

مدل‌سازی سه بعدی زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان به منظور توسعه آبی‌پروری

سعید شربتی*

۱- گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، صندوق پستی: ۳۸۶

تاریخ پذیرش: ۱۰ شهریور ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۶ اردیبهشت ۱۳۹۵

چکیده

زمان تجدیدپذیری آب از جمله شاخص‌های مهم در تعیین مکان‌های احداث مزارع پرورش ماهی حصاری در بوم‌سازگان‌های دریایی می‌باشد. این مقیاس زمانی بیانگر مدت زمان لازم جهت تعویض ۶۳ درصد از آب موجود در یک پیکره آبی با آب‌های تازه وارد از محیط‌های مجاور همچون دهانه، تنگه، رودخانه و یا کانال‌ها می‌باشد. در این تحقیق به منظور بررسی زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان نسبت به جفت نمودن به‌هنگام دو ماژول هیدرودینامیکی و انتقال-پخش مدل سه بعدی مایک ۳ اقدام گردیده است. اجرای مدل بر روی مش‌های بی‌ساختار مثلثی و در ۳ لایه ۱ متری و با در نظر گرفتن عوامل سرعت و جهت باد، ورودی رودخانه‌ها، بارش، تبخیر و نوسان آب در دهانه آشورآده-بندرترکمن انجام گردید. جهت تعیین زمان شروع مدل‌سازی نسبت به بررسی منحنی نوسان سطح آب در دهانه ورودی خلیج گرگان اقدام گردید. بر این اساس بهترین زمان جهت در نظر گرفتن محاسبات آغاز روند رو به افزایش سطح آب در خلیج گرگان انتخاب شد. جهت مدل‌سازی اغتشاش از مدل اختلاطی اسماکورینسکی در صفحه افق و $K - \varepsilon$ در راستای قائم استفاده شده است. زمان تجدیدپذیری محلی در ۳۱ ناحیه از خلیج و در شبکه‌هایی به مساحت $16/8$ کیلومتر مربع محاسبه گردید. نتایج مدل‌سازی نشان داد که زمان تجدیدپذیری محلی در خلیج گرگان کاملاً به رژیم پویایی جریان حاکم بر آن وابسته می‌باشد و میزان این شاخص زمانی با حرکت از سمت شرق به غرب افزایش می‌یابد. زمان تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان معادل $50/25$ روز محاسبه گردید. میزان تجدیدپذیری در امتداد قائم و در لایه‌های متناظر با هر سلول مشابه بوده است. بیشینه این شاخص زمانی در ناحیه ۳۱م واقع در منتهی‌الیه غربی تالاب میانکاله معادل $65/3$ روز و کمینه آن در ناحیه ۱۱م هم‌جوار با دهانه آشورآده-بندرترکمن معادل $1/5$ روز می‌باشد. بر اساس بررسی میزان تجدیدپذیری محلی، بهترین محل‌ها به‌منظور احداث و توسعه مزارع پرورش ماهی در منتهی‌الیه بخش‌های شمال شرقی و شرقی خلیج گرگان در نواحی ۱۱ تا ۱۶م می‌باشد.

کلمات کلیدی: خلیج گرگان، تجدیدپذیری، مایک ۳، انتقال-پخش، پرورش حصاری.

مقدمه

امروزه استفاده از پیکره‌های آبی دریا همچون تالاب‌ها، خلیج‌ها و نواحی مصبی جهت توسعه آبرزی پروری در محیط محصور با توجه به نیاز روز افزون جوامع بشری به منابع پروتینی به امری رایج در سرتاسر دنیا بدل گشته است. صنعت پرورش آبزیان در محیط‌های محصور از دو قرن پیش در مناطق آسیایی نشأت گرفته و سپس در دنیا منتشر گردیده است (Pillay and Kutty, ۲۰۰۵).

با عنایت به این موضوع مهم در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت منابع آبی در خشکی‌ها توجه مدیران شیلاتی ایران نیز به استفاده هرچه بهتر از پهنه‌های دریایی به جهت پرورش آبزیان در محیط‌های محصور معطوف گردیده است. در سال ۱۳۸۶ هیات دولت طرح مطالعه امکان‌سنجی آبرزی پروری در خلیج گرگان و واگذاری آن به بخش خصوصی را در دستور کار اداره شیلات استان گلستان قرار داد.

جهت اجرایی نمودن طرح مذکور مطالعات مبسوطی در خصوص بررسی تغییرات سالانه عوامل فیزیکی و شیمیایی آب خلیج (عقیلی و همکاران، ۱۳۹۳)، تغییرات زمان-مکانی غلظت نیترات و فسفات در خلیج (جوانی و همکاران، ۱۳۹۳)، مدل‌سازی توزیع آلودگی‌های مختلف و ارزیابی قابلیت آبرزی پروری منطبق بر دوره پرورش ماهیان گرم و سردآبی (یاری-نسب، ۱۳۹۱) و بررسی کیفیت آب خلیج گرگان در اثر آبرزی پروری طی ۲۹ سال آینده انجام شد (محمدخانی و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج این قبیل تحقیقات و مقایسه استانداردهای زیستی ماهیان با مقادیر میانگین پارامترهای کیفی خلیج نشان داد که خلیج

گرگان برای پرورش ماهی کپور معمولی، ماهی آزاد و قزل‌آلا و فیل ماهی در محیط محصور مناسب می‌باشد. خلیج گرگان حوضه آبی نیمه بسته‌ای است که تنها راه ارتباطی موثر آن با دریای کاسپی از طریق دهانه آشورآده-بندرترکمن می‌باشد. در نتیجه رژیم حاکم بر وضعیت هیدرودینامیکی خلیج کمتر تحت تاثیر انرژی دریافتی از دریای کاسپی قرار گرفته و بیشتر متاثر از فرآیندهای فیزیکی واقع در درون حوضه خود همچون وزش بادهای غالب قرار دارد (Sharbaty, ۲۰۱۲a).

با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی جریان (وحیمی پور انارکی، ۱۳۸۱) و مدل‌سازی‌های دو بعدی جریان (شربتی و همکاران، ۱۳۸۹)، مقادیر سرعت جریان در خلیج بالا نبوده و گمان می‌رود سیستم تعویض آب در این پیکره آبی با سرعت مناسبی انجام نشود. در نتیجه این واقعیت می‌توان انتظار داشت که آلودگی‌ها و پساب‌های حاصل از فعالیت‌های آبرزی پروری در این پهنه آبی انباشته و یا با سرعتی بسیار آهسته از آن خارج و یا در بخش‌هایی از آن تمرکز یافته و بدین صورت با گذشت زمان سبب کاهش میزان کیفیت آب جهت آبرزی پروری در خلیج گرگان گردد.

