[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]

[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

مدل‌سازی اثرات کاهش سطح آب بر فاصله بهینه قفس‌های پرورش ماهی در خلیج گرگان

سعید شربتی*

*s_sharbaty@yahoo.com

گروه تولید و بهره برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۷

چکیده

با کاهش سطح خلیج گرگان متاثر از کاهش سطح آب دریای کاسپی میزان فاصله بهینه بین پن‌های پرورش ماهی تغییر خواهد نمود. هدف تحقیق حاضر بررسی تغییرات فاصله بهینه ناشی از کاهش سطح آب با جفت نمودن دو ماژول هیدرودینامیک و انتقال-پخش از مدل مایک۲۱ تحت ۱۵ سناریو با در نظر گرفتن باد غالب غرب‌وزان در سه سرعت و در ۵ تراز مختلف می‌باشد. تنش تابشی موج با استفاده از ماژول موج نزدیک به ساحل در ۱۵ سناریو اجرا شد و به عنوان ورودی در مدل‌های هیدرودینامیک بکار گرفته شد. با مدل‌سازی شوری در سال شاخص ۱۳۹۰ در تراز ۲۶/۵ متر، ضریب پخش استخراج و از آن در سایر مدل‌سازی‌ها استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی در بیشتر سناریوها بیانگر جابجایی آلاینده در راستای باد غالب از غرب به شرق در مزرعه جنوب غربی و جابجایی آلاینده مخالف جهت باد غالب و از شرق به غرب در مزرعه شمال شرقی می‌باشد. عمدتاً افزایش سرعت باد و کاهش تراز آب سبب افزایش میزان فاصله بهینه و کاهش مدت زمان رقیق‌شدگی آلاینده می‌گردد. بیشینه میانگین فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی و جنوب غربی به‌ترتیب ۴۸۷ و ۲۶۱۵ متر در تراز ۲۸ متر برآورد گردید. کمینه میانگین فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی و جنوب غربی به‌ترتیب ۱۹۴ و ۹۹۹ متر و در ترازهای ۲۶/۵ و ۲۶ متر برآورد گردید. به‌منظور کاهش بلایای بوم‌شناختی و اقتصادی ناشی از اثرات کاهش سطح آب دریای کاسپی بر فاصله بهینه مزارع در آینده، توصیه می‌گردد نسبت به جانمایی مجدد مزارع پرورش ماهی در خلیج گرگان اقدام گردد.

واژگان کلیدی: خلیج گرگان، فاصله بهینه، کاهش سطح آب، مزارع پرورش ماهی، مدل‌سازی

*نویسنده مسئول

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

مقدمه

فراهم آوردن برنامه غذایی کشور و نبود وابستگی به کشورهای بیگانه یکی از کارکردهای بنیادین اقتصاد مقاومتی می‌باشد (شریفی‌فدیجی و همکاران، ۱۳۹۴). صنعت شیلات ایران به موجب همجواری با دریاهای خلیج فارس، عمان و کاسپی دارای توانش[1] فراوان برای گسترش می‌باشد. با رویکرد به کاهش چشمگیر ذخایر آبزیان در دریاها، سازمان شیلات ایران گسترش مزارع آبزی‌پروری در پهنه‌های آبی را به عنوان یکی از برنامه‌های اقتصاد مقاومتی در دستور کار خود قرار داده است (امینی، ۱۳۹۵).

خلیج گرگان به دلیل نگهداشت از فرآیندهای هیدرودینامیک دریای کاسپی بواسطه وجود زبانه ماسه‌ای میانکاله از توجه ویژه‌ای برای گسترش مزارع آبزی‌پروری برخوردار گردیده است (شکل ۱). در سال ۱۳۸۶ هیات دولت برنامه امکان‌سنجی آبزی‌پروری در خلیج و واگذاری مزارع را به بخش مردمی در دستور کار اداره شیلات گلستان قرار داد. نتایج پژوهش و سنجش استانداردهای زیستی ماهیان با عوامل کیفی آب نشان داد که خلیج برای پرورش ماهی کپور معمولی، ماهی آزاد، قزل‌آلا و فیل ماهی مناسب می‌باشد (امینی، ۱۳۹۵). با این وجود، اجرای طرح فوق بنا به دلایل محیط زیستی تا به امروز مسکوت مانده است.

دریای کاسپی که در ایران به اشتباه آن را به نام خزر می‌شناسند (موحد، ۱۳۶۱؛ رضا، ۱۳۸۷)، در طبقه‌بندی دریاها جزو دریاهای بسته بشمار می‌رود و بجا مانده از دریای قدیم تتیس می‌باشد. ویژگی‌های ذاتی دریای کاسپی در خصوص نوسان‌های سطح آب سبب می‌گردد تا استفاده از پهنه‌های کم عمق این دریا همچون خلیج گرگان با نگرانی‌های بسیاری همراه گردد. هندسه آبی پهنه خلیج گرگان متاثر از نوسان‌های سطح آب دریای کاسپی در درازای تاریخ عمدتاً به علت تغییرات هیدروکیلیماتولوژی حاکم بر حوزه آبخیز دریای کاسپی همیشه در حال دگرگونی بوده است (عمادالدین و همکاران، ۱۳۹۳). با افزایش و کاهش سطح آب در دریای کاسپی، مساحت و حجم خلیج گرگان بترتیب افزایش و کاهش می‌یابد (Amozadeh and Kanani, 2008). پژوهش‌ها احتمال کاهش سطح دریای کاسپی را متاثر از تغییرات اقلیمی تا سال ۲۱۰۰ میلادی بیان می‌دارد (Chen *et al*., 2017).

