بررسی نتایج مدل‌سازی میزان فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش حصاری ماهی در خلیج گرگان

سعید شربتی*

گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
صندوق پستی: ۴۳۴۶۴-۴۹۱۸۹

تاریخ دریافت: ۲۶ شهریور ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: ۵ بهمن ۱۳۹۳

چکیده

توسعه مزارع پرورش ماهی مستلزم مطالعه در خصوص تعیین فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع می‌باشد. فاصله اطمینان بیانگر حداقل فاصله مورد نیاز جهت به حداقل رساندن اثرات نامطلوب انتشار آلودگی‌ها بین مزارع است. در این مقاله نتایج مدل Mike21FM به‌منظور بررسی فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش حصاری در خلیج گرگان مورد بحث قرار گرفته است. اثرات مولفه‌های تابش امواج ناشی از بادهای غالب در ۷ سناریو با اجرای مدل موج Mike21NSW به مدل هیدرودینامیک Mike21FM اعمال گردید. مدل‌سازی انتقال و پراکنش آلودگی‌های لحظه‌ایی در ۴ نقطه از خلیج تحت ۱۴ سناریو مختلف و با جفت نمودن مدل هیدرودینامیک Mike21FM و انتقال-پخش انجام شد. در مدل‌سازی‌ها از میانگین سالانه بارش، تبخیر و ورودی ۱۳رودخانه و اثر بادهای غربی، شمالی و شمال غربی با دو سرعت ۲/۵ و ۵ متربرثانیه در شرایط آرام جوی و باد غالب غربی با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه تحت شرایط توفانی استفاده شد. از مقادیر میانگین دبی ورودی و خروجی ۱۰۰۰ متر مکعب برثانیه در دهانه آشورآده-بندرترکمن جهت اعمال مرز باز استفاده شد. نتایج مدل‌سازی‌ها نشان داد که فاصله اطمینان در خلیج گرگان از ۴۵ تا ۱۰۹۷ متر متغیر می‌باشد. با کاهش عمق میزان فاصله اطمینان و مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده در خلیج افزایش می‌یابد و بالعکس. با افزایش سرعت باد میزان فاصله اطمینان افزایش یافته ولیکن مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده در خلیج به موجب افزایش فرآیند اختلاط کاهش می‌یابد و بالعکس. خروج آب از طریق دهانه آشورآده-بندرترکمن سبب افزایش میزان فاصله اطمینان و مدت زمان رقیق شدن آلاینده‌ها می‌گردد و بالعکس.

کلمات کلیدی: خلیج گرگان، فاصله اطمینان، پرورش حصاری، Mike21NSW، Mike21FM، مدل انتقال-پخش.

* عهده‌دار مکاتبات (✉). s_sharbaty@yahoo.com

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

مقدمه

تامین انرژی غذایی مورد نیاز جوامع انسانی از مهم‌ترین وظایف بخش علوم کشاورزی و منابع طبیعی محسوب می‌گردد. نیاز روز افزون جمعیت رو به رشد کشور به منابع پروتئینی توجه مدیران شیلاتی را به استفاده هر چه بهتر از پهنه‌های دریایی به جهت پرورش آبزیان در محیط‌های محصور معطوف داشته است. تاریخچه پرورش ماهیان در محیط‌های محصور از دو قرن پیش در مناطق آسیایی نشات گرفته و سپس در دنیا منتشر گردیده است (Pillay and Kutty, 2005). اولین بار پرورش حصاری در ایران جهت پرورش ماهیان گرمابی در تالاب انزلی به اجرا در آمد. در سال ۱۳۷۱ از خلیج گرگان جهت پرورش بچه فیل ماهیان در حصار استفاده گردید. بعد از آن در سال ۱۳۷۴ نیز دو گونه از آزادماهیان توسط اداره شیلات استان گلستان در خلیج پرورش داده شد. با عنایت به موفقیت‌آمیز بودن طرح‌های مذکور ولو در مقیاس کوچک هیات دولت در سال ۱۳۸۶ طرح مطالعه امکان سنجی آبزی-پروری در خلیج گرگان و واگذاری آن به بخش خصوصی را در دستور کار اداره شیلات استان گلستان قرار داد (جوانی، ۱۳۹۱). در همین راستا در خصوص اجرایی نمودن طرح آب‌زی‌پروری در محیط حصاری در خلیج گرگان مطالعات مبسوطی صورت پذیرفته است. بررسی تغییرات سالانه عوامل فیزیک و شیمیایی در خلیج گرگان نشان داد که می‌توان ماهی کپور دریایی را در حصار توری با غذای کنسانتره تغذیه و تا مرحله بلوغ پرورش داد (عقیلی و همکاران، ۱۳۹۳). اندازه‌گیری‌ها نشان داد که میزان اکسیژن محلول سالانه خلیج گرگان در حد بحرانی و مشکل آفرین برای آبزی‌پروری نمی‌باشد (عقیلی و همکاران، ۱۳۹۳). در تحقیقی مدل‌سازی ریاضی توزیع مکانی آلودگی‌های مختلف و ارزیابی قابلیت آبزی‌پروری درخلیج گرگان منطبق بر دوره پرورش ماهیان گرم و سرد آبی انجام گردید (یاری‌نسب، ۱۳۹۱). در تحقیقی خلیج گرگان از لحاظ کمی با استفاده از Mike21 مدل‌سازی شده و رفتار خلیج تحت سناریوهای کیفی مختلف ارزیابی گردید و کیفیت آب خلیج گرگان طی ۲۹ سال آینده مورد بررسی قرار گرفت (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.

از طرفی توسعه مزارع پرورش ماهی حصاری در محیط‌های دریایی مستلزم تعیین فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع می‌باشد. فاصله اطمینان بیانگر حداقل فاصله مورد نیاز جهت به حداقل رساندن اثرات نامطلوب انتشار مواد آلاینده بین مزارع می‌باشد. به عبارت ساده‌تر در صورت عدم رعایت فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع امکان سرایت آلودگی‌ها از یک مزرعه ناسالم به یک مزرعه سالم وجود داشته و این امر در اثر رژیم هیدرودینامیک حاکم بر حوضه آبی به‌صورت زنجیره‌وار به تمامی مزارع سرایت نموده و در نهایت موجبات صدمات اقتصادی و چه‌بسا زیست‌محیطی جبران‌ناپذیر می‌گردد.

جهت محاسبه فاصله اطمینان در سازگان‌های آبی از سه شیوه ردیابی مواد بی‌ضرر، روابط تجربی و مدل‌سازی‌های عددی استفاده می‌گردد. از میان سه روش مذکور مدل‌سازی‌های عددی دارای مزیت‌های بیشتری به‌دلیل صرف کمتر هزینه‌های مادی و همچنین

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

افزایش امکان مطالعه حوضه آبی با جزئیات بیشتر در مقیاس‌های زمانی و مکانی بزرگتر می‌باشد. از طرفی مدل‌سازی هیدرودینامیک در هر حوضه آبی پیش‌نیاز محاسبه فاصله اطمینان در آن می‌باشد.