از طرفی از جمله عوامل مهم در توسعه مزارع پرورش ماهی حصارگری که میزان بازدهی اقتصادی آبرزی پروری را تحت تاثیر قرار می‌دهد میزان تجدیدپذیری آب در حوضه آبی تحت بررسی می‌باشد. پیش از استقرار سایت پرورش آبزیان در منابع آبی آگاهی از میزان تجدیدپذیری به عنوان شاخصی از میزان پویایی آب به منظور کاهش صدمات اقتصادی وارده به این صنعت رو به رشد بسیار با اهمیت می‌باشد. فرآیند تجدیدپذیری سبب اختلاط توده‌های آب، تامین

(۲۰۰۴). بدین منظور می‌توان از سه شیوه مدل‌سازی عددی همچون ردیابی لاگرانژی ذرات^۳، انتقال-پخش ذرات^۴ و یا ترکیبی از آن دو استفاده نمود (Gillibrand, ۲۰۰۱).

هدف از این تحقیق مدل‌سازی سه بعدی زمان تجدیدپذیری محلی آب در خلیج گرگان به‌منظور شناسایی بهترین مکان‌ها برای توسعه آبرزی پروری در اعماق مختلف خلیج گرگان می‌باشد. بدین منظور نسبت به جفت نمودن به‌هنگام مدل هیدرودینامیکی و انتقال-پخش از بسته نرم‌افزاری مایک^۳ در یک دوره زمانی شاخص یک ساله و در سه لایه یک متری اقدام گردیده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی خلیج گرگان: خلیج

گرگان با طول تقریبی ۶۰ کیلومتر، حداکثر عرض ۱۲ کیلومتر، میانگین عمق ۱/۵ متر و با مساحت تقریبی ۴۷۴ کیلومتر مربع حوضه آبی نیمه بسته‌ای است که از شمال با منطقه حفاظت شده شبه جزیره میانکاله و از جنوب با استان‌های گلستان و مازندران و در بخش شمال شرقی از طریق دهانه آشورآده-بندر ترکمن با عرض تقریبی ۲/۳ کیلومتر و حداکثر عمق ۲/۷ متر با دریای کاسپی در ارتباط می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: تصویر گوگل ارث از حوضه آبی خلیج گرگان (۲۰۱۴).

اکسیژن مورد نیاز جوامع تحت پرورش و زدودن مواد آلی غیر ضروری از محیط پرورش می‌گردد (Monsen *et al*, ۲۰۰۲).

زمان تجدیدپذیری آب به مدت زمان لازم جهت تعویض حداقل ۶۳ درصد از آب درون حوضه آبی با آب‌های تازه وارده از محیط‌های مجاور از طریق مرزهای ورودی همچون دهانه، تنگه، رودخانه و یا کانال‌ها اطلاق می‌گردد (Arneborg, ۲۰۰۴).

این شاخص زمانی بر اساس رژیم پویایی آب تابع تغییرات مکان-زمانی و نوسان‌های دبی ورودی و خروجی آب در مرزهای باز می‌باشد و می‌توان آن را در دو مفهوم جداگانه زمان تجدیدپذیری محلی^۱ و زمان تجدیدپذیری کل^۲ مورد تحقیق قرار داد (Koutitonski *et al*, ۲۰۰۴).

بهترین شیوه جهت برآورد زمان تجدیدپذیری کل محاسبه میانگین مکانی زمان تجدیدپذیری محلی در بخش‌های مختلف یک پهنه آبی می‌باشد. زمان تجدیدپذیری کل مفهومی مفید و کارآمد جهت مقایسه سطح کیفی آب در بوم‌سازگان‌های آبی مختلف می‌باشد در صورتی که زمان تجدیدپذیری محلی مفهومی مفید جهت انتخاب مناسب‌ترین محل جهت فعالیت‌های آبرزی پروری، صنایع آب شیرین‌ساز و خروجی پساب صنایع وابسته به دریا می‌باشد (Josefson and Rasmussen, ۲۰۰۰).

با توجه به تغییرپذیری مکان-زمانی خصوصیات محلی پویایی آب در احجام آبی در بیشتر موارد تخمین توزیع مکانی تجدیدپذیری محلی آب نیازمند استفاده از مدل‌سازی‌های عددی می‌باشد (Umgiesser *et al*,

^۳Lagrangian Particle Tracking
^۴Tracer Advection Dispersion

^۱Local Renewal Time
^۲Integral Renewal Time

انرژی جنبشی تلاطمی، SS بیانگر عبارات چشمه و چاه و t بیانگر زمان می‌باشد. جمله ناآشنای دلتای کرونیگر^۲ در رابطه ۲ مربوط به کاربردی کردن عبارت و تنش‌های نرمال می‌باشد که به صورت ذیل بیان می‌گردد (Rodi, ۱۹۸۰):

$$\delta_{ij} = \begin{cases} \delta_{ij} = 1, & i = j \\ \delta_{ij} = 0, & i \neq j \end{cases}$$

در این تحقیق به دلیل کم عمق بودن حوضه خلیج گرگان (میانگین عمق ۱/۵ متر و حداکثر عمق ۳/۶ متر) و در نتیجه ناچیز بودن تغییرات عوامل شوری و دما در ایجاد ساختار سه‌بعدی پویایی آب خلیج گرگان از تاثیر دو عامل مذکور در ایجاد جریان صرف نظر شده است و با فرض باروتروپیک بودن چگالی آب، تنها نیروی اندرکنش باد با سطح دریا و اثر مرزباز دهانه آشورآده-بندرترکمن در بررسی ساختار سه‌بعدی جریان در خلیج گرگان مدنظر قرار گرفته است (Sharbaty, ۲۰۱۲b).

در این تحقیق تمامی سطوح تراز نسبت به سطح میانگین خلیج فارس در سال ۱۳۸۸ و معادل منفی ۲۶/۲۱ متر محاسبه گردیده است. برای مدل‌سازی ارتفاع بستر خلیج، نسبت به رقوم‌سازی نقشه‌های آب نگاری خلیج گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ اقدام شده و سپس با وارد کردن نقاط مرزی و داده‌های تراز عمقی و درون‌یابی داده‌ها در محیط ویرایشگر شبکه‌ای مایک، شبکه‌بندی هندسی خلیج گرگان به صورت مش بی ساختار مثلثی و با ۴۲۴۳ گره و ۷۷۱ المان تولید گردید (شکل ۲) (Manual of Mike Zero, ۲۰۱۲).