از سوی دیگر، گسترش مزارع پرورش ماهی نیازمند تعیین فاصله بهینه بین مزارع می‌باشد. فاصله بهینه بیانگر کمترین فاصله مورد نیاز برای به کمینه رساندن اثرات نامطلوب انتشار مواد آلاینده ناشی از آبزی‌پروری بین مزارع می‌باشد (یاری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۲). به بیان دیگر، در صورت نبود رعایت فاصله بهینه بین مزارع پرورش ماهی توانایی سرایت آلودگی‌ها از مزرعه ناسالم به مزرعه سالم وجود دارد و این امر متاثر از رژیم هیدرودینامیک حاکم بر پهنه آبی به صورت زنجیره‌وار به سایر مزارع وارد می‌شود و سرانجام موجبات وارد آمدن زیان‌های اقتصادی و چه بسا زیست محیطی جبران‌ناپذیر خواهد شد.

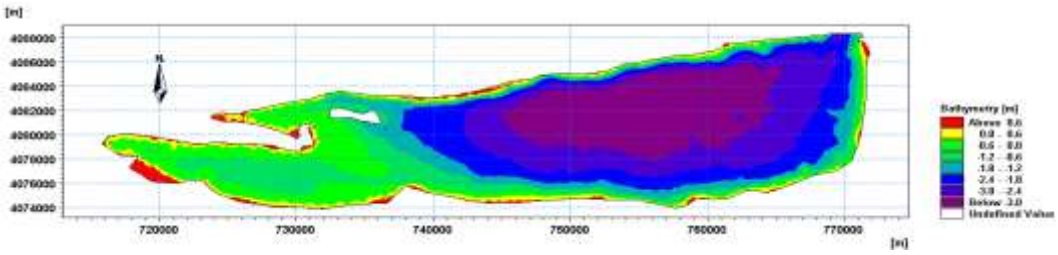
تاکنون دو پژوهش برای مدل‌سازی فاصله بهینه بین مزارع پرورش ماهی در خلیج گرگان توسط شربتی (۱۳۹۴) و یاری‌نسب و همکاران (۱۳۹۲) انجام گرفته است. متاسفانه در هیچیک از پژوهش‌های مذکور موضوع با ارزش کاهش و افزایش سطح و حجم آب در خلیج گرگان بواسطه نوسان سطح آب در دریای کاسپی و اثرات آن بر دگرگونی‌های فاصله بهینه مورد توجه نبوده است.

در پژوهش پیش‌رو فرض بر آن است که آلاینده‌های ناشی از آبزی‌پروری تجزیه‌ناپذیر هستند و پس از ورود به پهنه آبی تنها می‌توانند متاثر از فرآیندهای پویایی در محیط آبی رقیق گردند. در ادامه مقاله شیوه مدل‌سازی آلاینده و نحوه انتشار آن تحت سناریوهای مفروض کاهش سطح آب بررسی خواهد شد.

مواد و روش کار

خلیج گرگان حوضه دریای نیمه بسته‌ای است که با طول تقریبی ۶۰ کیلومتر و حداکثر عرض ۱۲ کیلومتر در بخش جنوبی خود با استان‌های مازندران و گلستان و در بخش شمالی نیز توسط شبه جزیره میانکاله احاطه گردیده است.

[1] Potential



شکل ۱: نقشه عمق‌سنجی خلیج گرگان
Figure 1: Bathymetric map of Gorgan Bay

خلیج گرگان تنها خلیج ایران در آب‌های سواحل جنوبی دریای کاسپی و جزو ۲۲ تالابی است که در کنوانسیون رامسر به ثبت بین‌المللی رسیده است و لذا انتصاب نام تالاب میانکاله به آن صحیح نمی‌باشد. مساحت خلیج در سال ۱۳۹۰ و در تراز منفی ۲۶/۵ متر نسبت به سطح خلیج فارس بالغ بر ۴۶۰ کیلومترمربع و حداکثر عمق آن ۳/۹ متر بوده است (شربتی و قانقرمه، ۱۳۹۴).

مدل دو بعدی هیدرودینامیک مایک ۲۱، یک سازگان مدل‌سازی پیشرفته جهت شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرودینامیکی است و از آن می‌توان جهت جفت نمودن با ماژول‌های دیگر هم‌چون انتقال-پخش استفاده نمود. نظر به حجیم بودن معادلات بکار رفته در مدل پیشنهاد می‌گردد خوانندگان محترم مقاله به خودآموز ریاضی نرم‌افزار مایک ۲۱ مراجعه نمایند (Manual of Mike21 FM, 2014). نقشه عمق‌سنجی خلیج گرگان با استفاده از سه نقشه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به‌صورت یک مش بی‌ساختار با ۷۳۷۱ گره و ۱۴۱۵۷ یال و در ۵ تراز کاهشی منفی ۲۶، ۲۶/۵، ۲۷، ۲۷/۵ و ۲۸ متر نسبت به سطح خلیج فارس ساخته شد.

در پژوهش کنونی برای کاهش زمان و حجم مدل‌سازی‌ها تنها از باد غالب غربی با سه سرعت ۳، ۵/۵ و ۱۰/۵ متر بر ثانیه بر پایه وارسی گل‌باد ایستگاه اقلیم‌شناسی بندرترکمن با طول آمار ۲۳ ساله (۹۶-۱۳۷۴) و میانگین سالانه بارش و تبخیر ۶۰۲ و ۱۴۹۰ میلی‌متر در سال استفاده شده است. بر اساس نتایج تحقیق مروتی و همکاران (۱۳۸۶)، فرمول ارایه شده توسط گروه مهندسی نیروی دریای ارتش ایالات متحده آمریکا (Coastal Engineering Manual, 2006)، مناسب‌ترین رابطه جهت استخراج ضریب پسای باد در سطح خلیج گرگان می‌باشد. بر این پایه کمینه و بیشینه مقادیر ضریب پسا در سطح خلیج به‌ترتیب معادل ۰/۰۰۱۲۰۵ و ۰/۰۰۱۸۹۱ برآورد و در مدل‌سازی‌ها استفاده شد. در پژوهش حاضر از میانگین ماهانه دبی ۱۳ رودخانه منتهی به خلیج استفاده شد (مهندسین کنکاش عمران، ۱۳۸۷). مقاومت بستر بر اساس عمق آب به‌صورت متغیر در مکان و ثابت در زمان در نظر گرفته شد. بر این اساس تمامی اعماق کمتر از ۲ متر شامل عدد مانینگ ۳۲ و تمامی اعماق بیشتر از ۲ متر شامل عدد مانینگ ۳۶ انتخاب گردید. به رغم عرض جغرافیایی محدود خلیج گرگان از نیروی کوریولیس در مدل‌سازی‌ها استفاده شد.

