار بدست آمد که بر نقاط حداقل و حداقل زی توده فیتوپلانکتون (به ترتیب در فصول زمستان و تابستان) مطابقت نداشت. همچنین روند تغییرات زی توده با دمای آب معکوس بود (شکل ۳). غلظت کلروفیل-آ (Chl-a) و (DNPP) دارای همبستگی (DNPP = ۰/۴۹ + ۰/۰۷Chl-a) مثبت خطی بودند (شکل ۴، p<0.05).

به طوری که ضریب همبستگی (R) و مجدد ضریب



شکل ۲: تغییرات فصلی تولیدات خالص اولیه و پارامترهای محیطی در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (۱۳۹۷-۹۸)

Figure 2: Seasonal changes of net primary production and environmental parameters in the coastal of southern Caspian Sea (2018-2019)

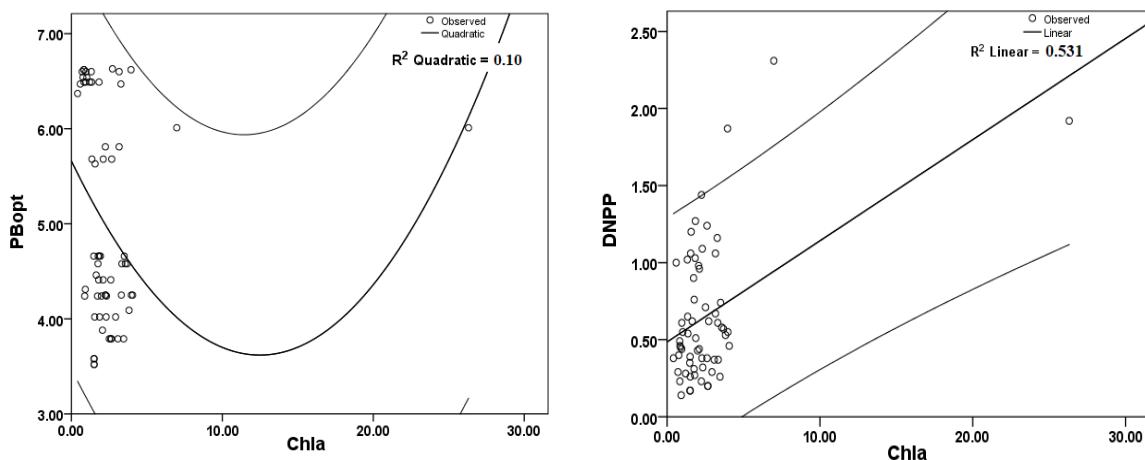


شکل ۳: تغییرات فصلی تولیدات خالص اولیه، زی توده فیتوپلانکتون و دمای آب در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (۱۳۹۷-۹۸)

Figure 3: Seasonal changes of net primary production, phytoplankton biomass and water temperature in the coastal of southern Caspian Sea (2018-2019)

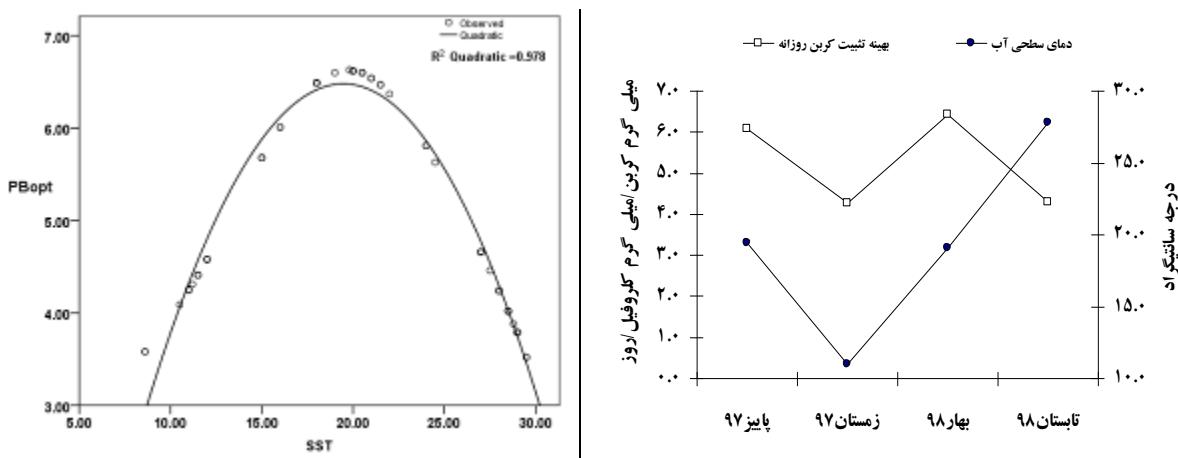
بين PAR و (DNPP) ضریب همبستگی به ترتیب  $0.63 \pm 0.06$  و  $0.47 \pm 0.07$  بددست آمد. اما همبستگی غیرخطی درجه سوم  $+0.004\text{PAR}^3 - 0.0005\text{PAR}^2$  (Cubic) بین آنها دارای ضریب همبستگی (R) و مجدد ضریب همبستگی ( $R^2$ ) به ترتیب  $0.60 \pm 0.06$  و  $0.36 \pm 0.07$  (ارتباط معنی داری قوی) بود (شکل ۶). (p<0.05)