مدل هیدرودینامیک مایک ۳: جهت

شبیه‌سازی سه‌بعدی الگوی جریان در حوضه خلیج گرگان از مدل هیدرودینامیک سه‌بعدی مایک ۳ استفاده گردیده است. مدل پایه هیدرودینامیک مایک ۳، یک سیستم مدل‌ساز عددی است که با لحاظ نمودن اثرات توپوگرافی بستر، نیروهای کشندی، ورودی رودخانه‌ها، تغییرات اقلیمی در سطح آب، خشکی و تری سواحل پست و نوسان دبی آب در مرزهای باز می‌تواند سطوح آب و جریان‌های لایه‌بندی شده در مصب، خلیج و مناطق ساحلی را شبیه‌سازی نماید. مدل مایک ۳ جهت انتگرال‌گیری از معادلات پیوستگی و اندازه حرکت متغیر در زمان و مکان از شیوه روش ضمنی با جهت متغیر استفاده می‌کند. آرایه‌های معادلات در هر شبکه خطی و در هر جهت با الگوریتم جاروب دو طرفه^۱ حل می‌گردند. معادلات بکار گرفته شده در مدل مایک ۳ به صورت زیر می‌باشد (Manual of MIKE ۳, ۲۰۱۲):

(۱) معادله پیوستگی جرم

$$\frac{1}{\rho c_s^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j} = SS$$

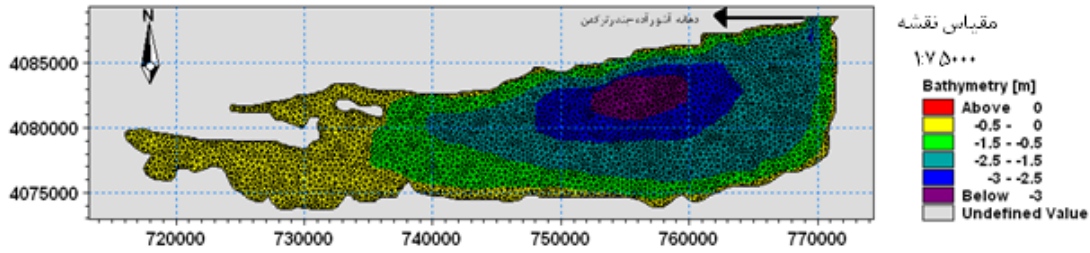
(۲) معادله اندازه حرکت

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} + \nu \Omega_{ij} u_j = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ijk} \right] + u_i SS$$

در معادلات فوق ρ بیانگر چگالی سیال، c_s سرعت صوت در آب دریا، u_i سرعت در جهت x_i ، Ω_{ij} تانسور نیروی کوریولیس، p فشار سیال، g_i بردار گرانش، ν_T لزجت گردابه‌ای ناشی از اغتشاش، δ_{ij} دلتا کرونیگر، k

^۲kroncker delta

^۱Double Sweep Algorithm



شکل ۲: نقشه عمق‌سنجی حوضه خلیج گرگان در سال ۱۳۸۸

مدل‌سازی استفاده شده است. برای اعمال تغییرات ضرایب اصطکاک باد بر روی سطح خلیج بواسطه تغییرات سرعت باد از رابطه اسمیت و بنک به صورت زیر استفاده گردید (Smith and Bank, ۲۰۰۷).

$$C_w = \begin{cases} C_c & |\bar{W}| < |\bar{W}_c| \\ C_c + \frac{C_{thld} - C_c}{|\bar{W}_{thld}|} \cdot |\bar{W}| & |\bar{W}_c| \leq |\bar{W}| < |\bar{W}_{thld}| \\ C_{thld} & |\bar{W}| \geq |\bar{W}_{thld}| \end{cases}$$

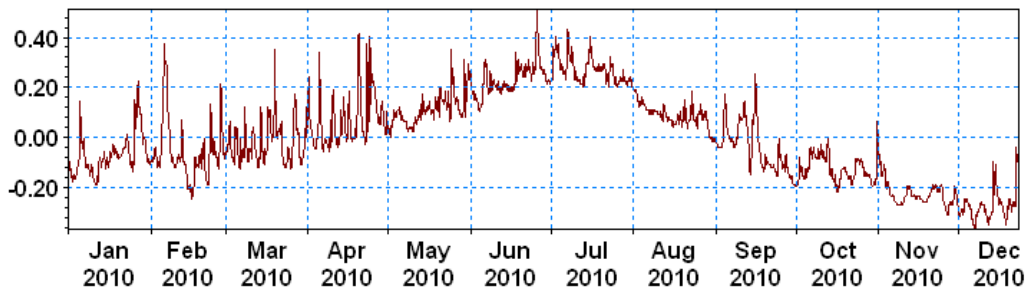
$C_c = 0.0063$ for $\bar{W}_c = 0$ و $C_{thld} = 0.026$ for $\bar{W}_{thld} = 24 \text{ m/s}$

ورودی به مدل اعمال شد. به دلیل عدم وجود رژیم کشندی موثر در دریای کاسپی و حوضه‌های آبی متصل به آن جهت تعیین زمان شروع مدل‌سازی نسبت به بررسی منحنی نوسان سطح آب در دهانه ورودی خلیج گرگان اقدام گردید (شکل ۳). بر این اساس بهترین زمان جهت در نظر گرفتن محاسبات ۱۳۸۸/۹/۳۰ یعنی آغاز روند رو به افزایش سطح آب در خلیج گرگان که خود متأثر از آغاز روند رو به افزایش سطح آب در دریای کاسپی می‌باشد انتخاب شد.

جهت معرفی تنش باد به عنوان ورودی مهم به مدل به صورت ثابت در مکان ولیکن متغیر در زمان، از داده های جهت و سرعت باد ایستگاه خودکار هواشناسی بندر ترکمن در بخش جنوب شرقی خلیج گرگان با فواصل زمانی ده دقیقه‌ای در دوره زمانی

در روابط فوق متغیرهای C_c ، C_{thld} ، ثابت‌های بدون بُعد ضرایب اصطکاک باد در سطح دریا و W_c ، W_{thld} مقادیر آستانه‌ای سرعت باد می‌باشند.

برای اعمال شرط مرز باز به مدل از اطلاعات نوسان‌های سطح آب در ایستگاه آشوراده متعلق به شرکت آب منطقه‌ای گلستان استفاده شد و آمار فوق به تنها مرز باز خلیج در دهانه آشوراده-بندر ترکمن در دوره زمانی شاخص اعمال گردید. شرایط اولیه شبیه-سازی به صورت سطح اولیه آب (معادل منفی ۰/۰۱ متر) و از قرائت اولین عدد نوسان‌نگار سطح آب در مرز



شکل ۳: منحنی نوسانات سطح آب در ایستگاه آشورآده در بازه زمانی مدل‌سازی (ارتفاع بر حسب متر می‌باشد).