نظر به عدم دسترسی به اطلاعات دبی آب در مرز باز مدل واقع در دهانه آشوراده-بندرترکمن در ترازهای تحت بررسی نسبت به براورد حداقل نیاز آبی خلیج از دریای کاسپی به واسطه فرآیند تبخیر از سطح آن با محاسبه مساحت خلیج گرگان در هر تراز اقدام و از آن به عنوان شرط مرز باز در مدل‌سازی‌ها استفاده گردید (جدول ۱).

جدول ۱: کمینه نیاز آبی خلیج گرگان در ترازهای کاهشی سطح آب.
Table 1: Minimum Gorgan Bay water requirments in declining water levels.

تراز آب (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	کمینه نیاز آبی (متر مکعب بر ثانیه)
-۲۶	۴۸۰	۲۳
-۲۶/۵	۴۶۰	۲۲
-۲۷	۴۰۰	۲۰
-۲۷/۵	۳۳۰	۱۵/۷
-۲۸	۳۱۰	۱۴/۷

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

در این پژوهش از مولفه‌های تنش تابش امواج S_{yy} و S_{xy} و S_{xx} منتج از باد غالب غربی تحت سه سرعت با استفاده از ماژول موج نزدیک به ساحل[1] از نرم‌افزار مایک۲۱ در هر تراز به عنوان ورودی به مدل جریان استفاده گردید (MIKE21NSW, 2007). مدل موج بر روی ۵ مش باساختار به تعداد ۲۳۰×۶۸۸ متر مربع و به ضلع ۱۰۰ متر و به صورت شبه‌ایستا و با دوره زمانی منطبق با دوره شبیه‌سازی مدل هیدرودینامیک متناظر با پنج سناریو کاهشی اجرا گردید.

هنگامی که داده‌های مناسب برای تعیین ضریب پخش یک آلاینده پایدار و تجذیه‌ناپذیر همچون شوری موجود نباشد، بهترین شیوه برای تعیین ضریب پخش آلاینده پایدار، مدل‌سازی شوری در پهنه آبی و استفاده از ضریب پخش شوری در مدل‌سازی آلاینده البته مشروط به استفاده از گام زمانی و مکانی بکار گرفته شده در مدل شوری در مدل‌سازی آلاینده می‌باشد (Arndt *et al.*, 2007). نظر به اهمیت ضریب پخش در مدل‌سازی پخش آلاینده نسبت به شبیه‌سازی دو بعدی دما و شوری در خلیج گرگان در بازه زمانی یکساله ۱۳۹۰ با گام زمانی ۳۰ ثانیه‌ای با استفاده از مدل بی‌ساختار مایک ۲۱ اقدام گردید. جهت اعمال نوسان سطح آب به مرز باز مدل از داده‌های ایستگاه نوسان‌نگاری آشورآده متعلق به شرکت آب منطقه‌ای گلستان استفاده شد. جهت اعمال مقادیر دما در مرز باز مدل از داده‌های دمای سطح دریا (۱۳۹۰ خورشیدی) مستخرج از تارنمای کوست‌واچ[2] و با فواصل زمانی یک روزه استفاده شد. جهت اعمال مقادیر شوری در مرز باز مدل واقع در دهانه آشوراده-بندرترکمن، در سال ۱۳۹۰، از داده‌های متعلق به مرکز ذخایر آبزیان داخلی استان گلستان (جوانی، ۱۳۹۱) و داده‌های اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان (باقری، ۱۳۹۱) به‌صورت ماهانه استفاده شده است. برای اعمال تبادل گرمایی خلیج با جو از داده‌های رطوبت نسبی و دمای هوا مستخرج از ایستگاه خودکار هواشناسی بندرترکمن با فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ایی و نیز پرتوهای طول موج کوتاه و بلند مستخرج از تارنمای کوست‌واچ با دقت یک کیلومتر و فاصله زمانی یک ساعته به صورت ثابت در مکان و متغیر در زمان استفاده شده است. نظر به فقدان داده‌های جریان‌سنجی در بازه زمانی مدل‌سازی نسبت به مقایسه مقادیر سرعت و الگوی جریان مستخرج از مدل‌سازی با نتایج بدست آمده از محققین پیشین در پهنه خلیج گرگان استفاده شده است. همچنین از ضرایب پسای باد و مقاومت بستر جهت کالیبراسیون و درستی‌یابی نتایج مدل هیدرودینامیک استفاده شده است. در تحقیق حاضر پس از بارها اجرای مدل و مقایسه نتایج با داده‌های میدانی دما، از ضرایب a_1 و b_1 بترتیب معادل ۴ و ۳/۵ جهت محاسبه شار گرمای نهان تبخیر و همچنین از ضرایب β و λ به‌ترتیب معادل ۰/۵ و ۱ جهت تنظیم فرآیند تضعیف نور در عمق آب استفاده شد. از دما و شوری فروردین لغایت آبان در ۱۹ موقعیت از خلیج متعلق به مرکز ذخایر آبزیان داخلی استان گلستان (جوانی، ۱۳۹۱)، همچنین از دما و شوری متعلق به اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان در اسفند ماه از ۲۱ موقعیت درون خلیج (باقری، ۱۳۹۱) پس از آنالیز با شاخص‌های آماری استفاده شد.