رابطه دمای سطحی و میزان بهینه ثبتیت کردن روزانه ( $P_{\text{optic}}^B$ ) خطی نبود اما همبستگی قوی ( $R^2 = 0.997$ ) بر اساس معادله درجه دو ( $4.9 + 1.17\text{SST} - 0.03\text{SST}^2$ ) بین ( $P_{\text{optic}}^B$ ) و متغیر مشاهده شد (شکل ۵). میانگین تابش فعال فتوسنتزی روزانه سطح دریا (PAR) در ناحیه غربی، مرکزی و شرقی به ترتیب برابر  $4.2 \pm 1.6$  و  $4.1 \pm 1.6$  بود. در ارتباط خطی (Linear)



شکل ۴: همبستگی بین غلظت کلروفیل-آ (Chl-a) با  $P_B^{\text{opt}} = \text{NPP}_{\text{Chl-a}}$  و کربن ویژه ثابت شده ( $P_B^{\text{opt}} = \text{NPP}_{\text{Chl-a}}$ ) بر اساس معادلات رگرسیون (به همراه ۹۵٪ از حدود اطمینان) در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (۱۳۹۷-۹۸)

Figure 4: Correlation between Chl-a with DNPP and  $P_B^{\text{opt}}$  based on regression analysis (confidence level 95%) in the coastal of southern Caspian Sea (2018-2019)



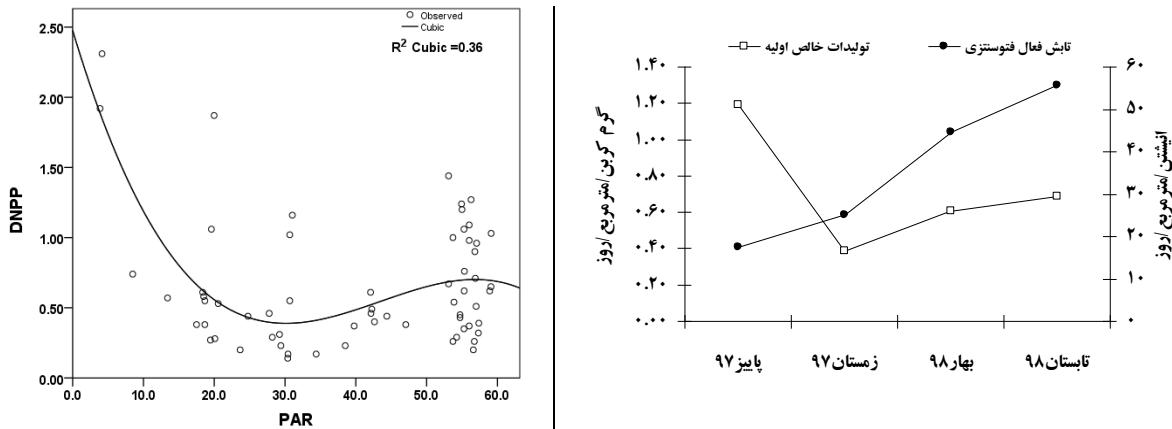
شکل ۵: همبستگی بین میزان بهیزه ثابت کربن روزانه ( $P_B^{\text{opt}}$ ) با دمای سطحی آب در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (۱۳۹۷-۹۸)

واریانس را شامل شد و متغیرهای Chl-a، DNPP و  $P_B^{\text{opt}}$  با بار عاملی قوی در آن مشارکت نشان دادند. واریانس مولفه دو ۳۲/۳۳ درصد از کل واریانس بود و متغیرهای  $Z_{eu}$  و PAR در این مولفه مشارکت داشتند (شکل ۷). نمودار سه بعدی نشان می‌دهد که افزایش DNPP با افزایش Chl-a و  $P_B^{\text{opt}}$  همراه می‌باشد. شایان ذکر است،  $P_B^{\text{opt}}$  کمتر از ۵/۵ سبب کاهش DNPP گردید.

در آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) تولیدات اولیه و مولفه‌های آن، شاخص KMO برابر ۰/۵۲ بود و آزمون Bartlett دارای اختلاف معنی‌دار بود ( $p < 0/05$ ). در آنالیز مولفه‌های اصلی بر اساس منحنی سنگریزه‌ای<sup>۱</sup> و مقدار ویژه<sup>۲</sup> بالای یک، به دو مولفه (PC) با واریانس ۶۸/۲ درصد کاهش یافت. مولفه یک ۳۵/۸۸ درصد از کل

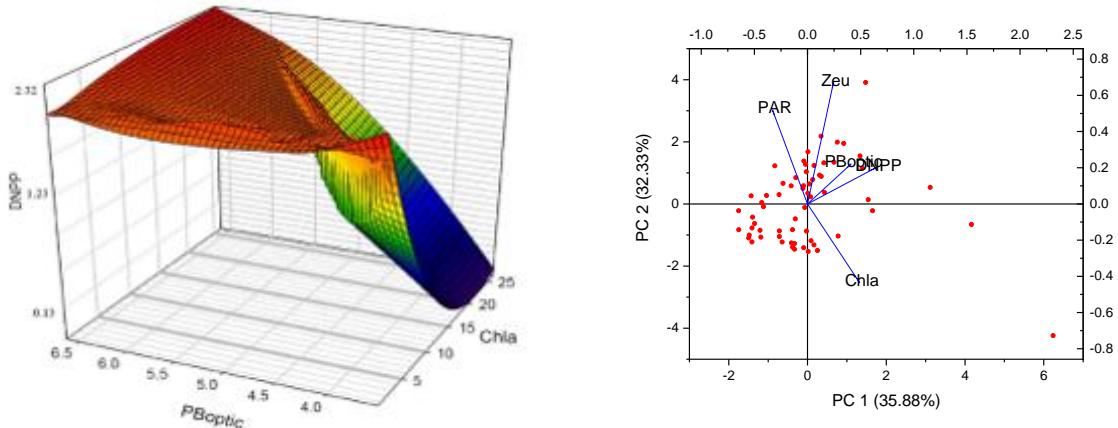
<sup>1</sup> Scree plot

<sup>2</sup> Eigenvalue



شکل ۶: همبستگی بین تولیدات خالص اولیه (DNPP) و تابش فعال فتوسنتزی روزانه سطح دریا (PAR) در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (۱۳۹۷-۹۸)