آهنگ تغییر شکل گردابه‌های بزرگ یعنی گرادیان‌های میدان سرعت جریان حل شده در حوضه حل به صورت زیر مربوط می‌گردد:

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad v_\tau = L^2 \sqrt{S_{ij} \cdot S_{ji}}$$

در معادلات بالا u_i و u_j مولفه‌های سرعت محلی و L مقیاس طولی است که از حاصلضرب $\Delta S \cdot C_{sm}$ بدست می‌آید. ΔS بیانگر ابعاد شبکه‌ای بوده و C_{sm} پارامتر ثابتی است که مقدار آن با توجه به شرایط مدل تعیین می‌شود. مدل‌سازی مقاومت بستر به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر رژیم پویایی در مناطق کم‌عمق از طریق فرمول زیر محاسبه شده است:

$$\tau_b = \rho C_b u^* |u^*|$$

در رابطه فوق τ_b بیانگر تنش برشی بستر، ρ چگالی آب، C_b ضریب درگ و u^* بیانگر سرعت محاسبه شده در سطح بالای بستر می‌باشد. ضریب درگ نیز مطابق شیوه مدل‌سازی عبارت اغتشاش بدست می‌آید. از آنجائی که در مطالعه حاضر از فرمول اسماکورینسکی نیز جهت مدل‌سازی اغتشاش استفاده شده است لذا می‌توان ضریب درگ را از رابطه زیر بدست آورد:

در این تحقیق از میانگین روزانه بارش، تبخیر و میانگین ماهانه دبی ورودی ۱۳ رودخانه به خلیج منطبق با دوره زمانی مدل‌سازی استفاده شده است. اثر نیروی کوریولیس علی‌رغم عرض جغرافیایی بسیار ناچیز منطقه در نظر گرفته شده است. حوضه خلیج گرگان دارای مناطق کم عمق بسیاری در نواحی ساحلی و به خصوص غربی می‌باشد و به‌منظور در نظر گرفتن خشکی و تری سواحل در اثر افت و خیز سطح آب دریای کاسپی، از ضرایب خشکی ۰/۰۰۵ متر و تری ۰/۰۵ متر در مدل‌سازی حاضر استفاده شده است.

در مطالعه حاضر جهت مدل‌سازی اغتشاش از فرمول اختلاطی $K - \varepsilon$ در راستای قائم و اسماکورینسکی در صفحه افق استفاده شده است (Smagorinsky, ۱۹۶۹). در مدل $K - \varepsilon$ از معادلات انتقالی جهت توصیف دو کمیت حرکت اغتشاشی یعنی K و ε که به ترتیب بیانگر انرژی جنبشی اغتشاشی و آهنگ پخشودگی انرژی جنبشی اغتشاشی است استفاده می‌گردد. مزایای استفاده از مدل در این است که ضرایب این مدل نیاز به واسنجی نداشته و می‌توان از مقادیر پیش فرض ارائه شده در نرم‌افزار مایک ۳ استفاده نمود (Manual of MIKE ۳, ۲۰۱۲). در فرمول اسماکورینسکی لزجت گردابه‌ای به اندازه شبکه‌ها و

در معادلات فوق $\frac{D}{Dt}$ بیانگر مشتق تام، C غلظت ماده محلول مورد نظر، SS عبارت چشمه و چاه و D_j محدودده پخش متناسب با مولفه‌های سرعت محلی u_j می‌باشند. الگوریتم حل عددی استفاده شده برای حل معادله انتقال-پخش یک شیوه صریح با دقت مرتبه سوم تفاضل محدود سه بعدی می‌باشد که در آن ضرایب پخش بدون بعد δ_j در جهات ۱، ۲، ۳ = z به اندازه شبکه محاسباتی Δs_j و گام زمانی Δt با رابطه زیر محدود می‌گردد:

$$\sum_{j=1}^3 \delta_j = \frac{D_j \Delta t}{(\Delta s_j)^2} < 0.5$$

در مدل‌سازی مدت زمان تجدیدپذیری یک حوضه نیمه بسته، غلظت یک ماده پایستار را (با واحد یا بدون واحد) در کل حوضه برابر ۱۰۰ درصد در نظر گرفته و با اعمال آبی با غلظت صفر از طریق مرزهای ورودی مدل، مدت زمان لازم برای اینکه غلظت ماده پایستار در حوضه به ۳۷ درصد مقدار اولیه خود برسد محاسبه می‌نمایند (Arneborg, ۲۰۰۴).

از آنجا که زمان تجدیدپذیری محلی در خلیج گرگان مد نظر بوده است، لذا غلظت دبی وارده از طریق رودخانه‌ها و بارش نیز همچون مرز ورودی در دهانه آشوراده-بندرتر کمن معادل صفر در نظر گرفته شد. جهت محاسبه زمان تجدیدپذیری کل در یک حوضه آبی نسبت به محاسبه زمان تجدیدپذیری محلی در نواحی مختلف آن حوضه اقدام گردیده و سپس با میانگین‌گیری از تمامی آن نواحی زمان تجدیدپذیری کل محاسبه خواهد شد (Koutitonski *et al.*, ۲۰۰۴).

بر اساس این روش جهت بررسی زمان تجدیدپذیری محلی در نواحی مختلف خلیج گرگان،

$$C_b = \left\{ \frac{2H\sqrt{2}}{31} \left[\left(1 - \frac{z_m}{H}\right)^{3/2} - \left(1 - \frac{z}{H}\right)^{3/2} \right] + \frac{1}{k} \log\left(\frac{z_m}{k_s/30}\right) \right\}^{-2}$$

در معادله فوق z_m فاصله از بستر، H عمق آب، k ثابت ون کارمن، k_s مقیاس طولی زیری بستر و z بیانگر فاصله بستر تا اولین گره محاسباتی می‌باشد.

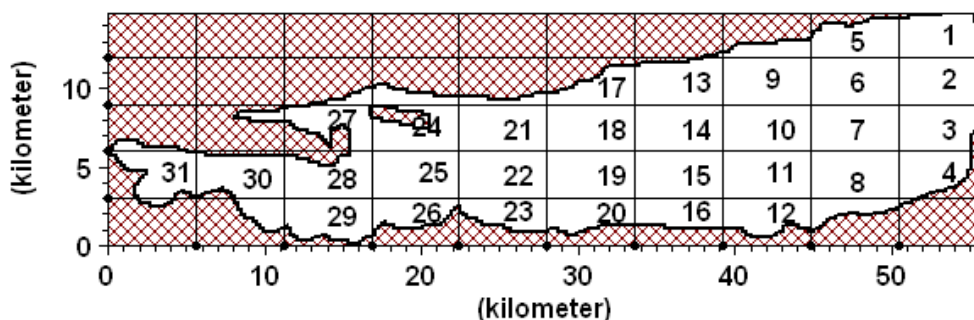
دوره شبیه‌سازی بالغ بر ۱۰۵۱۲۰۰ گام زمانی و با فواصل زمانی ۳۰ ثانیه‌ای از ۱۳۸۸/۹/۳۰ الی ۱۳۸۹/۹/۳۰ می‌باشد. دلیل انتخاب این دوره زمانی کامل بودن داده‌های ورودی جهت مدل‌سازی می‌باشد. از آنجا که مدل‌سازی تحت شرایط ایستایی انجام گردیده است لذا جهت در نظر گرفتن شرایط گرم کردن مدل از نتایج ۸ روز اول مدل‌سازی در محاسبه زمان تجدیدپذیری صرف‌نظر گردید. با توجه به فواصل زمانی و فواصل مکانی انتخاب شده عدد کورانت که بیانگر پایداری مدل می‌باشد برابر ۰/۸ بدست آمد.