در این پژوهش برای کاهش حجم محاسبات تنها نسبت به جانمایی دو مزرعه در بخش شمال شرقی به ژرفای ۲/۸ متر و جنوب غربی به ژرفای ۲/۵ متر در تراز پایه ۲۶/۵ متر در خلیج برای مدل‌سازی انتقال و پخش آلاینده استفاده شد. در مایک۲۱ معادله انتقال و پخش دو بعدی همان معادله موازنه جرم بر پایه غلظت می‌باشد و جهت آشنایی با معادلات بکار رفته در مدل پیشنهاد می‌گردد تا خوانندگان محترم به خودآموز ریاضی مدل مایک ۲۱ بخش انتقال-پخش از نسخه ۲۰۱۴ مراجعه فرمایند.

برای برآورد فاصله بهینه بین مزارع پرورش ماهی در خلیج گرگان بدترین حالت برای یک آلودگی پایستار که مانند ترکیبات آلی تجزیه‌پذیر نمی‌باشد، در نظر گرفته شده است. فرض بر آن است که غلظت نخستین آلاینده در سرتاسر خلیج صفر می‌باشد. با چنین انگاره‌ای از میزان ۱۰۰ درصد (معادل ۱ کیلوگرم از یک آلاینده) برای نقطه آلایندگی و برآورد غلظت در فواصل مختلف نسبت به

[1] Near Shore Wave Model
[2] Coast Watch

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

منبع، درصد آلودگی در فواصل گوناگون نسبت به منبع آلودگی برآورد خواهد شد. برای اطمینان از اینکه آلودگی از یک مزرعه به مزرعه دیگر نرسد، می‌توان فاصله‌ای بین آنها برگزید که در آن ۹۹/۹ درصد آلودگی رقیق شده باشد (یاری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۲). بر این پایه مدل هیدرودینامیک به صورت همزمان با مدل انتقال-پخش با گام‌های زمانی ۱ ثانیه‌ای و با شرایط اولیه و ثانویه مذکور به اجرا در آمد. جهت اجرای مدل‌سازی‌ها از سرور دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با مشخصات سخت‌افزاری ویندوز سرور ۲۰۰۸ آر۲، رم ۳۲ گیگا بایت و سی‌پی‌یو دو هسته‌ای زنون ۲/۶۷ گیگا هرتز استفاده شد.

نتایج

نظر به آنکه سرعت جریان یکی از عوامل مهم در انتشار و کاهش غلظت آلاینده در محیط آبی می‌باشد، لذا کاهش و یا افزایش سرعت جریان می‌تواند تاثیر بسزایی در سرنوشت نهایی آلاینده داشته باشد. نتایج مستخرج از مدل‌سازی در خصوص الگوی جریان بیانگر وجود یک گردش پادساعت‌گرد در غالب مواقع در خلیج گرگان می‌باشد. میانگین، حداقل و حداکثر سرعت جریان در خلیج بترتیب برابر ۰/۰۲، ۰/۰۱ و ۰/۴ متر بر ثانیه مدل‌سازی شد. باد غرب‌وزان در بیشتر ایام سبب بوجود آمدن اختلاف سطح آب از سمت غرب به شرق می‌گردد. مقایسه خروجی مدل با اندازه‌گیری‌های میدانی دما و شوری از طریق آزمون‌های آماری در جدول ۲ ارائه شده است. در این پژوهش انتخاب ضریب پخش شوری بر پایه عامل قیاسی و برابر ۱ منجر به همبستگی متوسط پیرسون بین نتایج مدل‌سازی دما و شوری با داده‌های میدانی گردیده است.

نتایج مستخرج از مدل‌سازی در هر سناریو به صورت مولفه‌های جابجایی آلاینده در دو راستای شرقی-غربی و شمالی-جنوبی بررسی شدند و فاصله بهینه و مدت زمان رقیق شدن آلاینده برآورد گردید. همراه با کاهش سطح آب در خلیج، میزان ژرفای هر مزرعه پرورش ماهی نیز کاهش خواهد یافت. بررسی نتایج مدل‌سازی‌ها نشان می‌دهد که با کاهش تراز سطح آب میانگین میزان فاصله بهینه در مزرعه جنوب غربی افزایش یافته است، ولی در مزرعه شمال شرقی میزان فاصله بهینه نه تنها متاثر از کاهش سطح آب بلکه متاثر از الگوی جریان نیز قرار دارد. جدول‌های ۳ و ۴ بترتیب میزان فاصله بهینه و زمان رقیق شدن آلاینده را در هر تراز کاهشی سطح آب نشان می‌دهد.

جدول ۲: مقایسه آماری نتایج مستخرج از مدل‌سازی شوری و دما با داده‌های میدانی.

Table 2: Statistical comparison of results from salinity and temprature modeling with field data.