Figure 6: Correlation between DNPP and  $P_{\text{optic}}^B$ , PAR in the coastal of southern Caspian Sea (2018-2019)

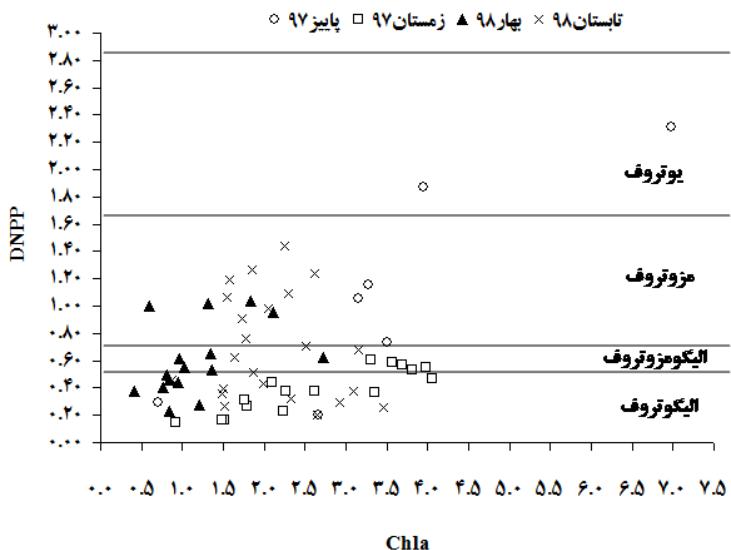


شکل ۷: آزمون مولفه اصلی (PCA) و دیاگرام سه بعدی تولیدات خالص اولیه (DNPP) و اجزای آن در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (۱۳۹۷-۹۸)

Figure 7: Principal component analysis and triangle diagram of DNPP and its components in the coastal of southern Caspian Sea (2018-2019)

و شرقی بیشترین فراوانی سطح تروفیک در گروه الیگوتروف و در ناحیه مرکزی مزوتروف بود. همچنین بررسی در اعماق مختلف نشان داد که در عمق ۵ متر و ۳۰ متر به ترتیب تعداد داده‌های دارای سطح الیگوتروف و مزوتروف بیشتر بود ولی در عمق ۱۰ متر فراوانی سطوح مختلف تروفیک تقریباً یکسان بود.

پراکندگی سطح تروفیک فصول مختلف بر اساس PP (شکل ۸) نشان می‌دهد که بیشترین پراکنش داده‌های تحقیق حاضر در سطح الیگوتروف (۴۸٪) و الیگومزوتروف تا مزوتروف (۴۹٪) بود. کمترین تعداد داده در سطح یوتروف (۳٪) ثبت شد. نتایج نشان داد که در نواحی غربی



شکل ۸: پراکندگی سطح تروفیکی در فصول مختلف بر اساس تولیدات خالص اولیه در نوار ساحلی حوزه جنوبی دریای خزر (۱۳۹۷-۹۸)  
Figure 8: Seasonal distribution of trophic levels based on DNPP in the coastal of southern Caspian Sea (2018-2019)

اساسی مواد مغذی (بهویژه نیتروژن معدنی) را در تعیین میزان فیتوپلانکتون نشان دادند (نصراله زاده ساروی و همکاران، ۱۳۹۱). در تحقیق حاضر ضمن تایید نتایج مذکور، فسفر معدنی نسبت به ازت نیتراتی نقش موثرتری بر زیستوده فیتوپلانکتون و به تبع آن DNPP نشان داد. زیرا بر اساس نسبت‌های مولی مواد مغذی (DIN/DIP)<sup>۱</sup> در این سواحل، رشد فیتوپلانکتون بیشتر دارای محدودیت فسفری بود، اگرچه در برخی نیم‌خط‌ها محدودیت نیتروژنی مشاهده گردید. با توجه به اینکه در مصب رودخانه‌ها مواد مغذی کافی برای فیتوپلانکتون وجود دارد، انتظار بر آن است که حداقل DNPP در این ناحیه مشاهده گردد. در تحقیق حاضر نیز، حداقل کلروفیل-آ و DNPP در نیم خط سفیدرود (بزرگترین رودخانه در حوزه ایرانی دریای خزر) ثبت گردید. در مطالعه دریای Wadden نیز حداقل کلروفیل-آ و تولیدات در مناطق Woldgiroglis, (2012).