تاکنون از مدل Mike21 در بسیاری از پژوهش‌های بوم‌شناختی استفاده گردیده است. به منظور مطالعه وضعیت کیفی دریاچه Erhai مدل هیدرودینامیک Mike21FM با مدل کیفی جفت گردید. نتایج بیانگر آن بود که وضعیت کیفی خلیج در بخش‌های مرکز در سطح دو و در بخش‌های شمالی و جنوبی در سطح سه کیفی قرار دارد (Changjun *et al.*, 2013). در تحقیقی انتشار لارو مرجان‌ها در جزایر سنگاپور با جفت نمودن مدل هیدرودینامیک Mike21FM با مدل ردیابی ذرات انجام شد. نتایج منجر به تعیین ۵ موقعیت پیشنهادی برای زیستگاه لارو مرجان‌ها گردید(Tay *et al.*, 2012). نتایج شبیه‌سازی مدل Mike21 نشان داد که الگوی جریان در خلیج عمدتاً به صورت پادساعتگرد می‌باشد (شربتی و حسینی، ۱۳۹۱). اقلیم امواج در خلیج گرگان تحت وزش بادهای غالب و با استفاده از مدل موج Mike21 استخراج گردید (Sharbaty, 2012). مدل‌سازی الگوی فرسایش و نرخ انتقال رسوب در خلیج با برداشت میدانی جریان و رسوب در فصل تابستان و زمستان ۱۳۸۱ از طریق مدل Mike21 انجام شد (رحیمی-پورانارکی، ۱۳۸۱). در تحقیقی با استفاده از مدل مایک۲۱ رژیم هیدرودینامیک، انتقال شوری و فاصله اطمینان در خلیج گرگان بررسی شد (یاری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۳).

خلیج گرگان حوضه آبی کم عمق می‌باشد و می‌بایست در مدل‌سازی فرآیندها اثر امواج را در ایجاد جریان در نظر گرفت. از طرفی در بررسی فاصله اطمینان لازم است تا علاوه بر شرایط آرام جوی حوضه آبی نسبت به در نظر گرفتن شرایط توفانی نیز اقدام گردد. چرا که رژیم هیدرودینامیک منطقه متاثر از تداوم و شدت باد به سرعت تغییر نموده و می‌تواند محاسبات انجام شده در خصوص فواصل اطمینان را تغییر دهد. لذا در این تحقیق جهت بررسی فاصله اطمینان در خلیج گرگان نسبت به اجرای سه ماژول هیدرودینامیک، موج و انتقال - پخش مدل دو بعدی Mike21 تحت ۱۴ سناریوی مختلف اقدام گردیده است. به‌منظور بررسی فاصله اطمینان در خلیج گرگان نسبت به آزادسازی منابع نقطه‌ایی لحظه‌ایی از یک آلاینده پایستار در تحت سناریوهای بادهای غالب در ایام آرام، توفانی و در نظر گرفتن ورود و خروج آب در دهانه خلیج اقدام گردید.

مواد و روش‌ها

خلیج گرگان با طول تقریبی ۶۰ کیلومتر، حداکثر عرض ۱۲ کیلومتر، حداکثر عمق ۳/۷ و با مساحت تقریبی ۴۶۶ کیلومترمربع 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 آشوراده-بندرترکمن با عرض تقریبی ۲/۳ کیلومتر و حداکثر عمق ۳/۱ متر با دریای کاسپی در ارتباط می‌باشد (شکل ۱) (شربتی و همکاران، ۱۳۸۹). در این تحقیق به منظور بررسی فواصل اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش ماهی در خلیج گرگان نسبت به جفت نمودن به‌هنگام دو ماژول هیدرودینامیک و انتقال – پخش نرم‌افزار Mike21 اقدام گردیده است.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

معرفی مدل Mike21: مدل پایه هیدرودینامیک Mike21، سیستم مدل‌سازی عددی پیشرفته جهت شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرودینامیکی است و از آن می‌توان جهت جفت نمودن با ماژول‌های دیگر همچون انتقال-پخش و موج استفاده نمود. دلیل انتخاب مدل دو بعدی در این تحقیق، عمق بودن و کوچک بودن تغییرات عوامل حرکت در راستای قائم (سرعت جریان در امتداد محور قائم) در حوضه خلیج گرگان می‌باشد. صورت دو بعدی معادلات هیدرودینامیکی جزئی ناویر استوکس در صفحه افق و در سیستم دستگاه مختصات کارتزین به صورت زیر می‌باشد (Manual of Mike21, 2007):

معادلهٔ پیوستگی:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}}{\partial y}=hS \qquad (1)$$

معادله اندازه حرکت در جهت x:

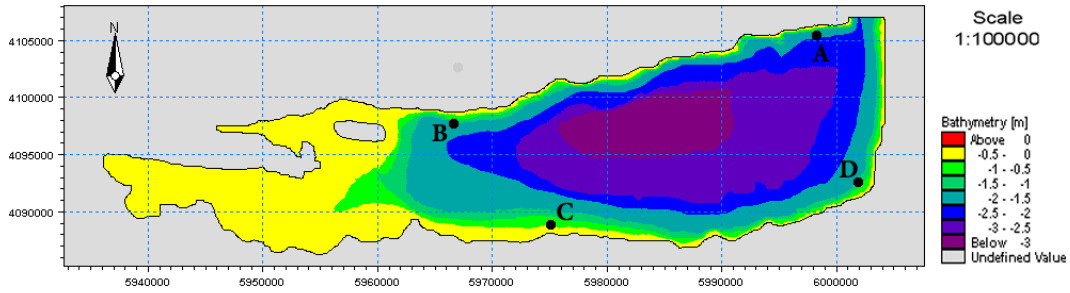
$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = f\bar{v}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x} -\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x}+\frac{\tau_{sx}}{\rho_0}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_0} -\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx})+\frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) +hu_sS \qquad (2)$$

معادلهٔ اندازه حرکت در جهت y:

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y}-f\bar{u}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} -\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y}+\frac{\tau_{sy}}{\rho_0}-\frac{\tau_{by}}{\rho_0} -\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy})+\frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) +hv_sS \qquad (3)$$