	[1]R	[2]RMSE	[3] MAD	[4] REP	[5]AE
میانگین دما	۰/۵۵	۱/۹۵	۰/۳۲	۷/۱۳	۲/۰۷
میانگین شوری	۰/۵۱	۱/۶۹	۰/۰۸	۱۰/۶۶	۱/۵۸

1. Pearson Correlation Coefficient
2. Root Mean Square Error
3. Mean Absolute Error
4. Relative Error Percent
5. Absolute Error

بیشینه و کمینه فاصله بهینه در تراز ۲۶ متر بترتیب ۱۱۳۰ متر در مزرعه جنوب غربی و ۸۱ متر در مزرعه شمال شرقی می‌باشد. شکل ۲ بردارهای سرعت جریان و پراکنش آلاینده را از مزارع تحت وزش باد غربی با سرعت ۳ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. بیشینه و کمینه فاصله بهینه در تراز ۲۶/۵ متر بترتیب ۲۲۴۹ متر در مزرعه جنوب غربی و ۸۹ متر در مزرعه شمال شرقی می‌باشد. در تراز ۲۷ متر فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی با افزایش سرعت باد غالب کاهش یافته ، ولی در مزرعه جنوب غربی افزایش یافته است. بررسی نتایج مدل‌سازی در تراز منفی ۲۷/۵ متر بیانگر کاهش فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی و افزایش فاصله بهینه در مزرعه جنوب غربی با افزایش سرعت باد همراه می‌باشد. بیشینه فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی برابر ۴۶۶ متر ناشی از باد غربی با سرعت ۳ متر بر ثانیه (شکل ۳) و بیشینه فاصله بهینه در مزرعه جنوب غربی برابر ۲۶۵۲ متر و ناشی از باد غربی با سرعت ۱۰/۵ متر بر ثانیه محاسبه گردید.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]

[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

جدول ۳: فاصله بهینه (متر) در هر تراز کاهشی متاثر از سه سرعت باد غالب در مزرعه شمال شرقی و جنوب غربی.

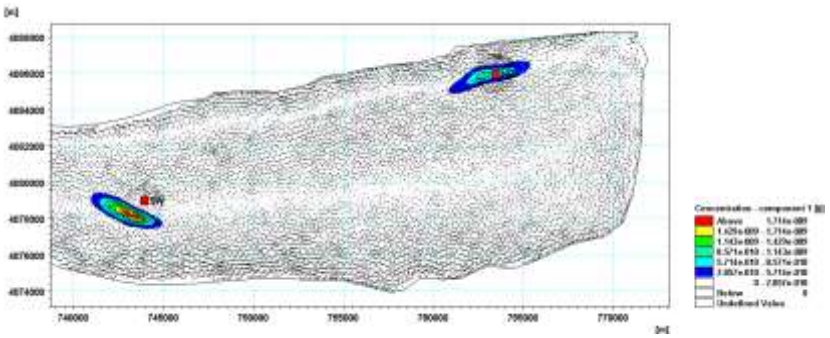
Table 3: Optimum Distance (m) at each reduction level influenced by 3 speeds of prevailing wind in the northeast and southwest farm.

موقعیت مزرعه	سرعت باد غربی (m/s)	-۲۶ (m)	-۲۶/۵ (m)	-۲۷ (m)	-۲۷/۵ (m)	-۲۸ (m)
شمال شرقی	۳/۰	۶۸۷	۸۹	۵۳۴	۴۶۶	۴۶۶
	۵/۵	۸۱	۲۷۲	۳۶۵	۴۵۴	۴۹۴
	۱۰/۵	۱۳۸	۲۲۳	۳۷۳	۴۳۶	۵۰۰
جنوب غربی	۳/۰	۱۱۳۰	۸۴۶	۱۱۵۵	۲۲۱۹	۲۴۶۲
	۵/۵	۸۶۵	۹۳۹	۱۵۷۸	۱۰۸۹	۲۵۹۹
	۱۰/۵	۱۰۰۴	۲۲۴۹	۱۸۹۲	۲۶۵۲	۲۷۸۴

جدول ۴:زمان رقیق شدن آلاینده (s) در هر تراز کاهشی متاثر از سه سرعت باد غالب در مزرعه شمال شرقی و جنوب غربی.

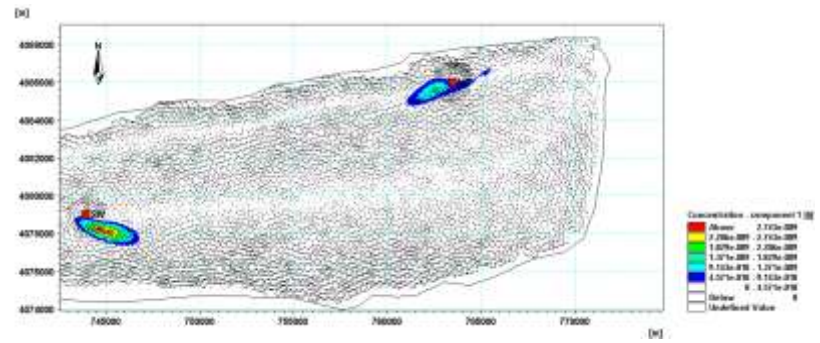
Table 4: The pollutant dilution time (s) at each reduction level influenced by 3 speeds of prevailing wind in the northeast and southwest farm.

موقعیت مزرعه	سرعت باد غربی (m/s)	-۲۶ (m)	-۲۶/۵ (m)	-۲۷ (m)	-۲۷/۵ (m)	-۲۸ (m)
شمال شرقی	۳	s۱۴۷۸۵۰	s۸۲۱۰۰	s۱۲۱۶۰۰	s۹۹۶۰۰	s۹۰۶۰۰
	۵/۵	s۸۵۶۰۰	s۶۹۸۵۰	s۵۸۶۰۰	s۵۳۸۵۰	s۴۷۶۰۰
	۱۰/۵	s۵۰۴۶۰	s۳۳۱۰۰	s۲۹۱۰۰	s۲۵۶۰۰	s۲۲۸۵۰
جنوب غربی	۳	s۲۵۰۱۰۰	s۱۵۲۶۰۰	s۲۱۲۶۰۰	s۱۸۸۱۰۰	s۱۶۰۱۰۰
	۵/۵	s۱۴۱۱۵۰	s۱۲۲۱۰۰	s۱۱۹۳۵۰	s۱۱۶۶۰۰	s۸۷۶۰۰
	۱۰/۵	s۶۲۳۸۰	s۵۹۸۵۰	s۵۲۱۰۰	s۵۴۱۰۰	s۴۳۱۰۰



شکل ۲: توزیع سرعت جریان و پراکنش آلاینده از دو مزرعه پرورش ماهی در تراز ۲۶ متر.