<sup>۱</sup> Dissolved Inorganic Nitrogen/ Dissolved Inorganic Phosphorous

## بحث

غلظت کلروفیل-آ نقشی کلیدی در تعیین تولیدات اولیه دارد (Behernfled and Falkowski, 1998) در تحقیق حاضر DNPP در محدوده ۰/۱۴-۲/۳۱ گرم کربن (r=۰/۷۳) /مترمربع/روز قرار داشت. همبستگی خطی قوی (r=۰/۷۳) بین کلروفیل-آ و DNPP در آزمون رگرسیون، بیانگر تاثیر میزان کلروفیل-آ بر میزان DNPP بود به طوری که تغییرات DNPP از الگوی فصلی کلروفیل-آ تبعیت نمود و حداقل غلظت کلروفیل-آ (۲۶/۳۱ میلی گرم بر مترمکعب) و DNPP در پاییز ۱۳۹۷ ثبت گردید. لذا، زیستوده فیتوپلانکتون (شاخصی از کلروفیل-آ) را نیز می‌توان به عنوان عامل مهم و موثر بر میزان تولیدات اولیه در اکوسیستم در نظر گرفت (Deng et al., 2017). از سویی، بالابودن زیستوده فیتوپلانکتون (غلظت کلروفیل-آ) و تغییرات زمانی و مکانی آن به توزیع و پراکنش غلظت مواد مغذی (نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) ، فسفات ( $\text{PO}_4^{3-}$ )، سیلیسیم محلول ( $\text{SiO}_4^{4-}$ )) وابسته است. بنابراین، مواد مغذی با تاثیر بر زیستوده فیتوپلانکتون سطح DNPP را کنترل می‌کنند (Moore et al., 2009; Deng et al., 2017) پیشین انجام شده در حوزه ایرانی دریای خزر نیز نقش

که هر چند افزایش تراکم فیتوپلانکتون با کلروفیل-آ دارای همبستگی مثبت هست ولی به دلیل تفاوت در اندازه، شکل و میزان کلروفیل گونه‌های مختلف فیتوپلانکتون، این ارتباط خطی ساده نیست به طوری که نقطه دارای حداقل تراکم فیتوپلانکتون بر حداقل میزان کلروفیل منطبق نمی‌گردد. وجود گونه‌های دارای زیستده و میزان کلروفیل بالا از عوامل مهم در بروز روابط غیر خطی بین تراکم فیتوپلانکتون و کلروفیل می‌باشد (مخلق و همکاران، ۱۳۹۶). بدین ترتیب، اثرات تغییر دمای آب و تغییر فصل با اثر بر توالی فصلی گونه‌های غالب نیز سبب تغییرات زمانی کلروفیل-آ و تولیدات اولیه می‌شود. چنانکه مطالعه Deng و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان داد، روابط متقابل بین زیستده فیتوپلانکتون و  $P_{\text{optic}}^B$  موجب تغییرات زمانی DNPP می‌شود.

معلق شدن رسوبات با نفوذ جریان متلاطم رودخانه و سیلاب و نیز نیروی باد در سواحل از طریق تاثیر بر عمق لایه نوری و دسترسی فیتوپلانکتون به مواد مغذی بر تغییرات تولیدات اولیه تاثیرگذار می‌باشد. رابطه خطی منفی بین تولیدات اولیه و تابش فعال فتوسنتزی روزانه سطح دریا بیانگر معلق شدن رسوبات و آشفتگی<sup>۱</sup> در فرآیند تولیدات اولیه است (Deng et al., 2017). در مطالعه حاضر نیز نمودار رگرسیون خطی بین این دو متغیر (شکل ۶) دارای ضریب همبستگی  $0.16 \pm 0.04$  با روند کاهشی و منفی بود. بررسی مقادیر DNPP و PAR در نواحی مختلف نشان داد که به رغم بالاتر بودن مقدار PAR در نواحی غربی و شرقی نسبت به ناحیه مرکزی، میانگین DNPP کمتر از ناحیه مرکزی بود. احتمالاً این امر ناشی از کدورت کمتر آب در ناحیه مرکزی ( $7.75 \pm 3.40$  NTU) بود. به عبارت دیگر، در دو ناحیه شرقی ( $5.68 \pm 3.68$  NTU) و غربی ( $5.55 \pm 3.9$  NTU) با داشتن شبیه فلات قاره کمتر، اثر موج‌های حاصل از نیروی باد و سپس معلق شدن رسوبات کف و در نتیجه کاهش DNPP، آشکارتر بود.

طبق آزمون مولفه اصلی، در مولفه‌های اول و دوم با واریانس  $69\%$ ، DNPP،  $P_{\text{optic}}^B$  و Chl-a در مولفه اول و

