

شبیه سازی عددی شکوفایی جلبک های مضر با استفاده از مدل عددی PROBE (مطالعه موردی، کشند قرمز استان هرمزگان)

بهزاد لایقی^۱

^{۱*} دکترای فیزیک دریا، مدیر کل مرکز علوم جوی و اقیانوسی

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۳ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰)

چکیده

با توجه به اهمیت این پدیده کشند قرمز و اثر آن بر زیستگاه های جانداران دریایی، مطالعه این پدیده در منطقه خلیج فارس و دریای عمان ضروری است. این تحقیق فقط با دید فیزیکی نوشته شده است و بررسی از جنبه های دیگر به عهده متخصصان رشته های مربوطه می باشد. برای بررسی این پدیده روش های مختلفی از جمله مطالعات میدانی، مطالعات ماهواره ای و مدل سازی عددی وجود دارد. در این تحقیق از نرم افزار یک بعدی PROBE برای ایستگاه های مختلف دریای عمان، تنگه هرمز و خلیج فارس استفاده شده است. داده های ورودی مدل شامل داده های سینوپتیک هواشناسی: دمای هوا، مؤلفه های u و v سرعت باد، ابرناکی و رطوبت نسبی ایستگاه قشم در ماه فوریه ۲۰۰۸ می باشند. بررسی ها نشان می دهد که نتایج مدل سازی دما، شوری، فسفات و نترات با داده های اندازه گیری تقریباً همخوانی دارد. در ایستگاه هایی که در خلیج فارس و دریای عمان قرار دارند در مکان هایی که مقدار دما و شوری و مواد مغذی بیشینه است غلظت پلانکتون ها نیز که وابسته به این پارامترها است نیز به مقدار بیشینه خود می رسد. همانطور که پیش بینی شده بود مقدار غلظت پلانکتون سبز-آبی از غلظت پلانکتون وابسته به (فقط) نترات و فسفات بیشتر است.

واژگان کلیدی: کشند قرمز، تنگه هرمز، جلبک سبز-آبی، جلبک *Nictolica*

۱ مقدمه

همکاران (۲۰۰۱) و امستد (امستد و همکاران ۱۹۸۷) اشاره نمود. در این مطالعات ابتدا دینامیک ستون آب مورد مطالعه قرار گرفته و سپس پارامترهای موثر در رشد فیتوپلانکتون ها مدل سازی یا پارامترسازی می شوند و در نهایت نتایج مدل سازی با داده های واقعی مقایسه می گردد.

۱-۱- عوامل مؤثر در پدیده کشند قرمز

۱-۱-۱- دما

رشد فیتوپلانکتونها به صورت مستقیم به دمای آب بستگی دارد. در فصلی از سال که دمای آب کمتر است رشد آنها نیز کمتر دیده می شود. معمولاً محدوده دمای مؤثر برای رشد فیتوپلانکتون ها ۲۵-۳۰C می باشد که بسته به شرایط آب و

پدیده کشند قرمز یا شکوفایی جلبک های مضر که در آب دریا اتفاق می افتد، باعث افزایش غلظت فیتوپلانکتون های مضر در آب دریا می شود که مقدار آن بیش از ۲۰۰۰ عدد در لیتر می شود و با این پدیده آب دریا به رنگ قرمز یا مایل به قرمز در می آید و باعث نابودی زیستگاهها و بسیاری از گونه های موجودات دریایی می شود. این پدیده در بسیاری از مناطق دریایی جهان مانند سواحل کره، هنگ کنگ، چین، ژاپن، کشورهای حوزه دریای سیاه و مدیترانه و عمده خلیج فارس در دسرساز شده است. در این زمینه تحقیقاتی به منظور مدل سازی این پدیده صورت گرفته است که می توان به کارهای اندرسون (اندرسون و همکاران ۱۹۹۹)، اکسل (اکسل و

۱- با وجود آمدن شرایط مناسب و افزایش مواد مغذی، نرخ رشد فیتوپلانکتون ها نیز افزایش یافته و با توجه به اینکه فیتوپلانکتون موجود زنده است و اکسیژن مصرف می کند مقدار اکسیژن کاهش می یابد.

۲- دسته ای از فیتوپلانکتون ها، علاوه بر مصرف اکسیژن، سم هم ترشح می کنند بنابراین علاوه بر کاهش اکسیژن، آب هم سمی خواهد شد.

۳- دسته دیگری از فیتوپلانکتون ها سم تولید نمی کنند ولی اکسیژن فعال آزاد می کنند که روی آبشش ماهی قرار می گیرد و باعث اکسید شدن آبشش ماهی ها و موجودات زنده و مرگ و میر آنها خواهد شد اما در این فرآیند بدلیل آزاد شدن اکسیژن فعال مقدار اکسیژن افزایش خواهد یافت.

در کشور ما در زمستان سال ۱۳۷۸ (فوریه سال ۲۰۰۸) پدیده کشند قرمز در خلیج فارس و تنگه هرمز مشاهده شده است که علاوه بر آنکه بسیاری از گونه های زیست محیطی در معرض نابودی قرار گرفته اند، مشکلات زیادی را برای ساکنین آن منطقه ساحل نشین داشته است.

با توجه به مطالعات قبلی مشخص شده است که این پدیده در خلیج فارس و دریای عمان و تنگه هرمز در تابستان و زمستان اتفاق می افتد. معمولاً، گونه های محلی خانواده Nictolicea در تابستان رشد می کنند و گونه ی محلی خانواده Dinoflagellate در زمستان رشد می کند.