در معادلات فوق $h=d+\eta$ عمق کل آب، η تراز لحظه‌ایی سطح آب، d عمق آب بر حسب سطح مبنا، $\bar{u}, \bar{v}$ مقادیر میانگین سرعت درجهات y و x، g شتاب جاذبه، τ_{by} و τ_{bx} مولفه‌های اصطکاک بستر در جهات y و x، $f=2w\sin\emptyset$ عامل کوریولیس، t زمان، w سرعت زاویه‌ایی زمین، $\emptyset$ عرض جغرافیایی، p_a فشار جو، ρ_0 چگالی آب، τ_{sy} و τ_{sx} مولفه‌های تنش باد روی سطح دریا در جهات y و x و s_{yy} و s_{xy} و s_{xx} مولفه‌های تنش برشی حاصل از تابش امواج در جهات y و x، T_{yy} و T_{xy} و T_{xy} مولفه‌های لزجت گردابه‌ایی (Eddy Viscosity) در جهات y و x می‌باشند. گسسته‌سازی مکانی معادلات اولیه با استفاده از شیوه احجام محدود سلول مرکزی و عبارات زمانی از شیوه صریح انجام می‌پذیرد (Manual of MIKE21FM, 2007). به منظور ساخت هندسه خلیج به روش بی‌ساختار مثلثی از ترازهای عمقی برداشت شده توسط مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان داخلی گلستان استفاده گردید (محمدخانی و همکاران، ۱۳۹۳). سپس مثلث-بندی حوضه خلیج به شیوه دلاونی انجام شد (Manual of MIKE21 FM, 2007). شبکه‌بندی مدل بستر خلیج شامل ۱۵۴۵۴۳ گره و ۳۰۶۲۱۷ آلمان و یک مرز ورودی در دهانه آشوراده-بندرترکمن ایجاد گردید (شکل ۱).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]



شکل ۱: موقعیت آزادسازی ۴ آلاینده لحظه‌ایی و توپوگرافی حوضه خلیج گرگان.

از داده‌های باد ایستگاه سینوپتیک دریایی بندرترکمن با طول آمار ۱۲ ساله واقع در ۲ کیلومتری جنوب دهانه ورودی خلیج شامل جهت و سرعت باد و داده‌های بارش و تبخیر ایستگاه هواشناسی تیرتاش با طول آمار ۲۸ ساله با میانگین سالانه بارش ۶۰۲ میلی‌متر در سال و تبخیر ۱۴۹۰ میلی‌متر در سال به صورت ثابت در مکان – زمان استفاده شده است. بررسی گلباد خلیج نشان داد که این حوضه آبی به‌ترتیب اهمیت تحت تاثیر بادهای غربی با احتمال وقوع ۱۸ ٪، شمالی با احتمال وقوع ۱۵ ٪ و شمال غربی با احتمال وقوع ۱۱ ٪ قرار داشته و در ۴۴ ٪ مواقع سرعت باد کمتر از ۲/۵ متربرثانیه می‌باشد. بیشترین درصد وقوع باد در سرعت‌های ۲/۵ الی ۵ متربرثانیه می‌باشد. از طرفی بیشنه سرعت باد در خلیج متعلق به باد غربی با سرعت ۱۵ متربرثانیه می‌باشد. لذا تمامی مدل‌سازی‌ها بر اساس سه جهت باد غالب ۲/۵ و ۵ متربرثانیه به جهت ارزیابی الگوی جریان تحت شرایط نرمال و سرعت باد غربی ۱۵ متر برثانیه جهت ارزیابی شرایط توفانی در خلیج اجرا گردیده است. جهت اعمال تغییرات ضرایب اصطکاک باد در سطح خلیج از فرمول تجربی ارایه شده توسط وو استفاده گردید (Wu, 1994). جهت اعمال منابع چشمه‌ای به مدل از میانگین سالیانه دبی ورودی ۱۳ رودخانه منتهی به خلیج (قره‌سو، باغو، گز، سرکلاته، سرمحله، جفاکنده، نوکنده، لیوان غربی و شرقی، تیرتاش، کلت، رکاوند و بهشهر) استفاده شد. جهت اعمال شرط مرز باز از میانگین دبی ۱۰۰۰ مترمکعب‌برثانیه در دهانه آشوراده-بندرترکمن مستخرج از نتایج خروجی مدل‌سازی الگوی جریان در خلیج گرگان در خلال دوره یک ساله اقدام گردید (شربتی و حسینی، ۱۳۹۱). در تحقیق حاضر به منظور اجرای مدل در تمامی سناریوها از ضرایب مهمترین عوامل موثر بر جریان خلیج گرگان که در مدل‌سازی-های پیشین مورد استفاده واقع گردیده است، شامل عدد مانینگ ۳۲ جهت مقاومت بستر، ضریب لزجت گردابه-ای ۰/۵ و ضریب اصطکاک موج با بستر از عامل زبری نیکارادزه با مقدار ثابت ۰/۰۰۲ متر استفاده شد (شربتی و همکاران، ۱۳۸۹).

اجرای مدل موج MIKE 21 Near Shore Wave

خلیج حوضه آبی کم عمق می‌باشد و شکست امواج در اثر برخورد ناو موج با مناطق کم‌عمق بستر سبب ایجاد تغییر در جریان‌های دریایی می‌گردد (Sharbaty, 2012). در این تحقیق اثرات مولفه‌های تنش تابش امواج S_{yy} و S_{xy} و S_{xx} در نظر گرفته شده است و از نتایج مدل موج MIKE 21 NSW به عنوان ورودی‌ها به مدل جریان Mike21FM استفاده گردید. مدل موج با بادهای غربی (۲۷۰ درجه) و شمالی (صفر

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

درجه) و شمال‌غربی (۳۱۵ درجه) تحت دو سرعت ۲/۵ و ۵ متربرثانیه و باد غالب غربی (۳۱۵ درجه) با سرعت ۱۵ متربرثانیه در هفت سناریو اجرا گردید. معادلات به کار گرفته شده در مدل موج Mike21 به صورت زیر می‌باشد (Manual of Mike 21 NSW, 2007):

$$\frac{\partial(c_{gx}m_0)}{\partial x}+\frac{\partial(c_{gy}m_0)}{\partial y}+\frac{\partial(c_\theta m_0)}{\partial \theta}=T_0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial(c_{gx}m_1)}{\partial x}+\frac{\partial(c_{gy}m_1)}{\partial y}+\frac{\partial(c_\theta m_1)}{\partial \theta}=T_1 \quad (5)$$

در معادلات فوق $m_0(x,y,\theta)$ بیانگر اثر طیف مرتبه صفرم، $m_1(x,y,\theta)$ بیانگر اثر طیف مرتبه اول، c_{gx} و c_{gy} مولفه‌های سرعت گروهی موج در جهات x و y، c_θ سرعت انتشار در جهت θ، θ جهت انتشار موج و T_0 و T_1 عبارت چشمه‌ایی می‌باشند. مدل موج بر روی یک مش باساختار به تعداد ۲۳۰×۶۸۸ مربع به ضلع ۱۰۰ متر و به صورت شبه‌ایستا و با دوره زمانی منطبق با دوره شبیه‌سازی مدل هیدرودینامیکی اجرا گردید. جهت اعمال اثر شکست امواج در واپاشی انرژی موج از فرمول ارایه شده توسط باتیس و جانسون استفاده گردید (Battjes and Janssen, 1978).