میزان بهینه تثیت کربن روزانه ( $P_{\text{optic}}^B$ ) از جمله متغیرهای مهم در تغییر تولیدات اولیه می‌باشد. از سویی، متغیر  $P_{\text{optic}}^B$  نیز بر اساس دمای آب محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب، دمای آب و تغییر فصل، با اثر بر  $P_{\text{optic}}^B$ ، بر تغییرات کلروفیل-آ و تولیدات اولیه اثر می‌گذارد. در Mطالعه Deng و همکاران (۲۰۱۷) همبستگی بین  $P_{\text{optic}}^B$  و دمای آب غیر خطی می‌باشد (Deng et al., 2017). در تحقیق حاضر نیز بر اساس شکل ۵، رابطه دمای سطحی آب و میزان  $P_{\text{optic}}^B$  غیرخطی بود. در اکوسیستم‌های آبی میزان بهینه  $P_{\text{optic}}^B$  در محدوده دمای آب  $18-23$  درجه سانتی‌گراد ثبت می‌گردد و حداقل رشد فیتوپلانکتون تقریباً در دمای آب  $20$  درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. تغییر دما در خارج از این محدوده عموماً سبب کاهش رشد فیتوپلانکتون می‌شود (Bai et al., 2006). در مطالعه حاضر، حداقل میزان  $P_{\text{optic}}^B$  در محدوده دمای  $17-22$  درجه سانتی‌گراد ثبت گردید که همخوانی زیادی با تحقیق مذکور دارد. همچنین نوسانات  $P_{\text{optic}}^B$  با دمای آب همراه گردید به طوری که در فصل پاییز با میانگین دمای  $19.4 \pm 3.9$  درجه سانتی‌گراد بالاترین میزان  $P_{\text{optic}}^B$  مشاهده گردید و کاهش دما در زمستان ( $11.0 \pm 1.1$ ) با کاهش میزان  $P_{\text{optic}}^B$  روزانه همراه شد و مجدداً با افزایش دما در فصل بهار ( $19.1 \pm 2.1$ ) میزان  $P_{\text{optic}}^B$  افزایش نشان داد و در ادامه با افزایش دما تا  $27.8 \pm 1.6$  درجه سانتی‌گراد در فصل تابستان، به حداقل میزان رسید.

Chen و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که دو متغیر دمای آب و مواد مغذی بر میزان زیستده فیتوپلانکتون موثر می‌باشد. در مطالعه حاضر زیستده فیتوپلانکتون با افزایش دما کاهش و با افزایش نیتروژن معدنی (DIN) افزایش نشان داد. اما بر اساس رگرسیون گام به گام زیستده فیتوپلانکتون تنها با دمای آب رابطه معنی‌داری منفی ( $r = -0.41$ ) نشان داد ( $p < 0.05$ ) به طوری که حداقل و حداقل زیستده به ترتیب در فصول تابستان و زمستان ثبت گردید. تغییر دما از طریق تغییر گونه‌های غالب، سبب تغییر زیستده می‌شود. بررسی داده‌های فیتوپلانکتون و مقادیر کلروفیل-آ در دریای خزر نشان داد

<sup>۱</sup> Disturbed

مقدار DNPP در خزر شمالی ثبت گردید (جدول ۲). این میزان، با توجه به وجود رودخانه بزرگ ولگا در خزر شمالی که بیش از ۸۰٪ مواد غذی (سیلیس، نیتروژن و فسفر) را وارد خزر شمالی می‌کند، قابل توضیح می‌باشد (شروعی، ۱۳۷۸). طبق همان مطالعه، DNPP در خزر مرکزی دارای کمترین میزان نوسانات در مقایسه با نواحی شمالی و جنوبی بود. مقایسه تحقیق حاضر نسبت به مناطق مختلف خزر (شروعی، ۱۳۷۸) نشان می‌دهد که DNPP در سواحل ایرانی دریای خزر نسبت به مناطق شمالی کمتر اما نسبت به خزر مرکزی بیشتر بدست آمد (جدول ۲).

متغیرهای  $Z_{eu}$  با PAR در مولفه ۲ قرار گرفت (شکل ۷). همچنین در معادله رگرسیون خطی ضریب بالاتر متعلق به پارامتر  $P_{optic}^B$  (Chl-a  $0.084/0.058$ ) بود و بعد از آن پارامتر  $DNPP = -0.298 + 0.084 (0.058)$  معنی دار بوده است (Chl-a  $+0.058 P_{optic}^B$ ). به بیان دیگر، در هر دو آزمون آماری تغییرات زمانی مکانی DNPP به طور معنی‌داری با تغییرات دو متغیر  $P_{optic}^B$  و Chl-a تبعیت نمود و دو متغیر  $Z_{eu}$  و PAR تاثیر کمتری نشان دادند. در مطالعه پیشین انجام شده در دریای خزر، مقایسه سه منطقه خزر شمالی، خزر مرکزی و خزر جنوبی، بالاترین

جدول ۲: مقایسه تولیدات خالص اولیه (گرم کربن/مترمربع/روز) در مناطق مختلف با تحقیق حاضر

Table 2: Comparison of primary net products (gC/m<sup>2</sup>.day) in different regions with the present study

منابع	سال تحقیق	روش های اندازه گیری	مناطق	تولیدات خالص اولیه DNPP
Tillmann <i>et al.</i> , 2000	۲۰۱۲	VGPM مدل	Wadden Sea	$0.005-1.76$ ۱
Demarcq & Somoue, 2015	۱۹۹۷-۲۰۱۰	<sup>14</sup> C uptake	Morocco to Guinea Coastal, Northwest Africa	$1.00-5.00$ ۲
Demarcq & Somoue, 2015	۱۹۹۷-۲۰۱۰	<sup>14</sup> C uptake	Senegal and southern Mauritania, Northwest Africa	$5.00-10.00$ ۳
Deng <i>et al.</i> , 2017	۲۰۰۳-۲۰۱۳	VGPM مدل	Taihu Lake-China	$0.96-2.21$ ۴
Mosavi Dehmordi <i>et al.</i> , 2016	۲۰۱۴	VGPM مدل	خورمومی خلیج فارس	$0.50-1.40$ ۵
شروعی، ۱۳۷۸	۱۹۷۸	روش <sup>14</sup> C	خزر شمالی (ولگا)	$5.00$ ۶
شروعی، ۱۳۷۸	۱۹۷۸	روش <sup>14</sup> C	خزر مرکزی (باکو)	$0.20$ ۷
شروعی، ۱۳۷۸	۱۹۷۸	روش <sup>14</sup> C	خزر جنوبی (غرب آستانه)	$1.10$ ۸
شروعی، ۱۳۷۸	۱۹۷۸	روش <sup>14</sup> C	خزر جنوبی (شرق حسن قلی)	$1.24$ ۹
رحیمی بشر و همکاران، ۱۳۸۵	۱۳۸۲-۸۳	Winkler bottle	ناحیه غربی سواحل ایرانی	$0.202$ ۱۰
نوری، ۱۳۹۸	۱۳۹۳-۹۶	VGPM مدل	خزر جنوبی	$0.83-2.10$ ۱۱
تحقیق حاضر	۱۳۹۷-۹۸	VGPM مدل	سواحل ایرانی دریای خزر	$0.14-2.31$ ۱۲