شکوفایی مضر جلبکی توسط *Cochlodinium polykrikoides* از خانواده Dinoflagellate در سپتامبر ۲۰۰۸ از جنوب دریای عمان، تنگه هرمز و خلیج فارس کشیده شد و بیشتر از ۹ ماه طول کشید. دینامیک این نوع فیتوپلانکتون به گونه ای است که اکسیژن فعال آزاد می کند و باعث اکسید شدن آبشش ماهی ها می گردد بنابراین در زمان وقوع پدیده کشند قرمز مقدار اکسیژن در آن منطقه افزایش یافته است و با توجه به اینکه محدوده دمای مناسب برای رشد فیتوپلانکتون ها در زمستان

هوایی منطقه مورد مطالعه ممکن است در فصول مختلف مشاهده شود. در منطقه خلیج فارس و تنگه هرمز این محدوده دما در فصل زمستان وجود دارد.

۲-۱-۱-۱-۲ نور

فیتوپلانکتون ها موجودات زنده ای هستند که برای رشد نیاز به نور هم دارند لذا عمق نفوذ نور و شدت نور، در این پدیده مهم است. همچنین با توجه به این که فیتوپلانکتون یک نوع جلبک است که پدیده فتوسنتز برای آن اتفاق می افتد لذا اثر روز و شب نیز در وقوع پدیده کشند قرمز مهم است.

۳-۱-۱-۱-۳ مواد مغذی (Nutrient)

الف) ورودی رودخانه ها

ب: فاضلاب های خانگی و صنعتی

ج: لایه ترموکلاین: شناخت لایه ترموکلاین از اهمیت ویژه برخوردار است زیرا در این لایه مواد مغذی و نور قابل توجه است.

د) اثر باد: اثر باد روی Upwelling که مواد مغذی را از کف به سطح می آورد و باعث رشد فیتوپلانکتون های سطح می شود مهم است.

ه) گرد و غبار بیابان ها: دانه های گرد و غبار که با وزش باد روی بیابان ها و ورود دانه ها به دریا باعث افزایش مواد مغذی می گردد.

ز) فرآیندهای فیزیکی: جریان، باد، جزرومد، اثر لایه بندی آب و غیره مهم است. نرخ رشد فیتوپلانکتون به همراه شرایط هیدرو دینامیکی آب مهم است. به طور مثال در یک مکان نرخ رشدی وجود دارد ولی آنقدر جریان زیاد است که فیتوپلانکتون ها را با خود می برد ولی همین نرخ رشد برای شرایط هیدرو دینامیکی دیگری برای وقوع Red tide مناسب است. مجموعه عوامل ذکر شده در فوق در وقوع پدیده کشند قرمز دخالت دارند، اما رفتار و دینامیک فیتوپلانکتون ها نیز متفاوت است.

وجود دارد، مشاهده وقوع این پدیده در فصل زمستان بوده است.

به منظور بررسی آن از روشهای زیر استفاده می شود:

- ۱- مطالعات میدانی و استفاده از داده های اندازه گیری شده
- ۲- مطالعات ماهواره ای
- ۳- مطالعات آزمایشگاهی

۲-۱- مدل سازی عددی

مطالعات میدانی و ماهواره ای علیرغم محدودیت هایی که دارند مانند کمبود داده های مناسب در زمان وقوع پدیده و همچنین این اطلاعات فقط شامل سطح آب دریا می شوند، توسط «حمزه ای و همکاران» انجام شده است. به منظور انجام مدل سازی عددی از معادلات دینامیکی و بیولوژیکی (زیست شناسی) به صورت کوپل (جفت) شده استفاده می شود و حالت های مختلفی قابل بررسی است.

مدل سازی این پدیده را به صورت یک بعدی، دو بعدی، سه بعدی می توان انجام داد.

نرم افزارهای یک بعدی مثل PROBE، GOTM و نرم افزارهای Mike و Coherens برای شبیه سازی دوبعدی و سه بعدی مناسب می باشند. کارایی یک نرم افزار یک بعدی نمونه برای منطقه خلیج فارس و دریای عمان باید آزموده شود احتمالاً در منطقه تنگه هرمز که این پدیده در سال ۱۳۷۸ بیشتر مشاهده شده است بدلیل اختلاط شدید، همچنین تداخل آبهای ورودی و خروجی در تنگه، هنگام استفاده از مدل یک بعدی باید از «طرحواره اختلاط» مناسب استفاده نمود.

۲ مواد و روش ها

برای این تحقیق توسط نرم افزار PROBE در ایستگاههای مختلف دریای عمان، تنگه هرمز، خلیج فارس مدل یک بعدی اجرا شده است. (PROBE Program for Boundary Layers in the Environment) برنامه لایه های مرزی در محیط است و به عنوان یک حل کننده معادلات برای انتقال یک بعدی بکار

گرفته شده است. PROBE در «فترن ۷۷ استاندارد»، نوشته شده است و از دو بخش تشکیل شده است، بخش اصلی (یا Main) که معادلات اصلی را شامل می شود و زیربخشی به نام Case که برای مثال های گوناگون می توان به صورت ضمیمه به برنامه اصلی اضافه کرد و هر نوع اصلاحی باید روی زیر بخش Case انجام شود.