جفت نمودن مدل هیدرودینامیک Mike21FM با مدل انتقال-پخش: همانطور که اشاره شد با جفت نمودن مدل‌های هیدرودینامیک و انتقال-پخش، در ابتدا مدل هیدرودینامیک Mike21FM با شرایط اعمال شده به اجرا در آمده و سپس از نتایج آن جهت اجرای زیرمدل انتقال-پخش به‌طور هم‌زمان استفاده می‌گردد. معادله انتقال و پخش دو بعدی در مدل Mike21FM همان معادله موازنه جرم بر حسب غلظت است که به صورت زیر می‌باشد (Vanderborght *et al*., 2007):

$$\frac{\partial(hc)}{\partial t}+\frac{\partial(uhc)}{\partial x}+\frac{\partial(vhc)}{\partial y}-\frac{\partial}{\partial x}\left(h.D_x\frac{\partial c}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(h.D_y\frac{\partial c}{\partial y}\right)+Q_s(c_s-c)-S_c=0 \quad (6)$$

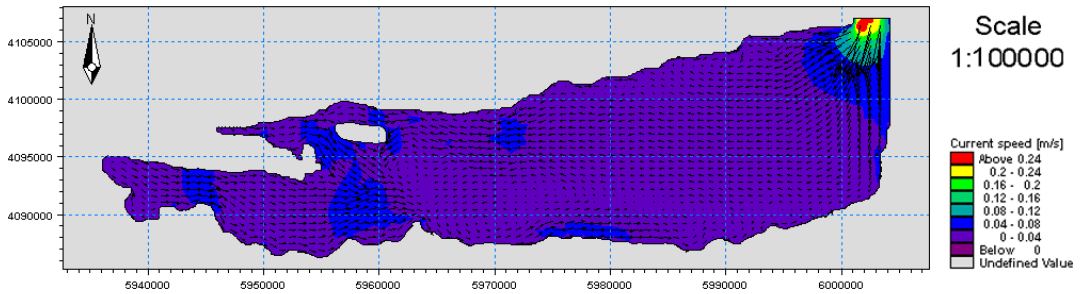
در معادلات فوق D_x و D_y به ترتیب بیانگر ضرایب نفوذ یا پخش در جهات x و y، u و v به ترتیب بیانگر سرعت در جهات x و y، S_c منبع انتشار، c غلظت ماده مورد نظر، Q_s دبی منابع ورودی و یا خروجی و h عمق آب می‌باشد. در مدل‌سازی نحوه پخش یک آلاینده پایستار که همچون مواد شیمیایی تنها می‌تواند در حلالی چون آب رفته‌رفته رقیق گردد دو نوع حرکت انتقالی و انتشاری مد نظر قرار می‌گیرد. در این تحقیق فرآیند پخش بر اساس فرمول قیاسی لزجت گردابه‌ایی مدل‌سازی شده است. بدین صورت که ضرایب پخش افقی از نتایج حل معادله لزجت گردابه‌ایی حاصل از معادلات جریان ضرب در یک عامل قیاسی به‌دست می‌آید. معمولاً برای نواحی کم عمق هم‌چون خلیج گرگان عامل قیاسی معادل ۱ نتایج بهتری خواهد داشت (Rodi, 1980). به‌منظور بررسی فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش ماهی در خلیج حادترین حالت ممکن برای یک آلودگی پایستار که هم‌چون ترکیبات آلی تجزیه‌پذیر نمی‌باشد در نظر گرفته شد. تحت چنین شرایطی می‌توان از مدل انتقال-پخش جهت بررسی نحوه جابه‌جایی و پخشودگی آلاینده استفاده نمود. بدین منظور در ۴ نقطه از خلیج منابع نقطه‌ایی آلودگی لحظه‌ایی (معادل یک گام زمانی در محاسبات) قرار داده شد (شکل ۱). نقاط مذکور در نواحی کم عمق نزدیک به سواحل خلیج (حداکثر عمق ۲ متر) و در چهار بخش شمال‌شرقی (موقعیت A به عمق ۲ متر)، شمال‌غربی (موقعیت B به عمق ۱/۸ متر)، جنوب‌غربی

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

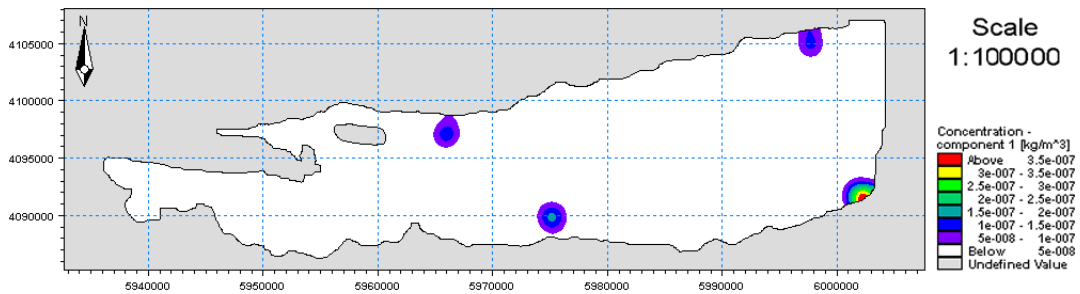
(موقعیت C به عمق ۱/۵ متر) و جنوب‌شرقی (موقعیت D به عمق ۱ متر) قرار داده شد. فرض بر آن است که غلظت اولیه آلاینده‌ها در سرتاسر خلیج صفر می‌باشد. با در نظر گرفتن مقدار ۱۰۰ برای نقطه آلایندگی و محاسبه غلظت در فواصل مختلف نسبت به منبع، درصد آلودگی در فواصل مختلف نسبت به منبع محاسبه خواهد شد. جهت اطمینان از این‌که آلودگی از یک مزرعه به مزرعه دیگر نرسد می‌توان فاصله‌ایی بین آن‌ها در نظر گرفت که در آن ۹۹/۹ درصد آلودگی رقیق شده و کاهش یافته باشد. با این روش می‌توان هم مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده به میزان ۰/۱ درصد غلظت اولیه و هم فاصله اطمینان در ۴ موقعیت در نظر گرفته شده درون خلیج گرگان را محاسبه نمود. در تحقیق حاضر از ۱۴ سناریو شامل ۷ حالت رفتی و ۷ حالت برگشتی جریان آب در دهانه ورودی خلیج و با در نظر گرفتن اثرات سه باد غالب غربی، شمالی و شمال غربی با سرعت‌های ۲/۵ و ۵ متر برثانیه در مواقع آرام جوی و باد غالب غربی با سرعت ۱۵ متر برثانیه در مواقع توفانی و در نظر گرفتن اثر امواج متناظر در هر سناریو به منظور بررسی فاصله اطمینان در خلیج گرگان استفاده شده است.