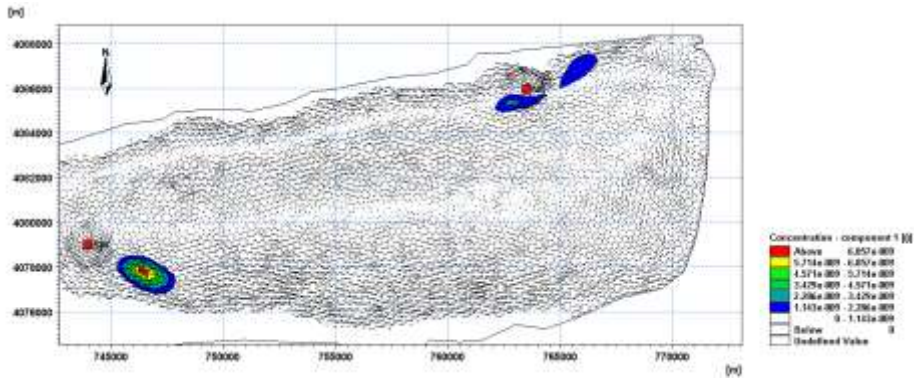
Figure 2: Current velocity distribution and pollutant dispersion from two fish farms in 26 meters.



شکل ۳: توزیع سرعت جریان و پراکنش آلاینده از دو مزرعه پرورش ماهی در تراز ۲۷/۵ متر.

Figure 3: Current velocity distribution and pollutant dispersion from two fish farms in 27.5 meters.

میزان فاصله بهینه در تراز ۲۸ متر در هر دو مزرعه با افزایش سرعت باد افزایش می‌یابد. در این تراز بیشینه فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی و جنوب غربی بترتیب برابر ۵۰۰ و ۲۷۸۴ متر و متاثر از وزش باد غالب غربی با سرعت ۱۰/۵ متر بر ثانیه می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴: توزیع سرعت جریان و پراکنش آلاینده از دو مزرعه پرورش ماهی در تراز ۲۸ متر.

Figure 4: Current velocity distribution and pollutant dispersion from two fish farms in 28 meters.

بحث

الگوی پادساعت‌گرد جریان خلیج گرگان پیش‌تر توسط شربتی (۱۳۹۰) و رودباری شهمیری و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش شده است. در این مدل‌سازی وجود جریان‌های پرسرعت در کرانه‌های شمالی و جنوبی خلیج گرگان هم‌جهت با وزش باد غالب در تمامی ترازهای کاهشی سطح آب و وجود جریان‌های کم سرعت در بخش‌های ژرف و مرکزی خلیج گرگان ولی مخالف با جهت وزش باد مشاهده گردیده است که با نتایج شربتی و شعبانی (۱۳۹۵) و Ranjbar و Hadjizadeh (۲۰۱۷) نیز همخوانی دارد.

در این پژوهش همبستگی دما معادل ۰/۵۵ بود که بیانگر همبستگی میانه بین نتایج مدل‌سازی و داده‌های میدانی دما می‌باشد و جذر میانگین مربع خطای دما برابر ۱/۹۵ بدست آمده است. در حالیکه در پژوهش انجام شده توسط Ranjbar و Hadjizadeh (۲۰۱۷) این میزان برابر ۱/۶ برآورد گردیده بود. از سوی دیگر، همبستگی شوری برابر ۰/۵۱ و جذر میانگین مربع خطا شوری برابر ۱/۶۹ بدست آمده است، در صورتی که در پژوهش‌های پیشین انجام شده توسط یاری‌نسب و همکاران (۱۳۹۲) جذر میانگین مربع خطا برابر ۰/۵۱ و Ranjbar و Hadjizadeh (۲۰۱۷) برابر ۱/۹ بوده است. مهمترین عامل بروز خطا در مدل‌سازی کنونی می‌تواند منتج از افزایش تعداد ضرایب تنظیم مدل باشد.

مقایسه میزان فاصله بهینه مزارع شمال شرقی و جنوب غربی با یکدیگر نشان می‌دهد که میزان آلاینده در مزرعه شمال شرقی به دلیل نزدیکی به دهانه آشوراده-بندرترکمن و قرار گرفتن در بخش عمیق‌تر در مقایسه با مزرعه جنوب غربی از سرعت رقیق‌شدگی بیشتری برخوردار بوده است. لذا، میزان فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی کمتر از مزرعه جنوب غربی می‌باشد. این موضوع التزام رعایت فاصله بیشتر را در مزارع جنوبی را در مقایسه با مزارع شمالی بیان می‌دارد.

بررسی نتایج مدل‌سازی‌ها نشان داده است که تشریح فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی در مقایسه با مزرعه جنوب غربی دارای پیچیدگی‌های بیشتری می‌باشد. این مهم می‌تواند به ویژگی‌های هیدروگرافیک اطراف مزارع، نزدیکی به دهانه آشوراده-بندرترکمن و عمق قرارگیری مزرعه و به ویژه تشکیل چرخه‌های کوچک جریان در نزدیکی مزارع بواسطه کاهش سطح آب مرتبط گردد.