تمام معادلات دیفرانسیل به صورت معادله بقا (Conservation equation) نوشته می شود و گسسته سازی آن به روش تفاضل محدود (Finite difference) است. برای بررسی پدیده کشند قرمز باید معادلات فیزیکی و بیولوژیکی را با هم در نظر بگیریم:

الف: معادلات فیزیکی:

معادله دیفرانسیل کلی را در یک سیستم قائم می نویسیم، که معادله اصلی مدل در PROBE است:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + W \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + S_{\phi}$$

$$\Gamma_{\phi} = \frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{\phi eff}}$$

که ϕ خاصیت میانگین است (به عنوان مثال تکانه، دما، شوری، اکسیژن، یا غلظت سایر ترکیبات شیمیایی است)، W سرعت میانگین قائم، S_{ϕ} عبارت چشمه و چاه مربوط به خواص مورد نظر، Γ_{ϕ} ضریب انتشار موثر، μ_{eff} و $\sigma_{\phi eff}$ ویسکوزیته دینامیکی موثر و عدد «پرانتل/اشمیت» موثر برای ϕ هستند. z مختصات مکان، و t مختصات زمان است. شرایط مرزی برای افزودن به این معادله مورد نیاز است. معادله فوق شامل فرایندهایی است که در ابعاد قائم و زمان عمل می کند، بنابراین تغییرات در راستای افقی را شامل نمی شود. با این حال، تغییرات در راستای افقی، به عنوان مثال ناشی از جریان آب، می تواند به وسیله سرعت متوسط قائم، با انتگرال گیری از معادله پیوستگی مدل سازی شود:

$$W(z) = [Q(z)_{in} - Q(z)_{out}] / A(z)$$

سرعت قائم در عمق z از دبی ورودی ($Q(z)_{in}$) و خروجی

$$\frac{\mu_{eff}}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0 U}{\partial z} = \tau_x^a$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0 V}{\partial z} = \tau_y^a$$

که مولفه های تنش باد در دو جهت x و y می تواند از رابطه زیر محاسبه شود:

$$\tau_x^a = \rho^a C_d^a U^a W^a$$

$$\tau_y^a = \rho^a C_d^a V^a W^a$$

که اندیس a هوا را نشان می دهد، ρ^a چگالی هوا و مساوی با $(\text{kgm}^{-3})^{1/3}$ و U^a و V^a مولفه های باد در جهت x و y هستند، $W^a = \sqrt{(U^a)^2 + (V^a)^2}$ سرعت باد است، و C_d^a ضریب تنش باد مورد استفاده برای شرط مرزی پایین تر است.

معادله بقای گرما به صورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{\partial \rho c_p T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{eff}} \frac{\partial \rho c_p T}{\partial z} \right] + \Gamma_{sun}$$

که c_p و T ظرفیت گرمایی و دمای آب هستند، و Γ_{sun} عبارت چشمه برای تابش طول موج کوتاه است. عبارت چشمه به صورت زیر است:

$$\Gamma_{sun} = F_s^w (1 - \eta) e^{-\beta(D-z)}$$

که F_s^w تابش طول موج کوتاه از طریق آب های سطحی، η بخش مادون قرمز تابش موج کوتاه که در لایه سطحی به دام می افتد، β ضریب جذب حجمی آب، و D عمق آب است. اکنون یک معادله برای بقای شوری به مدل اضافه می کنیم:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{eff}} \frac{\partial S}{\partial z} \right]$$

که S شوری است.

ب: معادلات بیولوژیکی:

$$\frac{\partial O_2 C}{\partial t} + W \frac{\partial O_2 C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{O_2}} \frac{\partial O_2 C}{\partial z} \right] + S_{O_2 C}$$

$$\frac{\partial ppC}{\partial t} + W \frac{\partial ppC}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{ppC}} \frac{\partial ppC}{\partial z} \right] + S_{ppC}$$

$$\frac{\partial nC}{\partial t} + W \frac{\partial nC}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{nC}} \frac{\partial nC}{\partial z} \right] + S_{nC}$$

$(Q(z))_{out}$ در همان عمق به دست می آید و بر سطح توده آب در همان عمق ($A(z)$) تقسیم می شود.

معادله انتقال برای تکانه افقی به شکل زیر است:

$$\frac{\partial \rho_0 U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0 U}{\partial z} \right] + f \rho_0 V - C_{decay} \rho_0 U$$

$$\frac{\partial \rho_0 V}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0 V}{\partial z} \right] - f \rho_0 U - C_{decay} \rho_0 U$$

که U و V مولفه های شرقی و شمالی جریان هستند، f پارامتر کوریولیس، ρ_0 چگالی آب که در معادله حاضر به عنوان ثابت و مساوی با $1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ در نظر گرفته شده، C_{decay} یک ثابت، و μ_{eff} ویسکوزیته دینامیکی موثر است.

ویسکوزیته دینامیکی موثر اکنون به صورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{eff}} = \frac{\mu}{\sigma} + \frac{\mu_T}{\sigma_T}$$

که μ و μ_T ویسکوزیته دینامیک و تلاطمی، σ و σ_T عدد پراختل، پراختل تلاطمی و پراختل موثر هستند. انتقال تلاطمی قائم در لایه مرزی سطحی با استفاده از مدل $k-\varepsilon$ ، مدل دو معادله ای تلاطم محاسبه می شود که در آن معادله انتقال برای انرژی جنبشی تلاطم k و آهنگ تضعیف آن ε است. معادله انتقال برای k به صورت زیر است:

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho_0 \sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right] + \frac{\mu_{eff}}{\rho_0} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] - \varepsilon$$

که σ_k عدد اشویت برای k است. معادله مربوطه برای ε به صورت زیر است:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho_0 \sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\mu_{eff}}{\rho_0} \frac{\varepsilon}{k} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] - C_{2\varepsilon}$$

که σ_ε عدد اشویت برای ε ، و $C_{1\varepsilon}$ و $C_{2\varepsilon}$ ثابت هستند. در لایه مرزی اکمن فرض می کنیم که شارش شاره تلاطمی است، آنگاه ویسکوزیته دینامیکی موثر به صورت زیر محاسبه می

$$\mu_{eff} = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}$$

شود، که C_μ ثابت است. تنش باد τ_x^a و τ_y^a با استفاده از فرمول بندی اندازه استاندارد محاسبه می شود و شرایط مرزی برای معادله تکانه به صورت زیر است:

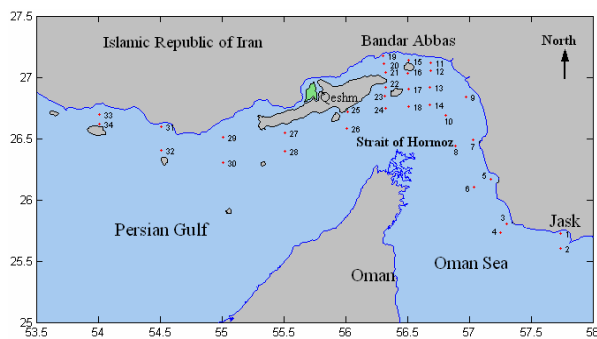
$$F_{O_2} = v_{O_2}(O_2 - O_{2sur}(1 + c_{bu}))$$

$$F_{CO_2} = k_{wCO_2}\alpha_{CO_2}(pCO_2^w - pCO_2^a)$$

با حل این معادلات برنامه PROBE می توان مثال های مختلفی را حل کرد. اما مسئله مورد بررسی از نظر ما مقدار غلظت پلانکتون است. برنامه PROBE دو نوع پلانکتون را فرض می کند. پلانکتون نوع اول که رشد آن فقط وابسته به مقدار فسفات و نترات است و پلانکتون نوع دوم (از گروه جلبکهای سبز - آبی) وابسته به فسفات است ولی به دما و شوری هم بستگی دارد.

با توجه به مقدار غلظت پلانکتون در منطقه خلیج فارس و عمان می توان فرض کرد که از نوع پلانکتون های نوع دوم در برنامه PROBE یعنی از گروههای جلبکهای سبز- آبی که وابسته به فسفات و دما و شوری هستند، می باشند. ابتدا با توجه به داده های سینوپتیک فایل داده های هواشناسی که شامل دمای هوا، مؤلفه های u و v سرعت باد، ابرناکی و رطوبت نسبی است، آماده و به مدل معرفی شده است. (این داده ها برای ماه فوریه ۲۰۰۸ یا اسفند ۱۳۸۷ می باشند.) با توجه به ایستگاههای اندازه گیری که مطابق شکل زیر معرفی شده است و در این ایستگاهها اندازه گیری میدانی صورت گرفته است.

برای ایستگاههای شماره ۲ (دریای عمان)، ۱۲، ۱۶، ۲۰ (تنگه هرمز) و ۳۰ (خلیج فارس) مدل اجرا شده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه های اندازه گیری کشند قرمز

$$\frac{\partial aC}{\partial t} + W \frac{\partial aC}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{O_2}} \frac{\partial aC}{\partial z} \right] + S_{CO_2}$$

$$\frac{\partial bC}{\partial t} + W \frac{\partial bC}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{O_2}} \frac{\partial bC}{\partial z} \right] + S_{CaCO_3}$$

S_{CO_2} چشمه و چاه های CO_2 وابسته به تولیدات بیولوژیکی را نشان می دهد (مثل فتوسنتز) معادله bC فقط چشمه و چاههای سنگ آهک ($CaCO_3$) مربوط به صدف از رشد و انحطاط فیتوپلانکتون را شامل می شود. بقیه علامتها در ادامه هستند: PPC غلظت فیتوپلانکتون و nC غلظت مواد مغذی محدود کننده هستند که به عنوان غلظت فسفرهای غیر آلی حل شده مدل شده اند، ما تنها رشد پلانکتون، رسوبگذاری و معدنی شدن را فرض می کنیم، ترم های چشمه و چاه عبارتند از:

$$S_{O_2} = G_p^{pp} C_{SO_2} - \alpha_{1m} W_{min}$$

$$S_{ppC} = G_p^{pp} C + w_p \frac{\partial ppC}{\partial z} - \frac{\alpha_{1m} W_{min}}{S_{O_2}}$$

$$S_{nC} = -G_p^{pp} C_{Sp} + \frac{\alpha_{1m} W_{min} S_p}{S_{O_2}} + \alpha_{2s} W_{P_{sed}}$$

$$S_{CO_2} = -G_p^{pp} C_{SCO_2} + \frac{\alpha_{1m} W_{min} S_{CO_2}}{S_{O_2}}$$

$$S_{CaCO_3} = 0$$

G_p رشد خالص توده فیتوپلانکتون است و W_p سرعت Sink کردن یا نشست کردن توده فیتوپلانکتون و S_{CO_2} ، S_p ، S_{O_2} روابطی هستند که غلظت پلانکتون را به اکسیژن، فسفرها و کربن با ثابت ۱۳۸ و ۱۰۶ به ترتیب تبدیل می کنند.