نتایج

اجرای مدل تحت ۱۴ سناریو متفاوت جهت استخراج الگوی جریان (شکل‌های ۲ و ۴) و تاثیر آن بر نحوه انتقال و پخش آلاینده‌ها در خلیج گرگان انجام شد (شکل‌های ۳ و ۵). جهت ارضای شرط پایداری، مدل با گام‌های زمانی یک ثانیه‌ای به اجرا در آمد. لازم به ذکر است که در تمامی اجراها شرایط اولیه نوسان سطح آب و مولفه‌های سرعت جریان در حوضه حل معادل صفر در نظر گرفته شد و از نتایج اجرای مدل در ۳ ساعت اولیه به منظور رسیدن مدل به حالت پایا صرف نظر گردیده است.

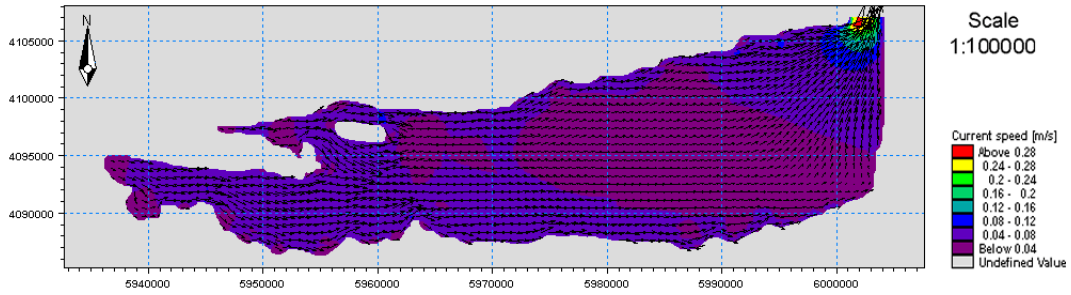


شکل ۲- نمایش بردارها و کانتورهای سرعت تحت تاثیر باد شمالی با سرعت ۵ متربرثانیه و ورود آب به خلیج گرگان.

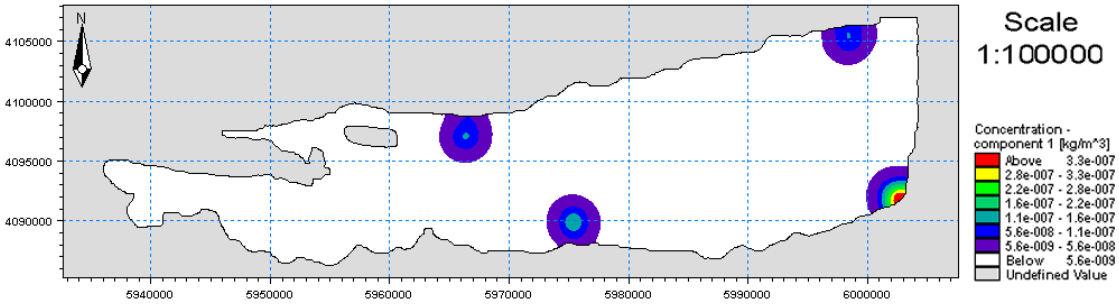


شکل ۳: انتشار آلاینده در ۴ موقعیت خلیج گرگان متاثر از باد شمالی با سرعت ۵ متربرثانیه و ورود آب به خلیج.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]



شکل ۴: نمایش بردارها و کانتورهای سرعت تحت باد غالب شمال‌غربی با سرعت ۵ متربرثانیه و خروج آب از خلیج.



شکل ۵: انتشار آلاینده در ۴ موقعیت خلیج گرگان متاثر از باد شمال غربی با سرعت ۵ متربرثانیه و خروج آب از خلیج.

نتایج اجرای مدل تحت سناریوهای ورود

آب به خلیج: خلیج گرگان با شروع فصل گرما دارای دبی مثبت از دریای کاسپی به درون خلیج می‌باشد لذا در ۷ اجرای اول (سناریوی ۱ تا ۷) از اثر سه باد غالب با چهار سرعت مختلف و با در نظر گرفتن دبی مثبت ورودی آب به میزان ۱۰۰۰ مترمکعب‌برثانیه در تنها مرز ورودی خلیج در دهانه آشوراده- بندرترکمن به عنوان شرط مرزی باز جهت مدل‌سازی نحوه انتقال و پخش آلاینده‌ها در خلیج گرگان به منظور بررسی فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش ماهی استفاده شد (جدول ۱). از طرفی مدت زمان لازم جهت رقیق شدن ۹۹/۹ درصد غلظت آلاینده تحت سناریوهای ۱ تا ۷ در جدول ۲ ارایه گردیده است. بیشینه فاصله اطمینان در موقعیت D متاثر از باد غالب غربی ۱۵ متر برثانیه و معادل ۱۰۸۱ متر محاسبه شد. بیشینه مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده به میزان ۰/۱ درصد غلظت اولیه در موقعیت D به میزان ۷۵۰۰ ثانیه و متاثر از باد غالب شمال غربی با سرعت ۲/۵ متربرثانیه محاسبه گردید. کمینه فاصله اطمینان در موقعیت A متاثر از باد غالب غربی ۵ متربرثانیه و معادل ۴۵ متر محاسبه شد. کمینه مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده به میزان ۰/۱ درصد غلظت اولیه در موقعیت C به میزان ۳۶۸۰ ثانیه و متاثر از باد غالب شمالی با سرعت ۵ متربرثانیه محاسبه گردید. بیشینه مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده به میزان ۰/۱ درصد غلظت اولیه در موقعیت D به میزان ۷۵۰۰ ثانیه و متاثر از باد غالب شمال غربی با سرعت ۲/۵ متربرثانیه محاسبه گردید. از لحاظ مدت زمان لازم جهت رقیق شدن غلظت آلاینده و در نظر گرفتن فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع موقعیت D در مقایسه با ۳ موقعیت دیگر در وضعیت کیفی نازل‌تری قرار دارد (جدول ۲).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

جدول ۱: مقادیر فاصله اطمینان (بر حسب متر) در چهار موقعیت خلیج گرگان تحت سناریوهای ۱ تا ۷

سناریو	سرعت باد (m/s)	جهت باد (درجه)	میزان دبی در دهانه خلیج (m^3/s)	فاصله اطمینان در موقعیت A	فاصله اطمینان در موقعیت B	فاصله اطمینان در موقعیت C	فاصله اطمینان در موقعیت D
۱	۲/۵	۲۷۰	+۱۰۰۰	۸۵	۹۵	۸۱	۴۴۶
۲	۵	۲۷۰	+۱۰۰۰	۴۵	۲۶۰	۱۸۵	۵۸۸
۳	۱۵	۲۷۰	+۱۰۰۰	۵۵	۲۷۶	۸۰۰	۱۰۸۱
۴	۲/۵	۳۱۵	+۱۰۰۰	۲۸۷	۱۳۷	۸۱	۵۶۵
۵	۵	۳۱۵	+۱۰۰۰	۲۲۸	۲۰۹	۱۷۵	۶۳۶
۶	۲/۵	۰	+۱۰۰۰	۲۷۲	۹۰	۸۰	۵۹۵
۷	۵	۰	+۱۰۰۰	۲۵۰	۱۱۲	۱۲۷	۶۲۸