به طور کلی، افزایش سرعت باد و کاهش تراز آب در خلیج سبب افزایش فاصله بهینه و کاهش مدت زمان لازم برای رقیق شدن آلاینده در هر تراز تحت بررسی می‌گردد. بررسی الگوی جریان در ترازهای کاهشی سطح آب بیانگر

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

جابجایی جریان‌های پر سرعت موازی با سواحل به سمت کرانه‌های ساحلی بواسطه کاهش سطح آب و تاثیر آن در الگوی انتشار آلاینده از مزارع می‌گردد. شکل‌گیری چرخه‌های کوچک مقیاس در برخی از ترازها و از بین رفتن آنها در ترازهای دیگر تاثیر بسزایی در تغییرات فاصله بهینه مزارع تحت بررسی داشته است.

در مزرعه جنوب غربی کاهش سطح آب با افزایش جابجایی آلاینده به سمت جنوب رابطه مستقیمی داشته است. این موضوع متاثر از رژیم پویایی حاکم بر منطقه و ویژگی‌های عمقی و بستر خلیج گرگان در هر تراز کاهشی می‌باشد. فرنودهای مدل‌سازی به خوبی نشان داده است که افزایش سرعت باد از ۳ متر بر ثانیه به ۱۰/۵ متر بر ثانیه در ترازهای ۲۶/۵، ۲۷ و ۲۸ متر با افزایش جابجایی آلاینده به سمت شرق رابطه مستقیمی داشته است. ولی جابجایی آلاینده به سمت غرب در تراز ۲۶ متر متاثر از جریان‌های پرسرعت غربی در بخش مرکزی خلیج گرگان و در تراز ۲۷/۵ متر متاثر از جابجایی جریان‌های پر سرعت کرانه‌ای به بخش‌های نزدیک به مزرعه منتج از کاهش عمق می‌باشد.

با کاهش سطح آب، میزان فاصله بهینه در مزرعه شمال شرقی افزایش می‌یابد. ولی نتایج مدل‌سازی بیانگر کاهش میانگین فاصله بهینه در تراز ۲۶/۵ متر بوده است. بررسی الگوی جریان در تراز مذکور نشان داد که تشکیل یک چرخه کوچک جریان در مجاورت کرانه‌های شمالی مزرعه سبب تسریع در فرایند رقیق‌شدگی آلاینده در آب و در نهایت کاهش میزان فاصله بهینه می‌گردد. به طور کلی، بررسی انتشار آلاینده در مزرعه شمال شرقی نشان داده است که میزان جابجایی آلاینده در امتداد شرق به غرب به مراتب بیشتر از جابجایی آلاینده در امتداد غرب به شرق بوده است. حرکت آلاینده به سمت جنوب در مزرعه شمال شرقی در مقایسه با مزرعه جنوب غربی کم‌تر می‌باشد.

پیش از این پژوهش، یاری‌نسب و همکاران (۱۳۹۲) فاصله بهینه بین مزارع در خلیج را در تراز ۲۶/۵ متر برابر ۱۰۰ متر محاسبه نموده بودند. در نظر نگرفتن اثرات تابش امواج و تبادل گرما بین لایه سطحی و جو و استفاده از بازه کوتاه مدت ۵ ماهه برای استخراج ضریب شوری از جمله ایرادات وارده به نتایج کار ایشان می‌باشد. شربتی (۱۳۹۴)، با جفت نمودن دو ماژول هیدرودینامیک و انتقال-پخش مدل بی‌ساختار مایک ۲۱ و با در نظر گرفتن تابش امواج در تراز ۲۶/۵ متر، بیشینه فاصله اطمینان بین مزارع خلیج را ۱۰۹۷ متر براورد نموده است. یکی از ایرادات وارده به آن پژوهش، در نظر گرفتن شرط مرز باز با مقادیر دبی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. مقادیر مذکور سبب بوجود آمدن سرعت‌های غیرمعمول در خلیج گردیده و عملاً استفاده از نتایج مدل را با مشکل مواجه ساخته است. از سویی، ایشان ضریب پخش آلاینده را مطابق پیشنهاد Rodi (۱۹۸۰) بر اساس عامل قیاسی برابر ۱ اختیار نموده‌اند، نظر به آنکه عامل قیاسی به مولفه‌های سرعت در فرمول اسماگورنسکی وابسته می‌باشد، لذا مقدار عامل قیاسی با توجه به گام مکانی و زمانی اختیار شده دارای مقادیر متفاوتی خواهد بود که منجر به تغییر در نتایج مستخرج از مدل‌سازی خواهد شد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان می‌باشد و بدینوسیله از تمامی دست‌اندرکاران اجرای طرح پژوهشی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

امینی، ک.، ۱۳۹۵. بررسی امکان توسعه آب‌زی‌پروری در خلیج گرگان. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، گزارش طرح پژوهشی، ۸۴ صفحه.

باقری، ه.، ۱۳۹۱. تدوین دستورالعمل بررسی پایش اکولوژیک آب‌های ساحلی با استفاده از شاخص کف‌زیان (مطالعه موردی: سواحل جنوب شرقی دریای خزر). گزارش طرح پژوهشی، معاونت محیط زیست دریایی سازمان محیط زیست ایران، ۱۴۰ صفحه.

جوانی، ع.، ۱۳۹۱. مدل‌سازی توزیع مکانی آلودگی‌های مختلف در خلیج گرگان. پایان‌نامه، دانشگاه تربیت

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

مدرس، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، گروه مهندسی محیط زیست، ۱۲۵ صفحه.

رضا، ع.ا.، ۱۳۸۷. نام دریای شمال ایران. مرکز بزرگ دایره‌المعارف ایرانی و اسلامی، شماره اول، ۱۷۸ صفحه.

رودباری شهمیری، س.، عجمی، م.، و خوشروان، ه.، ۱۳۹۶. پیش‌بینی عملکرد و پایداری ریخت‌شناسی دهانه خلیج گرگان. مجله اقیانوس‌شناسی، ۸ (۳۱): ۶۵-۵۳.