همانطور که اشاره شد نتایج مدل هیدرودینامیک مایک ۳ شامل سرعت جریان و نوسان سطح آب، اساس و پایه اجرای زیرمدل انتقال-پخش می‌باشد. بدین صورت که با جفت نمودن مدل‌های هیدرودینامیک و انتقال-پخش، در ابتدا مدل هیدرودینامیک مایک ۳ با شرایط اعمال شده به اجرا در آمده و سپس از نتایج آن جهت اجرای زیرمدل انتقال-پخش به صورت هم‌زمان استفاده می‌گردد. معادله انتقال و پخش سه بعدی استفاده شده در مایک ۳ همان معادله موازنه جرم بر حسب غلظت به صورت زیر می‌باشد (Vanderborght *et al.*, ۲۰۰۷):

$$\frac{Dc}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D_j \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) + SS$$

بررسی زمان تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان نیز محاسبه شد (شکل ۴).

حوضه حل به ۳۱ سلول محاسباتی با مساحت ۱۶/۸ کیلومتر مربع تقسیم گردیده و سپس با میانگین‌گیری از زمان تجدیدپذیری محلی در تمامی ۳۱ ناحیه تحت



شکل ۴: موقعیت سلول‌های محاسبه زمان تجدیدپذیری محلی در خلیج گرگان.

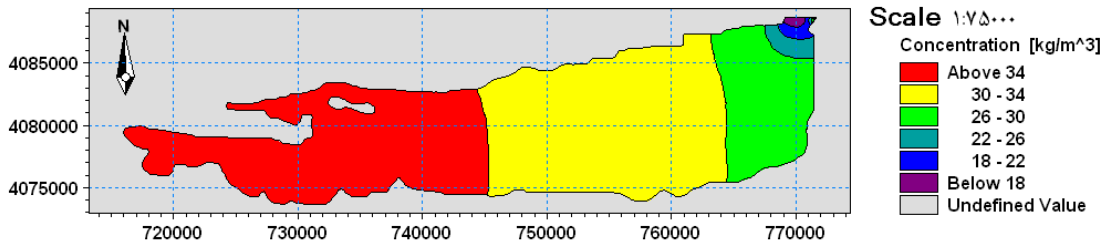
نتایج

دهانه ورودی خلیج در موقعیت مرز باز آشورآده- بندرترکمن به سمت غرب افزایش می‌یابد (شکل ۵). نتایج بررسی میزان تجدیدپذیری محلی در لایه دوم به فاصله یک متر از لایه سطحی (شکل ۶) و لایه سوم به فاصله دو متر از لایه سطحی (شکل ۷) نیز بیانگر آن می‌باشد که مقادیر این شاخص زمانی با حرکت از سمت شرق به غرب و با فاصله گرفتن از دهانه ورودی افزایش می‌یابد.

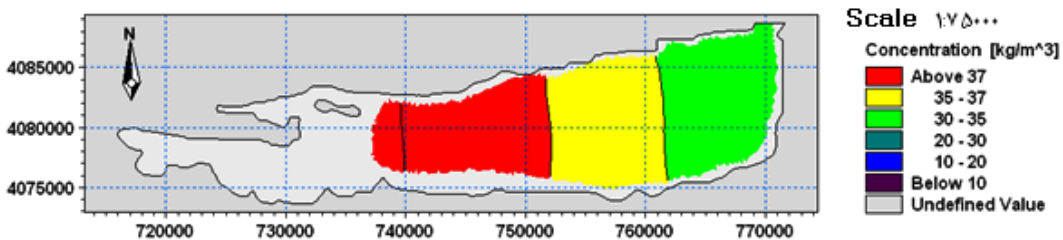
این شاخص زمانی در بخش غربی خلیج موسوم به تالاب میانکاله و در نواحی ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰ و ۳۱ دارای مقادیر بیشتر از ۶۰ روز می‌باشد. حداقل زمان لازم برای تجدید شدن آب (کمتر از ۱/۵ روز) در ناحیه نزدیک به دهانه ورودی خلیج و در ناحیه اول حادث می‌گردد. در جداول ۱، ۲ و ۳ مقادیر زمانی شاخص تجدیدپذیری محلی آب در خلیج گرگان در ۳ لایه از نواحی تحت بررسی ارائه گردیده است.

بررسی نتایج گام به گام خروجی مدل هیدرودینامیک در خصوص الگوی عمومی جریان بیان‌گر وجود گردش پادساعت‌گرد آب در هر سه لایه تحت بررسی خلیج گرگان در خلال دوره شبیه‌سازی می‌باشد. بررسی نتایج الگوی جریان نشان داد که در ایام آرام جوی بیشترین مقادیر سرعت مربوط به دهانه ورودی خلیج (بیش از ۰/۲ متر بر ثانیه) و در نتیجه نوسان سطح آب در دهانه آشورآده بندرترکمن می‌باشد ولیکن در ایام بادخیز و طوفانی نواحی میانی و سواحل شمال شرقی و غربی (بیش از ۰/۱۵ متر بر ثانیه) در مقایسه با مرز ورودی از مقادیر سرعت بالاتری برخوردار می‌باشند. میانگین سرعت در خلیج گرگان در محدوده ۰/۱۵ متر بر ثانیه تا ۰/۲ متر بر ثانیه قرار داشته است.

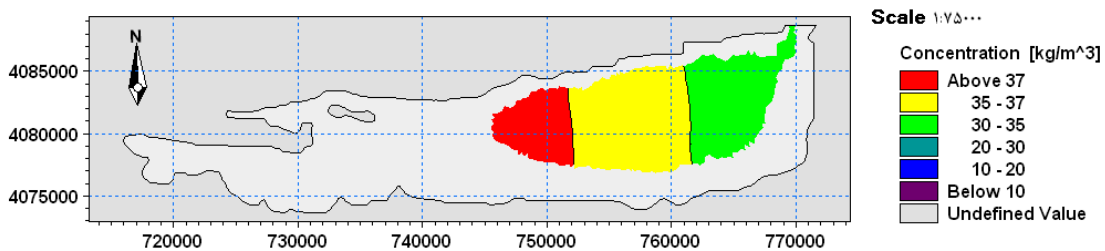
بررسی نتایج خروجی حاصل از مدل‌سازی نشان داد که زمان تجدیدپذیری محلی آب در لایه سطحی خلیج گرگان به ضخامت ۱ متر با حرکت از سمت



شکل ۵: نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در لایه سطحی خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز از اجرای مدل.



شکل ۶: نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در لایه دوم خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز از اجرای مدل.