شرایط مرزی سطح آب و هوا عبارتند از:

$$\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{O_2}} \frac{\partial O_2 C}{\partial z} = F_{O_2}$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{ppC}} \frac{\partial ppC}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{nC}} \frac{\partial nC}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{aC}} \frac{\partial aC}{\partial z} = F_{CO_2}$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_{bC}} \frac{\partial bC}{\partial z} = 0$$

شار اکسیژن و دی اکسید کربن عبارت است از:

برای محاسبه تعداد گام زمانی برای ماه فوریه که ۲۸ روز است داریم: (با توجه به اینکه گام زمانی ۶۰۰s است).

$$\frac{28 \times 24 \times 3600}{600} = 4032$$

$$Lstep = 4032 = \text{تعداد گام زمانی}$$

برای تمام ایستگاهها این مقادیر به صورت جدا محاسبه و در برنامه تغییر داده شده است. مقدار اولیه پلانکتون را به صورت پیش فرض برابر با 1×10^{-9} فرض می کنیم. خروجی های برنامه برای ایستگاههای مختلفی در خلیج فارس، تنگه هرمز و عمان بدست آمده است تا بتوان قابلیت برنامه PROBE را برای شرایط اختلاط و عمق های مختلف آزمود. خروجی های برنامه که شامل دما، شوری مقدار مواد مغذی شامل فسفات و نترات، مقدار غلظت پلانکتون نوع اول و دوم است برای ایستگاه شماره ۲ بصورت زیر است:

۳ نتایج

برای هر ایستگاه باید مقدارهای زیر را مشخص کنیم.