شربتی، س.، ۱۳۹۰. شبیه سازی دو بعدی الگوی جریان در خلیج گرگان با استفاده از نرم افزار مایک۲۱. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۸ (۴): ۲۴۷-۲۴۱.

شربتی، س.، ۱۳۹۴. بررسی نتایج مدل‌سازی میزان فاصله اطمینان فی‌مابین مزارع پرورش حصاری ماهی در خلیج گرگان. نشریه توسعه آب‌زی‌پروری، ۹ (۱): ۶۵-۵۳.

شربتی، س.، و شعبانی، ع.، ۱۳۹۵. اثرات بازگشایی کانال خزینی بر الگوی عمومی جریان در خلیج گرگان (جنوب شرق دریای کاسپی). مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۸ (۳): ۷۳-۶۹.

شربتی، س.، و قانقرمه، ع.ع.، ۱۳۹۴. پیش‌یابی تاثیر روند طولانی مدت کاهش سطح آب دریای کاسپی بر حیات خلیج گرگان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۷ (۴): ۵۹-۴۶.

شریفی‌فدیجی، م.ر.، خدابخش، س.، شیخی، ا.، و خالقی‌زاده، آ.، ۱۳۹۴. بررسی نقش اقتصاد کشاورزی در اقتصاد مقاومتی. همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی، اول خرداد ۱۳۹۴، تهران، ۵ صفحه.

عمادالدین، س.، جعفربیگلو، م.، زمانزاده، س.م.، و یمانی، م.، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات سطح آب دریای خزر در اواخر هولوسن بر اساس سن‌سنجی و مورفولوژی پادگانه‌ها در محدوده جنوب خلیج گرگان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳ (۱): ۱۲ صفحه.

مروتی، ح.، ترابی‌آزاد، م.، و مهرفر، ح.، ۱۳۸۶. مطالعه و فرمولاسیون میزان بودجه گرمایی تحت اثر وزش بادهای شدید در خلیج گرگان. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، ۶۳ (۱): ۳۱-۱۹.

موحد، م.ع.، ۱۳۶۱. خزران. انتشارات خارزمی، شماره اول، ۳۱۱ صفحه.

مهندسین مشاور کنکاش عمران. ۱۳۸۷. مطالعات شناسایی منابع آب شبه‌جزیره میانکاله. شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران، ۸۹ صفحه.

یاری‌نسب، آ.، طاهری، ح.، محمدخانی، ح.، پورصوفی، ط.، و منصوری، ب.، ۱۳۹۲. 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، ۶۶ (۴): ۵۱۷-۵۰۵.

Amozadeh, D. and Kanani, M.R., 2008. The effect of Caspian Sea water fluctuations on Miankaleh habitat ecological conditions using remote sensing and geographic information system. *World Applied Sciences Journal*, 3(1): 34-38.

Arndt, S., Vanderborght, J.P., and Regnier, P. 2007. Diatom growth response to physical forcing in a macrotidal estuary: Coupling hydrodynamics, sediment transport, and biogeochemistry. *Journal of Geophysical Research*, 112:C05045, doi: 10.1029/2006JC003581.

Chen, J.L., Pekker, T.C. Wilson, R. Tapley, B.D. Kostianoy, A.G. Cretaux, J.F. and Safarov, E.S., 2017. Long-term Caspian Sea level change. *Geophysical Research Letters*, 27(3): 6993-7001.

Coastal Engineering Manual. 2006. Part 2, U.S. *Army Corps of Engineers*, 378.

P. **Manual of MIKE21, 2014**. Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module. Danish Hydraulic Institute (DHI Software), 36P.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

Manual of MIKE21, 2014. Transpot madule. Danish Hydraulic Institute, 42 p.

MIKE21 NSW, 2007. Near shore Spectral Wind-Wave Module. Danish Hydraulic Institute (DHI Software), 76P.

Ranjbar, M. and Hadjizadeh, N. 2017. Numerical modeling of general circulation, thermohaline structure, residence time in Gorgan Bay, Iran. *Ocean Dynamics*, 68(1): 35-46.

Rodi, W. 1980. Turbulence Models and Their Application in Hydraulics-A State of the Art Review. International Association for HydroEnvironmental Engineering and Research Publications, 37P.

.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]

[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.1.16.7]

[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118407]

Modeling the effects of water level decreases on the optimum distance of fish pens in Gorgan Bay

Sharbaty S.*

*s_sharbaty@yahoo.com

Department of fishery, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources, Iran

Abstract

By reducing the water level in the Gorgan Bay, as a result of the decreasing in the Caspian Sea water surface, the optimum distance will change between fish farms. The purpose of this study was to investigate the optimal distance variation due to water level reduction, Hydrodynamic and Transport modules of the Mike 21 model was implemented under 15 scenarios by considering western prevailing wind and in 5 levels. Wave radiation tension was implemented using the Near Shore Wave module in 15 scenarios and used as input in hydrodynamic models. Dispersion coefficient was extracted by salinity modeling in the year 2012 and at a level of 26.5 m and used it in other models. The modeling results in most scenarios indicate that the pollutant displacement is in the direction of the dominant wind from west to east in the southwest farm and was from east to west in the northeastern farm opposite to the dominant wind. Mostly, wind speed increasing and water levels decreasing will increase the optimum distance and will reduce time to dilute pollutants. The maximum mean optimum distance in the northeast and southwest farms were 487 and 2615 meters in level of 28 meters, respectively. The minimum mean optimum distance in the northeast and southwest farms were 194 and 999 m in level of 26.5 and 26 meters, respectively. In order to reduce the ecological and economic disasters caused by the effects of the Caspian Sea level reduction on the optimal distance between farms in future, it is recommended to restructure fish farms in the Gorgan Bay.

Keywords: Gorgan Bay, Optimum Distance, Water Level Decrease, Fish Farms, Modeling

*Corresponding author