رحیمی بشر و همکاران (۱۳۸۵) ممکن است به دلیل تفاوت در روش اندازه گیری باشد. شایان ذکر است، در سال‌های اخیر افزایش جلبک‌های دارای رشد تهاجمی (رشد و تکثیر شدید) به دنبال افزایش سطح تروفیک در سواحل دریای خزر صورت گرفته است. (Nasrollahzadeh Saravi *et al.*, 2014, 2018) افزایش این جلبک‌ها می‌تواند با افزایش DNPP همراه گردد (Seitzinger *et al.*, 2010). در تحقیق نوری

برآورد تولید اولیه در اقیانوس‌ها و دریاهای مختلف با روش‌های داده‌پردازی و نیز برşهای منطقه‌ای مختلف صورت می‌گیرد بنابراین، مقایسه این مقادیر و کاربری این روش‌ها در نقاط مختلف و حتی یک منطقه در مطالعات مختلف بایستی با احتیاط صورت گیرد (Regaudie-de-Gioux *et al.*, 2014). لذا، افزایش قابل ملاحظه میانگین DNPP (گرم کربن/مترمربع/روز) در سواحل غربی دریای خزر در این تحقیق (۰/۶۸) در مقایسه با نتایج تحقیق

کاربرد این نتایج در فعالیت‌های شیلاتی و آبزی‌پروری دریای خزر، فعالیت‌های اقتصادی پایدار همراه با حفاظت محیط زیست را بدبال خواهد داشت.

### منابع

- رحیمی بشر، م.ر.، اسماعیلی ساری، ع.، فاطمی، س.م.ر.، نظامی، ش.ع.، جوانشیر، آ. و علیپور، و. ۱۳۸۵. تغییرات زمانی و مکانی عوامل غیرزیستی، کلروفیل-آ، تولیدات اولیه پلاژیک در مصب رودخانه سفیدرود. مجله پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، ۱۲(۷۷): ۱۵-۱.
- شريعیتی، ا. ۱۳۷۸. نقش میکروفلورها و فیتوپلانکتون‌ها در فرایند تولیدی دریای خزر. ترجمه کتاب سلمانوف (۱۹۸۷)، ۳۴۹ ص.
- مخلوق، آ.، نصرالله زاده ساروی ح.، اسلامی، ف.. کیهان‌ثانی، ع.ر و واحدی، ف.. ۱۳۹۶. بررسی تولیدات اولیه با تأکید بر کلروفیل-آ و وزن تر فیتوپلانکتون در ساحل جنوبی دریای خزر-منطقه گهرباران، مجله علمی شیلات ایران، ۲۶(۲): ۱۲۱-۱۳۰.
- نصرالله زاده ساروی، ح.. پورغلام، ر.، واحدی، ف.. مخلوق، آ. و صفوی، س.ا.. ۱۳۹۱. روند تغییرات ماکرونوترینت (مواد مغذی) آب در سواحل ایرانی حوزه جنوبی دریای خزر. مجله اقیانوس شناسی، ۱۳(۱۱): ۵۳-۴۳.
- نوری، پ.. ۱۳۹۸. پایش ماهواره‌ای و تغییرپذیری مکانی زمانی تولیدات خالص اولیه در حوزه جنوبی دریای خزر. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت و مدرس، دانشکده منابع طبیعی (نور)، ۱۱۶ ص.
- APHA (American Public Health Association), 2005.** Standard method for examination of water and wastewater. American public health association publisher, 18th edition, Washington, USA. 1113P.
- (۱۳۹۸) نیز محدوده تغییرات DNPP بیش از تحقیق حاضر بود. این امر نیز احتمالاً به دلیل تفاوت در روش داده‌پردازی است. زیرا در مطالعه نوری (۱۳۹۸) سری زمانی ۱۳۹۳-۹۶ در کل منطقه خزر جنوبی (سواحل و اعماق بالا) مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در مطالعه حاضر برخلاف مطالعه نوری (۱۳۹۸)، داده‌های ورودی کلروفیل، دمای سطحی آب و عمق نوری بر اساس داده‌های میدانی صورت گرفت. شرایط خاص اکوسیستم آبی نیز بر تغییرات DNPP موثر است. برای مثال، میزان DNPP در تحقیق حاضر در مقایسه با شمال شرق آفریقا کمتر بود که ممکن است به دلیل وقوع فرایند فراجهندگی<sup>۱</sup> در شمال شرق آفریقا باشد که سبب افزایش تولیدات می‌شود (Demarcq and Somoue, 2015).
- Seitzinger و همکاران (۲۰۱۰) و (۲۰۰۵) مناطق دریایی را بر اساس دامنه میانگین تولیدات خالص اولیه (گرم کربن/امتزمریع/روز) به نیمه استوایی مرکزی (۱۰۰/۰۰)، فراجهندۀ استوایی (۰/۰۶۴۰-۰/۹۰۰)، مرازهای شرقی (۰/۳۰-۰/۰۳۰)، اقیانوس قطب شمال (۰/۱۰۰-۰/۰۳۰)، اقیانوس جنوبی (۰/۰۲۹۰-۰/۳۷۰)، دریاهای ساحلی (۰/۱۰۰-۰/۰۱۰) و مصب‌ها و نوار ساحلی (۰/۰۱۰۰-۰/۰۸۰) تقسیم‌بندی نمودند. مقایسه این گروه‌بندی با نتایج تحقیق حاضر (دامنه DNPP در صدک‌های ۷۵-۲۵، به میزان ۹۶-۰/۳۵-۰/۰۳۵) در کربن/امتزمریع/روز نشان داد که منطقه مورد مطالعه در گروه دریاهای ساحلی قرار دارد. در مطالعه Nixon و همکاران (۱۹۹۵) به منظور طبقه‌بندی سطح تغذیه‌گرایی بر اساس تولیدات خالص اولیه فیتوپلانکتونی (اندازه‌گیری کربن)، برای سطوح الیگوتروف، الیگومزوتروف، مزوتروف، یوتروف و هایپرتروف به ترتیب مقدار ۰/۰۶۳۵، ۰/۱۷۳۵، ۰/۲۸۳۵ و >۰/۲۸۳۵ گرم کربن/امتزمریع/روز در نظر گرفته شد. نتایج تحقیق حاضر بر اساس طبقه‌بندی مذکور نشان داد که ۵۲ درصد از داده‌ها دارای سطح تروفیک در محدوده الیگومزوتروف (۰/۴۹) تا یوتروف (۰/۳) بود و ۴۸ درصد باقیمانده داده‌ها در وضعیت تروفیک الیگوتروف (۰/۰۷۳) قرار داشتند.