جدول ۲: زمان رقیق شدن آلاینده به میزان ۰/۱ درصد غلظت اولیه در ۴ موقعیت خلیج گرگان تحت سناریوهای ۱ تا ۷

سناریو	سرعت باد (m/s)	جهت باد (درجه)	میزان دبی در دهانه خلیج (m^3/s)	ترقیق آلاینده در موقعیت A (برحسب‌ثانیه)	ترقیق آلاینده در موقعیت B (برحسب‌ثانیه)	ترقیق آلاینده در موقعیت C (برحسب‌ثانیه)	ترقیق آلاینده در موقعیت D (برحسب‌ثانیه)
۱	۲/۵	۲۷۰	+۱۰۰۰	۵۳۵۰	۶۱۵۰	۳۷۵۰	۷۳۵۰
۲	۵	۲۷۰	+۱۰۰۰	۵۴۰۰	۶۱۰۰	۳۷۰۰	۷۳۸۰
۳	۱۵	۲۷۰	+۱۰۰۰	۴۶۵۰	۵۹۵۰	۳۷۵۰	۶۳۵۰
۴	۲/۵	۳۱۵	+۱۰۰۰	۵۲۳۰	۶۱۰۰	۳۷۴۰	۷۵۰۰
۵	۵	۳۱۵	+۱۰۰۰	۵۲۰۰	۶۱۰۰	۳۷۰۰	۷۳۰۰
۶	۲/۵	۰	+۱۰۰۰	۵۳۰۰	۶۱۵۰	۳۷۵۰	۷۴۵۰
۷	۵	۰	+۱۰۰۰	۵۶۰۰	۶۲۳۰	۳۶۸۰	۷۲۰۰

نتایج اجرای مدل تحت سناریوهای خروج آب از خلیج: با شروع فصل سرما و کاهش سطح آب در دریای کاسپی توده‌های آب از خلیج گرگان از طریق دهانه آشوراده-بندرترکمن با دبی منفی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه خارج می‌گردند. لذا تحت چنین شرایطی در ۷ اجرای دوم (سناریوی ۸ تا ۱۴)، هدف مدل‌سازی تاثیر خروج آب از خلیج تحت اثر سه باد غالب با چهار سرعت مختلف بر نحوه انتقال و پخش آلاینده‌ها در خلیج گرگان به منظور بررسی فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش ماهی می‌باشد (جدول ۳). از طرفی مدت زمان لازم جهت رقیق شدن ۹۹/۹ درصد غلظت آلاینده تحت سناریوهای ۸ تا ۱۴ در جدول ۴ ارایه گردیده است. بیشینه فاصله اطمینان در موقعیت D متاثر از باد غالب غربی ۱۵ متربرثانیه و معادل ۱۰۹۷ متر محاسبه شد. بیشینه مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده به میزان ۰/۱ درصد غلظت

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

اولیه در موقعیت D به میزان ۷۸۰۰ ثانیه و متاثر از باد غالب غربی با سرعت ۵ متربرثانیه محاسبه گردید. کمینه فاصله اطمینان در موقعیت C متاثر از باد غالب غربی ۲/۵ متربرثانیه و معادل ۷۰ متر محاسبه شد. کمینه مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده به میزان ۰/۱ درصد غلظت اولیه در موقعیت C به میزان ۳۶۸۰ ثانیه و متاثر از باد غالب شمال غربی با سرعت ۵ متربرثانیه محاسبه گردید. بیشینه مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده به میزان ۰/۱ درصد غلظت اولیه در موقعیت D به میزان ۷۸۰۰ ثانیه و متاثر از باد غالب غربی با سرعت ۵ متربرثانیه محاسبه گردید. بطورکلی از نظر مدت زمان لازم جهت رقیق شدن غلظت آلاینده و در نظر گرفتن فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش ماهی موقعیت D در مقایسه با ۳ موقعیت دیگر در وضعیت کیفی نازل‌تری قرار دارد (جدول ۴).

جدول ۳: مقادیر فاصله اطمینان (بر حسب متر) در چهار موقعیت خلیج گرگان تحت سناریوهای ۸ تا ۱۴.

سناریو	سرعت باد (m/s)	جهت باد (درجه)	میزان دبی در دهانه خلیج (m^3/s)	فاصله اطمینان در موقعیت A	فاصله اطمینان در موقعیت B	فاصله اطمینان در موقعیت C	فاصله اطمینان در موقعیت D
۸	۲/۵	۲۷۰	-۱۰۰۰۰	۳۳۰	۱۴۵	۷۰	۵۰۴
۹	۵	۲۷۰	-۱۰۰۰۰	۳۵۴	۳۲۴	۱۸۲	۷۲۸
۱۰	۱۵	۲۷۰	-۱۰۰۰۰	۴۷۶	۸۰۰	۷۹۰	۱۰۹۷
۱۱	۲/۵	۳۱۵	-۱۰۰۰۰	۳۴۱	۱۲۶	۱۲۰	۵۶۹
۱۲	۵	۳۱۵	-۱۰۰۰۰	۳۸۱	۲۵۲	۱۹۵	۶۱۸
۱۳	۲/۵	۰	-۱۰۰۰۰	۳۵۱	۸۰	۷۵	۵۷۳
۱۴	۵	۰	-۱۰۰۰۰	۳۹۱	۱۰۹	۱۳۷	۵۸۹

جدول ۴: زمان رقیق شدن آلاینده به میزان ۰/۱ درصد غلظت اولیه در ۴ موقعیت خلیج گرگان تحت سناریوهای ۸ تا ۱۴.

سناریو	سرعت باد (m/s)	جهت باد (درجه)	میزان دبی در دهانه خلیج (m^3/s)	ترقیق آلاینده در موقعیت A (برحسب‌ثانیه)	ترقیق آلاینده در موقعیت B (برحسب‌ثانیه)	ترقیق آلاینده در موقعیت C (برحسب‌ثانیه)	ترقیق آلاینده در موقعیت D (برحسب‌ثانیه)
۸	۲/۵	۲۷۰	-۱۰۰۰۰	۵۶۳۰	۶۱۰۰	۳۷۵۰	۷۷۰۰
۹	۵	۲۷۰	-۱۰۰۰۰	۵۶۰۰	۶۱۰۰	۳۷۰۰	۷۸۰۰
۱۰	۱۵	۲۷۰	-۱۰۰۰۰	۵۱۰۰	۵۹۰۰	۳۷۵۰	۶۴۵۰
۱۱	۲/۵	۳۱۵	-۱۰۰۰۰	۵۸۵۰	۶۱۲۰	۳۷۵۰	۷۷۷۰
۱۲	۵	۳۱۵	-۱۰۰۰۰	۵۸۰۰	۶۱۵۰	۳۶۸۰	۷۶۰۰
۱۳	۲/۵	۰	-۱۰۰۰۰	۵۸۵۰	۶۲۰۰	۳۷۵۰	۷۷۵۰
۱۴	۵	۰	-۱۰۰۰۰	۵۷۰۰	۶۲۰۰	۳۷۰۰	۷۵۰۰