-عرض جغرافیایی منطقه

-دمای عمق

-دمای سطح

-شوری عمق

-شوری سطح

-عمق

-عمق بالای ترموکلاین

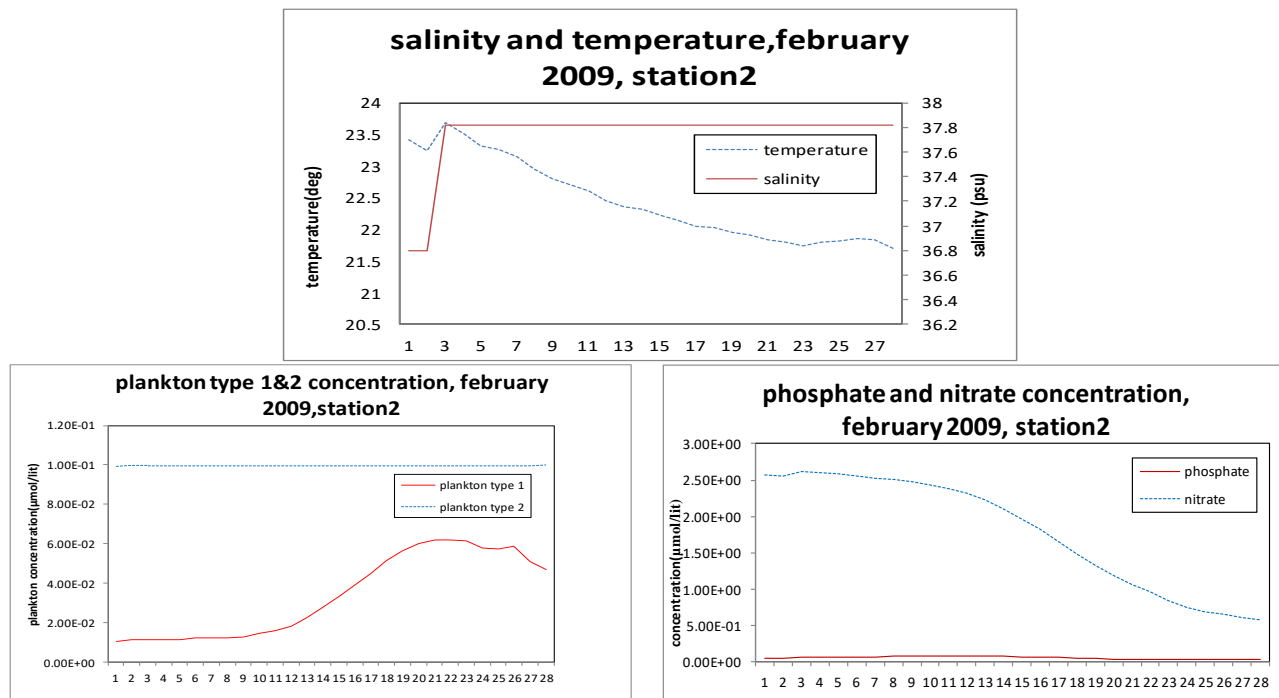
-عمق پایین ترموکلاین

-مقدار فسفات

-مقدار نترات

-مقدار اکسیژن

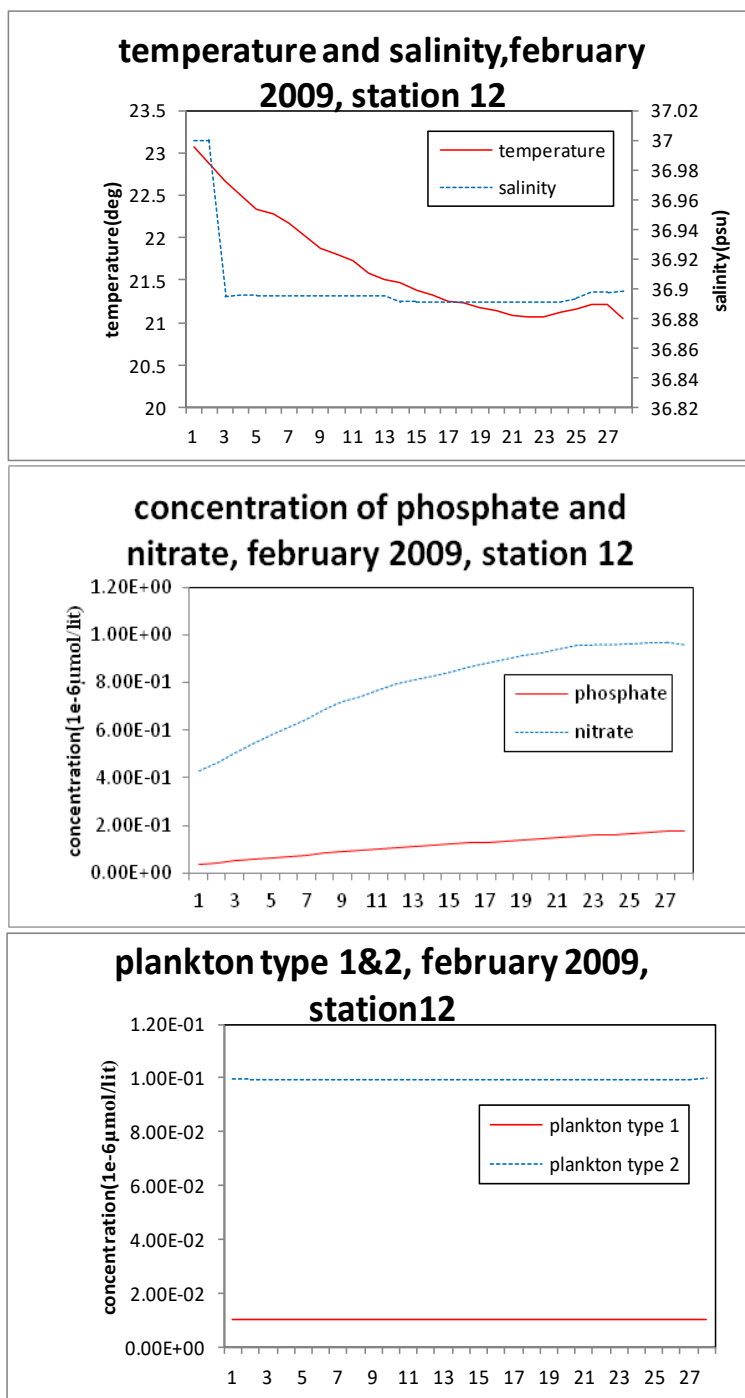
مقدار فسفات، نترات و اکسیژن را با واحد $\frac{\text{mol}}{\text{lit}}$ به صورت میانگین در عمق و سطح مقدار یکسان فرض می شود.



شکل ۲. خروجی مدل در ایستگاه ۲

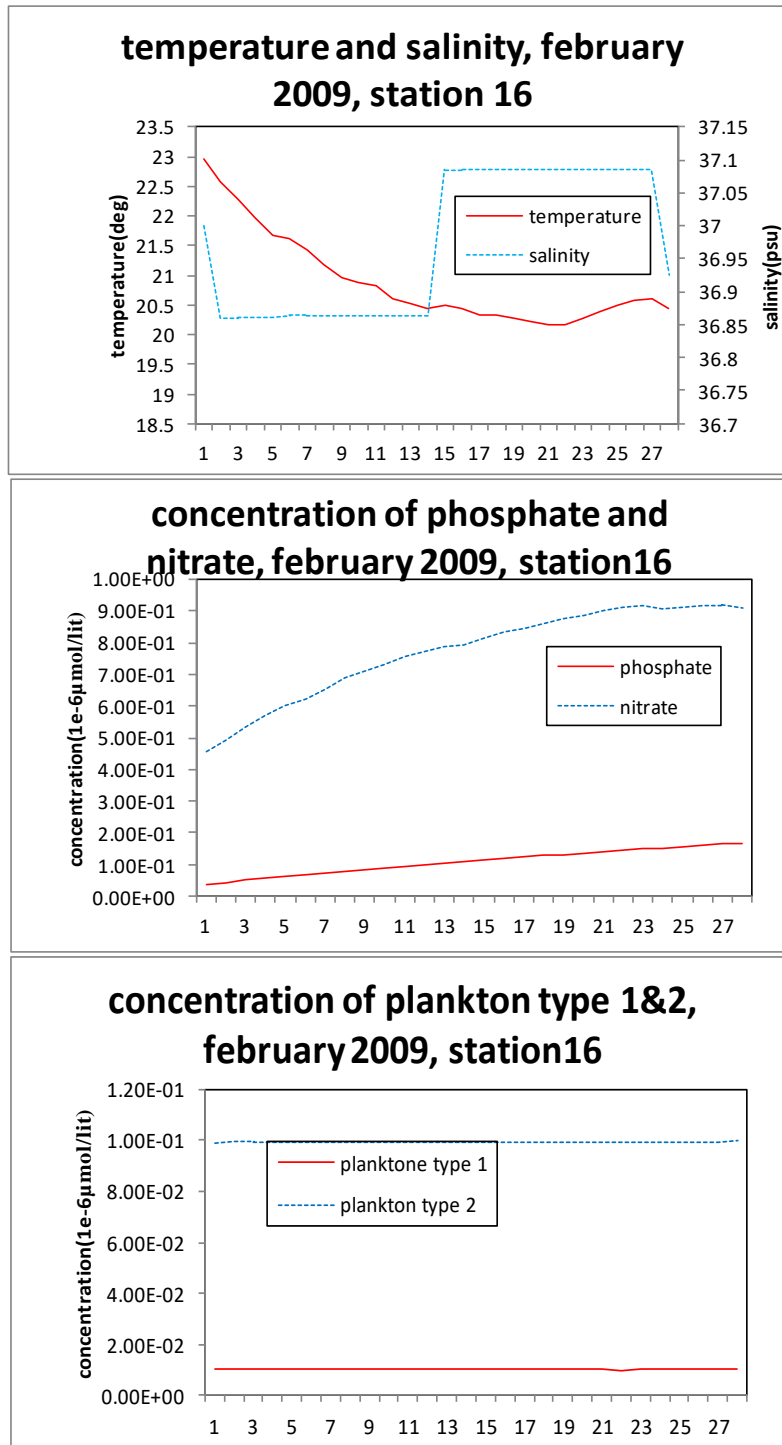
نوع سبز-آبی افزایش یافته ولی جمعیت فیتوپلانکتون‌های نوع وابسته به نیترات و فسفات (نوع اول) بدون تغییر باقی می‌ماند. خروجی های ایستگاه شماره ۱۲ به صورت زیر است:

همان گونه که در نمودارهای فوق مشاهده می‌شود، منحنی دما روند کاهشی را نشان می‌دهد که با توجه به زمان وقوع آن منطقی به نظر می‌رسد. همچنین در نمودار تراکم فیتوپلانکتون‌ها، دیده می‌شود که منحنی جمعیت فیتوپلانکتون



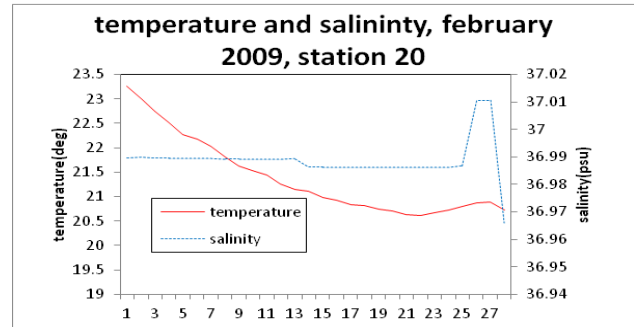
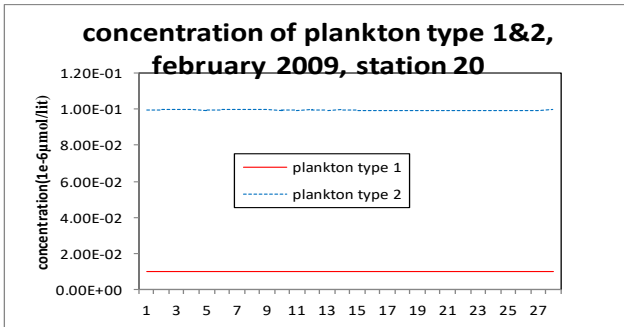
شکل ۳. خروجی مدل در ایستگاه ۱۲

خروجی ایستگاه شماره ۱۶ به صورت زیر است:



شکل ۴. خروجی مدل در ایستگاه ۱۶

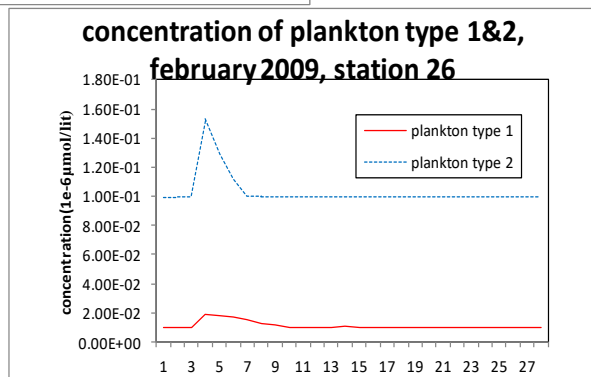
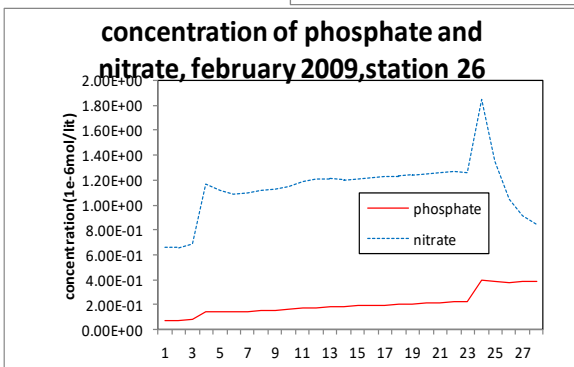
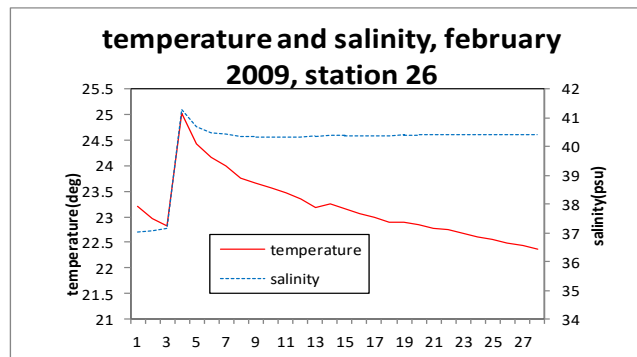
خروجی ایستگاه شماره ۲۰ به صورت زیر است:



شکل ۵. خروجی مدل در ایستگاه ۲۰

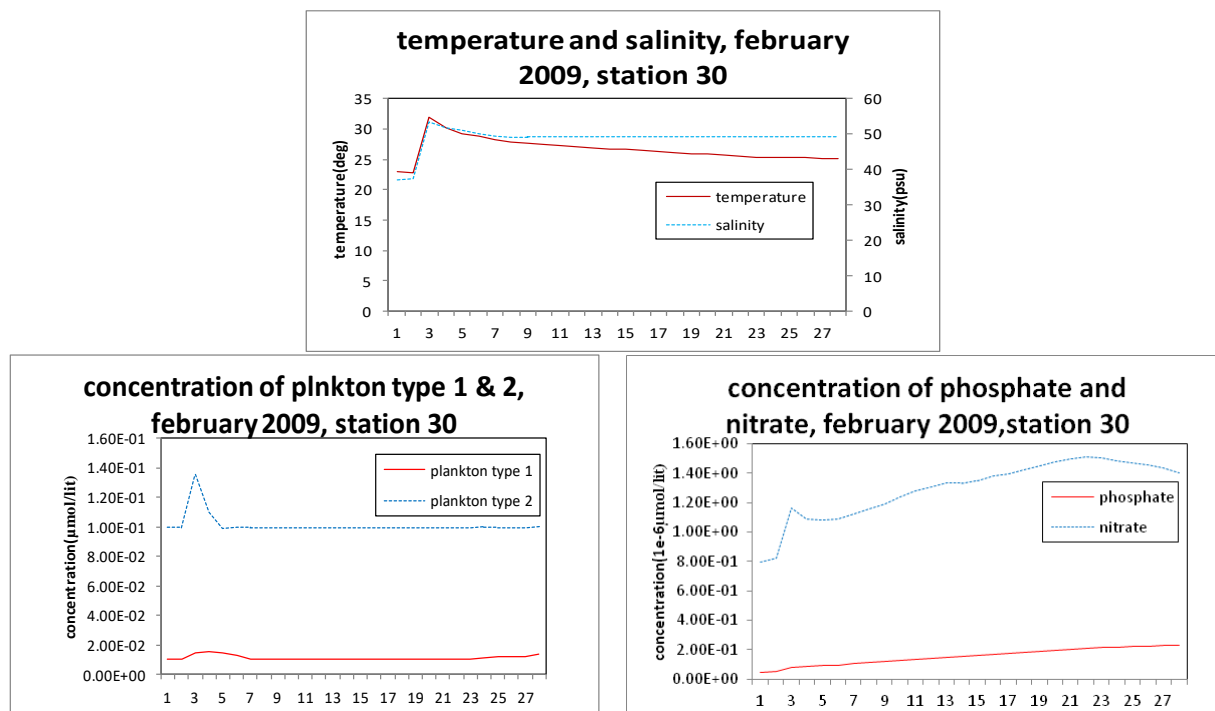
دارند در جایی که مقدار دما و شوری و مواد مغذی ماکزیمم است غلظت پلانکتون نیز که وابسته به این پارامترهاست نیز به ماکزیمم خود می رسد. همانطور که پیش بینی شده بود مقدار غلظت پلانکتون نوع دوم از نوع اول بیشتر است. خروجی ایستگاه شماره ۲۶ به صورت زیر است:

به نظر می رسد در ایستگاه های ۱۲، ۱۶، ۲۲ که در تنگه قرار دارد بدلیل وجود اختلاط شدید مدل نمی تواند مقدار غلظت پلانکتون را به خوبی شبیه سازی نماید البته نتایج دما، شوری، فسفات و نترات با داده های اندازه گیری تقریباً همخوانی دارد. در ایستگاه های ۲، ۲۶، ۳۰ که در خلیج فارس و عمان قرار



شکل ۶. خروجی مدل در ایستگاه ۲۶

خروجی ایستگاه شماره ۳۰ به صورت زیر است:



شکل ۷. خروجی مدل در ایستگاه ۳۰

و تنگه هرمز مورد آزمون قرار گیرد تا بتوان به نتایج بهتری دست یافت.

۲- شبکه اندازه گیری مشخصه های فیزیکی و بیولوژیکی در این سه منطقه دریایی به صورت مرتب انجام گرفته تا بتوان به نتایج مناسب تر و دقیق تری دست یافت.

۵ منابع

- Anderson, L.G.; Turner, D.R.; Wedborg, M.; and Dyrssen, D. (1999). "Determination of total alkalinity and total dissolved inorganic carbon," in K. Kremling and M. Ehrhards (Eds.), *Methods of Seawater Analysis* (Third Edition, pp. 127-148), VCH, Weinheim, Germany.
- Axell, L.B.; and Liungman, O. (2001). "A one-equation turbulence model for geophysical applications: Comparison with Data and the k_{ϵ} model," *Env. Fluid Mech.*, 1, 71-106.
- Eilola, K. (1997). "Development of a spring thermocline at temperatures below the temperature of maximum density with application to the Baltic Sea," *J. Geophys. Res.*, 102(C4), 8657-8662

۴ نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به مطالب ارائه شده، موارد زیر را می توان نتیجه گرفت:

۱- با استفاده از مدل PROBE می توان دما و شوری در راستای قائم را در خلیج فارس و دریای عمان با تقریب خوبی شبیه سازی نمود و در نتیجه مکان های رشد فیتوپلانکتون های مولد کشند قرمز قابل پیش بینی است.

۲- مدل PROBE فصل زمستان را برای منطقه مورد مطالعه با توجه به محدوده دما، مناسب برای وقوع پدیده تعیین می نماید.

۳- مدل PROBE محدوده مکانی خلیج فارس را به عنوان مکان مناسب دمایی-جریان و شرایط فیزیکی برای پدیده کشند قرمز مشخص می کند.

همچنین موارد زیر را به عنوان پیشنهاد می توان ارائه نمود:

۱- طرحواره های مختلف و دقیق تر اختلاط مدل PROBE با داده های بیشتر و دقیق تر در سه منطقه دریای عمان، خلیج فارس

- circulation and residence times in the Kattegat and the straits of the Baltic sill," *Estuaries*, 232, 231-252.
- Omstedt, A. (1987a). "Water cooling in the entrance of the Baltic Sea," *Tellus*, 38A, 254-265.
- Gill, A.E. (1982). *Atmosphere-Ocean Dynamics* (International Geophysics Series, Vol. 30), Academic Press.
- Gustafsson, B.G. (2000a). "Time-dependent modelling of the Baltic entrance area, 1: Quantification of