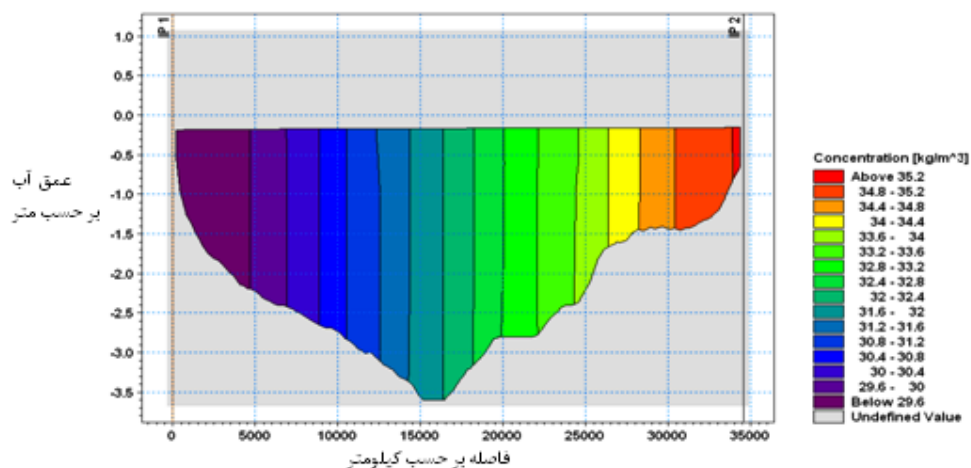


شکل ۷: نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در لایه سوم خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز از اجرای مدل.

بررسی نتایج خروجی مدل در خصوص زمان تجدیدپذیری محلی در سه لایه یک متری نشان داد که میزان غلظت در تمامی لایه‌های متناظر با هر شبکه تحت بررسی مشابه بوده و تفاوت آن حداکثر در حد ۰/۲ گرم بر متر مکعب می‌باشد. این نتیجه با بررسی میزان غلظت در مقاطع عرضی مختلف خلیج در امتداد محورهای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی استنتاج گردیده است. به عنوان نمونه در شکل ۵ میزان تجدیدپذیری محلی در یکی از مقاطع عرضی و در امتداد محور شرقی-غربی خلیج گرگان به طول ۳۵ کیلومتر نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد غلظت ماده پایستار تحت بررسی در امتداد محور قائم به صورت یکنواخت توزیع گردیده است.

بررسی نتایج خروجی مدل در خصوص میزان تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان نشان داد که خلیج گرگان در لایه سطحی، دوم و سوم به ترتیب دارای زمان تجدیدپذیری به میزان ۵۳/۱۷ روز، ۴۸/۷ روز و ۴۸/۹ روز می‌باشد. بر این اساس زمان تجدیدپذیری کل در خلیج گرگان با میانگین گیری از این سه لایه معادل ۵۰/۲۵ روز محاسبه گردید.

بررسی نتایج خروجی مدل در خصوص زمان تجدیدپذیری محلی در سه لایه یک متری نشان داد که میزان غلظت در تمامی لایه‌های متناظر با هر شبکه تحت بررسی مشابه بوده و تفاوت آن حداکثر در حد ۰/۲ گرم بر متر مکعب می‌باشد. این نتیجه با بررسی میزان غلظت در مقاطع عرضی مختلف خلیج در امتداد محورهای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی استنتاج گردیده است. به عنوان نمونه در شکل ۵ میزان تجدیدپذیری محلی در یکی از مقاطع عرضی و در امتداد محور شرقی-غربی خلیج گرگان به طول ۳۵



شکل ۵- نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در مقطع عرضی و در امتداد محور شرقی-غربی خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز

جدول ۱: مقادیر زمانی تجدیدپذیری محلی (بر حسب روز) و در لایه سطحی خلیج گرگان.

ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)	ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)	ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)	ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)
۱	۱/۵	۹	۵۳/۴	۱۷	۵۹/۳	۲۵	۶۱/۸
۲	۳۵/۵	۱۰	۵۳/۶	۱۸	۵۹/۸	۲۶	۶۱/۹
۳	۳۶/۴	۱۱	۵۳/۸	۱۹	۵۹/۸	۲۷	۶۱/۹
۴	۳۶/۷	۱۲	۴۹	۲۰	۵۹/۹	۲۸	۶۳/۸
۵	۳۶/۶	۱۳	۵۸	۲۱	۶۱/۴	۲۹	۶۳/۶
۶	۳۶/۸	۱۴	۵۸/۱	۲۲	۶۱/۴	۳۰	۶۵/۱
۷	۴۷	۱۵	۵۸/۲	۲۳	۶۱/۵	۳۱	۶۵/۳
۸	۴۷/۳	۱۶	۵۸/۲	۲۴	۶۱/۶		

جدول ۲: مقادیر زمانی تجدیدپذیری محلی (بر حسب روز) در لایه دوم خلیج گرگان.

ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)	ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)	ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)
۱	۱/۵	۸	۴۷/۳	۱۵	۵۸/۲
۲	۳۵/۵	۹	۵۳/۴	۱۶	۵۸/۲
۳	۳۶/۴	۱۰	۵۳/۶	۱۷	۵۹/۳
۴	۳۶/۷	۱۱	۵۳/۸	۱۸	۵۹/۸
۵	۳۶/۶	۱۲	۴۹	۱۹	۵۹/۸
۶	۳۶/۸	۱۳	۵۸	۲۱	۶۱/۴
۷	۴۷	۱۴	۵۸/۱	۲۲	۶۱/۴

جدول ۳: مقادیر زمانی تجدیدپذیری محلی (بر حسب روز) در لایه سوم خلیج گرگان.

ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)	ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)	ناحیه	زمان تجدیدپذیری (روز)
۱	۱/۵	۹	۵۳/۴	۱۴	۵۸/۱
۶	۳۶/۸	۱۰	۵۳/۶	۱۵	۵۸/۲
۷	۴۷	۱۱	۵۳/۸	۱۸	۵۹/۸
۸	۴۷/۳	۱۳	۵۸	۱۹	۵۹/۸

بحث

بررسی نتایج مدل هیدرودینامیک جریان در سه بعد نشان داد که الگوی عمومی جریان در خلیج گرگان به صورت پادساعت گرد می‌باشد. این نتیجه پیشتر نیز توسط شربتی و حسینی در شبیه‌سازی‌های دوبعدی گزارش گردیده است (شربتی و حسینی، ۱۳۹۱).

نتایج شبیه‌سازی زمان تجدیدپذیری نشان داد که کل آب خلیج گرگان در طی ۵۰/۲۵ روز از طریق دهانه آشوراده-بندرترکمن، بارش و ورودی رودخانه‌ها از نو تجدید می‌گردد.

نتایج اجرای مدل نشان داد که میزان تاثیرگذاری رودخانه‌های ورودی به خلیج گرگان در خلال دوره شبیه‌سازی در میزان تجدیدپذیری محلی آب چندان قابل توجه نبوده و تنها در ناحیه ۱۲ که منطبق بر سواحل بندرگز می‌باشد و به دلیل تاثیر رودخانه‌های گز-وطنا، نوکنده، لیوان غربی و شرقی و در دوره شبیه‌سازی که منطبق بر فصل زمستان می‌باشد می‌تواند سبب کاهش زمان تجدیدپذیری محلی آب در مقایسه با نواحی مجاور گردد.