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

بحث

نتایج مدل‌سازی‌ها نشان داد که حداقل و حداکثر فاصله اطمینان در خلیج به‌ترتیب ۴۵ و ۱۰۹۷ متر و حداکثر و حداقل مدت زمان رقیق شدن آلاینده‌ها در خلیج به‌ترتیب ۳۶۸۰ و ۷۵۰۰ ثانیه می‌باشد. جهت به‌حداقل رسانیدن اثرات نامطلوب انتشار آلایندها تحت بارهای لحظه‌ایی می‌بایست در احداث مزارع پرورش حصاری ماهیان حداکثر فاصله را در نظر گرفت. بر اساس نتایج مدل‌سازی‌ها در بخش شمال‌شرقی (موقعیت A) خلیج گرگان می‌بایست میزان فاصله اطمینان را حداقل معادل ۴۷۶ متر، در بخش شمال‌غربی (موقعیت B) حداقل معادل ۸۰۰ متر، در بخش جنوب غربی (موقعیت C) حداقل معادل ۸۰۰ متر و در بخش جنوب‌شرقی (موقعیت D) حداقل معادل ۱۰۹۷ متر در نظر گرفت. این در حالیست که تا پیش از این تحقیق فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش حصاری ماهی در سرتاسر خلیج گرگان برابر یک فاصله واحد ۱۰۰ متری گزارش شده است (یاری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۳).

نتایج مدل‌سازی نشان داد که ترم حرکت افقی آلاینده‌ها در خلیج گرگان به‌مراتب موثرتر از ترم حرکت عرضی آلاینده‌ها می‌باشد. این نتیجه را می‌توان متاثر از نوع رژیم هیدرودینامیک جریان در خلیج گرگان دانست. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در خصوص جانمایی مزارع پرورش ماهی در خلیج گرگان، عمدتاً مزارع در عمق ۱/۵ الی ۲ متری نواحی ساحلی خلیج واقع خواهند شد (محمدخانی و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعات صورت گرفته در خصوص رژیم هیدرودینامیک جریان خلیج گرگان نشان می‌دهد که میانگین فصلی و سالانه الگوی جریان در خلیج به‌صورت پادساعتگرد می‌باشد و حداکثر مقادیر سرعت را می‌توان در دهانه آشورآده-بندرترکمن (حداکثر ۰/۲۵ متر برثانیه) و آب‌های کم عمق موازی با سواحل (حداکثر ۰/۰۸ متربرثانیه) مشاهده نمود و نتایج تحقیق حاضر نیز این مطلب را تایید می‌نماید (شربتی و حسینی، ۱۳۹۱). وجود سرعت‌های بالای جریان در نواحی منتخب مزارع پرورش حصاری ماهی سبب می‌گردد تا در اثر حرکت انتقالی آلاینده‌ها، محدوده وسیع‌تری از خلیج متاثر از پراکنش آلاینده‌ها قرار گیرد.

نتایج مدل‌سازی به خوبی نشان می‌دهد که با افزایش سرعت باد میزان انتقال آلاینده‌ها در اثر افزایش سرعت جریان افزایش چشمگیری خواهد یافت. ولیکن این موضوع در موقعیت A بالعکس می‌باشد. موقعیت A در فاصله ۷ کیلومتری از دهانه ورودی خلیج واقع گردیده است. لذا تحت سناریوهای ۱ الی ۷، ورود آب از طریق دهانه آشورآده-بندرترکمن به خلیج و حرکت توده‌های آب در اثر وزش بادهای غالب (غربی، شمالی و شمال غربی) سبب به‌وجود آمدن یک جبهه جریان در نزدیکی موقعیت A می‌گردد. این جبهه جریان سبب تداخل جریانات بادرانه شرقی‌رو با جریانات ورودی غربی‌رو گردیده و سبب افزایش اختلاط آلاینده می‌گردد. لذا می‌توان کاهش فاصله اطمینان و کاهش زمان رقیق‌شدگی را به‌همراه افزایش سرعت باد به موجب فرآیند اختلاط ناشی از برخورد دو توده جریان دانست. به غیر از موقعیت A در سناریوهای۱ تا ۷، در مابقی سناریوها افزایش سرعت باد سبب کاهش مدت زمان لازم جهت ترقیق شدن آلاینده‌ها در خلیج گرگان می‌گردد (جدول‌های ۲ و ۴). تغییر در جهت وزش باد نیز بر میزان فواصل اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش ماهی تاثیرگذار می‌باشد ولیکن این اثر در مقایسه با تاثیر سرعت باد کم‌تر می‌باشد.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

مقایسه اثر دبی ورودی آب در دهانه آشورآده-بندرترکمن بر میزان فاصله اطمینان تحت ۱۴ سناریوی مدل‌سازی شده نشان می‌دهد که فصول گرم سال به‌دلیل ورود آب به درون حوضه خلیج گرگان و اثر بادهای غالب (غربی، شمالی و شمال غربی)، موجبات افزایش فرآیند اختلاط آب در خلیج فراهم گردیده و لذا فاصله اطمینان و مدت زمان رقیق شدن آلاینده‌ها کاهش می‌یابد. ولیکن در فصول سرد سال به‌دلیل هم‌سو شدن جریانات بادرانه شرقی‌رو با جریانات خروجی از دهانه آشورآده-بندرترکمن میزان فاصله اطمینان و مدت زمان رقیق شدن آلاینده‌ها افزایش می‌یابد.

نتایج مستخرج از مدل‌سازی‌ها تحت ۱۴ سناریوی مفروض به خوبی نشان داده است که با کاهش عمق میزان انتقال و مدت زمان رقیق شدن آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. به عنوان مثال مزرعه قرار گرفته در موقعیت D با عمقی معادل یک متر در تمامی سناریوها دارای فاصله اطمینان و مدت زمان رقیق‌شدگی بیشتری بوده است. لذا می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که مزارع پرورش ماهی قرار گرفته در نواحی کم عمق در مقایسه با نواحی عمیق‌تر به‌دلیل خودپالایی کمتر بیشتر در معرض آلاینده‌ها قرار خواهند گرفت و لذا می‌بایست فاصله اطمینان در نظر گرفته شده فی‌مابین آن‌ها را افزایش داد.