<sup>1</sup> Upwelling

- Bai, X., Xiaohong amp, G.U. and Yang, L., 2006.** Analyses on water quality and its protection in east Lake Taihu. *Journal of Lake Science*, 18:91–96. ISSN: 2668-7798.
- Behrenfeld, M.J. and Falkowski, P.G., 1998.** Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*, 42(1):1-20. DOI.org/10.4319/lo.1997.42.1.0001.
- Chen, Y., Qin, B., Teubner, K., Dokulil, M.T., 2003.** Long-term dynamics of phytoplankton assemblages: Microcystis-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China. *Journal of Plankton Research*, 25:445–453. DOI.org/10.1093/plankt/25.4.445.
- Demarcq, H. and Somoue, L., 2015.** Phytoplankton and primary productivity of Northwest Africa. In: Oceanographic and biological features in the current Large Marine Ecosystem. Valdeés, L. and Déniz-González, I. (eds). IOC-UNESCO, Paris. *IOC Technical Series*, No. 115, pp. 161-174. URI: <http://hdl.handle.net/1834/9186>.
- Deng, Y., Zhang, Y., Li, D., Shi, K. and Zhang, Y., 2017.** Temporal and Spatial Dynamics of Phytoplankton Primary Production in Lake Taihu Derived from MODIS Data. *Remote Sensing*, 9(195):2-18. DOI:10.3390/rs9030195.
- Falkowski, P.G., and Raven, J.A., 1996.** Aquatic photosynthesis. Blackwell Publishers, 384 P. ISBN: 0865423873.
- Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T. and Falkowski, P., 1998.** Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, 281, 237–240. DOI: 10.1126/science.281.5374.237.
- Ishizaka, J., Siswanto, E., Itoh, T., Murakami, H., Yamaguchi, Y., Horimoto, N. and Saino, T., 2007.** Verification of vertically generalized production model and estimation of primary production in Sagami Bay, Cole, B. E., Cloern, J. E. (1987). An empirical model for estimating phytoplankton productivity in estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 36(1): 299-305. DOI.jstor.org/stable/44634902.
- Moore, C.M., M.M. Mills, E.P. Achterberg, R.J. Geider, J. LaRoche, M.I. Lucas, E.L. McDonagh, X. Pan, A.J. Poulton, M.J.A. Rijkenberg, D.J. Suggett, S.J. Ussher, and Woodward, E.M.S., 2009.** Large-scale distribution of Atlantic nitrogen fixation controlled by iron availability. *Nature Geoscience*, 2(12), 867-871. DOI: org/10.1038/ngeo667.
- Mosavi Dehmordi, L., Savari, A., Dostshenas, B., Mohamad Asgari, H. and Abasi, A., 2016.** Satellite-Derived Primary Productivity and its Spatial and Temporal Variability in the Khuremussa (Northwest Persian Gulf). *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(4): 461-475. DOI: 10.15666/aeer/1404\_461475.
- Nasrollahzadeh Saravi, H., Makhlough, A., Eslami, F. and Leroy Suzanne, A.G., 2014.** Features of phytoplankton community in the southern Caspian Sea, a decade after the invasion of *Mnemiopsis*