توزیع مکان-زمانی شاخص تجدیدپذیری محلی در ۳۱ ناحیه از خلیج گرگان نشان داد که در امتداد محور شرقی-غربی و با دور شدن از دهانه آشوراده-بندرترکمن مقادیر تجدیدپذیری در هر سه لایه افزایش می‌یابد. این موضوع را می‌توان این گونه توجیه نمود

که با فاصله گرفتن از مرز باز حوضه آبی خلیج گرگان واقع در دهانه آشوراده-بندرترکمن، اختلاط آب‌های ورودی به تدریج کاهش یافته و سبب افزایش مدت زمان لازم برای تجدیدپذیری آب می‌گردد.

بررسی توزیع مکان-زمانی شاخص تجدیدپذیری محلی در نواحی متناظر شمالی و جنوبی در نیمه غربی خلیج و پس از سواحل بندرگز تفاوتی نداشته است. ولیکن در میزان تجدیدپذیری محلی در ناحیه ۹م و در مجاورت ساحل شمال شرقی خلیج گرگان و ناحیه ۱۱۲م در سواحل بندرگز تفاوت ۴/۴ روزه برآورد گردیده است. این اختلاف محاسبه شده در میزان تجدیدپذیری محلی را می‌توان به نقش ورودی رودخانه‌های گز-وطنا، نوکنده، لیوان غربی و شرقی به ناحیه ۱۱۲م و کاهش میزان تجدیدپذیری محلی در آن نسبت داد. اختلاف ۱۰/۷ روزه در میزان تجدیدپذیری محلی در نواحی ۱۵م ساحل شمال شرقی خلیج گرگان با ناحیه ۸م در سواحل باغوکناره را می‌توان به نزدیکی ناحیه ۱۵م به دهانه ورودی خلیج گرگان و تاثیر رژیم هیدرودینامیک آن منطقه نسبت داد.

بررسی میزان تجدیدپذیری محلی در لایه‌های متناظر با هر سلول نشان داد که تغییرات غلظت ماده تحت بررسی در امتداد محور قائم یکنواخت می‌باشد و این موضوع بیانگر آن است که تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان و در امتداد قائم به صورت یک‌پارچه

انجام می‌گردد. نتیجه حاضر با توجه به یکنواختی توزیع شوری خلیج گرگان در امتداد قائم که پیشتر نیز مورد بررسی واقع گردیده است توجیه پذیر می‌باشد (رحیمی پورآثارکی، ۱۳۸۱).

زمان تجدیدپذیری بالا در خلیج گرگان محیط را برای توسعه شکوفایی جلبکی در اثر تجمع مواد مغذی ناشی از فعالیت‌های آبرزی پروری بسیار مناسب می‌سازد. از طرفی افزایش زمان تجدیدپذیری آب در نواحی غربی خلیج سبب کاهش تجمع مواد جامد معلق در ستون آبی می‌گردد. لذا می‌توان یکی از دلایل تشکیل رسوبات گلی ریزدانه در بستر خلیج گرگان به خصوص در نواحی غربی که پیشتر توسط لاهیجانی و همکاران گزارش گردیده است را به افزایش زمان تجدیدپذیری در این حوضه مرتبط دانست (لاهیجانی و همکاران، ۱۳۸۹).

احداث مزارع آبرزی پروری در نواحی نزدیک به دهانه آشورآده-بندرترکمن و نواحی شرقی به خصوص شمال شرقی خلیج مناسب تر است چرا که تجدیدپذیری خوب آب در این مزارع به طور پیوسته سستون‌ها و اکسیژن محلول را تامین نموده و سبب خروج مواد آلی زاید حاصل از فعالیت‌های متابولیکی آبرزیان از مزارع خواهد شد. نتایج تحقیق به خوبی نشان داده است که مناطق کم عمق منتهی‌الیه غربی خلیج گرگان موسوم به تالاب میانکاله از حیث زمان تجدیدپذیری آب مناطقی بسیار آسیب‌پذیر بوده و هر گونه استفاده از این مناطق به منظور توسعه آبرزی پروری دارای پیامدهای زیست-محیطی خواهد بود.

یکی از مهمترین مسائل در بررسی زمان تجدیدپذیری در احجام آبی فاقد رژیم کشندی انتخاب زمان شروع مدل‌سازی این شاخص زمانی می‌باشد.

دریای کاسپی فاقد رژیم کشندی موثر می‌باشد و از طرفی بر اساس شرایط هیدروکیلماتولوژی حاکم بر آن دارای نوسانات درون سالیانه تراز سطح آب می‌باشد به گونه‌ایی که با شروع نیمه فصل تابستان سطح آب این دریا به تدریج کاهش یافته و در نیمه فصل زمستان به تدریج سطح آن رو به افزایش می‌گردد (Kakroodiet *al*, ۲۰۱۰). لذا بر خلاف روش‌های سنتی تعیین زمان تجدیدپذیری همچون روش‌های منشور کشندیکه در آن از دوره‌های کامل کشندی برای محاسبه زمان تجدیدپذیری استفاده می‌گردد و یا کسر آب شیرین در چنین حوضه‌های آبی می‌بایست نسبت به انتخاب شروع مدل‌سازی دقت لازم را در نظر داشت (Zimmerman, ۱۹۷۶).

در این تحقیق جهت تعیین شروع زمان مدل‌سازی تجدیدپذیری در خلیج گرگان که فاقد رژیم کشندی تاثیرگذار در ایجاد جریان می‌باشد، نسبت به بررسی منحنی نوسانات سطح آب در ایستگاه آشورآده اقدام گردیده و بر این اساس بهترین زمان برای شروع شبیه‌سازی آغاز فرآیند افزایش سطح آب در خلیج گرگان انتخاب گردیده است. از این شیوه می‌توان به عنوان یک استاندارد جهت انجام تمامی شبیه‌سازی‌های زمان تجدیدپذیری در حوضه‌های فاقد رژیم کشندی استفاده نمود.

هرچند ارزش کاربردی زمان تعویض آب در جانمایی کوچک مقیاس مزارع پرورش ماهی بیشتر مورد توجه واقع می‌گردد ولیکن زمان تجدیدپذیری محلی می‌تواند به عنوان شاخصی مفید جهت ارزیابی میزان کیفیت و سلامت آب در مقیاس بزرگ‌تر مورد توجه پرورش دهندگان واقع گردد.

- پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۳۸ صفحه.
۴. یاری‌نسب، آ.، ۱۳۹۱. مدل‌سازی کیفی دوبعدی خلیج گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۰۶ صفحه.
۵. عقیلی، ک.، آقایی‌مقدم، ع.، شریفیان، م.، عقیلی، م.، بندانی، غ.، ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات سالانه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خلیج گرگان جهت پرورش ماهی کپور در محیط محصور و قفس. اولین همایش آبی‌پروری نوین-چالش‌ها و فرصت‌ها. گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۳۰ مهر الی اول آبان ماه، ۱۰ صفحه.
۶. جوانی، ع.، طاهری‌شهرآئینی، ح.، محمدخانی، ح.، منصوری، ب.، حامی‌طبری، ا.، ۱۳۹۳. تغییرات زمانی- مکانی غلظت نیترات و فسفات در خلیج گرگان. مجله علوم و مهندسی محیط زیست، سال اول، شماره سوم، ۱-۱۳.
۷. محمدخانی، ح.، طاهری‌شهرآئینی، ح.، حامی‌طبری، ا.، یلقی، س.، ۱۳۹۳. مدل‌سازی کیفی دوبعدی و مکان-یابی آبی‌پروری در خلیج گرگان بر اساس توان خودپالایی. اولین همایش آبی‌پروری نوین-چالش‌ها و فرصت‌ها. گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۳۰ مهر الی اول آبان ماه، ۳۳ صفحه.
۸. لاهیجانی، ح.، حایری‌اردکانی، ا.، شریفی، آ.، نادری‌بنی، ع.م.، ۱۳۸۹. شاخصهای رسوبشناختی و ژئوشیمیایی رسوبات خلیج گرگان. مجله اقیانوس‌شناسی، سال اول، شماره اول، ۴۵-۵۵.
۹. Arneborg, L. ۲۰۰۴. Turnover times for the water above sill level in Gullmar Fjord. Continental Shelf Research, ۲۴, ۴۴۳-۴۶۰.
۱۰. Gillibrand, P.A., ۲۰۰۱. Calculating exchange times in a Scottish fjord using a two-

در آینده از نتایج این تحقیق می‌توان برای توضیح چرایی برخی از مسائل زیست‌محیطی همچون افزایش بار آلودگی در یک منطقه، کاهش و یا افزایش میزان اکسیژن محلول و برخی دیگر از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و یا عدم اقتصادی بودن یک سایت پرورش ماهی در خلیج در مقایسه با دیگر مزارع استفاده نمود. نتایج تحقیق در خصوص تعیین شاخص‌های زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان می‌بایست مورد توجه مدیران اجرایی در توسعه و انتخاب محل مناسب مزارع پرورش ماهی در خلیج گرگان واقع گردد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی به شماره شناسه طرح ۹۲-۳۱۴-۹۲ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان می‌باشد. بدین وسیله از زحمات تمامی عوامل و دست‌اندرکاران که در اجرای طرح اینجانب را یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. شربتی، س.، حسینی، س.س.، ۱۳۹۱. شبیه‌سازی دوبعدی الگوی جریان خلیج گرگان در خلال یک دوره یک‌ساله. گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۹ صفحه.
۲. رحیمی‌پورانارکی، ح.، ۱۳۸۱. بررسی هیدرودینامیک جریان و پیش‌بینی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در خلیج گرگان. شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی. ۴۸ صفحه.
۳. شربتی، س.، حسینی، س.س.، ایمانی‌پور، م.، گرگین، س.، ۱۳۸۹. فاز اول مطالعات شبیه‌سازی کوتاه مدت جریان‌ات دریای در خلیج گرگان. گزارش طرح

۱۸. Rodi, W., ۱۹۸۰. Turbulence Models and Their Application in Hydraulics-A State of the Art Review. International Association for Hydro-Environmental Engineering and Research Publications, ۳۷ p.
۱۹. Sharbaty, S., ۲۰۱۲a. Simulation of wind-driven waves in the Gorgan bay. Canadian Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering and Medicine, ۳(۲), ۴۰-۴۴.
۲۰. Sharbaty, S., ۲۰۱۲b. ۳-D simulation flow pattern in the Gorgan Bay in during summer. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), ۲(۳), ۷۰۰-۷۰۷.
۲۱. Smagorinsky, J., ۱۹۶۳. General circulation Experiments with the primitive equations. Monthly weather review, ۹۱, ۹۱-۱۶۴.
۲۲. Smith, S.D., Bank, G., ۲۰۰۷. Variation of the sea drag coefficient with wind speed. Quart. Met. Soc, ۱۰۱, ۶۶۵-۶۷۳.
۲۳. Umgiesser, G., Canu, D.M., Cucco, A., Solidoro, C.A., ۲۰۰۴. Finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and validation. Journal of Marine Systems, ۵۱(۴), ۱۲۳-۱۴۵.
۲۴. Vanderborght, J.P., Folmer, I.M., Aguilera, D.R., Uhrenholdt, T., Regnier, P., ۲۰۰۷. Reactive-transport modelling of C, N, and O₂ in a river-estuarine-coastal zone system: Application to the Scheldt estuary, Journal of Marine Chemistry, ۱۰۶, ۹۲-۱۱۰.
۲۵. Zimmerman, J., ۱۹۷۶. Mixing and flushing in tidal embayments in the western Dutch Wadden Sea, part 1: Distribution of salinity and calculation of mixing time scales. Netherlands Journal of Sea Research, ۱۰, ۱۴۹-۱۹۱.
- dimensional, laterally-averaged numerical model. Estuarine Coastal and Shelf Science, ۵۳, ۴۳۷-۴۴۹.
۱۱. Josefson, A. B., Rasmussen. B. ۲۰۰۰. Nutrient retention by benthic macrofaunal biomass of Danish estuaries: Importance of nutrient load and residence time. Estuarine Coastal and Shelf Science, ۵۰, ۲۰۵-۲۱۶.
۱۲. Kakroodi, A. A., Kroonenberg, S. B., Hoogendoorn, R. M., MohammadKhani, H., Yamani, M., Ghassemi, M. R., Lahijani, H. A. K., ۲۰۱۲. Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian Caspian coast, Quaternary International, ۳۰, ۱-۱۱.
۱۳. Koutitonski, V.G., Guyonnet, T., St-Hillaire, A., Courtenay, S.C., Bohgen, A., ۲۰۰۴. Water Renewal Estimates for Aquaculture Developments in the Richibucto Estuary, Canada. Journal of Estuaries, ۲۷ (۵), ۸۳۹-۸۵۰.
۱۴. Manual of MIKE ۳, ۲۰۱۲. Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module. Danish Hydraulic Institute (DHI Software), ۳۲-۵۰.
۱۵. Manual of MIKE Zero, ۲۰۱۲. Bathymetric Editor Part. Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module. Danish Hydraulic Institute, ۵۷-۸۰.
۱۶. Mønsen, N.E., Cloern, J.E., Lucas, L.V., Stephen, G.M., ۲۰۰۲. A Comment on the Use of Flushing Time, Residence Time, and Age as Transport Time Scales. Journal of Limnology and Oceanography, ۴۷(۵), ۱۵۴۵-۱۵۵۳.
۱۷. Pillay, T. V. R., Kutty, M. N., ۲۰۰۵. Aquaculture: Principles and Practices. Second Edition. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, England, ۶۲۴ p.