نتایج کلی حاصل از تحقیق

۱. جهت احداث مزارع پرورش حصاری ماهیان در بخش شمال‌شرقی خلیج گرگان (موقعیت A) می‌بایست میزان فاصله اطمینان را معادل ۴۷۶ متر، در بخش شمال‌غربی (موقعیت B) معادل ۸۰۰ متر، در بخش جنوب‌غربی (موقعیت C) معادل ۸۰۰ متر و در بخش جنوب‌شرقی (موقعیت D) معادل ۱۰۹۷ متر در نظر گرفت.
۲. با افزایش سرعت باد میزان فاصله اطمینان افزایش یافته ولیکن مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده در خلیج به موجب افزایش فرآیند اختلاط کاهش می‌یابد و بالعکس.
۳. فاصله اطمینان و مدت زمان رقیق‌شدگی آلاینده‌ها در خلیج گرگان به موجب افزایش فرآیند اختلاط در فصول گرم سال متاثر از دبی ورودی آب از دهانه و وزش بادهای غالب در قیاس با فصول سرد سال کاهش می‌یابد و بالعکس.
۴. با کاهش عمق، میزان فاصله اطمینان و مدت زمان لازم جهت رقیق شدن آلاینده در خلیج افزایش می‌یابد و بالعکس.
۵. با توجه به توپوگرافی بستر و رژیم هیدرودینامیک حاکم بر خلیج گرگان تعیین فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش حصاری ماهی در خلیج منوط به مدل‌سازی نقطه به نقطه تحت اعمال شرایط توفانی در این حوضه آبی می‌باشد و ارایه یک عدد مطلق در خصوص فاصله اطمینان و تعمیم آن به کل خلیج کار صحیحی نخواهد بود و در آینده موجبات وارد ساختن صدمات اقتصادی و بوم‌شناختی جبران ناپذیر به خلیج گرگان خواهد شد.

سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم می‌دانیم که از زحمات تمام کسانی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند سپاسگزاری نماییم.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

منابع

۱. جوانی، ع.، ۱۳۹۱. مدل‌سازی توزیع مکانی آلودگی‌های مختلف در خلیج گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۶ صفحه.

۲. رحیمی‌پورانارکی، ح.، ۱۳۸۱. بررسی هیدرودینامیک جریان و پیش بینی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در خلیج گرگان. گزارش طرح تحقیقاتی، شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی، ۸۵ صفحه.

۳. شربتی، س.، ایمانپور، م.ر.، گرگین، س.، حسینی، س.س.، ۱۳۸۹. فاز اول مطالعات شبیه‌سازی کوتاه مدت جریانات دریایی در خلیج گرگان. گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۴۱ صفحه.

۴. شربتی، س.، حسینی، س.س.، ۱۳۹۱. شبیه‌سازی دو بعدی الگوی جریان خلیج گرگان در خلال یک دوره یک‌ساله. گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۹ صفحه.

۵. عقیلی، ک.، آقایی‌مقدم، ع.، تازیکه، ا.، ۱۳۹۳. سنجش و ارزیابی میزان اکسیژن خلیج گرگان جهت پرورش ماهی در محیط‌های محصور و قفس. اولین همایش آبزی‌پروری نوین-چالش‌ها و فرصت‌ها، گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۳۰ مهر و ۱ آبان ۱۳۹۳، ۱۵ صفحه.

۶. عقیلی، ک.، آقایی‌مقدم، ع.، شریفیان، م.، عقیلی، م.، میرهاشمی‌رستمی، ا.، بندانی، غ.، تازیکه، ا.، خوشباوررستمی، ح.، حق‌پناه، ع.، ایری، ی.، ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات سالانه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خلیج گرگان جهت پرورش ماهی کپور در محیط محصور و قفس. اولین همایش آبزی‌پروری نوین-چالش‌ها و فرصت‌ها، گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۳۰ مهر و ۱ آبان ۱۳۹۳، ۱۵ صفحه.

۷. محمدخانی، ح.، طاهری‌شهرآیینی، ح.، یلقی، س.، حامی‌طبری، ا.، ۱۳۹۳. مدل‌سازی کیفی دوبعدی و مکان‌یابی آبزی‌پروری در خلیج گرگان بر اساس توان خودپالایی. اولین همایش آبزی‌پروری نوین-چالش‌ها و فرصت‌ها، گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۳۰ مهر و ۱ آبان ۱۳۹۳، ۱۵ صفحه.

۸. محمدخانی، ح.، طاهری‌شهرآیینی، ح.، یلقی، س.، ۱۳۹۳. هیدروگرافی خلیج گرگان اولین قدم در مطالعات آبزی‌پروری. اولین همایش آبزی‌پروری نوین-چالش‌ها و فرصت‌ها، گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۳۰ مهر و ۱ آبان ۱۳۹۳، ۱۵ صفحه.

۹. یاری‌نسب، آ. ۱۳۹۱. مدل‌سازی کیفیت آب خلیج گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۰۶ صفحه.

۱۰. یاری‌نسب، آ.، طاهری‌شهرآیینی، ح.، محمدخانی، ح.، پورصوفی، ط.، منصوری، ب. ۱۳۹۳. مدل‌سازی هیدرودینامیکی و شوری خلیج گرگان به منظور استخراج فاصلهٔ اطمینان بین مزارع پرورش ماهی تحت بار آلودگی لحظه‌ای. نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران. دوره ۶۶، شماره ۴، ۱۳ صفحه.

11. Battjes, J. a., Janssen, J. P. F. M., 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. Proc. 16th International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, 569-587.
12. Changjun, Z., Feng, Y., Wenlong, H., 2013. Reduction of Waste Water in Erhai Lake Based on MIKE21 Hydrodynamic and Water Quality Model. The Scientific World Journal, 3(2), 1-9.
13. Manual of MIKE 21 NSW. 2007. Near shore Spectral Wind-Wave Module. Danish Hydraulic Institute (DHI Software), 76 p.
14. Manual of MIKE21 Flow Model FM. 2007. Transport Module user guide, Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module. Danish Hydraulic Institute (DHI Software), 53-61.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]

15. Manual of MIKE21. 2007. Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module. Danish Hydraulic Institute (DHI Software), 32-50.
16. Pillay, T. V. R., Kutty, M. N., 2005. Aquaculture: Principles and Practices. Second Edition. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, England, 624 p.
17. Rodi, W., 1980. Turbulence Models and Their Application in Hydraulics-A State of the Art Review. International Association for Hydro-Environmental Engineering and Research Publications, 37 p.
18. Sharbaty, S., 2012. Simulation of wind driven Waves in the Gorgan Bay. International Journal of Computational Engineering Research, 3(2), 40-44.
19. Tay, Y. C., Todd, P. A., Rosshaug, P. S., Chou, L. M., 2012. Simulating the transport of broadcast coral larvae among the Southern Islands of Singapore. Journal of Aquatic Biology, 15(1), 283–297.
20. Vanderborght, J. P., Folmer, I. M., Aguilera, D. R., Uhrenholdt, T., Regnier, P., 2007. Reactive-transport modelling of C, N and O_2 in a river–estuarine–coastal zone system: Application to the Scheldt estuary, Journal of Marine Chemistry, 106, 92-110.
21. Wu, J., 1994. The sea surface is aerodynamically rough even under light winds. Journal of boundary layer meteorology, 69, 149-158.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1394.9.1.6.9]