- leidyi. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 13(1):145-167.* DOI: 10.18869/acadpub.ijfs.
- Nasrollahzadeh Saravi, H., Pourang, N., Foong, S.Y. and Makhloogh, A., 2018.** Eutrophication and trophic status using different indices: A study in the Iranian coastal waters of the Caspian Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, DOI: 10.22092/ijfs.2018.117717.
- Nixon, S.W., Granger, S.L. and Nowicki, B.L., 1995.** An assessment of the annual mass balance of carbon, nitrogen and phosphorous in Narransett Bay. *Biogeochemistry*, 31:15-61.
- Platt, T., Sathyendranath, S. and Ravindran, P., 1990.** Primary production by phytoplankton: Analytic solution for daily rates per unit area of water surface. *Proceeding of Royal Society of London*, B241: 101-111 P.
- Regaudie-de-Gioux, A., Lasternas, S., Agustí, S. and Duarte, C.M., 2014.** Comparing marine primary production estimates through different methods and development of conversion equations. *Frontiers in Marine Science*, 1(19):1-14. DOI: 10.3389/fmars.2014.00019.
- Rousseaux, C.S. and Gregg, W.W., 2014.** Interannual variations in phytoplankton primary production at a global scale. *Remote Sensing*, 6: 1-19. DOI: org/10.3390/rs6010001.
- 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.
- Seitzinger S.P. and Harrison, J.A., 2005.** Sources and delivery of carbon, nitrogen, and phosphorus to the coastal zone: An overview of Global Nutrient Export from Watersheds (NEWS) models and their application. *Global Biogeochemical Cycles*, 19(GB4S01):1-11. DOI: 10.1029/2005GB002606.
- Seitzinger, S.P., Mayorga, E., Bouwman, A.F., Kroese, C., Beusen, A.H.W., Billen, G., Van Drecht, G., Dumont, E., Fekete, B.M., Garnier, J. and Harrison, J.A., 2010.** Global river nutrient export: A scenario analysis of past and future trends. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(GB0A08):1-16. DOI: 10.1029/2009GB003587.
- Siegel, D.A., Behrenfeld, M.J., Maritorena, S., McClain, C.R., Antoine, D., Bailey, S.W., Bontemp, P.S., Boss, E.S., Dierssen, H.M., Doney, S.C., EpleeJr., R.E., Evans, R.H., Feldman, G.C., Fields, E., Franz, B.A., Kuring, N.A., Mengelt, C., Nelson, N.B. and Yoder, J.A., 2013.** Regional to global assessments of phytoplankton dynamics from the SeaWiFS mission. *Remote Sensing of Environment*, 135:77-91. DOI: org/10.1016/j.rse.2013.03.025.
- Tillmann, U., Hesse, K.J. and Colijn, F., 2000.** Planktonic primary production in the German Wadden Sea. *Journal of Plankton Research*, 22(7):1253-1276, DOI:10.1093/plankt/22.7.1253.

**Westberry, T., Behrenfeld, M.J., Siegel, D.A. and Boss, E., 2008.** Carbon based primary productivity modeling with vertically resolved photoacclimation. *Global Biogeochemical Cycles*, 22, GB2024. DOI: 10.1029/2007GB003078.

**Woldgiroglis, M.G., 2012.** Quantification of Primary production in Wadden Sea using remote sensing and field measurements, M.Sc. dissertation, University of Twente, Netherland, 41P.

## Study on daily phytoplankton net primary production and correlation with its components in coastal zone of the southern Caspian Sea

Nasrollahzadeh Saravi, H.<sup>1\*</sup>; Makhloogh, A.<sup>1</sup>; Vahedi, F.<sup>1</sup>, M.<sup>1</sup>; Roohi, A.<sup>1</sup>; Noori, P.<sup>2</sup>

\*[hnsaravi@gmail.com](mailto:hnsaravi@gmail.com)

1-Caspian Sea Ecology Research Center (CSERC), Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran

2- Graduate of Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Noor, Iran

### Abstract

Primary production is an important component in the biological cycle in terms of carbon storage and a key indicator for evaluating of ecosystem function. In this study, net primary production and its components were investigated in the coastal zone of Iranian basin of Caspian Sea during four seasons from 2018 to 2019. In addition, the effective environmental factors on spatial-temporal distributions of net primary production have been studied. As a results, mean ( $\pm SD$ ) of Chl-a, euphotic depth (Zeu), active photosynthetic radiation (PAR), maximum primary production per unit of Chl-a ( $P^B_{opt}$ ) and daily net primary production (DNPP) were obtained  $2.54 \pm 3.23 \text{ mg/m}^3$ ,  $28.9 \pm 6.8 \text{ m}$ ,  $40.42 \pm 16.84 \text{ Einstein/m}^2 \cdot \text{day}$ ,  $5.05 \pm 1.11 \text{ mgC/mgChl-a.h}$  and  $2.04 \pm 0.73 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{day}$ . The value of DNPP in the central region was more than the western and eastern regions. It probably is due to effects of wind and waves turbulent on re-suspension of sediment and decrease of light penetration in water column in the western and eastern regions. The seasonal variation of net primary production was in order: autumn>summer>spring> winter. The significant higher NPP in autumn than other seasons ( $p < 0.05$ , ANOVA-test), primarily caused by Chl-a and  $P^B_{opt}$ . Based on regression and PCA tests, temporal-spatial changes of DNPP has been significantly affected by the two variables of Chl-a and  $P^B_{opt}$ . In general, the classification of trophic state based on net primary production showed that 52% of the data had trophic states in the range of oligo-mesotroph and mesotroph (49%) to eutroph (3%) and 48% of the data were in the oligotroph group (mainly in the eastern region).

**Keywords:** Environmental parameters, Net primary production, Iranian Coasts, Caspian Sea

\*Corresponding author